

高等學校教學用書

普通電工學

中 冊

蘇聯 伊·爾·別爾斯基等著

燃料工業出版社

高等學校教學用書

普通電工學

中 冊

伊·爾·別爾斯基 維·阿·別謝克爾斯基
蘇聯 阿·維·頓斯冠依 斯·阿·浦 列 斯 合著
伊·克·尤爾克夫斯基

吳震春 朱建銘 朱家琪 戴鴻儀譯 高先鑑審校

蘇聯高等教育部審定作為高等學校非機電專業教學參考書

內 容 提 要

普通電工學（中冊）爲電機部分，敘述直流電機、交流電機的構造和作用原理以及電力傳動中電動機的選擇、電力器械和電動機的自動控制等問題。

本書是高等工業學校非電機系專業學生的學習參考書。

И. Р. БЕЛЬСКИЙ
В. А. БЕСЕКЕРСКИЙ А. В. ДОНСКОЙ
С. А. ПРЕСС Е. К. ЮРКОВСКИЙ

ОБ ЦАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

根據蘇聯國立動力出版社1951年莫斯科第一版翻譯

書號 316 電 136

普 通 電 工 學

中 冊

吳震春 朱建銘 朱家琪 戴鴻儀譯 高先鑑審校

燃料工業出版社出版（北京府石街26號）

北京市書刊出版登記證出字第012號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：杜全恩 校對：趙迦南

850×1092 $\frac{1}{16}$ 開本 * 7印張 * 177千字 * 印6,101- 3,150冊

一九五四年十一月北京第一版第一次印刷

一九五五年十一月北京第一版第二次印刷

定價一元二角八分

目 錄

第四篇 直 流 電 機

第十章 直流電機之構造及其一般特性	227
10-1. 電機之用途及其可逆性	227
10-2. 直流電機的磁路及激磁系統	230
10-3. 電樞繞組	233
10-4. 電樞反應	240
10-5. 電流換向與附加磁極	243
10-6. 直流電機的電動勢和轉矩	246
10-7. 直流電機的損耗與效率	250
10-8. 直流電機的構造	254
第十一章 直流發電機	258
11-1. 發電機的激磁法	258
11-2. 發電機的工作特性	262
11-3. 發電機的並聯運用	265
第十二章 直流電動機	266
12-1. 電動機的自動調節原理	266
12-2. 並激電動機的性能與特性	268
12-3. 直流電動機的啓動	271
12-4. 串激與複激電動機	273
12-5. 直流電動機的逆轉	277
12-6. 發電機—電動機系統	277

第五篇 交 流 電 機

第十三章 變壓器	279
13-1. 變壓器的用途及作用原理	279
13-2. 變壓器的無載及負載	282
13-3. 變壓器的向量圖及工作特性	287
13-4. 變壓器的容量及效率	292

13-5. 三相變壓器	294
13-6. 變壓器的構造	296
13-7. 變壓器的並聯運用	298
13-8. 自耦變壓器	299
13-9. 儀表用變壓器	301
第十四章 異步電動機	303
14-1. 異步電動機的作用原理及構造	303
14-2. 定子繞組	306
14-3. 轉子繞組	311
14-4. 定子和轉子的電動勢	315
14-5. 轉子和定子的電流	319
14-6. 異步電動機的向量圖	324
14-7. 異步電動機的轉矩	330
14-8. 轉矩與轉差率的關係和異步電動機的運行特性	334
14-9. 異步電動機的啓動	339
14-10. 異步電動機的調速	343
14-11. 異步電動機的逆轉	346
14-12. 異步電動機的損耗和效率	347
14-13. 異步電動機的功率因數	351
14-14. 異步電動機的構造	353
第十五章 同步電機	356
15-1. 同步電機的作用原理及構造	356
15-2. 同步電機的電樞反應	362
15-3. 同步發電機的向量圖及特性曲綫	365
15-4. 同步發電機的併列	369
15-5. 同步發電機的併列運行	371
15-6. 同步電機的旋轉力矩及整步力矩	377
15-7. 激磁對同步電機併列運行的影響	382
15-8. 同步電動機的性能	385
15-9. 同步電機的損耗和效率	338
15-10. 同步電機的構造	390
第六篇 電力傳動	
第十六章 電動機的選擇	395

