



中等專業學校教學用書

电 机 学

И. А. 波里亞科夫著

高等教育出版社

中等專業學校教學用書



电 机 学

H. A. 波里亞科夫著
吳 逸 濤 譯

高等教育出版社

本書係根據蘇聯國立機器製造書籍出版社（Государственное научно-техническое издательство машиностроительной и судостроительной литературы）1953年出版的波里亞科夫（Н. А. Поляков）著“電機學”（Электрические машины）譯出的。原書經蘇聯運輸及重型機器製造工業部教育司批准為造船中等技術學校教科書。

本書敘述與電機及變壓器有關的基本理論知識，電機及變壓器的使用性能以及它們在船舶上應用時的特點。書中着重於敘述過程的物理現象。

本書除作造船中等技術學校教材之用外，亦可供一般中等工業學校學生及從事電機工作的技術人員參考。

電 機 學

Н. А. 波里亞科夫著 吳逸翰譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

（北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號）

京華印書局印刷 新華書店總經售

書號514(課452) 開本850×1168¹/₁₆ 印張11⁵/₈ 字數297,000

一九五六年一月第一版

一九五六年一月第一次印刷

印數1—2,500 定價(8) 1.70

目 錄

緒論	9
----------	---

第一編 直流电机

第一章 直流电机基本知識	13
--------------------	----

§ 1. 基本概念	13
§ 2. 电磁感应定律	13
§ 3. 载有电流的导体对磁場的相互作用定律	15
§ 4. 直流电机的工作原理	17
§ 5. 直流电机的構造及其主要部件	22

第二章 直流电机的电樞繞組	34
---------------------	----

§ 6. 關於电樞繞組的基本知識	34
§ 7. 环形电樞單波繞組	36
§ 8. 环形电樞的單波繞組	39
§ 9. 鼓形电樞繞組及其特性	40
§ 10. 鼓形电樞的單層繞組	43
§ 11. 鼓形电樞的複層繞組	47
§ 12. 鼓形电樞的單波繞組	48
§ 13. 鼓形电樞的複波繞組	51
§ 14. 繞組的对称条件	53
§ 15. 均压联接	53
§ 16. 电樞繞組的电势	55

第三章 直流电机的磁路及其計算的原則	57
--------------------------	----

§ 17. 电机当無載時的磁路	57
§ 18. 主磁極所需的磁势	60
§ 19. 气隙所需的磁势	61
§ 20. 樞齒所需的磁势	64
§ 21. 樞心所需的磁势	68
§ 22. 机座所需的磁势	68
§ 23. 电机導磁体的磁化曲線	69

第四章 直流电机当有負載時的磁場	70
§ 24. 直流电机的电樞反应	70
§ 25. 电樞繞組的磁勢	73
§ 26. 电樞反应的順磁分量及交磁分量	75
第五章 整流	77
§ 27. 關於整流性質的基本概念	77
§ 28. 直線性的整流	78
§ 29. 曲線性的整流	80
§ 30. 改善整流的方法	82
§ 31. 換向器上的环火現象·補償繞組的作用	86
第六章 直流电机在發電机情况下的工作	89
§ 32. 直流發電机的激磁及其按照激磁方法的分類	89
§ 33. 电机的額定功率及額定值	92
§ 34. 發電机的特性曲線	92
§ 35. 他激發電机	94
§ 36. 並激發電机	98
§ 37. 串激發電机	104
§ 38. 複激發電机	105
第七章 直流發電机的並联运用	107
§ 39. 關於直流發電机並联运用的一般概念	107
§ 40. 並激發電机並联的条件	108
§ 41. 並联运用發電机間負載的攤派	109
§ 42. 複激發電机的並联运用	111
第八章 直流電動机	112
§ 43. 直流电机的可逆性	112
§ 44. 電動机电勢平衡定律	114
§ 45. 電動机的功率	115
§ 46. 電動机电樞的旋轉速度	116
§ 47. 轉矩平衡定律	118
§ 48. 電動机的起勁	120
§ 49. 直流電動机旋轉方向的改变	124
§ 50. 電動机的整流及电樞反应	125
§ 51. 直流電動机的工作特性	125
§ 52. 並激電動机	126

