

第五章 直流發電機及直流電動機

第一節 直流の發生及用途

§ 49 直流の用途

前章に於て述べた如く、交流は電壓の遡昇遡降といふことが非常に容易な爲に廣く普及して居るが、直流にも種々の利點がある爲に特種の用途に對して使用されて居る。即ち

- イ 一定方向に流れる電流に依つてイオンの分離をすること、即ち電氣分解、電氣鍍金、電氣精鍊の如き化學工業。
- ロ 前項の原理に依つて電氣的勢力を化學的勢力として蓄積し置き、電氣的勢力の必要な場合に再び化學的勢力より電氣的勢力に還元すること。
- ハ 電信電話の如く、電流の變化に依つて信號又は音聲を傳へる場合に於ては電源が變動しては信號又は音聲が亂れ、目的を達することが困難であるから是非直流を要する。但し無線電信の場合は少し事情が異なる。
- ニ 交流機にては希望通りの特性の機械が出来ないか、出来ても他に不都合な事がある場合。

イに就ては空中窒素固定、銅の精鍊等が重要な應用である。ロの實用的なものは鉛蓄電池^{*}及アルカリ蓄電池である。ハの目的の爲には電池を使用するのが最もよい。直流發電機でも普通のものは直流に脈動 (Ripple) と稱する小波が重なつて居るから、電話用電源に發電機を使用する場合には脈動を除去する爲に濾波装

* 蓄電池の容量は放電々流及放電時間の積即ち **アムペア時**にて表はされる。鉛蓄電池一個の電壓は放電の初期が約 2.0 ヴォルトにて、放電末期には 1.85 ヴォルトに下る。充電々壓は平均 2.2 ヴォルト、充電末期には 2.6 乃至 2.8 ヴォルトに上る。アルカリ蓄電池にありては放電々壓平均 1.2 ヴォルト、放電末期にて 1.1 乃至 1.0 ヴォルトに下る。充電々壓は平均 1.67 ヴォルト、充電末期には 1.82 ヴォルトに上る。

置 (Wave Filter) と稱するものを付けねばならない。ニに屬するものの實例としては電氣鐵道を擧げることが出来る。現在こそ電鐵用單相交流電動機の設計製作は相當に進歩して居るので左程の困難はなくなつたが、幹線鐵道電化の擡頭期には此の點に種々の困難があり、且つ單相交流式電鐵では附近に存在する通信線に電磁誘導 (§ 1⁷) 及び靜電誘導 (§ 5) に依つて交番電壓を誘發し、通信を妨害する虞れがある。殊に我國の如く地形狹小にして、電力、通信の兩回線を隔離することの困難な所では専ら直流を電鐵用電力として使用して居るのである。

§ 50 直流の發生

直流を得るには次の三方法がある。

- イ 化學的エネルギーの一部を電氣的エネルギーに變換する方法

これは所謂一次電池又は單に電池 (Primary Battery or Cell) と稱するものであつて、異つた物質の電極 (Electrode) 二個を電解液中に浸したものである。電池が電流を生ずる理由は溶液中の陰陽兩イオンが夫々陽極及陰極に電荷を放電することに依るのであるが、一旦放電したイオンも再びイオン化しやうとする傾向があつて、その爲に電流を繼續して流すと電壓が次第に下つて來る。これを成極作用 (Polarization) といひ、この現象を防止する爲に使用する物質を減極劑 (Depolarizer) と稱する。電極と減極劑との種々なる組合せを行へば色々の電池が出来るが、主なる電池の名前と性質とを列擧すれば第 6 表の通りである。

第 6 表

電池名稱	陽極	陰極	減極劑	起電力 ヴォルト	内部抵抗 オーム
ダニエル	銅	亞鉛	硫酸銅	1.07—1.14	0.3—3.0
重	銅	亞鉛	硫酸銅	1.00—1.07	2.5—3.0
ブンゼン	白金又ハ炭素	亞鉛	硝酸	1.80—1.95	0.1—0.2
重クロム酸	炭素	亞鉛	重クロム酸	2.0	0.3—0.5
エジソンラーランド	炭素	亞鉛	第二酸化銅	1.0—1.2	0.1—0.3
ルクランシエ	炭素	亞鉛	二酸化マンガン	1.5—1.7	1—5
フェリ	炭素	亞鉛	空 氣	1.4	0.3—0.4

表中、内部抵抗といふのは電池自身の抵抗であつて、これが小なるほど大なる電流が得られ、これの大なるものは電流の小なる場合即ち外部抵抗の高い場合でなければ適當しない。尙乾電池 (Dry Cell) と云ふものはルクランシエ電池と同一原理のものであつて、溶液を多孔質のものに浸み込ませて密封し、外部に流れ出さない様にした點が異なるのみである。

□ 三相交流、単相交流等の如き他の電氣方式から變換する方法

この方法の中には交流を直接電氣的に直流に變換する方法と、交流電動機に依つて一旦機械的の勢力に變更し、これを更に直流發電機に依つて直流電力にする方法とがある。前者に就ては第七章第二節に詳述してある。後者は要するに交流電動機と直流發電機との機械的結合に過ぎないのであつて、次項と同一に取扱はるべきものである。

ハ 機械的の勢力から直流を得る方法

これは水力、火力其他の動力に依る原動機に依つて直流發電機を運轉し、直流を得る方法である。

第二節 直流發電機

§ 51 直流發電機の原理

直流發電機の原理を説明する爲に第44圖の如き模型を作つて見る。同圖中、 N 及 S は永久磁石の兩極であつて、其の間に圓筒形の軟鐵心 d を適當な軸にて支え、磁石と軟鐵心との間には一樣な空隙があるものとする。鐵心上に圖に示す如く絶縁電線 $a_1 a_2$ を捲き、その兩端を軸上に絶縁して固定された二つの半圓筒形銅片 $C_1 C_2$ に夫々結び付け、線輪及び銅片は軸と共に廻轉し得る如くにして置く。別に $b_1 b_2$ なる導體を其の彈性に依つて半圓筒形銅片上に押し付け、常に

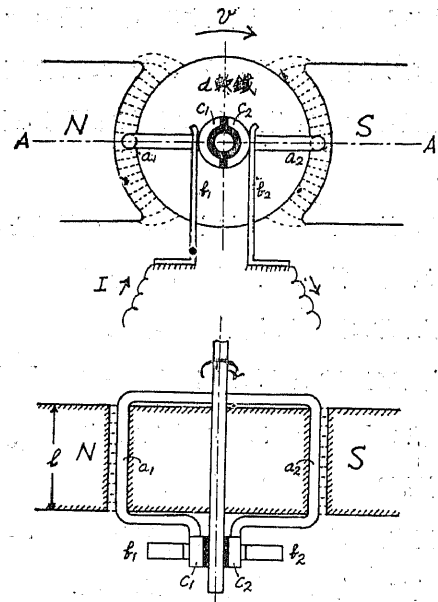
* 電池の出し得る最大電流は起電力を内部抵抗で割つたものである。外部に負荷を接続すればその抵抗に相當して電流は更に小となる。

之と接觸して居る様に配置する。今軟鐵心と磁極間の空隙 (Air Gap) が極全體に亘つて一樣であるとすれば空隙に於ける磁束密度も亦一定で、且つ其の方向は發電子の表面に直角である。この磁束密度を B とし、軟鐵心を周邊速度 v 輻 / 秒にて廻轉すれば、導體 $a_1 a_2$ が磁極下にある間は § 16 に述べた様に

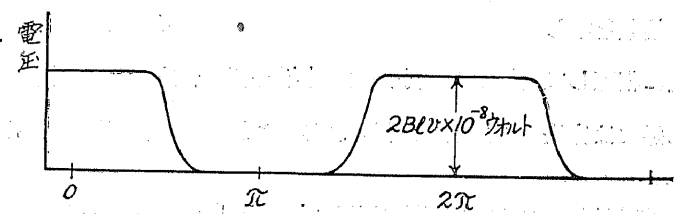
$$E = E'_1 + E'_2 = Blv \times 10^{-8} + Blv \times 10^{-8} \\ = 2Blv \times 10^{-8} \text{ ヴォルト}$$

なる電圧が線輪 $a_1 a_2$ に誘發されその方向はフレミングの右手の法則に

依つて圖に示す如くなる。但し前式中の l は磁極下にある導體の長さ即ち導體の有効長を輻で表したものである。廻轉が進み導體が磁極下を離れると磁束は急減するから、電圧も従つて急減し遂に 0 となる。導體が圖の位置から 90° 廻るとそれまで C_1 は b_1 に、 C_2 は b_2 に接觸して居たものが今度は C_1 が b_2 に、 C_2 が b_1 に接觸することになり、更に廻つて a_1 が S 極、 a_2 が N 極の下



