

高等学校教学用书

电工学理论基础

第一册

J. P. 聶孟著
И. Л. 卡蘭塔羅夫

高等教育出版社

高等学校教学用书



电工学底理論基礎

第一冊

电工学底物理基礎及直流电路理論

J. P. 聶 孟 著
И. И. 卡蘭塔羅夫
鍾 兆 琬 譯

高等教育出版社

本書原来是根据苏联国立动力出版社(Государственное энергетическое издательство) 1951 年出版的卡蘭塔罗夫(П. Л. Калантаров)和森孟(Л. Р. Нейман)合著的“电工学底理論基础”(Теоретические основы электротехники)第三版譯出的,現在又由原譯者根据原書 1954 年新版加以修訂。原書經苏联高等教育部批准为动力工程学院、电机工程学院以及动力工程系和电机工程系用的教科書。

全書分三册出版。第一册为“电工学底物理基础及直流电路理論”,除“直線律直流电路底計算”一章系卡蘭塔罗夫所写者外,其余各章均系森孟所写。第二册为“交流电路理論”,原系卡蘭塔罗夫所写,因卡蘭塔罗夫已逝世,新版由森孟加以部分改写和补充。第三册为“电磁場理論”,系森孟所写。

原書 1951 年版底中譯本是龍門联合書局出版的,新譯本改由本社出版。

电 工 学 底 理 論 基 础

第一册

Л. Р. 森孟 П. Л. 卡蘭塔罗夫著

鍾兆璜譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內草廠寺 7 号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第 054 号)

京华印書局印刷 新华書店發行

統一書号 15010·245 開本 50×116 1/32 印張 9 5/16 字數 339,000 印數 16,001—18,500

1955 年 8 月第 1 版 1958 年 5 月北京第 6 次印刷 定價 (10) ¥ 1.40

譯 者 的 話

“電工學底理論基礎”1951年版底中譯本問世後，譯者曾經收到各方讀者底許多寶貴意見。尤其是東北工學院電工原理教研組，他們曾於1954年春把譯本對照原文仔細校對了一遍，提出了修改譯文的具體意見。雖然由於某些原因，修訂後的舊版譯本沒有重印，未能與讀者見面，但東北工學院電工原理教研組同志們的意見對於改進這個新譯本的質量却有很大的幫助，譯者特在此表示由衷的謝意。

鍾 兆 琥

1955年5月於北京

原 序

“電工學底理論基礎”第四版問世，已經在著者中之一——曾經為我們祖國（指蘇聯，下同——譯者）培養大量的電工技術專家的事業貢獻了鉅大的勞績的帕威爾·拉查列維奇·卡蘭塔羅夫（Павел Лазаревич Калантаров）逝世之後了。

根據許多高等學校人士的願望，本書第四版又重新分成三冊出版^①，這對於使用本書的讀者會便利許多，因為在高等學校中“電工學底理論基礎”是分成幾個學期講授的。

在修訂此書的時候，我考慮到了讀者們對前一版所提的許多意見中的願望。這些意見一部分曾經發表在1953年的“電氣”雜誌上，一部分是直接寄給我們的。我也考慮到了1953年在“電氣”雜誌上進行過的關於理論電工學方面的學術名詞的討論。

在Л. Р. 聶孟所寫的第一冊——“電工學底物理基礎和直流電路理論”中，綜述基本原理和深入研究表徵電磁現象的相互關係的幾節是進一步充實了。這是第一冊底主要任務之一。在第一冊裏，以前由卡蘭塔羅夫所寫的說明直線律直流電路計算法的一章，在第四版中加入了一些補充材料，用具體示例來研究這些計算法。鑑於現代電氣工程中廣泛地利用非直線性元件底特殊性能，我在本書第一冊裏加入了新的一章來敘述非直線律直流電路底計算。

本書第二冊——“交流電路理論”原來是И. Л. 卡蘭塔羅夫所寫的。我按照發表過的意見並且考慮到電工技術中正在發展着的趨勢，對某幾部分作了修改。對各種現象的物理方面給予了更多的注意，這

① 按此書原文第一版和第二版均分三冊出版，第三版始合併成一冊——譯者。

主要是指第一章。符號法比舊版提前了，因為它對於學生底習題課是十分需要的。敘述非直線律交流電路的一章大大擴充了，其中增加了這種電路中的過渡歷程底計算法。對書中敘述的各種理論方法底實際應用作了更多的討論，同時對於所研究的一般理論底實用意義也給予了更大的重視。

