



直流發電機與電動機

毛啓爽編譯

電工圖書出版社發行

電 工 技 術 叢 書

直流發電機與電動機

毛啓爽編譯

電 工 圖 書 出 版 社 印 行

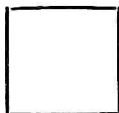
上 海

電 工 技 術 叢 書

直流發電機與電動機

D. C. Generators and Motors

版權所有



不准翻印

一九四五年十二月初版

一九五二年七月六版

定價人民幣一〇〇〇〇元

原 著 者 Scott Hancock

編 譯 者 毛 啓 爽

出 版 者 電 工 圖 書 出 版 社

總發行所 中國科技圖書聯合發行所

上海中央路二四號三〇四室

電 話 一 九 五 六 六

電報掛號 二 一 九 六 八

分 銷 處 各 地 書 店

電 工 技 術 叢 書

第 一 集

編輯委員會：楊孝述（總編輯）

楊肇燦 毛啟爽 丁舜年 趙富鑫

電學與磁學.....	裘維裕
交流電學.....	裘維裕
直流電動機與發電機.....	毛啟爽
交流電動機與發電機.....	丁舜年
發電廠與配電站.....	毛啟爽 吳玉麟
蓄電池.....	毛啟爽
保護替續器及其應用.....	丁舜年
磁鐵及電磁鐵設計.....	丁舜年
司路機鍵.....	壽俊良
電壓調整器.....	壽俊良
電工儀器及量度.....	楊肇燦
瓦特小時計.....	莊標文 楊肇燦
電照學.....	趙富鑫
電熱.....	趙富鑫
實用電工敷線法.....	莊標文
電子管與電燈線路控制.....	李志熙

目 錄

第一編 直流發電機與電動機之理論與結構

第一章 發電機原理..... 1

- 1.1 感應電動勢之產生 1.2 電動勢之方向 1.3 電動勢之強度
1.4 發電機產生之電動勢 1.5 線圈在兩極磁場內旋轉一匝電動
勢之變化 1.6 換向 1.7 多線卷之換向 1.8 飽和曲線與磁滯
1.9 發電機產生之總電動勢 1.10 發電機之飽和曲線

第二章 電動機原理.....17

- 2.1 載電流導體在磁場內所受之力 2.2 導體所受力之方向 2.3
導體所受力之大小 2.4 線圈所受之轉矩 2.5 發電機轉矩 2.6
電動機轉矩 2.7 電動機之反電動勢 2.8 電動機之速率 2.9
總結

第三章 電樞反應與換向.....26

- 3.1 電樞反應 3.2 電樞反應對於磁通分佈之影響 3.3 電樞反
應之去磁效應 3.4 補償線卷組 3.5 電樞反應對於正在換向線
圈之影響 3.6 電刷之移位 3.7 換向用磁鐵 3.8 換向磁極與
補償線卷組之區別

第四章 效率損失及定額.....37

- 4.1 效率 4.2 損失 4.3 渦流損失 4.4 如何減低渦流損失
4.5 定額 4.6 發熱 4.7 連續負載與間歇負載 4.8 變更電壓之

效應 4.9 變更速率之效應 4.10 變更電樞尺寸之效應

第五章 電樞卷組與場卷組49

5.1 盤繞式電樞線卷 5.2 形成式電樞線卷 5.3 波卷組或雙路卷組 5.4 摺卷組或複路卷組 5.5 均衡聯接 5.6 雙路卷組與複路卷組之比較 5.7 引線投距對於電刷位置之影響 5.8 分繞場卷組 5.9 串繞場卷組 5.10 複繞式電機之場卷 5.11 換向極場卷及補償線卷組

第六章 直流電機之結構65

6.1 結構大意 6.2 機殼或軛 6.3 主磁極 6.4 換向磁極 6.5 樞芯及槽 6.6 裝配樞芯於軸之方法 6.7 換向器 6.8 刷握裝置 6.9 電刷 6.10 末端架與軸承 6.11 套式軸承 6.12 球式軸承 6.13 輻式軸承