16-1. 緒言	395
16-2. 電動機的發熱和工作狀況	396
16-3. 按照功率選擇電動機	398
16-4. 按照型式選擇電動機	402
第十七章 電力器械與電動機的自動控制	405
17-1. 手動控制器械	405
17-2. 接觸控制器械	407
17-3. 電磁啓動器	411
17-4. 自動控制接線圖	414
中俄對照技術名詞索引	419

第四篇 直 流 電 機

第十章 直流電機之構造及其一般特性

10-1. 電機之用途及其可逆性

旋轉電機是用來變機械能為電能以及相反的變電能為機械能的。

變機械能為電能的機器謂之發電機。它們由原動機(汽輪或水輪機,內燃機)帶動,供應各種受電設備以電能。

變電能為機械能的機器謂之電動機。用於帶動各種機器和車床。

電機的運用基於兩個最主要的電磁學定律(參看§2-3和2-8),即電磁感應定律:

$$E = Bl_a v \quad (10-1)$$

和電磁力定律:]

$$F = Bl_a I. \quad (10-2)$$

以上兩式係指在磁感應為恒定值 B 的均勻磁場內,導體的運動垂直於磁線的方向而言(圖10-1)。字母 l_a 表示導體的有效長度,即處於

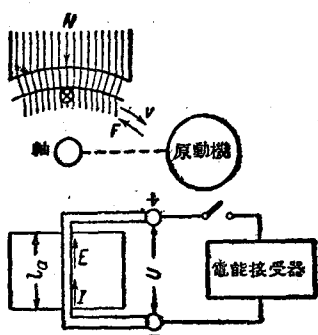


圖 10-1. 發電機的作用原理

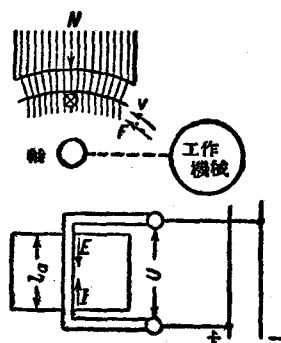


圖 10-2. 電動機的作用原理

磁場區域內的那部分直線狀導體的軸向長度(磁極的軸向長度)。

若轉子(機器之迴轉部分)上置以導體，由原動機以外力帶動旋轉，圓周速度為 v ，則產生電動勢 E 。不過，在此電動勢的作用下，只有當該導體的電路閉合的時候才會產生電流，這就是發電機的情況。

反之，假使所研究的那根導體被接入電路，由電網供電，也就是說，接上外施電源(圖10-2)，且在導體中有電流 I 流過，則產生機械力 F ，作用於轉子的圓周。不過在此力的作用下，只有當機器的軸不被扼住的時候，轉子才會轉動。這就是電動機的情況。

假使考慮到電流可以當作電的速度，那末我們發現上述兩種情況是完全對稱的。

因為在兩種情況中既有旋轉速度又有電流，所以對這兩種情況要應用電磁感應定律和電磁力定律。把方程式(10-1)和(10-2)放在一起比較並進行一些最簡單的變換，我們就得出第三個方程式：

$$Fv = EI. \quad (10-3)$$

這是功率或能量自一種形式至另一種形式的變換方程式。在發電機的情況下，機械功率 $P_M = Fv$ 被轉變為等量的電功率 $P_e = EI$ ；在電動機的情況下，則反其方向而轉變。電機的可逆原理即在於此。任何電機均可作發電機，也可作電動機來運轉。

在發電機的情況，電動勢 E 為電流 I 之原因，且他們的方向相同(圖10-1)；而電磁機械力 F 的方向，正如以左手定則所決定者，却與旋轉方向相反。此力係一種反作用性質的制動力，要用從原動機方面來的、加於發電機軸上的力來克服。

在電動機的情況，電磁力 F 為運動之原因，因其方向是與旋轉速度 v 的方向相同的(圖10-2)。電動勢的方向，正如依右手定則所決定者，却與電流的方向相反。此電動勢謂之反電勢，要用加於該電路的電網電壓來克服。

根據楞次-焦耳定律，任何由機械能到電能以及相反的變換都將發生能量損耗，使電機的導體發熱。試以 r 表示電機電路在電機端子間的電阻，則我們得出熱功率，即損耗於使電樞電路發熱的功率，等

