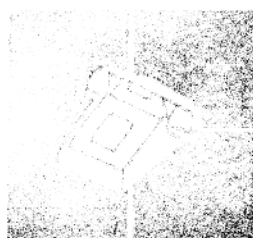
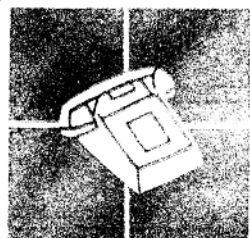
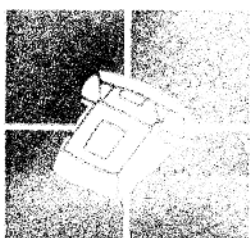
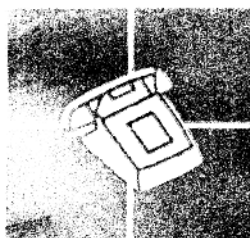
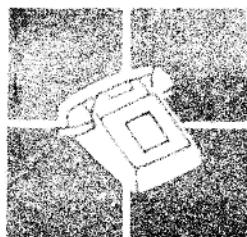
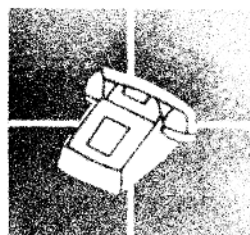
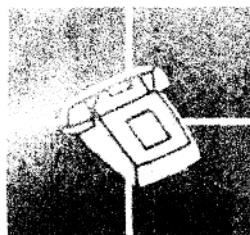


电话交换

股敏叔 主编



6.4

北京邮电学院出版社

内 容 提 要

本书通过对电话交换机和电话通信网的系统结构和迄今为止所采用的基本技术进行分析和综合,论述电话交换的基本原理、基本知识和基本理论。内容包括:引论、空分模拟交换网络、时分数字交换网络、布线逻辑控制原理、存储程序控制原理、电话通信网、信号系统、长途电话交换及话务概论。

本书可作为电信院校有关专业的教材或教学参考书,也可作为电信技术人员的培训教材或自学参考书。

电 话 交 换

主 编 殷敏叔
责任编辑 李明田

北京邮电学院出版社出版
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京市通县向阳印刷厂印刷

787×1092毫米 1/16 印张 19.25 字数 468 千字

1989年6月第一版 1989年6月第一次印刷

印数:1-5300册

ISBN 7-5635-0019-7/TN·4 定价:3.85元



前 言

一个国家或地区的电话通信是否有效和畅通,很大程度上取决于电话交换这一环节,而电话通信又是整个电信事业最基本的组成部分。因此,凡从事电信事业的工程技术人员和管理人员有必要了解和掌握电话交换的基本原理和基本知识。这不但对专门从事电话交换这一专业的技术人员是必需的,对于从事与电话交换有关的一切专业的技术人员也是十分有用的。特别要指出的是,当前我国正大力发展电话交换事业,引进和研制程控数字交换机,大量培养这方面的人才。因此,编写一本着重于系统全面的论述电话交换的基本原理方面的教材是十分必要的。

从1983年开始,编者曾编写了“电话交换原理”讲义,作为北京邮电学院电信工程系电信工程专业开设“交换原理”这门专业课的教材。经两年教学实践后,对该讲义进行了补充和修订,于1985年铅印出版了“交换与通信网原理”一书作为电信工程专业、计算机通信专业及邮电经济与管理专业本科生的“交换原理”课程的教材。又经三年使用后,对该教材作了比较大的改动和补充,重写或增加了某些章节。现取书名为“电话交换”,由北京邮电学院出版社出版。

本书通过对电话交换机和电话通信网的系统结构和迄今为止所采用的基本技术进行分析和综合,论述电话交换的基本原理、基本知识和基本理论。内容包括:引论、空分模拟交换网络、时分数字交换网络、布线逻辑控制原理、存储程序控制原理、电话通信网、信号系统、长途电话交换及话务概论共九章。

本书可作为电信工程、计算机通信、邮电经济与管理、信息工程等专业的本科生和专科生“交换原理”课程的教材,也可供所有与电话通信有关的专业开设相关课程使用。另外,程控数字交换培训班在开设“程控数字交换”课程前,可以本书作为该课程的先行课教材。具体讲授内容可根据教学大纲及学时数决定。书中内容凡打“*”号者,可根据学时数多少进行任选,或略去不讲,或只作概略介绍,或要求学生课后自学;凡打“**”号的内容,可根据相关课程(“数字通信原理”、“载波通信原理”)的开设与否及进度决定取舍。各章后均附有习题。

本书中的绪言及第一、二、四、五、八章由殷敏叔副教授编写,第三章由王蔚元副教授编写,第六章由陈郁青副教授编写,第七章由王钟馨副教授编写,第九章由张富教授编写。全书由殷敏叔审阅,第六章还经王钟馨审阅过。

