

高等学校教学用书

长途电信学

(上册)

原编者：北京邮电学院长途电信教研组

审校者：邮电学院长途电信学教材选编组



人民邮电出版社

PDG

320049
162-
182-
高等学校教学用书

长途电信学

(上册)

原编者：北京邮电学院长途电信教研组

审校者：邮电学院长途电信学教材选编组



1962

103445

D-17-28

內 容 提 要

本书是以北京邮电学院长途电信教研组参考苏联教材，逐年编写并結合教学改革后几次教学实践經驗加以修改的讲义为基础，审校修訂而成。全书共十三章，分上下两册。

本书上册为第一部分，共分七章，首先介紹明线音频通信系統，然后就高频通信系統說明各种制式載波电话机的结构方案；重点闡述載頻供給系統和自动电平調节系統的基本原理、电路分析和設計方法；并討論振鈴系統的工作原理。

下册为第二部分及第三部分，共分五章（第八——十三章）。第二部分介紹长途通路的技术指标，包括长途通路品质的分析以及明线和电纜通路的設計方法，并根据整个系統的质量要求提出群变頻器、濾波器和群放大器的技术要求；第三部分介紹长途通路的运用与維護。包括載波室的設計和會議电话工作原理的一般介紹。最后介紹短距离載波电话系統和电力线載波电话系統的一般說明。

本书适用于高等学校电话电报通信专业作教学用书，也可作为电信工程技術人員的参考用书。

长途电信学(上册)

原編者：北京邮电学院长途电信教研组

审校者：邮电学院长途电信学教材选編組

出版者：人 民 邮 电 出 版 社

北京东四 6 条 13 号

（北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八号）

印刷者：北 京 市 印 刷 一 厂

发行者：新 华 书 店

开本 787×1092 1/32

1962 年 2 月北京第一版

印張 8 6/32 頁數 252 插頁 2 1962 年 5 月北京第二次印刷

印刷字數 219,000 字

印數 2,351—6,056 册

統一書号：K15045·总1278—有270

定价：(10) 1.25 元

前 言

中华人民共和国成立以后，我国长途通信事业有了蓬勃的发展，初步建立了以北京为中心的四级交接辐射制的通信网。尤其自1958年以来，在党的总路线、大跃进、人民公社三面红旗的光辉照耀下，全国邮电职工意气风发，为积极实现在全国范围内建立一个以现代工具为主的四通八达的邮电网而忘我劳动。长途通信事业无论在生产技术上或通路运用维护上，都有了进一步的提高。邮电教育和其他事业一样，也获得了发展，编写高等院校适用的长途电信学教学用书，已深感迫切需要；同时，通过几次教学改革，选编适合我国情况的教材的条件也渐趋成熟。

本书即是在上述情况下由北京邮电学院长途电信教研组以原教学讲义为基础，结合几年来教学实践，并参考苏联教材编写成的。1961年10月在北京邮电学院负责主持下，由长途电信学教材选编组以上述原稿为基础，进行审校修订，作为高等学校电话电报通信专业教学用书。全书共十三章，分上下两册。

本书各章节内容和分量除考虑到教学目的和要求之外，还力求内容符合生产技术发展过程和我国长途电信建设的实际情况。由于明线和电缆的高频通信系统间既有共同点也有显著差别，为避免重复和易于深入比较，本书将这两种高频系统结合起来，按其结构原理、载频供给系统、自动电平调节系统等分别成章进行讲述。另一方面，本书在内容安排上，还通过对高频通信系统理论的分析 and 通路品质以及通路设计的要求，而对长途通信系统构成一个完整的概念；并在这个基础上，引出高频系统、滤波器、群放大器的技术要求。此外在长途通信的运用与维护方面安排了载波室设计和会议电话两章内容。本书最后以电力线载波电话系统和电力线载波电话系统结束，使读者获得更完整的长途电信知识。