於 $P = I^2 r$ 。假使考慮到熱損耗，我們就應當把電流與電機端電壓之乘積稱為外部的電功率，即寫成 $P_g = UI$ 。

在發電機的情況下，得自原動機的全部機械功率 $Fv = EI$ 都轉變為給予電網的可用電功率 P_g 和功率損耗 p 。如此我們有：

$$\begin{aligned} P_M &= P_g + p, \\ EI &= UI + I^2 r \end{aligned}$$

或

$$E = U + Ir. \quad (10-4)$$

在電動機的情況下，得自電網的全部電功率變為給予工作機械或車床的有用機械功率和功率損耗 p ，如此我們有：

$$\begin{aligned} P_g &= P_M + p, \\ UI &= EI + I^2 r \end{aligned}$$

或

$$U = E + Ir. \quad (10-5)$$

在兩種情況中，為減小損耗起見，電樞迴路的電壓降 Ir 的數值應較 U 或 E 小得多。

電機的可逆原理由俄國學者兼發明家 Б. С. 亞可比院士在1834年首次陳述出來，即在 Э. X. 楞次院士發現他的著名物理定律（奠定了可逆原理的基礎）後的一年。

Б. С. 亞可比真正可以稱得起電機製造的創始人。在這以前所有電機實際上只是實驗室裏的儀器，以供物理實驗和論證之用。而亞可比則發明了、設計了、並製造了電動機，將電能用到工程上（在河裏推動船）。亞可比的電動機是第一個實用的、根據迴轉運動的原理而製成的電動機，不用把直線進行的運動用機械變換成迴轉運動，並且沒有因這變換而發生大量的能量損耗。

雖然電動機的結構在以後用其他方法發展了，但是其技術上的基本優點以及應用上的最大可能性是首先由亞可比指出的。他不僅是一個優秀的學者，並且也是一個實踐的工程師。亞可比指出，與其他原動機比較起來，首先是與那時在工業上佔主要地位的蒸汽機比較起來，電動機的優點在於結構與製造簡單，比較便宜，運用簡便，沒有

繁多的摩擦部分，沒有雜聲與煙火等等。

例10-1. 設電機的電壓等於220伏，電樞迴路的電壓降計為電機電壓的4.5%，試決定在發電機與電動機的情況下直流電機的電動勢。

解：電壓降

$$Ir = 0.045U = 0.045 \times 220 = 10 \text{ 伏.}$$

在發電機的情況下，電動勢

$$E_{\text{ген}} = U + Ir = 220 + 10 = 230 \text{ 伏.}$$

在電動機的情況下，電動勢

$$E_{\text{дв}} = U - Ir = 220 - 10 = 210 \text{ 伏.}$$

在發電機的情況下，若有效電功率 $P_{\text{э}} = 10$ 瓩 = 10000瓦，則電流

$$I = \frac{P_{\text{э}}}{U} = \frac{10000}{220} = 45.5 \text{ 安.}$$

電樞迴路電阻

$$r = \frac{Ir}{I} = \frac{10}{45.5} = 0.22 \text{ 歐.}$$

10-2. 直流電機的磁路及激磁系統

正如方程式(10-1)和(10-2)所表示的，要使電機動作就必須建立一個強磁場，其強度以數量 B 來表明。

在原始結構的電機裏面用永久磁鐵來建立磁場；這種電機稱為磁電式電機。現在永久磁鐵主要用在特種小功率的電機中 [用於點燃某些類型內燃機的 [久磁發電機] (магнето)，以及用來測量轉速的 [轉速表發電機] (тахогенератор) 等]。

要建立一個相當強的磁場，通常是用電磁鐵，它是一種上面套了線圈的鋼心。藉電磁鐵來實現直流電機的激磁。電磁鐵或磁極固着於

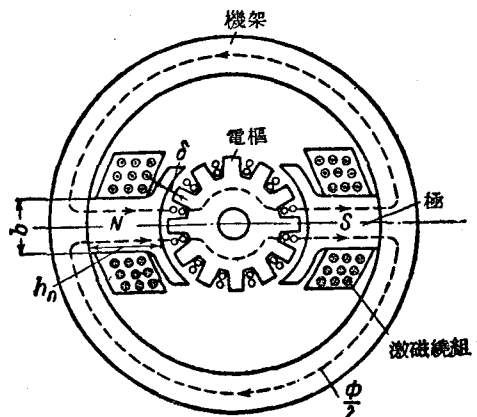


圖 10-5. 直流電機的磁路

靜止的鋼或鑄鐵做的環形機架上(圖10-3)。

裝在軸上的轉子，或「電樞」，在磁極間的空間旋轉。這電樞是一個鋼心，其上分佈着切割磁線的導體。如圖10-3所示，由電磁鐵或「感應子」所激勵的主磁通分在兩個支路裏；每一支路中部的磁線用虛線表示。磁線的方向完全決定於激磁繞組中電流的方向，即決定於電磁鐵的極性。根據螺旋定則，圖10-3上左側出現了北極，而右側則為南極。