本書第三冊——由 Л. Р. 聶孟寫的“電磁場理論”則改動得較少。第三冊中加入的一些修改，與前兩冊中所作的修改，其目的是相同的。

根據讀者們底意見，若干可以認為是非必要的小節在第四版中用了小號字排印。

我認為應當向本書第三版參加過討論並且發表了許多寶貴意見的各界人士表示感謝。我也要向書評者 А. Е. 卡普良斯基(А. Е. Каплинский)教授表示感謝，他曾經仔細檢閱新版手稿並提出了許多有益的建議。在校訂和準備手稿付印的工作中，И. А. 查伊采夫(И. А. Зайцев)和 В. Ф. 貝列德尼柯娃(В. Ф. Бередникова)曾經給了我很大的幫助，謹在此向他們致以深切的謝意。

Л. 聶 孟

目 錄

譯者的話	1
原序	v
緒論	1
第一章 電場強度・電壓和電動勢	
§ 1. 帶電荷的元質點及其電磁場——物質底特殊形態	13
§ 2. 電場及電場強度	15
§ 3. 高斯定理	20
§ 4. 電壓	27
§ 5. 靜電場電位	29
§ 6. 電動勢	33
第二章 電介體底極化與電位移・電容	
§ 7. 電介體底極化	38
§ 8. 電位移・馬克思威爾假設	44
§ 9. 孤獨體底電容和容電器	50
§ 10. 具有非直線律特性的容電器	55
第三章 電場底能量及其力學表現	
§ 11. 帶電體系統底能量	59
§ 12. 電場內能量底分佈	61
§ 13. 在交變電場中電介體內的能量損失	64
§ 14. 作用在帶電體上的力	68
第四章 電流	
§ 15. 電流與電流密度	77
§ 16. 導電媒質內的電流	78
§ 17. 徙動電流	81
• § 18. 電介質內的位移電流	82
§ 19. 電流底連續性原則	86
§ 20. 絕緣物質內和導電物質內位移電流與傳導電流間的關係	90

§ 21. 直流電路底若干定律	91
-----------------	----

第五章 直線律直流電路底計算

§ 22. 直線律和非直線律電路	100
§ 23. 受電器底串聯、並聯和混合聯接	101
§ 24. 電力沿兩線的傳輸	103
§ 25. 論複雜電路計算法	106
§ 26. 迴路電流法	109
§ 27. 疊加原則	112
§ 28. 互易原則	114
§ 29. 電動勢來源與電流來源底等效條件	115
§ 30. 等效發電機定理	117
§ 31. 三線星形聯接與三角形聯接之變換	120
§ 32. 節點電壓法	123

第六章 非直線律直流電路底計算

§ 33. 直流電路底非直線性元件	127
§ 34. 含有非直線性元件但無電動勢來源的電路各段的串聯、並聯和混合聯接	136
§ 35. 含有非直線性元件和電動勢來源的電路各段底串聯、並聯和混合聯接	138
§ 36. 具有一個非直線性元件的電路底計算	141
§ 37. 具有兩個非直線性元件的複雜電路底計算	144
§ 38. 具有三個非直線性元件的複雜電路底計算	148
§ 39. 具有四個或更多的非直線性元件的複雜電路底計算。逐步求近法	151
§ 40. 非直線律直流電路在與指定的運行情況略有差別時的特殊性能之 分析研究	152

第七章 磁通與電磁感應現象

§ 41. 磁場·磁感應強度	158
§ 42. 磁通	161
§ 43. 磁通連續性原則	163
§ 44. 電磁感應定律	165
§ 45. 磁通匝鏈數	170
§ 46. 自感電動勢與互感電動勢	172
§ 47. 根據電磁感應現象製造無變流子直流電機之不可能	173
§ 48. 電磁慣性·楞次原理	175
§ 49. 電動勢，電壓與電位差	177

第八章 磁場強度與全電流定律

§ 50. 磁場與電流底聯繫	183
----------------	-----

§ 51. 物質底磁化強度與磁場強度	187
§ 52. 全電流定律	191
§ 53. 帶電荷的運動質點底磁場與電流元	193
§ 54. 物質底磁性能	199

第九章 磁路計算

§ 55. 磁路・磁路定律	209
§ 56. 串聯磁路底計算	211
§ 57. 分支磁路底計算	213
§ 58. 論永久磁鐵底計算	216
§ 59. 論帶有永久磁鐵的磁路之計算	218
§ 60. 磁場強度沿不均匀磁路之分佈	220

