

萬有文庫

第一集一千種

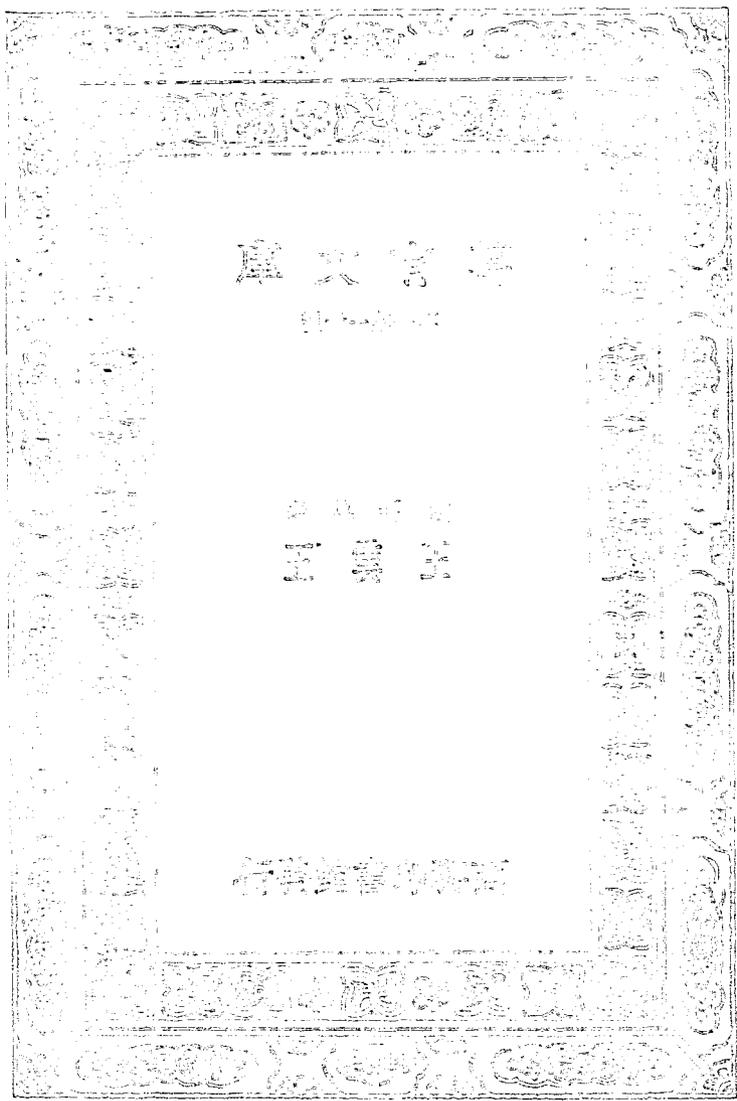
王雲五主編

直流電機

尤佳章著



商務印書館發行



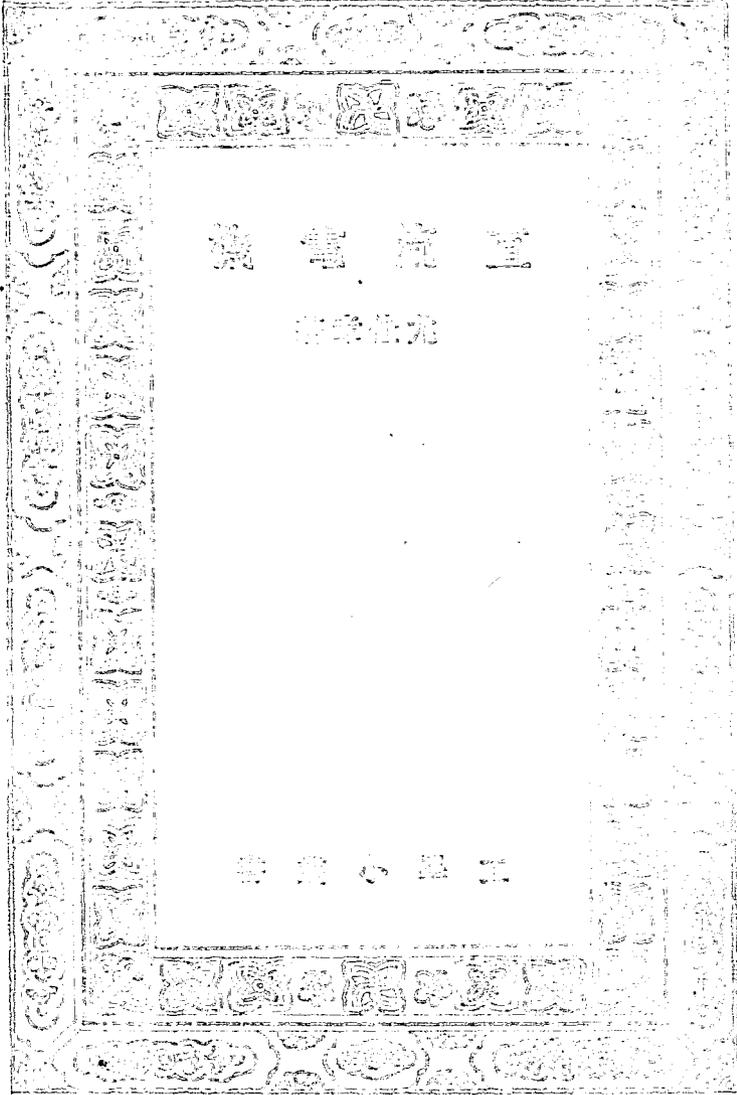
真 文 書

卷之二

三
四
五

三
四
五

041236



直流電機

目錄

第一章	基本觀念及定律	一
第一節	導言	一
第二節	電子論	四
第三節	磁鐵與磁場	八
第四節	電磁感應	一〇
第五節	電壓電流電阻	一三
第六節	電路及磁路	一六
第二章	直流電機之構造	二四

第一節	構造大要	二四
第二節	軛及磁極	二六
第三節	發電子	二八
第四節	發電子之作用	三〇
第五節	整流子及其作用	三二
第六節	刷子	三四
第二章	發電子線捲	三六
第一節	環式線捲	三六
第二節	迴繞式線捲	三七
第三節	波式線捲	四〇
第四節	環式迴繞式波式之比較	四一
第五節	複式線捲	四二

第六節	二層線捲	四九
第七節	同位連接線	五〇
第四章 磁化作用五三		
第一節	磁化曲線	五三
第二節	磁化曲線之測定	五五
第三節	發電子之磁化作用	五八
第四節	交磁化與反磁化	六二
第五節	磁場之分佈	六四
第五章 發電機之運用六六		
第一節	發電機之業務	六六
第二節	特性曲線	六九
第三節	他勵發電機之特性曲線	七〇

第四節	連列發電機之特性曲線·····	七六
第五節	並列發電機之特性曲線·····	七八
第六節	複式發電機之特性曲線·····	八一
第七節	發電機之並列運用·····	八六
第八節	三線發電機·····	八九
第六章	電動機之運用·····	九一
第一節	電動機之業務·····	九二
第二節	反電動力旋力及工力·····	九三
第三節	他勵電動機之特性曲線·····	九六
第四節	並列電動機之特性曲線·····	一〇一
第五節	連列電動機之特性曲線·····	一〇二
第六節	複式電動機之特性曲線·····	一〇四

第七節	連列電動機之應用	一〇七
第七章	效率定額及發熱	一〇九
第一節	法定效率與計量效率	一〇九
第二節	耗損之種類	一一一
第三節	最高效率與全日效率	一一五
第四節	定額與容量	一一八
第五節	發熱限度	一二〇
第八章	其他各式電機	一二二
第一節	電動發電機	一二三
第二節	臥輪發電機	一二三
第三節	整流磁極機	一二六
第四節	單極機	一二六

第五節	升壓機	一二七
第六節	均壓機	一三一
第七節	羅森堡電機	一三三
第八節	三刷發電機	一三四
第九章	附屬電器	一三六
第一節	電壓表	一三六
第二節	電流表	一三七
第三節	瓦特表	一三七
第四節	電阻器	一三八
第五節	熔線	一三九
第六節	斷路器	一四〇
第七節	起動器	一四一
第八節	整壓器	一四二

直流電機

第一章 基本觀念及定律

第一節 導言

近世應用最廣而發達最速者，孰有甚於電學者乎？電之觀念甚古，希臘人於西元前六百年時已識其端倪，所謂以絲巾擦琥珀能吸引輕物如燈草球者是已。降至西元後一六〇〇年，乃有吉爾伯特爵士 (Sir William Gilbert) 者，發見具此性質之物非止琥珀一種，他若玻璃，黑橡皮，火漆，松脂等，以絲綢絨布等擦之，亦能具此吸引之力。物因摩擦而生吸力者，謂之感電。感電之性質可分二類，昔人以火漆與玻璃爲此二類之代表。緣感電之玻璃與感電之火漆對於另一感電之物，往往一

吸一拒，適成相反。於是有息姆涅 (Symmer) 者倡二流質之說，以解釋此現象。所謂二流質者，蓋以電爲流質，有陰陽二性之區別，故昔人以絲巾擦玻璃所生之電，稱曰玻璃電，後以陽電或正電名之；以獸皮或絨布擦火漆所生者，稱曰火漆電，後以陰電或負電名之。

十八世紀之初年，有佛蘭克林「卡雅明」(Benjamin Franklin) 者，世所通認爲電學鼻祖者也。佛蘭克林不特爲電學家而已，抑亦美國傑出之政治家與外交家，其於電之本體，主單流質之說，與二流質成敵對。佛氏此說頗與今之電子說暗合，所異者電子爲陰性，而單流質爲陽性而已。其說謂凡物皆含此質，各有定量，逾此量則感陽電，不及則感陰電。

夫上述電象之發見，始於希臘，固矣，不知電象之表現於自然界中而爲吾人類所熟觀者，實不知其幾千萬年之前於希臘也。在佛氏以前，人徒知天空之閃電爲一物，而摩擦之靜電爲又一物。氏由精密之觀察，遂疑及二者之爲一物，且思打破其界限而證實之。某夏，佛蘭克林製絲鳶一具，以金屬線爲其纜，俟雷雨之日，升於空際，鳶感天空之閃電，由線下導，充於來丁瓶 (Leyden jar) 中，放之則發火花，可燃酒精，直與摩擦所得者無異。自此人類不啻征服天空之怪物，得儲之於瓶而考其體

用焉。

雖然，靜電之智識猶未足以供用，必有動電之學而其用乃廣。十八世紀之末葉，意大利教授弗打（Volta）發明電瓶，通稱曰弗打電瓶（Voltaic cell），是爲有動電之始。初有波倫亞（Bologna）大學解剖學教授賈法尼（Galvani）者，以二種異金屬相接，將一端觸一蛙腿，又一端觸蛙之神經，蛙之肌肉卽起劇烈之收縮，雖死蛙亦然。弗打鑒於賈法尼之試驗，遂依據其理，用異金屬片二枚，浸入一溶液中，復以金屬線連接二片，線中卽有繼續流行之動電，是名電流（current）。今日之乾電瓶及蓄電池（storage battery）等，咸濫觴於此。

電流之取給於電瓶，限於少量，不足以備工業界之取用，且價值昂貴，勢難望其發展。一八一九年，丹麥教授厄斯忒德（Oersted）作一著名之試驗，示磁針之方向，爲一附近之電流所偏移，電磁學之基礎於以奠立。同時有英人法拉第（Michael Faraday）者，於一八三一年發明磁石感應電流之理。蓋磁石四周有磁力線，名曰磁場（magnetic field），以金屬線運動於磁場，使磁線爲之割截，則金屬線中卽有電流感生，今之發電機（generator）、電動機（motor），皆依據此電磁感應之

基本原理而製。法氏家世微賤，父業鐵匠，氏少時習裝書術於某書肆，暇則展卷自讀，其刻苦奮勵，世所罕見。既而聞化學名家德斐爵士 (Sir Humphry Davy) 之演講，遂喜斯學。至一八一三年為德斐助理員，從事試驗，後十餘年遂有此偉大之發明，開科學界之新紀元；近世工商業之發達，法拉第之功誠不可掩矣。

第二節 電子論

電之本體若何？此問殊難置答。今所欲言者，亦惟有假設的理論而已。先哲若佛蘭克林，息謨涅，威主電為流質，惟不若油，水之可見。厥後學者於電之現象，知之益審，同時物理學者與化學者，於物質之本原，漸得窺見其蘊奧，如分子 (molecule)，原子 (atom)，放射性 (radioactivity)，原子價 (valency)，離子 (ion) 等根本觀念，漸次成立。由是知舊說之不足，乃欲另立一說，以解釋繁複紊亂之種種電象，並冀其與已立之基本觀念，適相符合。能具足上述之條件者，曰惟電子學說而已。然則何為而知電之本體為電子乎？是有實驗在，非憑空虛構者也。

初，英人克魯克爵士 (Sir William Crookes) 製有真空管一具，置兩電極於管中，而通電於兩極之間。當管中空氣未盡時，空氣電解為離子，善於導電，故有火花發生兩極間；迨管中空氣抽盡，則前之火花變為慘淡之螢光，是名陰極（即射出電子之極）光線 (cathode ray)。此種光線得用電表量之，因知此線純屬電性，迥異於尋常光線及普通三態（氣體、液體、固體）之物質，故克魯克稱爲第四態之物質。且此線方向，可用磁石偏移之，此亦爲電性之證。其透射力甚大，能透過薄片金屬如鋁片等。羅氏而起者，有發明愛克司光線 (X rays) 之羅琴 (Röntgen) 氏。愛克司光線即從陰極線取得者也。當陰極線射一金屬片上，突被阻止，遂生愛克司線，其透射力尤較陰極線爲大，皮肉金石，不爲所阻，人目不能見，惟照相片可以感之。

羅琴發見此怪特之光線而後，一般科學家咸注意於放射性之物質如鈾 (uranium) 與鉀 (potassium) 之硫化物等，因是而有居禮夫人 (Madame Curie) 發見之釷 (thorium) 鏷 (polonium) 銣 (radium) 亦作鐳) 三原質，皆具有放射之特性者。放射之光線可分三種，一爲甲種光線 (α-ray)，二爲乙種光線 (β-ray)，三爲丙種光線 (γ-ray)。甲種線係氦 (helium) 原子流所成，乙種即陰

極線，丙種即愛克司線。自有上述之種種發見而後，關於物質之構造及電之本體，於以大明。乃知陰極線（即乙種線）係電子流所成，電子者，陰性之電體，而萬物之所由構成也。

科學家既知電子為電體之最小單位——亦即萬物之最小單位——乃復進而推求電子之大小、重量、電量，以及各原子之如何由電子組成。據精密之實驗所得，電子之形狀當為球體，具有彈性；其半徑為 2×10^{-13} 公分，即十兆（萬萬為億，萬億為兆）分之二公分；其質量 (mass) 為 8.8×10^{-28} 公分（格蘭姆），即十萬兆分之八十八公分；其電量或電荷 (charge) 為 1.59×10^{-19} 庫隆 (coulomb 電量之單位) ①。

世間萬物，皆由九十二種原質（已發見者尚不及此數，約八十餘種）互相化合或混合而成。分析原質至最後一步時，得最小之微塵曰原子。昔人以為原子乃最小之個體，不可復分。今知原子仍是一組合之體，非不可分者。原子之中心有一陽核，核之周圍有若干陰電子（其數目各原子不

①欲知此等數值之求法，可參看 J. J. Thomson: *Conduction of Electricity through Gases*。

一) 依一定之軌道而旋轉，故電子之於陽核（陽電子集合之體），猶行星之於太陽，是微小之原子亦一太陽系也。以質量論，陽核重於陰電子約二千倍；以直徑論，陽核小於陰電子亦約二千倍。陰電子直徑與其軌道直徑之比，正如地球之於其軌道。今試以氫（即輕氣）原子為例，其中心有陽核一，繞核旋轉者有陰電子一，軌道作圓形，其直徑為 10^{-10} 公分。陽核之電量，適與陰電子之電量相等而相消，是為中性狀態。電子之數，各原子不一，如氫原子有電子二，鈉 (sodium) 原子有十一，氖 (neon) 原子十，銅原子二十九。然數目雖異，而與陽核相消成爲中性，則一也。若從原子中固有之電子，減去若干，則原子現陽性；反之，如加增若干，則現陰性。陰性原子與陽性者常有相吸之勢，此化學愛力 (chemical affinity) 所由來也。

電子之理既明，則昔之視摩擦生電爲神怪者，可以悟矣。當以絲巾擦玻璃時，絲巾奪去玻璃之電子，故現陰性；玻璃以失去陰性電子故，遂成陽性。苟以絲巾觸玻璃，則電子歸至玻璃，二物皆成中性矣。又若以陰性之火漆桿引一燈草球，前者之過量電子欲躍至後者之上，二者遂成相吸，及桿與球相觸，則電子已至球上，二者皆成陰性，遂變吸引而爲抵拒。類此種種變化，以及自然界之電象，工

業界之用電，無不可以電子之說爲之析疑剖難也。

第三節 磁鐵與磁場

電子之爲萬物最小單位，已爲物理學界所公認，而與電子關係最切者，莫如磁；然電與磁二者，吾人祇知其現象上之關係，至於二者之本體，爲一爲二，爲同爲異，則猶未之知也。磁之一字，初指一種氯化鐵之礦石（ Fe_3O_4 ），爲天然具有磁性之物。設以鐵針與此天然磁石相摩，則針亦感磁性；此法知之甚早。迨夫十九世紀，始發明以電流感磁之法，即以銅線繞於鐵棒上，再令電流通入線圈中，未幾而鐵棒化爲磁性矣。無論人造磁或天然磁，無論其形式若何，必有二部爲吸力最強之點，其性相反，是爲磁極，兩極之間爲中性部分。但磁性雖顯現於兩極，而實磁石之各部無不具此；即分析至極微，亦自成一完具兩極之磁石。在未經磁化之鋼鐵，此等原磁紛亂無序，其磁力互相抵消，故此鋼鐵不呈磁性；倘能設法使大多數之原磁，排列齊整，則磁力顯現，即成磁化。

設取一磁針，支其重心，俾能自由旋轉，則其兩極所指必爲南北向，即一端指南，一端指北；指北

之端爲地球（乃天然之一大磁石）之北極所吸，此端實爲南極，而通稱曰北極；指南之端，實爲北極，而通稱曰南極。若以另一磁針置此針之旁，則見同極相拒，異極相吸，與電性同。

吾人若以鐵屑灑紙上，而以磁鐵置紙下，則鐵屑因感應而磁化，異極相吸，連成無數細線，綜其端於兩端，是爲磁力線（magnetic lines of force），此線所經之處，謂之磁場（magnetic field）。

自一八一九年厄斯忒德發見電流吸引磁針之現象，於是知電流導線之周圍有磁力線環。若電流之方向爲前進，則磁線之方向爲右旋，故二者方向之關係，可以右旋螺釘代表之——即通稱爲右旋螺定則（right-hand-screw rule）者是也。將導線旋繞成筒狀，而通以電流，則導線四周之磁線環互相聯合，如第二圖， P_1 爲磁線發出之端，等於磁石之北極，另一端爲南極。磁線與電流之方向關係，與前例相類——即筒內力線之方向，即係螺釘進行之方向，而此釘之右旋即係電流之方



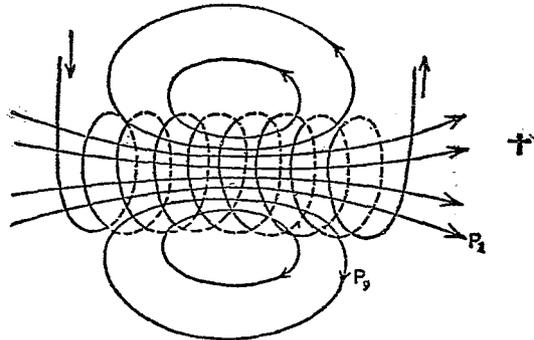
第一圖 磁場中之力線

向也。

吾人若以鐵心納入上圖之線筒中，則鐵受磁化，而此磁之磁場，乃遠較未有鐵心時之磁場為強，此以鐵之導磁率 (permeability) 高於空氣 (導磁率為一) 數千百倍也。導磁率者，即物質傳導磁力線之能力。凡為磁性之物質 (即能為磁石所吸引者，如鐵，鎳，鈷等)，其導磁率大都甚高；至反磁性之物質 (即為磁石兩極所拒者，如鋇，銻，銅，銀等)，其導磁率則每在空氣之下。

第四節 電磁感應

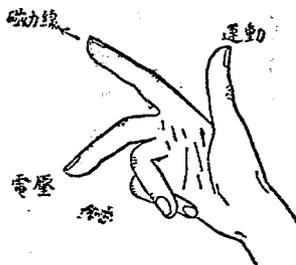
法拉第於一八三一年，發明電磁感應之理，是為發電機 (generator) 與電動機 (motor) 之基本原理。法氏用一銅線環，置於不均等之磁場中，使磁力線穿入環內 (如第三圖)，然後將環移動



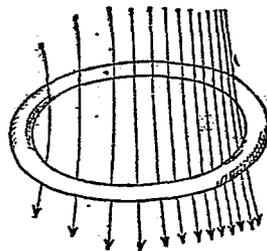
第二圖 電流綫筒中之磁力線

或旋轉，令變更環內之力線數目，即變更磁場之強度，結果則銅環中有一電流感應而生。此電流之生，乃由於變更磁場所感應之電壓，猶靜水之必待壓力而後流也。電壓之方向與電流同，或前或後，視導線運動之方向與磁力線之方向（例指力線從南極入，從北極出之方向）為斷。說明此三者之關係者，曰佛來銘右手定則 (Fleming's right-hand rule)，略如下述：首以右手之大指，食指，中指，三者互成直角，代表空間之三向（如第四圖），中指為導線，與食指之磁力線成直角；若導線運動之方向，自下而上，如大姆指所指，而磁線方向為食指所指，則此導線（中指）中所感應之電壓方向，適如中指所指之向。此定則所以表明發電機之作用，頗為重要。

由此感應之電流，當然亦有磁線環繞於導線之周圍，其方



第四圖 佛來銘右手定則
——發電機作用



第三圖 磁場中之線環

向可以右旋螺釘法定之；但從實驗所得，此磁線方向常與割截導線產生電流之磁線相反——換言之，卽具有抵抗發電之作用。例如第三圖中之磁場，假定銅環之右邊能在場中向右伸展，增加環之面積，則環中感應之電流，其方向必爲左旋（與時鐘指針之行動相反）無疑，於是此電流在環中所生之磁線，乃成自下而上，與原有之磁場相反。最先發明此理者，爲楞次（Lenz），故通稱爲楞次定律。

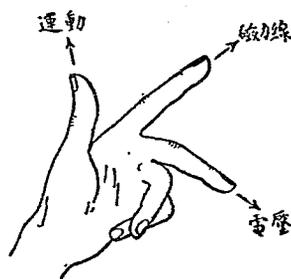
觀上所述，則知機械能，可藉電磁之感應而變爲電能；然則電能果亦能變爲機械能耶？解決此問題者，實始於厄斯忒德。厄氏嘗發見以電流線置於羅盤針上，而磁針爲之偏移，此卽電能變爲機械能之證。試以第三圖中之銅環，通以電流，並令環面與磁場平行，則環中所生之磁場適與原有者成直角，猶如直角相交之二磁鐵桿；磁與磁既有同極相拒異極相吸之力，則在此情形下，二磁場必因此力而變成平行；若原有之磁場爲固定，則銅環必將旋轉九十度角，至環面與原磁場成直角而止。

上述之作用，名電動機作用，卽製造電動機之基本原理。在此種作用中，電流與磁場與運動之

方向，亦有一定關係，與發電作用相似；其表明此項關係之定則，名佛來銘左手定則。首以左手之姆指，食指，中指，互成直角（見第五圖），以中指代電流方向，食指代磁線方向，姆指所指即為導綫運動之向。電動作用之異於發電作用，在運動，磁場，電流三者之中，任令二項相同，餘一必成相反而已。楞次定律亦適用於此項電動作用，蓋上述之銅環，因磁場之相吸相拒而旋轉時，環中之磁線數亦隨而變更；此時銅綫中即因發電作用而生電流；但運動與磁場之方向未嘗變更，故知此電流之方向，必與綫中原有之電流相反。