由于水平有限,谬误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

1988年8月31日

目 录

绪 言	(1)
§1 电话交换在通讯中的作用	(1)
§2 电话交换技术的发展概况	(1)
§3 本课程的内容和范围	(3)
第一章 引论	
§1.1 电话通讯的基本原理	(4)
1.1.1 送、受话器的工作原理	(4)
1.1.2 电话机电路和消侧音原理	(7)
§1.2 电话交换的概念	(9)
1.2.1 人工交换机	(9)
1.2.2 步进制交换机	(11)
1.2.3 纵横制交换机	(13)
§1.3 自动交换机的控制系统构成方式	(14)
1.3.1 布线逻辑控制方式	(15)
1.3.2 存储程序控制方式	(15)
1.3.3 两种控制方式的比较	(16)
§1.4 自动交换机的话路系统构成方式	(17)
1.4.1 空间分隔方式(简称空分方式)	(17)
1.4.2 时间分隔方式(简称时分方式)	(18)
§1.5 电话通信网的概念	(20)
1.5.1 城市电话网	(20)
1.5.2 长途电话网	(21)
习题	(23)
第二章 空分模拟交换网络	
§2.1 空分接线器	(24)
2.1.1 步进选择器	(24)
2.1.2 纵横接线器	(26)
2.1.3 简资接线器	(29)
§2.2 空分接线器的符号表示法及基本复连方式	(33)
2.2.1 符号表示法	(33)
2.2.2 基本复连方式	(34)
§2.3 空分模拟交换网络的组成原理	(37)
2.3.1 话务量和呼损的概念	(37)

2.3.2 组群单元的基本型式	(43)
2.3.3 线束的概念及影响线束利用率的因素	(44)
2.3.4 单级组群	(48)
2.3.5 两级和两级以上组群	(50)
§2.4 步进制交换机的组群方式	(58)
2.4.1 预选的采用	(58)
2.4.2 选组	(60)
2.4.3 分局的采用	(64)
2.4.4 步进制交换机的组群特点	(65)
§2.5 纵横制交换机的组群方式	(65)
2.5.1 分级控制的组群方式	(66)
2.5.2 分级联合控制的组群方式	(71)
2.5.3 集中控制的组群方式	(76)
习题	(76)

第三章 时分数字交换网络

§3.1 时分复用数字电话通信的基本概念	(79)
3.1.1 数字电话通信的优越性	(79)
3.1.2 话音信号的数字化	(79)
3.1.3 PCM时分多路复用的概念	(85)
3.1.4 30/32路PCM通信系统的帧结构	(85)
3.1.5 PCM的一次群和高次群	(87)
§3.2 时分接线器	(89)
3.2.1 时隙交换概念	(89)
3.2.2 T型接线器	(90)
3.2.3 S型接线器	(92)
3.2.4 串并变换	(93)
§3.3 数字交换网络	(95)
3.3.1 三级交换网络	(95)
3.3.2 多级交换网络	(98)
§3.4 数字交换网络实例	(99)
习题	(102)

第四章 布线逻辑控制原理

§4.1 自动话机	(103)
4.1.1 号盘式自动话机	(103)
4.1.2 按钮式自动话机	(107)
§4.2 步进制交换机的控制原理	(108)
4.2.1 中继方式	(108)
4.2.2 接续流程	(109)
4.2.3 控制电路的构成方式及其工作方式	(110)

§4.3 纵横制交换机的控制原理	(113)
4.3.1 分级控制纵横制交换机的控制原理	(113)
4.3.2 分级联合控制纵横制交换机的控制原理	(117)
4.3.3 集中控制纵横制交换机的控制原理简述	(120)
§4.4 布线逻辑控制电路的组成	(122)
4.4.1 记发器电路的组成	(123)
4.4.2 标志器电路的组成	(127)
习题	(130)

第五章 存储程序控制原理

§5.1 概述	(132)
5.1.1 存储程序控制的基本概念	(132)
5.1.2 程控交换机的分类	(136)
§5.2 呼叫处理的基本原理	(137)
5.2.1 呼叫处理流程	(137)
5.2.2 呼叫处理程序	(138)
5.2.3 输入处理	(142)
5.2.4 分析处理	(146)
5.2.5 任务执行处理	(151)
§5.3 程序的执行管理	(154)
5.3.1 自动交换机的基本要求——实时处理	(154)
5.3.2 多级中断	(156)
5.3.3 周期启动	(156)
5.3.4 队列	(159)
§5.4 程控交换机实例简介	(166)
5.4.1 FETEX-150型程控数字交换机	(160)
5.4.2 ITT-1240型程控数字交换机	(164)
习题	(165)

第六章 电话通信网

§6.1 电话通信网的总体结构	(166)
6.1.1 网路的等级结构	(166)
6.1.2 各级交换中心的职能	(167)
§6.2 本地电话网	(168)
6.2.1 引言	(168)
6.2.2 大、中城市本地电话网	(170)
6.2.3 市内电话网	(173)
6.2.4 农村电话网	(185)
§6.3 长途电话网	(186)
6.3.1 网路结构	(186)
6.3.2 路由计划	(188)