第十章 電迴路底感應係數

§ 61. 電迴路底自感應係數	223
§ 62. 電迴路底互感應係數	228
§ 63. 電感間的耦合・等效電感	231
§ 64. 鐵芯線圈底非直線律特性	235

第十一章 磁場底能量及其力學表現

§ 65. 載電流迴路系統底能量	237
§ 66. 磁場裏的能量分佈	239
§ 67. 互易原則	241
§ 68. 電磁力	243
§ 69. 一個與兩個迴路載流時的電磁力	248
§ 70. 外磁場內作用於載流導體上的力・米特開維奇定理	254
§ 71. 電場中發生的力和磁場中發生的力之比較	257
§ 72. 作用於在電場和磁場內運動的帶電荷的質點上的力	259
§ 73. 帶電荷的元質點在電場裏和在磁場裏的運動	260
§ 74. 電現象和磁現象底統一	269

附錄	274
----	-----

俄文下角指標一覽表	277
-----------	-----

中、俄、英文對照索引	278
------------	-----

緒 論

這個時代乃是我國（指蘇聯，以下同——譯者）建設社會主義以及由社會主義逐漸過渡到共產主義的時代，其特徵就是祖國科學與技術底史無前例的昌盛。偉大的十月社會主義革命底勝利給我國國民經濟創造了實行普遍電氣化的條件。關於國民經濟電氣化對建設共產主義社會所有的異常重大的意義可以引用列寧底有名的公式為證：“共產主義——這就是蘇維埃政權加上全國電氣化”（列寧全集，俄文版，第31卷，第484頁）。

烏·伊·列寧關於全國電氣化的理想還在他在世時就開始實現。在1920年根據列寧底指示在我國成立了一個俄羅斯全國電氣化委員會（ГОЭЛПО）。由於蘇聯人民在共產黨及以列寧事業底偉大繼承者約·維·斯大林為首的黨底中央委員會領導下發揮了主動創造性和高度勞動熱情，ГОЭЛПО底初次計劃超額完成了很多。

國民經濟底技術基礎——其中包括電力基礎——底湧躍上昇促進了我國電氣工程各部門（電機製造，電力傳輸，工業、運輸和農業底電氣化，電氣自動控制和電氣通訊，電器製造，電化冶煉和電氣在日常生活底應用）得到空前未有的迅速發展。

電氣工程底這樣史無前例的發展是與蘇聯電氣科學底發展，與各種實用電工學課程底發展分不開的。我們全國不僅佈滿了第一流的電工器材廠和發電站，並且遍地設立着電氣工程底科學研究所與電氣工

程高等學校和電氣工程系。

在蘇聯共產黨第十九次代表大會底決議中規定了國民經濟——其中也包括了全國底電力工業——底進一步的強大發展，保證蘇聯人民底物質與文化生活底迅速提高。

要完成所提出的鉅大的國民經濟任務，就需要發展科學和技術領域中的新的方向，這種發展是與在所有知識領域中深刻研究理論問題的需要密切相關的。關於這一點，在蘇聯共產黨第十九次代表大會底決議中在談到擴大科學研究的任務和培養專家的任務時，已有明確的指示。從高等學校畢業出來的電機工程師，爲了能够科學地解決擺在我們國家面前的鉅大任務，必須掌握廣寬的理論知識，並且懂得如何把它們應用到實際工作中去。

蘇維埃科學底成就乃是蘇聯共產黨對科學發展特別關心的結果。黨用強大有力的求知方法——馬克思和列寧底辯證唯物主義底方法——來武裝蘇聯科學工作者。只有這種滲透了批評精神和革命精神的方法，這種以理論與實踐底密切結合爲其基礎之一的方法，才能成爲發展先進科學的主導力量。

掌握了這一方法並且拿爲人民服務的崇高理想爲指導的蘇聯科學家和工程師，正以自己底創造性勞動來推動蘇維埃科學和技術繼續進步，從而在迅速提高蘇聯人民底物質與文化生活水準的全民事業中貢獻了自己的力量。

在俄國，電氣方面的最初研究工作應當歸功於俄羅斯科學家，科學院院士米·華·羅蒙諾索夫(М. В. Ломоносов)。

在科學底許多部門都創造了很多輝煌勞績的羅蒙諾索夫，在電氣研究方面亦做了很多工作。羅蒙諾索夫特別注意大氣中電氣底研究。在這一方面的研究他是和他底朋友科學院院士李赫孟(Г. В. Рихман)合作做的，李赫孟在某一次試驗時被閃電擊斃。1753年11月26日羅

