



中等專業學校教學用書

電力網

上 冊

苏联 A. Я. 利亞布柯夫著

電力工業出版社

中等專業學校教學用書

電力網

下 冊

苏联 A. Я. 利亞布柯夫教授著
曹义讓 刘繼 杜星堂 顧秋心譯
顧 秋 心校訂

苏联电站部教育司推荐作为动力專科学校教材

電力工業出版社

內 容 提 要

本書共計十四章，分上下兩冊出版。上冊包括第一章至第七章，主要論述電力網的基本概念和地方電力網、區域電力網以及輸電綫路的电气計算。

本書理論部分用大量計算例題加以闡明。

本書為中等動力專科學校的教科書，但也可作為高等學校非电工或動力系的教材，同樣也可作為初次參加電力網工作的工程師與技術員的參考書。

А. Я. РЯБКОВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

根據蘇聯國立動力出版社1955年莫斯科增訂第3版翻譯

電 力 網 上 冊

曹義讓 張鳳祥譯 張鍾俊校訂

*

75D18

電力工業出版社出版(北京府右街26號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第082號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

*

編輯：田德志 校對：趙迦南

787×1092 1/32 開本 * 9 1/2 印張 * 174 千字 * 定價(第10類) 1.20 元

1954年4月北京第1版 1956年8月北京第2版

1956年8月北京第2次印刷(8,201—16,300冊)

內 容 提 要

本書共計十四章，分上下兩冊出版。下冊包括第八章至第十四章，主要講述區域電力網及輸電綫路的電氣計算，電力網調壓及電力網架空綫路的機械部分等。

書中的理論用大量計算例題作了闡明。

本書為中等動力專科學校的教科書，但也可作為高等學校非電工或動力系的教材，同樣也可作為初次參加電力網工作的工程師與技術員的參考書。

А. Я. РЯБКОВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1955

电 力 網 下 冊

根據蘇聯國立動力出版社 1955 年莫斯科增訂第 3 版翻譯

曹義讓 劉繼 杜星堂 顧秋心譯

顧 秋 心校訂

*

115D31

電力工業出版社出版 (北京府右街26號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第 082 號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 9 $\frac{3}{4}$ 印張 * 178千字 * 定價(第10類)1.20元

1954年10月北京第1版 1957年4月北京第2版

1957年4月北京第2次印刷(8,201—16,300冊)

原出版者的話

已故之A.Я.利亞布柯夫教授所著之“電力網”一書，由國立動力出版社以第三版做為遺著出版。

本版書中的很大一部分材料系作者本人修改及增補的手稿，由於作者不幸逝世，其中還有一部分未能準備好發表。

在準備再版A.Я.利亞布柯夫教授之著作時，曾多次邀請了A.A.格拉祖諾夫教授參加。特別是他曾審閱並修訂了第十四章“電力網架空綫路的機械部分”。

所有本書的其餘各章，除第十三章外，均由B.H.斯捷潘諾夫教授對原稿作了審閱。

編輯部除校訂全書之外，還擔負起了復審及繼續原稿中未完成的部分，修改了部分材料及編寫第十三章等工作。在完成上述工作及校訂全書之時，出版社認為不可以將A.Я.利亞布柯夫教授的教授方法做任何改變，所以教材的敘述次序基本上保留他曾經採用過的或由作者所擬定的次序。

“電力網”一書的第一第二版，均作為中等動力專科學校的教科書；目前書店已售完，這就決定了必須出版經過修改及補充的第三版本書。

所有對本版的批評和意見，請寄至莫斯科水閘河岸街十號，國立動力出版社。

第二版原序

本書為作者所著並於1945年出版之教科書“電力網和輸電綫路”一書的增訂版。

修訂和增訂該教科書的原因，是由於新的教學大綱和教學法的要求，以及出現了一些新的規程標準的緣故。

書中各章所述均為基本知識，其中大部分用例題來說明。

本書的第 11-2、12-11、12-16 各節(例題)和 12-17 節^①，為科學技術碩士，副教授 Г. М. 羅扎諾夫所寫。

在修訂本教科書時，曾考慮了莫斯科動力技術學校教師 И. Л. 巴爾坎，Ф. Ф. 沃蘭佐夫，В. М. 馬什塔柯夫及 Н. А. 波波夫等工程師的意見，著者特對他們表示謝意。

