

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. КОЩЕЕВ 著

呂 惠 民 譯



龍 門 聯 合 書 局

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

龍門聯合書局

本書係根據蘇聯國營通訊及無線電出版社 (Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио) 出版的克謝也夫 (И. А. Кошечев) 著, 阿庫利興 (П. К. Акульшин) 校訂的“有線傳輸原理” (Теория связи по проводам) 1945 年版譯出。原書經蘇聯人民委員會全蘇高等教育委員會審定為通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。

有線傳輸原理

ТЕОРИЯ СВЯЗИ ПО ПРОВОДАМ

И. А. КОШЕЕВ 著

呂惠民 譯

★版權所有★

龍門聯合書局出版

上海南京東路61號101室

中國圖書發行公司總經售

集成印製廠印刷

上海河南北路365弄17號

1953年9月初版

印數 2,001—4,000 冊

1953年11月再版

定價 ¥ 20,500

上海市書刊出版業營業許可證出 029 號

中央人民政府高等教育部推薦 中等技術學校教材試用本的說明

充分學習蘇聯的先進經驗，根據國家建設需要，設置專業，培養幹部，是全國中等技術學校調整後的一項重大工作。在我國中等技術學校裏，按照所設置的專業試用蘇聯教材，而不再使用以英美資產階級教育內容為基礎的材料，是進一步改革教學內容和提高教學質量的正確方向。

一九五二年九月二十四日人民日報社論已經指出：‘蘇聯各種專業的教學計劃和教材，基本上對我們是適用的。它是真正科學的和密切聯繫實際的。至於與中國實際結合的問題，則可在今後教學實踐中逐漸求得解決。’我們現在就是本着這種認識來組織人力，依照需要的緩急，有計劃地翻譯蘇聯中等技術學校的各科教材，並將陸續向全國推薦，作為現階段我國中等技術學校教材的試用本。

我們希望：使用這一試用本及今後由我們繼續推薦的每一種試用本的教師和同學們，特別是各有關教研組的同志們，在教學過程中，對譯本的內容和譯文廣泛地認真地提出修正意見，作為該書再版時的參考。我們並希望各有關教研組在此基礎上逐步加以改進，使能結合中國實際，最後能編出完全適合我國需要的新教材來。

中央人民政府高等教育部

校訂者的話

中等通訊技術學校教學計劃中所規定的“有線傳輸原理”(Теория связи по проводам)這門課程，是培養學員具有專業知識的基本課程之一。但是到目前為止，“有線傳輸原理”課程還沒有一本既能滿足教學大綱的要求，又能在敘述的方法方面使中等技術學校學員易於了解的、審定的教科書。莫斯科通訊工程師大學副教授克謝也夫(И. А. Кошечев)所寫的這本教科書，完全符合於“有線傳輸原理”課程的教學大綱，其敘述的方法使中等技術學校學員完全能夠懂得，並且是以通訊技術現代的成就的水平為基礎的。這本教科書的每一章都附有例題的解答，這就應該使得學員在研讀本課程時方便的多。

著者和校訂者歡迎中等技術學校的教師和學員、以及一切利用本課本的同志，能將他們自己的意見通知通訊出版社(莫斯科，基洛夫大街40號)，我們一定感激地接受。

技術科學博士 阿庫利興教授(П. Акулышин)

目 錄

第一章 通報通話的方法	1
1. 現代的電氣通訊	1
2. “直”流電報原理	3
3. 聲音和聽覺的基本知識	8
4. 電話傳送的原理	9
5. 通話時實際上必需的週帶	10
6. 高週電流通報通話的原理	12
7. 有線傳輸原理的任務	15
第二章 無源四端線網	17
8. 二端網絡的概念	17
9. 四端網絡的一般概念	21
10. 最通用的幾種無源四端網絡	23
11. 賽文寧定理	31
12. 電話傳輸的質量	33
13. 四端網絡的輸入阻抗和特性阻抗	36
14. 四端網絡的傳輸常數和傳輸方程式	41
15. 雙曲線函數的性質	46
16. 四端網絡的串聯	52
17. 工作衰耗和介入衰耗的概念	55
18. 對稱假線的計算	59
第三章 均勻線路	64
19. 均勻回路的概念	64
20. 均勻回路的參數	64
21. 均勻回路中的瞬變狀態的概念	84