A-A' 断面
第 44 圖

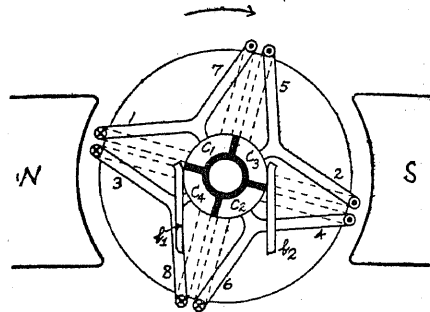


第 45 圖

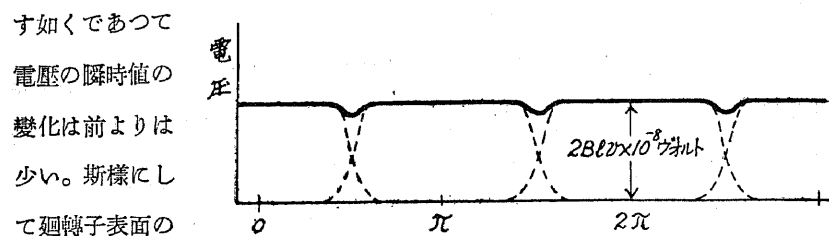
* 鐵心及導體を同時に廻轉しても磁束は常に圖の如き分布状態にあるから結局磁束密度 B なる磁場内に導體のみを定速度 v にて動かしたのと同じ事になる。

に來ると再び電壓を發生するが、導體 $a_1 a_2$ 内の電壓の方向は前と反對であるにも拘らず、固定導體 $b_1 b_2$ に対しては前と同方向の電壓が傳へられる。圖の位置を起點として、廻轉と共に電壓の變化する模様を圖に示せば第45圖の通りである。

次に第46圖^{*}に示す如く 12, 34 の線輪と、之と直角なる線輪 56, 78 とを取り付け、半圓筒形銅片の代りに四半圓筒形銅片に圖の如く線輪を接続し、 $b_1 b_2$ は元通りとすれば、四分の一廻轉毎に b_1 及 b_2 は天々異つた銅片と接觸し、 $b_1 b_2$ に現れる電壓は常に同方向で且つ互に直角なる二つの線輪に誘發された起電力の和に等しい^{**}。従つて其の電壓は第47圖に示す如くであつて



第 45 圖



第 47 圖

之に相應して接続銅環の分割數をも増せば、合成起電力の瞬時値の差は益々減少し遂には完全な直流電壓が得られる。これが直流發電機の原理である。

* 第46圖中、⊙は電流が紙の裏面から表面へ向つて電流の流れることを意味し、⊗は表面から裏面に向ふことを意味する。

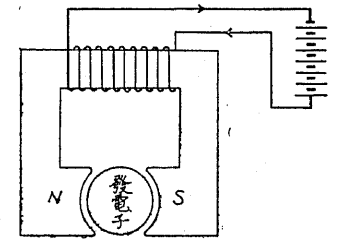
** 第46圖の位置にて電壓を誘起する導體は 1, 2, 3, 4 の四本であるが 1, 2 と 3, 4 とは並列となつて居るから瞬時最大誘起電壓は前の場合と同様に $2Blv \times 10^{-8}$ ヴォルトである。

而して鐵心 d を發電子鐵心 (Armature Core)、線輪 12, 34 等を發電子捲線 (Armature Winding)、 C_1, C_2 等を整流子 (Commutator)、是等の廻轉部分全體を總稱して發電子^{*} (Armature) といひ、發生した電流を發電子より外部に導く b_1 及 b_2 を刷子 (Brush) と云ふ。

§ 52 直流發電機の種類

前項に述べた様に界磁に永久磁石を使用する發電機を磁石發電機 (Magneto Generator) と云ふ。永久磁石を使用しては強い磁場を得ることが困難なので、通常はその代りに電磁石を使用する。一般に發電機又は電動機の磁場を作る爲めの線輪を勵磁捲線又は界磁捲線 (Field Winding) と云ひ、これに流れる電流を勵磁電流 (Exciting Current) と云ふ。

電磁石の勵磁方法に依つて發電機の特性は色々に變化する。最も簡単な場合は第48圖に示す如く勵磁電流を別個の電源より取るものであつて、これを他勵磁式發電機 (Separately Excited Generator) と云ふ。



第 48 圖

勵磁捲線を發電子と結び、勵磁電流を發電機自體より得る場合には自勵式發電機 (Self-Excited Generator) といひ、勵磁捲線と發電子との

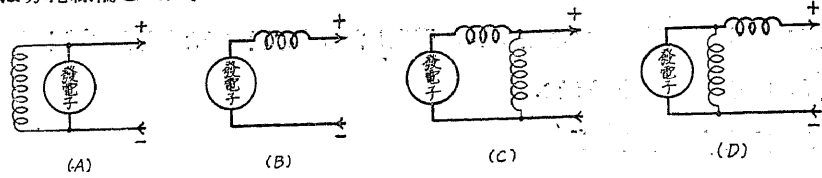
結び方に依つて次の如く三種類の發電機が出来、それ等は性質が互に異つて居る。

イ 分捲發電機 (Shunt Generator)

第49圖 (A) に示す如く發電子兩端子間に界磁捲線を接続し、發電子から出る電流の一部を勵磁電流とする方式で、此の場合には勵磁電流を多く取ることは不利であるから勵磁捲線の捲回数も多くし、比較的小電流にて必要な μ ペア回數

* 發電子には第44圖に示した様に鐵心表面のみに捲線を施した鼓狀發電子 (Drum Armature) の外に環狀發電子 (Ring Armature) と稱するものがあるが、現今あまり作られないから説明を省略する。

を得られる様にする。斯く發電子兩端子間に接続せる勵磁捲線を分捲勵磁捲線又は分捲線輪と云ふ。



第 49 圖

□ 直捲發電機 (Series Generator)

第 49 圖 (B) に示す如く、勵磁捲線を發電子と直列に結びたるものにて、此の場合には發電機の電流全部が勵磁捲線に流れるから、勵磁捲線には太い線を使用する必要があるが、電流が大であるから捲回数も必要なアムペア回数が得られる。發電子と直列に結ばれた勵磁捲線を直捲勵磁捲線又は直捲線輪といふ。

ハ 複捲發電機 (Compound Generator)

第 49 圖 (C) 又は (D) に示す如く、分捲線輪と直捲線輪とを有する發電機を總稱して複捲發電機と云ひ、その中、(C) 圖の如く分捲線輪が直捲線輪の外側にある場合を外分捲式 (Long-Shunt) といひ、(D) 圖の如く分捲線輪が内側にある場合を内分捲式 (Short-Shunt) といふ。

直流發電機には以上の他に極數に依る區別、構造に依る區別及原動機との連結方法に依る區別等もあるが、特性を左右するものは勵磁捲線の接続方法である。(§ 57 参照)

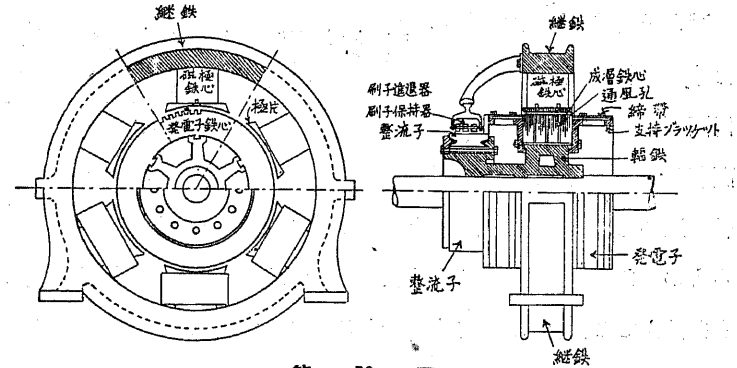
§ 53 直流發電機の構造

直流發電機の構造は分捲、直捲、複捲の孰れに對しても殆んど同一であつて、勵磁捲線の太さ及び捲回数が異なるのみであるから一括して述べることにする。

第 50 圖は六極直流發電機構造の大要を示す圖面であつて、正面圖が示す如く發電子の周圍には六個の磁極が對稱的に配置され、これ等を互に結ぶ繼鐵 (Yoke) が發電機の外廓を構成して居る。又側面圖より磁極、發電子、整流子及刷子保持

