

高等學校教學用書

電力網絡

上 冊

A. A. ГЛАЗУНОВ 著

劉 敬 顧秋心 楊維漢譯

龍 門 聯 合 書 局

高等學校教學用書



電力網絡
上冊

A. A. 格拉茹諾夫著

劉敬顧秋心楊維漢譯

龍門聯合書局

本書係根據蘇聯國營動力出版社 (Государственное энергетическое издательство) 出版的格拉茹諾夫教授 (А. А. Глазунов) 所著“電力網絡” (Сети электрических систем) 1947 年版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為高等動力學校及高等電工學校教科書。亦可供工程師及技術員在網絡的設計裝備及運用方面的參考。

本書俄文原版包括三大部分：一、電力網絡的裝備；二、電力網絡的計算；三、架空線機械部分的計算。中譯本分上下兩冊出版，上冊包括前兩部分，第一部分係闡明各種基本概念，為學習後一部分之基礎。

翻譯本書的為哈爾濱工業大學劉敬、顧秋心、楊維漢等同志。

電 力 網 絡

上 冊

СЕТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А. А. ГЛАЗУНОВ 著

劉 敬 顧秋心 楊維漢譯

★ 版權所有 ★

龍 門 聯 合 書 局 出 版

上海市書刊出版業營業許可證出 029 號

上海茂名北路 300 弄 3 號

新 華 書 店 總 經 售

新 光 明 記 印 刷 所 印 刷

上 海 康 定 路 162 號

開本：850×1168 1/32

印數：9001—10,000 冊

印張：15 ¹⁴/₃₂

1953年 9 月 第 一 版

字數：361,000

1956年 4 月 第五次印刷

定價：(10) 2.30元

原 序

曾榮獲列寧勳章的莫斯科莫洛托夫動力學院及蘇聯其他許多高等技術學校，在教學經驗中，已證實作者關於必須合併以前四門單獨課程為一門普通電力網絡的意見的正確性。此一綜合課程包括地方網絡的理論及其結構、電力傳輸、配電網絡及架空線機械部份，能使學生更易於了解及吸收所授的內容，並能深刻融會貫通各種網絡的一般原理。

在研究高等技術學校電力網絡的教學法中，作者認為應更進一步有條理地歸納網絡的理論。譬如，本書關於電壓降落及電壓損耗，已不像以往先在地方網絡中討論，而是先在輸電線路中討論。這裏所應考慮的不但有線的阻抗，而且還有它的導納。至於地方網絡，則可視為輸電線路中一種可不計導納的特殊情形。

關於閉式網絡計算的一章，也是用相似的方法講授。

採用上述方法講授電力網絡的理論，有許多優點，其中最主要的如下：

- 1) 貫通了電力網絡的理論。
- 2) 減少材料的分量，這些材料是使學生掌握電力網絡這門課程，並同時提高他們的理論水平所必需的。

在高等技術學校中，以此種新的方法、講授電力網絡的理論，並無多大困難；因為在學此一課程以前，已學過「理論電工學」，而在該課程中，對長線路及四端網絡已有詳盡說明。

作者希望所建議的關於此課程的教學方法將在蘇聯各高等技術學校採用。

作者寫此書的目的是爲了求得一電力系統網絡的普通課程教本，故書中僅包括此課程的基本內容。

斯大林獎金獲得者，功勳科學技術工作者

A·A·格拉茹諾夫教授

1947年4月 莫斯科

本書所採用的主要符號

* * *

$D_{ср}$	幾何均距
$I_{доп}$	安全電流
I_H	額定電流
$I_{обp}$	反射波電流
I_{np}	前進波電流
I_p	工作電流
$I_{x.x}$	空載電流
Δp_M	銅損
Δp_c	鐵損
$U_{о.н}$	高壓側電壓
$U_{кр}$	臨界電壓
U_A	線電壓
U_H	額定電壓
$U_{н.н}$	低壓側電壓
$U_{обp}$	反射波電壓
$U_{о.в}$	主接頭電壓
$U_{отв}$	分接頭電壓
$U_{пов}$	電壓上升
$U_{пox}$	電壓下降
U_{np}	前進波電壓
U_ϕ	相電壓
ΔU_δ	容許電壓損耗
$W_{ном}$	用戶功率
$W_{с.н}$	自用功率
$W_{\phi.н}$	每相額定功率
$W_{x.x}$	空載功率