第二編 直流發電機與電動機之特性及運用

第七章 直流電動機之特性83

7.1 分繞電動機大概 7.2 分繞電動機之穩定線卷 7.3 分繞電動機之特性 7.4 分繞電動機之制式與用途 7.5 串繞電動機之特性 7.6 串繞電動機之用途 7.7 複繞電動機之特性 7.8 複繞電動機之用途 7.9 電動機之時間定額 7.10 製造商之保證及差額

第八章 直流電動機之機械裝置99

8.1 直流電動機之封閉方式 8.2 直流電動機之保護方式 8.3 全封閉式電動機之通風方式 8.4 直流電動機之裝置 8.5 內裝

之電動機 8.6 電動機策動負載之方式 8.7 特殊用途之電動機

第 九 章 直 流 電 動 機 之 控 制 111

9.1 直流電動機之開動 9.2 人控開動器 9.3 磁控開動器及遙控 9.4 磁控接觸器 9.5 磁控開動器之制式 9.6 磁控開動器之加速動作 9.7 動力掣動法 9.8 過載保護 9.9 低壓保護與低壓釋放 9.10 速率控制 9.11 樞控制設備 9.12 場控制設備 9.13 電壓控制法 9.14 開動用電阻與場變阻器 9.15 逆轉電動機之旋轉方向

第 十 章 直 流 發 電 機 之 特 性 及 控 制 136

10.1 直流發電機之分類 10.2 別激式發電機之特性及用途 10.3 分繞發電機電壓之建立 10.4 分繞發電機之特性及用途 10.5 複繞發電機之特性及用途 10.6 串繞發電機之特性及用途 10.7 差激式複繞發電機——別激與自激的 10.8 振動式調壓器 10.9 碳堆調壓器 10.10 三線制 10.11 三線發電機 10.12 平衡機組 10.13 電動發電機 10.14 電動機發電機組

問 題 及 習 題 146

直流發電機與電動機

第一編

發電機與電動機之理論及結構

第一章

發電機原理

1.1 應電動勢之產生——當一根導體割切磁力線或者說磁通量時，在該導體的兩端，就有電位差存在，即是有電動勢在該導體內產生。無論磁通量是靜止的，導體穿越磁通量而運動；或者導體是靜止的，磁通量是運動的；或者導體和磁通量都是運動的；結果都是一樣。換一句話說，祇要導體和磁通量間，有相對運動，導體能割切磁通量，導體內總歸有電動勢產生的。

所謂磁通量運動的方向，係指整個磁通量集體

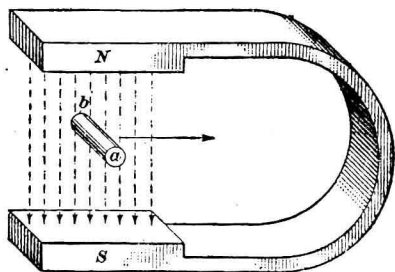


圖1.1 導體割切磁通而感生之電動勢

的運動而言。比如拿發生磁通量的磁鐵運動起來，他的磁通量跟着運動的情形，就是一例。所謂磁通量的方向，係指各根磁通量的方向而言，例如一磁鐵的磁通量，係由指北極經空間到指南極的。

1.2 電動勢之方向——當導體割切磁通量時，在導體內所產生的應電動勢的方向，跟着導體運動的方向——就是導體割切磁通量的方向——，和磁通量的方向而定。

爲便於記憶起見，上段所說三種方向的關係，可用佛萊敏右手定則(Fleming right-hand rule)來決定。將右手的拇指，食指，中指伸出來，成互相垂直的姿勢。拿拇指指導體運動的方向，食指指磁通量的方向，中指必定指導體內所生電動勢的方向。