如有對本書的批評意見，請寄至莫斯科水閘河岸街十號，國立動力出版社。

А. Я. 利亞布柯夫教授

^① 為第三版書的第 12-2、14-11、14-16 各節(例題)和 14-18 節。——譯者

A. Я. 利亞布柯夫 傳略

1954年1月14日，卓越的电气工程学者、教育家、苏联首批發电厂和电力網建設的参加者，阿列克山德爾·雅柯夫列維奇·利亞布柯夫教授逝世了。

A. Я. 利亞布柯夫於1890年生於莫斯科。1917年在莫斯科高等工業學院畢業後，被留在教研室準備從事教育工作。自1918年起，阿列克山德爾·雅柯夫列維奇·利亞布柯夫開始了教學工作，並在1921年獲得教授稱號。二十多年來，他在許多著名的高等學校中領導教研室的工作，其中包括莫斯科動力學院的電力網及電力系統教研室和莫斯科中等動力技術學校的發电厂及電力網教研室。

在阿列克山德爾·雅柯夫列維奇的親自參與下，在蘇聯各高等學校中建立了“電力網及電力系統”和“發电厂”兩門課程，他是最早開始研究這些課程中各種複雜問題的人之一。

在發电厂方面，A. Я. 利亞布柯夫於1932年完成了蘇聯配電裝置書籍方面的第一本著作“現代發电厂及變電所的電氣配電裝置”。這本著作在蘇聯發电厂和變電所的建設中曾被廣泛地應用。

A. Я. 利亞布柯夫教授的主要研究工作是在電力網方面。1930年，他的著作“高壓電力輸電綫路的電氣計算”問世了。該書首次在蘇聯有系統地並創造性地制訂了綫路的計算方法。該書再版了三次，並長期地成為蘇聯工程技術人員和科學工作者的必讀之書。

在電力網方面，A. Я. 利亞布柯夫教授為高等學校和中等技術

學校的學生寫了九本教科書。他的著作“電力網”一書在各加盟共和國和國內和在各人民民主國家中被譯成數種文字出版。

阿列克山德爾·雅柯夫列維奇的全部著作之所以這樣特別寶貴，是因為在這些著作中包含了作者本人豐富的工程經驗。他曾直接參加過什切羅夫斯基、高里科夫斯基和其他區域發電廠的設計工作，以及烏拉爾和頓巴斯區域電力網的設計工作。為了表揚他的卓越活動，政府授予了А.Я.利亞布柯夫以列寧勳章及其他獎章。

阿列克山德爾·雅柯夫列維奇是一個十分熱心的教育家，他培養了大量的蘇聯工程師和科學工作者。他的形象——一個謙虛而有才能的工作者、無限忠誠於我們祖國的最優秀的同志——將長期地保留在熟識他的人們的心中。

М.Г.契利庚，А.А.格拉祖諾夫，В.Н.斯捷潘諾夫，В.А.捷列舍夫，П.Г.格魯勤斯基，В.А.維尼柯夫，Н.А.米利尼柯夫，М.В.羅加利-列威斯基，Г.М.羅札諾夫，Л.А.索耳達特金娜，Л.А.茹柯夫，Н.Д.阿尼西蒙諾等。

