

高等學校教學用書

長途電信基礎

上 冊

Н. А. БАЕВ, К. П. ЕГОРОВ 著
天津大學有線電信教研室譯

高等教育出版社

高等學校教學用書



長途電信基礎

上 冊

H. A. 巴也夫, K. II. 依格羅夫著
天津大學有線電信教研室譯

高等教育出版社

本書係根據蘇聯國立電訊學院出版社 (Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио) 出版的 И. А. 巴也夫 (И. А. Баев) 和 К. П. 依格羅夫 (К. П. Игров) 合著的“長途電信基礎” (Основы дальней связи) 1948 年版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為電訊學院的教科書。

本書中譯本分上下兩冊出版。上冊包括五章：第一章為高頻通話的基本原理，從非直線性元件在電話通信中的應用開始，以後說明並比較了頻率變換及邊帶傳輸的基本問題；第二章為長途通信系統的組成，說明了雙向通信與增音、通話要求、高頻傳輸、二次利用等理論；第三章為無源直線性回路的，從長途通信的要求論說了匹配器、差動系統、濾波器、均衡器等理論；第四章為電子管放大器，從對電子管的要求開始直至長途電信中應用的放大器特點都有說明；第五章為頻率變換器，着重於寄生產物的危害性及它們的消除方法。

參加上冊翻譯工作的為天津大學蔡長年、胡筠、陳厚堪、陳慶凱、胡健棟、沈樹壘、王蘊璋等。

長 途 電 信 基 礎

上 冊

書號231·(總209)

巴 也 夫 依 格 羅 夫 著

天津大學無線電信教研室譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠七〇號

(北京市書刊出版業營業證) (證出字第 一四四號)

新 華 書 店 經 售

商務印書館印刷廠印刷

上海天通寺路一九〇號

開本850×1168 1/32 印張8 1/16 字數 45,000

一九五五年二月上海第一版 印數 1-2,500

一九五五年二月上海第一次印刷 定價 14.000

序

沒有優良工作着的通信，工業、農業和國家機關的正常工作是不可想像的。因此，從我國蘇維埃政權建立的開始，對於通信的發展和現代通信設備的裝置問題，即給予極大的注意。特別是在偉大的十月革命以後，長途通信，即指遠距離城市間通信的機械和通路（電話的，電報的，傳真的和廣播的），有了極大的發展。

戰後斯大林的五年計劃，對於長途電信也同樣地給予了極大的重視。在 1946—1950 年的時期內，莫斯科與全部共和國之間，邊區與省區中心之間，以及蘇維埃共和國首都與其省區中心之間的電報，電話通信即將建立起來了。

與發展有色金屬的架空線同時，也在進行着最主要的通信幹線的電纜化工作。

為了順利的發展通信工具的生產和運用，就需要大量的受過高等教育的專門人才。本書“長途通信基礎”是電信技術學院的教本，它是以幫助培養電信學院專門人才以及提高電信操作人員的工作水平為目的的。在本書中，多工電話的基本方法和它與其他通信形式（電報，傳真，廣播）在一對線條上的複用條件，均有所研討。

在理論方面本教程是電氣通信理論課程的繼續。在通信理論課程中對於無源直線性四端體的性質已有所研究，在本書中還要用有源直線性四端體的特點和非直線系統的基本性質予以補充。

在編排上本書較先前出版的有關長途通信的教本有所不同。在討論多工通信的單元電路和機械以前，先將頻率多工法和長途通信系統的組織二者的基本原理加以分析。

在分析機械的特點時，不着重在任何種固定的通信設備型式，

而只在其一般的構造原理上予以研究。各別具體的機械系統僅作爲例子加以討論。

本教本這樣安排是爲促進學生發展獨立從事工程工作的技能。

所有對本書的意見請寄電訊書籍出版社。(Москва, центр, ул. Кирова, 40, Связьиздат)。

上 冊 目 錄

序

緒論	1
----	---

第一章 高頻通話的基本原理	6
---------------	---

§1. 非直線性元件	6
§2. 非直線性元件的畸變作用	8
§3. 非直線性系統在多工通話上的應用。頻率變換	11
§4. 一個邊帶的抑制	16
§5. 沒有載波的單邊帶傳輸	17
§6. 多級頻率變換	20
§7. 被變調的振盪間的相互作用	23
§8. 較高次的非直線性的影響	25
§9. 電壓和電流曲線的形狀	28