磁線形成一個閉合的磁路，經過機架，磁極鐵心，極與電樞之間的空氣隙，以及電樞鐵心。像從磁路定律所得出的那樣(參看第二章，§7)，磁通與磁動勢或磁化線圈的安匝成正比而與磁路的磁阻成反比，即

$$\Phi_e = \frac{I_e w_e}{R},$$

式中 I_e ——激磁繞組中的電流，
 w_e ——繞組的匝數。

匝數 w_e 大抵都很多(約幾千)，以便在激磁電流不大，也就是使線圈發熱的功率損耗小的時候，也可得到足夠的磁動勢。

視磁路段數的多少，磁阻是由若干項 $\frac{l}{\mu S}$ 所組成，其中 l 是該段沿磁線方向的長度， S 是磁通在該段中所佔的面積，與磁線方向垂直， μ 是該段物質的磁導率。例如在圖10-3中，對於兩個磁極鐵心， $l_n = 2h_n$ ； $S = bl_a$ ，式中 l_a 等於磁極在垂直於圖紙平面方向的軸向長度。

在各項的總和 $\sum \frac{l}{\mu S}$ 中，鐵間空隙的一段，也就是在磁路中唯一經過空氣而不經過鋼的那一段，通常最為重要。這個結論是這樣得來的：空氣的磁導率只有鐵磁性材料磁導率的百分之幾或甚至千分之幾。

要減小空氣隙的磁阻，把電樞繞組置於凹處或槽裏，使齒的表面儘可能地與磁極的內表面接近。這樣，空氣隙的寬度 δ ，其值為兩段空氣磁路長的一半($l_g = 2\delta$)，可以做到只有幾個公厘或甚至更小的數值。

採用磁極極掌，擴大空氣隙中磁通的截面積，是減小空氣隙磁阻的另一方法。至於磁路的其他各段，則要採用緊密的結構以及使用高磁導率的材料來減小磁阻了。

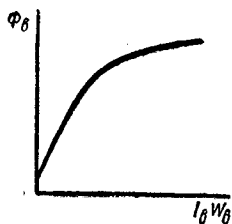


圖 10-4. 直流電機的磁化曲線

電機的磁通 Φ_0 與激磁磁動勢 $I_0 w_0$ 之間的關係謂之磁化曲線，表示在圖 10-4 上；此圖是由電機磁路的計算結果而繪出的。由於導磁體中鋼鐵部分的影響，這曲線的形狀和鐵磁性材料的磁化曲線大致一樣。為了充分利用這些材料，通常

都在大的磁感應下工作，亦即在曲線的彎曲處運用。

卓越的俄羅斯物理學家 A. Γ. 斯托列托夫為電機磁路的計算打下了科學的基礎，他首先仔細地研究了鐵磁性物體的磁化過程。

電樞通用 0.5 公厘左右厚度的鋼片裝配起來。各片彼此之間以絕緣漆薄膜或在鋼表面形成的氧化層來絕緣；絕緣的厚度不超過 0.01 公厘。這有助於減小鐵心裏感應的渦流以及與此電流相聯系的能量損耗。

圖 10-5 說明電樞中渦流的發生。電樞在電機磁極的磁場裏旋轉，其鐵心的各部分切割磁線，因之在鐵心內

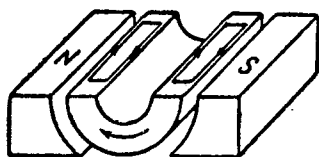


圖 10-5. 電樞中的渦流

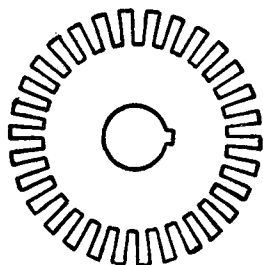


圖 10-6. 電樞鋼片

感應有電動勢，其值與切割速度成比例。在接近電樞表面的地方，圓周速度較大，產生的感應電動勢要比軸的附近部分大些。在作用於電樞截面的電動勢差之影響下，鐵心裏面產生了電流，其閉合迴路如圖 10-5 所示。為了減少無謂的能量消耗使電樞發熱，鐵心是由彼此絕緣的鋼片組成；在這情況下，電流僅僅單獨地在每一片中循環。因為薄片的電阻要比整塊電樞的電阻大得多，所以這個電流很小且能量損耗