第五節 電壓電流電阻

江河之水，流行不息，此由上流之水高於下流，遂發生壓力以成湍流；電流亦然，不有電壓，電流無由而成，而電壓之生，亦因電位之有差也。（今茲所稱電壓電流，乃指均等之直而言，與時時交



第五圖 佛來銘左手定則
——電動機作用

變之交流迥異，故可擬之於勻靜之水流。電壓亦名電動力，電流之大小視動力之大小而異；然電流行於電路之中，必有阻力以滯之，故其大小，又當視電阻之大小爲斷。電流之行於電路，猶行人之行於街衢，路寬則流速，路狹則流遲。此電壓、電流、電阻三者之數量，常有一定的算學關係，最先發明之者爲歐姆（Ohm），創有歐姆定律以範圍之，其律如下：

$$\text{電流} = \frac{\text{電壓}}{\text{電阻}}$$

其意謂電流之量，與電壓成正比，而與電阻成反比。電流之實用單位爲安培，電壓單位爲弗打，電阻爲歐姆。例如有電壓一百十弗打，電阻爲五十五歐姆，則電流量爲二安培。

電路中之電阻大小，視導綫之物質，及綫之粗細，與溫度之高低而定。導電最良者莫如銅，其他金屬之導電率，各有等差，而多屬良導體；其不善導電之物，稱爲絕緣物，所以阻電流之通過，如瓷、橡皮、玻璃、布帛、雲母等。良導體與不良導體（即絕緣體）同爲電機中主要之材料。以同導體而言，其切面大者電阻小，切面小者電阻大，蓋大則便於電子之行動也。至於溫度之影響於電阻，可分兩種：其

一溫度愈高，電阻亦隨之而高，如銅鋁等普通金屬，大多如是；又一則溫度愈高，電阻愈減，如炭質是。此外導綫之長短，自亦與電阻有關：綫愈長，則電阻愈高。綜上所說，得電阻之算式如下：

$$r = \rho \frac{l}{a},$$

式中 r 爲電阻， ρ 爲導體之電阻率，隨各種物質而異， l 爲導綫長度， a 爲導綫截面面積。而電阻率與溫度之關係，則爲

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t),$$

ρ_0 爲攝氏計（即百度計）零度時之電阻率， t 爲溫度，以攝氏計度數計， α 爲溫度係數，普通金屬均爲正數，而炭質則爲負數。

凡電流經過高電阻之導綫，如通用電燈中之鎢絲，則其一部分之電能，因電子之劇烈摩擦，必變而爲熱爲光（如電燈所發之熱與光）。此消耗於光熱之電能，與電阻及時間成正比，亦與電流之平方成正比，其算式爲

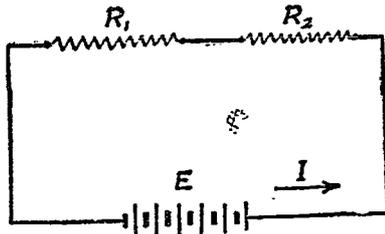
$$W = I^2 R$$

W 卽工能，其單位爲朱爾； $I^2 R$ 爲工率，其單位爲瓦特，等於一秒鐘之朱爾，朱爾之機械工能當量爲 10^7 爾格。此公式乃朱爾氏所發明，故名朱爾定律 (Joule's Law)。

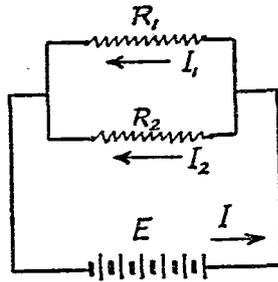
第六節 電路及磁路

電路者，電流所經之圓路也。電路中必有電動力而後有電流，亦必有電阻以爲限制；若無電阻（實際上，任何導體必有阻力，不過在良導之體，電阻極小，髮髯無電阻耳），電流必至如河水之潰決，有害於路中之電器，故無電阻（或電阻極小）之路，名曰潰路，亦名捷徑。電路之接法，不外連列，並列，及連列並列混合之三法，在連列電路（第六圖 A），電阻 R_1, R_2 ，及電壓 E 均係直列，路中只有一電流 I ，而 R_1 與 R_2 之總值等於二者之相加，故

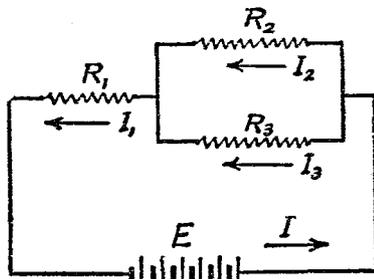
$$I = \frac{E}{R_1 + R_2}$$



A 連列



B 並列



C 混合式

在並列電路(圖B), R_1 與 R_2 接成平行之二支路, 每路各有一電流; 若分別算之, 則

$$I_1 = \frac{E}{R_1}, \quad I_2 = \frac{E}{R_2}$$

此二電流相加, 即係總路中之電流 I , 故

$$I = I_1 + I_2 = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} = E \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{E}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}$$

第六圖 各種連接不同之電路

此式中之 $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ 即並列電阻 R_1 與 R_2 之總量，此與連列電路不同者也。例如 $R_1 = 10$ 歐姆，

$R_2 = 15$ 歐姆， $E = 100$ 弗打，則總電阻為 $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 \times 15}{10 + 15} = \frac{150}{25} = 6$ 歐姆。故總電流 $I =$

$$\frac{100}{6} = 16\frac{2}{3} \text{ 安培。}$$

在混合式電路(圖C)其總電流之算法，無非兼用上二種算式而已。茲舉例以明之。令 $E = 100$ 弗打， $R_1 = 10$ 歐姆， $R_2 = 15$ 歐姆， $R_3 = 20$ 歐姆，則總電流 I 之算式，當為

$$I = I_1 = \frac{E}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{100}{10 + \frac{15 \times 20}{15 + 20}} = \frac{100}{18.6} = 5.04 \text{ 安培。}$$

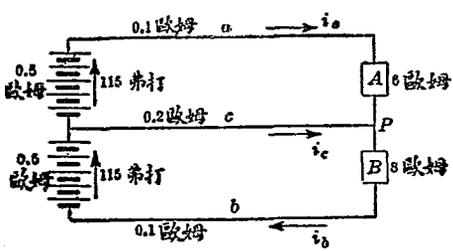
凡電路極複雜者，稱曰網路，網路各部電流之計算，須依據於二條實驗的規律，方免錯誤；此規律名克希荷夫律 (Kirchhoff's law)：

(一) 在網路中之任何連接點，各綫電流對於此點之代數和必為零值。

(二) 在網路中任何通行之圓路內，各電位降 (potential drop, 即正與負之電壓) 之代數總和必為零值。

所謂代數和者，即各數相加時，須計及數之正負號也。第一律所謂電流之代數和，即指流向一連接點之電流和，須等於流出該點之電流和。蓋當直電流在勻靜狀態，電路中任何一點之電位，常保持不變也。第二律所謂電位降之代數總和者，意即謂計算之時，先假定電流之方向，然後以某部電位之升高者為正號，以電位降落者為負號，如是正號電壓之和必等於負號之和。

茲舉例以明此二律之應用如下：第七圖為三綫制之直流電路，中有蓄電池二具，一中性線 c 接於兩電池之間，其各部數量，如電池之電壓及其內部阻力，三綫之電阻， a 與 b 二電器之電阻，均詳圖中所註。今先假定路中各部電池方向，如圖中箭號所指。按克希荷夫第一律，在 P 點各正負電流之和須為零值，故



第七圖 網路各部之電流與電壓

$$i_a + i_b - i_c = 0$$

按第二律，在該圖上部之圓路內，各正負電壓之和須爲零值，故

$$+115 - i_a(0.5 + 0.1 + 6) + 0.2i_c = 0$$

在下部之圓路內，則各正負電壓之和如下

$$+115 - 0.2i_c - i_b(8 + 0.1 + 0.5) = 0$$

從以上獨立之三方程式，不難用普通代數算法，求得 i_a, i_b, i_c 之數值，即 $i_a = 17.31, i_b = 13.47, i_c = -3.84$ ，其單位俱爲安培。式中 i_c 之負號，乃表示此電流之方向，實與假定者相反。

上文已略述電路之重要定律，及其應用之法，茲再論磁路，蓋電路與磁路同爲直流電機工程學中之根本智識，不可忽也。磁路者，磁線所經之圓路也。磁路中有三個重要數量：一曰磁動力，與電動力相當；二曰磁流，與電流相當；三曰磁阻，與電阻相當。此三者之關係爲

$$\text{磁流} = \frac{\text{磁動力}}{\text{磁阻}},$$

若以其單位表之，則

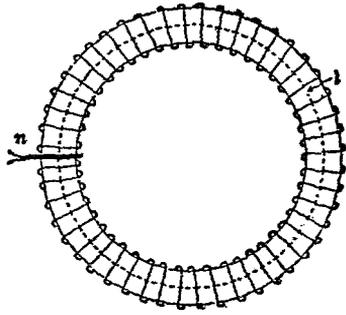
$$\text{馬克斯維爾} = \frac{\text{安培米}}{10^3}。$$

此二式與電路中之歐姆定律相當，可比較視之，

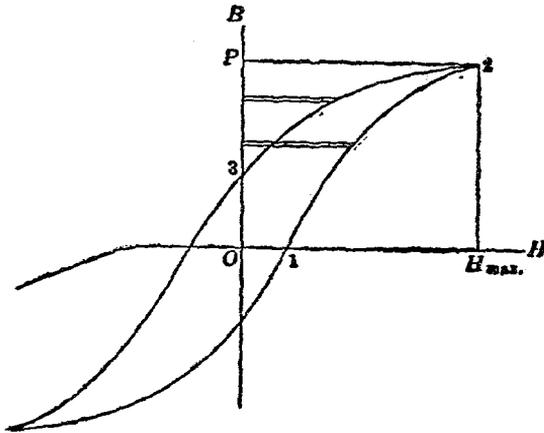
$$\begin{aligned} \text{電流} &= \frac{\text{電動力}}{\text{電阻}}， \\ \text{安培} &= \frac{\text{弗打}}{\text{歐姆}}。 \end{aligned}$$

此種磁量之關係，名曰磁路定律。

以電流磁化之鐵，曰電磁鐵，如第八圖之鐵環是。此鐵環之磁場強度，恃乎綫圈電流與綫圈數之乘積（名曰安培圈），而與綫圈之長度成反比。故每英寸長度之安培圈數，即係磁化力；此力所造成之磁場強度，以每方吋之磁力線數計。磁化力之符號為 H ；磁場強度之符號為 B 。若以 B 與 H 相配之數量，作曲線於直角坐標中，則得第九圖之磁遲環（hysteresis loop）。第八圖之鐵環未磁化時，其強度 B 為零；及綫圈之磁化力漸增至最高值，則得自 0 至 2（第九圖）之一段曲線（圖中未示）。



第八圖 電磁鐵環



第九圖 磁通環

次令磁化電流自最高值漸減至零，則得自 2 至 3 之一段曲線，此時磁化力雖為零值，而鐵環仍有 0 3 一段之強度，直至用相反之減磁電流，始能使強度完全消滅。迨此減磁電流增至最高值後，復

改用磁化電流，增其強度，至最高點²：如是所得曲線，成一環狀，此由鐵環中分子之阻力，致磁場強度之變更，退落於磁化力之後也。此磁遲環中之面積，所以表示在磁化之循環一周中，所耗去之能力；此能量之多少，與曲線面積之大小成正比。在直流電機及交流電機，並其他種種電器，如變壓器（transformer）等，此磁遲之現象，實為電能消耗之一大原因，亦為工程家所注意之一問題也。

第二章 直流電機之構造

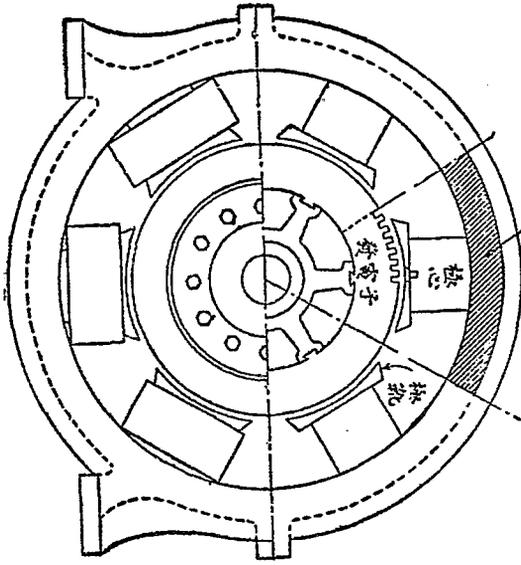
直流發電機之所以能利用機械能力而發電，與電動機之所以能利用電能而變為機械能力，要皆根據於電磁感應之原理，如第一章第四節所述。原理既明，然後可與言電機之構造。

第一節 構造大要

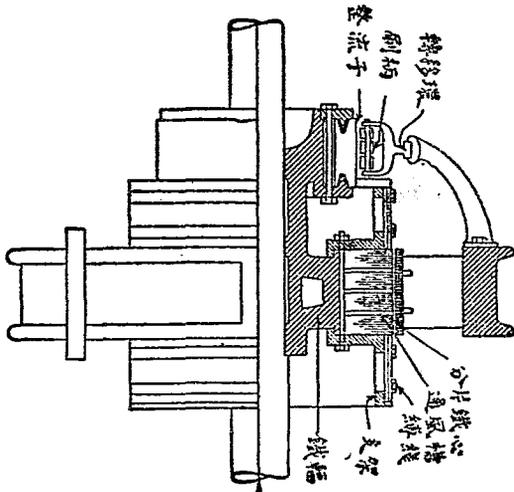
直流發電機與直流電動機，在構造上無甚差別，且二者可以互用——即發電機可以用作電動機，電動機亦可用作發電機，——視原動力之為電力或機械力而異。

直流電機之各部機件，雖甚複雜，但大別之，可分二部，一為磁力之部，一為電力之部。屬於磁力部分者，有軛及磁極；屬於電力部分者，有發電子，整流子，及刷子。直流電機中之磁極，乃供給磁力線（或磁流）之主體，至少須有南北極一對，然亦有單極者，名單極發電機，普通則以多極機為多。第十

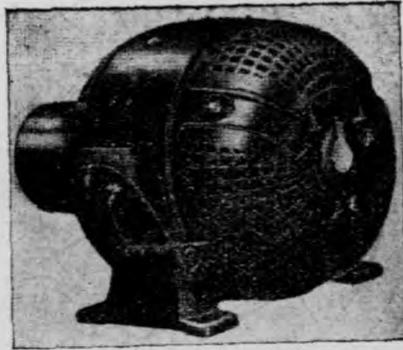
圖爲一多極機之剖面圖，示各部之位置；此機爲開露式，其內部構造可以窺見。第十一圖爲半封閉式，僅通空氣；第十二圖則爲全封閉式。此二機大多用於塵土飛揚，空氣不潔之處，如戶外工作，及空



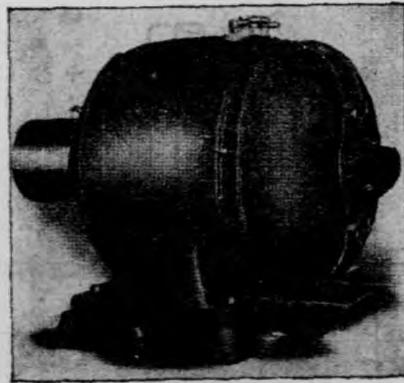
第十圖 多極直流電機之正側剖面圖



中滿佈纖維之紗廠中，所以防其妨害機內旋轉部分之工作也。



第十一圖 半封閉式



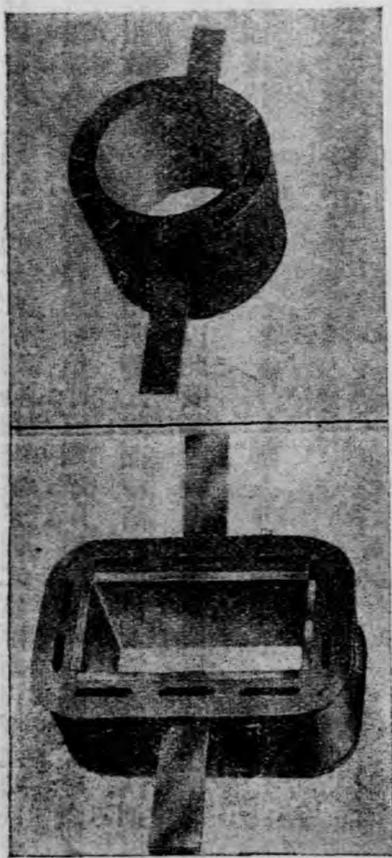
第十二圖 全封閉式

第二節 軛及磁極

軛乃電機之外殼，狀如軛，故名，其用有二：一以支持磁極及兩端之承軸 (bearing)，一以供磁流運行之磁路，因鐵之導磁率高，可以增加磁場之強度。軛之質料為鑄鋼，以能減少磁遲耗損（見

第一章第六節）爲佳。

磁極或作圓筒形，或爲長方形立體，爲減少渦流耗損（鐵耗損之一種，乃由於磁流之感應，在鋼鐵物中發生之局部的漩渦狀電流）起見，用薄鋼片合成，片與片之間，間以絕緣物，以阻止渦流之運行。磁極用螺釘旋於軛之內周，如第十圖共有六極，則平均佈列，南極與北極相間——即每鄰



第十三圖 通風磁極圖

近兩極自成一對。磁極之端部有極靴，用螺釘旋於磁極之本部（名極心）。此極靴亦用鋼片合成，其功用使磁極所發出之磁流，平均分配於磁極與發電子間之空隙，藉以增進發電子導綫中所感生之電流狀況。磁極心之周圍，繞有綫圈，如第十三圖所示。磁極爲綫圈電流勵磁（卽磁化）時，因綫圈中有電阻耗損，故綫圈必感受此耗損所變之熱，而增高其溫度；若無去熱之法，則溫度增至極高時，電線之包皮（絕緣物）必致燬損，且將因此肇禍，故綫圈中設有通風孔（見第十三圖），使熱度得藉氣流以消滅，而保持電機之耐用。

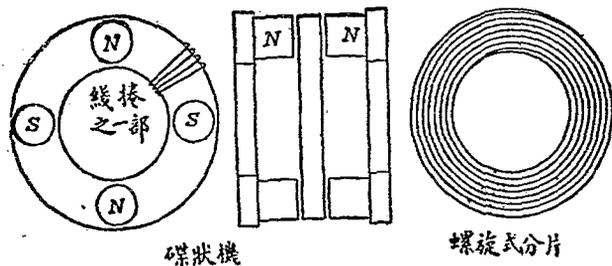
第二節 發電子

發電子之功用，在發電機爲產生電動力之具，在電動機則爲接受工作電流之具，故亦名電動子。發電子之位置，在機之中心，裝於動軸上，能旋轉於磁場中，——或令磁極旋轉，亦可。發電子與磁場，無論何者爲動體，要皆成同心之二圓筒；發電子旋轉者，稱旋轉發電子機，磁場旋轉者，稱旋轉磁場機。發電子之種類約有三種：一爲環狀發電子；二爲鼓狀發電子；三爲碟狀發電子。

環狀發電子爲一鐵環，環上繞有線圈（如第八圖），其構造最簡單，亦最不經濟，蓋環上之導線，能割截磁流者，僅屬環之外周，其內周之導線無所用也。

碟狀發電子爲一薄圓片，中有圓孔，納以動軸；線圈亦連繞成螺旋狀，亦與前式相同。此薄圓片係用鋼條盤成（見第十四圖），以免渦流。當此圓片在各對南北磁極中旋轉時，其兩面之導線皆有感電流作用，較前經濟，但此種發電子，今已廢置。

近代最通用者，莫如鼓狀發電子，其鼓狀之鐵心，用薄圓片合成，所以免渦流耗損也。此與環狀及碟狀之不同處，在導線盡在鼓之外周面，無一導線不割截磁流。繞在外周之導線皆與動軸平行，線與線之間，另用連接線相連。此鼓狀鐵心之中，有通風孔，所以防熱度之激增。此種發電子乃改變環式者而成，將環內之導線移置於外周，同時將線圈沿外周引長，約與南北兩極間之距離相等。鼓

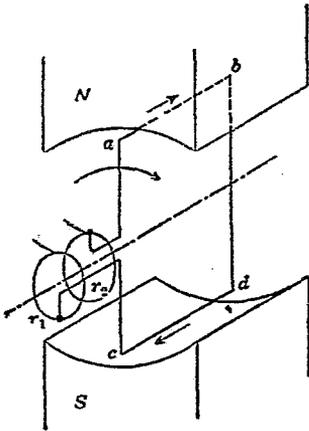


第十四圖 碟狀發電子

之周面有狹長之槽，所以容納面上之導線，使固着於鐵心；又發電子線圈之端部，皆有引線接至整流子（其功用詳下第五節）。直流機之發電子導線，繞法不一，且甚複雜，非僅如第八圖中簡單之螺旋線圈，故不名線圈而稱線捲（各種捲法詳第二章）。

第四節 發電子之作用

發電子所發電動力之大小，恃乎磁場之強度，導線有效長度之總長，及發電子之旋轉速率。直流電機所發之電，當然為直流，但發電子導線中所生之電，實為交流。茲就最簡單之發電子，表明其內部之作用。參看第十五圖， NS 為磁鐵之南北兩極， $a b c d$ 為一線圈（即最簡單之發電子）， r_1 r_2 為連接於線圈兩端之銅環。假定線圈旋轉方向如箭頭所示，磁線方向為自上而下（即自北極 N 至南極 S ），則按照上章第四節第四



第十五圖 簡單發電機

圖之右手定則， $a b$ 線所感生之電流，當如圖中箭頭所指，而 $c d$ 中之電流，亦如其旁箭頭之方向。當線圈在此位置時，感應電流為最大，蓋磁線在極之中部為最密也。自中部以至邊部，力線漸減，以至於無，故線圈中之電流亦漸減小，至旋轉達九十度角，電流乃減至零值。自此再轉九十度，則電流復由小增大，惟方向與前相反，可用右手定則證之。此時 $a b$ 已轉至 $c d$ 處，若再轉九十度角，則電流又自最高值降為零值；最後之九十度角，則電流復為正向，由零值而增至最高值，至此乃成一週。由此可知發電子中所感生之電流，實為交流而非直流。及經過整流子作用（詳下節）而後，始一變此交流而為直流。直流電壓之大小，須視感應導線之數目，導線之速率，磁場中磁流之強弱，磁極之多寡為斷。電壓與此諸項要素之關係如下：

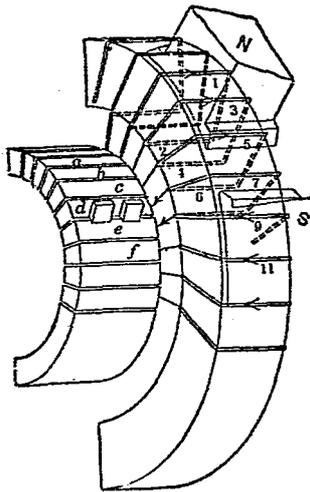
$$E = \frac{p}{a} \frac{\phi Z n}{60 \times 10^8}$$

式中 p 為磁極數， a 為發電子線捲之電路數（詳見第三章第四節）， ϕ 為磁流， Z 為導線數， n 為每分鐘發電子旋轉數。此式乃計算直流電機電壓之普通公式，在設計中尤為重要。

第五節 整流子及其作用

在直流發電機，自當將發電子之交流變為直流，而變之之法，端賴整流子之用。整流子之構造（參看第十圖側剖面），為由多數截片合成之圓盤，截片作狹長形，用堅性銅製成，如第十六圖中之 a, b, c, d, e, f ，皆是。截片之間，有雲母為絕緣物，每片根部與發電子線圈之引線相接。整流子之對徑，有刷子一對（詳下節），供採取整流後之電流之用，見第十六圖。當發電子與整流子旋轉時，刷子並不旋轉，普通處於極與極之間，名中性位置。

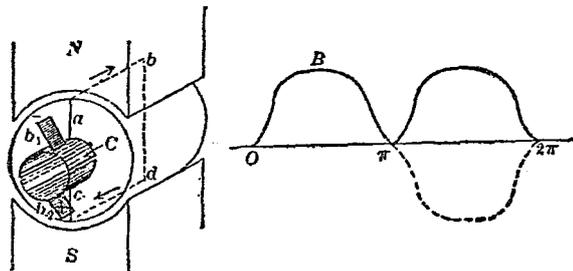
整流之作用，可以第十五圖之簡單發電機表明之。設此處 r_2, r_1 兩環，改為半圓形之銅片，成一簡單之整流子，其對面各加刷子一枚，如第十七圖。當此線圈初旋九十度時，電壓（或電流）由最高值減為零值，即圖中 B 至 π 之一段曲線。過此則電壓