第二章 長途電信系統的組成	37
---------------	----

§10. 電信通路的基本概念	37
§11. 放大器的設置。電平圖	38
§12. 雙向作用的放大器(增音機)、差動系統	40
§13. 閉合電系統的穩定條件	42
§14. 雙向作用的通信	49
§15. 電信通路的一般要求	58
§16. 雙向通信的特點	74
§17. 高頻傳輸方法的利用	76
§18. 高頻通信終端設備的一般結構	78
§19. 二次復用	81

第三章 無源直線性四端網絡	86
---------------	----

§20. 變量器	86
§21. 差動系統	96
§22. 傳輸方向選擇電路	101
§23. 濾波器	103
§24. 均衡器	115

第四章 放大器	119
§ 25. 對電子管的基本要求.....	119
§ 26. 電子管的燈絲電路.....	120
§ 27. 電子管的板極電路.....	121
§ 28. 柵偏供給電路.....	121
§ 29. 防衝電路.....	122
§ 30. 放大器的分類.....	123
§ 31. 單管放大器的電壓和電流間的基本關係.....	124
§ 32. 單管放大器頻率特性的計算.....	134
§ 33. 多級放大器.....	142
§ 34. 提高放大器電路直線性的方法.....	153
§ 35. 放大器中的回輸.....	159
第五章 頻率變換器	183
§ 36. 頻率變換器的非直線性元件.....	183
§ 37. 基本的非直線性系統的條件分析.....	191
§ 38. 極式頻率變換器.....	205
§ 39. 無源頻率變換器。變換器的衰減.....	217
§ 40. 氧化銅頻率變換器.....	281
§ 41. 氧化銅頻率變換器電路的平衡.....	238
§ 42. 頻率變換器寄生產物干擾的防止.....	243
§ 43. 有源(電子管的)頻率變換器.....	245

長途電信基礎

緒 論

電話技術的任務是實現兩個用戶間的通話，不管他們相隔多遠都不受限制。那麼，在不大的區域以內的通信（城市的和郊區的通信）建設問題，和在全國領土內任意兩點或全球上的任意兩點的通信（城市間或長途通信）建設問題，都會涉及。長途電話通信是借助架空線路或電纜線路，或借助這兩種線路他們和無線電路的組合應用來進行的。

在長途通信的發展上，下列問題具有極重大的意義：傳輸距離和傳輸質量，線路設備使用的經濟程度及運用上的可靠程度。

自電話發明時（1876年）起，長途通信發展的歷史可分為四個時期在第一個時期（1876—1900）長途通信是專門作為電話通信而發展的。在這個時期內，由於基本上以銅線代替鋼線，由於改進絕緣子的質量，最後由於將單線改為雙線，以及設計了導體交叉制度因而使傳輸距離增加到1,000公里。最後的兩種措施，因為減少了同一架空線上相鄰電路間的相互影響和外來電源干擾的影響，因而使通信質量得到顯著的改進。在這一時期，長途通信祇靠架空線來完成。為了能更經濟的利用導線，在這一時期中採用了皮卡爾電路，在同一回路上同時通電話和電報。

在俄國，首次開放的城市間通話是1898年彼得堡與莫斯科之間的長途通信。

第二個時期（1900—1915）的標誌是實現了關於用人工增加線路電感以減少線路衰減的建議。為了減少線路衰減，蒲平於1901

年提出了將電感線圈按一定間隔連續地插入線路內的方法，這個方法就稱為“蒲平加減法”。架空線的加感使傳輸距離增加幾達一倍，而電纜加感的利用可使其有效傳輸距離增加到四五倍。這樣就有可能使用敷設在城市間的電纜線路，因而大大地節省了每公里迴路銅線的開支；因為按照機械強度的條件架空線的導體應該具有較電纜心線大得多的直徑。地下電纜的應用大大地提高了運轉的可靠性。