参加原稿编写的是北京邮电学院长途电信教研组教师黄庚年、

103445

唐人亨、蹇錫鈞、胡筠、楊自辰、宋亞民等同志。

參加教材選編組的成員是武漢郵電學院教師朱永藩、南京郵電學院教師朱荇泉、重慶郵電學院教師翁則貴、西安郵電學院教師陳厚堪、北京郵電學院教師黃庚年、曹敏立等同志。

參加本書繪圖、繕稿等工作的還有北京郵電學院工程圖教研組的部分教師和同學。參加校對工作的有北京郵電學院的部分同學。

由於編寫和審校的時間都比較短促，本書在內容上或分量安排上一定有不夠妥善甚至錯誤之處。因此懇切希望讀者特別是使用本書的教師和同學，在教學實踐中不斷地提出改進意見，以方便於本書再版時修正。

1961年11月

緒 論

长途电信是指电话、电报、电视、传真、广播等信号的长距离传输。保证这些信号的传输在任何两地之间畅通无阻，是我们长途电信工作者的主要任务。本书供电话电报通信专业教学使用，以讲述有线长途电话机械的原理和有关问题作为基本内容。

我国是一个幅员广大的国家，长途电信及时传达党和政府的方针、政策、指示和命令，调度指挥生产，对社会主义建设起着一定的作用，并适当地满足了人民物质文化生活的需要。随着国民经济的飞跃发展，长途电信也必须不断发展，并且要求做到准确、安全、迅速、方便，不受或少受任何复杂地形及恶劣气候的影响。

为了完成上述任务，对于长途电信设备来说，在保证质量要求的基础上，还必须做到经济上合理。我们电信工作者应该用技术和经济的分析方法，解决长途电信发展中的具体问题。

世界上长途电信的发展可分为两大阶段，第一阶段主要是发展音频通信，第二阶段则以高频多路通信为主。

1918年以前，长途电信线路主要是架空明线。当时依靠改善电话机和线路设备的质量来延长通信距离。同时还开始采用了铅包电缆，以节省线路用铜量。1900年提出线路加感的方法，使通信距离能增加1到3倍；不过由于加感本身所引起的缺点，目前已较少应用。1918—1920年间电子管开始应用于音频长途通信，使通信距离大大增长。在这个时期，一对线上只能通一个电话，长途线路的利用率较低。

1920—1930年期间，长途电信发展很快，无线电技术如放大、振荡、调制、检波、滤波等原理开始应用于长途电信，出现了载波电话、音频电报、传真电报及有线广播等。这时线路利用率大大提高，线路传输频谱更加扩充，载波电话的路数显著增多。1939年同轴电缆载波机开始运用，它可以传输240路载波电话，同时还可以

传输电视信号。这一时期新型载波电话机不断出现。目前对称电缆载波电话机可通 120 路，同轴电缆载波电话机可通 2700 路。

1948 年以后由于晶体管的发展，使得载波机设备中的一些电子管可以用晶体管来代替，这样就使通信设备牢固可靠、寿命增长、体积减小、节省电源。

我国解放以后，在党和政府的重视下，邮电事业有了巨大的发展，逐步改造了旧中国技术落后的面貌，其中也包括长途电信。在三年经济恢复时期和第一个五年计划期间，我国建立了以北京为中心的、四级星接辐射制的长途电信网，并且还形成了国际通信网。在第二个五年计划期间，通过大跃进和技术革新技术革命运动，初步奠定了电信制造工业的基础，长途电信事业又向前迈进了一大步。目前正为在我国建立一个以现代工具为主的四通八达的邮电网而奋斗。

本书主要是为邮电高等院校电报电话专业学生学习长途电信课程所编教材，学习本书后预计可以使学者达到下列三个要求：

1. 对于长途电话系统的组成和特点具有完整的概念，能够对于各种制式载波电话机进行分析比较。了解各种主要部件如载频供给系统、自动电平调节系统的基本原理。对于各种通路的质量指标能够分析比较。