第十六圖 整流子與發電子

反向，但同時整流子亦已倒轉，即下部之半圓片已轉至上面，與刷子 b_1 相觸，由是反向之電壓（即圖中之虛線）變為正向（實線），此即整流子之功用也。

然第十七圖中之電流，雖已變為直流，而數值隨時變更，並不均等。今欲使之均等不變，一如電池所發之電流，則當增加發電子線圈之數目，庶幾綜合多圈之電流，互相補償其不足，使電流曲線成一平行之直線。今試以環式線捲之兩極發電機（見第十八圖）言之。此機共有線捲八組，每組各引一線，與整流子之一截片相接。刷子位置，如圖所示。各組皆直列連接。左右兩部線圈中所生之電流，如圖（ b ）箭頭所指（讀者可自用右手定則定其方向），即其自上刷流向下列，故下列為正，上刷為負。此八組線圈中，左右位置相對者，其感應之電壓曲線相同，故得曲線四（見圖下部），因線圈有先後，曲線亦有相位先後之

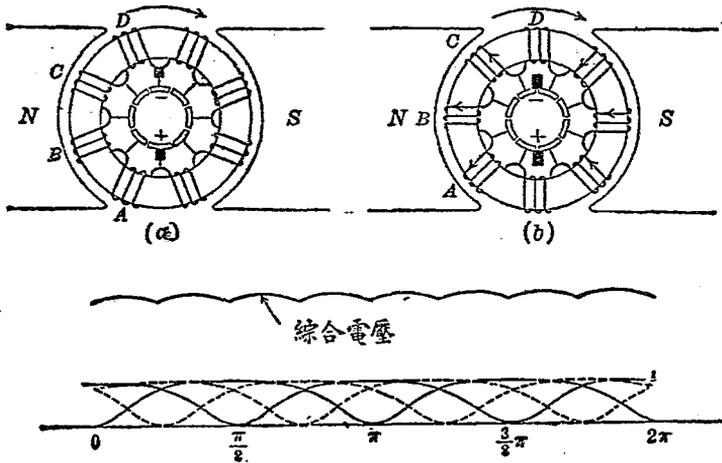


第十七圖 簡單整流子及整流電壓

分。四曲線相加，得綜合曲線一，代表兩刷子間之電壓。此時電壓已較前為平均，近乎一直線。但發電子在 (a) (b) 兩位，情形稍有不同：在 (a) 位時，A, B, C, D 四圈，及右邊四圈，皆有發電之用，故綜合四電壓為最高值；及至 (b) 位，D 圈及其對面一圈，均屬無用，發電者僅 A, B, C 等六圈，故此時綜合電壓最低。由此一高一低，故電壓曲線終未能達完全均等之狀態。然若圈數益增，則此曲線益平，更用他法以均平之，結果自成爲勻靜之直流矣。

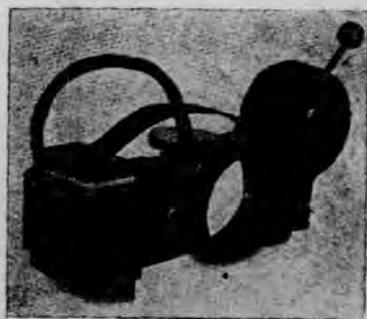
第六節 刷子

刷子乃連接旋轉發電子與外部電路之關鍵，



第十八圖 環式八組綫捲及綜合電壓

普通以炭質製成，在電壓較低之機，亦有用銅製者。刷子之接觸面，有鍍銅者，所以保持完善之接觸。其面積之大小，視電流量而異，大概每一方吋接觸面，可負載電流三〇至五〇安培；但單個刷子之面積不能過大，如電流量大，則可用數刷並列。刷子之闊（即與整流子面成切線之長度），約三五倍於截片之闊，故一刷能同時徑接數線圈。刷子之置於整流子上，倍有直立者（指與直徑成直線），亦有向後傾者（此後傾係對旋轉方向而言），而以後傾為普通。刷子有柄（參看第十九圖），前部納刷子，上有彈簧鐵片，所以使刷子與整流子面緊接，不致因接觸不密而生火花。柄之中部有孔，可穿入裝於機身之鐵桿，以維持刷子之固定位置。柄之後部有一小柄，可增減彈片之壓力，普通刷子壓力為每方吋一·五至二磅，過小則發生火花，過大則徒增阻力，皆非所宜。



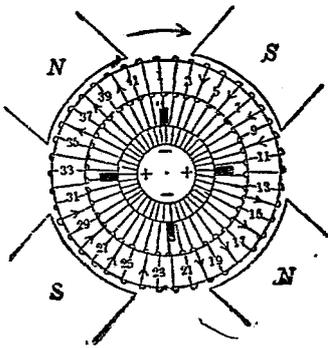
第十九圖 刷子

第三章 發電子線捲

發電子線捲種類不一，有環式，鼓式，迴繞式，波式，複式之別，為直流電機構造中最複雜最重要之一部，茲分述之如次。

第一節 環式線捲

發電子線捲，在直流機中，均屬閉合式，即起端與末端連合，如本章所述者皆是也；其開式之線捲，則用於交流機中，茲故不及。環式線捲者，即繞於環式發電子（見第二章第三節）上最簡單之線圈。第二十圖為一四極電機之環式線捲，中央為整流子，其外周有刷子四枚，處於各極之間。此線捲共有導

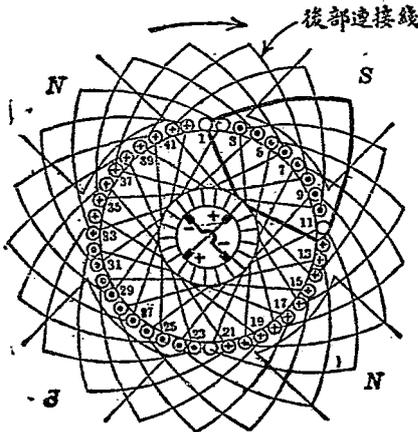


第二十圖 環式線捲

線（即割截磁線之有效銅線）四十二根，自1線起環繞前進，還至1線而合。每一線圈有一引線，與整流子之一截片相接。以對面同性之兩刷相連，則得正負電線各一，其間電壓等於四分之一線捲所生之綜合電壓。此種環式發電子，實際上應用甚小，其線捲亦最不經濟（參看上章第三節）。普通電機之發電子皆作鼓狀，其線捲有二種，一名迴繞式，一名波式，茲分別述之如下。

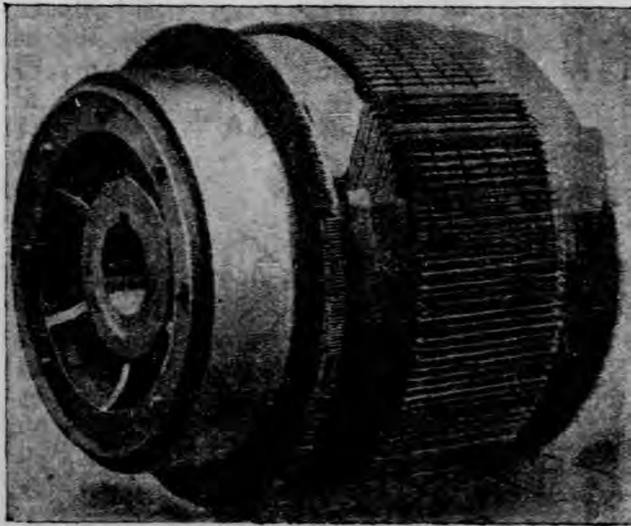
第二節 迴繞式線捲

第二十一圖表示一鼓式發電子之迴繞線捲。中央大圓圈代表發電子，其內有整流子（刷子本在整流子外周，為便於表明線捲端部之連接，故移至內周，讀者不可誤會），發電子外周之許多小圈，即導線之截面，更外之曲線，即係線捲後部之連接線。此等後部連接線，實際上係繞在發電子後部擴充之鐵心上，如第二十二圖所



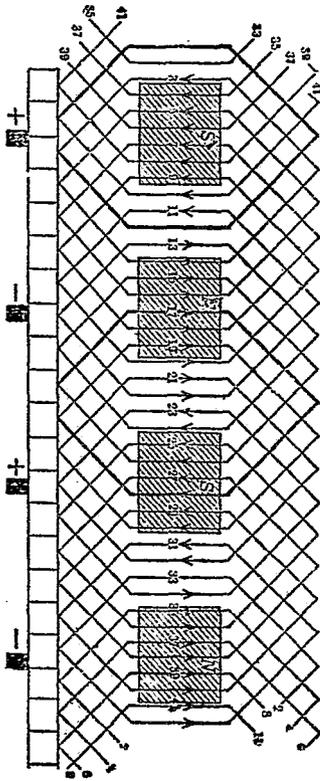
第二十一圖 迴繞線捲

示，今爲便於表示起見，故繪作第二十一圖之狀。其前部（即近整流子之端部）之連接線，亦並非如上圖所繪之狀，乃繞在發電子前端之鐵心上，如第二十二圖所示。假定發電子之旋轉方向，與時鐘之指針同（簡稱鐘向，與此相反者，名反鐘向），則在北極下之導線，應有電流自整流子端向後流去（即流入書中），今圖中以×號代表之；反之，在南極下者，電流向整流子流去（即自書中流出），今以·號表之。在此種線捲，每一線圈之兩邊導線，常處於相反之磁極下，故其中電壓一往一返，適成相加。今試跡此線捲之繞法，自導線1起，其後端接至12號線之後端；此線前端則返接至整流子，復



第二十二圖 僅繞成一部分之鼓狀發電子（道繞線捲）

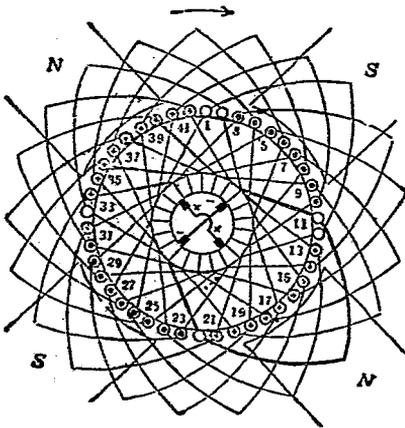
至整流子而至3號線。依前法推之，則3號線接至14號，14號至5號，5號至16號，最後至10號而返至起點之1號，於是全部線捲乃連合。但每一線圈（如第二十一圖中之粗線）不必為單線，亦可旋繞多周，而後以其兩端接至整流子之兩截片者，蓋若是則以同等大小之發電子，可以增加其發電量數倍於前矣。吾人若更欲明瞭此種線捲之真相，不妨將發電子之圓筒面，割裂而鋪成一平面，則面上之線捲當如下圖。



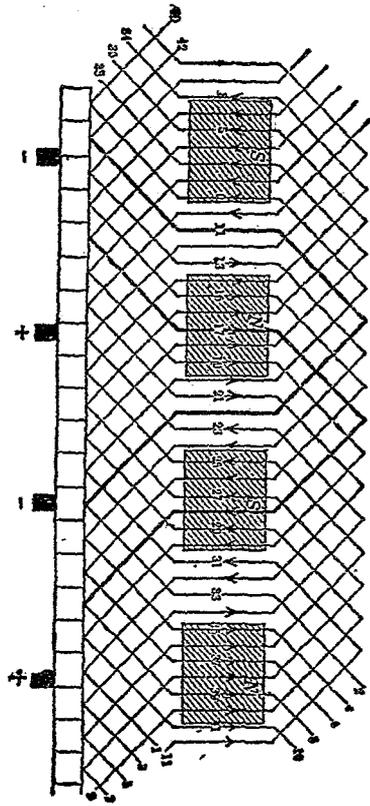
第二十三圖 平鋪之通線線捲

第二節 波式線捲

迴繞式線捲乃前進之後，繼又回退，故稱迴繞；若波式則不然，雖前後屈曲，而一往向前，無有回退，以其如波浪，故名。此線捲繞法，見下第二十四圖。初自1線起，藉後部連接線而接至12號線，由12號經整流子以至23號，以次至34，3，14，25，36等，最後至32而返至1線，亦成一連合之線捲。圖中電流方向，與第二十一圖之迴旋線捲同，每一線圈亦不必限於單線，其兩邊導線亦處於相反磁極下，故電壓亦為相加。每一線圈（即圖中粗黑之線）之圈數，視電機所發電流量之大小而異，電流量大者，大多為單圈，至電流量小者，則可增五六圈以上。第二十五圖示波式線捲之平鋪圖。



第二十四圖 波式線捲



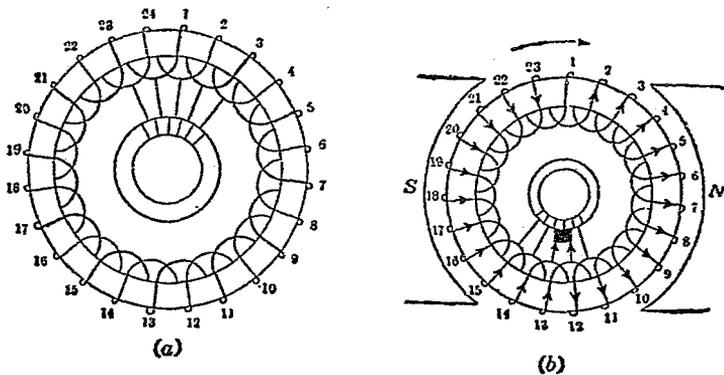
第四節 環式迴繞式波式之比較

環式與迴繞式較為相似，蓋吾人若將繞於環上之線捲，移繞於鼓狀鐵心之外周表面，即成迴繞式矣。且此二式線捲中任一鄰接之線圈，均同處一磁極之下；在波式線捲則不然，此鄰接之二圈

常相去二極距（每對磁極間之距離曰一極距）。又前二式之線捲（見第二十圖及二十一圖）皆分四路，以每對刷子中間之一部分線捲爲一路，每路負載全部電流四分之一，合成並列之四電路。但在波狀線捲，其磁極數目雖與前二式同（皆爲四極），而電路僅有二條（參看第二十四圖），每路負載全部電流二分之一，合成並列之二電路。前者猶以四電瓶並列連接，故其總電壓等於一瓶之電壓，而總電流則等於四瓶之和；後者猶以四瓶分二路並列，每路以二瓶連接，故總電壓倍於前，而總電流則爲前者之半。然以發電機之電力論，則三者並無區別，蓋電流與電壓之乘積仍相等也。波狀線捲又有一特殊之點，卽不論磁極數目爲若干，其線捲常分爲並列之二電路，他若前二式則電路之數等於磁極之數（此皆指上述單式線捲而言，若複式則又當別論）。以故刷子之數，波式亦與環式迴繞式不同。波式線捲因祇有二路，故不論極數多少，用刷子二枚（或二組）可矣；餘二式，則刷子之數須與磁極相等。

第五節 複式線捲

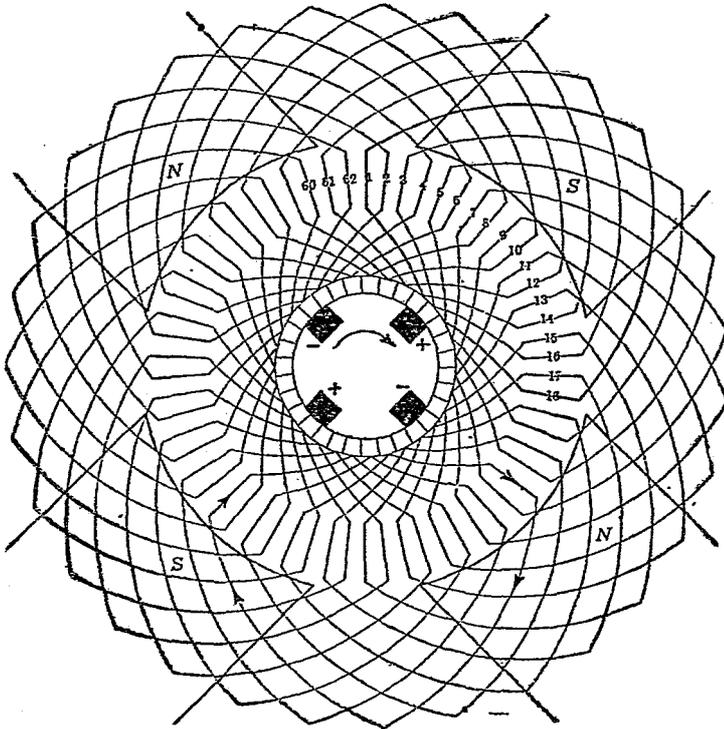
無論環式波式或迴繞式之線捲，皆有單式複式之別，而複式之中，又有二捲，三捲，四捲等等之分，上所述者皆單式線捲也。設吾人有環式發電子二個，用銅線連接其同性之刷子，則二線捲成並列連接，所得電流為二者之和。今若以二捲之一加於他捲之上，即二線捲同繞於一環，則所得結果與前相同，此名二捲雙連線捲。所謂連者，指線捲兩端之相連也。此種線捲含有獨立之兩線捲，而每捲各有一連接，故名雙連。第二十六圖(a)即二捲雙連之環式線捲也。圖中凡奇數之線相連為一捲，偶數之線又連為一捲，二者不相連屬。圖(b)則為二捲單連線捲，其連合僅有一次，乃以一線繞環一周，然後復與起點連合。此捲起自1線，經3, 5, 7等奇數而至23，然後由23接至2, 4, 6等偶數，最後至22，乃與1線連合，全捲連合僅



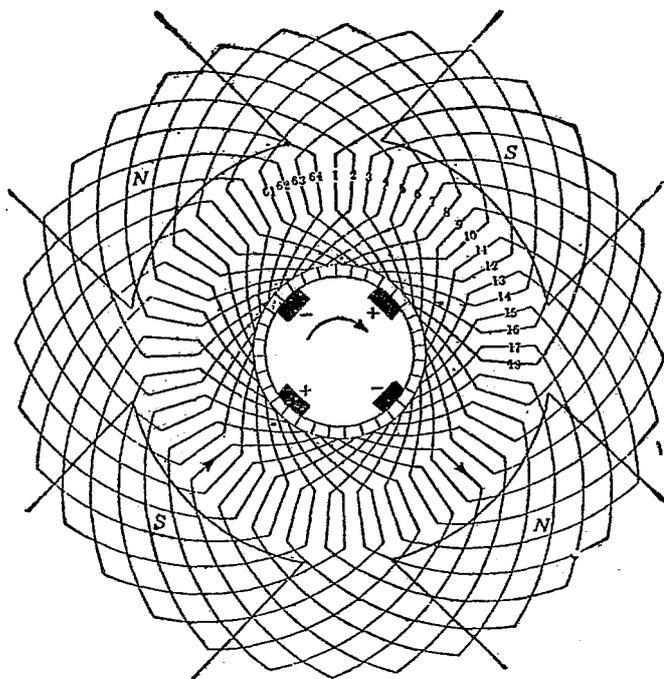
第二十六圖 二捲式線捲

此一次。

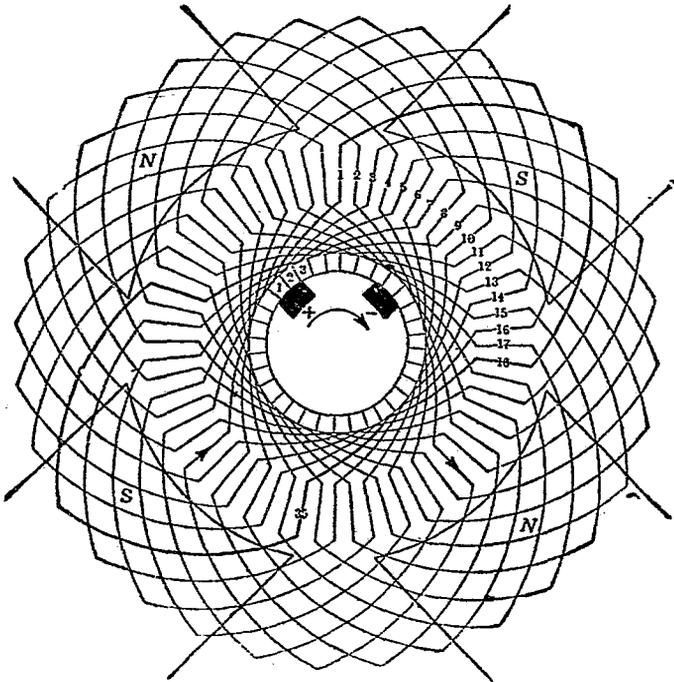
迴繞線捲及波式線捲亦有單連多連之別。本章第二第三兩節所述，皆為單連單捲，第二十七圖則為雙捲單連之迴繞線捲，第二十八圖為雙捲雙連之迴繞線捲，第二十九圖為雙捲單連之波式線捲，第三十圖為雙捲雙連之波式線捲。讀者可按前例追跡其繞法。



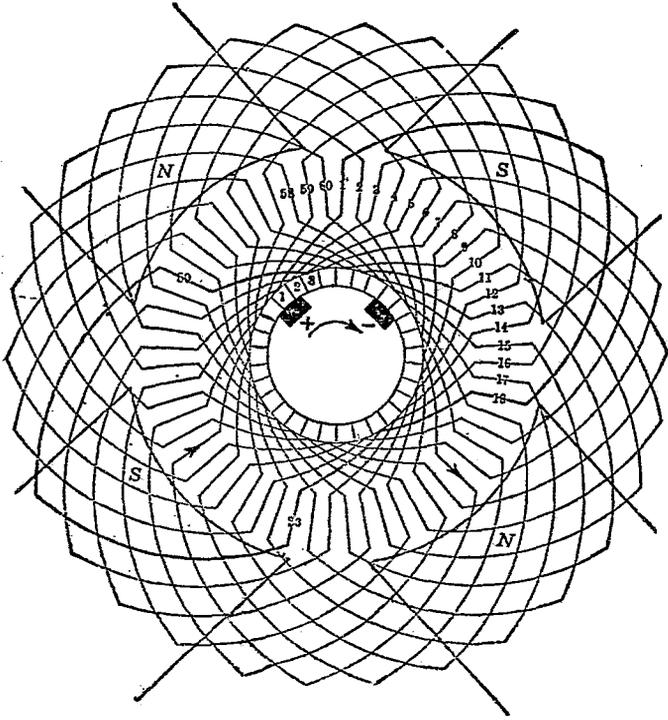
第二十七圖 迴繞線捲——雙捲單連
 $Z=62, S=31, y=2, y_1=+17, y_2=-13.$



第二十八圖 迴繞綫捲——雙捲雙連
 $Z=64, S=32, y=2, y_1=+17, y_2=-13.$



第二十九圖 波式繞捲——雙捲單速
 $Z=64, S=32, y=y_1=y_2=17.$



第三十圖 波式綫捲——雙捲雙連
 $Z=60, S=30, y=16, y_1=17, y_2=15.$

在以上四圖中，吾人有必須注意者五，一爲導線數目 Z ，二爲線槽數目 S （槽在鼓狀發電子之外周面上，與軸心平行，所以容納導線，一槽或容一線，或容多線，惟一以上之線數均爲二之倍數），三爲整流子進距 y ，四爲前距 y_1 ，五爲後距 y_2 。所謂整流子進距者，即每一線圈之兩端與整流子截片相接，而末端較起端前進若干截片數也。在第二十七圖中，此進距 y 爲2，因末端較起端前進二截片也（參看圖粗黑之線圈）。又所謂前距與後距者，前距即線圈兩邊之距離，如二十七圖中之粗黑線圈，左邊爲第1號線，右邊爲第18號線，從18減1得17，此即線圈右邊前進之導線數，名曰前距；後距者即該圈右邊與次圈左邊之距離，如18號線向後返接至5號線，18與5之差爲13，是即後距之數也。此圖後距之方向與前距相反，故後距之數常加一負號，如 $y_1 = 17$ ， $y_2 = -13$ 。今就第二十八圖觀之，則 Z 爲64， S 爲32，即每槽容二線，與前圖同，整流子進距 y 爲2，前距 y_1 爲17，後距 y_2 爲-13。第二十九圖雖 Z 與 S 與二十八圖同，然 y 與 y_1 、 y_2 則均爲17，此種情形惟波式線捲有之，迴繞式不能也。第三十圖， Z 爲60， S 爲30， y 爲16， y_1 爲17， y_2 爲15，與二十九圖又自不同。由上四圖觀之，可知 y 與 y_1 、 y_2 三者之間，自有一定之關係，即