大為降低。這種鐵心的結構對於磁阻却幾乎沒有影響，因為磁線係分佈在片的平面內而並非垂直於這個平面。每一鋼片是連帶軸孔與圓周邊緣的槽口一起衝壓出來的，在這些槽中安置電樞繞組(圖 10-6)。

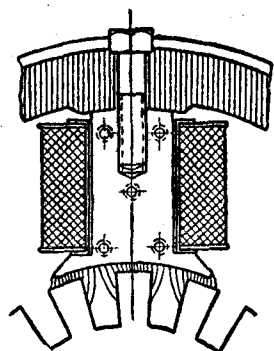


圖 10-7. 直流電機的磁極

直流電機磁極的構造表示於圖 10-7 中。用螺絲釘固着於機架上的磁極鐵心一般是像電樞一樣分別由薄的電工鋼片構成，並用雙頭螺栓把鋼片壓緊。雖然對於磁通來說磁極是不動的，可是由於接近電樞的鐵心部分中磁場的脈動，同樣也可以產生渦流。實際上，由於電樞的齒輪形狀，在面對齒的地方磁場變得緊密，而在面對槽的地方就變得稀鬆(圖 10-7)。當電樞旋轉時，這些緊密與稀鬆的區域無時無刻不在轉移，在磁極鐵心

中也就形起渦流。磁極鐵心分成鋼片的裝置使得渦流減弱。有時鐵心是以整塊的鑄鋼做成，而把各個以鋼片疊成的極掌用螺釘安裝上去。激磁線圈繞在絕緣材料做成的筒上，將其一併裝上磁極。

機架(或[軛])通常是用特種軟鋼或厚鋼片鑄製而成。小容量的機器有時採用鑄鐵。

10-3. 電 樞 繞 組

最簡單的電樞繞組元件由一匝線圈組成，如圖 10-8 所示。線圈邊 a 和 b 放在電樞槽中，在直徑的平面內。導體 a 和 b 的後端在電樞圓筒的後部平面上彼此聯在一起，如圖 10-8 中虛線所示。導體 a 和 b 的前端聯結到銅片或半圓環上，這些銅片安裝在電樞軸上，不論在片與軸之間或片與片彼此之間都要絕緣起來。在片上或是板上裝置靜止的接觸點 A_1 和 B_1 ，稱為[電刷]。當機器旋轉而作發電機運行時，在導體中產生感應

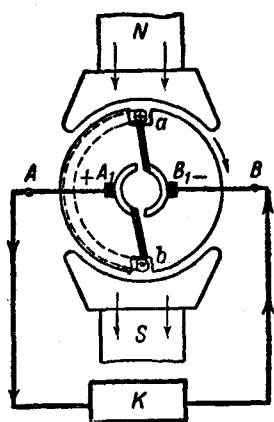


圖 10-8. 電樞繞組的作用原理

電動勢，其方向係根據右手定則決定。不難看出，在以順時針方向旋轉的情況下，當導體（例如 a ）處於北極之下時，其中感應電動勢的方向是離開讀者（「叉」記號）；當這個同一根導體經過南極區域時，感應電動勢的方向改變了（「點」記號）。這樣，每當電樞旋轉一周，電樞繞組中感應電動勢和電流的方向週期性地變換兩次（交流）。不過在外電路中（該電路自電刷 A_1 和 B_1 經過端子 A 和 B 而到受電器 K ）電流的方向並不改變，因為與導體自一個磁極區域轉入另一磁極區域的同時，電刷自一個半圓環轉移到另一個半圓環上。這樣，與南極底下的導體相聯的那一片，總是與電刷 A_1 相接觸，端子 A 處始終是電流流出而進入外電路的地方（正的記號）；同樣，電流將始終經過端子 B 而反過來進入電機（負的記號）。