2. 结合电信网络、电子电路等课程，能够掌握载波电话机的变频器、均衡器、放大器、谐波发生器、自动电平调节设备等主要部件的设计或计算的基础。

3. 依照给定数据，能够进行长途电话通路设计。

目 录

前言

緒論

第一章 音频通信系統	1
§ 1-1 音频增音机的构成	1
§ 1-2 差动系統	4
1. 电阻式差动系統原理	4
2. 变量器式差动系統原理	6
3. 平衡衰耗	11
4. 平衡网络	14
§ 1-3 通路的稳定度和淨衰耗	17
1. 稳定度 (振鳴边际)	17
2. 多环路音频通路的稳定度	20
§ 1-4 音频增音机的运用	22
1. 音频增音机的构成方案	22
2. 音频通路电平图	24
3. 通路淨衰耗	26
第二章 高频通信基本原理	28
§ 2-1 线路复用的必要性	28
§ 2-2 单向传输的高频通信系統	29
§ 2-3 双向通信	31
§ 2-4 B-3 型三路載波電話机方框图	33
1. 通話系統	35
2. 載頻供給系統	39
3. 自动电平調节系統	40
4. 振鈴系統	41
§ 2-5 B-3 型載波電話机部件分析	42
1. 差动系統	42
2. 限幅器	44

3. 分路变频器及反变频器	47
4. 发送分路带通滤波器	48
5. 群变频器	48
6. 群放大器	51
7. 接收分路带通滤波器	54
8. 反变频低通滤波器	54
9. 音频放大器	55
10. 载频供给系统	56
11. 自动电平调节系统	59
12. 方向滤波器	69
13. 线路滤波器	69
14. 振铃系统	70
第三章 明线和对称电缆高频通信系统	79
§ 3.1 明线12路载波电话机	79
1. 频谱分配	79
2. 变频方案	83
3. BSOJ-12 型十二路载波电话机方框图	90
4. 明线线路的全复用	97
§ 3.2 对称电缆载波电话机	98
1. 对称电缆高频通信系统的特点	98
2. K-12 型载波电话机	100
3. K-24 型载波电话机	102
4. K-60 型载波电话机	108
5. 120 路电缆载波电话机概念	118
第四章 载频供给系统	120
§ 4.1 对载频的基本要求	120
§ 4.2 载频供给系统方框图及其各部件的作用	122
§ 4.3 谐波发生器	126
1. 对谐波发生器的要求	126
2. 磁饱和线圈谐波发生器的分析	127
3. 磁饱和线圈谐波发生器主要参数的确定	136
§ 4.4 再生式变频器	138

§ 4.5 振荡器的强迫同步	141
§ 4.6 旁频的影响	145
第五章 自动电平调节系统	147
§ 5.1 影响通路电平的主要因素和采用自动电平调节的必要性	147
§ 5.2 自动电平调节系统的组成和工作原理	150
§ 5.3 典型机电式自动电平调节器的电路分析	153
§ 5.4 典型热电式自动电平调节器的电路分析	157
1. BSOJ 型自动电平调节系统的电路分析	158
2. K-60 型自动电平调节系统的电路分析	160
3. 机电式与热电式自动电平调节的比较	163
§ 5.5 可变均衡器	163
1. 一般原理和基本类型	163
2. 第 I 类型可变均衡器	165
3. 第 II 类型可变均衡器	171
4. 第 III 类型可变均衡器	177
5. 第 IV 类型可变均衡器	181
§ 5.6 导频接收器	184
1. 导频接收器的电路分析	184
2. 热敏电阻桥振荡型扩张器原理	188
3. 变偏压振荡型扩张器原理	192
§ 5.7 导频发生器	195
1. 导频发生器电路分析	195
2. 灯桥恒幅振荡器原理	196
§ 5.8 多个机电式自动电平调节器串接时的动态过程	199
§ 5.9 多个热电式自动电平调节器串接时的动态过程	202
1. 热电式自动电平调节器的环路原理	202
2. 单个热电式自动电平调节器的过渡现象	205
3. 多个热电式自动电平调节器串接时的动态过程	207
§ 5.10 热电式自动电平调节系统的调节过程	209
1. BSOJ 型自动电平调节系统的调节过程	209
2. 对称电缆自动电平调节系统的调节过程	215
§ 5.11 对自动电平调节系统的技术要求	216