（譯自蘇聯“電站”雜誌1954年第2期）

目 錄

原出版者的話

第二版原序

A. Я. 利亞布柯夫 傳略

第一章 緒論	1
1-1. 電力網與電力傳輸的發展簡史及其在蘇聯的現狀	1
1-2. 基本概念	5
1-3. 電力網的電壓	10
1-4. 對電力網的要求及計算	14
第二章 關於建設電力網與綫路的基本知識	16
2-1. 電力網的架空綫路	17
2-2. 電力網的電纜綫路	42
2-3. 屋內綫路	52
第三章 綫路和變壓器的等效網絡、阻抗和導納	53
3-1. 電力網綫路的等效網絡	56
3-2. 綫路的有效電阻	57
3-3. 綫路的電抗	58
3-4. 綫路的電導	62
3-5. 綫路的電容性電納	65
3-6. 變壓器的等效網絡	70
3-7. 變壓器的電阻及電抗	72
3-8. 變壓器的電導及電納	77
3-9. 蘇聯國家標準中變壓器數據的運用	78
第四章 電力網中的電能損耗	82
4-1. 基本概念和定義	82
4-2. 電力網綫路中電能損耗的決定	83
4-3. 變壓器中電能損耗的決定	94
4-4. 送電成本	97

4-5.	電力網綫路導綫与電纜的經濟截面	100
第五章	按發熱条件選擇導綫与電纜	103
5-1.	導綫的發熱与冷卻	103
5-2.	導體發熱的極限容許溫度	105
5-3.	裸綫發熱的計算	107
5-4.	按容許負荷表選擇導綫与電纜	110
5-5.	按發熱条件選擇熔斷器和電纜与導綫的截面	113
第六章	開式地方電力網的電氣計算	122
6-1.	地方電力網計算的特点	122
6-2.	直流綫路中电压降与導綫截面的決定	124
6-3.	末端帶有負荷三相綫路中电压損耗的決定	127
6-4.	沿綫路帶有几个負荷时三相綫路电压損耗的決定	131
6-5.	帶有均匀分佈負荷綫路中电压損耗的決定	136
6-6.	分支電力網中电压損耗的決定	133
6-7.	具有零綫綫路中电压損耗的決定	139
6-8.	当導綫截面沿綫不变时,按給定电压損耗決定導綫和電 纜的截面	145
6-9.	按最少導電金屬使用量決定導綫与電纜的截面	150
6-10.	在給定电压損耗下,按全綫各段电流密度恆定条件,決 定導綫和電纜的截面	156
6-11.	計算时可以不考慮感抗的地方電力網	161
6-12.	鋼綫敷設的地方電力網綫路的計算	163
第七章	閉式地方電力網的電氣計算	163
7-1.	概述	169
7-2.	兩端供电的電綫路	171
7-3.	复雜閉式電力網	183
7-4.	閉式地方電力網中導綫和電纜截面的決定	190
7-5.	選擇复雜閉式電力網中導綫截面的概念	191
7-6.	閉式電力網中降壓變壓器对功率分佈和电流分佈的影响	193

附 錄

目 录

第八章 高压输电綫的电气計算	195
8-1. 概述	195
8-2. 負荷以电流表示时按 Π 形等值綫路作輸电綫計算	196
8-3. 电力網內的有功和無功功率	198
8-4. 环节始端和末端的电压及功率之間的关系	202
8-5. 电力網环节与变压器中的功率損耗	207
8-6. 負荷以功率表示时按 Π 形等值綫路($G=0$)作輸电綫計算	210
8-7. 負荷以功率表示时按包括变压器在內的等值綫路作輸电綫的計算	213
第九章 区域电力網的电气計算	225
9-1. 概述	225
9-2. 开式区域电力網的計算	228
9-3. 兩端供电区域电力網的計算	232
9-4. 有一个或几个發電厂的环形区域电力網的計算	234
第十章 电力網的調压	243
10-1. 調压問題及其方法	243
10-2. 借發電厂电压的改变进行調压	243
10-3. 变压器分接头的选择与用帶負荷調压变压器和感应調压器进行調压	245
10-4. 变更电力網参数以調整电压	248
10-5. 改变电力網中流过的無功功率值以調整电压	248
10-6. 同步补偿机与靜电电容器及其比較	250
10-7. 在負荷以功率表示及輸电綫始端条件已知的情况下决定同步补偿机容量的圖解法	252
10-8. 在負荷以功率表示及輸电綫始端条件已知的情况下决定同步补偿机容量的分析法	255
10-9. 靜电电容器容量的决定	265
10-10. 电力網中各种調压设备的应用	265
10-11. 变更無功功率时輸电系統的运行	267
10-12. 在非額定功率因数下發電机的运行	270
第十一章 电力網設計的概念	272
11-1. 概述	272