§ 53. 串激電動機	132
§ 54. 複激電動機	136
第九章 直流電機的耗損及效率	137
§ 55. 功率損耗的形式	137
§ 56. 直流電機的效率	142
第十章 船舶設備方面用的特种直流電機	143
§ 57. 電機型功率放大器	143
§ 58. 三機組發電機	146
§ 59. 永久磁鐵式的發電機	147

第二編 變壓器

第十一章 單相變壓器	151
§ 60. 變壓器的作用原理	151
§ 61. 變壓器的基本類型	153
§ 62. 變壓器的定額	154
§ 63. 變壓器的構造	155
§ 64. 單相變壓器無載時的情況	161
§ 65. 變壓器無載時的向量圖	164
§ 66. 變壓器的無載電流	165
§ 67. 無載時的損耗	166
§ 68. 變壓器有負載情況	169
§ 69. 變壓器副機組如何折算到主機組	170
§ 70. 變壓器當有負載時的向量圖	171
§ 71. 變壓器短路情況	173
§ 72. 短路情況下變壓器的向量圖	174
§ 73. 短路時的向量三角形	175
§ 74. 變壓器短路時的損耗	176
§ 75. 變壓器當有負載時其電壓變化的決定	177
§ 76. 變壓器的損耗及效率	178
第十二章 三相變壓器	180
§ 77. 關於三相變壓器的基本知識	180
§ 78. 三相變壓器繞組的聯接法	181
§ 79. 三相變壓器的無載情況及短路情況	185
§ 80. 三相變壓器有負載時情況	186

§ 81. 變壓器的並聯應用.....	188
第十三章 特殊類型的變壓器	194
§ 82. 自耦變壓器.....	194
§ 83. 多繞組變壓器.....	196
§ 84. 量測用的變壓器.....	197
§ 85. 鐵心可拉開的電抗線圈.....	200
§ 86. 導磁體飽和的變壓器.....	201
§ 87. 磁放大器.....	202
§ 88. 具有調節電壓的變壓器.....	204
第三編 同步電機	
第十四章 同步電機的基本知識	207
§ 89. 同步電機的作用原理.....	207
§ 90. 同步電機的構造.....	210
§ 91. 激磁繞組的饋電.....	216
§ 92. 蘇聯製造汽輪發電機及水輪發電機的情況.....	217
§ 93. 同步電機的額定值.....	218
第十五章 同步電機的定子繞組	220
§ 94. 關於繞組的基本知識.....	220
§ 95. 單層繞組.....	221
§ 96. 雙層繞組.....	227
§ 97. 整節距雙層定子繞組的構成.....	228
§ 98. 短節距雙層定子繞組的構成.....	230
第十六章 同步電機的电勢	231
§ 99. 对電勢波形的要求.....	231
§ 100. 定子繞組的相電勢.....	234
第十七章 同步電機的定子反應及磁勢	239
§ 101. 同步電機的磁場及其成分.....	239
§ 102. 定子繞組磁勢及磁場.....	240
§ 103. 三相繞組的磁勢.....	243
§ 104. 同步電機當担负負載時的磁場.....	245
§ 105. 單相電機定子反應的特點.....	249
§ 106. 漏磁通对同步電機工作的影响.....	250

第十八章 同步发电机的电势向量圖	251
§ 107. 同步发电机电压的改变	251
§ 108. 同步发电机的电势向量圖	252
§ 109. 顯極发电机的电势向量圖	253
§ 110. 未飽和隱極发电机的电势向量圖	255
§ 111. 飽和隱極发电机的电势圖	257
第十九章 同步发电机的特性曲線	258
§ 112. 無載特性曲線	258
§ 113. 外特性曲線	260
§ 114. 調節特性曲線	261
§ 115. 同步电机的損耗及效率	263
第二十章 同步发电机的並联运用	265
§ 116. 同步发电机並联的条件	265
§ 117. 同步发电机並联运用時負載的分攤	270
第二十一章 同步电动机	273
§ 118. 同步电动机的作用原理	273
§ 119. 同步电动机的功率及轉矩	275
§ 120. 工作於功率恆定激磁电流改变下的同步电动机	276
§ 121. 同步电动机的起動	278
§ 122. 同步电动机的工作特性曲線	280
§ 123. 反应式同步电动机	281