1. 调节准确度	216
2. 调节速度	219
3. 调节范围	221
第六章 振铃系统	224
§ 6.1 音频振铃的概念及振铃系统的构成	224
1. 音频振铃方式	224
2. 音频振铃频率的选择	225
§ 6.2 音频铃流源的产生	226
1. 机械断续方法	226
2. 电的断续方法	227
§ 6.3 振铃接收器	228
1. 抑压法振铃接收器工作原理	229
2. 二次选择频率法振铃接收器工作原理	232
§ 6.4 振铃器的联接方式	232
§ 6.5 振铃器的技术要求	234
第七章 同轴电缆高频通信系统	235
§ 7.1 同轴电缆高频通信系统的特点	235
§ 7.2 频谱安排和方框图	237
§ 7.3 通路全程系统	239
§ 7.4 群放大器	240
1. 同轴电缆群放大器的特点	240
2. 线路放大器的工作原理	244
§ 7.5 自动电平调节系统	247
1. 自动电平调节系统的特点	247
2. 自动电平调节系统的基本原理	248

第一章 音頻通信系統

§ 1.1 音頻增音机的構成

长途音頻通信系統中，話音电流直接送到綫路，不經過变化頻率的手續，这是比較简单的一种长途通信方式。

市内电话也是把話音电流直接在綫路上传輸，但是市内电话話距离短，綫路衰耗小，一般話音电流送到接受端，仍能保持一定功率，使收听者仍能感到足够的响度。长途通話因为綫路长、衰耗大，如果綫路衰耗超过一定限度，收听者将不能感到足够的响度，語言就不能被了解。因此，在长途通信中，整个通信系統的衰耗有一定的限度，并在通信系統中各部分分别分配一定的限額，如果实际衰耗超过这些限額，通話质量就不能保証。

如图 1.1 所示，一般規定由用戶到用戶間的衰耗不得超过 3.3 奈（以 800 赫为准），其中长途綫路衰耗分配 1.3 奈，但如果长途交換中心（长途站、长途台）的輸出各有变量器，每一变量器分配衰耗 0.05 奈，那么长途綫路衰耗就应该不超过 $1.3 - 2 \times 0.05 = 1.2$ 奈。

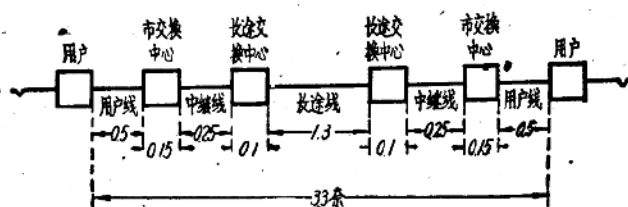


图 1.1. 长途电路的衰耗分配

用 b 表示长途綫路衰耗， β 表示长途綫路每单位长度的衰耗， l 表示綫路长度，那么

$$b = \beta l \leq 1.2 \text{ 奈}$$

$$l \leq \frac{1.2}{\beta}$$

例如线径 4 毫米、线距 20 厘米的铜线架空明线，在 800 赫时， $\beta = 0.00277$ 奈/公里，

$$l \leq \frac{1.2}{0.00277} = 430 \text{ 公里。}$$

由表 1.1 可见，一定的导线可用以通话的距离是有限的，要使通话距离加长，可用下列各种方法之一：

(1) 增加导线线径，(2) 线路加感，(3) 用放大器提高信号功率。第(1)法增加建设费用太多；第(2)法可以减少每公里衰耗，但可增加的通话距离仍不能很大，因此在使用上仍有局限性；第(3)法比较适宜。

各种线路最大通话距离

表 1.1

线路种类	导线种类	导线直径 (毫米)	线距 (厘米)	最大通话距离(公里) $\beta_l = 1.2$ 奈	备 注
明 线	硬 拉 铜 线	4	20	430	
		4	60	515	
		3	20	270	
		3	60	335	
	铜 包 钢 线	4	20	195	铜皮厚 0.4 毫米
		4	60	230	
电 纜	钢 线	4	20	70	
		4	60	80	
	铜 线	0.9	—	18	星 形 四 扭
		1.4	—	28	

