

高等學校教學用書

電 路 學

上 冊

蘇聯 姆·阿·畢列卡林著

燃 料 工 業 出 版 社

高等學校教學用書

電 路 學

上 冊

蘇聯 姆·阿·畢列卡林著

左 宗 樸譯

燃 料 工 業 出 版 社

高等學校教學用書

電 路 學

下 冊

蘇聯 姆·阿·畢列卡林著

左 宗 樸譯

燃 料 工 業 出 版 社

內 容 提 要

本書所敘述的是：直流電路和交流電路的理論基礎，磁路的計算原理，以及電機、變壓器的構造原理和運用原理。書中討論了集中參數電路和均勻分佈參數電路的穩定情況和未穩定情況。

本書適用於通曉工業學院的數學大綱中所規定的高等數學和物理課程，並想學習電機工程方面的任何一個專業的讀者。

本書並可供工業學院電機系學生和廠礦電機工程人員參考之用。

М. А. ПЕРЕКАЛИН

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

根據蘇聯國立動力出版社1950年莫斯科版翻譯

書號 479 電 208

電 路 學

上 冊

左 宗 漢 譯

*

燃料工業出版社出版 (北京府右街26號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第012號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

*

編輯：陳惟清 李勉 校對 戴佩瑛

850×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 8 1/2 印張 * 200 千字 * 印 2,601—4,650 冊

一九五五年七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 (8) 一元三角

內 容 提 要

本書所敘述的是：直流電路和交流電路的理論基礎，磁路的計算原理，以及電機、變壓器的構造原理和運用原理。書中討論了集中參數電路和均勻分佈參數電路的穩定情況和未穩定情況。

本書適用於通曉工業學院的教學大綱中所規定的高等數學和物理課程，並想學習電機工程方面的任何一個專業的讀者。

本書並可供工業學院電機系學生和廠礦電機工程人員之用。

電 路 學

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

下 册

根據蘇聯國立動力出版社(ГОСЭНЕРГОИЗДАТ)
1950年莫斯科俄文第一版翻譯

蘇聯 M. A. ПЕРЕКАЛИН 著

左 宗 樸 譯

燃料工業出版社出版 (北京府右街26號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第112號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：廖美壁 校對：戴佩瑛

書號 590 電 253

850×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 9 $\frac{3}{8}$ 印張 * 225千字 * 定價(8)一元四角四分

一九五五年十一月北京第一版第一次印刷(1— $\frac{1}{5}$, 100冊)

謹將此書獻給摯愛的青年技術工作者

原 序

本書是爲了那些想要學習電工專業，並且業已具備學習這一專業所必須的物理和高等數學知識的讀者而寫的。然而它並不是教科書，因爲它沒有嚴格地遵照教學大綱。作者並希望那些想要提高本身技術水平的技術員以及那些想要複習一下電工學課程的工程師——這是常有的——也能够使用本書。

可惜的是，由於力求縮減本書的篇幅，以致有許多原已列入本書大綱初稿中的問題都無法包括進去。這些問題是：振盪的放大、電子管發振器、弛張振盪、示波器、濾波器、分佈參數電路的近似方程及等值電路、自耦變壓器以及其他等等。

電路理論的學習通常是電工專業學習的開始，如果能使這一理論的學習儘早地聯系到它的實際應用，學習的效果就可以大大的提高。這就是本書的大綱中爲什麼包括了一些關於直流電機、交流電機和變壓器的知識的理由。

電工學起源於俄國，並且這一領域中的多數主要的發現和發明也都是我國的物理學家和工程師所完成的。一個蘇聯工程師不僅應該知道這些同胞的名字，同時還應該知道他們是在何時及何地生活和工作的。因此在討論那些由我國學者和發明家所創造的各種電氣應用的各章節中，書中都附有這些人士的略傳。

作者衷心地感激列寧格勒工業學院的巴·拉·卡蘭達羅夫和勒·羅·聶孟兩位教授，他們閱讀了本書的原稿並提出了許多寶貴的意見。作者還要向莫斯科動力學院的學生維克多·納巴托夫致謝，他出色地完成了本書原稿付印的準備工作。