蒙諾索夫在科學院把自己底觀察和理論方面底結論作了一個“關於由電氣底力量所造成的天空現象之報告”。根據羅蒙諾索夫底理論，大氣中的電氣是由於空氣中的微小物體，在氣流上升和下降時被帶走，因此互相摩擦而產生的。在自己的著作中，羅蒙諾索夫最先發表了關於北極光底電氣本質的意見。

在自己底理論推索中，羅蒙諾索夫提出了遠超過他所處時代的原理，並且把問題提得非常深刻。舉例說，根據他底建議，科學院提出了“試尋出電氣力量底真正原因並且爲它建立一個準確的理論”這個題目作爲獲得 1755 年獎金的競賽論文題。

與此同時，羅蒙諾索夫總是努力替科學發見尋找實際應用的方法。他在自己底著作中指出了用避雷針防止人和房屋被閃電擊斃、擊毀的可能性。在這一方面，羅蒙諾索夫在他對於物理學的補充內所說的話特別值得注意，他在這些補充內說出了這樣的意思：在關於電氣的各種實驗中一定有“顯示出對於人類幸福有偉大的希望”的實驗。我們親眼看見羅蒙諾索夫預言中的希望怎樣在蘇聯和其他已經走上社會主義道路的國家內逐漸實現。

羅蒙諾索夫在自己底著作中發展了宇宙可認識論和宇宙由物質構成的學說，特別是電氣由物質構成的學說，並且堅強地捍衛了這一個學說。用唯物的見解解決基本的科學問題是羅蒙諾索夫在科學各部門的工作特點，這種看問題的方法成了後來先進的俄羅斯科學家和發明家們底最優良的傳統，這個傳統是他們在科學和技術方面驚人成就底源泉。

院士愛皮努斯 (Ф. Эпинус) 是羅蒙諾索夫底同時代人。他首先發見熱電現象和靜電感應現象。特別值得提出的是 1758 年愛皮努斯在科學院所作“論電與磁底同一屬性”的報告。

現在我們已經知道，在電的現象和磁的現象之間存在着不可分割的聯繫，而這一個原理是關於電磁現象的整個近代學說的基礎。不過

這種信念是科學思想經過了很長久的經驗積累才達到的，而在很長的一個時期內，人們把電的現象和磁的現象看成為各不相關的獨立的現象。第一部有關磁和電的現象的詳細著作是吉爾柏(Gilbert)寫的，它在1600年出版。不過吉爾柏在這一著作中並沒有得出正確的結論，他說磁和電的現象之間沒有聯繫。

電荷間存在的力底互相作用和磁極間存在的力底互相作用完全相似的這一事實，當然會使人們對這些現象作出相同的解釋。那時候出現了正磁質和負磁質的一種觀念，以為它們是分佈在磁鐵兩端的一種特殊的物理主動力，並且是磁作用底原因。不過我們現在已經知道，類似這樣的假設是和磁現象底本質不符的。這一個假設在科學發展底歷史上是仿照陽電和陰電底觀念而產生的，這種觀念符合電現象底物理本質。根據現代的觀念，任何數量的電是處在不斷運動狀態中的帶電荷的單元正質點和負質點——質子，電子等等——底總和。

1785年庫倫(Coulomb)首先發表了表示帶電體間力底相互作用和磁鐵底磁極間力底相互作用底量的關係。不過庫倫在那時候已經注意到磁質和電荷之間存在着本質上的分別。這種分別是從下面所講的簡單經驗中得出的結論。我們毫不費力地可以把陽電和陰電隔離開來，但是我們在任何條件之下永遠不能夠把正磁質和負磁質分離開來。關於這一現象庫倫提出了這樣一個假設：磁鐵體積內的個別微小單元在磁鐵被磁化時變成了一個個的微小的磁鐵，而只有在這樣的體積單元內正磁質才指向一個方向而負磁質指向相反的方向。

但是，假設在單元的磁鐵內部正磁質和負磁質真能夠獨立地存在的話，那麼，我們還是能夠希望在某一種實驗內用某一些對於單元磁鐵的直接作用把負磁質和正磁質分離開來，就像我們能夠對於總電荷等於零的物質分子用某一種作用把它分成帶陰(負)電荷和帶陽(正)電荷的質點，就是分成所謂離子那樣。但是，即使在最初級的過程中人們也從來沒有發現過正磁質和負磁質各別存在。