目 錄

原 序

緒 論

1. 電力網絡發展簡史.....	1
2. 電力網絡的電壓.....	5
3. 網絡配電的基本概念	12
4. 電力網絡的計算	16

第一篇 電力網絡的裝備

第一章 電力網絡的導線及電纜

5. 總論	19
6. 導線及電纜的材料	20
7. 裸線的構造	24
8. 油紙絕緣電力電纜的構造	27
9. 皮線及橡皮絕緣電纜的構造	33

第二章 電力架空線的結構

10. 總論	36
11. 架空線的負擔	38

12. 導線振動的克服	42
13. 電力架空線支柱的型式	43
14. 導線及架空接地線在支柱上的排列	52
15. 架空線的木桿	56
16. 架空線的鐵塔	64
17. 架空線的鋼筋混凝土桿	69
18. 架空線零件	69

第三章 戶內網絡及電纜網絡的結構

19. 總論	77
20. 用穿心絕緣子時絕緣線的敷設	78
21. 用裝腳絕緣子時導線的敷設	83
22. 管中絕緣線的敷設	85
23. 電纜的敷設	86
24. 電纜接合器	90
25. 敷設網絡的特殊方法	95

第二篇 電力網絡的計算

第四章 有色金屬導線及電纜的發熱

26. 總論	98
27. 在持續負荷下裸線的發熱	101
28. 在持續負荷下絕緣線的發熱	107
29. 在持續負荷下電力電纜的發熱	108
30. 在斷續負荷下導線及電纜的發熱	110
31. 在不穩定的工作情況下導線和電纜的發熱	111
32. 電力網絡中的熔斷器	114
33. 按容許的發熱條件選擇熔斷器及導線和電纜的截面積	119

第 五 章

按電壓損耗或電壓偏移計算遠區開式網絡

34. 總論	128
35. 電力網絡的純功率及無功率	132
36. 用有色金屬導線或電纜敷設時交流線路的阻抗	136
37. 網絡中線路的導納	139
38. 鋼線的阻抗及導納	145
39. 電力網絡的變壓器	148
40. 網絡中的電能傳輸	153
41. 分佈阻抗及分佈導納的輸電線路	156
42. 電路的等值常數	163
43. 按負荷電流計算線路	171
44. 按負荷功率計算線路	180
45. 輸電線路的圓圖	188
46. 線路各種運行情況的分析	194
47. 求電壓損耗的近似法	199
48. 網絡的運算負荷及電廠的運算功率	202
49. 兩種電壓的網絡計算	207
50. 選擇變壓器的分接頭	211
51. 直流線路的計算	224
52. 按電壓損耗決定遠區電力網絡的導線截面積	225

第 六 章

開式地方電力網絡根據電壓損耗的計算

53. 總論	227
54. 地方電力網絡的計算	228
55. 地方電力網絡幾種常遇的計算	234

56. 負荷均勻分佈的線路·····	238
57. 各相負荷不對稱的線路·····	240
58. 樹形網絡·····	249
59. 按容許的電壓損耗決定導線截面積·····	251
60. 按金屬消費量最少的條件計算開式網絡·····	256

第七章 按電壓損耗計算閉式網絡

61. 總論·····	264
62. 兩端供電網絡中功率的分佈·····	265
63. 兩端供電線路上求功率分佈的近似法·····	268
64. 供電點電壓不同的兩端供電線路·····	274
65. 考慮功率損耗時計算閉式網絡的近似法·····	276
66. 閉式網絡中電壓損耗的求法·····	277
67. 幾種常用的兩端供電網絡的計算·····	280
68. 按容許電壓損耗求兩端供電線路中導線的截面積·····	282
69. 環路法·····	291
70. 網絡簡化法的理論法則·····	301
71. 網絡簡化法·····	313
72. 逐步漸近法·····	325
73. 閉式網絡有變壓器時的計算·····	332
74. 電力網絡的模型·····	332
75. 複雜閉式網絡中導線截面積的決定·····	334