姆·畢列卡林 謹識

目 錄

原 序	
緒 論	1
第 一 章 電路的元件及其參數	8
1-1. 電路及其元件	8
1-2. 電阻和電導	10
1-3. 二線輸電線的電容	15
1-4. 一組平行導線的電位係數和部分電容	18
1-5. 二線輸電線的電感	22
1-6. 兩組平行輸電線的互感	24
第 二 章 直流電路	26
2-1. 沿電路的電位分佈	23
2-2. 電動勢在電源及負載中的作用	27
2-3. 克希荷夫定律	29
2-4. 電源和負載的串聯	32
2-5. 導線中的電壓損失	34
2-6. 導線的發熱計算	37
2-7. 電源和負載的並聯與混聯	38
2-8. 具有漏電流的導線中的電壓損失	41
第 三 章 分支電路中電流的計算	45
3-1. 應用克希荷夫定律計算分支電路中的電流	45
3-2. 網目法	48
3-3. 疊加法	51
3-4. 互易原理	52
3-5. 等效發電機法	54
3-6. 節點電壓法	56
3-7. 節點電位法	57
3-8. 星形變換成三角形	60
3-9. 三角形變換成星形	63

第四章 非線性直流電路	65
4-1. 非線性的電路元件	65
4-2. 電子管的特性	66
4-3. 具有非線性元件的電路情況的圖解計算	67
4-4. 具有非線性元件的電路情況的解析計算	69
第五章 磁路	70
5-1. 非鐵磁媒質中磁場的全電流定律	70
5-2. 磁化強度	73
5-3. 任何媒質中磁場的全電流定律	74
5-4. 鐵磁材料的磁性	77
5-5. 磁路定律	80
5-6. 磁阻	83
5-7. 分支磁路的計算	84
5-8. 永久磁鐵	88
第六章 直流電機	92
6-1. 電磁感應定律	92
6-2. 電流與磁場之間的相互作用力	95
6-3. 直流電機的構造	93
6-4. 零載特性曲線	101
6-5. 他激發電機的外特性曲線	101
6-6. 自激方式	102
6-7. 並激發電機	103
6-8. 並激電動機	105
6-9. 串激電動機	103
第七章 最簡單電路中的未穩定過程	111
7-1. 未穩定過程	111
7-2. 電容器通過無感電阻的放電	112
7-3. 由直流電源向電容器充電	114
7-4. 電路的有感區段的短接	116
7-5. 具有電阻和電感的電路接通到直流電壓之下	113
第八章 電振盪	119
8-1. 振盪迴路	119
8-2. 振盪迴路的方程式	121

8-3.	電容器的非週期放電	122
8-4.	極限情形的非週期放電	125
8-5.	電容器的振盪放電	127
8-6.	非衰減振盪	131
第九章	交流發電機	133
9-1.	交變電流	133
9-2.	發電機的構造	134
9-3.	水輪發電機和汽輪發電機	136
9-4.	電壓的調節	137
9-5.	電勢、電壓和電流的平均值	138
9-6.	電勢、電壓和電流的有效值	139
第十章	交流電路中的電感和電容	142
10-1.	正弦電勢的獲得	142
10-2.	正弦量的相加	144
10-3.	向量圖	145
10-4.	無抗電路中的交變電流	149
10-5.	具有電感的電路中的交變電流	149
10-6.	電阻和感抗的串聯	153
10-7.	具有電容的電路中的交變電流	154
10-8.	電阻、電感和電容的串聯	157
10-9.	電壓共振	159
10-10.	交變電流的瞬時功率和平均功率	162
10-11.	無功功率和視在功率	164
10-12.	最簡單的圓圖	168
第十一章	有分支的交流電路	170
11-1.	電導、電納和導納	170
11-2.	負載的並聯	172
11-3.	電流共振	174
11-4.	相角差的補償	176
11-5.	符號法	179
11-6.	簡諧振盪的複數表示法	180
11-7.	歐姆定律的符號形式	181
11-8.	克希荷夫定律的符號形式	184