§ 6.4 国际电话网	(191)
6.4.1 国际电话国内网路的构成	(191)
6.4.2 路由计划	(192)
§ 6.5 电话网的编号计划	(194)
6.5.1 制定电话编号时应考虑的问题	(194)
6.5.2 市内电话的编号	(194)
6.5.3 长途自动电话的编号	(194)
6.5.4 国际电话编号	(196)
习题	(196)
第七章 信号系统	
§ 7.1 电话网中信号的分类	(198)
7.1.1 按信号的工作区域分类	(199)
7.1.2 按信号的功能分类	(200)
7.1.3 按信号的技术分类	(200)
§ 7.2 信号的结构形式和在线路上的传送方式	(202)
7.2.1 随路信号的结构形式	(202)
7.2.2 随路信号在线路上的传送方式(带内和带外)	(204)
§ 7.3 用户线信号	(204)
§ 7.4 局间信号	(205)
7.4.1 局间线路信号	(205)
7.4.2 局间记发器信号	(208)
§ 7.5 影响电话信号技术采用的因素	(216)
§ 7.6 国际上采用的随路信号系统	(218)
7.6.1 No.5 信号系统	(218)
7.6.2 R1 信号系统	(221)
7.6.3 R2 信号系统*	(221)
§ 7.7 公共信道信号系统	(222)
7.7.1 概述	(222)
7.7.2 公共信道信号网与语音(或等效的)网的对应关系	(223)
7.7.3 No.7 信号系统	(225)
习题	(234)
第八章 长途电话交换	
§ 8.1 概述	(235)
8.1.1 长途交换机的基本任务	(235)
8.1.2 长途自动交换机的基本结构	(236)
§ 8.2 长途交换的接线方式与接续制度	(237)
8.2.1 长途交换的接线方式	(237)
8.2.2 长途交换的接续制度	(239)
§ 8.3 长途电路的净衰耗与稳定度**	(240)

8.3.1 电路净衰耗	(240)
8.3.2 电路稳定度	(244)
§ 8.4 长话二线交换与四线交换	(245)
8.4.1 长途直达电路的净衰耗与稳定度	(245)
8.4.2 长途转接电路的净衰耗与稳定度	(246)
8.4.3 关于小城市长途交换采用二/四线制的考虑	(248)
8.4.4 电话网衰耗分配的制定	(249)
§ 8.5 国产编码纵横制长途交换机	(250)
8.5.1 概述	(250)
8.5.2 全自动中继方式	(251)
8.5.3 全自动接续过程	(253)
习题	(255)

第九章 话务概论

§ 9.1 概述	(256)
§ 9.2 电话负载	(257)
9.2.1 电话负载的概念	(257)
9.2.2 电话负载的特性	(260)
9.2.3 话务量的测量	(261)
9.2.4 交换系统的服务质量与负荷能力	(262)
§ 9.3 明显损失制全利用度线束的计算	(263)
9.3.1 呼叫流	(263)
9.3.2 全利用度线束的一般数学模型	(265)
9.3.3 最简单呼叫流的全利用度系统	(266)
9.3.4 简单后效流的全利用度系统	(268)
§ 9.4 等待制全利用度系统	(270)
9.4.1 最简单呼叫流与指数占用时长分布的等待制全利用度系统	(270)
9.4.2 最简单呼叫流与常数占用时长分布的等待制全利用度系统	(271)
§ 9.5 部分利用度线束的计算	(273)
9.5.1 部分利用度线束的结构	(273)
9.5.2 部分利用度线束的近似计算方法	(275)
§ 9.6 链路系统的计算	(276)
9.6.1 链路系统的阻塞	(276)
9.6.2 雅柯比斯法原理	(278)
9.6.3 两级链路系统呼损的计算	(279)
9.6.4 部分利用度两级链路系统的计算	(284)
9.6.5 雅柯比斯法计算多级链路系统的原理	(286)
习题	(288)
参考文献	(289)

绪 言

§ 1. 电话交换在通讯中的作用

人类社会的一切活动都离不开通讯，它尤如人体的神经系统那样重要。一个在经济上、文化上先进的国家，必然要有先进的通讯手段作支柱。在人类的一切通讯手段中，电话通讯是最有效、应用最广泛的一种。因而，一个国家的电话通讯发展水平在很大程度上反映了这个国家的经济发展水平。

电话通信的目的是实现人们在任意两地之间的通话。这里必需解决三个问题：第一是话音信号的发送和接收，第二是话音信号的传输，第三是话音信号的交换。第一个问题由用户的终端设备——电话机来解决，第二个问题由各种类型的电话传输设备——从最简单的音频传输线到复杂的多路载波设备、微波设备以及数字通讯设备来解决，第三个问题由各种类型的电话交换设备来解决。这三部分设备构成一个完整的电话通讯系统，而这个系统被组织成一个遍及全国以至全世界的电话通讯网。

电话交换设备在通讯系统中起着关键作用，是整个通讯网的各级枢纽。没有足够数量的高质量交换设备，就不可能有高效能的电话通讯，即使传输设备十分先进。交换设备和传输设备就像通讯网的两翼，缺一不可。各国在发展通讯的事业中，都在电话交换技术的研制上投入了大量的人力、物力。目前，凡是经济发达、科学技术先进的国家，其电话交换技术的发展也总是相应地走在其他国家的前面。

