

中等專業學校教學用書

有线传输原理

И. А. 克謝也夫 著

呂 惠 民 譯

人民邮电出版社

中央人民政府高等教育部推薦
中等技術學校教材試用本



有線傳輸原理

И. А. 克謝也夫著

呂惠民譯

人民郵電出版社

本書係根據蘇聯國營電訊出版社 (Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио) 出版的克謝也夫 (И. А. Кошечев) 著的“有線傳輸原理”(Теория связи по проводам) 1953 年增訂版譯出。原書經蘇聯電訊部學校教育司審定為電訊中等技術學校教科書。

本書由郵電部設計局呂惠民同志譯出，白其章同志校閱。

2456/54

有線傳輸原理

著者：И. А. 克謝也夫
譯者：呂惠民
出版者：人民郵電出版社
北京東四六條 13 號
(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八號)
印刷者：北京市印刷一廠
發行者：新華書店

開本 850×1168 1/32 1954 年 5 月龍門聯合書局第一版
印張 14 14/32 頁數 231 1956 年 5 月龍門聯合書局第五次印刷
印刷字數 343,000 字 1958 年 9 月北京第六次印刷
龍門聯合書局 1—7,500 冊 統一書號：15045.884—有 149
印數 7,501—12,000 冊 定價：(10) 2.10 元

73.411
6057

前 言

“有線傳輸原理”這門課程是中等通訊技術學校有線科的一門主要課程。要想了解有線電傳輸方面的物理過程，學生們應當在中等通訊技術學校教學大綱的範圍內，對物理學和電工學有很完備的知識。由於在解答課題時必須要應用到相當複雜的數學關係式，所以也要求學生們在數學方面，尤其是在像複數和雙曲線函數這種章節上，具有相當深刻的知識。而如果要成功地學好專業課程，那就必須深入的研讀這門課程。

目前這本書是“有線傳輸原理”課程的教本的第二版。和1945年出版的教本第一版比較，在這本書裏改換了一下教材敘述的次序並補充說明了若干在1945年出版的書中所沒有能談到的問題。這些問題包括：採用二端網絡的例子、X式四端網絡、不均勻回路、有石英元件的濾波器的概念、濾波器並聯工作的概念、均勻回路在特高週率下的性質以及雙金屬線電纜回路的概念。這本書中也重新編寫了架空通訊線路回路間的串音影響這一章，並擴充了通訊電纜線路回路間的串音影響這一節的內容。此外，書中還加進了“減小週率畸變的四端網絡”這一章。

第二章所敘述的基本概念使學生們對各種電氣通訊有一個初步的了解。第三章和第四章討論均勻回路和不均勻回路的電氣性質，第六章討論電話回路間的相互串音影響，這三章是線路設備這課程的基礎。在第七、八、九、十章中依次研究了二端網絡、四端網絡、電氣濾波器和

減小週率畸變的四端網絡等，這四章應該能使學生在學習長途通訊和載波電報這類課程時沒有什麼困難。第五章討論電報訊號的畸變，它應當能幫助中等技術學校學生更成功地研究通報時及管理自動電話局聯接用戶的儀器時所遇到的瞬變過程。

書中所有的基本理論敘述差不多都有計算例題來解釋。但是，雖然如此，著者能夠舉出的例子的數量還是不夠多的，因為即使沒有再加進些例子，本書的篇幅就已經很龐大了。依著者的意見，這個缺點應該由本課程的習題集（А. М. Мурзенко 著“有線傳輸原理”習題集，通訊出版社，1950年）來彌補。

在改編教本的第二版時，著者已經儘量地考慮到了中等通訊技術學校“有線傳輸原理”課程的教師和讀者們所提供的許多意見，也考慮了本書這一版的原稿評閱者們的意見。這些意見和忠告幫助著者使得本書和第一版相比較要改進不少。