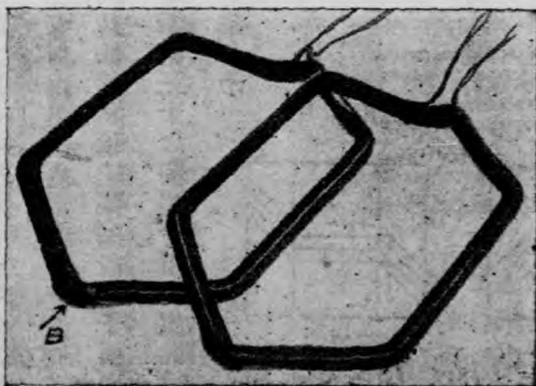
$$y = \frac{y_1 + y_2}{2},$$

惟 y_1 與 y_2 之加法須為代數加法，例如第二十七圖，

$$y_1 + y_2 = 17 - 13 = 4 \quad \text{故} \quad y = 4/2 = 2。$$

第六節 二層線捲

觀第二十三第二十五兩圖，當見導線之端部連接，常以相反方向屈曲進行。若將此等導線鋪置於無線槽之圓筒面上，則端部連接線之曲折相交，必不能安置平貼。但改用有線槽之發電子後，導線可列成二層，前後端皆然，使上層之連接線皆同一斜向，下層者又同一相反之斜向，參看第二十二圖。且上層與下層各分別包含單



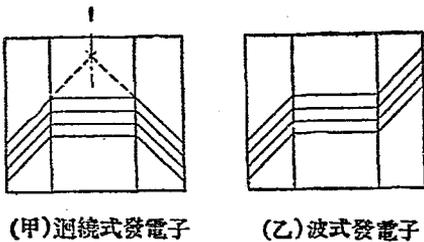
第三十一圖 綫捲中之單獨綫圈

數與雙數之線圈邊，故上層之導線必與下層者相連，而此相連之處乃不得不成一特別之屈折，如第三十一圖B點所示。

吾人欲從發電子線捲之外表，辨別其為波式或迴繞式，其法甚易，祇須觀察發電子面兩端之連接線。若引長兩端之連接線，而相交於鐵心之中心者（參看第三十二圖甲），可決定此捲線為迴繞式。若兩端連接線成平行，則可斷定其為波式線捲（如第三十二圖乙）。

第七節 同位連接線

設有一環式線捲如第三十三圖，代表一八極之發電機。此線共有並列之電路八，以每鄰近一對刷子間之線捲為一路。四個陽電刷子與四個陰電刷子，各用線連合，故此八路成並列電路，如第三十四圖所示。由此可知每一分路必須發生同等之電動力，而各路又有同

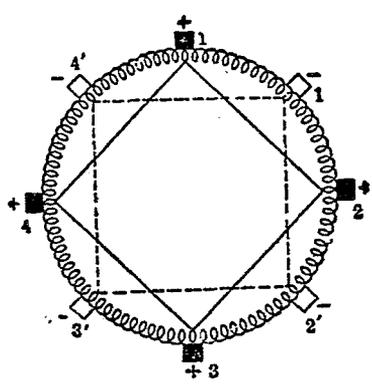


(甲) 迴繞式發電子 (乙) 波式發電子

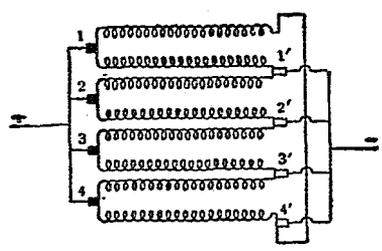
第三十二圖 迴繞式與波式端部

連接綫方向之不同

等之電阻，然後可分任同等比例之電流。設以有某種原因，一路所生之電動力大於他路，例如電路 $\omega_1 \omega_2$ 之電動力大於 $\omega_3 \omega_4$ ，則刷子 2' 與 3' 必不能在同等之電位，而 2' 與 3' 兩刷子間之連接線中，必將有電流流行矣。雖以極小之電位差，往往發生大量之均位電流（此電流可使電位均等，故名），若無防禦之法，則線捲中必發生過量之熱力，且使刷子處發生火花。各路電位之所以不等，不



第三十三圖 並列線捲之同位連接綫



第三十四圖 上圖線捲中之並列電路

外下列之諸原因：

(一)發電子軸心不正，於是發電子與磁極間之空隙，各部不等。間隙較狹之處，導線所生之電動力大；較闊之處，電動力小。

(二)各個磁極之構造，不完全一致，雖空隙均等，而磁線之密度則各極不等。磁線較密之磁極，其下導線所生之電動力較大；反之磁線較疏者，其下導線所生之電動力亦小。

(三)發電子線捲之電路不相對稱，由於線圈之數非確為電路數目之倍數。

均位電流乃耗損之一種，以其能發生過量之熱也。除以上諸弊設法免除外，惟有用電阻極低之同位連接線，以連接理論上應為同位之各點。若此則苟遇各路電位不等，發生均位電流時，可令此電流流入連接線中，以解除刷子上之過量電流，而免去其火花。普通此等連接線作環狀，以各路同位之點連於一環，其他同位之點則連接於又一環，線捲大者，可設多環以均等各部之電位焉。

第四章 磁化作用

第一節 磁化曲線

凡發電機必有一電路與一磁路交連。此電路者，即發電子之線捲是也。在發電機，此電路中產生電動力；在電動機，則產生旋力（一作力矩，意即力與距離之乘積，非單純之力可比，其單位在工程學中為呎磅）。無論為發電機或電動機，發電子之作用，全賴磁流之大小，而磁流之量，又恃乎磁場線捲之磁化效力，及磁路中之阻力，其關係如下：

$$\text{磁流} = \phi = \frac{\text{磁動力}}{\text{磁阻}} \quad (\text{見第一章第六節})。$$

按直流發電機之電壓為

$$E = \frac{p}{a} \frac{\phi Z n}{60 \times 10^8} \quad (\text{見第二章第四節})，$$

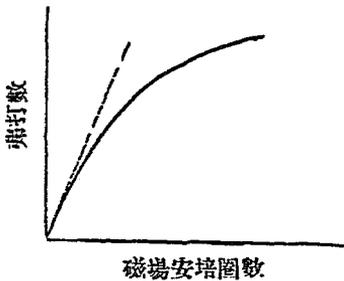
代以上式，則得

$$E = \frac{p}{a} \frac{Z_m}{60 \times 10^8} \frac{\text{磁動力}}{\text{磁阻}},$$

由此知電壓之大小，特乎磁場之勵磁力（即磁場電流產生磁流之力，有時與磁化力通用，惟磁化不單指電流之磁化，亦指磁流之磁化）。勵磁力之單位，在電機工程中，通用「安培圈」電壓單位則為弗打。設以電壓與勵磁力之數量關係，以直角坐標（即笛卡兒坐標）中之曲線代表之，則此曲

線即名為「磁化曲線」亦稱「飽和曲線」又名「無負載特性曲線」（見第三十五圖）。若磁路中之磁阻為定值，則此無負載之特性曲線當成直線；但事實上則不然，彼造成磁路之鐵質，其導磁率每隨磁流之增高而低降，因此勵磁力與電壓不能成一恆定之比例；結果則無負載特性曲線離直線而向下彎曲，如圖狀。

電機中之磁路，約如第三十六圖虛線所示。此虛線乃代表



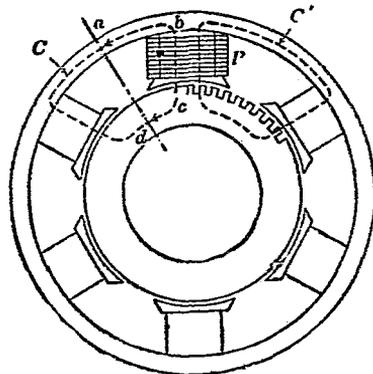
第三十五圖 電機之
磁化曲線

磁流之中心線，其所經之處，計有磁極軛，發電子鐵心，及其外周之齒，及極狹之空氣隙。每一磁極有左右並列之磁路，二，如圖。磁路中磁阻最大之部分為空氣隙，故欲增加磁流，即間接增高電壓，務令此隙盡量減狹，並選擇磁阻最低之鐵，以供磁路各部之材料。

磁化曲線在電機工程中頗為重要。無論為發電機，為電動機，其運用之特性，胥於此是賴。反之，磁化曲線之形式，

亦隨電機之種種規定而異。是故磁化曲線之測量，實為工程上根本之要圖。在已製成之電機，此曲線之測定，可以實驗方法為之；若在設計製造之時，則從其已知之大小，及製造之材料，亦可用計算法得之。惟此項計算，須用高等算法，稍涉專門，非本書所及，姑就簡單易行之實驗法言之。

第二節 磁化曲線之測定



第三十六圖 一多極機之磁路

按電壓公式（見上節）中之 p , a , Z 三項，在所測之電機，均屬常數，故

$$E = \frac{p}{a} \frac{Zn}{60 \times 10^8} \frac{\text{磁動力}}{\text{磁阻}} = kn \times \text{安培圈之函數。}$$

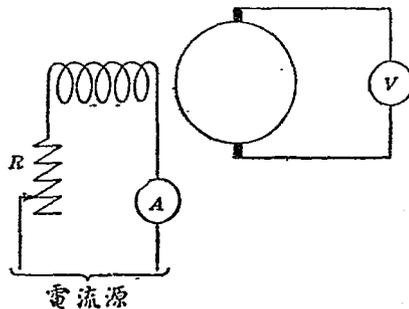
式中之 k ，乃代表式中固定之常數，與 E 之變化無關者，其他足以變更 E 之數值者惟旋轉速度 n 與安培圈耳。今將電機運轉於一定之速度，則 n 亦成常數，所可變更 E 者惟安培圈，而磁極之線圈數本為定數，故祇須同時計量磁場線捲中之電流，及刷子間之電壓，即可求得二者之關係矣。實際計量之法，可參看第三十七圖之連接，如法連接計量之儀器。計量時，發電子中不可有電流，否則電壓將因線捲中之電阻而減低，非復發電子所感應之真實電壓矣。故計量電壓時，須將刷子直接至電壓表之兩端；此表內部具有極高之電阻，可阻止發電子中電流之流行。又此機磁場須另用電流勵磁，蓋發電子中既不准有電流流行，則決不能供給自機之磁場電流也。磁場線捲之電路中，置一電阻極低之電流表（電流表之內部電阻，類皆極微，蓋否則將變更路中之電流，不能量得真確之數量矣），及一可以變值之電阻器，以為增減電流之用。迨連接完畢，乃將電阻器置於電阻最高之

點，僅任少量電流流入磁場線捲中。次將電阻逐步減小，至電流達最高限度為止；每變更電阻一步，即同時觀察電流表與電壓表所量得之數值，並一一記錄之。事畢，以記錄之數值，作點於直角坐標中，以縱線代電壓之弗打數，橫線代電流安培數；最後連各點為一線，此即所謂磁化曲線是已。

作上述之實驗時，有數事必須注意者：

(一) 電機之速度須維持不變，否則曲線之形式將因此而改變。

(二) 電機之速度須遠在規定速度（即電機名牌上所規定者）之下，例如減低至規定速度四分之一；迨記錄完畢後，將電壓諸值各增四倍，然後以此作曲線。其所以須減低速度之故，因速度較高時，發電子中往往有電流運行於刷子所成之徑路內，此電流與速度並增，足以變更真確之電壓值，故必減速以去此弊。



第三十七圖 磁化曲線之實驗測定法

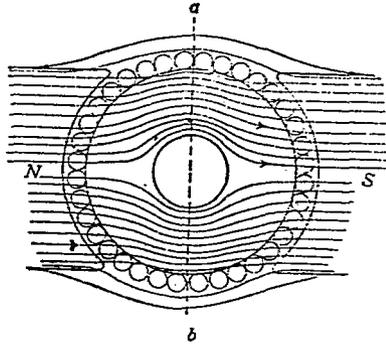
(三)磁場路中之電阻，須自大而小，順序漸減，不可既減又增；因電流自小而大，與自大而小，所得曲線並不相同，後者每較前者爲高，此由鋼鐵有磁遲之特性所致（參看第一章第六節中之磁遲環）。例如由一安培增至六安培，得電壓十弗打；再增至十安培，乃令減小，復回至六安培，此時電壓則不復爲十弗打而爲十一弗打矣。此因減退之時，鐵中早留有餘磁，故雖回至原值，而磁力已較前增加，此電壓之所以高於前也。

第三節 發電子之磁化作用

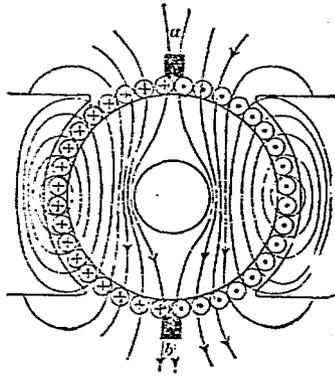
上節所述，均係假定發電子中無電流；在此種無負載狀態，磁流之強度及分配，僅恃乎磁場線捲之勵磁力，及機身之形狀與材料。但在負載狀態時，發電子線捲中之電流，亦發生一獨立之勵磁力；此力足以變更磁場線捲所生磁流之強度及其分配狀況。此種發電子之磁化作用，名曰發電子反應。

今爲簡單計，試先觀察一二極機之情況。當發電子無電流時，磁場中磁流之分配，成對稱形，如

第三十八圖之狀。圖中 $a b$ 一線，與磁極之中心軸成直角，是為幾何的中性軸線；在無負載時，即係磁流之對稱軸（此軸兩旁之磁線，各部完全相似，故名對稱）。今若除去磁場之勵磁力，而以另一電流供給於發電子，則其線捲將一如磁場線捲之作用，而產生一磁場，如第三十九圖所示。此磁場之



第三十八圖 發電子無電流時之
磁場分配狀況



第三十九圖 磁極未勵時發電子
電流所生之磁場

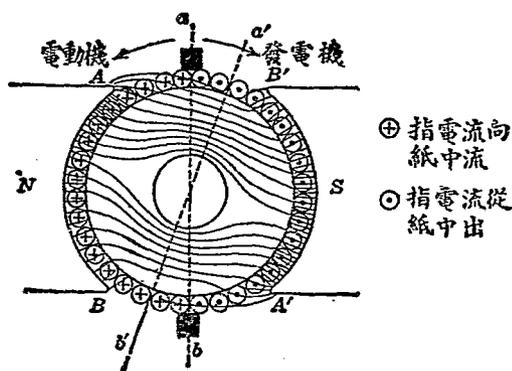
兩極，則在兩刷子之中心線上。其大部分之磁流，集中於磁極靴之一帶，蓋因兩極間之空隙，其磁阻力遠不若極靴之低也。

在電機負載時，發電子電流與磁場電流同時存在，故此時之磁場，可想像為以上二圖所示二磁場之綜合，不然亦不失為近似之推論。●此總磁場之形式，見第四十圖；無論為發電機或電動機，皆作此形。由此圖，可見在發電機，則磁場加強於磁極之後角（導線行經一磁極時，先遇之角曰前角，後遇者曰後角） A 與 A' ，而減弱於前角 B 與 B' ；在電動機則情形相反。又此時之中性軸（即導線不能割截磁線之處），已移至 $a'b'$ 之位置；此種效應，髣髴磁流向發電機旋轉之方向而扭轉，而與電動機之旋向則相反。

中性軸既經偏移之後，彼割截磁線而產生電動力之導線，乃以刷子（假定仍在 ab 軸線上）為捷徑。於是有多量之電流，流行於此等導線中，以其行經刷子，電阻較小也。刷子與整流子之接觸

●磁場綜合之說，不甚確切。實際上，發電子線捲與磁極線捲之電流，各生一磁動力，此二動力合併為一，乃復產生一綜合之磁流。若各部磁流與磁動力成正比，則前後兩說相同，惟磁路中既有鐵心，又況磁流密度已近於磁化曲線之彎曲部分，則前說之不確切也明矣。

處，驟增此電流，遂不免有火花發生，或竟因此致整流子遭
 毀損焉。更有進者，發電機將因而不能產生足量之電動力；
 蓋發電子上之導線數共為 Z ，在左邊者為 $N/2$ ，一一連列
 而成線捲，如第四十圖，但中軸既移， b' 與 b 間之導線，所生
 之電動力，適與 b' 至 a 間之導線所生者相反。以上二種效
 應，皆非所宜，前者足以減損發電子之壽命，及減低其效率，
 後者則足以減少機之產電量。故欲治此病，必當設法減小
 磁場之扭轉，使中軸之偏移，不為過甚；若此法不能行，則惟
 有轉移刷子之位置，使處於中性軸上，或與中軸相近。但刷
 子移轉時，發電子磁場（見第三十九圖）亦隨而移轉，其
 兩極之中心線常與刷子之軸線相合。故結果刷子向中性軸而前移，則綜合磁場亦愈向前扭轉。所
 幸者，磁極之 $A A'$ 兩尖角，因磁流之愈積愈密，漸成飽和，故其後扭轉不若前者之甚，而刷子之軸線，

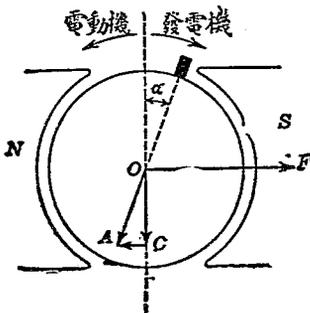


第四十圖 電機負載時之磁場分配狀況

終乃可以超過此中性軸焉。

第四節 交磁化與反磁化

設想第三十九圖中之發電子，從一外界之電源，輸入電流，至磁場則並不受勵。若將刷子前後搖移，則發電子之磁動力亦隨之轉移，其強度則不變。此動力可用一定長之線 OA （見第四十一圖）代表之，其方向與刷子之軸同。今若令磁場勵磁，則其磁動力可以 OB 線表之（假定發電子與磁場線捲中之電流方向，與第四十圖同）。按力學中有分力之法，以平行四邊形之對角線為總力，其兩邊為分力；今依此法，亦可分 OA 為二動力，一與 OB 成直角，一與 OB 平行，即圖中之 OC 與 CA 二線是，其方向如箭頭所指。故知發電子之磁化作用，實有二種效應，其一與 OB 成直角之 OC 線，名交磁化，又一與 OB 相反之 CA ，名反磁化。刷子之向

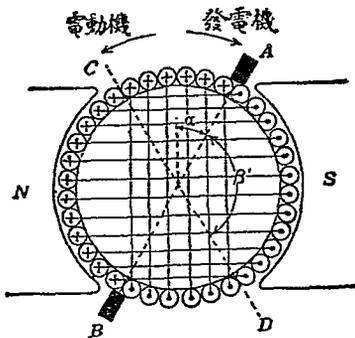


第四十一圖 發電子磁動力之分力

偏移，本為增進整流起見，但磁場則不免因而減弱，然以整流不善之弊，與減弱磁場相較，後者猶勝於前也。

第四十一圖之發電電子磁動力 OA 為分力 OO 與 OA ，尚非正確之方法；此不過剖解此磁動力之性質，而非定其量之大小也。雖然，吾人由此可直接得一推想，以發電電子之全部線分為兩部分，一為 AD 間與 CB 間之導線，一為 CA 間與 BD 間之導線（參看第四十二圖）。前者之導線，若依圖中之橫線，一一成對，則成若干線圈，其磁化效應，與磁場直角相交；故稱之曰「交磁化線圈」。其餘之導線，依直線成對，是為「反磁化線圈」，其效應與磁場相反。故在二極機中，每對磁極之反磁化圈數，等於兩倍於刷子移轉角度（ 2α ）內之發電電子導線數。

夫所謂反磁化作用者，蓋即發電電子交磁化之結果也。當刷子初處於幾何的中性軸上時，發電電子之全部磁化作用，純



第四十二圖 交磁化與反磁化之二部導線

爲交磁化，因交磁而發生扭轉之綜合磁場。迨刷子移近綜合中性軸，遂有所謂反磁化線圈矣。

第五節 磁場之分佈

第四十三圖中之(a)(b)(c)三圖，所以表示發電子磁場在三種刷子位置時，改變總磁場強度及其分佈之效應。每一圖中有一曲線*F*，表示磁場單獨之分佈情形；又有一曲線*A*，表示發電子之磁流分佈；曲線*R*則爲*F*與*A*之綜合磁場。各圖之整流情形如下：

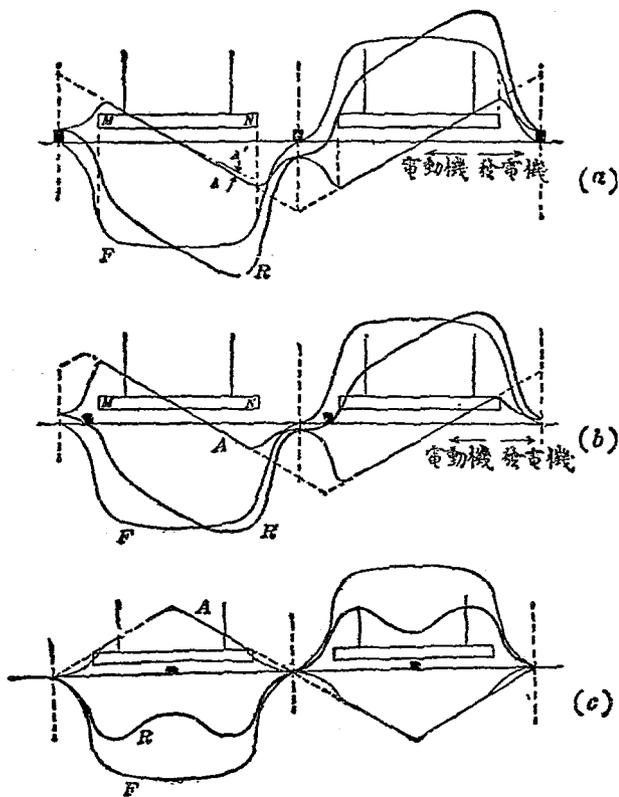
(a) 刷子在兩極尖角之中央。

(b) 刷子在兩極間，惟距前角較近。

(c) 刷子在磁極之中部。

在情形(a)時，磁場之扭轉，明示圖中曲綫*A*對於*F*爲對稱，故磁流之加於後角者（假定爲發電作用），適等於磁流之加於前角，而每極之磁流量則不因此而變。在(b)圖中，有扭轉作用，亦有反磁作用，且一極下之磁流，爲*A*減去者多，增加者少。在(c)圖中，並無扭轉，祇有反磁作用，蓋從刷子

之位置上觀之此時所有交磁化線圈，均歸消滅，而盡成A反磁化線圈，其反磁力遂達最高值。



第四十三圖 刷子在各種位置之總磁流分佈圖

第五章 發電機之運用

第一節 發電機之業務

發電機接受機械能力而變為電力，以供給於種種用電之器械：如電燈（普通電燈最宜用直電流，較用交流為善），直流電動機（電車及電機鐵路均用直流電動機），蓄電池（蓄電池之充電，必須用直流），電鍍器（亦非用直流不可）等。此等器械之取用電流於發電機，可作下列三種之連接，如圖：

圖（*a*）之並列電路，適用於電燈（*L*）及鐵路電動機（*M*）；蓋從此路取電，可得固定不變之電壓，且用電之器，任去其一，他機不受影響，此正電燈與鐵路電動機所需要之情形也。

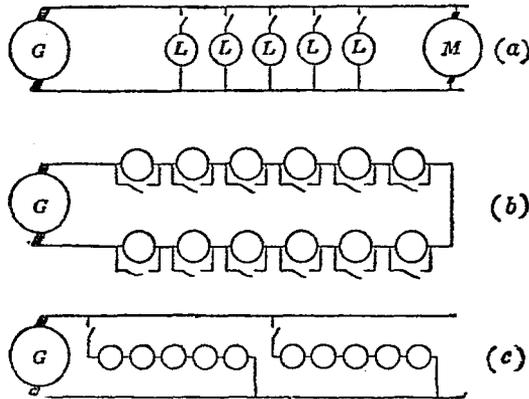
圖（*b*）為連列（或名直列）電路，多用於弧光燈及街路上之連列電燈，此皆需用同一之電