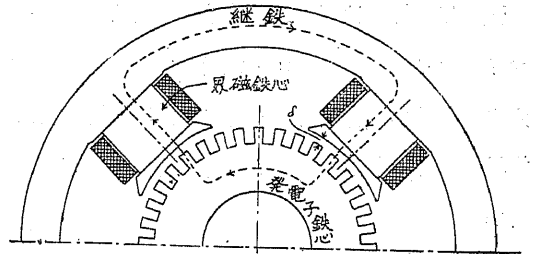
機構等の關係が判るであらう。

イ 磁氣回路 § 51 の式で示し



第 50 圖

た如く、發電機の起電力は空際に於ける磁束密度に比例するから、これを成るべく大とする爲には磁氣回路のリラクタンスを小とする必要がある。従つて第 51 圖に示す如く各磁極は鑄鐵又は鑄鋼製の繼鐵にて繼ぎ、發電子捲線も發電子鐵心に溝 (Slot) を切つてその中に納め、磁極と發電子鐵心間の空隙 δ を成るべく小として居る。繼鐵中では磁束の變化があまりないから前述の如く鑄物を用ふるが、磁束の方向及び密度が廻轉に伴ひ絶えず變化する發電子鐵心では鐵損を少くする爲に電氣用軟鋼薄板 (厚さ 0.35 ~ 0.5 耗) を重ね合せたものを使用し、鐵心及捲線の兩者から出る損失熱を放散する爲に軸方向に 50 ~ 75 廻毎に 10 ~ 12 耗の通風孔 (Air Duct) を残す。磁極鐵心では、發電子に面する部分が發電子の溝及齒の影響を受けて磁束に變化を生ずるから、此の部分即ち極片 (Pole Shoe or Pole Piece) のみ又は繼鐵に接する部分までの界磁鐵心 (Field Core) を薄鐵板とする。

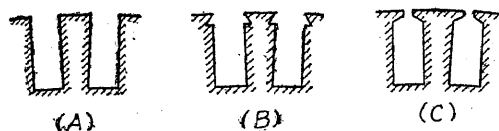


第 51 圖

は鑄鋼製の繼鐵にて繼ぎ、發電子捲線も發電子鐵心に溝 (Slot) を切つてその中に納め、磁極と發電子鐵心間の空隙 δ を成るべく小として居る。繼鐵中では磁束の變化があまりないから前述の如く鑄物を用ふるが、磁束の方向及び密度が廻轉に伴ひ絶えず變化する發電子鐵心では鐵損を少くする爲に電氣用軟鋼薄板 (厚さ 0.35 ~ 0.5 耗) を重ね合せたものを使用し、鐵心及捲線の兩者から出る損失熱を放散する爲に軸方向に 50 ~ 75 廻毎に 10 ~ 12 耗の通風孔 (Air Duct) を残す。磁極鐵心では、發電子に面する部分が發電子の溝及齒の影響を受けて磁束に變化を生ずるから、此の部分即ち極片 (Pole Shoe or Pole Piece) のみ又は繼鐵に接する部分までの界磁鐵心 (Field Core) を薄鐵板とする。

□ 發電子

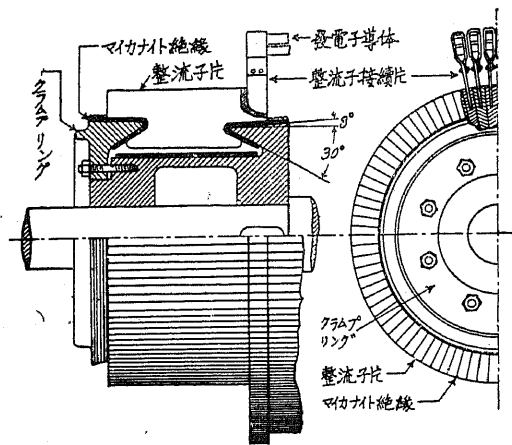
發電子捲線を納入する溝には第 52 圖の如く三種類ある。同圖 (A) に示すものは所謂開溝(Open Slot)であつて、捲線が遠心力に依つて飛出することを防ぐ爲にバインド線(Bind Wire)のみを使用するものである。同圖 (B) は同じく開溝ではあるが、捲線を納めた後に楔(Wedge)を差込んでこれを保持するものである。又 (C) 圖に示したものは半閉溝(Semi-Enclosed Slot) と稱するもので、速度の特に高い場合に使用される。



第 52 圖

發電子捲線には通常二重綿捲銅線又は木綿テープ捲銅帯を使用し、溝との間はマイカナイト、レッドローブ紙、プレスパン等にて絶縁する。開溝の場合には一定の形に捲いた線輪を丁度溝に合ふ様に絶縁物にて仕上げ、これを溝に嵌め込めば機械的にも電氣的にも強い捲線が安價に出来る。これを型捲線輪(Formed Coil)といふ。

ハ 整流子及刷子
整流子とは硬銅製整流子片をマイカナイトに依つて相互間竝に支持物との間を絶縁して發電子軸に固定したものであつて、第 53 圖は其の一例を示す。整流子片は下部が鳩尾(Dove Tail) 状となつてゐて、左端のクランプ リング(Clamp Ring) にて緊付けられてゐる。整流子片と捲線端との接続は大型機械では整流子接続片(Commutator Riser) に依つて爲されるが、小型



第 53 圖

* 發電子捲線に就ては § 54 を参照のこと。

のものでは捲線を直接々續する。

整流子片間を絶縁するマイカは整流子片よりも硬度の低いものを使用し、刷子に依る磨耗によつてマイカが突出しない様にするが、通常マイカを整流子片より約 1.2 耗掘り下けて置く。

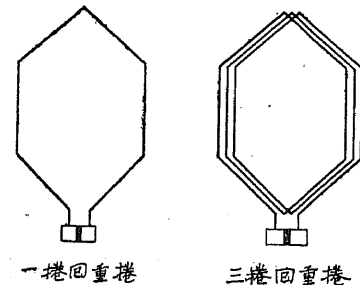
刷子としては黒鉛炭素が最も多く使用されるが、電壓の低い機械では電壓降下を少なくする爲に金屬刷子を、また整流の悪い場合には接觸抵抗及固有抵抗の高い炭素を用ゐる。刷子の厚さは整流子片ピッチの 1 倍乃至 4 倍の間にあり、巾は刷子材料に對する電流密度から決定される。刷子を保持する爲の刷子保持器(Brush Holder) は同時に刷子に適當な壓力を與へる役をも爲し、其の壓力は通常 0.1 ~ 0.15 珎/平方糎程度である。廻轉方向の一定な機械では刷子保持器は刷子進退器(Rocker) に取付けられて圓周方向に或る範圍を動かし得るのである。

§ 54 發電子捲線法

第 44 圖及第 46 圖に示した發電子捲線は最も簡單なものであるが、實際の發電機に於ては極數、電壓、電流等に應じて發電子周邊に多數の導體が配列され、各導體相互の接続方法には一定の規則がある。これを發電子捲線法といふ。

イ 捲線の概要

第 44 圖に説明した $a_1 a_2$ の如く、兩端が整流子片に接続される一個の獨立した線輪を捲線素子(Winding Element) といふ。捲線素子が一捲回より成る場合も二捲回以上の場合も捲線素子相互の關係を考へる場合には別に變りはないから捲線法の説明に於ては一本の線を以つて捲線素子の邊を表はすこととする。捲線素子兩邊の間隔を線輪の開き(Coil Span) といひ、大略極間



第 54 圖

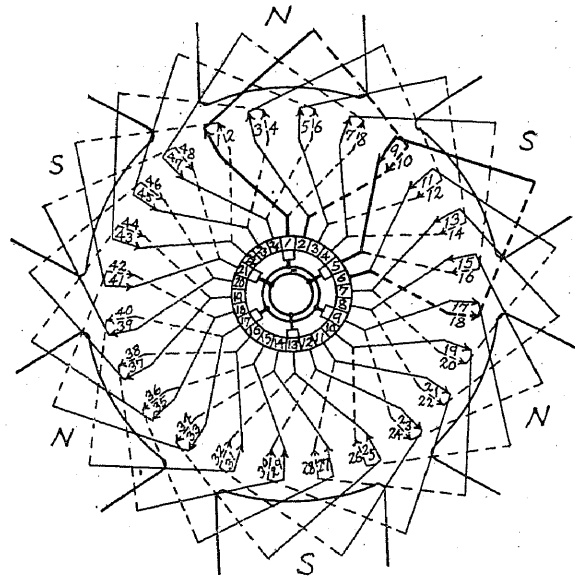
* § 56 参照

隔 (Pole Pitch) と等しくする。これが極間隔と等しい場合を**全節巻 (Full Pitch Winding)** といひ、極間隔より少しく短い場合を**短節巻 (Short Pitch Winding)** といふ。

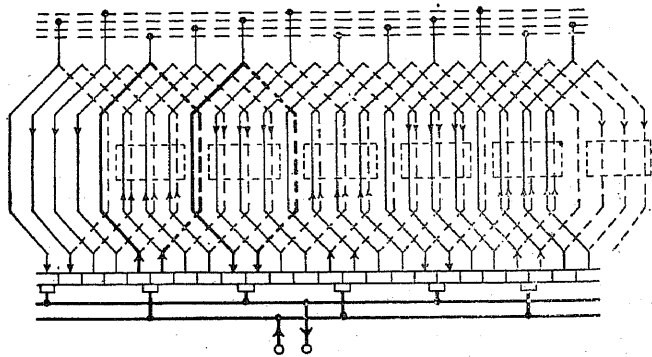
巻線素子と整流子片との結び方に依つて**重巻 (Lap Winding or Multiple Winding)** と **波巻 (Wave Winding or Series Winding)** とがある。