對本書的一切意見和願望務請寄到通訊出版社（莫斯科市中心，淨池大街二號）。

著 者

目 錄

前言

第一章 電報電話通訊的發展	1
第 I.1 節 歷史簡述	1
第 I.2 節 現代的電氣通訊	4
第 I.3 節 電氣通訊電路圖	6
第二章 電氣通訊原理和通訊所用週帶	11
第 II.1 節 “直”流電報原理	11
第 II.2 節 聲音和聽覺的基本知識	16
第 II.3 節 電話傳送的原理	17
第 II.4 節 通話時實際上必需的週帶	18
第 II.5 節 高週電流通報通話的原理	20
第 II.6 節 傳真電報的概念	24
第 II.7 節 電視所用的週帶	27
第 II.8 節 有線傳輸原理的任務	28
第三章 均勻回路的電氣性質	30
第 III.1 節 均勻回路的參數	30
第 III.2 節 均勻回路中的瞬變過程的概念	51
第 III.3 節 均勻回路的傳輸方程式	56
第 III.4 節 均勻回路的特性阻抗的週率關係	66
第 III.5 節 均勻回路的傳播常數的週率關係	71
第 III.6 節 均勻回路中的畸變	78
第 III.7 節 均勻回路的輸入阻抗	86
第 III.8 節 依測量得到的斷路和短路阻抗值來確定均勻回路的二次和 一次參數	94

第 III. 9 節	電流和電壓沿均勻回路的變化	98
第 III. 10 節	均勻回路在特高週率下的性質	1 6
第 III. 11 節	均勻回路的工作衰耗	109
第 III. 12 節	架空線路和電纜線路均勻回路的應用	114
第 III. 13 節	同軸回路的概念	116
第 III. 14 節	減小均勻回路的衰耗的方法	120
第四章	不均勻回路	130
第 IV. 1 節	混成(不均勻)回路的概念	130
第 IV. 2 節	集總加感回路的一般概念	140
第 IV. 3 節	集總加感回路的傳輸方程式	142
第 IV. 4 節	集總加感回路節的傳輸常數	145
第 IV. 5 節	集總加感回路的特性阻抗	150
第 IV. 6 節	集總加感回路的一次參數	152
第 IV. 7 節	集總加感電纜回路中的畸變	157
第 IV. 8 節	沿集總加感電纜回路的通訊距離	159
第 IV. 9 節	架空線路中的介入電纜	162
第五章	“直”流電報	166
第 V. 1 節	電報訊號畸變的原因和電報傳輸的特點	166
第 V. 2 節	電流增長曲線的定義	167
第 V. 3 節	曲線相加法	174
第 V. 4 節	確定通報速度的實用規則	176
第六章	電話回路間的相互串音影響和減小這種影響的方法	180
第 VI. 1 節	回路間串音影響的起因	180
第 VI. 2 節	電容和磁感耦合係數	184
第 VI. 3 節	回路間的串音影響方程式	188
第 VI. 4 節	串音衰耗的計算值和標準	201
第 VI. 5 節	交叉程式和它的代表符號的概念	212
第 VI. 6 節	交叉回路間的近端串音影響方程式	216
第 VI. 7 節	各種交叉程式的分析	220
第 VI. 8 節	由於回路的交叉而附加的串音衰耗數值表	226

第 VI. 9 節	音週電話回路交叉程式編排方法舉例	229
第 VI. 10 節	由於線路構造的不均勻而附加的近端串音影響	231
第 VI. 11 節	交叉回路間的遠端串音影響	233
第 VI. 12 節	由於電流波自回路終端的反射而附加的遠端串音影響	234
第 VI. 13 節	經過第三回路的遠端串音影響	235
第 VI. 14 節	在增音站內銅線回路間的串音影響	238
第 VI. 15 節	通高週的銅線回路交叉程式的編排方法舉例	240
第 VI. 16 節	電纜的平衡的概念	241
第 VI. 17 節	電纜回路中的串音衰耗	245
第七章	最簡單的電氣通訊網絡(二端網絡)	253
第 VII. 1 節	二端網絡的概念	253
第 VII. 2 節	二端網絡的幾種應用	261
第 VII. 3 節	沒有電阻的二端網絡	278
第 VII. 4 節	依已給的阻抗週率關係計算具有電抗元件的二端網絡	288
第八章	四端網絡	290
第 VIII. 1 節	四端網絡的一般概念	290
第 VIII. 2 節	最常用的幾種無源四端網絡	292
第 VIII. 3 節	等效發電機定理	300
第 VIII. 4 節	四端網絡的輸入阻抗和特性阻抗	302
第 VIII. 5 節	四端網絡的傳輸常數和傳輸方程式的一般形式	307
第 VIII. 6 節	四端網絡的串聯	313
第 VIII. 7 節	四端網絡的工作衰耗和介入衰耗的概念	315
第 VIII. 8 節	對稱假線的計算	320
第 VIII. 9 節	用來配合阻抗的自耦變壓器及中繼線圈	323
第九章	電氣濾波器	334
第 IX. 1 節	電氣濾波器的概念	334
第 IX. 2 節	濾波器的傳通條件	337
第 IX. 3 節	常數 K 濾波器	341
第 IX. 4 節	m -推演濾波器	363