流者也（在此同一電路中，任何一點之電流皆同）。此法每燈之旁，有一分路；燈明時，分路斷截，燈熄，則分路閉合，故無論何燈不用時，可藉此分路之連接，不使他燈受其影響。

圖(c)乃上二法之併合，無庸詳述。普通用此並連列之接法者，如電車中之電燈，即其一例。電車所用之電壓，大概為五五〇弗打，故可用一一〇弗打之電燈五盞，連列相接，而並列於總電線之間。

設有電燈 N 盞，連接於定壓（即並列）路中，每盞取用電流 i 安培，則諸所需電流總量為 Ni 安培，

其所耗電力之總量，除線中消耗不計外，共為 NiV 瓦特， V 即總線之電壓也。若在定流（連列）路中，亦有電燈 N 盞，每盞用電壓 v 弗打，電流 i 安培，則諸燈之總電壓為 Nv 弗打，其所用電力總



第四十四圖 並列連列及並連列三種電路

量爲 N_{100} ，而線中之耗損不計也。第一電路（並列電路）所用之傳導線，在電流發出之端，其截面之大，須能負載 N_{100} 安培之電流，其後每過一燈，即減少一燈之電流，其導線亦可隨而減小，至末端則線之截面僅須負載一燈之電流矣。在第二路（連列電路），導線之截面始終如一，以路中各部之電流皆均等也；惟導線間之電壓，在發電機一端爲最大，自後每過一燈，即減少一燈之電壓，愈遠而愈減，最後則僅一燈之電壓而已。是故並列電路需用之銅量，遠較連列電路爲多，然連列路亦有其弊，即電壓過高，每不適宜戶外之用，——二者各有其短，適相抵也。今譬如有弧光燈一百二十五盞，每燈需電壓五〇弗打，連列相接，則諸燈總電壓當爲六二五〇弗打；加以抵抗電線阻力必需之電壓，則發電機所發之電動力，至少須自七〇〇〇弗打至八〇〇〇弗打之譜，此等高壓，危險特甚，非安全之道也。

並列電路，普通稱之爲定壓路，實則並不十分穩定；蓋因電線之阻力，電壓愈遠而愈減。欲減少此電壓之降落，惟有增大導線之截面面積，以減小其電阻，然導線既粗，成本卽大爲增高，截面之加大遂受其限制。燈之距電機遠者，欲令電壓恆定，不因供給之電流量而變，則須設法將發電機之電

壓，隨電流之增加而提高之，使其足以補償導線中之電壓降落。

第二節 特性曲線

觀於上述各種業務上之需要，而後知考求發電機之種種特性為不可少，蓋不如是，則不能斷定何者為適用於某項業務，何者為不適用也。欲研究而比較其特性，最簡單之法，莫如用特性曲線，以表明該機運用時各種變數（如電壓速度等，皆可變之數量）之關係。例如所謂發電機之「外部特性曲線」者，乃以是機之線端電壓（二刷子間之電壓）為依賴變數（隨他變數而變者），以其外部（總線）電流為獨立變數（獨自變更，與他變數無關者），而能表明此二者之關係之曲線也。

又有所謂電壓調節率者，亦特性曲線之一。普通發電機之線端電壓，滿負載（即該機所發出之電流，在規定值時）與無負載不同。此二種電壓之差，即可以此計量是機去定電壓之遠近；真相差大者，電壓即不易穩定，是去定壓也遠，反之則去定壓也近。此項計量之法，必須確定，而後可以比

較製造與大小各不同之電機。按美國電氣工程師協會所定之標準計算法，電壓調節之百分率（簡稱調節率），等於滿負載電壓與無負載電壓之差數，為滿負載電壓所除，復以一百乘之。（所以乘以一百者，化小數為百分數，而逕稱之曰百分之幾也，例如按法算得四二，可逕稱之為百分之四十二，若不乘此數，則答案變為〇·四二矣）。

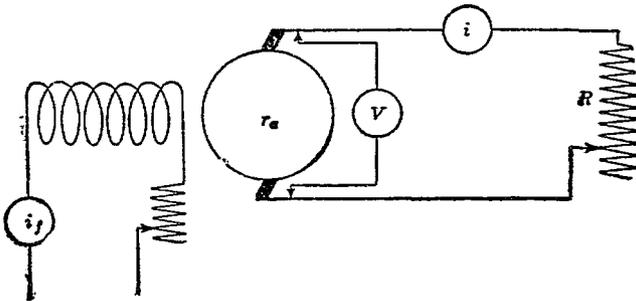
第三節 他勵發電機之特性曲線

發電機以勵磁之不同，可分二種：一名他勵，一名自勵。他勵機者，勵磁之電流，取給於其他電源，其勵磁之強弱，可任意變更，與該機之發電子電流不生關係，故亦名分別勵磁機。自勵機者，勵磁電流取諸自機，磁場之強度，受制於發電子，其所以能勵磁者，全恃乎磁極鐵心中所留之餘磁，若無此磁，則自勵電機不能有發電之作用，蓋發電子必先切過力線而後能發電也。自勵機更分連捲，分捲，合捲三種。第一種磁場線圈與發電子連列，第二種之磁場線圈與發電子並列，所謂合捲者，即磁場線捲之一部分與電發子連列，又一部分與發電子並列。此四種發電機之特性，詳本節及以下諸節；

茲請先述他勵發電機之特性。

他勵發電機最適宜於試驗之用；在試驗其特性時所用之電路，見下第四十五圖。大凡發電機之特性曲線，有以下諸種：一曰無負載曲線（即磁化曲線，見第四章第一二兩節），乃表示電機在無負載時，線端電壓 E 與磁場電流 i_f 之關係；二曰外部特性曲線，表示在定值之磁場電流 i_f 時，線端電壓 E 與負載電流 i 之關係；三曰負載曲線，表示在定值負載電流 i 時，線端電壓 E 與磁場電流 i_f 之關係；四曰發電機特性曲線，表示在定壓 E 時，磁場電流 i_f 與負載電流 i 之關係。總之，此四種曲線，不外乎在 E , i_f , i 三者中，令其中一項為常數，而表示其他二項變數之關係而已。

第一種曲線已詳前章，茲不贅。第二曲線之測定，可按照上圖之連接；圖中 i_f 為計量磁場電流之電流表， V 為計量線端電壓之



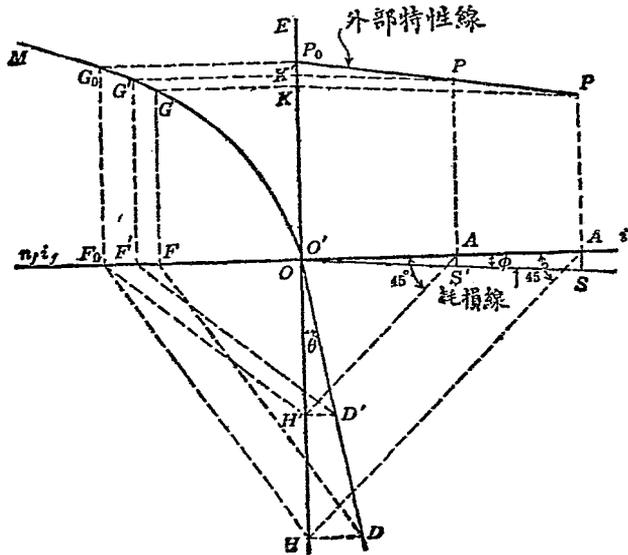
第四十五圖 他勵發電機在試驗其特性時之連接

電壓表， i 為計量負載電流（此處等於發電子電流）之電流表， R 為代表用電器具之電阻器，其電阻可以增減，以變更 i 之數值， r_a 代表發電子線捲之總電阻。今先令發電機旋轉於規定之速度，次令一定值之電流勵磁，復次將刷子依旋轉方向移轉，至最適宜於整流為止。然後將電阻器 R 變負載電流，自小逐步增大（至多不能過規定電流之兩倍），每步觀察 V 與 i 之數量。試驗既畢，乃以 V 之數量為縱坐標， i 為橫坐標，作一曲線，此即所謂外部特性曲線（即第四十六圖中之 P_0P ）是也。按此種曲線，電壓常隨負載之增加而降落，其降落之原因有二：一由於發電子電阻，名電阻降，所降之量等於 $S_a i$ ；二由於發電子之反磁作用，磁流減小，則電壓亦減，——二者皆與 i 成正比。以上所述，乃從實驗上求特性曲線之法；此外亦可用幾何作圖法，從該機之無負載曲線求之。其法如下：

第四十六圖中， OM 為該機之磁化曲線，以每對磁極之安培圈數 ($n_a i_a$) 為橫標，無負載電壓（即發電子感應電壓） B 為縱標。設上述之勵磁電流乘磁場圈數之積為 OF_0 ，則感應電壓為 $F_0 G_0 = OP_0$ ，此即電機在斷路時（即無負載時）之電壓。迨電路既通，調節電阻器 R ，得負載電流

i ；今以橫標上之 $O'A$ 代 i 之值，乃從 A 點作一線，與橫標成四五度角，遇縱標於 H ，是 $OA=OH=i$ 。於 H 點，作一與 OA 成平行之 HD 線，長度等於每對磁極反磁化之安培圈數，即 $HD = \frac{\alpha Z i}{180\alpha}$ (α 為刷子偏移角度， Z 為導線總數， i 為負載電流， α 為發電子線捲電路數)，表尺 (即每一單位長度所代表之安培圈數或其他數量) 與磁化曲線 OM 之橫標同。作 OD 線，此線各點與縱標之橫距 (例如 $H'D'$)，乃代表各種負載 (例如 $O'A'$) 之反磁化安培圈數。從 $O'F_0$

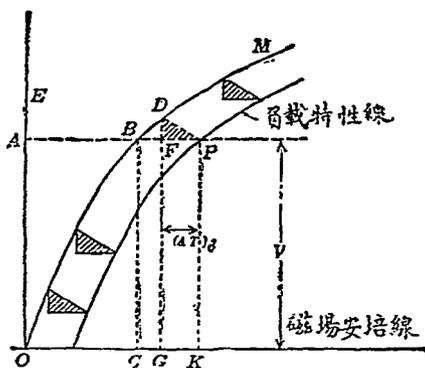
第五章 發電機之運用



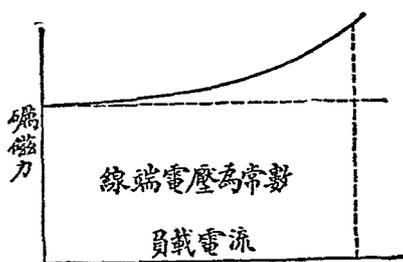
第四十六圖 他勵發電機外部特性曲線之作法

上減去 HD ，得 OF ，此即餘剩之勵磁力。與此 OF 相配之電壓為 $FG = OK$ 。若負載電流為 OA' ，則勵磁力為 OF' ，電壓為 $F'G' = OK'$ 。從 OF_0 減去反磁化力 HD 及 $H'D'$ ，可用平行線 HF_0 、 DF 及 $H'F_0$ 、 $D'F'$ 爲之，如圖。上法所得之 OK 及 OK' ，尙不足以代表真正之線端電壓，以尙須減去 s_0 之電阻降也。設已知發電子電阻之值（可另用電壓電流兩表量之，復按歐姆定律算之即得），則乘以 OA ，即得電阻降之值；以 AS 代此值，作 AS 及 OS 兩線如圖。 OS 線上各點至橫軸之距離，如 $A'S'$ 等，各代表某負載時之發電子電阻降。今從 OK 減去 $A'S'$ ，作平行線，與 A' 點之縱線相交於 P' ，則 $A'P'$ 者，即與 OA' 相配之線端電端也。以同法作 P 等諸點，以曲線連之，即得所謂外部特性曲線矣。讀者宜注意，此線所代表之關係，乃在規定之速度。若在非規定之速度，則須以比例法，化電壓爲規定速度之值，然後以之作曲線。電壓與速度常成簡單之正比，故速度若爲規定值之半，則可將量得之電壓倍其值，便成規定速度之電壓。

所謂負載曲線（見第四十七圖）者，乃令負載爲常數（速度亦在規定值），以量得之線端電壓爲縱標，勵磁力爲橫標，而表示此二者關係之線也。此線不若前之重要，其作法從略；至實驗測



第四十七圖 他勵發電機之負載曲線



第四十八圖 他勵發電機之發電子特性曲線

定之法，則與上法相類，讀者不難隅反也。又所謂發電機特性曲線（見第四十八圖）者，以勵磁力為縱標，以負載為橫標，令線端電壓為常數，在他勵發電機，勵磁力隨負載電流而俱增（如圖）。此線亦名「調節曲線」(regulation curve)。

他勵發電機最適用於定壓之業務，但電量大者，每以較為優美之並列式及複式之自勵發電

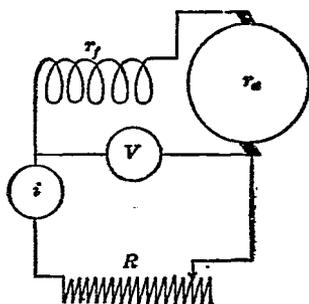
機代之。然為測驗之用，則此機自有其特長，試驗室中多用之。

第四節 連列發電機之特性曲線

連列發電機者，自勵機之一種，其磁場線捲與發電子線捲連列相接，如第四十九圖。此機之負載電流，即是流過發電子及磁場線捲之電流，故磁場之勵磁力，隨負載而增，與他勵機之勵磁為獨立者不同。又此機電壓之降落，不單由於發電子之電阻，亦由於磁場線捲之電阻，故線端電壓 V 之數量，等於感應電壓 E 減去此二線捲之電阻降。以算式表之，為：

$$V = E - i(r_a + r_f)$$

此機外部特性曲線之計量法，與前節同。首將電表等如法連接，令發電機旋轉於規定速度。變更負載路中之 R ，逐步增高負載電流；於每一步記錄 V 與 i 之數值，然後以 V 為縱標， i 為橫標，作特性曲線。



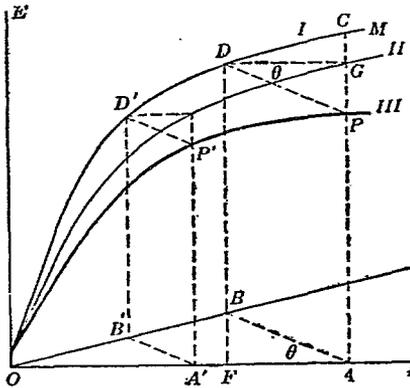
第四十九圖 測定連列發電機外部特性曲線之接線圖

因此機之負載電流，即係磁場電流，故表明 V 與 i 關係之外部特性曲線，其形式頗與表明無負載時 B 與 i_f 關係之磁化曲線相似，第五十圖中之曲線 I ，即係磁化曲線（此線須用他勵法求得）；曲線 II 為曲線 I 受發電子反應而減低之曲線；曲線 III 為外部特性曲線，復因電阻而減低者。此三線形式皆相似； III 之異於 I ，在經過兩重之降壓耳。由此觀之，吾人苟知反磁化電流之值，及 r_a 與 r_f 之總和，即可從曲線 I 以推得曲線 III 之外部特性。茲述其作法如下：

任取一電流值 OF ，其相配之電壓為 FD ；從 D 點

作一平行線 DG ，其長度為 $\frac{\alpha N_f i_a}{180\alpha} \cdot \frac{1}{\eta_f}$ （ η_f 乃磁場線

捲之圈數，因前項為安培圈數，必除以圈數，始可化為安培，參看第三節。）又從 F 點作縱線 FD' ，等於 $i_a(r_a + r_f)$ 。作一 OB 線。此線各點與橫標之垂直距離，等於各該負



第五十圖 連列發電機外部特性曲線之作法

載時之電阻降。從 G 點作 GP ，等於 FD ；此 P 點即在負載電流 OA 時之線端電壓也。 FA 一段電流之增加，所以抵消 DQ 之反磁化電流，乃於負載時，欲得與 FD 同等之電壓 AG 所必需者也。以同一方法，不難求得相似之他點，如 P' 等；最後以曲線連接之，即得代表 V 與 i 之外部特性曲線矣。此線所代表之線端電壓，亦指在規定之速度；速度低，則曲線低，速度高，則曲線高，與他勵機之情形同。

連列發電機之特性曲線，表示負載電流愈增，則電壓亦隨之而增，惟並不成簡單之比例。此機電壓雖極難使之穩定，然可以之供給定量之電流。故此機可適用於弧光燈之電路，惟近今每以汞氣整流器 (mercury rectifier) 代之。至連列式之電動機，則應用頗廣，詳下章。

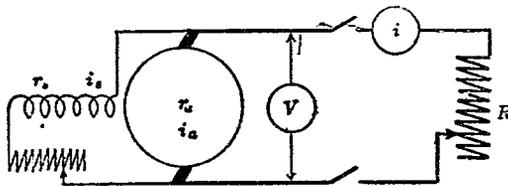
第五節 並列發電機之特性曲線

此機之磁場線捲與發電子線捲之相接，非連列而為並列，故磁場線捲所受之電壓與發電子之線端同，而其電流則不同，須視其路中電阻之大小而異。其外部特性曲線之測定，與前二機大略

相同，祇須記錄 V 與 i 之數值（參看第五十一圖），令速度與勵磁力均在規定之值可矣。其法既簡，無庸複述，今試述該曲線之幾何作法，以明此機之作用。

第五十二圖示作法之大要，圖中 M 為磁化曲線，其右即為外部特性曲線。設此機運用時，斷其負載之路（如第五十一圖），此時勵磁力為 OF_0 。安培圈數，電壓為 $F_0 L$ ，今於 M 線上之 L 點，作一 ON 直線，此線之斜度（即 $F_0 L / OF_0$ ），與磁場路中之電阻成正比。此 ON 線上之各點，其縱橫兩標，即是線端電壓與勵磁力之相配數值，此理甚明。今假定負載路閉合後，變更路中之電阻，得線端電壓 OO' （第五十二圖），此時之問題，在欲指定一 P 點之地位。在 $OO'P$ 之直線上，且須在外部特性曲線之上。

經 Q 點作一平行線，與 ON 交於 C 點，與此點相配之勵磁力為 OC 。若無發電機之反應，則感



第五十一圖 測定並列發電機外部特性曲線之接線圖

此 P 點之縱標代表線端電壓，其橫標則為發電子電流之總量，與負載電流，尚差一磁場中之電流，欲求正確之負載電流，可於圖中作一 OP_0 線，與橫標成 ψ 角，此角之大小為 $\sin \alpha$ (磁場電阻)。此線與縱標之垂直距離如 $O'X$ ，即是在各該線端電壓之磁場電流，故此線與曲線之橫距，便為負載路中之電流，如 $X'P$ 是也。

並列發電機運用於規定速度時，其電壓極為平穩，其無負載與滿負載電壓之差，雖較他勵發電機為大，然可以設法減至極小。此機因有是種特性，故甚適用為交流發電機之勵磁機（參看拙著交流電機一書），又最宜於蓄電池之充電，能自動調節充電之電流量。

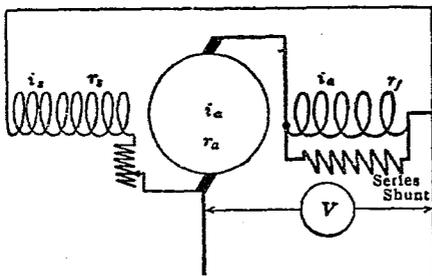
第六節 複式發電機之特性曲線

複式發電機有磁場線捲二，一與發電子線捲並列，一與發電子線捲連列，是不啻合連列與並列之發電機為一機，故名複式發電機。此機因磁場二捲連接之不同，有長並列與短並列之別；長並列者，磁場之並列線捲，一端接於刷子，一端接於連列捲之外端（見第五十三圖）；短並列者，此線

捲之兩端，各連接於刷子，即連列線捲接於此並列路之外。長列線捲所受之電壓為線端電壓；短列線捲所受者，則為刷子間之電壓，較前少一連列捲兩端之電壓。

複式機之特點，在乎取並列與連列二機之長，而互補其所短；例如其無負載與滿負載電壓之降落，可因連列捲之升壓作用，而補償之，或償其片部，或全部，或竟至補償過度。補償過度（即滿負載電壓反高於無負載）之目的，在使傳導線較遠之處，可維持其恆定之電壓（參看本章第一節），蓋此所增之壓，適足以抵消線中之電阻降也。從實驗上求此機外部特性曲線之法，不外乎計量其線端電壓與負載電流之相配各值，與第三節所述者同，讀者自能明瞭，茲故從略。

複式發電機外部特性曲線之作法見第五十三圖。圖中 $O'M$ 為磁化曲線，令 $O'N$ 為並列磁場電阻線，與五十二圖同。茲先假定在發電子電流 $i_a = 0.4$ 時，線端電壓為 $E_1 G_1$ 。此時之並列磁場



第五十三圖 測定長並列複式發電機外部特性曲線之接線圖

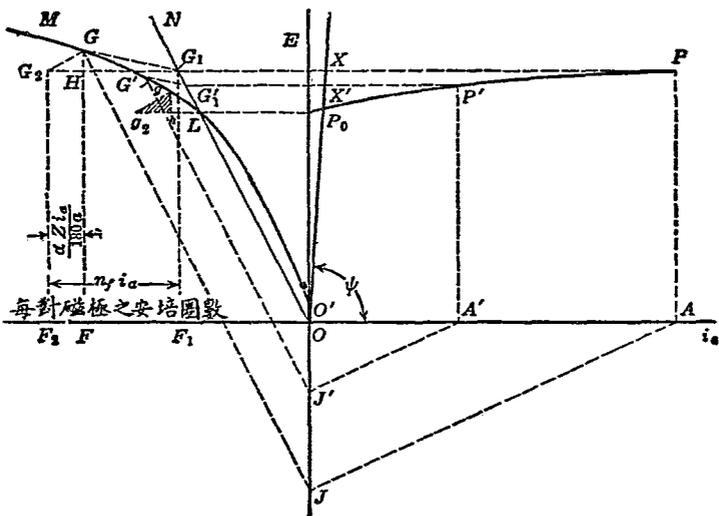
之勵磁力爲 OF_1 ，加以連列磁場之勵磁力 $F_1 F_2$ ($n_f i_a$)，得總勵磁力 OF_2 ，減去反磁化力 $\frac{\alpha Z i_a}{180 a}$ ，得實在勵磁力 OF' ，此勵磁力所感應之電壓爲 FG 。但線端電壓祇有 $F_1 G_1$ ，故 $FG - F_1 G_1 = GH$ ，必爲發電子線捲與連列磁場線捲之總電阻降，即 $i_a (\sigma_a + \sigma_f)$ 。綜上所述，得以下諸式：

$$F_1 F_2 = G_1 G_2 = n_f i_a$$

$$G_2 H = \frac{\alpha Z}{180 a} \cdot i_a$$

$$GH = (\sigma_a + \sigma_f) i_a$$

第五章 發電機之運用



第五十四圖 複式長並列發電機外部特性曲線之作法

由此可知 G_1G_2 三角形之三邊皆與 ω_a 成正比，故三邊之比例爲定數，與 ω_a 之數值無關，其三頂角之角度亦爲常數。例如頂角 G_1 之角度，可從下式算之：

$$\tan \angle G_1G_2G_1 = (\alpha_a + \alpha_f) / (\alpha_f - \frac{\alpha N}{180\alpha})$$

餘角算法與此相類。

今既知此各項數量之關係，則曲線上 P 點之位置，不難按下法求之。首假定 F_1G_1 爲線端電壓（此時與電壓相配之電流，尙爲未知，求法詳下），從 G_1 點作一平行線，又作一線，與平行線成 G_1G_2 角，其大小可從上式算得。次從 G 點作一線，與垂直線 GF 成 G_2GH 角，其大小可從下式算之：

$$\tan \angle G_2GH = G_2H / GH = \frac{\alpha N}{180\alpha} / (\alpha_a + \alpha_f)$$

此線與平行線 G_1G_2 交於 G_2 。因 $G_1G_2 = \omega_f \omega_a$ ，今 G_1G_2 所代表之安培圈數（從 G_1G_2 之長度及