□ 重巻
重巻とは第 54

圖に示す如く一つの巻線素子の両端が相隣る整流子片に接続せられ、相隣る巻線素子は重ね合はせた様になる巻き方であつて、第 55 圖 (A) は六極發電機



(A)



(B)

第 55 圖

生ずる有効部分の導體を示し、整流子片の番號も亦數字で示してある。同圖 (B) はその展開圖であつて、圓筒狀に配列された巻線及び整流子を平面上に展開して見易くしたものである。刷子の位置は、巻線と磁極との關係を見て、有効導體が磁極を外れて居る巻線素子に相當する位置に定める。この兩圖を辿つて見れば次の事實が判るであらう。

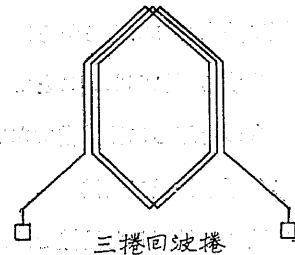
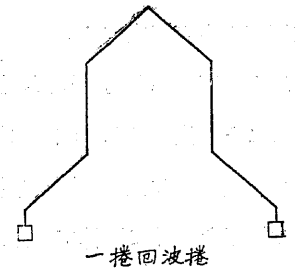
- (1) 磁極下にある導體は常に誘起電壓が相加はる様に接続されてゐる。
- (2) 巻線素子は正刷子と負刷子の間に於て常に磁極數に等しき並列回路を作る様に接続されてゐる。
- (3) 相隣る整流子片間には巻線素子一個が直列に入つて居る。

重巻は並列回路の數が極數に比例して多くなるから容量の大なる機械に適當であるが、それ等並列回路の不平衡又は磁氣回路の不平衡があつた場合には各刷子間を流れる電流に不平衡を生ずる不都合があるから、これを防ぐ爲に巻線中常に互に同電位にある點を結び合せて置く。之を**均壓線 (Equalizer)** といひ第 55 圖 (B) の整流子と反對側にある點線の接続はこれを示す。

ハ 波 巻

波巻とは第 56 圖に示す様な巻線素子を相並べて直列に結ぶ巻き方であつて、斯様に連続した巻線は發電子表面を一回廻る間に磁極數だけの線輪邊を直列に含むから**直巻 (Series Winding)** とも云ふ。第 57 圖は六極發電機の波巻の一例を示したものであつて、これを辿れば次の事實が判るであらう。

- (1) 正負兩刷子間の導體の誘起電壓は相加はる様に接続されてゐる。



第 56 圖

(2) 相隣る整流子片間には磁極數の半分に等しい線輪が直列に結ばれてゐる。

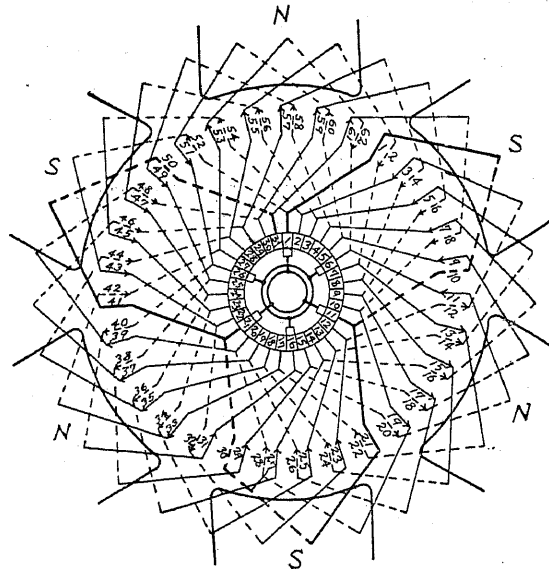
(3) 正極刷子は電壓を誘起しない捲線に依つて互に結ばれてゐる。負極刷子に就ても同様である。故に正負兩刷子は各任意の一個を用ひたのと同様である。

(4) 正負兩刷子間には磁極數の如何に拘らず二回路のみが存在する。

以上の事實から考へれば、波捲では磁極數の如何に拘らず刷子を正負各一個とすることが出来るから狹隘な場所等で點檢、手入れ等の困難な場合にも最も扱ひ易い位置のみに正負兩刷子を置くことが出来て便利である。但し最初から極數だけの刷子を付けて運轉する様に製作されたものを刷子二組に減ずることは刷子の電流を過大とするから不可である。波捲の今一つの利益は各回路の導體が凡ての磁極に分布されてゐるから或る磁極に磁氣的不平衡があつても其の爲に不平衡電流を生ずる虞れがないことである。然し並列回路數が二であるから電流容量の大なるものを造るには適當でない。

二 單重捲及二重捲

□及ハで説明した捲線では或る一點から捲線に沿ふて進れば、總ての捲線素子を経て必ず元の點に戻る。即ち發電子捲線のみに就て考ふれば唯一回路から成る



第 57 圖

ことを知る。これを單重捲(Simplex Winding)と云ひ、これと同一なる今一つの捲線回路を有するものを二重捲(Duplex Winding)と云ふ。二重捲は正負兩刷子間の回路數が單重捲の二倍であるから電流の大なる場合に用ひられる。

§ 55 發電機誘導起電力

直流發電機の誘導起電力は常に直列に在る導體數及導體一個當りの平均起電力の積である。茲に

- Z = 發電子周邊の全導體數
- c = 正負兩刷子間に在る並列回路數
- P = 磁極總數
- Φ = 一極毎の有効磁束數
- n = 毎分廻轉數

とすれば、正負兩刷子間に直列にある導體數は $\frac{Z}{c}$ である。導體一個毎の平均起電力は一極間隔を動くに要する時間が $\frac{60}{nP}$ 秒であつて、其の間に磁束を Φ だけ切るから $\frac{nP\Phi}{60} \times 10^{-8}$ ヴォルトである。故に發電機の誘導起電力 E' は兩者の積であつて

$$E' = \frac{Z}{c} \times \frac{n}{60} \times P\Phi \times 10^{-8} \text{ ヴォルト} \dots\dots(1)$$

となる。出來上つた機械に對しては Z, C, P などは一定であるから

$$\frac{Z}{c} \times \frac{P}{60} \times 10^{-8} = M \dots\dots(2)$$

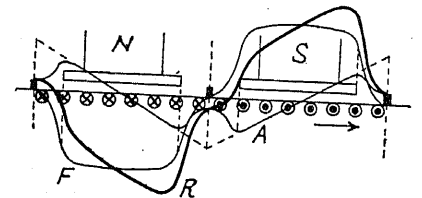
と置けば誘導起電力は次式にて表はされる。

$$E' = Mn\Phi \text{ ヴォルト} \dots\dots(3)$$

§ 56 發電子反作用、整流及補極

イ 發電子反作用

發電子に電流がなく、界磁電流のみが普通に存在する場合の磁極及發電子間空隙に於ける磁束密度は第 58 圖 F



第 58 圖

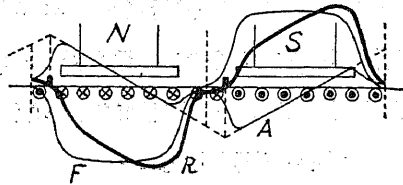
曲線の通りである。然るに發電子に電流が流れるとその起磁力の爲に同圖 A 曲線の如き磁束が加はることになるから空際に於ける磁束密度は兩者の合成なる R 曲線の如き分布となる。斯様

に發電子電流に依つて界磁々束分布に變化を生ずる作用を發電子反作用 (Armature Reaction) といひ、其の結果は磁束密度零なる點が廻轉方向に進み、一極當りの磁束總數は減少することになる。^{*}而して以上の變化は發電子電流が大なるほど大である。

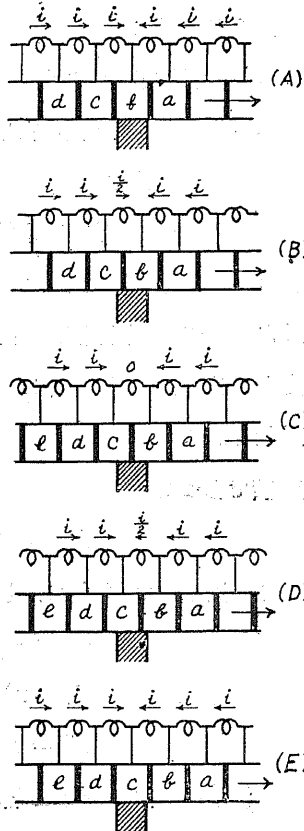
磁束密度が正より負に變化する途中の零となる位置を中性點 (Neutral Point) といふ。刷子は中性點に相當する點に置くべきであるから、發電子電流に依つて中性點が前述の如く廻轉方向に移動するに従つて刷子の位置も刷子進退器に依つて適當な位置に移さなければならない。かくして刷子を發電子電流に相當する中性點に移せば第 59 圖に示す如く發電子反作用も幾分變り、刷子移動の結果界磁磁束の減少は前よりも大となる。