22. 均勻回路作為無源四端網絡的串聯	89
23. 均勻回路的特性阻抗	91
24. 均勻回路的傳播常數	99
25. 均勻回路中的畸變	108
26. 均勻線路回路的傳輸方程式	117
27. 均勻線路回路的輸入阻抗	118
28. 均勻回路的工作衰耗	126
29. 同軸電纜回路的觀念	130
第四章 電氣濾波器	136
30. 電抗二端網絡	136
31. 依已給阻抗週率關係實現電抗二端網絡	145
32. 電氣濾波器的概念	147
33. 濾波器的傳遞條件	150
34. 常數 K 濾波器	154
35. m -推演濾波器	175
36. 濾波器中的損耗的觀念	195
第五章 加感電纜回路	199
37. 人為增大電感以減低衰耗	199
38. (集總)加感回路	201
39. 加感回路的參數	208
40. 加感電纜回路中的畸變	212
41. 沿加感電纜回路的通訊距離	214
42. 均勻加感回路	217
43. 架空線路中的介入電纜	220
第六章 “直”流電報	229
44. 電報訊號畸變的原因和電報傳輸的特點	229
45. 電流增長曲線的定義	230
46. 曲線相加法	237
47. 確定通報速度的實用規則	239

第七章 電話回路間的相互串音影響和減小這種影響的方法 … 243

48. 回路間串音影響的起因	248
49. 各種回路間的近端影響的比較	244
50. 不交叉回路間的影響方程式的推演	249
51. 單線及雙線的未交叉的電氣上長的同路間的近端串音衰耗	257
52. 交叉圖及其所用符號的概念	266
53. 確定交叉回路間串音影響的公式的推演	269
54. 各種交叉程式的分析	273
55. 由於回路的交叉而附加的串音衰耗數值表	279
56. 普通電話回路交叉程式編排原理	282
57. 由於線路構造的不均勻而附加的近端串音影響	285
58. 未施行交叉回路間的遠端影響	287
59. 交叉回路間的遠端影響	291
60. 由於電流波自回路終端的反射而附加的遠端影響	292
61. 經過第三回路的遠端影響	293
62. 在增音站內銅線回路間的影響	296
63. 通高週的銅線回路交叉程式的編排原理	299
64. 電纜的平衡的概念	300

附 錄

1. 複數和複數在對數尺(計算尺)上的計算方法	305
2. 雙曲線函數和三角函數表	315
3. 在 800 赫芝下, 心線直徑不同的對稱電纜的電氣性質	316

第一章 通報通話的方法

1. 現代的電氣通訊

在現代，如果沒有完美的、運用自如的電氣通訊，國家的政治、經濟與文化生活是不能想像的。世界各國人民間的國際、政治、經濟、文化關係都需要優良的、跨洲越洋長達幾萬公里的電氣通訊。事情歸結於：要使地球上任一地點的居民，有可能和相距一萬至一萬二仟公里的另一居民區的居民相連系；要使在地球上任一地點的人，有可能從大政治中心聽到最新的消息。應該使火車、遠洋航船、飛機等的事務性和文娛性的經常連系得到保證。要使離政治中心千里外的城市中的中央報紙，在2—3小時後，就能出版。在任一中心城市發生的政治上的和文化上的大事，要讓在事情發生時，離發生事情的地點千里外的人們獲知。

將有線電訊和無線電訊結合起來，並更充分地運用電子管、電氣濾波器、電磁鐵和繼電器等，所有上面所說的一切全是可以達到的。現代的和將來的電訊——這就是與電磁能之有線無線傳播原理相聯合的遠程控制與自動操作原理的結合體。長距離的有線通訊比無線通訊要來得穩定可靠一些，而在越過海洋的通訊中，無線通訊常常是比較經濟一些。爲了組織大城市中的電話通訊，人們建造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市內電纜網內也是可能的。活動影片的傳輸（電視），尤其是在幾十公里半徑內的電視，