應該指出，使用蒲平加感也有不好的後果，即傳輸頻帶的被限制到 1,800 赫及信號傳播速度的降低。後一種情形很不利地影響到不穩定過程的期間，因而造成了產生顯著的電回聲影響的條件。

這個時期內俄國長途電話網稍有發展；已經建立起來並在運用的有彼得堡對洛也文爾及格里新格福爾斯間的通信以及莫斯科對尼日尼·諾夫哥羅得及伊萬諾沃-窩茲涅新斯克的通信。

第三個時期包括 1915 年—1937 年。這個時期最大的特點是這樣一種情況：即世界各國最有名的學者都參加了長途通信問題的研究；電話由應用技術的一部份變為科學的一部份。如所週知，在這個時期，無線電技術的發展已產生了巨大的轉變，它的產生應歸功於偉大的俄羅斯學者 A. C. 波波夫，從此這兩種通信部門便開始很快的發展起來了，而且這兩種發展在很多方面均藉助於幾乎相同的方法。

為了增加通信距離，便採用電子管增音機，因而可以放棄架空線的加感，而用擴大傳輸頻帶的方法來改善傳輸質量。在電纜電路內使用增音機可以減少加感的程度，並且，在稍微增加一些衰減的犧牲下，可以擴大傳輸頻帶和增加信號傳輸的速度。

在 1915 年濾波器發明了。由於這種發明，線路的複用纔有可能，即在同一個雙導體的電路上同時傳輸若干個會話。這種複用係藉助於無線電技術的通信方法，利用了高出聲音頻域很多的頻

率機得以實現的。

增音機的運用甚至可以使線路在任何長度下，得到高級的傳輸質量，這樣便使市內通信網的設計得到便利；而多工通話設備的利用大大地減低了長途通信設備的成本，因為它可以減少每公里通話回路的用銅量。

在目前所敘述的這個時期，各大國家的長途電話通信網都先後建立起來了，而且建立國際間通信網的問題已經提到日程上來，並已解決了。為了解決長途通信的種種問題，擬定各國統一的電氣技術標準以保證高品質的傳輸等問題，在 1924 年建立了國際長途電話諮詢委員會 (МККФ)，蘇聯參加了該委員會的工作。

由於無線電路接入於總的通信網，因而實現了歐洲和美洲間的正規通信。在 30 年代已經由理論和實驗的方法證明，要達到地球上最大距離 20,000 公里的電話通信——相當於赤道長度的一半——也沒有什麼特殊困難。

在這個時期，長途通信出現了若干新的方式，在同一根導體上與電話同時傳送。1922 年研究出了用音頻電流傳送電報的設備，1925 年傳真電報（靜圖片傳輸）以現代化形式出現於世，而在 1930 年建立了廣播節目的有線傳輸。

僅僅是在偉大的十月革命以後，我國纔開始廣闊的發展長途電話以及其他形式的長途通信。

蘇聯的長途電信創始人是：М. В. 庶別金，首先從理論上闡明了頻率變換問題，В. И. 柯瓦連柯夫是無線電話及多工通話方法的發明家；М. В. 史馬可夫，И. А. 阿茲布金，В. Н. 理斯陶夫和 Я. И. 衛里金，他們首次進行了高頻通話制實際運用的試驗，並更進一步地在這方面提出了一系列寶貴的改進；М. Н. 瓦斯濤科夫和 В. Г. 齊爾納賀，在蘇聯工廠裏組織了大規模的長途電話器材的生產。

在這一時期蘇聯長途通信發展的重要階段是：多工電話設備的運用(1924年)和建立長達4,200公里的莫斯科——諾沃西比爾斯克——斯大林斯克的長途通信(1931年)。

長途通信發展的第四個時期大約從1937年開始直到現在。在這一個時期中技術上顯著的特點是：傳輸的通話頻帶大大地加寬，因而改進了語言的自然度；線路利用程度的提高，即依靠加寬用來傳輸若干電話或其他通信信號的總頻帶而使多工程度增加。