第四編 異步电机

第二十二章 異步电机的工作原理及構造	284
§ 124. 異步电动机	284
§ 125. 異步电动机的工作原理	284
§ 126. 異步电动机的構造	287
§ 127. 異步电动机在电能上与变压器的相同	291
§ 128. 轉子未動時異步电动机內的現象	291
§ 129. 異步电动机当轉子旋轉時的現象	294
第二十三章 異步电动机的轉矩	298
§ 130. 能量圖	298
§ 131. 異步电动机的轉矩	300

第二十四章 異步電動機的起動	305
§ 132. 電動機起動時的轉矩方程式	305
§ 133. 異步電動機的起動方法	306
第二十五章 異步電動機轉數的調節	314
§ 134. 電動機調節轉數的方法	314
§ 135. 藉改變電源的頻率來調節轉數	314
§ 136. 藉改變定子繞組磁極的對數來調節轉數	315
§ 137. 用變阻器於轉子電路內來調節轉數	318
第二十六章 電動機的損耗及效率·異步電動機的工作特性	319
§ 138. 異步電動機內部的損耗及效率	319
§ 139. 異步電動機的工作特性	321
第二十七章 單相異步電動機	324
§ 140. 基本知識	324
第二十八章 異步電動機特殊工作情況	326
§ 141. 工作於發電機情況	326
§ 142. 工作於電磁制動的情況下	328
§ 143. 感應式調整器	329
§ 144. 異步電動機用於感應式通訊電路	330
§ 145. 電磁異步耦合器	333
§ 146. 有換向器的異步電動機	333
第二十九章 換流機	340
§ 147. 關於換流機的基本知識	340
§ 148. 電動機-發電機式的換流機	341
§ 149. 單電樞換流機	343
第三十章 電機的發熱及冷卻	347
§ 150. 關於電機的發熱的一般知識	347
§ 151. 單純材料物體發熱及冷卻的規律	349
§ 152. 量測溫度的方法	353
§ 153. 電機的通風	354
第三十一章 船舶電機的若干特點	357
§ 154. III 系列船舶用直流電機的技術特性	357
§ 155. 如何防止電機工作時發生的干擾	358

緒 論

在苏联國民經濟各部門中，电能的应用，日益普遍。

在任何部門中，电能不但是現代能量供应的基本來源，而且也是技術進步最主要的因素。在國民經濟所有各部門的电气化事業中，电机具有重大的意义。所有生產电能的發電站都裝置有發電机。所生產的电能，百分之七十以上是利用電動机轉变为机械能的。現今电力驅動不但越來越多地担任供应机械能的任务，而且还担任控制和調節机械的任务。

电机工程的全部發展史，是与电机的生產及应用分不開的；而且电机工程發展的每一主要階段又与俄國學者、工程師及發明家的姓名分不開的。从前一世紀起，在俄國不断的發明是具有重要的國際意义的。早在1804年，彼得罗夫(В. В. Петров)發明电弧。这就注定了後來电能在照明及电鍍方面的廣泛应用。1833年，彼得堡大学教授楞茨(Э. X. Ленц)總結电磁感应現象及电磁轉動現象，这样就实际上奠定了电机的可逆性原理。

在1834年，另一位卓越的俄國科学工作者亞柯比(В. С. Якоби)根据旋轉運動的原理，製造出世界上第一个直流電動机。在亞柯比之先，所有从事創造電動机的發明家，始終沒有知道如何逾越有曲柄的蒸汽机的結構形式範疇。亞柯比的電動机是現今所有的具有換向器电机的原始形式，它曾經被用來驅動小舟，並曾在涅瓦(Нева)河上試驗过。这是世界上第一艘電動船。追後楞茨又發現了並在物理上解釋了电机內的電樞反应現象。