§ 2. 电话交换技术的发展概况

自从一百多年前发明电话以来，电话交换技术的发展大体经历了三个阶段：

第一个阶段是人工交换阶段。

电话一发明，由于要求在各个电话机之间灵活地交换连接，于是很快发明了交换机。最早采用的是磁石式人工交换机，这种交换机容量有限，一般不超过100门，只能在小范围内使用。接着，出现了共电式人工交换机，它的容量可大大超过磁石式交换机，于本世纪初在城市中得到了大量的应用。人工交换机的特点是由话务员完成电话间的接线和拆线，优点是设备简单、成本低廉，缺点是占用大量劳动力、话务员劳动紧张、易出差错、接线速度慢。因此，人工交换机逐渐被自动交换机所取代。

第二个阶段是机电式自动交换阶段。

自动交换机是靠用户发送号码进行自动选线的。第一个自动交换机由史端乔在1890年发明，称作史端乔步进制交换机。后经德国西门子公司改进，发展成为西门子步进制交换机，这种交换机在三十年代前后在许多国家中得到广泛的采用。这一时期还发明了旋转制、全继电器制等自动交换机，但这些交换机的应用都不如西门子步进制那样普遍。

步进制交换机是用一种“上升旋转”型选择器作为选线机构，在用户拨号盘的直接控制下动作的。优点是电路技术简单，因而培训维护人员容易；缺点是选择器机械动作幅度大、噪声大、容易磨损，需经常调整、更换，维护工作量大，接续速度较慢，故障率高，杂音大，并且不能应用于长途自动交换。

1926年，瑞典制成了第一部纵横制自动交换机。从三十年代起，美国等国也开始大力研制和发展纵横制交换机。到五十年代，纵横制交换机已达到成熟阶段。由于纵横制交换机采用了机械动作轻微的纵横接线器并采用了间接控制技术，使它克服了步进制交换机的大量缺点，特别是它能适用于长途自动交换。因此五十年代后，它在各国得到了大量的推广和应用。直到目前为止，在许多国家中，纵横制交换机仍是现有电话局中使用最广的一种电话交换机。

无论是步进制交换机还是纵横制交换机，它们的主要元、部件都是采用具有机械动作的电磁器件构成的，因此都属于机电式交换机。

第三个阶段是电子式自动交换阶段。

随着近代电子技术的飞速发展，人们开始把电子器件应用到交换机中，逐步取代速度慢、体积大的电磁器件。由于电子接点的开关性能一直不如电磁器件的金属接点那样理想，成本也高，因此，一般只将电子器件应用于交换机的控制电路，而交换机完成接线和拆线的通话回路仍采用电磁器件，只是不断改进这种器件，使其体积小、机械动作更少、接点动作速度更快。这样构成的交换机称半电子交换机或准电子交换机。

电子计算机的迅速发展及其在实时控制系统中的广泛应用，促使人们把计算机技术应用到电话交换机中，用存储程序方式来控制交换机，即用软件的方式来控制交换机，改变了过去那种按线路图用元器件构成的逻辑电路来控制（简称“布线逻辑控制”）交换机的方式，即硬件的方式。这样，在交换机的设计、生产、安装、维护使用等方面以及交换机性能的增加、改动等都十分灵活和方便。交换机的程控化可以说是交换技术的一种飞跃。从六十年代后期到七十年代中期，先后在美国、日本、瑞典等国研制成功并投入使用或推广半电子或准电子的程控交换机。

数字通讯技术的发展，正在改变着长久以来模拟通讯的统治局面。电话交换机的通话回路过去绝大多数是采用空间分隔的方式来交换模拟信号的，当将模拟信号数字化后，必然采用时间分隔的方式交换数字信号。这样，话路部分就彻底而又经济地实现了电子化。采用数字时分方式的程控交换机是一种全电子的数字交换机。它从七十年代后期到现在先后在美国、法国、加拿大等国研制成功并投入使用，它是今后交换机发展的方向。

我国的电话交换事业过去一直发展较慢，是整个通讯事业中的薄弱环节。五十年代到六十年代期间，生产、安装、使用的主要还是步进制交换机。到七十年代中才开始推广安装纵横制交换机。当前，国家正大力扭转电话交换事业的落后局面，但在今后相当长一段时期内，生产、安装、投入运转使用的交换机相当大一部分仍将是纵横制交换机，至于作为交换机发展方向的数字程控交换机，目前正在加紧研制和引进。因此，程控数字交换机也正逐步地在我国的通信网中出现。预计不久的将来，这种交换机的生产、安装和使用将会达到一个相当的规模。

§ 3. 本课程的内容和范围

本课程是电话交换技术的基本原理课，不涉及具体交换机的设备细节。为了对交换机和电话网先建立起一个总体概念，在第一章中概述了电话通讯的基本原理、电话交换的概念、交换机的控制系统构成方式和话路系统构成方式以及电话通讯网的概念。