將這些特點應用於電纜線路上，使我們懷棄滿不加感而趨向於研究一種能在60千赫的頻帶內容許12路電話同時傳輸的機械(1936年)。在1939年架空線方面也出現了相似的設備，它能容許在36—150千赫的頻帶內在原有的4路通話之外，再同時傳輸12路電話。

到1939年由於一種特殊構造的電纜(即所謂同軸或同心型電纜)的研究結果，可以在高達1兆赫的頻譜內同時傳輸240路電話；並在1至4兆赫的頻譜內傳送電視信號。現代的同軸電纜幹線預計在高達2兆赫的頻譜內，可傳送480路電話。現在正進行着增加使用頻帶的上限至7兆赫的工作。

因此，從所用的通信信號傳輸方法和傳輸該信號所採用的頻率觀點來看，長途通信技術和無線電通信技術間的界限已不存在。由於實踐(電氣濾波器，多極管，特種形式放大器等)的研究與運用)促使了這兩種電氣通信間的活躍混用。於是便出現了所謂無線電中繼線路的長途通信系統的問題。

這一個時期中蘇聯長途通信的發展，繼續猛進。戰前的三個五年計劃中每一個都規定了長途通信的發展。1939年接通了世界上最長的，經常正常工作的莫斯科——哈巴羅夫斯克的有線電話通信(8400 KM)。蘇聯專家們應用國產材料進行了這些幹線的設計和施工，蘇聯電信器材工業的工人們研究並製造了三路多工

電話設備。這種宏偉的通信設備不僅保證了電話，而且也保證了傳真電信，音頻電報及廣播的高級傳輸的品質。

在這一個時期，長途通信的理論家與工程師之間的密切合作表現出了特別的成果。M. I. 齊姆巴里斯特，H. H. 加爾諾夫斯克和Э. B. 澤爾亞赫在通信理論方面的工作，以及И. B. 巴斯克和Г. B. 道布拉瓦涅斯克在頻率變換器理論方面的工作獲得了廣大的聲譽。在長途通信機械的研究方面，Г. Г. 巴羅德茲尤克和B. H. 阿馬蘭特夫進行了巨大的工作。在電話回路間相互影響的理論分析或在減少這種影響的實際措施的研究方面，П. К. 阿庫涅新的工作有巨大價值。1941年，M. Y. 波里亞克領導設計的第一套國產12路多工電話設備轉入運用。一系列的長途電纜幹線也已經投入運用，同時許多新的幹線也在積極建設中。

戰後斯大林五年計劃規定了進一步發展有着重大的政治和國民經濟意義的長途通信。

第一章 高頻通話的基本原理

§ 1. 非直線性元件

凡是參數(電阻 R , 電感 L , 或電容 C)不是定值的, 而是隨流過它中間的電流或者隨加在它上面的電壓而改變的元件, 稱為非直線性元件。在這種元件裏, 電動勢的變化和電流的變化是不成比例的, 那就是說, 電流和電壓的關係不是一根直線。

電路中的全部元件, 在不同的程度上, 都帶有非直線性的現象, 不過這些元件中的大部份, 其構造和物理特性可以使他們中間的非直線性現象忽略不計, 而把他們認為是符合於歐姆定律的。

在長途通信系統中非直線元件的應用是很廣泛的。例如, 用於某些情況下的三極電子管, 氧化銅和全部其他整流器, 在強場下有鐵心的電感線圈(磁導係數依賴於場強), 以薛格涅鹽作介質的電容器(它的介質常數依賴於電場強度)都是屬於這種非直線性元件的。

在圖 1 中表示了若干非直線性元件的電流與電壓關係的特性。

元件的非直線性的程度和特性依賴於作用在它上面的電動勢, 和它的特性曲線上為所加電勢的工作點所佔據的部份。例如, 在用作不希望有失真的放大器的電子管中, 柵極的偏壓和工作電壓的選擇要就是使他們不越出屏流和柵壓關係特性的直線部份。在這一部份, 特性曲線離開直線的偏差不大, 因而屏流曲線的形狀也僅是些微地不同於柵極上所加電壓的曲線形狀(圖 1, u_a 和 i_a 的曲線)。反之, 增加柵偏壓使工作點落在特性曲線較低的彎曲部份, 可以得到相當大的屏流畸變(u_s , i_s , 和 u_o , i_o 的曲線)。