在同一年，俄國學者司徒列托夫(А. Г. Столетов)發表關於当鋼材

飽和時，其磁導率變化情形的研究結果。這是对磁路計算的偉大理論貢獻。

在 1878 年，俄國學者亞布洛契可夫(П. Н. Яблочков)創造交流發電機，用以饋給電能於他所發明的電燭。這發電機是現代同步發電機的原始形式。

在 1882 年，俄國發明家烏沙金(И. Ф. Усагин)，在莫斯科工業展覽會上展覽出他所創造的變壓器，在結構上比起亞布洛契可夫所創造的變壓器更為完美。

卓越的俄國電機工程師多利沃-多布羅沃爾斯基(М. О. Доливо-Добровольский)對於發展交流理論及應用貢獻很大。他曾經制定三相制交流。三相制交流是今日工業動力的基礎。多利沃-多布羅沃爾斯基曾創造短路式轉子及線捲式轉子的異步電動機。這種電動機，按照其結構數據以及運用性能而論，是工作最穩定最可靠的電動機。他還創造三相變壓器，注意到遠距離輸電的問題。俄國電機工程師皮羅次基(Ф. А. Пироцкий)、賴奇諾夫(Д. А. Лачинов)等人對這問題也曾經過工夫。在上一世紀的末期及本世紀的初期，在我們的某些城市建立了電機製造廠，開始實現了俄國天才學者及工程師的理想。例如，現在名為“電器工人”(Электрик)的工廠中，於 1910 年曾經組織生產俄國學者伏洛格丁(В. П. Вологдин)所建議的高頻率發電機。但是在革命以前的俄國，電機製造廠的發展是受外國資本的操縱的。在國際電機工程的發展中，俄國電工技術人才的最可貴發明雖然超越了自己的時代，但是俄國天才的工程師及發明家技術理想的運用却受到了人為的阻礙。

規模雄偉的電機製造業，在我們的國家裏是在偉大的十月社會主義革命之後才開始的。我們的學者、工程師及發明家的科學思想和創造思想從資本主義的桎梏下解放出來而全面展開的時代來到了，並且把電機製造業也提高到空前未有的水平。

苏联人民在共产党的領導下，實現國家电气化的偉大計劃，開闢电机製造業的新領域——水輪機製造、汽輪機製造、中型及小型直流电机的大規模生產。

汽輪發電機及水輪發電機，不論在每台的容量上，以及產品的量與質上，都有特別大的發展。1924年以С. М. 基洛夫命名的“電力”(Электросила)工廠出品的汽輪發電機每台的容量為3000仟瓦，而到1952年，該工廠已經出產了150,000仟瓦、轉數為3000轉/分、用氫冷卻的汽輪發電機。像這樣大容量用氫冷卻的汽輪發電機，在資本主義國家中就从來沒有製造過。

這個工廠從1927年起為沃尔霍夫(Волхов)水力發電站製造每台容量為8750仟伏安的水輪發電機。現今“電力”工廠所製造的水輪發電機每台的容量為90,000仟伏安和更大的。

為了實現農村电气化的計劃，為了在農業地區建立容量不大的發電站，苏联很注意小容量同步發電機製造的發展。

很多的苏联學者、工程師、生產技術革新者在大型汽輪發電機、大型水輪發電機及小容量發電機的發展及改善方面貢獻良好的成就而得到斯大林獎金，如葉夫列莫夫(Д. В. Ефремов)，柯馬爾(Е. Г. Комар)，卡尔大雪夫(К. И. Каргашев)，伊万諾夫(Н. П. Иванов)，葉列美也夫(А. Е. Еремеев)，費道羅夫(В. П. Федоров)，格魯佐夫(М. Н. Грузов)，聶依孟(З. В. Нейман)，柯士丁(К. Ф. Костин)等人。

在苏联的工廠裏製造各種類型的直流及交流電動機，所製造的電動機的容量範圍極為寬大，每台從幾十瓦到幾千仟瓦。所生產的電動機結構規格極為繁多，以適應國民經濟各部門電力驅動的需要。教授華西利也夫(В. А. Васильев)，葉夫道林(В. Н. Евдолин)等人為研究出高度技術指標的異步電動機而獲得了斯大林獎金。卡西揚諾夫(В. Т. Касьянов)，列契爾(Р. А. Лютер)，卡新(А. А. Кашии)等人為研究出改善強大直流電動機的驅動而獲得了斯大林獎金。在苏联的工廠裏，製

造各种各样供特种用途的电机(如用於电鐸的高频率电机)。

为了適應苏联國家电气化的計劃，变压器製造業也獲得了輝煌的發展，所製造的变压器，容量大於六万仟伏安，电压 230 仟伏。目前正在为古比雪夫水力發電站設計电压 400 仟伏的变压器。苏联电机製造業對於五年計劃中所要求的任务是能够完成的，可以保证製造任何類型的电机及变压器。