接下去在第二、三章分别介绍了空分组群和时分网路的构成原理。在第四、五章中分别介绍了布线逻辑控制方式和存储程序控制方式的基本原理。前两章针对的是交换机的通话回路，后两章针对的是交换机的控制设备，这两部分构成了交换机的主体，因此其原理必须清楚了解。

第六章到第八章论述了电话网的组成、网中采用的信号系统和长途自动交换。这三章讲的是电话网特别是长途网中的一些基本问题，目的是为建立起电话通讯网的概念打下基础。

最后一章简要论述了话务的基本理论。这部分内容是设计交换机、电话局和通信网以及维护管理电话局时不可缺少的理论依据，是电话交换这门学科的基本理论。

第一章 引 论

语言是人类相互交流思想和信息的工具，特别是表现为声音形式的语言更是人们每时每刻都离不开的交际手段。但是语言的直接传送，其距离是非常有限的，也即人们只能在同一地点进行面对面的交谈。要实现相距遥远的两个地点人们之间的交谈，必须借助于电话通讯。

电话通讯是将人们的声音语言转变成相应的电信号输送到对方，对方再把电信号还原成声音语言，从而实现双方在两地之间的对话。由于电信号的传输距离几乎是不受限制的，因此地球上任意两地之间，甚至外太空与地球之间人们都可以通过电话进行交谈。因此，电话通讯是人类应用各种通讯手段中最有效的一种。下面先分析一下它的基本原理。

§ 1.1 电话通讯的基本原理

要实现电话通讯，首先必须具备将声音语言信号转换成电信号的器件和将电信号还原成声音语言信号的器件，前者称送话器，后者称受话器。它们的工作原理如下。

1.1.1 送、受话器的工作原理

一、 送话器

电话中最常用的送话器是炭精式送话器，它的基本结构如图1.1.1所示。它是由振动膜

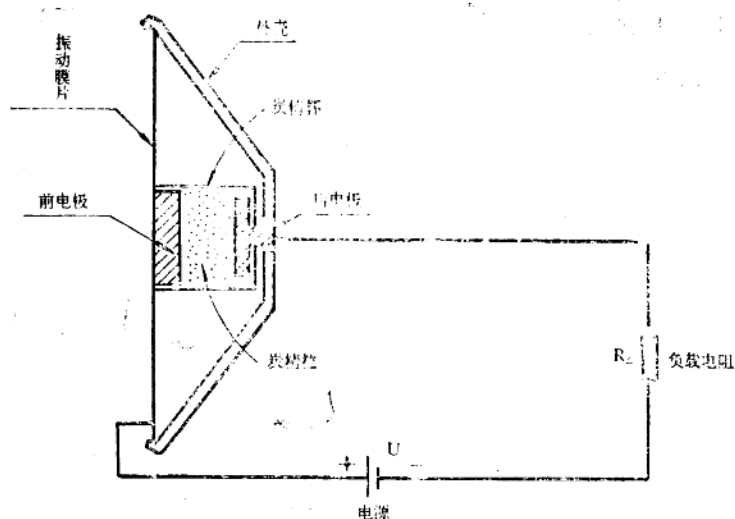


图1.1.1 送话器

片、前电极、盛炭精粒的炭精杯和后电极组成，并被固定安装在一个外壳内。当我们将一直流电源和一负载电阻和送话器的前后电极串接在一回路中时，将有一稳定的直流电流流过炭精粒，如图1.1.1所示。当我们面对送话器说话时振动膜片将在声波的作用下产生振动。声波的密波部分抵达膜片时，膜片向内弯曲，固定安装在膜片中心的前电极向内移动，由弹性绝缘材料做成的炭精杯被压缩，内盛的炭精粒被挤紧，炭精粒之间的接触电阻减小；当声波的疏波到达膜片时，膜片向外弯曲，前电极向外移动，炭精杯伸长，炭精粒松开，接触电阻增加。由于接触电阻的变化，导致回路中总电阻的变化，因而回路中电流也同样变化，电流变动的幅度和频率，反映了声波的振幅和频率。它们之间的关系可以通过以下分析了解到。

当送话器处于静止状态时，回路中的电流为：

$$I = \frac{U}{R_L + R_0}$$

式中 U ——电源电压

R_0 ——送话器的静态电阻

R_L ——负载电阻

R_0 是送话器处于静止状态时炭精粒的接触电阻。现在假设有一按正弦变化的声压 $P = P_m \sin \omega t$ 作用到振动膜片上，并设膜片振动时所引起的送话器的电阻变化与声压的变化呈线性关系，则送话器的电阻值 r_t 可用下式表示：

$$r_t = R_T - r_m \sin \omega t$$

式中 R_T ——送话器的动态电阻

r_m ——送话器电阻变化的最大值

R_T 是送话器在声压作用下工作时炭精粒的动态平均电阻。因膜片振动时，炭精粒呈松散状态；而膜片静止时，炭精粒处于沉积状态，故送话器的动态平均电阻 R_T 要比静态电阻 R_0 大。 r_m 是送话器工作时电阻变化的最大值，声压的变化愈大， r_m 也愈大。这时送话器回路中的电流为：