第八章 電力系統中的調壓

76. 總論·····	341
77. 網絡中調壓的目的·····	343
78. 藉變動電廠電壓的網絡調壓·····	346
79. 藉重新分配無功功率網絡調壓·····	347
80. 同步補償器與靜電容電器之比較·····	353

81. 同步補償器及靜電容電器容量的決定	356
82. 用特種變壓器或感應調壓器的調壓	371
83. 藉變更網絡中某些線段的電抗調壓	375
84. 藉改變純功率分佈的調壓	377
85. 電力系統的調壓	378

第九章 電力網絡中純功功率及能量的損耗

86. 總論	383
87. 網絡線路中功率及能量的損耗	384
88. 損耗時間的決定	388
89. 變壓器中的能量損耗	390
90. 電力網絡的運行費用	392
91. 根據能量損耗選擇導線及電纜的截面積	395
92. 線路導線的經濟截面積	400

第十章 電力網絡接線的基本原理

93. 總論	404
94. 公用網絡接線圖	405
95. 戶外工廠網絡的接線	419
96. 遠區網絡的接線	425
97. 戶內網絡的接線	428

第十一章 電力網絡設計的基本原理

98. 總論	431
99. 輸電成本	431
100. 網絡電壓的選擇	433
101. 網絡中的容許電壓偏移及電壓損耗	436
102. 電力網絡接線圖的選擇	438
103. 電力網絡調壓設備的選擇及利用	447

附 錄

I. 裸銅線、鋁線及鋼心鋁線	453
II 鋼(鐵)單線	454
III. 架空線路的鋼絞線	454
IV. 導線的工程物理性質	455
V. 裸線的持續安全負荷(計 2 表)	456
VI. 絕緣銅線的持續安全負荷(計 2 表)	457
VII. 銅心電纜的持續安全負荷(計 6 表)	458
VIII 1. 導線及電纜的安全電流與熔斷器額定電流的比值	461
2. 蘇聯製各種熔斷器的額定電流	462
VIIIa. 1. 短路電流的週期分量的假想時間曲線(當供電之 發電機有電壓調整器時)	462
2. 短路時決定導線發熱溫度的曲線	463
IX. 三相或單相交流線路每公里的電抗 Ω/km 與比值 $\frac{D_{cp}}{d_0}$ 之關係	464
X. 三相或單相交流線路每公里的電納 S/km 與比值 $\frac{D_{cp}}{d_0}$ 之關係	464
XI. 鋼絞線及鐵單線的電阻及內感抗(計 3 表)	465
XII. 油變壓器(計 6 表)	467
XIII. 容量 1—50 MVar 的同步補償器	473
XIV 用木桿的 6—110 kV 架空線路及纜道內電纜線路 每公里的價值(仟盧布)(計 4 表)	474

緒 論

1. 電力網絡發展簡史

在最早的電氣裝置裏，受電器是在線路中串聯着的。這種供電系統的缺點很大，切斷任一受電器就切斷了整個線路，因而引起所有其他受電器工作的停頓；同時電力網絡的故障往往引起線路的開路，因而也會造成大批受電器供電的中斷。以後，爲了在切斷任一受電器時，其他的受電器仍能繼續工作，另外加了一些裝備。當受電器被切斷時，它就自動被等效電阻所代替。

在受電器並聯時，則不會因其中任一受電器的切斷或接入而中斷電力網絡的工作，因此這種系統很快地被推廣到所有的新式裝置中，一直到現在，在實用上仍爲唯一合乎理想的系統。受電器的串聯接法，現僅在特殊的情況下採用。

在最早的電氣裝置裏是用直流。因爲白熾燈在製造上最初其電壓不能高於 100-120 V，其後雖經改進，仍不能高於 200-220 V，所以必須建立此種電壓的電力網絡。採用這種低壓來輸配電能，由於線路上電流很大，以致電力網建造費用龐大。同時低壓輸電所引起的技術上及經濟上的困難，使每一個電廠祇能在很小的範圍內供電。