在現在是用無線電來實現的；但是用傳輸線，用同軸電路，也可以在短距內，以及非常長的距離內，傳通電視。

無線廣播的意義是大家都知道的，但是有線廣播（在城內、村內以及在常常相距很遠的居民區間）的意義不比它小。

由此可見：在現代，電氣通訊是有線和無線綜合的，在某些情況下，有線部份佔優勢，而在另一些情況下，無線部份佔優勢。

但是，像遠近距離的通報、通話及非活動照片的傳輸（傳真）等電氣通訊，在現在，在較大的程度上，是用有線來實現的，雖則線路建築上消耗的材料比較多。這是因為：增加無線電發射電台的數目時，相互間的干擾就要增大；同時，用無線電通話只要有收音機，聽到的人就可能比較多一些，此外還有其他等等理由。

地方有線電話通訊（市內通訊）和一般來說相距不遠（約幾十公里）的電話通訊，是沿着自動化的道路發展着，也就是沿着越來越多地把接通用戶的人力勞動用自動機械來代替的道路發展着。長途電話電報有線通訊是在越來越多地應用電子管和電氣濾波器的基礎上發展着，也就是沿着增多通話通報的載波路數的道路發展着。現在，銅線回路（電纜回路或架在電桿上的架空回路）正用來同時組織幾十路甚至上百路的電報電話通訊。譬如說，在那些幹線，像：莫斯科——塔什干，莫斯科——梯比里斯，莫斯科——伯力等幹線上，現在都已經裝上了多路電話電報機械。

將來，這種幹線還要在更大的程度上利用載波。那時，相隔上萬公里的若干對用戶能夠同時沿一對導線來通話。接通住在不同城市中的二個用戶的工作，要在更大的程度上自動化起來；也就是，譬如說，要接通莫斯科的用戶和列寧格勒的用戶時，將來只要莫斯科用戶取下話機筒，撥完列寧格勒用戶的適當號碼，就足夠了。

2 “直”流電報原理

最簡單的“直”流電報通報過程是依照圖 1 中所表示的簡圖來實現的。二個站用一根導線相連(大地是第二根導線),在每一個站裏都有電鍵 K (發報用),電池 E 和帶銜鐵 M 的電磁鐵(收報用)。撤下電鍵 K , 電流就流通了,自電池 E 的一極,經過電鍵接點,導線,另一站的電磁鐵 M 和大地(如果回路由二條線構成,就經過另外一條線),流回到電池的另一極。經過第二站電磁鐵的電流,的確是要比經過發報站電鍵的電流來得小一些,因為有一部份電流流經不完善的絕緣(譬如說,經過裝有隔電子的電桿),而沒有達到接收站;但是這並不影響我們的結論的正確性。電流流經電磁鐵(雖然電流比導線起端的電流要小一些),電磁鐵就吸動銜鐵,銜鐵就產生一定的動作,譬如,在移動的紙帶上印上直線。假使把電鍵抬起來(如圖 1 所示),導線和電磁鐵裏就

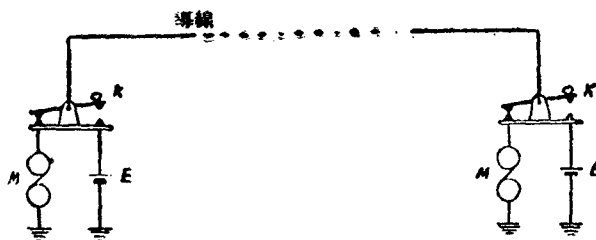


圖 1 “直”流通報電路圖

沒有了電流,電磁鐵的銜鐵就回到原來的位置上,在移動的紙帶上的直線就中斷了。這樣,撤下、抬起電鍵,就可以發送不同長度的脈衝電流,而在接收站的移動紙帶上得到斷續的直線。例如,先將電鍵撤下一個短時間,然後抬起電鍵經過同樣長的時間,最後,撤下電鍵,撤的時間是第一次撤的時間的三倍(撤完了就抬起來)。我們在線路上就送出了二個電流脈衝,和字母“a”相當;在這情況下,在移動的紙帶上就印