$$i = \frac{U}{R_L + (R_T - r_m \sin \omega t)} = \frac{U}{R_L + R_T} \left(1 - \frac{r_m}{R_L + R_T} \sin \omega t \right)^{-1}$$

$$\text{令 } I_0 = \frac{U}{R_L + R_T}, \text{ 称作送话器的供电电流；}$$

$$m = \frac{r_m}{R_L + R_T}, \text{ 称作送话器的调制系数；}$$

这样，上式变为：

$$\begin{aligned} i &= I_0 (1 - m \sin \omega t)^{-1} \\ &= I_0 (1 + m \sin \omega t + m^2 \sin^2 \omega t + m^3 \sin^3 \omega t + \dots) \\ &= I_0 + I_0 m \sin \omega t + I_0 m^2 \sin^2 \omega t + I_0 m^3 \sin^3 \omega t + \dots \end{aligned}$$

上式等号右边第一项 I_0 为供电电流，第二项 $I_0 m \sin \omega t$ 是按声压 $P_m \sin \omega t$ 变化的电流，它代表了讲话声音的频率和振幅，我们叫它语音电流，或一般的称它为模拟语音信号；第三项及以后各高次项，是原来声波中所没有的各项高次谐波。由此可见，炭精式送话器给语音信号带来了非线性畸变。为了减少畸变，应使 $m \ll 1$ 。但是，为了提高送话器的效率，使之有较大的语音电流输出， m 值又不能太小，因此为保证送话器有足够的效率，应允许有一定的非

线性失真，只要能保证有足够的话音清晰度即可。送话器的效率与送话器的供电电流有关，供电电流 I_0 愈大，话音电流幅度愈大。但 I_0 也只能大到一定程度，太大将会使炭精粒烧结，使送话器性能变坏甚至消失。

炭精式送话器的优点是结构简单、效率高，它能将作用在膜片上1微瓦左右的声功率转

变成1毫瓦左右的电功率从线路上发送出去，因此炭精式送话器除了起到声—电的转换作用外，又起到了一个具有1000倍放大能力的放大器的作用。这样，炭精式送话器在接到线路上使用时不必再加放大器，因而是一种十分经济的送话器件，在电话中得到广泛使用。炭精式送话器的缺点是非线性失真较大，但作为只要求有足够清晰度的电话通讯，语言的自然度差一些关系不大，因此非线性失真的缺点是可以容忍的。

二、受话器

常用的是电磁式受话器，其结构如图1.1.2所示。它由永久磁铁、绕有线圈的极靴(电磁铁)、振动膜片等主要部分组成。当线圈中没有电流通过时，在由

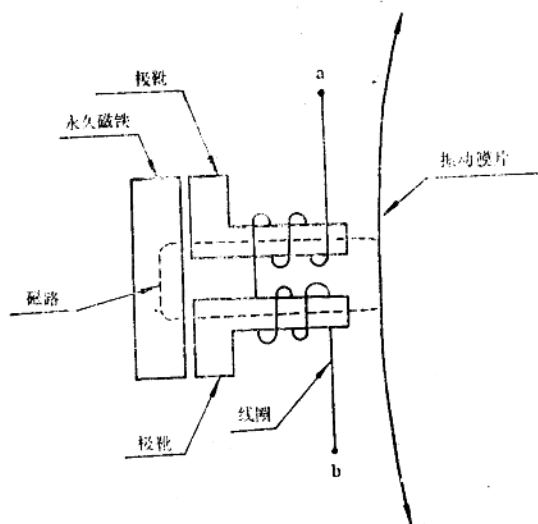


图1.1.2 受话器

永久磁铁、极靴和用导磁材料做的振动膜片形成的磁路中，只有由永久磁铁产生的固定磁通通过，这时膜片被固定磁通产生的吸力吸引而稍向内弯曲。当由导线送来的话音电流流经绕在极靴上的线圈时，则将在磁铁中产生一个与话音电流变化规律相同的交变磁通叠加在原来的固定磁通上。注意两个线圈的绕法必须使其产生的交变磁通方向一致。由于交变磁通的存在，将产生交变的吸力而使膜片振动发出声音。下面对此进行分析。