不过电子管(或半导体)放大器仅能单向放大信号功率，从栅路里送进功率，可在板路里得到放大的功率；反之，从板路里送进功率，却不能从栅路里得到放大的功率。

图 1.2 中通路是单向性的，即信号只能由 A 端向 B 端传输；这对于传送广播、传真、电视、电报信号而言还是合宜的，但通话是

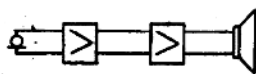


图 1-2 单向音频通路

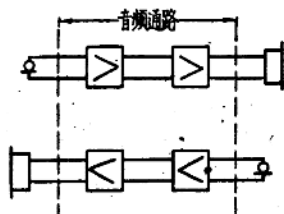


图 1-3 双向音频通路

双向性的，因此，图 1.2 的电路对电话信号的传输却不相宜。图 1.3 所示是可能的双向性音频电话通路，它使用两对线路，一对线路供 A 端向 B 端传输，另一对供 B 端向 A 端传输；这样虽然解决了双向通信问题，然而在实用上是不经济的，因为这样每对用户要使用四根线条，耗费大量的导线。

如果在一对线上实行双向放大，采用图 1.4 的方法也不相宜。图中虽然 A-B 方向信号可以经上面支路放大器放大，B-A 方向信号经下面支路放大器放大，但最大缺点在闭合环路中只有增益而无衰减，从而形成自激振荡而不可能通话。

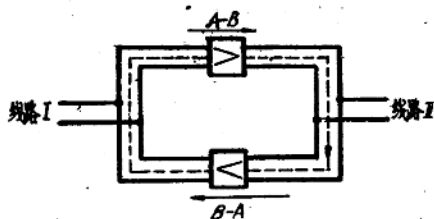


图 1-4 不正确的双向放大

由此可见，既要保持双向放大，而又要避免自激振荡，就必须有一种专门装置，这种专门装置称为差动系统。差动系统与放大器是音频增音机的主要组成部分。在线路中接入音频增音机可以提高信号的功率。

采用差动系统后的增音机方框图示于图 1.5。依据闭合系统自激的理论，要保证稳定，在环路中必须 $K\beta < 1$ ，也就是环路衰减必须大于环路增益。在图 1.5 中环路总增益是

$$\Sigma S = S_1 + S_2 \quad (1.1)$$

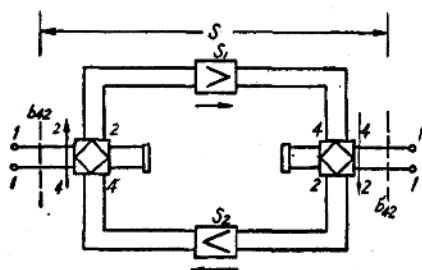


图 1-5 音频增音机的原理图

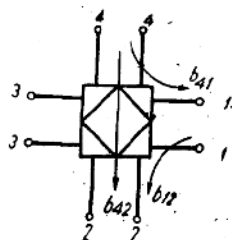


图 1-6 差动系统的损耗要求

环路总衰耗是 $\sum b = b_{42} + b'_{42}$ (1-2)

如果 $\sum b > \sum S$ (1-3)

则增音机可免自激。就物理意义上说，当环路总衰耗大于环路总增益时，在任意瞬间有某一小脉冲发生时，这一瞬时脉冲经环路放大和衰耗，但因 $\sum b > \sum S$ ，所以它逐渐减弱，不致于发生振荡。

由此可见，如果差动系统对端衰耗 b_{42} 及 b'_{42} 越大，则允许放大器增益也可越大，增音机的增益因此也可越大。

此外，因信号还须通过差动系统，然后才到达放大器，所以我们希望差动系统在 1—2 及 4—1 方向的衰耗 b_{12} 及 b_{41} 越小越好(参看图 1-6)。