□ 整 流

整流 (Commutation) とは發電子の廻轉に従



第 59 圖



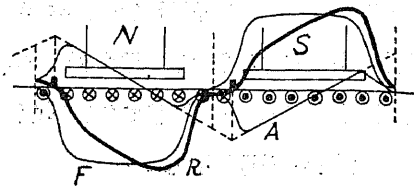
第 60 圖

* 發電子反作用が極起磁力と加はるところでは鐵の磁氣飽和の爲に磁束密度は餘り増さないが、兩者の差となるところでは磁束密度の減じ方が多いから全體としては磁束が減少する。

ひ、各捲線素子内の電流の方向を順次に變へて行くことである。第 60 圖は整流子片と厚さの等しい炭素刷子を使用し、これを中性點に置いた場合に刷子附近の捲線内の電流が廻轉に従つて變化して行く模様を圖示したものであつて、a, b, c 等は整流子片、整流子片間にある線輪は發電子捲線の一部であつて、重捲の場合には捲線素子一個に相當し、波捲の場合には磁極數の半分に等しい捲線素子を直列にしたものである。この場合刷子が中性點にあるから刷子附近の捲線には電壓は誘起されないが、是等と直列にある他の捲線の誘起電壓に依つて電流 i が兩方から刷子に流れて居る。今 (A) 圖の如く、整流子片 b が刷子と重なつた場合を考へると各線輪には圖の方向に i なる電流が流れる。發電子が廻轉するに従ひ刷子は漸次 b より c に移り、刷子が此等兩整流子片と接觸する面積は次第に變る。§ 35 ハに於て述べた様に炭素の抵抗は高く、線輪 cb の抵抗は殆ど無視することが出来るから、兩整流子片を通つて刷子に流る電流は刷子の接觸面積に逆比例し、従つて線輪 cb を流る電流は漸次減少し第 60 圖 (C) に示す様な位置に於て零となり、其の後反對の方向に漸次其の値を増し、第 60 圖 (E) に示す様な位置に於て再び i となる。かくの如く炭素刷子の接觸抵抗に依つて整流する方法を抵抗整流といひ、整流子用刷子に炭素を多く使用するはこの理由に因る。

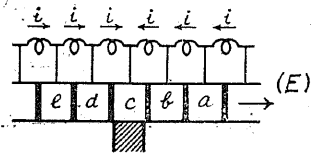
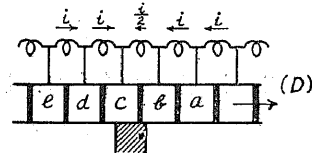
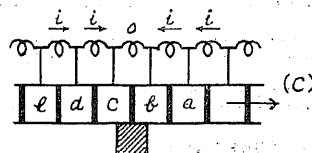
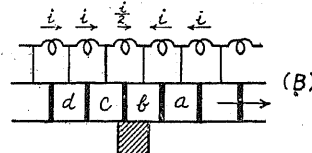
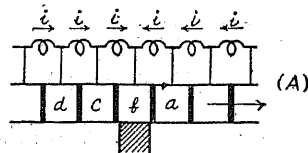
以上の説明に於ては捲線の自己誘導を考へなかつたが、實際はこの影響があるので線輪 cb の電流が減少する際にはこれを妨げる方向に電壓を誘起する。而して、誘起電壓は § 17 に述べた通り $e = -L \frac{di}{dt}$ であるから捲線の自己誘導係數、發電子電流及び發電子速度が大なるほど大となる。斯様な理由で、刷子は中性點に置き炭素刷子を使用しても、速度の高い發電機では電流の大なる時に自己誘導電壓に因つて刷子に火花を出し、整流子を痛めることがある。これを改善するには線輪 cb が (A) 圖の位置から (E) 圖の位置に行くまでに線輪に誘起する自己誘導電壓を打ち消すだけの逆起電力を與へればよい。この様な電壓は刷子

曲線の通りである。然るに發電子に電流が流れるとその起磁力の爲に同圖 A 曲線の如き磁束が加はることになるから空隙に於ける磁束密度は兩者の合成なる R 曲線の如き分布となる。斯様



第 59 圖

に發電子電流に依つて界磁束分布に變化を生ずる作用を發電子反作用 (Armature Reaction) といひ、其の結果は磁束密度零なる點が廻轉方向に進み、一極當りの磁束總數は減少することになる。^{*} 而して以上の變化は發電子電流が大なるほど大である。



第 60 圖

磁束密度が正より負に變化する途中の零となる位置を中性點 (Neutral Point) といふ。刷子は中性點に相當する點に置くべきであるから、發電子電流に依つて中性點が前述の如く廻轉方向に移動するに従つて刷子の位置も刷子進退器に依つて適當な位置に移さなければならない。かくして刷子を發電子電流に相當する中性點に移せば第 59 圖に示す如く發電子反作用も幾分變り、刷子移動の結果界磁束の減少は前よりも大となる。

□ 整 流

整流 (Commutation) とは發電子の廻轉に従

* 發電子反作用が磁極起磁力と加はるところでは鐵の磁氣飽和の爲に磁束密度は餘り増さないが、兩者の差となるところでは磁束密度の減じ方が多いから全體としては磁束が減少する。

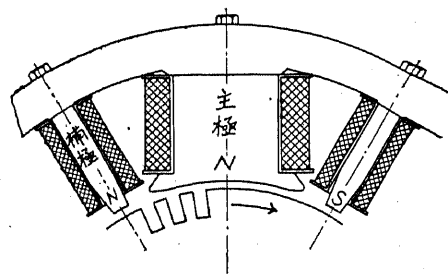
ひ、各捲線素子内の電流の方向を順次に變へて行くことである。第 60 圖は整流子片と厚さの等しい炭素刷子を使用し、これを中性點に置いた場合に刷子附近の捲線内の電流が廻轉に従つて變化して行く模様を圖示したものであつて、a、b、c 等は整流子片、整流子片間にある線輪は發電子捲線の一部であつて、重捲の場合には捲線素子一個に相當し、波捲の場合には磁極數の半分に等しい捲線素子を直列にしたものである。この場合刷子が中性點にあるから刷子附近の捲線には電壓は誘起されないが、是等と直列にある他の捲線の誘起電壓に依つて電流 i が兩方から刷子に流れて居る。今 (A) 圖の如く、整流子片 b が刷子と重なつた場合を考へると各線輪には圖の方向に i なる電流が流れる。發電子が廻轉するに従ひ刷子は漸次 b より c に移り、刷子が此等兩整流子片と接觸する面積は次第に變る。§ 35 ハに於て述べた様に炭素の抵抗は高く、線輪 cb の抵抗は殆ど無視することが出来るから、兩整流子片を通つて刷子に流る電流は刷子の接觸面積に逆比例し、従つて線輪 cb を流る電流は漸次減少し第 60 圖 (C) に示す様な位置に於て零となり、其の後反對の方向に漸次其の値を増し、第 60 圖 (E) に示す様な位置に於て再び i となる。かくの如く炭素刷子の接觸抵抗に依つて整流する方法を抵抗整流といひ、整流子用刷子に炭素を多く使用するのはこの理由に因る。

以上の説明に於ては捲線の自己誘導を考へなかつたが、實際はこの影響があるので線輪 cb の電流が減少する際にはこれを妨げる方向に電壓を誘起する。而して、誘起電壓は § 17 に述べた通り $e = -L \frac{di}{dt}$ であるから捲線の自己誘導係數、發電子電流及び發電子速度が大なるほど大となる。斯様な理由で、刷子は中性點に置き炭素刷子を使用しても、速度の高い發電機では電流の大なる時に自己誘導電壓に因つて刷子に火花を出し、整流子を痛めることがある。これを改善するには線輪 cb が (A) 圖の位置から (E) 圖の位置に行くまでに線輪に誘起する自己誘導電壓を打ち消すだけの逆起電力を與へればよい。この様な電壓は刷子

を發電機の廻轉方向に進めることに依つても得られる。此の場合には整流を受ける線輪の自己誘導起電力と、磁場に依る起電力とが方向相反するから兩者を等しくすれば火花を防止することが出来る。但しこの方法では負荷電流の大小に應じて刷子の進め方を加減しなければならぬ不便がある。