苏联在共產党領導下正在建設共產主义社会，电机製造業今後的任务是偉大而光輝的。电机製造業的今後發展是創造共產主义物質基礎最主要的条件之一，苏联共產党第十九次代表大会的決議对苏联电机製造業提出了新的巨大任务。在新的五年計劃中，發電站的發電量应增加到兩倍，水力發電站到三倍。世界上發電量最大的水力發電站必須開始發電。古比雪夫水力發電站發電 2.1×10^6 仟瓦，斯大林格勒水力發電站 1.9×10^6 仟瓦。國民經濟所有各部門的电气化程度正在大大地增加。苏联共產党第十九次代表大会对苏联船舶製造業提出了巨大的任务，各种用途船舶的生產必須增加到 2.6—3.5 倍。毫無疑問，以近代的技術來改進船舶是在今後电气化加強的基礎上發展的。

第一編 直流电机

第一章 直流电机基本知識

§ 1. 基本概念

电机,也和所有的其他机械一样,是将某一形态的能变换成另一形态的能。电机(包括直流电机在内)作为发电机及电动机,获得广泛的应用。当作为发电机时,是将原动机所供应的机械能转换为电能。较常用的原动机有水轮机、汽轮机及内燃机。

当作为电动机时,是将所输入的电能转换为机械能。

电机中,能的转换过程是建立在电磁感应定律以及载有电流的导体与磁场相互作用定律的基础上。

§ 2. 电磁感应定律

根据法拉第於 1831 年所发现的定律:凡割切磁场的导体,在其内部感应生出电势。圖 1 表示对磁力线作垂直运动的导体。於是根据上述定律,在该直导体内所感应生成的电势,其数值可从下式决定:

$$e = Blv, \quad (1)$$

式中 e 指电势的瞬时值;

B 指磁感应,以高斯计;

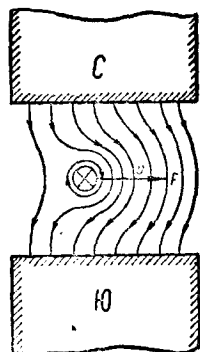


圖 1. 导体内的电势。

l 指導体的有效長度，以公分計；

v 指運動速度，以公分/秒計。

如要所算得的電勢的數值以伏為單位，則必須在式(1)中添進因次係數 $k=10^{-8}$ 。

要決定導体内電勢的方向，有右手定則。根據該定則，將右手手掌朝着北極(C)，伸直大拇指，指向導体運動的方向，於是其餘伸出的四指即表示導体内電勢的方向(圖 2, a)。

必須指出，如果磁場在動而導体不動，那麼要決定電勢的方向，也可應用右手定則。在此情況下，右手的手掌仍舊朝着北極，且看成磁極是不動的，而將大拇指向着與磁場運動相反的方向(圖 2, b)；於是伸直的右手四指是指着電勢的方向。