倘若磁通量，像圖 1.1 裏面虛線所顯示的方向，導體由左向右運動，像圖中箭頭所示的，導體的近端 a 必得負的電位，遠端 b 得正的電位。如果用一根導線將 $a b$ 兩端聯接起來，完成一個電路。因是 a 端是負， b 端是正，所以電流從 b 端流出去，經過外面的導線，回到 a 端，再經導體本身，由 a 回到 b 。電流在導體本身是由 a 向 b 的，他本身的應電動勢，自必也是由 a 向 b 的。這種情形，可以用佛萊敏右手定則來測定的。

在這三種方向裏面，倘若有一個方向反轉，其他兩個方向之中，也必有一個反轉的。例如在圖 1.1 裏面，將導體自右向左運動，和圖中所示的方向相反，但磁通量方向依舊，電動勢方向也

必反轉，就是由 b 向 a ， b 端爲負， a 端爲正。又例如，將圖 1.1 的磁鐵翻一個身， S 極在上， N 極在下，磁通量的方向變成由下向上，倘是導體仍舊自左向右運動，導體裏的電動勢也反轉的。倘若磁通量和導體運動方向都反轉，電動勢的方向却仍不變。在圖 1.1 裏面，若是磁通量是由下向上，導體自左向右運動，該導體的 a 端仍舊是負的， b 端仍舊是正的，和沒有調換以前一樣。

1.3 電動勢的強度——導體割切磁力線 或者磁通量所生的應電動勢的強度，就是圖 1.1 中導體 a, b 兩端間電位差的大小，和導體割切磁力線的速率成比例。在某指定時間以內，割切的磁力線數愈多，應電動勢愈大，反過來說，以同一磁力線數而言，導體割切得愈快，應電動勢也愈大。

所以應電動勢的大小，隨着每秒鐘導體所割切的磁力線數而定。若是一根導體，每秒鐘割切 100,000,000 磁力線，就有 1 伏特的電動勢產生。這個數目 100,000,000 通常寫成 10^8 ，讀做 10 的 8 方。假使某導體在 t 秒時間內割切 φ 根磁力線，應電動勢必是

$$e = \frac{\varphi}{t \times 10^8} \text{ 伏特。}$$

例如某導體於 0.24 秒時間內，割切 60,000,000 即 6×10^7 磁力線，應電動勢應當是

$$e = \frac{6 \times 10^7}{0.24 \times 10^8} = 2.5 \text{ 伏特。}$$

再有一種說法，應電動勢的大小，要看導體割切着磁力線的部份的長度，導體運動的速度，和磁場裏面的磁通密度(Flux Density)而定。導體本身或者很長，不見得全部長度都在磁場範圍以內。祇有在磁場範圍內的部份，纔能割切着磁力線，因而產生電動勢。導體在磁場外的部份，當然是無效的。所以說導體割切着磁力線的部份愈長，所生的應電動勢愈大。再則導體運動的速度愈快，在每秒鐘內所割切的磁力線數就愈多，應電動勢也愈大。又磁場內磁通的分佈較密，以同長度及同速率運動的導體而言，他也能割切着較多的磁力線，當然發生較大的應電動勢。

1.4 發電機產生的電動勢——發電機 (Generator) 能夠產生電動勢，不過是拿若干個線卷(coil)，在電磁鐵的 N 極和 S 極間旋轉。在圖 1.2 裏面，有一個單匝線圈 $a-b-c-d$ ，在 N 極和 S 極間的磁場裏旋轉，可用來說明發電機內產生電動勢的大概。這個線圈 $abcd$ ，祇有導體 ab 和 cd 割切着磁力線，能發生應電動勢。像圖 1.2 所顯示的，磁力線方向係自左向右，線圈逆着鐘針的方向而旋轉。 b 端和 c 端，用另一根導線聯接起來，在線圈前面有兩個匯流環 (Slip-ring，又稱滑觸環) e 和 f ，同線圈一同旋轉。線圈的 a 端接在環 e 上， d 端接在環 f 上。

假使線圈 $abcd$ 由垂直的位置，轉到圖 1.2 所示的位置上，每一導體都以同樣速率穿越磁力線，所以每導體所生的應電動勢，和另一導體所生的，始終強度相同。 ab 割切磁力線是由底