ハ 補 極

前述の如く刷子を進めて整流を行ふ代りに刷子は其儘幾何學的中性點に置き、廻轉方向に進んだ極と同名の極を中性點に新たに設け、その強さを加減して整流に必要な電壓（自己誘導起電力及發電子反作用）を短絡線輪に誘導せしめても無火花整流を行ふことが出来る。此の様な目的で作る磁極を補極（Interpole）といふ。補極は發電子電流に比例する磁場を作らなければならないから發電子と直列に結んで勵磁する。補極を有する發電機では刷子は負荷の大小に拘らず幾何學的中性點に置いて無火花整流を行ふことが出来る。第61圖は補極を有する發電機の一部を示すものである。補極を設ければ整流が良好となるばかりでなく、設計を適當にすれば能率を高め、形態も小とする事が出来るから、發電機にては數十キロワット以上の機械には皆これを備へ、電動機に於ては速度を變化する必要があるので更に小容量の機械にまでも廣く採用されてゐる。



第 61 圖

§ 57 直流發電機の特性及能率

イ 特性曲線

直流發電機は勵磁捲線の結び方に依つて性質が異なることは前に述べた通りである。個々の機械の性質を表はす曲線を一般に特性曲線（Characteristic Curve）といひ、通常は定格速度運轉に於けるものが用ひられる。一般に使用される特性曲線

は次の二種である。

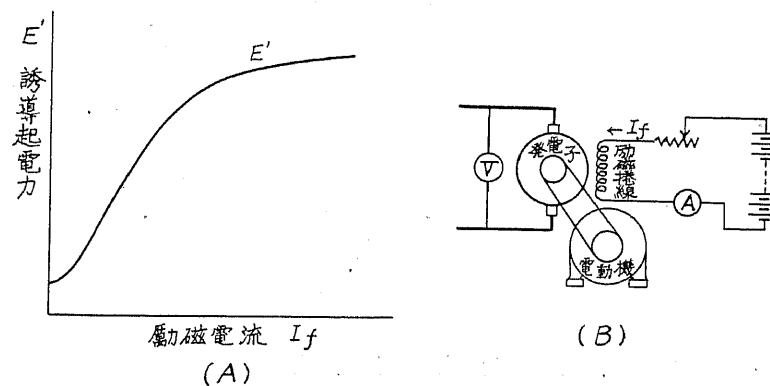
(1) 飽和曲線

發電機の飽和曲線（Saturation Curve）とは無負荷に於ける端子電壓即ち誘導起電力と勵磁電流との関係を定格廻轉數に對して畫いた曲線である。これを磁化曲線（Magnetization Curve）又は無負荷特性曲線（No Load Characteristic Curve）と云ふこともある。

§ 55 の (3) 式が示す通り發電機の無負荷誘導起電力は

$$E' = Mn\Phi \quad \text{ヴォルト}$$

であるから、定速度運轉に於ける無負荷誘導起電力は任意の勵磁電流に對する一極當り有效磁束數を示すことになる。第62圖(A)は飽和曲線の一例を示し、



第 62 圖

同圖(B)は試験接續圖であつて、供試發電機は適當なる原動機にて定速度で運轉し、勵磁電流は電流計④にて讀み、發電機無負荷誘導電壓は①なる電壓計にて讀む。

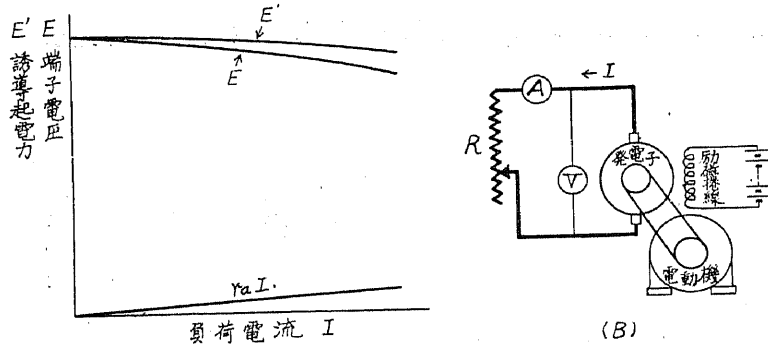
(2) 負荷特性曲線

* ヒステリシスの影響に依つて勵磁電流を増加する場合と減する場合とで誘導起電力に幾分の差がある。

負荷特性曲線(Load Characteristic Curve)とは定格廻轉數に於ける端子電壓 E と負荷電流 I との關係を示す曲線である。負荷特性曲線は外部特性曲線(External Characteristic Curve)とも云ひ、又略して單に特性曲線と云ふことも屢々ある。負荷特性曲線は發電機の種類に依つて異なるから別々に説明をする。

4 他勵式發電機

他勵式發電機では勵磁電流 I_f は常に一定と考へてよいが、發電機に負荷をかけると § 56 に述べた通り發電子反作用に依つて一極當り有效磁束數が減少するから、誘導起電力 E' は負荷が増すに従つて減少し、又發電子、補極捲線等の抵抗に依る抵抗電壓降下も同時に起る。第 63 圖(B)の如き接続にて負荷抵抗 R



(A) 第 63 圖

を變化し、これに對する端子電壓を求めれば同圖(A)の E 曲線が得られる。これが負荷特性曲線である。發電子(含補極捲線)抵抗を r_a とすれば同圖の $r_a I$ は發電子抵抗電壓降下を示し、これを E に加えた E' 曲線は發電機誘導起電力を表はすものであつて、負荷が増すに従つて發電子反作用に因つて誘導電壓が減じて行く様を示して居る。

b 分捲發電機

分捲發電機の特徴は大略他勵式發電機のそれと同様であるが、發電子反作用及抵抗電壓降下に因つて端子電壓が下るばかりでなく、勵磁電流も亦減少するから

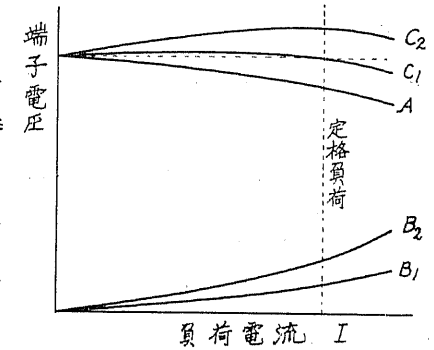
負荷に因る端子電壓の下り方は他勵式發電機の場合よりも多い。

c 直捲發電機

直捲發電機に於ては勵磁電流は通常負荷電流と等しいから、負荷電流が零の場合には誘導起電力は残留磁氣に相當するものとなり、負荷電流が増すに従つて界磁電流も増すから端子電壓は増すが、或る程度まで電流が増すと鐵心の飽和に依つて電壓の増加は止り、更に電流が増せば電流の増加に依つて電壓が下る様にもなる。

d 複捲發電機

複捲發電機は分捲線輪と直捲線輪とを併せ有するから其の特性も分捲發電機及び直捲發電機の間となる筈である。第 64 圖の A を分捲特性曲線、 B_1 又は B_2 を直捲特性曲線とすれば、複捲特性曲線は夫々 $C_1 = A + B_1$ 又は $C_2 = A + B_2$ の如き特性となる。 C_1 の如く負荷特性曲線が大略水平となる場合を平複捲(Flat-Compound)と云ひ、 C_2 の如く負荷の増加と共に端子電壓が昇



第 64 圖

る様な特性を過複捲(Over-Compound)といふ。故に特に端子電壓を一定に保つ必要のある場合には平複捲とし、遠方へ送電する場合の如く途中にて電壓降下が相當存在し、負荷端の電壓を一定に保ちたい場合には適當なる過複捲を用ひる。

□ 電壓變動率

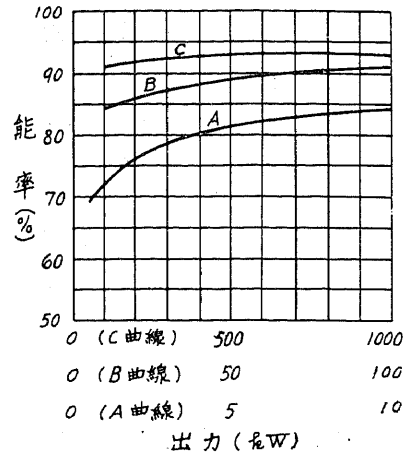
定格廻轉數及び定格負荷にて定格電壓となる様に界磁電流を調整し置き、界磁抵抗を不變として定格負荷から無負荷とした場合の兩電壓の差を定格電壓の百分率にて表はしたものを電壓變動率(Voltage Regulation)といふ。例へば上記の平複捲の場合は電壓變動率が零である。