11-2.	電力網電壓的選擇	273
11-3.	電力網的結綫圖	274
11-4.	電力網中容許的電壓偏移及電壓損失	291
第十二章	電力系統運行中幾個問題的概念	295
12-1.	概述	295
12-2.	關於週波和有功功率調整的概念	296
12-3.	關於電力系統并列運行穩定性的概念	300
第十三章	交流遠距離輸電的概念	304
13-1.	概述	304
13-2.	電力傳輸結綫圖	305
13-3.	輸電系統的傳輸能力	307
第十四章	電力網架空綫路的機械部分	310
14-1.	概述	310
14-2.	導綫和架空地綫的機械荷載	311
14-3.	檔距和弛度的基本概念和關係	321
14-4.	導綫材料的應力	323
14-5.	檔距中的導綫狀態方程式	324
14-6.	臨界檔距	327
14-7.	最大弛度	330
14-8.	臨界溫度	330
14-9.	導綫機械計算所需的資料	332
14-10.	鋼芯鋁導綫的機械計算	339
14-11.	懸點高度不等時導綫的計算	352
14-12.	斷綫時綫路計算的初步概念	355
14-13.	使用瓷式絕緣子和固定綫夾的綫路上斷綫時導綫拉力的確定	358
14-14.	應用釋放綫夾或滑動綫夾的綫路上斷綫時沿導綫的拉力	365
14-15.	導綫與架空地綫在電杆上的排列和架空綫路的限距	367
14-16.	電杆的機械計算	375
14-17.	直綫型木杆的鋼筋混凝土接腿的選擇	412
14-18.	沿輸電綫路綫路斷面圖佈置電杆	414

附 录 (見本書上冊附 录)

第八章 高压輸电綫的电气計算

8-1. 概 述

为了將大量电力輸送到远方，并分配給相隔很远的大电力用戶，就要求大大地提高發電电压：35、110 及 400 千伏。

随着輸电电压的提高，当輸送同样的功率时，导綫的費用減小了，电能的損失也降低了，可是綫路本身和变电站中高压設備的絕緣費用却增加了。

輸电电压的选擇是根据技术及經濟双方面来考虑的。当其他条件已定时，輸电电压的选擇是根据各方案的投資及年运行費的比較，同时考虑到有色金属消耗量的問題。

例如，要輸送30兆瓦左右的功率到距离約为 100 公里的地方，就选擇 110 千伏电压。但如果要輸送 100 兆瓦左右的功率到距离 250 公里或更远的地方时，則 220 千伏的电压就显得更为合适。

当輸电綫的运行电压远远高于地方电力網的較低級的电压时，就出現了一些在地方电力網中几乎不出現的現象，这些現象随着运行电压的提高而愈显得突出。

这些現象是由两种原因造成的，即：

- 1) 在高压輸电綫中有大量的电容电流；
- 2) 在高压导綫周圍的介質中有有功功率的損失。

因此，高压輸电綫的計算方法就与地方电力網不同，因为在这里除了考虑綫路的电阻和电抗外，还要考虑电納，甚至有时还要考虑电导。

对于电压不高于 110—220 千伏的綫路(其計算方法將在本課程中研究)，可以假定导綫电容集中在綫路兩端，即可以採用 Π 形等值綫路(見 § 3-1)，其結果非常接近于真实情况。这时，負