上了一點一劃。用電傳打字機通報時，發送的也是有一定組合的電流脈衝。

於是，直流發報——這就是把不同組合的，不同長度的，電流脈衝發送到線路上。

所有這些電流脈衝的組合，全可以依照它們的對時間的關係來研究，並且可以在圖上畫出來的。但是，要研究通報的品質的話，研究“點”的發送，也即，有同一持續時間的，脈衝間的間隔也是一樣的電流脈衝，也就足夠了。如果人或者自動機械能夠在最短的脈衝長度下，發送這樣一系列的電流脈衝的話，那末發送任何其他脈衝組合（短的和長的脈衝的組合）就更有了保證；因為在所有其他的情況下，在單位時間內開路閉路的次數要少一些。

均勻的將電池接入與切斷所得到的連串脈衝示於圖 2。在接收站電磁鐵裏的電流脈衝系列，和回路起端的電壓變化是相當的。在單位時間裏脈衝的次數等於 $\frac{1}{2\tau}$ ，因為時間間隔 τ 和電鍵的每一揷和每一放相當（見圖 2）。在單位時間內的脈衝的次數叫做變化的週率，用字母 $f = \frac{1}{2\tau}$ 來表示；時間 2τ 叫做變化的週期。變化的週期以秒來量度，而週率^①以赫芝來量度（每秒變化週期數）。最後，角度 2π (360°) 和一個變化週期相當，角度 $2\pi f$ 就和 f 赫芝相當，這個角度 $2\pi f$ （每秒繞圓周的數目）叫做角週率，以字母 ω 表示。

$$\omega = 2\pi f. \quad (1)$$

把許許多多最簡單的、隨時間的變化而作週期性變化的曲線，和不

① 週率是每秒變化週期數，它的單位是 герц，有的譯週/秒，有的譯週，譯者以為“週/秒”念的不順，“週”似乎說不通，而“赫芝”像其他電磁單位一樣，多適用也會熟悉起來的，所以試譯赫芝。

隨時間的變化而變化的常數值相加，就可以得到圖 2 所示的曲線。為此必須使常數值 $E_0 = \frac{1}{2} E$ ，將每一個週期性變化的曲線用下列乘積來表示：

$$\frac{E_1}{k} \sin k\omega_1 t,$$

其中 $k = 1, 3, 5, 7 \dots$ 。

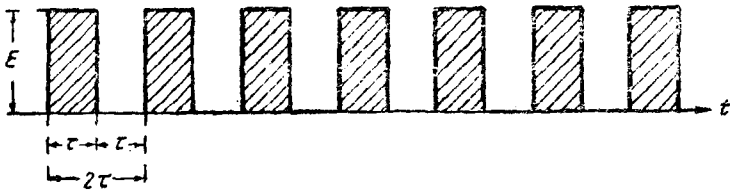


圖 2 在導線起端電壓隨時間的變化

那時，在導線起端的電動勢 $E(t)$ 和時間的關係(圖 2)為：

$$\begin{aligned} E(t) = & \frac{1}{2} E + E_1 \sin \omega_1 t + E_3 \sin 3\omega_1 t + E_5 \sin 5\omega_1 t \\ & + E_7 \sin 7\omega_1 t + E_9 \sin 9\omega_1 t + E_{11} \sin 11\omega_1 t \\ & + \dots \end{aligned} \quad (2)$$

其中 $E_k = \frac{E_1}{k}, E_1 = 0.635 E.$

往一起相加的曲線 $\frac{E_1}{k} \sin k\omega_1 t$ 的數目愈多，所得的結果和圖 2 的曲線愈近似。這一點是可以用圖 3 所示的，將曲線直接相加的方法來證實的。