在 1883 年出現了三線系統，每一個電廠的供電範圍顯著地增大。圖 1 即這種系統的示意圖。兩個直流發電機是串聯着。各受電器接在中線及邊線間。兩邊線間的電壓 U_2 兩倍於受電器的電壓 U_1 。當

受電器對稱接入時，中線沒有電流，因此中線的截面積可以較邊線為小。切斷電力網中一側的某些受電器，則在中線上會出現電流，因此會引起中線上的電壓降落，而使接在電力網絡他側的受電器工作情況變壞。

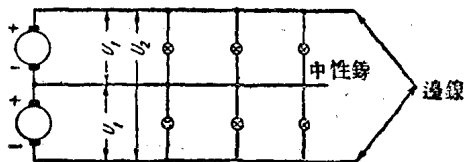


圖 1

自從杜利渥·杜布羅夫斯基 (Доливо-Добровольский) 發明了分壓器以後，直流三線系統曾得到了普遍的應用。分壓器構造並不複雜；採用分壓器後，三線系統已無需兩台發電機，而只需一台。

三線網絡的電壓兩倍於受電器的電壓，這樣，雖然用於導線上的金屬量一樣，而電廠的供電半徑幾乎增大為兩倍，並且網絡中用戶的用量也同時幾乎增大為兩倍。但三線系統仍不能滿足發展的要求，因此按同樣原理也曾出現過四線及五線的電力網絡。但這些電力網絡，由於許多原因，仍然不能適應發展的要求。因此便產生了用高壓輸電的必要。

用高壓來進行遠距離輸電的理論是拉欽諾夫 (Д.А.Лочиннов) 教授研究出來的，其著作「機電工程」一文發表於 1880 年的「電氣」雜誌上。在 1882 年，馬爾塞·德泊聶 (Марсель Депре) 完成了距離為 57km，電壓為 1500–2000 V 的直流輸電，所用的發電機容量為 3 馬力。

直流輸電由於種種困難，未能普遍推廣，最主要的困難是不能製造直流高壓強力電機以及電廠管理及用戶使用的複雜性。

三相交流電的採用為近代電力網絡發展的特點。應當這樣說：俄國學者杜利渥·杜布羅夫斯基所作的從拉芬·佛蘭克阜到邁涅長

175 km, 電壓 30 kV 的輸電, 為決定交流輸電優點的轉折點。交流電容易變到任一電壓, 因此, 可以在電廠時電壓較低, 輸送時用很高的電壓, 用電時再變回到低電壓。杜利涅·杜布羅夫斯基發明的異步電動機, 對發展交流系統也有決定性作用。此種電動機效率高、操作簡單, 因此得到廣泛的推廣。杜利涅·杜布羅夫斯基的工作為世界各國在進行着近代電氣化所建立的交流電力系統中, 打下了一個良好的基礎。

1908-1910 年在美洲及歐洲建立了第一條電壓 110 kV 的線路。當用高壓輸送龐大功率時, 其線路操作上的成功試驗及經濟上的巨大優點使電壓趨向更加提高。隨後曾出現過電壓 150 kV 的線路, 在 1923 年已有 220 kV 的線路。工業用交流線路現在最高電壓⁽¹⁾為 287 kV; 沿着這條線路, 電能由波爾達水閘的水電站輸送到 455 km 外的洛杉磯城。

蘇聯的電氣化及電力網的建立, 在偉大的十月社會主義革命後馬上就開始了。工農掌握了政權後, 接收了帝俄遺留下來的落後的工業, 而且其中半數在第一次世界大戰中就被毀壞了。勞動人民必須在這樣的基礎上建立沒有階級的社會。天才的列寧在自己著作中反覆指出, 全國電氣化是將來沒有階級的社會的物質技術基礎。

列寧同志說:「社會主義底唯一物質基礎, 就是同時也能改造農業的大機器工業。但問題還不能局限於這個一般的原理。必須把這原理加以具體化。所謂適合於最新技術水準並能改造農業的大工業, 也就是全國電氣化。」