磁鐵現象底真實本質底揭示是上一個世紀初葉底事情。這一個時期內的許多輝煌的發見確定了電現象和磁現象之間的密切聯繫。

1819年奧斯特(Oersted)在進行實驗中發見了電流對於磁針的機械力的作用。1820年安培(Ampère)證實了通有電流的螺線管具有和磁鐵相同的作用，因此他說出了這樣的思想：即使以永久磁鐵而論，產生磁作用現象的真正原因也是電流，這些電流是在磁鐵內部沿着某些單元輪廓流動的。這種思想在現代的學說中找到了明確的表達方法：根據近代的觀念，永久磁鐵底磁場是由存在於磁鐵物質內部的單元電流所引起的，而這些單元電流却是電子自轉並且同時在原子內遵循一定軌道繞行所產生的結果。

這樣一來，我們得到一個信念：磁質在實際上並不存在。

以上所敘述的一切研究都證實了一個最重要的原理：電底運動永遠是伴隨着磁的現象的。這一個原理就證明了，磁現象並不是像吉爾柏所假設那樣的和電現象毫不相關的。

1831年法拉第(Faraday)報導了電磁感應底發見。他發覺，當一個線圈對磁鐵移動時，或者當它對另一個通電流的線圈移動時，在第一個線圈內就發生了電流。這樣就證明了一個事實：電的現象也可以由於某一些屬於磁現象底領域的動作產生。

1833年俄國科學院院士楞茨(Э. Х. Ленц)創立了一個確定奧斯特和法拉第所發見的現象底共同性與可逆性的非常重要的原理。在這一原理中奠定了電機可逆性底重要法則。楞茨建立了確定感應電流底方向的規則，這規則表示出動電學底基本原理——電磁慣性底原理。

關於所有這一切發見，我們必須特別指出法拉第在他底研究工作中所一貫遵循的，並且在最近年代內在科學院院士米特開維奇(В. Ф. Миткевич)底著作內得到了更大發展的基本思想，這就是關於空間中帶電體之間的作用和通電流的線圈之間的作用之物理真實性的思想。根據這些觀念，帶電體之間的互相作用以及載流線圈之間的互相作用

是通過包圍它們的電磁場而實現的，後者乃是物質底一種特殊形態。

創立嚴密的電磁理論的功績屬於馬克斯威爾(J. C. Maxwell)，他把這一個理論歸納在1873年初次出版的他底經典著作“論電與磁”(Treatise on Electricity and Magnetism)的一書內。在這一部巨著中馬克斯威爾用數學方式闡明問題並且更深入和更寬廣地討論了法拉第底基本物理觀念。

前進的俄國物理學家協助了法拉第和馬克斯威爾廣泛傳佈電磁場內發生的物理過程底真實性這種觀念。彼得堡大學教授包格曼(И. И. Борнман)和當時的許多其他科學家在大學講座上和¹在俄國物理與化學協會底物理部和俄國技術協會底電工部所組織成的集會上都作了演講和報告。在擁護電與磁的現象底唯物觀點的鬥爭中，科學院院士米特開維奇底功績特別大。他在他底許多卓越的著作中用最明晰的論據揭露了所謂超距作用觀點底唯心本質。依照超距作用底觀點看來，在互相作用的帶電體之間不會有任何物質過程。這一個觀點把帶電體間的互相作用這樣解釋：任何單元的帶電質點都有它本身內在的超越距離對其他帶電質點發生作用的本領。超距作用觀點底根基是這樣的：當一個受試帶電體被帶進圍繞着某帶電體的空間的時候，作用在受試帶電體上的機械力只有在受試帶電體被帶進這樣的空間時才能發現。因此，死守這種觀點的人們作出一個不正確的結論，以為談論圍繞帶電體的空間內所發生的物理過程是毫無意義的。類似的看法必然要否認帶電質點本身底物理真實性，因為就拿帶電質點來講，我們也只有²在我們底各感覺器官這樣或那樣地接到了它底作用之後，才能證實它的存在。這種觀點發展下去，必然走向否認獨立於我們底經驗和認識之外而客觀存在的物質世界，也就是說，走上唯心論底道路。