上述由絕緣的銅片構成而用來變交流為直流的裝置就是整流器並稱為「換向器」。換向器片的數目與電樞繞組的匝數或導體數相符；關於這些將在以後更詳細地敘述。

爲了要使換向器正常運用，如圖 10-8 所示者，聯電刷的直線必須垂直於磁極軸線。這線稱為電機的幾何中性線。

在直流機作電動機方式運轉的情況下，換向器起了同等重要的「整

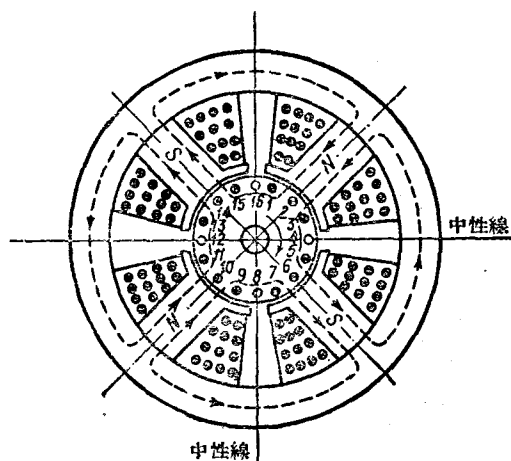


圖 10-9. 四極電機的结构簡圖

力器」的作用。實際上，假使把圖 10-8 作為電動機的情況，即當端子 A 及 B 被聯結到直流電網，而導體 a 及 b 中的電流給以圖中所示的方向時，圓周邊的力將（根據左手定則）指向反時針的方向。爲了要使這個力（這個力決定了電動機旋轉的方向）的符號維持不變，必須在導體自一個磁極區域轉

入另一區域的同時改變導體中電流的方向；這一件事，像我們所看到的，也要靠換向器來完成。

實際上，電樞繞組就是一組導體的體系，這些導體安置在整個電樞周圍的槽內，如圖 10-3 所示。

圖 10-9 表示一個電機具有最簡單的電樞繞組，這繞組以十六根導體構成；與圖 10-3 不同，這兒所表示的電機不是二極而是四極。這種結構在實用上頗為普遍，它使電樞與機架之間的空間得以更好地利用，也就是，與做成二極的情況比起來，可以獲得緊密得多的結構。按照磁極的數目，磁場含有四條支路，通過電樞和機架而閉合。

在圖 10-9 所示的位置，電樞導體 1, 2, 3 處於北極之下，當以順時針方向旋轉時，其中感應電動勢的方向是離開讀者的（〔叉〕號）。導體 5, 6, 7 處於南極之下，其中感應電動勢的方向是指向讀者的（〔點〕號）。同樣，在導體 9, 10, 11 上應當標以〔叉〕號，而在導體 13, 14, 15 上標以〔點〕號。這時電樞導體 4, 8, 12 和 16 處於兩個磁極之間，在它們裏面並不產生電動勢（在該瞬間等於零）。

電樞繞組的所有導體在彼此之間以及與換向器之間應當如此聯結起來，以使下列條件得以滿足：

- (1) 整個繞組應當呈一閉合迴路，此迴路被電刷劃分成偶數的等長的段落；
- (2) 同一段的所有導體中的感應電動勢作用應當一致，即應當相

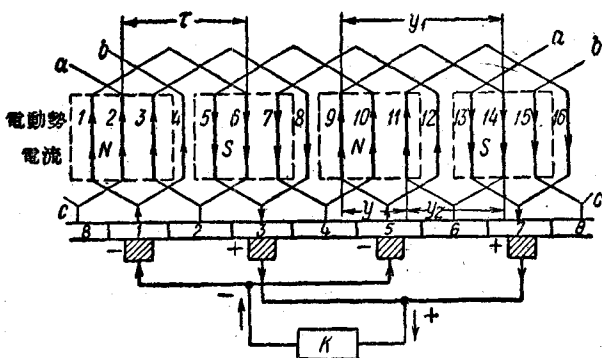


圖 10-10. 疊式電樞繞組的聯線圖

加；因為作用於相隣段落的電動勢的方向如彼此相反，則電動勢的總和要等於零；

(3) 自任一導體開始，環繞繞組一周，必須毫無例外地經過所有導體，返回起始位置；

(4) 當電機以電動機方式運轉時，電樞導體中的電流應當這樣分配，以使所有作用於導體的電磁力指向同一方向(在圖 10-9 上係反時針方向)；這條件是前述條件的結果。