因此，差动系统应具有下列作用：

(1) 将二线线路变换成四线线路，其中两线供 A—B 方向放大，另两线供 B—A 方向放大。

(2) 对端衰耗 b_{42} 尽可能大。

(3) 相邻端间传输衰耗 b_{12} 及 b_{41} 尽可能小。

此外，差动系统尚应保证部件之间的阻抗匹配，这在下节将加讨论。

§ 1.2 差动系统

1. 电阻式差动系统原理

差动系统的三个主要要求已如上述，现在我们研究一下如何来达到上述要求，并加以定量分析。

差动系统的原理实际上就是电桥理论。我们知道，当电桥平衡时，对角线衰耗为无穷大。我们正可利用这一特点来解决音频增音机的稳定问题。

图 1.7a 是电阻式差动系统原理图，图 1.7b 是它的等效电路，其中 R_l 代表线路阻抗， R_n 代表平衡网络阻抗。

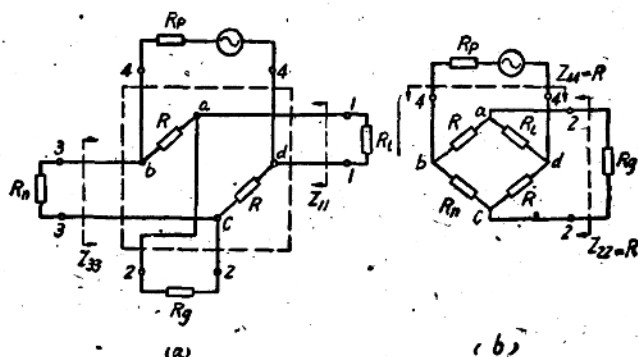


图 1.7 电阻式差动系统原理图及其等效电路

可见，如果 $R_l = R_n = R$ 则电桥完全平衡，于是自 4—4 端至 2—2 端的衰耗成为无穷大；如果 $R_l \neq R_n$ 则对端衰耗就是一个有限值。因此一当 R_l 与 R_n 有差异，则对端衰耗就减低。

当 $R_l = R_n = R$ 时，很容易从图 1.7b 上看到，自 4—4 端及 2—2 端的输入阻抗都等于 R ，也就是：

$$Z_{44} = Z_{22} = R. \quad (1.4)$$

因此，为了使网络与负载匹配，必须 $R_p = R_g = R$ 。

同理，很容易证明，当 $R_p = R_g = R_l = R_n = R$ 时， $Z_{22} = Z_{11} = R$ 。

自图 1.7b 可见，当 $R_l = R_n = R$ 时，每一电阻臂上消耗的功率是 4—4 端输入的总功率的四分之一（因 R_g 处在对角线的一端，当电桥平衡时不消耗功率），因此，自 4—4 端至 1—1 端的衰耗显然是

$$b_{41} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_{44}}{P_{11}} = \frac{1}{2} \ln 4 = 0.7 \text{ 奈。} \quad (1.5)$$

至于 2—2 端至 1—1 端的衰耗, 同理可以证明也是

$$b_{21} = b_{41} = 0.7 \text{ 奈。} \quad (1.6)$$

因此, 可以将电阻式差动系统当 $R_l = R_n$ 时的阻抗特性与衰耗特性分别绘制成图 1.8a 与 b。实用电阻式差动系统的构造如图 1.9 所示。因机械内部阻抗一般选定为 600 欧, 所以图中 R 采用 600 欧。

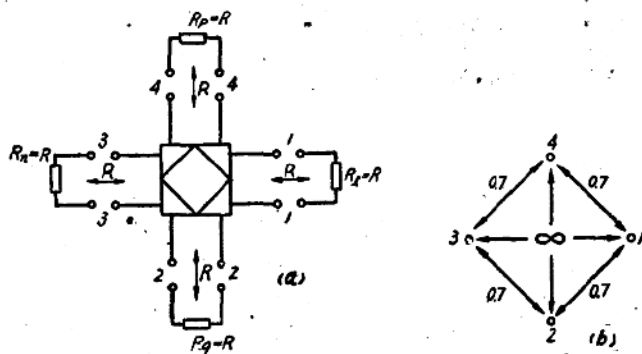


图 1.8 电阻式差动系统的特性

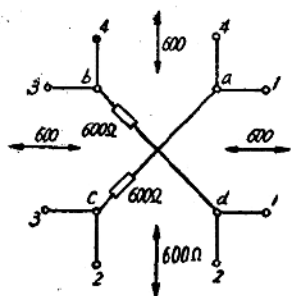


图 1.9 实用电阻式差动系统

电阻式差动系统的特点是构造简单, 价格低廉, 只使用两个电阻, 无电抗元件所以频率特性很好, 其缺点是邻边衰耗较大, 约 0.7 奈。

此外, 这类差动系统不宜联接不平衡电路。

电阻式差动系统由于构造简单, 目前已广泛采用在短距离载波机上。

2. 变量器式差动系统原理

在长途电信机械中最常用的差动系统是变量器式的(图 1.10)。由图可见, 差动变量器实质上也是一个电桥; 如果变量器是理想的,