荷既可以用电流，也可以用功率表示。但因为后者具有一系列的优点，所以被认为更恰当。

8-2. 负荷以电流表示时按 Π 形等值线路作输电线路计算

假定线路末端的电压、电流和功率因数已知，要求根据 Π 形等值线路确定线路始端的电压、电流及功率因数，则线路电导可以忽略(图 8-1)。

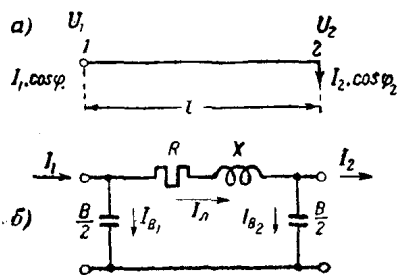


图 8-1 输电线路的 Π 形等值线路

知道了线路(架空线或电缆)的结构、导线截面、导线排列法及线间距离，就可以根据相应的公式或附表求出线路每公里的电阻 r_0 、电抗 x_0 及电纳 b_0 。

对于全线路则得：

$$R = r_0 l \text{ 欧}; \quad X = x_0 l \text{ 欧}; \quad B = b_0 l \text{ 西門}.$$

如果所研究的线路按其长度要求精确的解法，则在使用 Π 形等值线路时，应在所得的阻抗及电纳的数值上乘以修正系数。这时，全线路的计算用阻抗和电纳将为：

$$R = k_r x_0 l \text{ 欧}; \quad X = k_x x_0 l \text{ 欧}; \quad B = k_b b_0 l \text{ 西門}.$$

图解法就是用一定的比例根据所用的等值线路作出相电压及相电流的向量图(图 8-2)。

使线路末端相电压 $U_{\phi 2}$ 的向量与实轴相重合。自 O 点画线路末端电流 I_2 的向量，使其与电压 $U_{\phi 2}$ 的向量相交成 φ_2 角，再自 O 点画线路末端电容电流 I_{B2} 的向量，使其在超前方向垂直于 $U_{\phi 2}$ 的向量， I_{B2} 的大小是：

$$I_{B2} = U_{\phi 2} \frac{B}{2}.$$

电流 i_2 和 i_{B2} 的向量和就是流经阻抗 R 和 X 的电流 i_1 。在

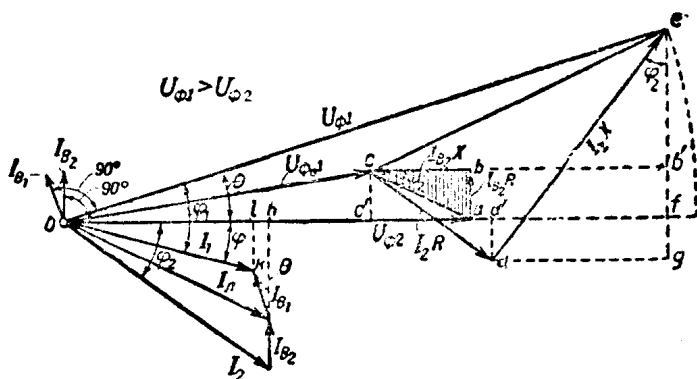


圖 8-2 全負荷時輸電綫的向量圖

电压 $U_{\phi 2}$ 的向量末端画由电流 I_{B2} 在綫路阻抗 R 及 X 中所造成的电压降三角形。

这样就得到了所求的空載時綫路始端电压 $U_{\phi 01}$ 的向量。在这向量的末端放上由負荷电流 I_2 在 R 和 X 中所造成的电压降三角形，就得到綫路始端电压的向量 $U_{\phi 1}$ 。所求的綫路始端电流等于电流向量 I_A 与綫路始端电容电流 $I_{B1} = C_{\phi 1} \frac{B}{2}$ 向量的向量和，后者是画在电压 $U_{\phi 1}$ 向量的垂直方向。所求的电压 $U_{\phi 1}$ 和电流 I_1 向量間的相角差 φ_1 如圖上所示。