橫標之表尺得之 i_a 已爲已知，則 i_a 之數值卽不難算得，此 i_a 者，卽與電壓 E_1, G_1 相配之發電子電流也。於是作 OA 代此電流量，從 A 點作垂直線，與 G_1G_2 之延長線相交於 P 點，此卽所欲求之點也。既得此 P 點後，其他諸點，如 P' 等，求之更易。法從 G 點作 GJ 線，與 ON 平行，連 AJ 線。今假定發電子電流爲 OA' （線端電壓爲所求之未知數），乃從 A' 點作 $A'J'$ ，與 AJ 平行，又作 $J'G'$ ，與 JG 平行，次從 G' 點，作 $G'G_1$ 線，與 GG_1 平行。最後從 G_1 點作平行線，與 AP' 相交於 P' ，於是所求之 P' 乃定。

在短並列之複式發電機，連列線捲中之電流爲 i_1, i_2, \dots, i_n ，故第五十四圖之作法不能合用。但在滿負載時，或與之相近時， i_1 與 i_2 之相差甚小，在大發電機尤甚，故上法亦可求得極近是之結果焉。

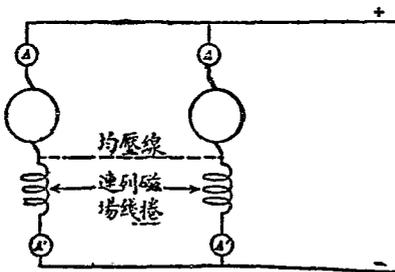
複式發電機之用途，在各式直流發電機中爲最廣，以其能供給恆定之電壓，且能使導線較遠之點，不受電阻降壓之影響也。此機可供給電流於熾熱電燈，及電量甚大之電機鐵路。

第七節 發電機之並列運用

遇電路中之負載過於發電機一具之電量時，自必添用數機，以供給此過量之電力。在定流路中，負載與電壓成正比者，所添之發電機，須與電壓不足之原機並列相接。同理，在定壓之電路中，添用之發電機，須與電流不足之原機並列相接。此二種電路中，以定壓者較為普通，故就發電機之並列運用法述之。

(a) 連列發電機 第五十五圖示並列運用之連列發電機。

此種運用往往不能得完善之效果，蓋苟有一機因某種原因（如原動機速度低減），而驟減其產量，則其電壓與電流均將因而下降（參看第四節外部特性曲線）。此機負載既減，則第二機將增其產量以補前機之短；產量增則電壓電流隨之而增，於是負載更偏重於第二機，而第一機之電壓與電流乃益減。此項作用繼續進



第五十五圖 並列運用之連列發電機

行，最後則第二機獨任全部之負載，並以電力輸於第一機，而驅之為電動機。從發電機變為電動機，必須改變旋轉之方向，故第一機之驟然變向，必致使原動引擎之連接桿，因而損折。是故連列機之並列運用，頗難平衡；二機負載之分任，亦難於平均。此皆其上升外部特性有以致之也。

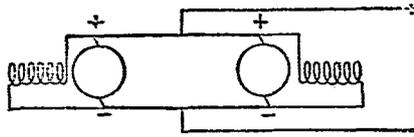
欲除此弊，惟有加一均壓線於二機磁場線捲內端之間，如第五十五圖中之虛線是也。此線所以連接兩機之磁場線捲，而使之成並列。若一機所任之負載，過於其應任之比例，則此過量之電流，自能分流於兩磁場捲中，於是負載較少之機，乃增加其勵磁力，同時即提高其電壓，遂自動的糾正其負載之分任焉。

(b) 並列發電機 並列發電機之外部特性曲線與連列機迥異，其電壓常下降而非上升，故並列機作並列運用時（第五十六圖），苟一機任負載較大，其電壓自能降落，因而減小其負載，至應負之比例而止。是以此機有自動調節其平均負載之能力，無需均壓線以為之助。

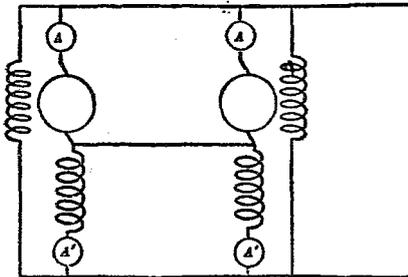
並列機之並列運用，固不必二機（或多機）之產額相等，惟所負之負載須與各該之產額成比例，而後可得適當之分任。欲使負載與產額成比例，必兩機之特性曲線（線之橫標須用滿負載

之百分數為表尺)形式相同而後可,否則在同一之電壓,決不能按比例而分任也。

(c)複式發電機 複式發電機兼有連列機及並列機之特性,故其外部特性或上升或下降,視連列線捲之磁力強於並列磁場或弱於並列磁場而異。上升之曲線,與連列機同,須用均壓線(或稱同位線),連接如圖。曲線下降之機,則與並列機同,不必用均壓線,而自能平均分任。計量兩機之電流,須置於電流表於均壓線之對面(如圖中之A),切不可置於均壓線之一端(如圖中之A');蓋在A'之位置,負載較輕之機,因受有均壓線中,自他機輸入之電流,致此機A'所量之電流,反較他機A'所量為大。故須易置A處,方能正確量得該機所輸出之電流量也。



第五十六圖 並列運用之並列發電機

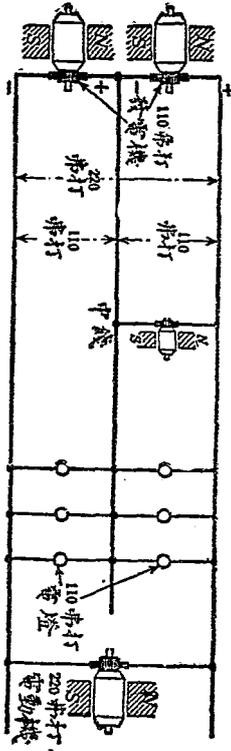


第五十七圖 並列運用之複式發電機

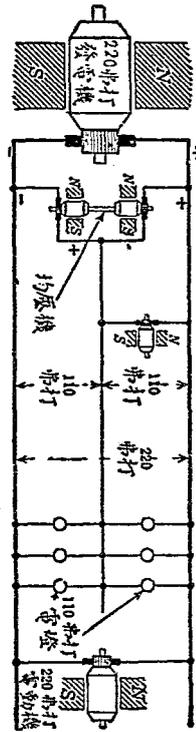
第八節 三線發電機

普通電力之輸送，每以高壓緩流，較諸低壓急流為經濟，以高壓則電流小，電流小則電阻之耗損減，即同一之耗損，可改用較細之銅線也。惟供給電燈之直電流，以一一〇至一一五弗打之效率，又欲高壓輸送之銅線經濟，適宜於電燈，而效率亦最高。今既欲獲得一一〇至一一五弗打之效率，又欲高壓輸送之銅線經濟，於是乎有三線制之採用。

三線制之種類甚多，有以發電機二具為之者（第五十八圖），有以發電機一具及均壓機二



第五十八圖 二機連列之三線制



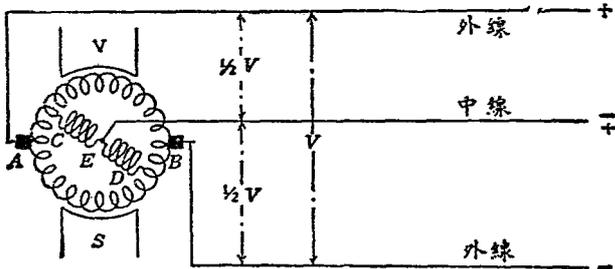
第五十九圖 均壓線之二線制

具爲之者（第五十九圖）；有單用一發電機，而從其發電子之中心，另接出一第三線（名中性線，簡稱中線）者（第六十圖）。按普通輸送，兩路須用四線，今改用三線，而得同一效果，省去銅線四分之一。第五十八圖，係用二機連列相接，中性線接於兩機之連接點。凡用一一〇弗打者，可跨接於中性線與外線之間；他若大電動機等，須用二二〇弗打者，可跨接於兩外線之間。此法應用最早，亦最簡單。

第五十九圖之發電機，供給二二〇弗打之電流於二外線，其間連接均壓機二，以供給不平衡之電流於中線。當中線兩邊之負載相等時，二均壓機皆運用爲無負載之電動機，中線中無電流，與

二線制同；若二邊負載不等，則負載較輕之一邊，電壓必高，此邊之均壓機仍運用為電動機，惟負載較重一邊之機則為前者所驅使，而成發電機，以供給電流於重負之路中，故此制能藉此以自動增減兩邊之電流，以應負載之所需。

以上二法之短，在需用電機一具以上，因而須有額外之護視與維持，較諸同等產額之一機，成本既高，效率又低。於是有人創為單機三線制者，如第六十圖所示。法於發電機鐵心中加另一鐵心，上繞線圈（CED）；線圈之兩端接於發電機線捲之二點，相去一百八十電度（自北極至南極為一百八十電度，在二極機，電度與幾何角度同，在多極機，則電度之數與幾何度之比，等於磁極之對數，例如六極機有磁三對，全周共有 3×360 電度，即三倍於幾何度）。於此線圈之中心點 *E*，接出一線，作為中性；在平衡狀態，此線無電流，否則即有電流流行，以供給負載較重之一邊，作用與均壓機同。



第六十圖 單機三線制

第六章 電動機之運用

第一節 電動機之業務

電動機之業務，不外三種：一曰定速，二曰調節速度，三曰變速。電動機之能速度固定不變者，如並列電動機，可用於工廠中之動軸，及電扇等。至於速度可以調節之電動機，須能在最高及最低之兩速度間，任定一值，及既定之後，在無論何種負載，祇須在該機限度之內，能穩定不變。此機可用以驅動各種製造機器，每一機器各裝一具。變速電動機者，其速度隨負載而變，乃其特性使然；此類電機，如連列電動機及增磁式之複式電動機皆是，最適用於負載增則速度減之業務，如電車及起重機等。以上三種電動機，速度之特性雖異，而其所受之電壓，則均為定壓。吾人欲得完善之運用，必須對於各種電動機之特性，如速度與旋力（或稱力矩），負載，及電磁數量之關係，不可不具詳備之

智識，茲詳論於下。

第二節 反電動力旋力及工力

電動機之電動子（在發電機稱曰發電子，二者實是一物，因作用之不同而異其名稱，亦有統稱爲發電子者），輸入電流後，發生一磁場，與磁極所生之磁場成直角，二者異極相吸，同極相拒，與普通磁鐵之作用同；因此吸拒之作用，遂使靜止之電動子繞軸旋轉，其方向以佛來銘之左手定則定之。但當電動子旋轉時，其導線則割截磁極發出之磁流，一如發電機之作用，遂感應一電壓，與該機所受者相反（參看第一章第四節楞次定律），此即電動機所必具之反電動力是也。在無負載時，此反電動力幾與外加之電壓相等，所差者不過少許之電阻降耳。此反電動力亦電動機所必需，蓋無此則電流將潰決於電阻極小之電動子路中，而焚燬其線捲矣。

電動機之工力有二種：一曰電工力，即輸入之工力，等於線端電壓 V 與電動子電流 i_a 之乘積 $V i_a$ ；二曰機械工力，即輸出之工力，等於輸入之工力，減去電阻消耗 $i_a^2 R_a$ 。此輸出之工力，尙非有用

之力，蓋須減去軸承及刷子之阻力，及空氣阻力，及機身各部中之磁滯與渦流等消耗也。輸出工力之數量，以電量計，等於反電動力 E_a 與 i_a 之乘積；以機械量計，則等於旋力 T 與角速度 $2\pi \frac{n}{60}$

(n 即每分鐘轉數， T 即動力乘皮帶盤之半徑，故 $T \times \frac{2\pi n}{60} = F \times \frac{2\pi r n}{60} = Fv$ ， F 即動力， v 即

直線速度，此即機械工力之公式，其單位以瓦特或每秒呎磅或馬力計，馬力一匹等於每秒五五〇呎磅，或等於七四六瓦特) 之乘積，故得下列之公式：

$$P = E_a i_a = 2\pi \frac{n}{60} T \text{ 瓦特} \quad (1)$$

$$\text{或} \quad T = \frac{60}{2\pi n} E_a i_a = \frac{60}{2\pi n} \frac{p}{a} \frac{\phi Z n}{60 \times 10^8} i_a = \frac{60}{2\pi} Z' \phi i_a \quad (2)$$

式中 $Z' = \frac{p}{a} \frac{Z}{60 \times 10^8}$ ， T 之單位為朱爾 (joules)，等於 10^7 爾格 (erg)。若欲化為呎磅，則

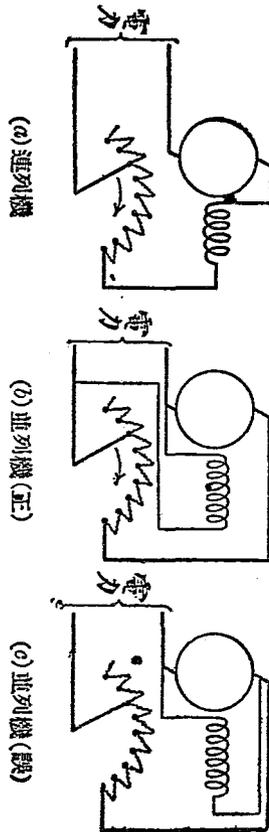
$$T = 7.05 Z' \phi i_a \quad (3)$$

由此式可知電動機之旋力，視乎磁場與電動子電流之強度。

電動機在初發動時，速度尙小，反電動力亦小，於是電動子之速度乃自行增加，至輸入與輸出之工力相等而止。今若增加其負載，則旋力必隨之而增；設 ϕ 爲定值，則 i_a 之值必須增加。然欲增加 i_a ，非令反壓減低不可；所謂減低反壓者，即減低其速度也。故增加負增之結果，足以減低機之速度，此乃普通之推論，與蒸汽引擎之作用相同。然亦有負載增而速度亦增者，此惟電動機能之，他種引擎所不能也。蓋欲增加旋力，以應較重之負載，初不必減低速度，苟能減低磁場之強度，則反動力自減，反動力減則電流大，而旋力亦隨之而增，是速度不減，亦能得一之結果。今若所減之磁力，過於所需之量，則速度非但不減，且可隨負載以俱增矣。在減磁複式電動機，即具有此功能者也。

電動之起動，有一事須注意者，即起動時，荷負載甚大，速度尙小，反動力不足以抵抗外壓，結果必致如上文所述，潰決於電阻極小之電動子中，而致燬損。欲防止此弊，惟有置一電阻器於發電子路中，而與之連列，如第六十一圖。平時電阻全置路中；初動時，乃漸漸減去，至速度達規定值時，始完全撤去。圖（a）示連列機中安置此器之法，圖（b）示並列機安置之法，圖（c）示圖（b）之誤。若誤

作(c)之連接,則磁場線捲之電壓大減,即磁流與旋力皆減,設該機未加負載,則其速度將因而激增,結果必發生危險矣。



第六十一圖 起動電阻器之連接法

第三節 他勵電動機之特性曲線

電動機之特性曲線有二：一曰速度特性，一曰旋力特性；二者為運用電動機時所不可不知者，故特以曲線表之，以便於查考也。

(a) 速度特性曲線 速度特性曲線者，乃表示電動機速度 n 與其電動子電流 i_a 之關係者也。按他勵電動機之反電動力 E_a 與外加電壓 V 之關係，為

$$E_a = V - i_a r_a \quad (1)$$

而
$$E_a = \frac{p}{a} \frac{\phi Z n}{60 \times 10^3} \quad (2)$$

故
$$\frac{p}{a} \frac{\phi Z n}{60 \times 10^3} = V - i_a r_a$$

或
$$\phi Z n = V - i_a r_a$$

故得
$$n = \frac{V - i_a r_a}{\phi Z} \quad (3)$$

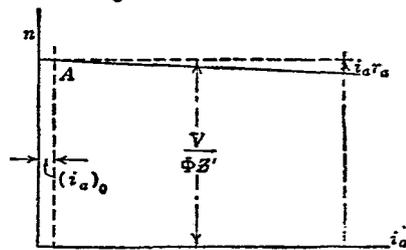
式中 r_a 與 Z 為常數， V 與 ϕ 亦為定值，故此式即代表 n 與 i_a 之關係。此曲線形式，見第六十二圖。按上式，若 $i_a = 0$ 則 $n = \frac{V}{\phi Z}$ ，此與事實不合，蓋電流既無，則旋力亦滅，更何從而有速度可言乎？以理

論言之，倘電動機無軸承空氣等等之阻力，雖無旋力，亦得因電動機之惰性（假定速度自高減低），而維持其 $n \parallel \frac{\phi}{Z} V$ 之速度。但事實上，有行動必有阻力，故 i_a 減至於零，則電動子之能力，必消耗於種種阻力（變為熱力），而終至停止；苟欲抵消阻力，非加入工力不可。圖中之 $(i_a)_0$ 者，乃電機於無負載時，維持其行動所必需之電流也。速度

$n = \frac{\phi}{Z} V$ 可稱之曰零負載速度，即毫無耗損之理想的速度是也。

速度之變更，可以二法為之，一變電動機電壓 V ，一變磁場強度 ϕ ；增 V 則速度增，增 ϕ 則速度減。然 ϕ 之增減殊為有限，蓋此值過大或過小，皆足以使整流作用發生困難也。至於 V 之增減，則頗為自由，苟勵磁力在規定之值，決不發生整流上之困難。在他勵機中， V 與 ϕ 可單獨變值，不生關係，此則他勵機之特長也。

測驗此機速度特性之法，可採用第五章第三節第四十五圖之連接，而以供給電力之總線接



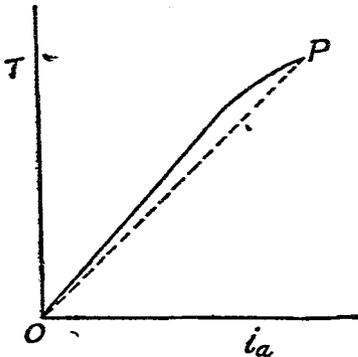
第六十二圖 他勵電動機之速度特性曲線

於 R 之兩端，或與 R 連列。令 n 維持於定值，然後以電阻器 R 變 V 之數值，分數步增減。於每一步，計量電動子之電流，並同時以速度表 (tachometer) 量電動子之旋轉速度 (每分鐘若干轉)，結果即得其特性曲線上之各點矣。

(b) 旋力特性曲線 按上節公式 (3)，以呎磅計算之旋力為：

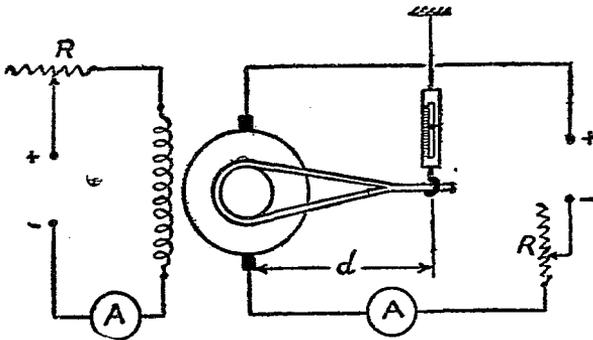
$$T = 7.05 \phi Z' i_a$$

從此公式觀之，若令勵磁定值 (在他勵機最定固定)，則旋力 T 與 i_a 之關係，即成為最簡單之直線函數 (見第六十三圖)。然事實上未必真能成一直線，如圖中之虛線，蓋與此旋力有關之磁流 ϕ ，難免不為電動子電流之反磁化力所減弱； ϕ 弱則旋力亦弱，故曲線 OP 稍向下彎曲也。但在該機之工作範圍以內 (即自零值之 i_a 至最高限度之值)， ϕ 之變更，亦殊有限，故 OP 竟可視作直線也。



第六十三圖 他勵電動機之旋力特性曲線

旋力特性曲線之求法，亦可用幾何法為之，然除設計製造而外，不若實地測驗之切實易行。測驗時可依第六十四圖之接線，並於電動機之皮帶盤上，加一制動器（如圖），器之端部，用一彈簧秤懸之。試驗前，須注意制動器之重量而記錄之，以後所稱重量，均須減去此數。今乃加電壓於機上，令電動子以鐘向旋轉（即右旋，若為左旋，可對換總線之兩端），並加緊制動器，不令旋轉。此時從彈簧秤上，可以見旋力之重力，以此重力乘秤鉤與電動子軸心之距離，即得旋力之數量。勵磁電流須絕對維持於定值，而電動子電流則以電阻器 R 變之；每變一步，即記錄彈簧秤上之數量。事後以旋力為縱標， i_a 為橫標，作旋力曲線，如第六十三圖所示。



第六十四圖 測定他勵發電機旋力特性曲線之接線圖

第四節 並列電動機之特性曲線

普通並列電動機之運用於定壓總線，及具有定值之磁場電磁者，與定壓定磁之他勵電動機，毫無二致。故其速度特性與旋力特性之兩曲線，其測定方法，完全與上節所述者同。並列機之所不同於他勵機者，僅在前者之勵磁力與電壓，非如後者之能獨立變值耳。故變速之範圍，並列機不若他勵機之廣。

並列機之應用，有一重要之特點，即該機之速度，與其溫度並增，頗為顯著。此由磁場線捲，因溫度之增加而增高其電阻，遂致減少其勵磁電流，以及其磁流；同時電動子線捲之電阻亦增高，速度為之減小，惟磁場之增速，勝於電動子之減速，故結果仍使速度增高。工業界所用之並列電動機，其磁場中並不用電阻器，如發電機然，故其磁場線捲之設計，必具有適度之電阻，俾在溫度增高時，仍具有需要之速度。按諸標準設計之電動機，機身冷時之滿負載速度，與機身發熱時之滿負載速度之差，每在較高速度百分之十以下。

第五節 連列電動機之特性曲線

(a) 速度特性曲線 在連列電動機，磁場線捲與電動子線捲接成連列，故加壓與反壓之差爲 $i_a(r_a + r_f)$ 。以此值代第三節公式(3)中之 $i_a r_a$ ，得

$$n = \frac{V - i_a(r_a + r_f)}{\phi Z'}$$

按此式，速度 n 因 i_a 之增加而減小，遠較他勵機及並列機爲速，一則因式中多一 r_f ，二則因磁場線捲與電動子線捲連列， i_a 增加則磁流 ϕ 亦增。前者之原因，影響尙小，而後之原因則效應甚大。又此處之速度 n 有一特異之點，即當 i_a 等於零值時，公式右項變爲 $\frac{V}{\phi Z'}$ ，即 n 等於無窮大也。自理論言

之，苟無機械阻力，此爲當然之結果，蓋磁場既等於零，所有電磁阻力均已消滅（此與他勵機及並列機不同之處），則電動子之旋轉，不啻在真空中，宜其可以增至無窮大矣。在事實上， i_a 等於零值

時，磁流並非完全消滅，因普通鋼鐵皆有留蓄磁性之能力，此剩餘之磁曰餘磁（見第一章第三節），但此餘磁之量甚微，故速度雖非大至無窮，要亦足以發生危險。是故連列電動機必須用齒輪或其他直接法，連接於負載，而負載之最低額，又必須大至足以減低速度於安全限度以內；例如電車上及起重機上所裝之電動機，均須按照上法以運用之也。

第六十五圖之曲線 P ，示連列機之速度特性曲線；此線在 v_0 小時，斜度甚大，迨 v_1 至規定值以上時，漸成平線，即此時之速度較前平穩也。此速度曲線可用幾何作法，從磁化曲線求得之；然從實驗測定，亦甚簡易。試驗時，可用前章第四節第四十九圖之接線法，並將供給電力之線，連列接於路中。電動機則用皮帶連接於大小相等之發電機，以其所發電流供給於電燈或其他用電之器。然後令電動機起動，同時即加增其負載（即增加電燈數目），至規定額止。供給電流初增至規定以上約四分之一，次乃逐漸減低；每減一步，即以速度表量其每分鐘旋轉數目。以此諸值繪成曲線，即得第六十五圖 P 線之狀。