這樣說來，在“直”流通報時，週期性的發送電流脈衝^①，可以看作不斷的發送直流，同時又不斷的發送很大數目的、各種週率的、週期性變化的電流。這

① 因為電流等於電壓被電阻除，所以可以說電流脈衝。

時,交流電的週率越高,該分量的幅度就越小。

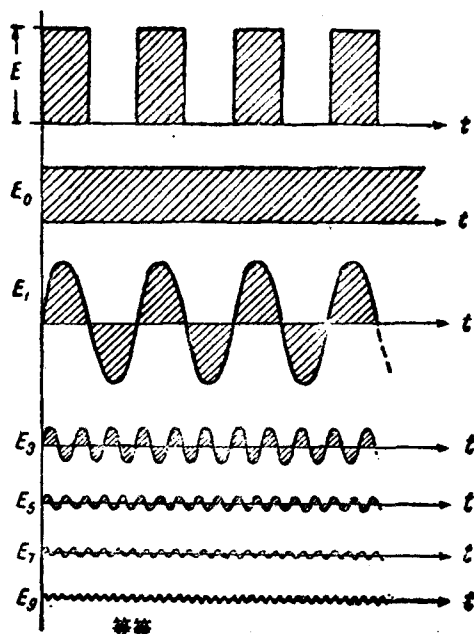


圖 3 導線起端的電動勢諸分量

週期性的撤放電鍵時,圖 1 可以用圖 4 來代替,這兒用並聯的電動勢源 $E_0, E_1, E_3, E_5, E_7, E_9$ 等,來代替電鍵和電池。

從圖 3 和方程式 (2) 可以看出,用數目字 5, 7, 9 等來標明的交流

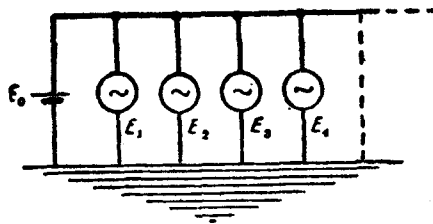


圖 4 直流通報電路圖,和圖 1 等效

電壓分量，由於它們和第一分量和直流分量比較起來很小，所以沒有什麼大的意義。因此實際上認為只考慮頭三個分量 E_0 , E_1 和 E_2 就是足夠的了。將這些分量相加時，我們不能準確的得到圖 2 的曲線，在回路起端的電壓變化形狀就要和矩形的不同，不過實際上對通報的質量並無影響。

從這一節所說的現象可以看出，“直”流電報這一個詞句不能準確的反映現象的本質，因為我們要碰到交流分量（與直流分量同時）；因此把“直”字括在括弧裏。

讓我們來看一看，通“直”流電報時，與我們有關的是什麼週帶。大家都知道，普通的報務員以電鍵工作時，在每分鐘裏發送 120 個符號，也就是每秒鐘 2 個符號。莫爾斯字碼中最短的符號相當於字母“e”（一點），最長的符號相當於字母“w”（四劃）。發送點時，要消耗 2τ 的時間（一個 τ 來發送脈衝，另一個 τ 消耗於脈衝間的片斷）；而發送四劃時，要消耗 16τ 的時間（和一劃相當的脈衝要 3τ ，脈衝之間的片斷要 τ ），也就是，和發送八個點的時間相當。可以認為，莫爾斯字碼的一般符號發送時，要持續 10τ 的時間；這樣的假定有相當的近似性。於是，普通的報務員用莫爾斯電鍵（莫爾斯電碼）可以在一秒鐘內發送 10 個點，這和 10 赫芝的週率相當。

現代的通報方法，採用快速打字機，利用正脈衝間的間隔來發送負脈衝（雙極工作），用別的電碼來通報（電鑰電碼，Бодо 五位符號電碼等），就有可能來顯著地增大通報的速度。現在，有保證的可使通報的速度約和 50 赫芝的週率相當。