ハ 能 率

直流発電機の能率とは発電機端子に於ける出力を発電機出力と発電機内部に於ける損失との和の百分率にて表した数字である。

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

発電機能率は通常全負荷附近にて最大であつて、負荷が少いほど悪くなり、又全負荷を超へても徐々に悪くなる。而して一般に容量が大となるほど能率は良くなる。第 65 圖は普通製品の種々の容量に對する全負荷能率の概数を示す。



第 65 圖

第三節 直流電動機

§ 58 直流電動機の原理及構造

直流電動機とは直流電力を機械的勢力に變換する機械であつて、其の原理は直流発電機と丁度逆である。即ち第 44 圖に於て刷子より矢の方向に電流を供給すれば、電流と磁氣とに依る力はフレミングの左手の法則によつて圖の廻轉方向と逆の方向に廻轉せしめることが判る。同圖の如く導體が二本のみの場合には導體が磁極下を離れると廻轉力は無くなるが、第 46 圖の如く導體を増せば互に直角に在る導體のどちらか一方が磁極下にあるから、導體の位置に関係なく絶えず廻轉力を發生し得る。かくして導體數を増すに従ひ廻轉力が益々平等となることも発電機の導體數を増すに従つて電壓の瞬時値の變動が少くなるのと同様である。

発電機の圖面に依つて電動機の現象を考へる場合には發電子内の電流の方向及界磁の極性を元通りとし、廻轉方向を逆にしても、廻轉方向及界磁極性を元通りとして發電子電流の方向を逆にしても同じである。本書に於ては前者に依つて説

明することにする。

斯様に直流電動機の原理は発電機の原理と密接な關係に在り、兩者の構造も殆んど同一であつて、只細部に亘り幾分の差を生ずることもあると云ふに過ぎない。

電動機の場合には発電機の發電子と稱した部分を電動子 (Armature) といふ。かく發電子と電動子とは目的こそ異なるが構造が同一であるから兩者を一括して電機子と稱へることが屢々ある。

§ 59 直流電動機の一般的性質

イ 端子電壓及逆起電力

電動機正負兩端子間にて測つた供給電壓を端子電壓 (Terminal Voltage) といふ。電動機が或る速度にて廻轉して居る時は導體が磁束を切り乍ら運動するのであるから § 55 に述べた如く

$$E' = \frac{Z}{c} \times \frac{n}{60} P\Phi \times 10^{-8}$$

$$= Mn\Phi \text{ ヴォルト} \dots\dots\dots(1)$$

なる電壓が電動子に誘發し、その方向は廻轉方向が発電機の場合と反對であるから電流の方向即ち電源電壓と逆になる。これを逆起電力 (Counter Electromotive Force) といふ。故に r を電動機主回路の總抵抗とすれば端子電壓は逆起電力と電動機内部の抵抗電壓降下との和に等しくなければならない。即ち

$$\text{端子電壓} = E = E' + rI \dots\dots\dots(2)$$

□ 速度 (又は廻轉數)

前項の (2) 式に (1) 式を代入し、 n に就て解けば次の如くなる。

$$n = \frac{E - Ir}{M\Phi} \dots\dots\dots(3)$$

但し

n = 毎分廻轉數

E = 端子電壓、ヴォルト

I = 電動子電流、^{*}アムペア

r = 電動子及直列捲線 (含補極捲線) の合成抵抗, オーム

Φ = 磁極毎の有効磁束數, ガウス

$$M = \frac{Z}{c} \times \frac{P}{60} \times 10^{-8} = \text{定數}$$

(3) 式は電動機速度と端子電壓、電流、一極毎の磁束數などとの関係を示すものであつて、例へば Φ を一定とすれば E の大なるほど、又 I の小なるほど廻轉數は大となることを示す。

ハ 廻轉力及出力

電動機の廻轉力 (Torque) を T 珎米、廻轉數を毎分 n とすれば機械的出力 W は次式にて表はされる。

$$\begin{aligned} W &= \frac{n}{60} \times 2\pi \times T \text{ 珎米/秒}^{**} \\ &= 981 \times 1000 \times 100 \times \frac{n}{60} \times 2\pi T \text{ エルグ/秒}^{***} \\ &= 1.026 nT \text{ ワット} \end{aligned}$$

次に電氣的入力 $EI = E'I + rI^2$ の中、 rI^2 は熱として失はれるから $E'I$ のみが機械的勢力に變換される。故に無負荷損失を無視すれば次式が成立する。

$$1.026 nT = nM\Phi I \quad \text{即ち} \quad T = 0.975 M\Phi I \text{ (珎米)} \dots\dots(4)$$

ニ 能 率

電動機の能率は發電機の場合と同様に大容量のものほど良く、又同一機械に就ては全負荷附近に於て最高能率を示す。第 65 圖の曲線は電動機に對しても利用し得る。

§ 60 各種電動機の特性

* 分捲線電流を無視すれば負荷電流に等しい。
 ** 1 ダインの力が働きて 1 珎動きたる時の仕事を 1 エルグと云ひ、1 ワット = 1 ジュール/秒 = 10^7 エルグ/秒で、又 1 珎米/秒 = 9.81×10^7 エルグ/秒である。
 *** 無負荷損失とは軸及刷子の摩擦損、風損及鐵損等より成るものにして、全出力の数パーセントに過ぎない。

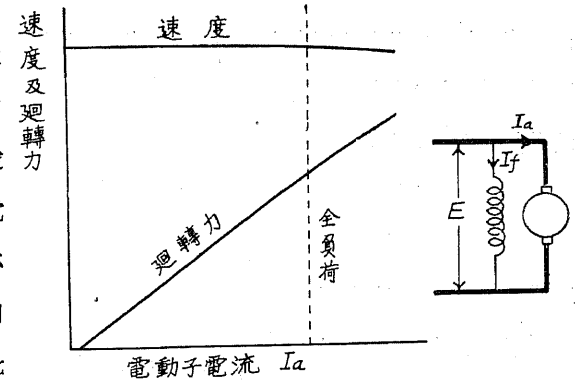
直流電動機は發電機と同様に勵磁捲線の結び方に依つて分捲電動機、直捲電動機及複捲電動機の三種に大別される。是等電動機の特性及用途の大略は次の通りである。

イ 分捲電動機

電源の電壓は通常一定に保たれるから分捲電動機 (Shunt Motor) の界磁電流従つて Φ は一定と考へてよい。故に § 59 の (3) 式に於て、負荷に依つて變化する項は rI のみであるが、 r は非常に小さく従つて電動機の使用範圍に於ける rI は供給電壓 E に比し無視しても差支無い位小であるから、負荷の多少に拘らず廻轉數は略々一定である。斯様に負荷が變つても速度の殆ど變らない特性を分捲特性 (Shunt Characteristic) と云ふ。

上の事實を今少しく細かに考へると、勵磁電流は一定でも負荷の増加と共に電動子反作用に依つて有効磁束 Φ を減少するが、一方負荷電流 I の増加に依つて分子も小となり、通常は分子の減少率が分母より大であるから速度は結局負荷の増加に従つて幾分か下る。その程度は無負荷と全負荷の間で 2% 乃至 6% である。

分捲電動機の廻轉力は $T = 0.975 M\Phi I$ に於て Φ が前述の如く大體一定であるから、大略負荷電流に比例するが、負荷が大となると電動子反作用の爲に Φ が減ずるから比例よりは幾分か小となる



第 66 圖

* 電動子電流の方向を發電機の場合と同一とすれば電動子反作用は第 58 圖又は第 59 圖と同一であつて、廻轉方向のみが矢の方向と反對になる。

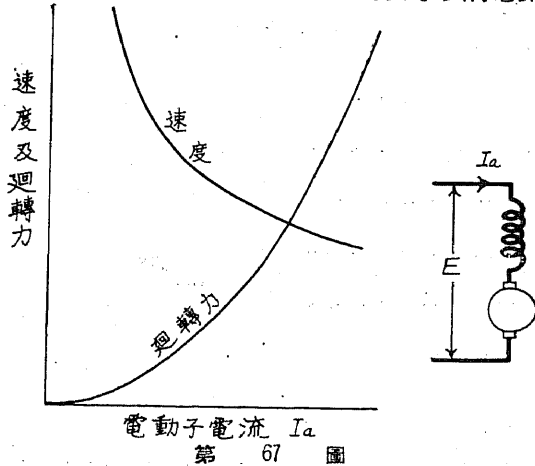
電動機運轉上重要な點は其の速度及廻轉力であるからこの兩者を負荷電流に對して畫いた曲線が一般に用ひられ、これを電動機特性曲線と云ふ。第66圖は分捲電動機の特性曲線を示す。