部向上的， bc 是由頂部向下的。應用右手定則，可知 ab 的電動勢是由 a 向 b ， b 端的電位高於 a 端。同理，知 cd 的電動勢是由 c 向 d ， d 端的電位高於 c 端。今將 c 和 b 兩端聯接起來， d 端電位較 b 端為高，較 a 端為尤高。 d 和 a 兩端間的電位差，是 dc 兩端間和 ba 兩端間電位差之和。於是匯流環 e 和 f 間的電位差，也就是 e 和 f 間的電壓，等於 ab 和 cd 兩導體電動勢之和。又因為 ab 的電動勢，等於 cd 的電動勢，所以 e 和 f 間的電壓，等於每一導體電動勢的二倍。

假使不將 d 端立刻接在環 f 上，而將

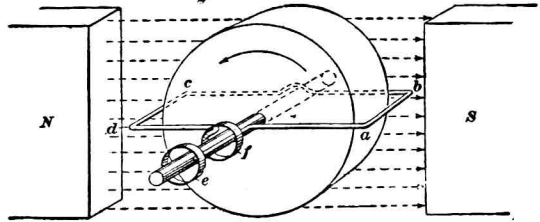


圖 1.2 簡單之發電機

d 端延長，經 a 到 b 到 c 再到 d 多繞一匝，然後接到環 f 上，於是形成一個兩匝的線卷。現在匯流環間的電壓，等於單匝線圈電壓的二倍。因為有四根導體，割切着磁力線，並且他們都是串聯起來而電動勢是相加的，所以總電壓等於每根導體電動勢的四倍。依此類推，倘再增加線卷的匝數，總電壓也比例地增加起來，等於每導體的電動勢，乘串聯着導體的數目，後者等於線卷匝數的兩倍。

1.5 線圈在兩極磁場內旋轉一匝電動勢的變動——當線圈 $abcd$ 在圖 1.2 的位置時， ab 和 cd 兩導體，都筆直地穿越磁力

線，他們割切磁力線的速率是最大，所以線圈裏面發生最大的應電動勢。線圈繼續旋轉，導體斜着割切磁力線，他們運動的方向，漸近乎與磁力線平行，不甚割切磁力線，所以電動勢漸低。等到線圈自圖 1.2 旋轉四分之一轉，達到垂直的位置，此時導體運動，完全和磁力線平行，並沒有割切着磁力線，線圈當然不會發生應電動勢。

線圈再繼續旋轉，導體 ab 和 cd 調換了位置，他們割切磁力線的方向也反過來，所以線圈內的電動勢，也和從前的相反。倘是從前的電動勢算是正的，現在產生的電動勢就算是負的。不過現在割切的方向，由平行漸漸達到和磁力線垂直的方向，電動勢由零漸漸變大。當線圈由從圖 1.2 的位置旋過半轉，達到水平的位置，而 ab 在左 cd 在右時，電動勢是負的最大。由此再旋過四分之一轉，又到垂直的位置， ab 在上， cd 在下時，電壓又變為零。再經四分之一轉，回到圖 1.2 的位置，電動勢也恢復原狀。

線圈旋轉一匝，所產生電動勢的變化，可以用圖 1.3 裏曲線

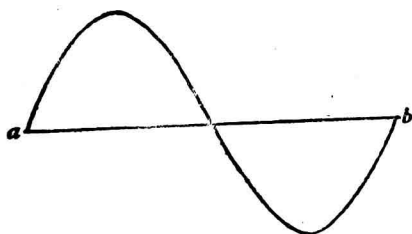


圖 1.3 線圈應電動勢之變化

ab 來代表。這曲線在水平線上的高度，代表正的電動勢，就是圖 1.2 裏環 f 或 d 端較環 e 或 a 端所高出的電壓。這曲線在水平線下面距水平線的距離，代表負的