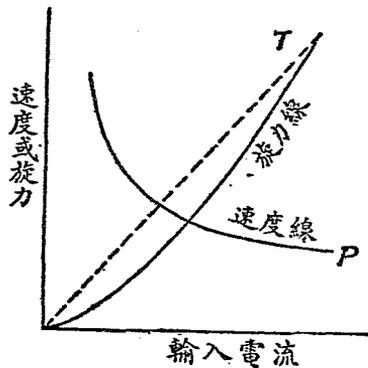
(b) 旋力特性曲線 連列電動機之旋力公式與他勵機同，亦為

$$T = 7.05 \phi Z' i_a \text{ 呎磅}$$

惟 T 與 i_a 之關係與他勵機稍異，以連列機中之 ϕ 與 i_a 成正比，即 T 與 i_a 之平方成正比，而他勵機則不然。故在他勵機及並列機， T 與 i_a 成直線的關係，而連列機則 T 與 i_a 成拋物線之關係（凡作 $\phi \parallel i_a$ 之算學關係者，其代表之曲線為拋物線）。他勵機之旋力線略向下屈，連列機之旋力線則向上彎（見第六十五圖曲線 T' ），二者之所以不同，

即由於此也。旋力線之測定，與他勵機所用方法同，茲不贅。此線亦可從速度曲線計算得之，祇須於測驗速度時，兼量各步電壓 V 之各值，及 r_a 與 r_f 之值，則從速度公式，可算得各步 ϕ 之各值，以此值及 i_a 之值代入旋力公式，便得與 i_a 各值相配之旋力數值。作成曲線，即為第六十五圖中之 T' 線。

第六節 複式電動機之特性曲線



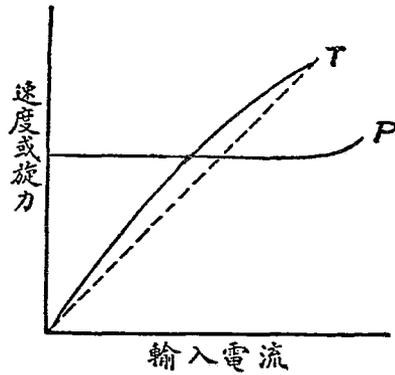
第六十五圖 連列電動機之特性曲線

(甲) 速度特性曲線 複式電動機之速度公式爲

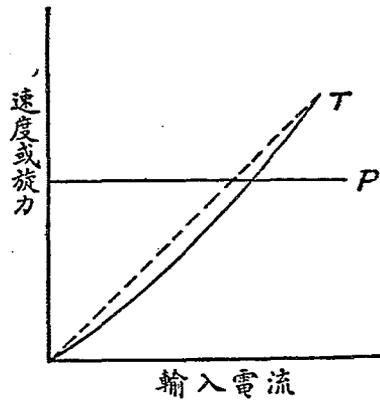
$$n = \frac{V - i_a(r_a + r_f)}{Z\phi}$$

r_f 指連列線捲之電阻。此式與連列機同，惟複式機除連列線捲外，尚有一並列線捲；二者之磁力，或相加，或相減，視二捲旋繞之方向爲斷。二捲磁力相加者，曰增磁複式機；相減者，曰減磁複式機。他勵機及並列機之速度曲線，均爲下降線；而減磁機之速度曲線，則稍向上升，此由 ϕ 之值之減小，較諸 $i_a (r_a + r_f)$ 之增加爲速，故 n 得與 i_a 俱增也。在增減之電動機，其速度曲線頗與並列機相類似，蓋以負載較大時，磁流之增加，勝於電阻降也。此機速度特性之測驗，法與前數機同，第六十六圖 P 爲減磁機之速度曲線，第六十七圖 P 則爲增磁機之曲線。凡複式減磁之電動機，若用作發電機，卽變爲增磁發電機，以改作發電機時，並列線捲之電流，方向不變，而連列線捲之電流方向則與前相反；故本爲減磁，今則變爲增磁，反之，本爲增磁，則變爲減磁。

(乙) 旋力特性曲線 複式機之旋力公式，與前數機同。在減磁複式電動機，磁流 ϕ 隨 i_a 之增



第六十六圖 複式減磁電動機之特性曲線



第六十七圖 複式增磁機之特性曲線

加而減小，故其旋力之增加，不能與 i_a 同其速度，此旋力曲線之所以向下彎曲也（參看第六十六圖 T ）。此事頗與並列電動機之反磁化效應，頗為相類。至於增磁電動機，磁流 ϕ 隨 i_a 以俱增，此以兩捲所發磁流，方向相同故。是以此機之旋力曲線，稍向上彎（見第六十七圖 T ）。此複式機之旋力曲線，或從磁化曲線，用幾何法求之，或從速度公式及旋力公式算之，或從實驗測定之，均可，後二法詳前數節中。

增磁電動機，頗似連列機，可用於鐵工廠，麵粉廠，起重機，升降機等，以此機具有強大之起動旋力，且負載變更時，其速度之變更，不為過甚。此機可用皮帶連接於鏟床，鉋床等母機，不致如連列機之發生危險。減磁機性質頗似並列機，故可用於速度穩定及無需強大起動旋力之負載。惟此機往往以並列機代之，實際上無甚用途；蓋並列機之應付此種負載，較優於減磁機，其連列線捲之增加，實不必要者耳。

第七節 連列電動機之應用

連列機之速度，因負載之增加而低降，其此項特性，實為運輸事業所視為最可寶貴者，如電車，起重機，軋鐵機等是也。今若以定速特性之並列機用於電機鐵路，則當車輛上行於峻峭之斜坡時，其所用電流必致過巨；蓋此機在定壓之下，速度不變，則爬行斜坡時，其所需增加之工力，自必與所加之電流成正比——此並列機之所以不適用於電車等運輸事業也。反之，如連列機，則負載增時，其速度自減，能自動的防止過量之電流，並能維持負載於定值，至某種程度；同時又能產生強大之

旋力，過於與電流所成之比例，至若並列機，則旋力之增加，在此比例下也。

連列電動機之用於以上諸項業務者，完全為封閉式。其用於電車汽車上者，尤須有避水之能力，並須構造堅實，庶不致因路基之不平及駕駛之不善，而遭損傷。例如電車上電動機之駕駛器，往往因起動時，電阻截去太速，致流入過量之電流，而發生絕大之旋力，其電動子線捲乃因而破裂。

電動機之產額以馬力計；其適用於某種業務與否，須視其在規定產額，運用一小時後，其機身各部之溫度，是否與標準之規例相合為斷。普通合用於電車之電動機，經過上述之運用後，其整流子上之攝氏計溫度，不得高過平常室內溫度之上九十度（譬如室內溫度為攝氏計二十度，則整流子之實在溫度為一百十度），機身表面可接觸之部，不得高過平常溫度以上七十五度。測驗溫度時，須用規定之電壓，並令機身得有最高度之通風。故選擇電動機時，必須注意其發熱是否過度。機身所發之熱量，其一部分係與電流之平方成正比。電車在起動及加速之時間內，電流之值為最高，故發熱之多寡，與電車行車表中所定停頓之次數有關係。其停頓次數較多者，發熱量亦巨，故選用電動機時，須擇產額較大之機，以免溫度之過高焉。

第七章 效率定額及發熱

效率者，輸出額對於輸入額之百分比也。發電機及電動機之比較優劣，悉以是斷之。定額者，規定之產額，其規定之法，悉依通行之標準。發熱者，各種電機所公有之現象，此即由於電機耗損之能力，變為熱力，遂使機身溫度因而增高。電機各部許可之溫度，亦有種種規定。凡此諸事，於以下各節分別述之，茲先論效率。

第一節 法定效率與計量效率

按效率之定義，所謂輸出額與輸入額者，自當以同一單位表之，然後可計算其比例。例如電動機之輸出額為機械工力之單位（即馬力），其輸入額為電工力單位（瓦特或基羅瓦特，即千瓦特）；發電機之輸出額為電工力單位，其輸入額為機械工力單位；此二種單位可以下列之公式化之。

$$1 \text{ 匹馬力} = 33,000 \text{ 呎磅} = 746 \text{ 瓦特}$$

$$1 \text{ 基瓦} = 1000 \text{ 瓦特} = 1.34 \text{ 匹馬力}$$

普通發電機之定額，以基羅瓦特計，等於該機在規定電壓時，其線端之有用電力。在電動機，則其定額以馬力匹數計，等於該機動軸上之有用工力。

工程界所公認之效率有二：一為法定效率，一為直接計量效率。除特別指定者外，普通皆用法定效率。無論何種效率所指之負載狀況，除特別聲明者外，普通皆認此效率指該機之規定負載（負載二字，或指產額，或指電流，因普通電壓均為定值，故二義並用）及攝氏溫度計七十度。

計算法定效率之公式如下：

$$\text{輸入額} = \text{輸出額} + \text{耗損}$$

$$\text{輸出額} = \text{輸入額} - \text{耗損}$$

故得

$$\text{效率} = \frac{\text{輸出額}}{\text{輸入額}} = \frac{\text{輸出額}}{\text{輸出額} + \text{耗損}} = \frac{\text{輸入額} - \text{耗損}}{\text{輸入額}}$$

吾人苟能於該機工作範圍內，一一計量與各值負載相配之各項耗損量，則自上式算得之效率，即爲該機之真實效率；無如事實上，萬難計量各項單獨之耗損至精密之度，於是以法定數值，任意給予其中若干項之耗損，此法定效率（法定二字兼含慣例之意）一名之所由來也。

直接計量效率者，乃實地計量輸入額與輸出額而算得者也。例如產額較小或適中之發電機，可用動力表（dynamometer）計量其輸入之工力，以適當之電流表及電壓表量其輸出之電力；如爲電動機，則可用電流表及電壓表量輸入電力，以制動器量輸出工力。

第二節 耗損之種類

欲求一發電機或電動機之效率，必須於輸出額之外，復須求得其輸入額，如直接計量法是；或於輸出額外，求與該額相配之耗損總量，而後以上式計之。按第一法，耗損總量等於輸入額與輸出額之差；此法不甚精密，蓋計量輸入額與輸出額時，雖以百分數極小之錯誤，即足以使二者之差數，含有百分數較大之錯誤。至第二法，即法定效率之算法，其所求耗損可分三類，（A）可以確切或精

密計量者，(B)可以約略計量者，(C)不能量者；其中惟第三種之耗損，及第二種之一部分，須給予慣例之數值，而後可計算其效率。

普通具有整流子之直流電機，其中各部耗損可分類如下：

(甲)電阻耗，由於電流經過以下各部電阻而發生之熱力；

(a)發電子線捲；

(b)磁場線捲，及電阻器；

(c)電刷及其接觸面。

(乙)鐵心耗，由於

(a)發電子鐵心及鐵齒中之磁滯作用；

(b)發電子鐵心，鐵齒，及磁極面中之渦流作用。

(丙)機械耗，由於

(a)軸承摩擦力；

(b) 行動部分與空氣間之摩擦力，名曰「風阻力」

(c) 電刷摩擦力。

(丁) 邪電耗，由於

(a) 發電子導線中之渦流；

(b) 整流時線圈中之潰決電流（即捷徑電流）

(c) 磁流之振動（即有週期的迅速變值），一因整流線圈中之電流而起，一因總磁路之磁阻因齒與槽之凸凹而發生之變值而起。

(d) 發電子端部之圓鐵板及穿入分片鐵心之未絕緣螺釘中之渦流。

(e) 發電子鐵心及鐵齒中之磁流因發電子反應而發生之扭轉。

以上各部之耗損，苟按計量之難易而爲之分類，則成下表：

(A) 可精密計量者

(1) 無負載時之鐵耗，包括無負載時導線中之渦流。

(2) 各線捲中負載時之 $\frac{I^2 R}{\eta}$ 耗損(即電阻耗。)各線捲中無負載時之 $\frac{I^2 R}{\eta}$ 耗損。

(B) 可約略計量者

(1) 刷子摩擦耗損。

(2) 刷子接觸耗損。

(3) 空氣摩擦及軸承摩擦之耗損。

(C) 不可計量者

(1) 由於磁流扭轉所生之鐵心耗損。

(2) 由於負載電流之生交磁流，而在導線中所產生之渦流耗損。

(3) 導線中之渦流耗損，因總磁流之扭轉使鐵齒飽和而起者。

(4) 鐵齒之周波率耗損，因負載時之磁流扭轉而起者。

(5) 整流時之徑路耗損。

以上各種耗損，有定量者，有變量者；有隨負載而變者，有不隨負載而變者；有在此機爲不變，而

在他機則變者。例如摩擦力與風阻力，在定速之發電機與電動機爲定值，而在連列機則爲變值；又如 ω 之電阻耗，在運用於定壓下之並列電動機之磁場線捲，及長並列複式發電機之並列線捲中爲定值，而在發電子線捲及各種連列磁場線捲中爲變值；又如鐵心中耗損，在磁流定量之電機爲定值，而在磁流變量之連列電動機及發電機爲變值。

第二節 最高效率與全日效率

(甲) 最高效率 在任何電機中，其全部耗損量，必含有兩種耗損，一與負載無關，常爲定值，一則爲變值，與負載之平方成正比。苟在某負載時，此二種耗損量爲相等，則此時之效率即爲最高值。其理可用下法證之。令 P 爲負載（即輸出量）， P_0 爲定量耗損， kP^2 爲變量耗損， k 爲一常數，則

$$\text{效率 } \eta = \frac{P}{P + P_0 + kP^2}$$

用微分法，將 η 對於負載 P 作微分，並令微分之結果爲零，然後求最高效率之條件，則得

$$\frac{d\eta}{dP} = \frac{(P+P_0+kP^2) - P(1+2kP)}{(P+P_0+kP^2)^2} = 0$$

化此式得

$$P_0 = kP^2$$

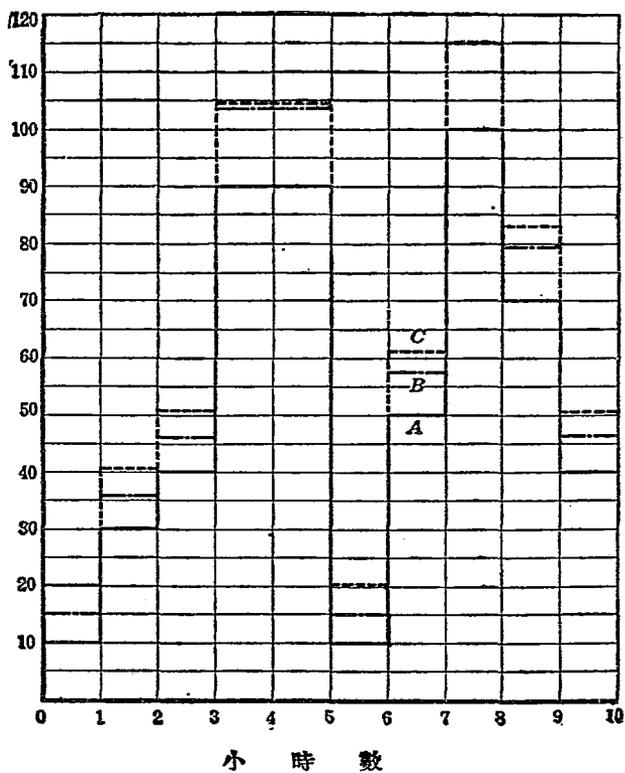
故最高效率爲

$$\eta_m = \frac{P}{P+2P_0}$$

在定壓定速之機，如並列發電機及電動機，其最高效率之條件，頗與上式相近。其定量耗損包括摩擦力，風阻力，磁場線捲中之電阻耗，及鐵心耗；其變量耗損等於發電子線捲中電阻耗（ $\phi_a^2 R_a$ ），加上電刷之接觸耗（法定值爲 $2\phi_a$ 瓦特。）

(乙) 全日效率 所謂「全日效率」者，乃某機在一工作中，其輸出能力之淨量對於輸入能力之總量之比。大凡電力之售價，大多根據於能力之消費量（即基羅瓦特小時，）故電動機繼續運用者，其全日效率，必須竭力加高，此事頗爲重要。電機之全日效率，大部分特乎負載曲線（第

數 之 百 之 載 負 額



第六十八圖 A, 負載曲線; B, C, 輸入工力曲線。

六十八圖A之形狀，且亦受其定量耗損與度量耗損之比之影響。圖中負載曲線之縱標，代表輸出工力，橫標代表時間，故此曲線以下所包之面積，與輸出之能量成正比。若任此負載之機，其定量耗損爲該機規定產額之百分之五，其變量耗損爲百分之十，則其輸入工力之變值，當如曲線所示；若定量耗損爲百分之十，變量耗損爲百分之五，則其輸入工力，如曲線C所示。前者之機，其全日效率爲百分之八五·五，後者之機則爲百分之八一·七。設輕載之時間加長，則此二機全日效率之差愈大，其定量耗損較低之機，效率較高。例如任百分之十之負載九小時，任滿負載一小時，則第一機之全日效率爲百分之七五·七，第二機之全日效率僅爲百分之六四·三。

第四節 定額與容量

定額卽規定之產額（或輸出額）；電機之定額，以該機在規定之測驗條件下，可擔任之最高負載爲根據而規定之，且所定之額不得超過此最高之值。若規定條件依據於美國電機工程師協會之標準規則者，則所定之額稱之爲「協會定額」；若依據於萬國電業委員會（International

Electrical Commission)者，則稱爲「電委會定額」。電機之「容量」以輸出量表之，即該機在指定之時間內，繼續擔任之負載，而不至超過某溫度限度者（參看下節）。

美國電機工程師協會之標準規則，規定二種定額，一爲「連續定額」，一爲「短時定額」。後者用於專供間斷不連續業務之電機。測定連續定額之法，須令此機作發熱運動，即在負載狀況下測驗之，經過充分之時間，使電機與空氣間之溫度差，達預定之數量。若該機之負載爲滿負載，則須運走六小時至十八小時之久，方達穩定之溫度狀況，惟此時間亦可減短，祇須於事前增其負載，超過規定額至相當之度。測驗之時，分時間爲若干等分，每次記錄溫度數量，後乃以升溫（在空氣溫度以上之度數）對時間作曲線（即以升溫爲縱標，對時間之橫標），此線形狀足以表示負載應增應減之程度。短時定額之電機原供間斷業務之用，須時時停頓，俾該機可得充分之時間以減其熱度。此項定額，等於電機在指定之有限期間，不致超越預定之測驗條件，所能擔任之負載也。

電機之作間斷運用，而成近乎有規則之循環者，其定額以同等負載表之，如升降機所用之電動機是也；此同等負載，或根據於連續測驗，或根據於短時測驗，均無不可，惟溫度狀況務須近似於

實際之運用。短時同等測驗之標準時間，爲五分鐘，十分鐘，及三十分鐘，六十分鐘，一百二十分鐘。

按協會標準規則，凡發電機及電動機之規定輸出額，須用基羅瓦特單位，於是與實際上以馬力爲電動機定額者，微有不符。今凡用馬力單位爲定額者，普通皆作爲基羅瓦特定額之三分之四。

第五節 發熱限度

以理論言之，發電機之產額，僅爲減少其內部各路電阻之一事所限，蓋電阻可減至若何程度，則產額即可增至同等程度，但減阻之時，仍須維持其感應之電壓。在事實上言之，則發電機之產額，實爲絕緣物所能承受最高溫度，經長時期而不致燬損之能力所限，此溫度之生，卽由於 $i^2 R$ 及其他之耗損；有時其產額亦有爲整流狀況所限者，茲則不論。蓋電阻雖能減少，以增其產額，然電阻減則 i 增， i 增則 $i^2 R$ 之耗損與夫機之溫度隨之而增，苟絕緣物不能勝此高溫，則雖減阻而產額仍無由而增。故曰電阻之限產額爲理論，而絕緣物之限產額則爲事實也。普通絕緣物承受溫度，皆有其一定之限度，過此則絕緣之燬損甚易，故定額每在此安全限度之下；此時定額與容量（卽運用

於此限度之產量，顯然剖分，非同義詞可知矣。

美國電氣工程師協會於一九一六年以前所訂之規則，定普通室內溫度為攝氏二十五度，氣壓七百六十耗（即水銀柱之高度），凡電機各部之升溫不得過以下之限度：發電子及磁場線捲，五十度；整流子，五十五度；軸承，四十度。至一九一六年，乃改訂新則，注重於最熱點之最高許可溫度，及最高之升溫，其所訂升溫限度如下表。

各絕緣物最高溫度及最高升溫限度表

類別	絕緣物名稱	最熱點之最高許可溫度	最熱點在四十度以上之最高許可升溫
A 1	棉紗，絲，紙，及其他纖維質之未經製煉以增溫限者	95°C.	55°C.
A 2	與 A 1 同，惟已經製煉，或加以油漆者	105°C.	65°C.

B	雲母（俗稱千層紙），石棉，及其他能抵禦高溫之物質	125°C.	85°C.
C	一切禦火物及能反射熱力之物，如純粹雲母，瓷質，石英等	無規定限度	

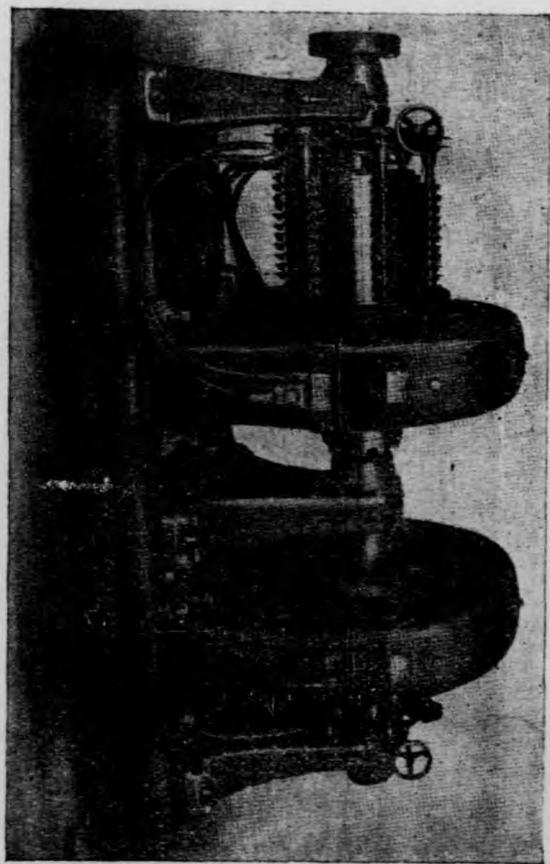
從上表之溫限觀之，可見自採用新則而後，製造絕緣物之技術，確有進步。表中所列B類諸物，今已改良至能承受攝氏一五〇度之最高溫度，甚有更高於此值者。此種限度今方繼續增高，惟普通規定仍為攝氏一二五度，其有設計電機，以最高溫度為超過此數者，該製造家必須予以特別之保證焉。

第八章 其他各式電機

第一節 電動發電機

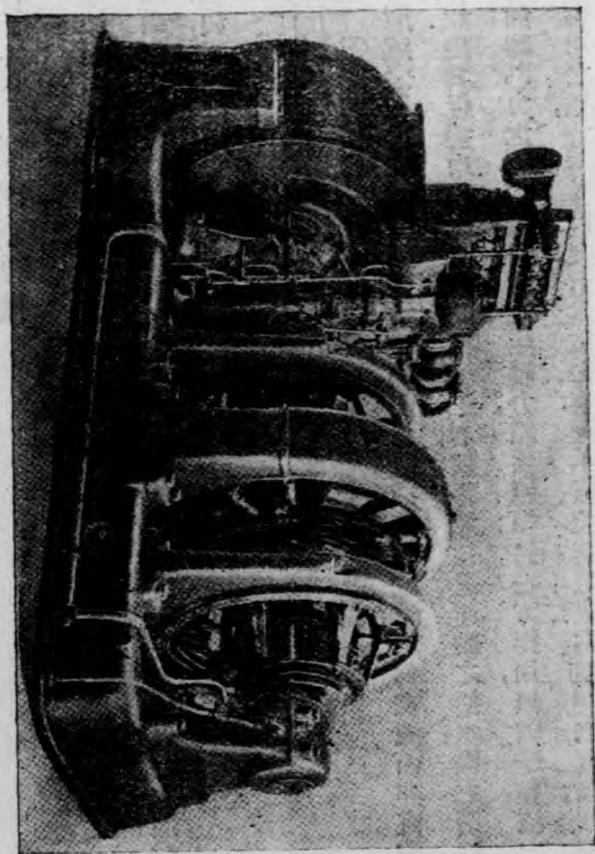
此卽由電動機與發電機各一架組合而成，二機之動軸相連，且裝在同一底板上（如第六十九圖），其目的在變直流之電壓，自低而高，或自高而低，與交流電之變壓器之用意相類（參看拙著交流電機）。若二機中一爲交流，一爲直流，則可以變直流爲交流，或變交流爲直流，同時且可變其電壓。有以二機之發電子線捲同繞於一鐵心上，合二機爲一機者，若同爲直流，則稱動電機（*dynamotor*）；若交直流互變者，稱曰變流機（*converter*）。