第 IX.5 節 濾波器中的損耗的概念	384
第 IX.6 節 石英濾波器的概念	388
第 IX.7 節 濾波器的並聯工作的概念	395
第十章 用來減小週率畸變的四端網絡	402
第 X.1 節 減小幅度畸變的四端網絡	4 2
第 X.2 節 減小相位畸變的四端網絡	411
附錄	425
I) 雙曲線函數的性質	425
II) 複數和複數在對數尺(計算尺)上的計算方法	434
III) 雙曲線函數和三角函數表	445
譯名對照表	446

第一章 電報電話通訊的發展

第 I.1 節 歷史簡述

有線電氣通訊的起源遠在 1836 年，那一年我們的同胞席林 (П. Л. Шиллинг) 已在彼得堡組織了電報通訊 (席林在 1832 年就已經發明了電報機)。此後，院士雅可比 (Б. С. Якобъ) 的工作對電報的發展起了很重大的作用，他在 1850 年製成了第一部電報打字機。

近代電話機的原形在 1876 年就已經發明了。但是利用那種電話機只能在很小的距離內組織通訊。因此那時科學和技術思想都緊張地來研究增大電話通訊距離的問題。在 1878 年發明了微音機，它和變量器配合應用使得電話通訊距離能夠大有增加。譬如，在 1878 年夏，在維堡附近，俄羅斯的研究家曾進行了電話機械的實驗，其通話距離達 30 公里。

我們的同胞高魯比茨基 (П. М. Голубицкий)、格窩茲捷夫 (Е. И. Гвоздев)、依格納基也夫 (Г. Г. Игнатьев) 等在通訊方面的工作有很大的成就。1880 年高魯比茨基試驗了他所倡議的在較遠距離內通話的電話機。依格納基也夫在 1880 年 3 月 29 日在基也夫斯基大學第一次實驗了同時通話和通報的儀器，在 1881 年初他又在長度為 14.5 公里的單根導線上進行了同時通話通報的試驗 (那時已經能在很長的距離內通報了)。1887 年格窩茲捷夫提議“線條同時用來通靜電電壓 (低電壓) 和感應電壓 (高電壓) 電流的制度”。這位天才研究家的工作

使得在 1889 年在彼得堡和莫斯科之間能夠進行通話實驗。

我們這時代最大的一個發明——波波夫在 1895 年的發明無線電——使得人們在很長的距離內不用導線就能組織電報通訊。到那時為止，有線電報通訊距離已經達到了上千公里。電話通訊能達到幾百公里。像 1898 年建築完畢的彼得堡—莫斯科架空線路那樣的電話線路在俄羅斯要算是最長的了。至於沿電纜線路的通話距離則還不超過幾十公里。

1893 年由理論的研究確定了將電話通訊距離增大幾倍的可能性。遵照這些研究，在 1900 年倡議了用在電話回路中接進電感線圈的措施來人為地增大電感的方法，這方法使得在電纜中的電話通訊距離增加至四倍。

對增大有線電話通訊距離有決定性意義的是在 1904 年發明、而在 1912—1913 年實際採用的電子管。在俄羅斯第一批電子管在無線通訊方面是由帕巴來克西（Н. Д. Папалекси）而在有線通訊方面是由克瓦林可夫（В. И. Коваленков）在 1914 年製造和採用的。