11-9. 位形圖	187
11-10. 由電壓和電流的複數計算功率	190
11-11. 發電機的並聯運行	191
11-12. 激磁改變時的同步電動機	194
第十二章 交流電路中的互感	195
12-1. 電感耦合電路的基本方程式	195
12-2. 負載相串聯時的互感	197
12-3. 負載相並聯時的互感	199
12-4. 有互感存在的分支電路中的電流計算	200
12-5. 零載時的變壓器	201
12-6. 有負載時的變壓器	204
第十三章 無源四端網絡的理論	207
13-1. 無源四端網絡的方程式	207
13-2. 零載和短路	210
13-3. 常數的決定	211
13-4. 波阻抗	214
13-5. 衰減和相角	216
13-6. 對稱四端網絡的參數	218
13-7. 對稱四端網絡的方程式	221
13-8. 用作圖法決定 $ch\Gamma$ 和 $sh\Gamma$	222
13-9. 圓圖的符號方程式	223
13-10. 四端網絡的圓圖	225
13-11. 由圓圖決定輸出端的電流	228
13-12. 由圓圖決定輸出端的電壓	230
13-13. 由圓圖決定負載的阻抗	231
13-14. 由圓圖決定輸入端和輸出端的功率	232
13-15. 反演原理和它的應用於圓圖的作圖	235

目 錄

第十四章	多相電路	239
14-1.	多相電路与多相制	239
14-2.	星形联接	241
14-3.	多角形联接	244
14-4.	三相制	245
14-5.	電源的三角形联接	249
14-6.	三相制的功率	252
14-7.	三相電路中有功功率的測量	253
14-8.	对称三相負載的無功功率的測量	257
14-9.	不对称三相負載的中性點位移	258
14-10.	在給定的綫電压三角形中決定中性點的位置	262
14-11.	三角形联接的不对称負載	264
14-12.	接有數組負載的情形	266
14-13.	三相電路中的互感	268
14-14.	三相輸電綫的各相的自感和互感	271
14-15.	在对称負載之下的三相輸電綫的電压損失	274
14-16.	不对称三相制的对称分量	277
14-17.	將一組綫電压分解成对称分量的圖解法	281
14-18.	用对称分量法決定对称電路中的電流	284
14-19.	用对称分量法決定不对称靜止電路中的電流	285
14-20.	含有对称部分和不对称部分的電路中的電流計算	289
第十五章	三相電動机	293
15-1.	分佈繞組的磁場	293
15-2.	將交變磁場分解為兩個旋轉磁場	299
15-3.	三相圓形旋轉磁場	301
15-4.	同步電動机	304
15-5.	異步電動机	305
15-6.	「電軸」	307
15-7.	橢圓磁場	308
第十六章	具有分佈參數的電路	312
16-1.	二綫輸電綫和三相輸電綫的分佈參數	312
16-2.	穩定情況的微分方程及其解	317