这样，所有我們感兴趣的数值都能直接从向量圖上量出来。

現在我們来分析电容电流对綫路始端电压变化的影响。

从圖 8-2 的向量圖中可以看出，电容电流 I_{B2} 使綫路电压降落中的縱分量减小，而橫分量增加，結果是使电压損失减小，而綫路始末端电压間的相位差增大。

如果在这条輸電綫上將負荷从最大值(相当于圖 8-2

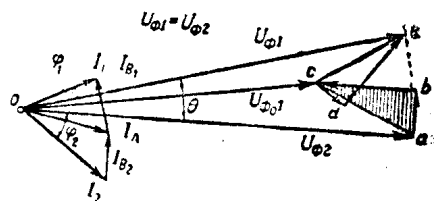


圖 8-3 小負荷時輸電綫的向量圖

的情况)逐渐降低到零,则在某一不大的负荷下可能达到这种情况,即线路中的电压损失等于零(圖 8-3),因为原有的电压损失将被电容电流所引起的反向电压损失所抵消。如果将负荷继续降低,则在线路中将只有反向的电压损失;也就是,线路始端的电压将低于线路末端的电压(圖 8-4)。

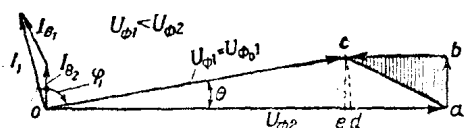


圖 8-4 空載時輸電綫的向量圖

由此可知,电容电流在大负荷或中等负荷时,是一个有利因素,而在小负荷和空載时,则可能表

现不良影响,因为对于电压高于 220 千伏的輸电綫,其末端电压的升高能超过正常設計輸电綫及电器的絕緣时所考虑的范围。

上述根据等值綫路計算輸电綫的圖解法,明显地表示出綫路电容电流对綫路运行的影响,以及綫路始端电压、电流和功率因数随綫路末端负荷变化的关系。

如果根据綫路末端在 0—100% 范围内变化的几种负荷作向量圖,就能得到与这些负荷相应的 U_1, I_1 和 $\cos \varphi_1$ 。

以后就能計算出輸电綫始端的功率

$$P_1 = \sqrt{3} U_1 I_1 \cos \varphi_1$$

及輸电綫效率

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100.$$

根据所得的数据,就能在座标軸內画出 $U_1, I_1, \cos \varphi_1, P_1$ 及 η 随负荷 P_2 变化的关系曲綫。

这些数值也能从相应的公式求出,这些公式能从上述的向量圖中推导出来。

8-3. 电力網內的有功和無功功率

电能用户——电动机、照明设备、电热设备以及变压器——为了本身的工作在不同程度上需要有功功率和無功功率。

有功功率在电动机中变为机械工作，在照明设备中变为光，在电热设备中变为热。

无功功率被用户接受后产生出必要的电磁场（例如对异步电动机工作所需要的电磁场），其消耗量对于不同性质的用户各不相同。

例如，对于异步电动机，其运行的功率因数是0.7—0.9，无功功率为进入电动机的有功功率的100—50%；对于白炽灯，所需的无功功率实际上是等于零。

在向用户输送有功功率及无功功率的同时，在输电系统，即升压变压器、输电线和降压变压器中，也造成了这两种功率的损失。

在输电时，有功功率消耗在输电线的导线、变压器的线卷及铁心的发热上。

需要无功功率是为了维持因交流电的通过而在电力网的导线和变压器的线卷中所产生的电磁场和电场。

电力网中无功功率的损失与维持电力网及变压器中的交流电磁场及电场相关。这样，在无功功率的总需要量里面就多了这一项损失的量。

但是，维持无功功率并不消耗电能，不像有功功率的损失是与电能损失发生关系的，所以无功功率的损失并不会给发电厂的原动机增加额外负担。

与维持电磁场及电场有关的无功功率反映在发电机与用户间交换无功功率的振荡过程中。这样的功率并不从发电机吸取电能。

因此，产生电磁场和电场不会引起像有功功率损失那样意义的无功功率损失，因为为了抵偿有功功率的损失是需要消耗原动机的能量的。

产生电磁场的无功功率有这样一个特点，就是一旦出现，它