第二節 臥輪發電機



第 六 十 九 圖 電 動 發 電 機

此機由蒸汽渦輪機 (steam turbine) 一具，以動軸直接連於發電機而成者 (見第七十圖)。
渦輪旋轉勻靜，勝於蒸汽機及油機氣機，且速度極高，尤非他機可及，故產量巨大之發電機多用此



第十七圖 亞步姆式電機

爲原動機。惟以速度高故，發電機須特別設計製造，與低速者迥異。此等電機多於原有磁極之外，另

加間極（或稱整流極）置於基本磁極之間，使電機不致因速度之加高，而發生整流上之困難。

第三節 整流磁極機

即上述添用間極之發電機。間極線捲用發電子電流為勵磁電流，其所發磁流可以抵消發電子所生之反磁化磁流，即所以糾正磁場之扭轉，故能免除整流子上發生火花之困難。此種間極亦用於電動機，如高速度之並列電動機，及電車中之連列電動機等。

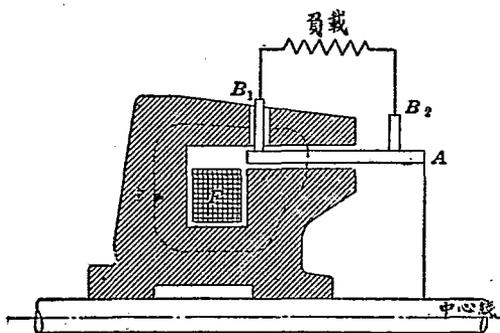
第四節 單極機

前數章所述之發電機，其各個發電子線圈中所感應之電流，均為交流而非直流，及經過整流子之整流後，始變為近於均平之直流；此整流子者，與普通往還運動之抽水機之活瓣（或名活瓣）作用相同。他如離心力之抽水機，則其所生壓力，純係連續向一方作用，無需乎整流之活瓣；在電機中，亦有與此相同之機，其所生電壓，常為單向，連續不斷，故其電流為純粹之直流，此即今所欲述之

單極機也（見第七十一圖）。此機有一導電體，運轉於磁場中，能繼續以一向割截磁流，故亦名單向機。其發電子為一低電阻之金屬圓筒A，與動軸絕緣，筒面兩端，與電刷 B_1 、 B_2 二枚接觸，刷為固定，筒旋轉時，與之相摩。發電子所經之磁場，由勵磁線捲F產生之，其磁流路徑，見圖中虛線所示。此力線以圓筒半徑之方向，流過空隙，遍佈筒之四周。今美國奇異電機公司及威斯丁豪斯電機公司各製一機，一為三百基羅瓦特，一為二千基羅瓦特。

第五節 升壓機

升壓機乃電機之用於調整電壓者，其發電子連列於供給電力之電路，將所發電壓加減於其上，或加或減，視勵磁電流之方向而定。整壓機可用任何式之原動機，惟普通為電動機，取給電流於定壓之電力線。



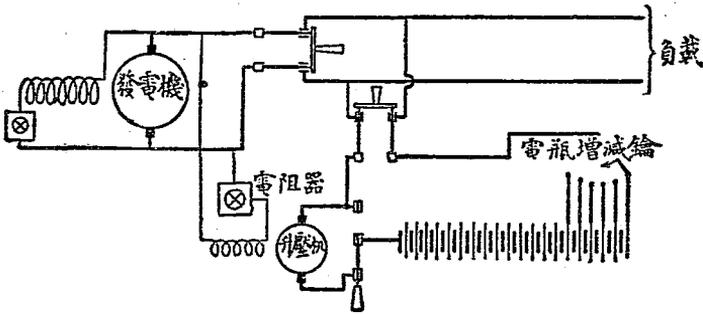
第七十一圖 單極或單向發電機

(甲)連列升壓機 升壓之應用，所以升高發電機之電壓，或增高中央電廠某段總線之電壓，其所增之量，適足以抵消電力線（供給較遠之負載者）中之電阻降，使該處用電之器，可得與發電機同等之電壓。按電阻降之增加與電流成比例，故升壓機之電壓亦須與電流成正比；換言之，即升壓機之外部特性曲線，應成一直線，而經過坐標之原點（即縱橫兩標之交點）。連列升壓機之升壓作用，不啻減少電路之電阻。平常欲減少電阻，祇須增加銅線之截面面積，即增加銅線之重量，亦即增加其費用。在同一情形下，加大銅線與添用升壓機二事有一定之界限，在此界限以下，以前法為經濟，過此則後法較為經濟，是在主其事者之經營矣。

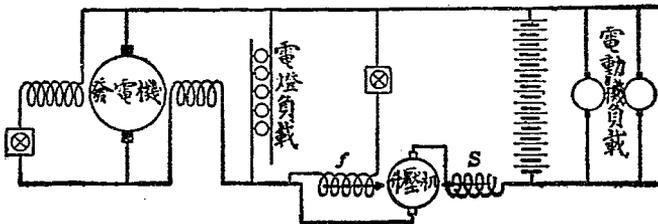
(乙)並列升壓機 在定壓電路中，負載逐漸變遷，初則甚小，繼乃甚大，故普通用蓄電池與總線並列。負載輕時，令蓄電池獨負之，負載高時，令與發電機同負之。其他時間，則以發電機電流充於蓄電池中，若是則發電機在工作期間，可擔任一極均平之負載，於燃料上自亦較為經濟。在此制中，乃有並列升壓機之用，利用其電壓以抵抗電池之反電動力，而輸入電流於其中。第七十二圖，即表示此機與蓄電池之連接法也。此機之磁場線捲並非接於發電電子之兩端，而跨接於總線之間，此由

發電子之電壓；在充電時間，數量甚小，不足以供勵磁故也。

(丙)定流升壓機 在獨立之小電廠中，同時須供給電燈及一變值之負載，如旅館中之升降機等，而電燈之電壓又須使其穩定，則定流升壓機尚矣。第七十三圖示此機之電路。機之磁場線捲有二，一為並列捲 f ，一為連列捲 S ，其磁流方向適相反。平時，蓄電池既不充電，亦不放电， f 之磁力勝於 S ，結果升壓機所產電壓與發電機同向，約自十至十



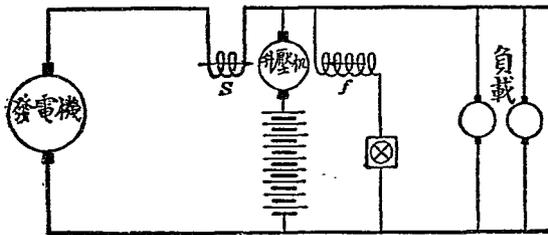
第七十二圖 並列升壓機之接綫圖



第七十三圖 定流升壓機

五弗打。今若電動機之負載驟增，則連列捲 S 之磁力亦增，升壓機之電壓遂減低，於是電動機所增之負載，乃為蓄電池所擔任，以分去發電機之過負，致減低電燈之電壓。故用此機後，電燈之電壓可不因變值之電動機負載而變；而發電機之電流亦因以穩定。

(丁)變向升壓機 前之定流變壓機，其電壓雖變而方向則不變，故亦名定向升壓機；若今之反向升壓機，則電壓方向可以變換，視負載之大小而異。此機亦有磁流相反之並列捲 f 與連列捲 S （見第七十四圖）。此機目的在維持發電機之負載於定值，等於電路中之平均負載量，其餘增減之數，悉令蓄電池任之。此法適用於負載之變更量，較平均量為低之電路。蓄電池之斷路電壓與電路同，在平均值時，電池不充電，亦不放电，而 f 與 S 二捲之磁力適為相等。迨負載增加時， S 之磁力較強，升壓機乃發出一電壓，與電池同一方向；此時電池即放出電流以供給所增之負載。設遇負載減小，則並列捲之磁力勝於連列捲，機之電

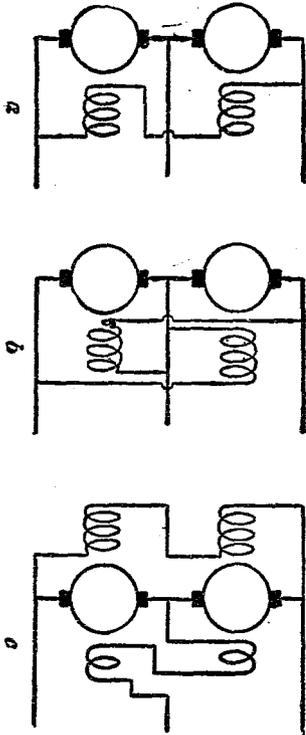


第七十四圖 變向升壓機

壓乃與電池相反，遂令發電機以其過剩之電流充入電池，以備負載增高時放電之用。

第六節 均壓機

均壓機者，三線制中用以均等兩邊之電壓者也（參看第五章第八節）。第七十五圖示三種不同之均壓機。設圖 a 中三線之負載不等，負載重之一邊，電壓減低，輕者之一邊，電壓增高。在此種



第七十五圖 三線制中之均壓機

不平衡之情形下，電載一邊之電機即運用爲發電機，被他邊之電動機所驅動；若是則重載低壓之邊，可藉發電機所發之電壓而增高，他邊則藉電動機而減低，兩邊之電壓乃得平均。然此法尚有未盡善處，以電動機之電壓過高，即磁場過強，其速率遂減，致發電機不能發出充分之電壓，而使兩邊完全平均。

圖 *b* 之法，即鑒於此點而加以改良者也。法將兩機之磁場捲互換，俾電機可減其磁力以增其速度；發電機速度既高，即足以發出充分之電壓，以抵消兩邊電壓之不均。然此法仍不能得完善之平衡，以均壓機之自動的反應，僅恃乎起始時電壓之不均。欲求完善之調整，須用複式電機爲均壓機，如圖 *c*。

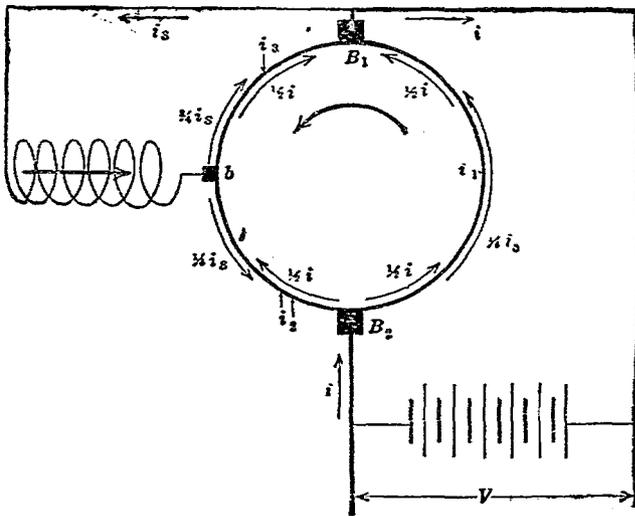
此法發電機之連列線捲，受中性線電池之勵磁，對於並列捲爲增磁，然在電動機則爲減磁。故發電機非惟能得速度之增高，又得勵磁之增加，其電壓可以完全補償重載方面之低壓；在圖 *b* 中，此自動作用，恃乎不均之電壓，而圖 *c* 則恃乎不平均之電流，前者不若後者之可靠，此圖 *c* 之所以能維持完善之均壓於中線之兩邊也。

第七節 羅森堡電機

此機專用於車輛上之電燈，其構造說明首發表於一九〇五年之德國電工雜誌第三九三頁。此機之特性有二：(一)其所發電壓之方向，與旋轉之方向無關；(二)其產生之電流，過一定速度後，數量永不變更，無論速度增至若何程度。以此二種特性，故最適用於供給車輛上之電燈，蓋吾人所欲者，正惟電燈之光度，須不受車輛行駛遲速之影響，亦不受進退變向之影響耳。此機發電子線端之間，接有蓄電池，以備停車時供給燈流之用，而電刷與電池之間又連列一鉛質電瓶，此瓶能阻止電池電流之返入發電子，但不阻止發電子電流之輸出。此機有電刷四，其二在磁極下，與電池並列連接，餘二刷則與前者成直角，用銅線相連，為發電子電流之捷徑。機之磁場電流取給於電池。由上述之佈置，發電子發生兩種磁場，一與總磁場成直角，一則與之相反，其所以有以上之二特性者，蓋即得力於此二磁場之作用也。

第八節 三刷發電機

羅森堡機之特點，在利用發電子之反應作用，而獲得其優美之特性。三刷發電機者，亦利用此反應，惟方法完全不同。此機泛用於自動車上，以供給電燈之電流。此機除普通之二刷外，添用一第三刷，置於二刷之中途，（如第七十六圖所示。）此機之並列磁場線捲，連接於主刷 B_1 與副刷 b 之間，以供給該機之磁場。此機特點，在能供給定量之電機，與速度之變更無關。蓋當速度增高之時，其電壓與電流本當增高，惟電流增高，足以減弱磁場之磁流，因而減低其電壓，而恢復



第七十六圖 三刷發電機

於定流之狀態。以有發電子之反磁作用故，電流萬難增加，但速度增至某限度以上，則其電流反減。此機電壓方向，非如羅森堡機之不因旋轉方向而變；但應用時，可另加一自動電鑰，俾旋轉變向時，將並列線捲連接於 B_1 之端，移接於 B_2 ，若是則電壓與電流之方向仍可不變。

第九章 附屬電器

第一節 電壓表

直流電壓表與交流者異；適用於直流者，每不適用於交流；然適用於交流者，則亦能適用於直流。直流所用之電壓表，以達孫伐爾式爲最優，熱線式爲最廉。茲就前式言之。此表構造，髣髴一電動機，其主要部分，一爲永久磁鐵 NS ，一爲能旋轉之線圈 C （與電動子同），線圈繞於圓筒形之鐵心 B 上。旋轉之軸上裝一螺旋形之彈簧 D ，俾無電壓時，常維持指針 B 於零值，且使運用時，不致如電動機之旋轉，而僅能扭轉一角度，角之大小與電壓之高低成正比。當計量電壓時，線圈因受有電流，而發生電動機之作用，附着於動軸上之指針，乃轉移而指出電壓之數量。此表有一極高之電阻與線圈連列；此電阻之功用，在阻抗電流之流入（流入線圈之電流爲量甚微）以免電壓因而降

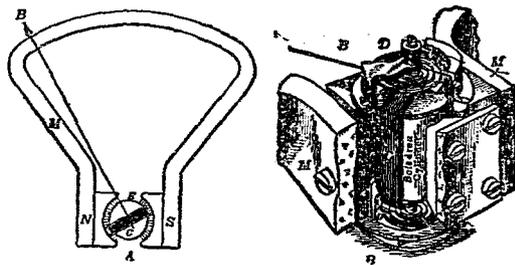
低，致計量之值不能精密。故此電阻愈高愈妙，務使表中取用之電流，減至可以略去不計之度爲止。

第二節 電流表

電流表與電壓表之構造完全相同，所差者，電流表中非特無需乎上述之電阻，且須盡量減少線圈中之電阻，務使線圈之電阻降爲極微，無影響於計量電路中之電流量，庶幾指針偏移之角度，可完全代表路中之電流。電壓表與電流表之表尺，一則以每度爲若干弗打，一則以每度爲若干安培。

第三節 瓦特表

瓦特表乃計量電工力之表，其單位爲瓦特，故名。一瓦特之量，等於電流一安培乘電壓一弗打，

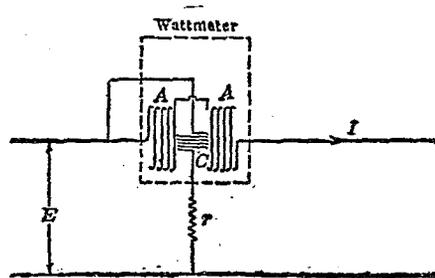


第七十七圖 達孫伐爾式電壓表

故瓦特表中須具有線圈二枚，一為電流圈 A ，一為電壓圈 C ， A 為固定， C 能扭轉，扭轉之角度，與電流電壓之乘積成正比，是以其指針（附於動軸上）所指，可以代表電工力之多寡。例如路中 $I = 10$ 安培， $E = 200$ 弗打，則電工力 $W = 200 \times 10 = 2000$ 瓦特 $\equiv 2$ 基羅瓦特。

瓦特表之外，又有瓦特小時表，即計量電能力之表，電能單位或作朱爾（一瓦特乘一秒鐘之量）或作瓦特小時（即三千六百朱爾），故名。瓦特小時表亦有電流電壓二圈，電壓圈旋轉於電流圈所成之磁場中，與電動機之作用，其旋轉速度與電流電壓之乘積成正比，旋轉次數，用連環齒輪四五枚記錄之，以表瓦特小時之數。

第四節 電阻器



第七十八圖 瓦特表綫路圖

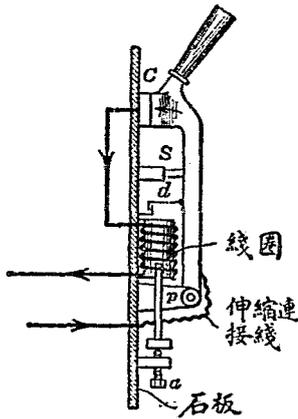
電阻器者阻抗電流之器也。阻電之目的，在增減電壓或電流，以應各種電路之需要。例如用於磁場電路中者，曰磁場電阻器，用以增減勵磁電流，或藉此增減發電子之電壓，或藉此增減電動機之速度。電阻之材料，可有多種，如鑄鐵，如德國銀，如炭質，如水油等液體，以及各種合金；所謂絕緣物如瓷，紙，棉，絲等，即係電阻極高之物也。電阻器乃耗電之器，其耗損量等於 I^2R ，此等耗損悉變成熱力，故電阻器耗電大者，須有巨大之傳熱面，否則必被燒燬，而失其阻電之用。

第五節 熔線

熔線者乃一種熔點極低（即能於低溫而熔化者）之合金，用以保護電路，防止過量之電流。其所防電流之大小，視其線之粗細而異。例如有一熔線，能容最高電流十安培，通過其中；今忽以他種原因，致電流驟增至十安培以上，則該線因電阻所發之熱，必致增高溫度至該線之熔點，於是線即熔化而斷裂，電路遂斷。大凡熔線之斷，每在過量電流經過若干時間之後。例如上述之熔線，遇二十安培之電流經過時，每須遲二分鐘，始行斷裂。

第六節 斷路器

電路中之電流在四百至六百安培以上者，前之熔線即不足以勝斷路之任，乃以作用較爲靈敏而容量較大之斷路器任之。斷路器之主任，爲一筒狀之線圈 M ，中有鐵錘 p ，可以上下行動（參看第七十九圖）。圖中 c 爲電鑰，即電路接合之點， S 爲彈簧， d 爲鐵鉤。遇電流超過定值時，線圈中之磁力將鐵錘 p 吸力，上擊鐵鉤，鉤釋則彈簧 S 推電鑰而斷路。此器一遇過量電流，即能斷路，保護較熔線爲周密。且電流之量，可用螺釘 a 變更之，不必如熔線之須更換。設欲減低電流之限度，則可將螺釘右旋，推起鐵錘；斯時線圈舉錘所需之電流，較前減小，是即電流之限度已較前減低也。

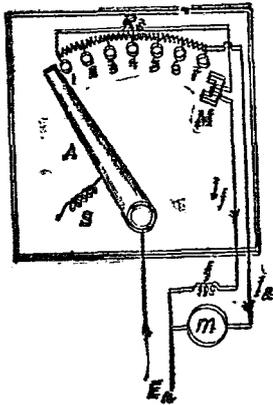


第七十九圖 斷路器

第七節 起動器

起動器乃一可以變值之電阻器，用於電動機之起動。凡電動機起動時，其電動子在靜止狀態，尙未發生反電動力，此時苟無電阻以限制電流，則電動子必被此電流所燬。按第八十圖之線路， m 爲一並列電動機， R 爲與電動子連列之電阻。初動時，將連接桿 A 移至 1 點，此時全部電阻悉在電動子路中，藉以阻抗外來之電流。迨電動子已起動旋轉，其線捲中即感應一小量之反電動力以爲電阻之代，故此時可漸移 A 桿至 2, 3, 4 等點；每減一分電阻，即增一分反電動力，及移至最後一點，則全部電阻均已從電動子路中，移入磁場路中，斯時 A 桿即被磁鐵 M 所吸，而維持其位置。

此磁鐵 M 名曰無電釋放器，蓋遇供給之電流停止時， M 失其吸力， A 桿即被彈簧 S 引回原處。若電壓停止時， A



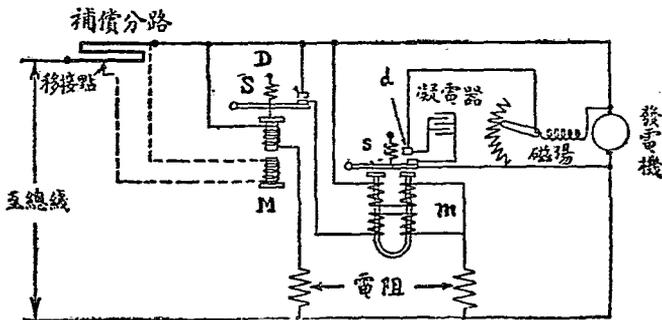
第八十圖 起動器

桿仍連接於7點，則遇電壓恢復之時，此起動器與未設等，電動子仍必為起動電流所燬。

第八節 整壓器

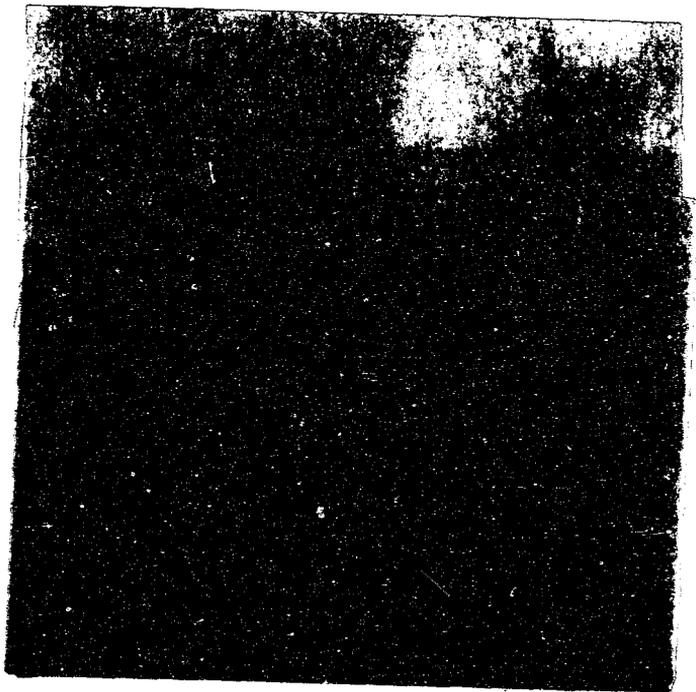
整壓器乃調整電壓而維持之於定值之器，武立爾整壓器（第八十一圖）其最通用者也。茲述其作用如下：

假定發電機之電壓忽而減低，則電磁鐵 M 之磁力必因而減小， M 減則彈簧 S 收縮，使接合點 D 相觸。繼電磁鐵 m 之相反兩線圈（平時僅上部線圈有電流）乃皆有電流通過，而互相抵消，於是彈簧 S 將接合點 d 接合，而成一捷徑於發電機磁場 Q 電阻之兩端。磁場中之阻力既失，發電機之電壓遂增。但電壓增過規定值時，磁鐵 M 加強， D 點復離，依此推之，電阻仍恢復。



第八十一圖 武立爾整壓器之綫路圖

於磁場路中，電壓乃因以低降。凡供給電燈之電流，其電壓尤須穩定，稍一變更，卽有閃爍傷目之害，故必用是器以固定之。



編主五雲王
庫文有萬

種千一集一第

機電流直

著章佳尤

號一〇五路山寶海上

五雲王 人行發

路山寶海上
館書印務商 所刷印

埠各及海上
館書印務商 所行發

版初月十年九十國民華中

究必印翻繼作著有書此

The Complete Library
Edited by
Y. W. WONG

DIRECT-CURRENT MACHINERY
BY YOU CHIA CHANG
PUBLISHED BY Y. W. WONG
THE COMMERCIAL PRESS, LTD.
Shanghai, China
1930
All Rights Reserved

041239



Z121.6