为了便于分析，假设输入受话器线圈的话音电流是正弦波，它所产生的磁通也按正弦波变化。

设永久磁铁产生磁通为 ϕ_0 ，话音电流产生的磁通为 $\phi_f = \phi_{fm} \sin \omega t$ ，则作用于膜片的磁通为

$$\phi = \phi_0 + \phi_{fm} \sin \omega t \quad (1.1.1)$$

因由磁通产生的吸力与磁通的关系式为

$$F = \frac{\phi^2}{2\mu S}$$

式中 F ——由磁通 ϕ 产生的吸力

S ——磁铁的横截面积

μ ——空气的导磁系数

现令 $\frac{1}{2\mu S} = K$ 。(即 K 是一个由空气的导磁系数 μ 和磁铁的横截面积 S 决定的常数)则上

式可写为：

$$F = K\phi^2 \quad (1.1.2)$$

这表明吸力与磁通平方成正比。

当没有话音电流进入线圈时，永久磁铁作用于膜片的吸力为：

$$F_0 = K\phi_0^2$$

当有话音电流通过时，则将(1.1.1)式代入(1.1.2)式可求得作用于膜片的吸力：

$$\begin{aligned} F_1 &= K(\phi_0 + \phi_{jm} \sin \omega t)^2 \\ &= K(\phi_0^2 + 2\phi_0 \phi_{jm} \sin \omega t + \phi_{jm}^2 \sin^2 \omega t) \end{aligned}$$

因此，引起膜片振动之力为吸力 F_1 与 F_0 之差，即

$$F = F_1 - F_0 = K(2\phi_0 \phi_{jm} \sin \omega t + \phi_{jm}^2 \sin^2 \omega t) \quad (1.1.3)$$

当 $\phi_0 \gg \phi_{jm}$ 时则上式可近似为：

$$F \approx 2K\phi_0 \phi_{jm} \sin \omega t$$

可见，引起膜片振动之力也近似是一个与话音电流频率相同的正弦波。因此，受话器膜片振动产生的声波几乎与原来的话音相同，没有畸变。且永久磁铁的磁通 ϕ_0 及交变磁通的振幅 ϕ_{jm} 愈大，膜片振动时幅度也愈大，因而产生的声波幅度也愈大，即声音愈强。若保持话音电流幅度不变，即 ϕ_{jm} 不变，则增加 ϕ_0 就能使受话器发出的声音强度增加。可见，永久磁铁磁性愈强，受话器愈灵敏。

当 $\phi_0 \gg \phi_{jm}$ 不成立时，则(1.1.3)式中的高次项不能忽略。将(1.1.3)式展开：

$$\begin{aligned} F &= 2K\phi_0 \phi_{jm} \sin \omega t + K\phi_{jm}^2 \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \\ &= 2K\phi_0 \phi_{jm} \sin \omega t + \frac{K}{2}\phi_{jm}^2 - \frac{K}{2}\phi_{jm}^2 \cos 2\omega t \end{aligned} \quad (1.1.4)$$

从上式可知，受话器膜片振动产生的声波中将含有频率比原来话音高一倍的成分，即受话器产生了二次谐波失真。当 ϕ_0 相对 ϕ_{jm} 愈小时，失真愈严重。当 $\phi_0 = 0$ 时，则(1.1.4)式变为：

$$F = \frac{K}{2}\phi_{jm}^2 - \frac{K}{2}\phi_{jm}^2 \cos 2\omega t$$

即受话器发出的声音比原来的声音频率高一倍。由此可见，没有永久磁铁时，受话器产生的声音将完全失真。

由以上分析可得出结论：电磁受话器必须有永久磁铁，且永久磁铁磁性愈强受话器失真愈小，灵敏度愈高。但是，永久磁铁的 ϕ_0 也不能过大，因这将使受话器的磁路进入磁饱和状态而产生非线性失真，灵敏度也大大降低，甚至使膜片被磁铁死死吸牢而失去振动能力。由此可知，受话器线圈中只允许通过话音电流，不允许直流通过。否则直流产生的固定磁通要么抵消原来由永久磁铁产生的固定磁通，要么使整个磁系统因固定磁通过强而进入饱和状态，这两种情况都将使受话器的特性变坏。

有了送、受话器怎样把它们连接起来以实现双方通话，这就是下面要谈的问题。

1.1.2 电话机电路和消侧音原理

实现通话最简单的办法是用一对导线将甲方的送话器和乙方的受话器连接起来，用另一

对导线将甲方的受话器和乙方的送话器连接起来，这将需要两对导线才能实现一对用户的通话，这是不经济的。若用一对导线按图 1.1.3 的方式将双方的送受话器连接起来则将出现两大问题：

一个问题是直流电流通过双方受话器，会使受话器性能变坏；另一问题是当自己对着送话器讲话时，能从受话器中听到自己讲话的声音，这种现象叫侧音效应 (Side-tone Effect)，侧音的存在将引起听觉疲劳而听不清对方讲话，因此是十分有害的。

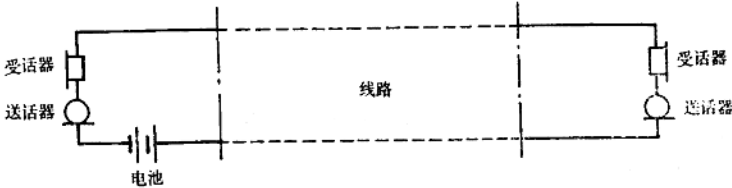


图1.1.3 最简单的双向通话电路

为解决上述问题，采用电话变量器将送、受话器和电池与线路连接起来如图 1.1.4 所示。其中，送话器和电池接在变量器初级线圈回路内，受话器接在由次级线圈、线路和平衡阻抗构成的桥路中。因变量器 T 的次级线圈 II 和 III 匝数相等，而平衡阻抗和外线阻抗又平衡，故该桥路是平衡的。当送话器发出语音电流经变量器初级感应到次级后，语音电流向线路方向送去而不流入自己的受话器，但当对方话机经线路送来语音电流时，则能够流入该受话器，这样就只能听到对方讲话，消除了自己讲话时的侧音。由于平衡阻抗并不能在整个语音频带内都与外线阻抗平衡，因此侧音也不能全部消除。上面电路中因电池在变量器初级线圈回路内，故直流电流不会流入受话器而使其性能变坏。