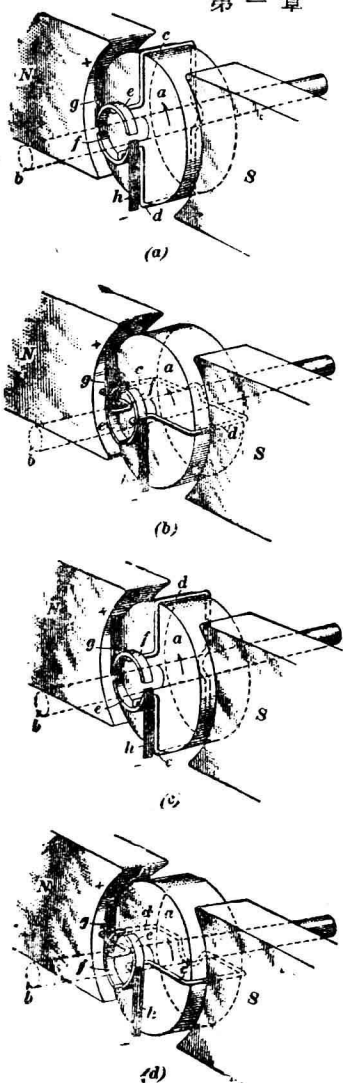


圖1.4 換向作用

電壓，就是環 f 或 d 端較環 e 或 a 端所低的電壓。這種電動勢是交互變更的，線圈每旋一轉，或是更確切地說，線圈每經行一對磁極，他的電動勢就作一次正負的完全變更，所以是一種交變電動勢 (Alternating emf.)。

1.6 換向——前面所講的應電動勢，是不斷地作有規律的變更和反向的。如果要從這種線圈，得到一種方向不變的電壓，必須另加一種裝置。使得在每次電壓反向的時候，線圈到外面的聯接也調換一下，這稱做換向 (Commutation)。圖 1.4 所示的情形，就是解釋此種換向方法的。線圈末端，並不像圖 1.2 裏所示的接在兩個匯流環上，電壓也不像從前要從環上取得。將一環剖分為兩半，每半環互相絕緣，並且和轉軸也

相絕緣，形成一種換向器(Commutator)。圖 1.4 裏面兩個半環是 e 和 f ，稱做換向器截片 (Commutator segment)，線圈的兩末端分接在 e 和 f 上。另有兩個電刷(Brush) g 和 h ，相對地壓在換向器上。電刷是靜止不動的，換向器隨着線圈旋轉。電刷將電流從換向器傳導到外面的電路。當線圈裏產生的電動勢正在反向時，一個換向器截片，從一個電刷下面移過去，另一個截片就移到那電刷下面。

在圖 1.4 (a) 裏，電動勢正開始在線圈內產生，方向是使截片 e 為正，截片 f 為負。所以 g 刷的極性是正， h 刷的極性是負。當線圈轉到圖 1.4 (b) 的位置，線圈的電動勢增高到最大值，他的方向仍不變， g 刷仍舊為正， h 刷仍舊為負。再旋過去，電壓漸低，直到剛達圖 1.4 (c) 所示的位置以前。在那時候，截片 f 剛由 h 刷下移出，截片 e 剛移入該刷；同時 e 片剛由 g 刷下移出， f 正移入該刷。此際線圈的電動勢，却正為零。在下半週裏，線圈的電壓反向，截片 e 和 f 的極性也反過來， f 是正， e 是負。但是 e, f 兩片和 g, h 兩刷的聯接也調換過，所以 g 刷仍舊是正， h 刷