在圖 10-10 上引用了一個最簡單的能滿足上述要求的聯線圖。為明顯起見，此圖是以展開的形式表示的，即將電樞的圓筒形表面切開並展開成一個平面。

聯線圖 10-10 完全與圖 10-9 相符，提供了十六根導體的電樞的展開俯視圖；在這些導體中電動勢的方向用上面的箭頭表示。虛線表示四個磁極的區域，相應的導體在其隣近運動着。相隣兩磁極中心間的距離稱為極距，以字母 τ 表示。假使這個距離用相隣導體之間的間隔數目來計算，則顯然地

$$\tau = \frac{z}{2p},$$

式中 z ——導體的總數，

p ——磁極對數。

在圖中所規定的情況下， $\tau = 4$ 。

導體的有效部分置於圓筒形電樞表面的槽內，彼此之間以所謂端接線聯結起來；這些端接線分佈在電樞的兩端，在圖 10-10 上以斜線表示之。

為了要滿足前面所引述的第二和第四個條件，每一根有效導體必須直接與處於異性磁極區域內的另一根導體相聯結。祇有這樣，在這兩根導體所組成的一匝線圈內，電動勢才會相加，而作用於這兩根導體的電磁力才會指向同一方向。

循着繞組通路而聯結的兩導體間的距離(以相隣導體間的間隔數目計)稱為繞組節距。自圖 10-10 可以看出，繞組是這樣聯結起來的：將相隣の線圈聯在一起，形成環線；這種繞組稱為疊繞組。倘若所有

的繞組節距都相同，都等於極距，那末就不可能由一個線圈通到相鄰的一個線圈。這樣，假如我們自導體 1 引到導體 5，隨後又將重新回到導體 1。

要滿足上述第一和第三條件，繞組節距必須與極距不同。在圖 10-10 中所引用的聯結圖上，前進時的節距 $y_1 = \frac{z}{2p} + 1 = 5$ ，而後退時的節距（即通到次一個相鄰的線圈邊時） $y_2 = \frac{z}{2p} - 1 = 3$ 。在這情況下，得到合成的繞組節距 $y = y_1 - y_2 = 2$ 。這樣，假定自導體 1 開始環行，我們首先到達導體 6 ($1 + 5 = 6$)，然後退到導體 3 ($6 - 3 = 3$)，以此類推。全部繞組可用以下的一串數字來表示：1—6—3—8—5—10—7—12—9—14—11—16—13—2—15—4—1。

由此可見，在經過所有十六根導體的環行以後，我們又回到起始點，即回到導體 1。在繞組切開的兩端，為了更容易追索導體聯結的途徑起見，在圖 10-10 上寫出了字母 a, b 和 c ，表示切開的地方。

在電樞軸的一側，導體成雙地聯到彼此絕緣的換向器片上；片的數目是導體數的一半，在所述的情形下即等於八。聯到相鄰兩換向器片的一段電樞繞組稱為元件。

假使電機的外電路沒有閉合，則電樞繞組的導體中不可能有電流，因為作用於導體 1, 3, 6, 9, 11, 14 的電動勢被導體 2, 5, 7, 10, 13 和 15 中的電動勢所平衡。

假使在正對磁極中心的地方，也就是相當於換向器上的中性點^①處，裝上電刷並把這些電刷像圖 10-10 所示的那樣與外電路及受電器相聯結，那末在所有導體中都有電流通過，其方向以下

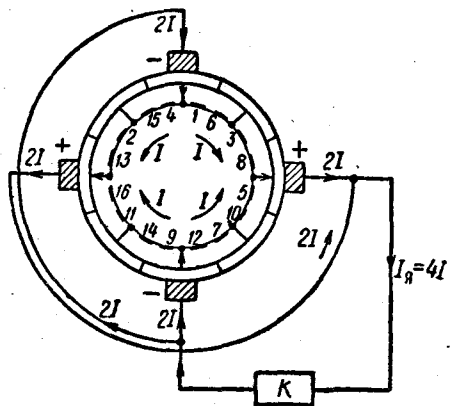


圖 10-11. 電樞繞組中電流的分佈

① 換向器上的中性點與電樞上的中性點相對地移位半個極距。