16-3.	根據給定的負載情況來計算輸電綫的情況	321
16-4.	傳輸綫的入端阻抗	323
16-5.	正行波和逆行波	324
16-6.	匹配負載	328
16-7.	無畸變的傳輸綫	330
第十七章	非正弦交變電流	333
17-1.	非正弦電流的發生	333
17-2.	根據給定的電壓曲綫來作出綫性電路中的電流的曲綫	335
17-3.	電感和電容對於電流曲綫形狀的影響	338
17-4.	在非正弦電壓之下的共振	339
17-5.	非正弦電流和電壓的有效值	342
17-6.	非正弦電流和電壓的平均值	343
17-7.	非正弦電流的有功功率	349
17-8.	非正弦電流的視在功率和無功功率	351
17-9.	磁通和電動勢	353
17-10.	三相電路的高次諧波	358
第十八章	交流電路中的鋼心綫圈	332
18-1.	非綫性的交流電路	362
18-2.	磁化電流的曲綫	363
18-3.	磁化電流的解析計算	367
18-4.	磁滯對於磁化電流曲綫的影響	370
18-5.	渦流及其對磁化電流曲綫的影響	373
18-6.	鋼心損失與頻率的關係	377
18-7.	電阻對於磁化電流的影響	379
18-8.	電抗綫圈的等值電路圖	380
18-9.	頻率的變換	382
18-10.	增磁電抗綫圈	384
18-11.	電流鉄磁共振	386
18-12.	電壓鉄磁共振	391
第十九章	最簡單的整流電路	399
19-1.	整流器的運用於純電阻負載	399
19-2.	整流器的運用於電容性負載	401
19-3.	整流器的運用於電感性負載	404
第二十章	具有集中參數的電路中的未穩定過程	408
20-1.	未穩定過程在各種電氣設備中的作用	408
20-2.	具有電阻和電感的電路接通到正弦電壓之下	409
20-3.	無載變壓器的接通到正弦電壓之下	416

20-4.	具有電阻和電容的电路接通到正弦電压之下	419
20-5.	具有數個正弦電压電源的較爲複雜的電路中的未穩定过程	424
20-6.	自由電流的初始數值的決定	430
20-7.	振盪迴路的接通到正弦電压之下	433
20-8.	振盪迴路的振盪性的自由情况	437
20-9.	傅立葉積分	439
20-10.	利用傅立葉積分計算未穩定電流	443
20-11.	函數的像函數	445
20-12.	利用像函數計算未穩定電流	450
20-13.	分項公式	453
20-14.	用於直流電压的分項公式	455
20-15.	用於正弦電压的分項公式	456
20-16.	根據分項公式決定分支電路中的電流和電压	458
20-17.	電路的接通到依任意規律而變化的電压之下	453
20-18.	將新的支路接入電路中	464
20-19.	將電路中的一個支路開斷	435
20-20.	具有互感的電路中的未穩定过程	469
第二十一章 具有分佈參數的電路中的未穩定过程		473
21-1.	無損失的輸電綫中的正行波和逆行波	473
21-2.	無畸變的輸電綫中的正行波和逆行波	479
21-3.	波的歐姆定律	482
21-4.	波的反射	485
21-5.	波从電纜过渡到架空輸電綫的情形	488
21-6.	兩組輸電綫的接头上接有電阻的情形	490
21-7.	兩組輸電綫的接头上接有電感的情形	491
21-8.	兩組輸電綫的接头上接有電容的情形	495
21-9.	具有數個接头的輸電綫	498
21-10.	脈衝沿輸電綫的傳播	499
21-11.	波从輸電綫終端的反射	500
21-12.	無載輸電綫的接通到直流電压之下	502

緒 論

現代的電工學是一個極其廣大而且具有多種多樣內容的科學部門。它包括許多分別的科學領域，其中的每一領域都可以作工程師的一種專門化的主題。本書以絕大部分篇幅所討論的電路理論，也和電磁場理論一樣，乃是所有這些科學領域的主要理論基礎。

電工學是在物理學的基礎上成長起來的一門研究電和磁的現象的實際應用的科學。並且這兩門知識在發展過程中有着極其密切的聯系，以致對於許多發現來說，很難馬上說出它們是屬於物理學的領域之內還是屬於電工學的領域之內。因此，要回答「電工學是何時發生的並如何發生的」這一問題，也不是那樣容易的。

事實上，關於閃電的研究在今天是屬於電工學的一個部門——高壓工程的，而有關大氣電的第一個重要理論則還在十八世紀中葉就已由我們偉大的同胞米·華·羅蒙諾索夫所創立。然而，他的工作無疑還是屬於物理學的領域之內而不是屬於電工學的領域之內的。