按照辯證唯物論底基本原則來說，我們周圍的世界是獨立於我們底經驗和認識之外而客觀存在的，因此我們應該把帶電質點以及它們周圍的電磁場也看成為客觀存在的物理現實，是物質運動底特殊形態。

赫茲(H. Hertz)在1887—1889年間試驗成功的電磁波之產生及其傳播的工作,列貝捷夫(П. Н. Лебедев)在1895年試驗成功的超短電磁波底發生和傳播的工作,他在1900—1910年間用實驗證明光底壓力的經典式工作,波波夫(А. С. Попов)在1895年發明的具有世界意義的無線電輻射和他所實現的無線電通訊,以及無線電工程所有的理論和應用底繼續發展,都用實驗證明並且發展了馬克斯威爾底電磁場學說。

所有上面所講的發見使人們認識到電現象和磁現象之間的深切聯繫。實際上,我們所接觸的都是複雜的電磁現象。

最近時期底特色是對物質底構造一天比一天有更深刻的研究。出現了把物質看成為電磁構造的觀念。照最簡單的模型看來,物質底原子含有一個帶陽電的核心和一些圍繞着核心旋轉的帶陰電的電子。原子核底放射性蛻變之發見更說明了原子核本身也是一種複雜的結構,它能够再變換。陽電子(positron)底發見實在是一件可注意的事,它所帶的陽電荷和電子所帶的陰電荷同樣大小,它底質量也和電子底質量同樣大小。當陽電子發生的時候,光子(photon)變換成兩個帶電荷的元質點——陽電子和電子。

所有這一切和許多別的重要發見之所以特別寶貴,是因為它們徹頭徹尾地打破了把原子看作物質底固定不動和不變的元素的那種觀念。物質是經常在運動的,在發展的。物質運動底每一種形態都能够變成具有新的特殊性質的另一種形態。

這些進步的思想使我們在最近的年代中獲得了燦爛的科學成就,開闢了使原子核變換底過程完全服從人類意志的途徑,在這種原子核變換底過程中往往放出鉅大的能量,這就創造了利用自然界底動力的新而廣闊的可能。

資本主義國家內的侵略集團爲了達到自己底帝國主義目的,企圖利用原子能作為毀滅人類勞動所創造的物質珍寶的工具,作為大量屠殺人民的手段。

蘇聯所負的任務是要禁止原子能當作破壞手段來使用，並且要保證它被利用在和平的創造性的目的上。

以上所敘述的關於電工技術底科學基礎底發展是密切地聯繫了實際問題底解決而進行的。在電氣底實際應用方面，多數俄國物理學家和電機工程師也有過特別大的功績。

俄國是電氣照明底出生地。在 1802 年，卓越的俄國物理學家彼得羅夫 (В. В. Петров) 發見了電弧現象。他注意到他所發見的現象可以用作照明。他在自己著作的書中指示出，靠着電弧底幫助“黑暗的地方可以照得足夠明亮”。彼得羅夫也奠定了電弧在冶金術上應用底基礎。在這個世紀底初期 (1902—1905 年) 米特開維奇研究了並且解釋了電弧底本質。雅勃洛契可夫 (П. Н. Яблочков) 佔有了第一次廣泛地實際應用電弧作為照明的光榮。他在 1876 年發明了他底有名的電燭並且加以實際應用。利用電弧銲接金屬首次在白拿爾篤斯 (Н. Н. Бенардос—1885 年) 和斯拉維揚諾夫 (Н. Г. Славянов) 底發明中實現了。在俄國，洛迪琴 (А. Н. Лодыгин) 第一次在 1873 年創造了白熾電燈並且加以實際應用。

創造第一台適合於實際應用的電動機 (1834 年) 的功績屬於俄國科學院院士雅可比 (В. С. Якоби)，他在 1838 年用電動機推動了一隻小船在涅瓦河上 (在列寧格勒——譯者) 航行。

雅可比發明了電鑄術 (1836 年)，把電流底化學作用應用到實際工作中去。

電磁遠程通信 (指電報——譯者) 是由我們底同胞希陵 (П. Л. Шиллинг) 發明而首先實現的 (1832 年)，並且由雅可比加以改良。

對於電工技術底發展具有特殊意義的是著名的俄國物理學家斯托列托夫 (А. Г. Столетов) 所完成的關於鐵底磁性能的研究。在自己在 1871 年所作的“關於軟鐵底磁化作用的研究”這一個報告裏，斯托列托夫第一個確定了鐵底磁化係數跟它底磁化程度的關係，並且發現了在