俄羅斯專家在有線傳輸的理論方面也有很大的貢獻。譬如，伏依納羅夫斯基（П. Д. Войнаровский）還在 1896 年就已經出版了一本電話傳輸理論方面的巨大著作。在蘇維埃年代中許多天才的專家在有線傳輸方面已經編著了許多理論著作。其中首先要提到的是克瓦林可夫、阿茲布金（П. А. Азбукин）、阿庫利興（П. К. Акульшин）、巴依夫（Н. А. Басв）、齊姆巴利斯泰（М. Г. Цимбалистый）、捷里雅赫（Э. В. Зелях）等的科學著作。有線電傳輸理論中的像架空通訊線路電話回路間的相互串音影響那樣的問題在蘇聯最先是由阿庫利興來研究和發展的。

應該指出，雖然俄羅斯科學家在電訊理論的發展中起了很大的作

用,但是沙俄的電訊技術比西歐和美國的技術要落後的很多。造成這種情況的原因是沙俄執政者在工業中專憑指靠採用外國資本的政策。只要提出這樣的一件事就足夠了,只在1913年,由於著名的無線電專業科學家舒烈依金(М. В. Шулейкин)、伏洛金(В. П. Вологдин)、切克林斯基(Н. Н. Циклинский)、彼得羅夫斯基(А. А. Петровский)等的努力才能將“無線電報機庫”(作坊)改組成海軍總部的無線電報工廠。

在偉大的十月社會主義革命以後,電氣通訊和通訊器材工業的蓬勃發展才真正的開始了。也即開始了這樣的時代,它不但無限地加強了俄羅斯科學在電訊方面的作用,並且還顯露了祖國技術和通訊器材工業的發展的無限可能性。

1917年在線路上實驗了克瓦林可夫所創製的電話放大器。1922年,這個放大器依照列寧所簽署的勞動國防委員會1921年10月5日的決定而安裝到莫斯科—彼得格勒電話幹線上。

電話增音機(放大器)的採用在最初就保證電話通訊在電纜線路中能通達約1000公里,在銅線架空線路中能通達2500—3000公里。由於通訊制轉換到了四線通訊制,所以實際上不論距離多遠,有線電話通訊已經變成可能的了。

長途通訊此後就沿着最有效地利用線路設備的道路發展着,也就是沿着組成高頻多路通訊制的道路發展着。

由於共產黨英明的政策,蘇聯人民在第一個和第二個五年計劃中就建成了自己的重工業及機械製造業;而在這個基礎上,與別的部門相並列地建立了祖國的通訊器材工業。同時也完成了組織新的通訊科學研究院的巨大工作。

蘇聯長途通訊科學和技術的成就使得世界上最長的電話幹線能以

運用，這些幹線上裝置的都是祖國自製的機械。

在偉大衛國戰爭的年代中，通訊工作人員勝利地完成了共產黨和蘇維埃政府所規定的任務。

馬林科夫同志在第十九次黨代表大會上關於聯共（布）中央工作的總結報告中說：“蘇聯以歷史性的勝利結束了這次戰爭以後，就進入了本國經濟發展的新的和平時期。蘇維埃國家依靠它自己的人力物力，沒有外來的援助，在短期內就恢復了被戰爭破壞的經濟，並使之向前發展越過了戰前的經濟指標”。^①

和其他技術部門的發展同時，通訊技術也用更快的速度發展着：已經組織了新的多路電話電報通訊機械、完美的區內電話通訊自動制機械、更完善的市內自動電話局以及高週通訊電纜的大批製造，已經更廣泛的發展了高週電纜幹線的建築。

幾十位科學工作人員和通訊器材工業的工作人員已經由於新式機械的研究、建立及運用方面的成績而得到了崇高的稱號——斯大林獎金獲得者。

第 I. 2 節 現代的電氣通訊

國家機關、經濟與社會組織、千百萬勞動人民都要利用通訊設備。列寧在指明通訊在社會主義國家的條件下的意義時說：“社會主義而沒有郵政、電報、機器——那就只能是空談”。^②