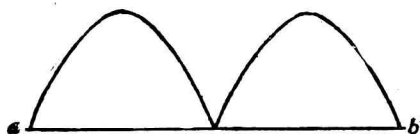


圖 1.5 換向後之電動勢

仍舊是負，和從前一樣。以後再旋半週，線圈電動勢再反向，同時一截片從一個刷下移出，另

一片移入該刷下，始終保持 g, h 兩刷的極性不變。此種調換線圈的聯接，使得由交變電動勢獲得直流電壓的作用，叫做換向。

圖 1.3 裏面所示的電動勢的負半週，經換向後也變作正的電動勢像圖 1.5 的曲線所代表的。

1.7 多線卷之換向——由獨隻線卷換向所得到的電壓，方向雖然固定，但是數值是脈變的 (Pulsating)，如圖 1.5 裏曲線 ab 所顯示的，線圈每經過一對磁極，他的電動勢要經過兩次由零到最大值再回到零的變更。

若是用好多隻線卷佈置起來，將他們串聯相接，每只在適當的時期內換向，並且這許多線圈沿着一個圓筒的週圍作有規則的分佈，使得任何一線卷的零值與最大值電動勢，不和其他線卷同時產生，那麼總電動勢非但方向不變，而且數值也可以恆定不變。要完成這

個目的，佈置和聯接線卷的方法很多。圖

1.6 用簡便方式顯示一種典型的方法。

在圖 1.6 裏面，導體用小圓圈 a, b, a', b'

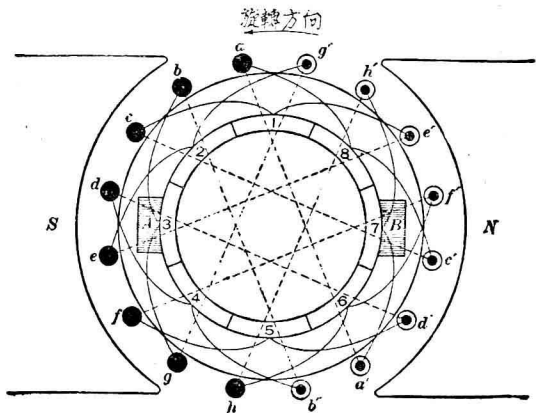


圖 1.6 多隻線卷之換向

等表示。導體 a 和 a' 代表一線卷的兩邊，這兩導體在後面的聯接線，用虛線表示。由 a 到註有 8 字換向器截片的聯接，由 a' 到

註有 7 字截片的聯接，都用實線表示。其他錄卷，換向器截片和聯接方法，都與此相做。箭頭表示旋轉方向。磁通量沒有畫出來，但是產生磁通量的磁極是畫出來的，他們的極性是用 N 代表北極， S 代表南極，磁通量是由 N 極伸向 S 極的。上述種種，都是決定電壓方向的因素。代表導體的圓圈，若是全塗黑的，表示導體近端爲負，遠端爲正，電動勢背讀者向着書裏的。圓圈裏一個小黑點，表示相反的情形，就是說電動勢由書裏向着讀者的。圖裏還有兩個電刷，註着 A 和 B ， A 是負刷， B 是正刷。

在 A 和 B 刷間，聯接着兩組導體，就是： $A-3-g-g'-2-e-e'-1-c-c'-8-a-a'-7-B$ ；和 $A-3-b-b'-4-d-d'-5-f-f'-6-h-h'-7-B$ 兩組。每組導體的總電動勢的方向，就是串聯着各個導體的電壓方向。循着上述的次序尋跡，可以知道 B 刷的電壓比 A 刷高。換一句話說，將 A, B 兩刷和外面電路接通，電流必由 B 刷流出，回到 A 刷，再經任何一組導體返回 B 刷。在兩刷之間，有兩條電流路徑並聯着。兩刷間的電壓，等於該圖內所有導體產生的總電動勢的一半，因爲兩刷間實際上祇有半數導體串聯，而這兩組是並聯着的。

當這許多導體一道旋轉，由圖 1.6 的位置，稍稍移過一點，直到截片 6 代替截片 7，截片 2 代替截片 3。現在導體 g, g' 不再在上列第一條路徑裏，而轉移到第二條裏，同樣導體 h, h' 由第二條轉到第一條裏。目前的兩條路徑，有如下列： $A-2-e-e'-1-c-c'-8-a-a'-7-h'-h-6-B$ ；和 $A-2--g'-$