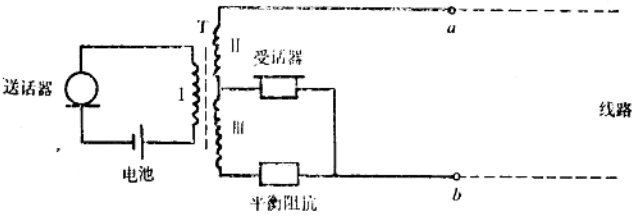


图1.1.4 话机消侧音电路

在电话通讯中，当一方需要与另一方通话时，首先必须呼叫对方让对方知道有电话来，然后拿起手机（即送、受话器）进行通话。因此，话机电路中除了上述的送、受话器，变量器等通话设备外，还需要能向对方发出呼叫信号及接收对方呼叫信号的设备，前者可用一手摇发电机发出一交流信号作为呼叫信号，后者可用一交流电铃接收此信号发出振铃音响以示有电话到来。因此，一部设备齐全的话机电路如图 1.1.5 所示。由于手摇发电机是利用人工转动一个设在由永久磁铁产生的磁场中的线圈使之切割磁力线因而在该线圈中感应出交流电来发出交流信号的，因此这种话机称磁石式话机。

图中 H 表示话机叉簧 (Hook Switch) 接点，当手机（送受话器）未从话机上取下时，

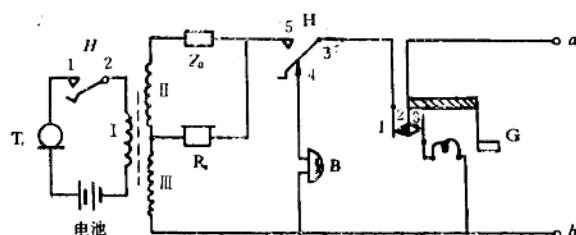


图1.1.5 磁石式话机电路

H_{1-2} 接点和 H_{3-5} 接点断开, H_{3-4} 接点闭合(如图中所示),这时送话器回路是断的,避免了电池在未通话时的无谓耗电,另外,交流电铃 B 接在 ab 线路上以随时接收对方发来的呼叫信号(这时手摇发电机 G 的接点 G_{1-2} 是闭合的,而 G_{2-3} 是断开的)。若对方发来呼叫信号电铃 B 响,用户将手机摘下时 H_{1-2} 闭合, H_{3-5} 闭合(H_{3-4} 打开),这时用户就能与对方通话。若用户需呼叫对方时,则摇动手摇发电机 G ,这时接点 G_{1-2} 打开, G_{2-3} 闭合;手摇发电机线圈接到 ab 线路上(话机其它设备: B 、 R_s 、 T ,这时从 ab 线路上断开),发出交流呼叫信号。

磁石话机因自备电池电源及呼叫振铃设备,因此可灵活地在乡村、矿山等缺少电源及设备简陋的地区使用;缺点是由于自备电源和振铃设备而使话机笨重,安装使用都不方便。

§ 1.2 电话交换的概念

两部磁石式话机用一对导线连接起来就能实现两个用户间的通话。若用户超过两个,要实现任意两个用户之间的通话时,就要解决“交换”问题,即某用户要与甲用户通话时,该用户话机就与甲用户话机连接;要与乙用户通话时,就换接到乙用户话机。实现电话交换最简单的办法是一个用户与其他每个用户之间都有一对导线相连,要和谁通话就把话机和谁的导线连通,即由主叫用户本身来完成电话线路的交换,这种交换方式的缺点是随着用户数量的增加,用户线对数将大大增加,例如当有3个用户时需要3对线路,5个用户需10对线,10个用户需45对线,当用户数为 N 时需 $\frac{N(N-1)}{2}$ 对线,因此这种交换方式十分不经济而不予

采用。经济的交换方式是将每个用户话机用一对导线连接到一个各用户共同使用的交换设备上,该交换设备所处位置应在各用户分布的中心,使其连接到各用户的导线总长为最短。

交换设备一般称作交换机,最早,也是最简单的交换机是人工交换机,下面先介绍人工交换机的概念。

1.2.1 人工交换机

在人工交换机上,任意两对用户线之间的连接和拆除是由话务员完成的。下面看一下人工交换机的构成原理和交换动作的执行过程。

一、人工交换机的构成原理

图1.2.1表示人工交换机的构成原理。每个用户话机经一对导线连接到交换机的面板塞