在社會主義建設的年代中，我們的一切通訊資料都有了不平凡的發展。長途電報電話線路長度增大了許多倍。在城市和鄉村中，電

① Т. М. Маленков: “在第十九次黨代表大會上關於聯共（布）中央工作的總結報告”。國家政治書籍出版局，1952年，第55頁。

② 列寧文集第27卷，第四版，278頁。

報企業和通話局站網都已經有了擴展。在城鄉無線電化方面也取得了很大的成功。

戰後，通訊事業由祖國先進的技術全面地裝備起來了。架空和電纜線路新的載波制，新的電報通訊自動化機械，新的無線通訊、無線廣播和電視的發射和接收裝置等都已經進入運用。

改善企業實際領導的一個重要手段——用戶電報已經得到了廣泛的採用。

馬林科夫同志在第十九次黨代表大會上關於聯共（布）中央工作的總結報告中指出：“戰後幾年中，諸如郵政、電報、電話和無線電之類的通訊工具進一步發展了。全國的電話和電報網擴大了，城市電話的通話能力也提高了。現在所有的區中心與州中心之間都有了電話和電報聯繫；村蘇維埃和農業機器站裝設電話的工作也基本上完成了。無線電收聽網現在幾乎是1940年的兩倍”。^①

那樣，由於共產黨和蘇維埃政府的經常關懷與對通訊工作人員的幫助，現在已經具備了通訊設備為居民和國家機構作文化服務的條件。

許多大大小小的電話局、電報中心局、區內通訊支線網的建立以及通訊距離的增長，使得國內任何居民區間在最近的將來都能實現電氣通訊。在許多場合下這種電氣通訊應當是綜合的，即無線有線兼用的通訊。

爲了要在大城市中組織電話通訊，人們建造着自動電話局和電纜網。實際上，要把離城市幾十公里的無線電用戶接到城市電話網內也是可能的。現在遠近距離的電報、電話和不活動畫像的傳輸（傳真）大部是用有線來實現的。無線電通訊在州內的通訊中尤其是在長途通

^① Г. М. Маленков, “在第十九次黨代表大會上關於聯共（布）中央工作的總結報告”。國家政治書籍出版局，1952年，第61頁。

訊中有着很廣泛的發展。

地方有線電話通訊(城市內的通訊)和一般來說距離不大(約幾十公里)的電話通訊是沿着越來越多地應用自動儀器來代替接線的人工勞動的道路發展着。長途電話電報有線通訊是沿着越來越多地應用電子管和電氣濾波器的道路,也就是沿着增大通報通話的路數的道路發展着。現在銅線回路正用來同時組織幾十路甚至上百路的電話電報通訊。在不同的城市中的兩個用戶的接通以及電報的轉發都越來越自動化了。

近距離(幾十公里)的活動影片的傳輸(電視)現在是用無線來實現的。但是短距離和特長距離的電視用同軸電纜和波導管也是可以實現的。

無線廣播的意義是大家都知道的;但是有線廣播(在城市內、村內以及相距不遠的居民區間)的意義也不比它小。

第 I.3 節 電氣通訊電路圖

近距離的有線電話通訊,即城市內的、近郊的或區內的(不用變換週率的)通訊是依照圖 I.1 所示概要圖來組織的。

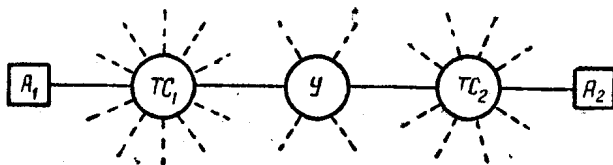


圖 I.1 市內電話通訊概要圖

某一部用戶電話機 A_1 以雙線線路和電話局 TC_1 相聯接。電話局 TC_1 又以幾條中繼線路和中心局相聯接。包括在第二個電話局 TC_2 中的另一部用戶機 A_2 也正是這樣地和中心局相聯接的。電話