圖 1 中的曲線指明, 在不同的非直線性元件的電路中, 電流曲

線的形態與電壓曲線的形態比較時，它的畸變，可以有不同的性質。但是非直線性元件的特性，在其工作點的地方，常可以近似地以 n 次多項式表出，即方程式

$$i = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + a_3 u^3 + a_4 u^4 + \cdots + a_n u^n. \quad (1)$$

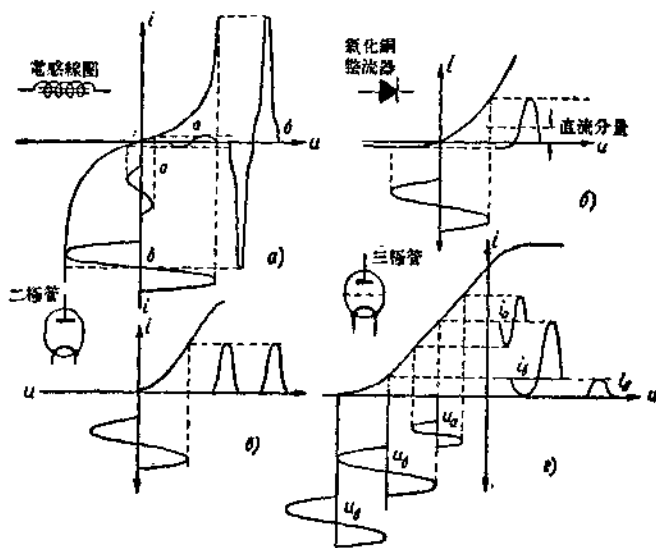


圖 1

係數 $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ 是常數，他們的值和符號依賴於所給的非直線性元件特性曲線的形狀和所選擇的工作點。

係數 a_0 等於在工作點的電流初值，即交流電壓不存在時的電流值

$$a_0 = [i]_{u=0}.$$

a_0 的值決定於工作點的位置，而後者又決定於所給元件上所加的固定偏壓值（例如，在三極管柵極上的偏壓值）。

為了確定常數 a_1, a_2 等等，將方程式(1)對 u 微分

$$\frac{di}{du} = a_1 + 2a_2 u + 3a_3 u^2 + 4a_4 u^3 + \cdots + na_n u^{n-1}. \quad (2)$$

按照微商 $\frac{di}{du}$ 在 $u=0$ 時(即在工作點)的值可以找到常數 a_1 。

$$a_1 = \left[\frac{di}{du} \right]_{u=0}。$$

係數 a_1 有電導的因次，並且決定特性曲線在工作點的斜率。

爲了求出 a_2 將方程式(2)對 u 作第二次微分。

$$\frac{d^2i}{du^2} = 2a_2 + 2 \times 3a_2u + 3 \times 4a_3u^2 + \cdots + (n-1)na_nu^{n-2}。$$

從這裏
$$a_2 = \frac{1}{2} \left[\frac{d^2i}{du^2} \right]_{u=0}。$$

用同樣的方法可以指出

$$a_n = \frac{1}{n!} \left[\frac{d^ni}{du^n} \right]_{u=0}。$$

再寫出方程式(1)並引入係數 $a_1, a_2 \cdots a_n$ 的值

$$\begin{aligned} i = [i]_{u=0} &+ \left[\frac{di}{du} \right]_{u=0} \cdot u + \frac{1}{2} \left[\frac{d^2i}{du^2} \right]_{u=0} \cdot u^2 + \\ &+ \frac{1}{6} \left[\frac{d^3i}{du^3} \right]_{u=0} \cdot u^3 + \frac{1}{24} \left[\frac{d^4i}{du^4} \right]_{u=0} \cdot u^4 + \cdots + \\ &+ \frac{1}{n!} \left[\frac{d^ni}{du^n} \right]_{u=0} \cdot u^n。 \end{aligned} \quad (3)$$