對於我們來說，最合理的是把這樣的發現當作是電工學的開始：這種發現在它剛被作出的形式之下就已直接得到了實際的應用，並且發現者本人也已經指出了這種應用的可能性。從這種觀點出發，就應該把俄國學者、彼得堡醫學院的物理學教授華西里·弗拉基米羅維奇·彼得羅夫^①當作是全世界電工學的創始人。他在1802年「利用一個極其巨大的電池組——這種電池組有時是由4200個銅片和鋅片所組成的，並且現在還存放於聖彼得堡

① 華·弗·彼得羅夫在1761年生於庫爾斯克省的鄂伯陽城。當他在彼得堡師範學院尚未畢業之前，就於1788年被任為巴爾納烏爾城（屬阿爾泰區）的工礦學校的物理數學教員。1791年他轉入彼得堡陸軍總醫院附設的醫科學校擔任同一教職；1795年這所學校改為醫學院，而華·弗·彼得羅夫就成為該院的教授。1809年他被選為科學院院士。華·弗·彼得羅夫逝世於1834年。

醫學院中]發現了：當兩個連接於這組電池的炭極彼此接近時，[在它們之間就出現一種極其明亮的白光或火焰，由於這個，這兩個炭極就會或快或慢地燃燒起來，並且由於這個，黑暗的地方也能够照得足夠明亮]①。由此可見，華·弗·彼得羅夫不僅發現了這個後來不知道爲什麼叫做[伏打電弧]的現象，並且還明白指出了它在房屋照明方面的實際應用的可能性。不僅如此，在他後來的實驗中，他還證實了，把這兩個炭極之一用金屬片代替之後，[就會出現或大或小的明亮火焰，由於這火焰，這些金屬有時就會立刻熔化]。因此，電弧可以用來熔化金屬的這一前途，也是華·弗·彼得羅夫所指出的。

研究一下電工學發展的全部進程，就會得出這樣的結論：這一方面的絕大多數最有價值的發現和發明都是俄羅斯人民所完成的，雖然革命前俄國的政治和經濟情況時常會使得它的學者和發明家不僅不能獲得有利的工作條件，甚至連起碼的工作條件也不能獲得。正因爲如此，所以有些俄國發明家甚至不得不離開祖國而到國外去尋求實現自己的發明的途徑。

在十九世紀初年彼得羅夫的發現以後，這一世紀的開首二十年中並沒有什麼重大的新發現。直到十年代的最末，才有奧斯特發現了電流對於磁針的作用，而安培則列述出了他的決定這時磁針偏轉方向的[游泳者定則]，並且發現了兩個電流之間的相互作用力。直到1826年才有歐姆確定了電的現象方面的幾個重要的概念，即：電流強度、電動勢和電阻，並把它們用一個以他的名字命名的定律聯系起來。

對於電工學來說，十九世紀的三十年代是一個極爲多產的年代。在它的最初一年，即1831年，英國物理學家法拉第發現了電磁感應現象，這個現象後來就被應用來製出了發電機。在1832年，俄國發明家巴維爾·里沃維奇·希陵②利用他所發明的磁針

① 華·弗·彼得羅夫 [關於伽伐尼——伏打電池實驗的報告]，СІІВ 1803年。

② 參看 5-1 節。在結論中我們只註出那些在以後的敘述中不會再遇到的俄國學者發明家的小傳。

式電報實現了世界上的第一個電報通訊(在冬宮和交通部之間)。這種磁針式電報在1839年已被俄國院士鮑里斯·謝米諾維奇·雅可比^①所發明的記錄式電報所代替(美國人莫爾斯直到1840年才獲得記錄式電報的專利權，並且直到1844年方才實現這種電報通訊)。希陵的發明乃是電氣在通訊方面的首次實際應用，因此他理應被認為是電工技術的兩個主要發展方向之一——電訊工程——的創始人。

第二個發展方向是所謂「電力工程」，其中包括發電和配電以及電能在照明、工業和運輸等方面的應用。這一方面的最為巨大而且具有決定意義的部門之一就是電機製造工程。這種工程的歷史是從1834年開始的，這一年，鮑·謝·雅可比發明了並製出了第一個電動機，他並在1838年用這個電動機推動一隻載有乘客的小艇沿着涅瓦河航行。由此可見，電工技術的這一分支也是在十九世紀的三十年代中開始建立的。