列寧在全蘇中央執行委員會 1920 年 2 月 7 日發起組織委員會擬制俄羅斯國家電氣化草案。同年 12 月計劃擬成, 並經過第八次全俄

(1) 最近蘇聯古比雪夫水電站的電壓已高達 400 kV——譯者。

蘇維埃代表大會批准。在這個計劃裏，確定了首先應當建立的電廠，也擬定了電力網絡主要幹線線路。

1922年在蘇聯從喀瑪拉輸電到莫斯科初次引用了110 kV線路。不久110 kV電力網的建立便飛躍展開了。在1932年屬於蘇聯巨大的德涅泊水電站的154 kV電力網開始供電。1933年220 kV線路在蘇聯出現。這條線路把電能從斯維爾斯基水電站送到了列寧格勒。不久大批220 kV的線路緊隨着建設起來：由斯大林諾哥爾斯基水電站、由烏格里基斯基及由威謝爾巴科夫斯基水電站輸電到莫斯科等城市。

到偉大的衛國戰爭的前夕，蘇聯的電力網事業已經擁有數萬公里的線路。現在不單被法西斯強盜瘋狂破壞了的電力網絡業已重建，而且在第四個五年計劃裏，蘇聯擬定的龐大電氣化發展計劃將要普遍發展各種不同電壓的電力網絡。最近蘇聯又在加緊研究用直流輸電，因為現在已能製造換流器，可將交流變成直流或將直流變回交流。其輸電線路概述於下：

電廠發出高壓交流電。電廠附近的用戶就以交流網絡供電。遠距離的大量功率輸電才用直流。然後再將直流變回交流，仍以交流供電給用戶。

用交流配電可以得到各種優點：電壓變換方便而簡單，在採用異步電動機時，運轉可靠，保養費小等等。但是在輸送大量功率時，直流制在經濟技術兩方面都比交流好。電壓可以用得更高，而線路絕緣的費用並不增大；因而線路建設費用可降低；線路效率增高；能量可以輸送得更遠；電廠並列時不會發生穩定上的問題等等。

所有這些出色的優點使蘇聯在1946-1951年關於恢復與發展國民經濟的五年計劃條文中，已經決定將要採用直流輸電的裝置。

最後我們清楚地看出蘇聯科學家在電力網絡理論的發展、建設及

保養上的偉大貢獻。他們創立了自己的科學學校，創立了新穎的網絡結構，並創立了電力網絡的敷設及保養的先進方法。

2. 電力網絡的電壓

人體組織對於電流是非常敏感的。0.1 A 的電流通過人體便能致人於死命。電流超過 0.05 A 就能發生危險；大約 0.03–0.04 A 以下才能認為安全。通過人體電流的大小與所用的電壓、人體的電阻及其接地通路上一切串聯的電阻有關。人體的電阻變化很大，在一般情況下約為 1200–1600 Ω 。

為了預防在電氣裝備中有不幸事故發生，已採用了特殊處置以保障工作人員的安全。蘇聯「高低壓電力裝備及安全規程」從安全的觀點上將一切電氣裝置區分為高壓裝置及低壓裝置。在用戶處任何一根電源線與地之間的作用電壓不超過 250 V 時，屬於低壓裝置。而其餘的都算做高壓裝置。此處規定電源線與地之間電壓為標準，而非電源線之間，是因為人站在地上碰到一根線比同時碰到兩根線的可能性要大得多。

在日常情形下，可以用較簡單的辦法來得到低壓裝置操作的安全。這些辦法是非常必需的，因為我們應考慮到儀表及受電器（如電燈、開關、插座等）的低壓網絡是裝設在用戶的住宅內、廠房內；而使用的人又多是沒有電氣常識的。

在高壓裝置裏雖採用了各種特殊的辦法以保證安全，但是假如讓沒有專門電氣知識的人來照管，仍然會發生危險的。因為這種理由，所以非受過特殊訓練的工作人員不准操作或管理高壓裝置。

我們知道區分高、低壓裝置是從保安的觀點出發的。實際上，100 V 甚至更低些的電壓就能致人於死命。這種不幸事故發生的原因，主要是由於不守操作規程、裝置不合規格、幾種不良情況湊到了一