□ 直捲電動機

直捲電動機(Series Motor)に於ては電動子電流 I_a は界磁電流に等しいから Φ は I_a に依り飽和曲線に従つて變り、 I_a の小なる間は Φ は I_a に大體比例し、 I_a が大となるに従つて磁氣飽和及電動子反作用の爲に Φ の増加は少くなる。故に廻轉力 $T = 0.975 M\Phi I_a$ は電流の少い間は大略電流の二乗に比例して増し電流が大となるに従ひ其の増加は幾分減する。之を分捲電動機の場合と比べて見ると、廻轉力の變化が電流の一乗と二乗といふ大なる相異があるばかりでなく、分捲電動機では主磁極の起磁力が一定であるのに電動子反作用のみが増加して行くから其の影響は大であるが、直捲電動機に於ては電動子反作用が増加すると共に主磁極の起磁力も同じやうに増して行くから電動子反作用の悪影響は割合に輕くなる。故に大なる廻轉力を要する場合には直捲電動機が適當である。

次に速度に関しては $n = \frac{E - rI_a}{M\Phi}$ に於て大略分子は一定であるが分母が負荷電流に比例するから速度は略と負荷電流に反比例することが判る。負荷電流は

電動子軸に加えられる機械的負荷によつて定り、重い荷をかければそれに相當する廻轉力を出す爲に負荷電流は増し、従つて速度は下つて来る。逆に荷を輕くすれば負荷電流は減じ、従つて速度は上つて来る。故に直捲電動機には運轉中常に



第 67 圖

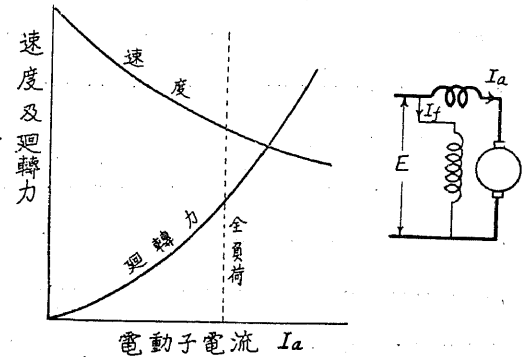
或る程度の荷をかけて置かないと過速度の爲に機械を破壊する虞れがある。第67圖は直捲電動機の特性曲線を示す。

以上の説明より明かな様に、直捲電動機は變速度の機械で低速度特に起動の際大なる廻轉力を出し、尙大なる廻轉力を要する場合には速度が自動的に減少するため出力の過大なる變動を避くる事が出来る。故に電車、起重機、捲揚機等には最も適當してゐる。

ハ 和働復捲電動機

和働復捲電動機 (Cumulative Compound Motor) といふのは直捲線輪の起磁力と分捲線輪の起磁力とが加はる如くに接続された復捲電動機であつて直捲電動機と復捲電動機との長所を組合せた様なものであるから、兩線輪のアムペア回数の割合の定め方に依つて直捲電動機と分捲電動機との中間の任意の特性が得られる。第68圖はその特性の

一例を示したもので、起動時には直捲線輪に大なる電流が流れるからその廻轉力は分捲電動機よりも大で、又無負荷のときも速度は或る限度以下にあるから岩石破碎機、剪斷機、穿孔機等の如く重負荷と無負荷とが線返して起る様な場合には



第 68 圖

最も適當し、其他起動の時のみに大なる廻轉力を要し、その後は割合に變らない速度で運轉する様なもの、たとへば昇降機や捲揚機等に廣く用ひられて居る。

ニ 差働復捲電動機

差働復捲電動機 (Differential Compound Motor) は直捲線輪の起磁力が分捲線

輪の起磁力を打ち消す様に接続された複捲電動機であつて、和働複捲電動機と同様に兩線輪のアムペア回数の割合の定め方に依つて特性の異つたものを造り得るが、通常使用されるのは差働直捲線輪を僅かに働かせ、負荷の如何に拘らず一定速度となる様なものである。

§ 61 直流電動機の起動及速度制御

電動機が停止中は逆起電力は零であるから之に正規電圧 E を加えれば

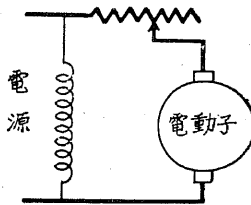
$$I_a = \frac{E}{r}$$

なる電流が流れる。但し r は電動子回路の總抵抗である。運轉中の能率を高める爲には r は出来る限り小でなければならない、従つて I_a は頗る大なる値となり、全負荷電流の 20 倍乃至 70 倍にも上る。斯様な電流は電動機自体に危険を及ぼすから適當な抵抗を臨時に挿入して電流を必要な限度に制限しなければならない。この目的に使用する抵抗を起動抵抗(Starting Resistance) といひ、その抵抗を加減する装置を起動器(Starter) といふ。

運轉中の電動機を速度を希望通りに變化する爲にも亦種々の附屬装置を要するもので、次に各種電動機に対する起動及速度制御の方法を述べることにする。

イ 分捲電動機

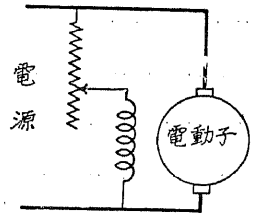
成るべく小電流にて必要なる起動廻轉力を得る爲には ϕ は出来る限り大とし、電動子電流 I_a を必要限度に止めればよい。故に起動の際には界磁電流 I_f は供給電壓と界磁線輪抵抗から定まる最大値として置き、電動子電流のみを制限する爲に第 69 圖の如き接続にて抵抗を適當に加減するのである。



第 69 圖

次に運轉中の分捲電動機を速度を加減するには矢張第 69 圖の接続に依り、電動子に加はる電圧 E を加減する方法と、第 70 圖の接続に依り界磁電流 I_f を加減して ϕ を變化する方法とがある。前者は電動子電流を減することになるか

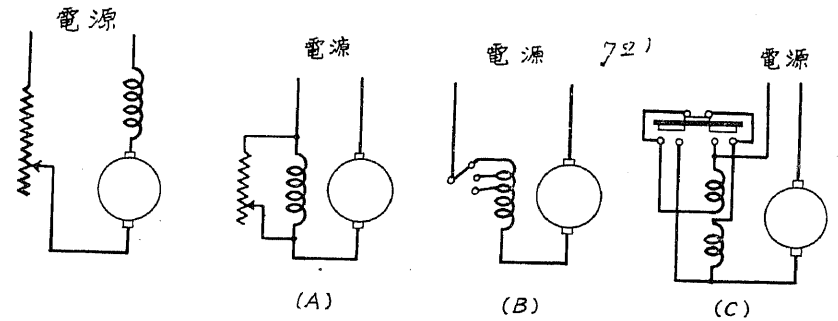
ら電動子反作用は減じ、整流を悪くする事はないが、大なる電動子電流を加減するのであるから加減抵抗器の價格が高く、之に依つて失はれる電力も大であり、又負荷の大小によつて加減抵抗器の電壓降下が變るから速度變動率も大となる。後者に於ては界磁電流は電動子電流に比し遙に小であるから加減抵抗器の價格及その損失は少いが、界磁電流を規定値より減少することになるので電動子反作用の影響が甚しくなり、或る値以上に速度を上げることは出来ない。



第 70 圖

□ 直捲電動機

直捲電動機では界磁電流及電動子電流を各單獨に制御することは出来ないから第 71 圖の如く起動時には兩者に直列に起動抵抗を挿入する。速度制御の爲めに界磁捲線の電流及接続を變化し得るものに於ては起動時には界磁々束が最大となる如くして置く。直捲電動機を速度制御には矢張有效磁束 ϕ を變化する方法と端子電壓を變化する方法とがある。前者には界磁線輪に並列に抵抗を挿入して勵磁



第 71 圖

第 72 圖

電流を減少する方法(第 72 圖 A)、界磁捲線の捲回数切り換へる方法(第 72 圖 B) 及び界磁線輪を二分し、直並列制御する方法(第 72 圖 C) があるが、孰れに

* 無補極機にては I_f は規定値の 60% を限度とする。

** 自己誘導を有する抵抗を使用する方がよい。

しても分捲電動機の場合と同じく起磁力を一定以下に減少することは出来ない。後者には電動子回路に直列に抵抗を挿入する方法と、同一電動機が幾個かある場合にはそれ等を直列より並列に結び變へる方法とがある。抵抗を用ひる方法は任意に速度を下けることが出来るが、損失が多く又速度變動率を悪くする。電動機の結び變へに依る方法は損失はないが、變化し得る段階が少い。實際には以上の諸方法を組合せ、成るべく損失が少くてしかも速度段階が多くなる様に行つて居る。

ハ 複捲電動機

和働複捲電動機の起動は前記イ及ロの兩者に對する原則に適ふ様に行ふのである。又速度制御には電動子に加はる電壓を抵抗にて加減する方法が行はれて居る。

差働複捲に於ては起動時に直捲線輪に流れる電流の爲に界磁が逆變し、逆方向に起動することがあるから、起動に當つては直捲線輪を短絡しなければならぬ場合がある。