局 TC_1 , TC_2 和 Y 中集中着接通用戶用的所有機械。這些機械由話務員(在人工局的情況下)或用戶自己(在自動局的情況下)來控制。

在大城市中可能有幾個區分局($TC_1, TC_2, TC_3, \dots, TC_n$), 也可能有幾個中心局。大型市內電話網中電話機的數目可能達到幾十萬甚至於上百萬。在小城市內常常只要造一個電話局(在城市中心附近)並將所有的電話機都接到那個局子裏去就可以了。

圖 I. 1 中以虛線表示其他用戶線路(將電話機和局站相聯接的線路), 聯接中心局和其他區分局的諸中繼線路在圖中都沒有表示出來。假使沒有電話局和接通用戶線路的相稱機械的話, 那麼就會不得不用導線將每一部用戶機和其餘各部用戶機聯接起來, 而在這上面化費掉非常多的有色金屬。此外, 每個用戶那裏就會必須按裝上許多電鍵和相稱的訊號設備。

因為用戶們不是全體同時都說話的, 所以需要的中繼線比用戶線要少的多。此外, 許多中繼線還可以結合成一簇(敷設在局間某路線上的一條或幾條電纜)。在大城市中依圖 I. 1 來組織電話通訊的方便和經濟之處也就在於這個地方。

在原理上用戶電報也是依照圖 I. 1 來實現的。

在長途通訊制內, 兩個地方之間的電氣通訊可以按照圖 I. 2 來實現。

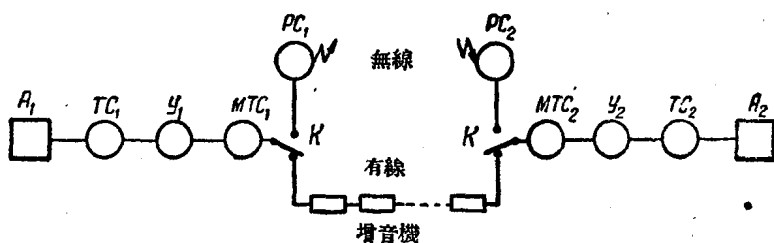


圖 I. 2 長途電話通訊概要圖

用戶電話機像上面所說那樣地和長途電話局（簡單地以 MTC 表示）相聯接（見圖 I. 1）。自 MTC_1 至 MTC_2 的通訊可以用有線也可以用無線來實現。在用有線實現通訊時，一般來說，彼此相隔一定的距離要裝設中間增音機；增音機的數目則由需要組織通訊的兩地相隔距離、通訊線路所用載波制和線路的型式（架空明線或電纜）來決定。

在用無線實現通訊時（圖 I. 2 中電鍵 K 在上方位置時），無線電台 PC_1 和 PC_2 之間在必要的時候可以裝設所謂轉播（收發兩用）電台。在無線電台 PC_1 和 PC_2 中，低週電流（電話通話或電報傳輸用的電流）利用專門的機器而轉變成週率較高的載波電流，因為天線幾乎根本不能放射和低週電流相當的電磁能，所以不用導線的話這電磁能就會不能很好的傳播。

在沿導線通話通報時，週率的變換並不是一定需要的（增音機可以放大低週電流）。但是現在所有的有色金屬（主要是銅）的長途通訊線路都是用多路電話電報高週制來加以充分利用的。因此實現長距離有線通訊時基本上是將週率加以變換的。變換週率使得在一對導線中能同時組織若干個電話電報通訊電路。通高週制載波的回路上所裝設的中間增音機能將所有各通訊電路的電磁能都加以放大。

我們來說明一下多路通話通報時變換週率的意義。假定沿一對導線必須要組織五個電話通訊。為此在每個地方就必需有五部電話機。如果這些電話機都並聯到連接兩個地方的線對上並允許所有的用戶都同時說話的話，那麼所有五個電話通話在所有十個電話機內將都能聽的到。很明顯的，沒有一個用戶能聽懂什麼。那麼怎麼辦呢？

應該使每個電話傳輸各有它自己的特殊性；而利用週率變換的辦法就能使它們具有這種特殊性。

和音能轉變到電磁能以及反過來從電磁能轉變到音能同時進行着