在這方程式的全部項目中，從第三項開始都是非直線性元件畸變作用的結果。

§ 2. 非直線性元件的畸變作用

假使只限於討論電流和電壓間一切可能的非直線性關係中最簡單的形式，即令

$$i = a_0 + a_1u + a_2u^2, \quad (4)$$

則對非直線性元件畸變作用的分析便簡化了。

在許多實用的特性曲線中任何像式(1)的特性，在小的電壓

值 u 的情形下，都可以簡化為這樣的關係。

假定，在特性關係為 (4) 的非直線元件上作用一個正弦電壓。

$$u = u_m \sin 2\pi ft.$$

把這個電壓值 u 代入公式 (4)，使得

$$i = a_0 + a_1 u_m \sin 2\pi ft + a_2 u_m^2 \sin^2 2\pi ft.$$

運用簡單的三角變化，使得最後的結果，如表 1 所示。

表 1

電流 i 的分量表示式	電流 i 的分量名稱	附註
a_0	直流分量	
$+a_1 U_m \sin 2\pi ft$	頻率為 f 的非畸變振盪	
$-\frac{a_2 u_m^2}{2} \cos 2\pi 2ft$	頻率 f 的二次諧波	非直線性畸變的產物，他的出現係由於特性方程式中有二次項
$+\frac{a_2 u_m^2}{2}$	由於具有二次非直線性的元件的整流作用而增加的直流分量	

正弦電壓在非直線性元件上的作用使包含這種元件的電路中出現頻率為原振盪二倍的諧波電流。非直線性畸變的另一產物便是附加的數值為 $\frac{a_2 u_m^2}{2}$ 的直流。這個電流的存在係由於非直線性的平方項（並且也由於它的其他項）的特徵，這些特徵使非直線性元件對於所加電壓相反的兩半波的電導不相同。電流的直流分量的增加稱為整流效應。表明在圖 16, a, z 中的非直線性元件的特性適合於這種現象。假使非直線性是決定於電壓的奇次方，而電流曲線具有對稱的兩個半波，整流效應即不存在。

假設，作用在非直線性元件上的電壓是由頻率為 F 和 f 的兩個波組成

$$u = U_m \sin 2\pi Ft = u_m \sin 2\pi ft.$$

把這個 u 值代入公式(4),得

$$i = a_0 + a_1(U_m \sin 2\pi Ft + u_m \sin 2\pi ft) + a_2(U_m^2 \sin^2 2\pi Ft + 2U_m u_m \sin 2\pi Ft \cdot \sin 2\pi ft + u_m^2 \sin^2 2\pi ft)。$$

經三角變換後,最後的結果可以寫成表 2 的形狀。在這個表中
所引用的公式是由 M. B. 蘇列依肯所指出。

表 2

電流 i 的分量表示式	電流 i 的分量的名稱	附 註
a_0	電流的直流分量	
$+a_1 U_m \sin 2\pi Ft +$ $+a_1 u_m \sin 2\pi ft$	頻率為 F 及 f 的非畸變振盪	
$-\frac{a_2 U_m^2}{2} \cos 2\pi 2Ft -$ $-\frac{a_2 U_m^2}{2} \cos 2\pi 2ft$	頻率 F 和 f 二次諧頻	非直線性畸變的產物,它的出現係由於特性方程式中有二次項
$+\frac{a_2 U_m^2}{2} + \frac{a_2 u_m^2}{2}$	由於有二次非直線性元件的整流作用而增加的直流分量	
$+a_2 U_m u_m \cos 2\pi (F-f)t$ $-a_2 U_m u_m \cos 2\pi (F+f)t$	差數頻率及和數頻率振盪(複合振盪)	

從表 2 可以看到,當兩個正弦電壓作用於二次非直線性元件上時,元件的畸變作用,除了產生二次諧波電流和直流外,還產生兩種電流,他們的頻率是原振盪頻率的差和和。這些差頻及和頻率稱為複合頻率。他們是原振盪相互作用的結果。

表 1 和表 2 容許我們作出一個重要的結論,就是在非直線性的電路系統中,若干作用於這個系統上的具有正弦電勢的電源的能量將分配於這些正弦電流之間,後者的數目顯著地大於電動勢的數目。