在最初的發電機(都是直流發電機)中，電動勢是由於永久磁鐵的磁場感應而產生的。直到上世紀的四十年代(約在1845年)才出現了電磁鐵來代替這種永久磁鐵。1847年雅可比院士列述出了電機的可逆性原理，成為另一俄國院士愛·赫·楞茨^②在1833年就已發現的更為普遍的感應定律的一個推論。可逆性原理的出現，在電機製造工程的發展過程中，標誌着一個新的階段，而六十年代中發電機的自激方式(即發電機的電磁鐵是由這個發電機本身所供給的電流來激磁的)的出現則更進一步的推動了這一方面的發展。關於自激方式的思想早在五十年代中就已由丹麥人希奧爾特發表過。

馬克司韋的著作中關於電磁場的數學理論也是萌芽於六十年代的，他對於法拉第的思想給予了數學的加工，而法拉第本人則因為並不精通數學，不能自己來進行這一工作。

電工技術在七十年代獲得了很大的成就。1870年一家法國電

① 參看 5-1 節。

② 參看 6-2 節。

機工廠的模型工格蘭姆首先製出了一種帶有換向器的直流發電機封閉繞組，稱爲「格蘭姆環式繞組」。1872年莫斯科大學的教授亞力山大·格里哥里也維奇·斯托列托夫^①在他的博士論文「軟鐵磁化作用的研究」一文中，首先提供了計算電機磁路的可能性。1873年出現了一種更爲完善的直流電機鼓式電樞以代替格蘭姆環式繞組，這種電樞迄今仍在使用。在同一年中，俄國發明家亞力山大·尼可拉也維奇·洛迪琴^②製成了第一盞白熾燈，他用由電流灼熱的炭條來作爲發光體^③。當時，弧光燈業已獲得了十分廣泛的應用，但那時還沒有很好的自動調節器來保持炭極間的爲電弧穩定燃燒所必須的距離，這就大大地增加了使用弧光燈的困難。那時所採用的電磁調節器不能夠消除當數盞弧光燈同時接在同一電路時所發生的經常的閃爍。1874年俄國學者弗拉基米爾·尼可拉也維奇·契柯列夫^④發明了一種「差動調節器」，圓滿地解決了這個問題，但在1876年另一個俄國發明家巴維爾·尼可拉也維奇·亞布洛契可夫^⑤却藉助於他自己的「電燭」找到了這個問題的一個完全新穎並且極端簡單的解決辦法，使我們根本不必使用調節器。他的電燭在歐洲許多國家中得到了廣泛的採用，並以「俄國之光」的名字著稱於這些國家之中。這種「俄國之光」是電氣照明進入實際應用的最初形式。同年中，爲了同時將幾個電燭接入同一電路，巴·尼·亞布洛契可夫又發明了變壓器，這到現在業已成爲從最巨大的發電站直到電鈴、電話和收音

① 參看 5-4 節。

② 亞·尼·洛迪琴 1847 年生於唐波夫省。他在沃龍涅什的中等軍事學校和莫斯科軍官學校畢業後，曾在軍中服務數年。退職之後，他就把自己的一生獻給了發明事業。1884 年，因爲在俄國得不到必要的物質援助來繼續他的工作，他便動身到法國，然後到美國去。1923 年他逝世於美國。

③ 首先在白熾燈中採用鎢絲也是洛迪琴的貢獻。

④ 弗·尼·契柯列夫 1845 年生於斯摩稜斯克省別斯卡赫的鄉下。在莫斯科大學畢業之後，他就在高等技術學校的弗拉基米爾斯基教授實驗室工作。他除了有許多發明之外，還曾經發起組織俄國工程學會的電機分會（1880 年）和出版「電氣」雜誌（在同年）。「電氣」雜誌是至今還在出版的最老的俄國技術雜誌之一。契柯列夫逝世於 1898 年。

⑤ 參看 9-1 節。