實際上，所有的“直”流通報設備和回路，在用人工發送時，依 0 到 40 赫芝的週帶來計算，在以快速機發送時，依 0 到 100 赫芝的週帶來計算，是完全可以的。

3. 聲音和聽覺的基本知識

依靠一個音叉可以得到最普通的一個聲音。每秒振動次數不同的若干個音叉同時振動，可以得到比較複雜的聲音。不管什麼樣的弦樂器的若干根弦同時振動時，也發出複雜的振動。換一句話說，複雜的聲音是由最簡單的週期振動相加而得的。

人類依靠聲帶，喉嚨，顎骨和舌頭，並且用調節呼吸的方法，可以產生各種各樣的、簡單的和複雜的聲音；這些聲音應當看作是幅度和週率不同的簡單振動相加的結果。但是，同一聲音由不同的人來發出的話，發的方法也不一樣。譬如說，和字母 A 相當的聲音可以用 200 赫芝的基本音調來發出（男音），也可以用 400 赫芝的基本音調來發出（女音）。在第一種情形下的聲音的力量要比第二種的要大，而第二種情形下的聲音的高度（聲調，400 赫芝）要比第一種情形的來得高。除此之外，用一樣的力量和聲調高度來發出的聲音，如果它是由不同的人們來發出的話，彼此幾乎總是不一樣的。這種不同叫做音色。很明顯的，在所舉的情況下，除了力量和週率都一樣的基本振動外，還有各種改變音色的附加振動。

Гельмгольц, Крендалл 和其他學者的研究指明，人的說話是由最普通的振動加起來組成的。這些振動的力量強弱不一樣，週率（在 20 至 12,000 赫芝的範圍內）也不是一樣的。

· 由樂器所發出的聲音也大約包含有這個週帶（30—10,000 赫芝）。

聽覺器官——人的耳朵——可以感覺到比較寬的週帶。人的說話的區域無論在聲音的力量方面，和在週率方面，都在以可聞界限和痛苦感覺界限為界的區域內；因此我們不必停留下來仔細研究作為聽覺器官的人耳，只要來講一講非常重要的 Вебер-Фехнер 心理物理學法則

就可以了。按照這個法則，感覺的程度，或者感覺的水準 S ，近似的和引起相稱的刺激的能量的變化的對數成正比。數學上，這個法則可以這樣表示：

$$S = k \lg \frac{P}{P_0},$$

式中， k 是比例係數，由度量單位的選擇來決定； P_0 —最初刺激的能量； P —最後刺激的能量；而 S —刺激提高的程度。

4. 電話傳送的原理

最簡單的通話電路圖示於圖 5。它是由 (1) 與電池 E 及感應線圈 H 的初級繞組相串連的話筒 M ，(2) 包含二條導線的回路和 (3) 耳機 T (接收器) 所組成的。從左至右的通話需要這樣的圖。實際上，話筒和耳機普通是一起放在一個電話機筒裏的，雙線回路也是作為正反二方向通電話之用的。音能是這樣傳輸的；由人的聲音所激起的空氣

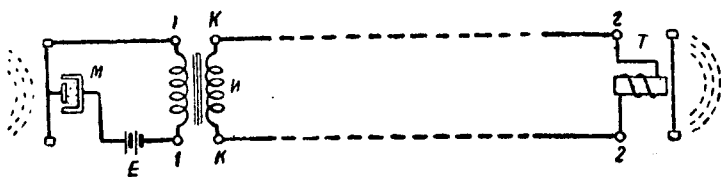


圖 5 通話電路圖

的振動，迫使話筒的薄膜發生振動。在薄膜振動時，加到炭粒上的壓力就改變了，這樣就改變了話筒的電阻。話筒電路裏的電流隨電阻的變化相應而變，直流電就變成了脈動的電流（電流大小是改變的）。在線圈次級繞組的端子上，就產生了交流電流（大小和方向都改變）；這電流沿電路導線而傳輸，並且經過耳機 T 的繞組。因為耳機的鐵心是永久磁鐵，所以磁場只有大小上的變化；不過這變化是和交流電流的變化