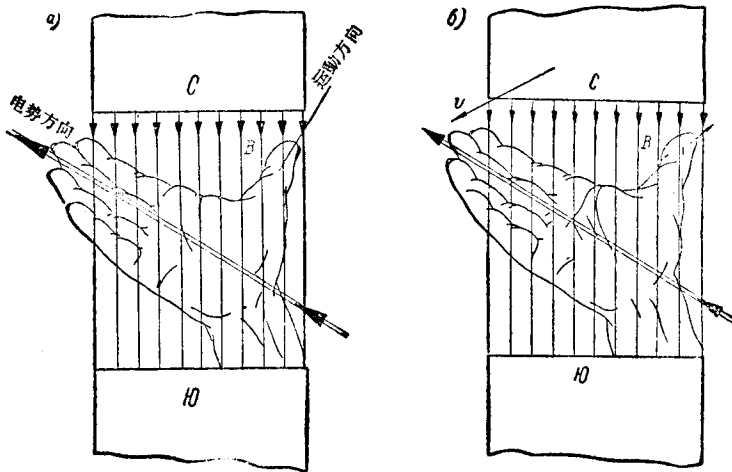


圖 2. 右手定則。

當用記號⊕表示電勢時，習慣上是假定電勢的方向是從讀者進入圖面的。

相反地，用記號⊙表示的電勢的方向是出自圖面指向讀者的。

在許多情況下，以應用電磁感應定律的公式較為便利。根據該公

式，在电路内所感生的电势时时刻刻皆正比於透穿该电路的磁通的变更率，即

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}. \quad (2)$$

式中 $d\Phi$ 指在时间 dt 内磁通的变更量。负号表示，受此感应电势影响而在电路内流动的电流，企图阻挠透穿该电路的磁通变更。如果透穿电路的磁通是在减少，则电流的方向是要使由它所建立的磁通能够增加透穿该电路的磁通。要决定磁通的方向，可应用大家熟悉的右旋锥定则。该定则有如下述：如果旋锥是顺着导体内电流的方向锥进，则该旋锥旋转的方向即表示由该电流所建立的磁通的方向。

如果将运动於磁场内的导体与任何一外电阻接成通路，则在該电路内产生电流。由於这个电流与磁场相互作用的結果，發生电磁力 f_0 。这个电磁力将反抗导体的运动。

圖 3 表示在載有电流的电路，作用力 f_1 与反作用力 f_0 的作用情形。

要决定电磁力 f_0 的数值，可应用載有电流的导体对磁场的相互作用定律。

§ 3. 載有电流的导体对磁场的相互作用定律

如果載有电流的导体位於磁场内，則根据載有电流的导体对磁场的相互作用定律，在导体上作用有电磁力 f_0 。

如果导体是在与磁力线成垂直的平面内，則电磁力可按式决定：

$$f_0 = Bli, \quad (3)$$

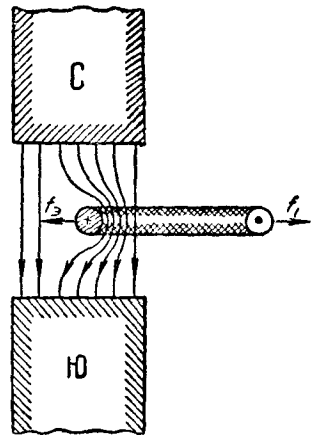


圖 3. 力，作用於載有电流的迴路上。

式中 f 指电磁力；

B 指磁感应，以高斯計；

i 指导体内的电流，以安培計；

l 指导体的有效长度，以公分計。

要 f 用公斤的單位表示，在式(3)必須添進因次係數 $k = \frac{10^{-6}}{9.81}$ 。

圖 4 表示位於磁場內的導體，在其內部有直流电流通过，方向自讀者進入圖面。

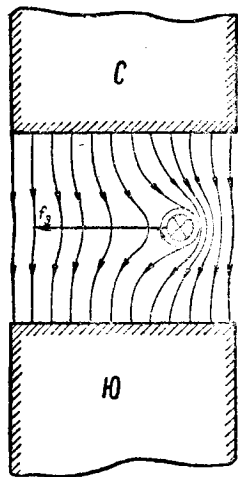


圖 4. 載有电流导体所受的电磁力。

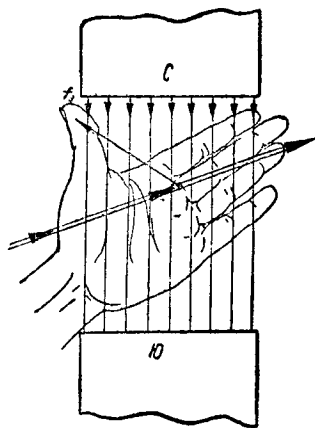


圖 5. 左手定則。

要決定电磁力的方向，可利用左手定則。根據該定則，將左手的手掌朝着北極，使得伸直的四指表示導體內电流的方向，那麼伸直的大拇指即表示电磁力的方向(圖 5)。如果導體是可以活動的，而磁極是固定的；則在這樣的力的作用下，導體將發生運動。如果導體是固定的，而磁極是活動的，則磁極將逆着原先導體的運動方向而運動。上述的現象稱為电磁轉動。

1833 年我們的同胞科學院院士楞次(Э. X. Ленц)教授指出了电磁感應現象与电磁轉動現象間的密切關係。在他以前，這兩種現象是被