

21世纪  
高职高专电子信息类规划教材

# 通信电子电路

申功迈 钮文良 编

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高职高专电子信息类规划教材

# 通信电子电路

申功迈 钮文良 编  
何希才 主 审



机械工业出版社

本书是面向 21 世纪高等职业教育的教材。全书由绪论、窄带小信号谐振放大器、窄带谐振功率放大器、正弦波振荡器、振幅调制与混频、角度调制、锁相技术及频率合成、数字调制等章节组成。本书强调基本概念,强调实际应用,并给出一些实际应用电路,有利于学生对高频电子电路的理解。

本书可以作为高等职业学校电子信息技术、通信技术等专业的教材或主要参考书,也可以供相关专业工程人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

通信电子电路/申功迈, 钮文良编. —北京: 机械工业出版社, 2003. 1

21 世纪高职高专电子信息类规划教材

ISBN 7-111-11456-6

I. 通... II. ①申... ②钮... III. 通信—电子电路—高等学校: 技术学校—教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 109054 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 王保家 版式设计: 霍永明 责任校对: 张 媛

封面设计: 姚 毅 责任印制: 路 琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·5.875 印张·224 千字

0 001—5 000 册

定价: 15.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

## 前 言

当今，发展最快的行业是通信行业，发展最快的技术是通信技术。作为通信技术的一个重要基础，就是通信电子电路。许多从事通信技术工作的工程技术人员都是从学习“通信电子电路”课程开始进入通信领域的。许多对通信系统的认识，对通信概念的了解都是从学习通信电子电路中获得的。

为此，我们编写了这本教材，是作为通信技术专业学生的一本基础性的教材。在教材编写过程中，我们力求摆脱繁琐的理论推导，而在强调基本概念的基础上，以常见电路为对象，从技术上引导学生掌握通信电子电路的分析方法，完成对电路性能的分析，以加深对通信电路的工作原理、电路性能的理解。

本书从模拟通信系统组成出发，从系统整体概念出发，逐步深入地介绍通信电子电路的各个功能电路，既有各自的相对独立性，又有相互联系的系统性和完整性。同时，考虑到现代通信技术、测量技术和集成电路技术的发展和广泛应用，对电路的介绍尽可能地接近实际应用中的情况，增加了集成电路的应用实例。分立元件电路曾是集成电路技术的基础，概念清楚，易于理解，且有些电路仍然在应用中。然而，集成电路毕竟已经成为现代电子技术的主流，所以对于分立元件电路，我们采取少讲或不讲的原则，尽量采用集成电路。引入先进的技术，是本书编写的宗旨。

通信电子电路是一门理论性、工程性和实践性都很强的课程。它需要一定的电路分析、信号系统和模拟电子电路作为基础。通过本课程的学习，学生在掌握基本理论的基础上，还需要通过实践环节，锻炼分析问题、解决问题和动手操作的能力，并掌握使用先进仿真软件的能力。

本书第一、二、三章由申功迈执笔，第四、五、六、七、八章由钮文良执笔，申功迈担任主编，北京联合大学何希才副教授对本书进行了认真的审阅，并提出了宝贵意见和修改建议。本书编写过程中，得到了机械工业出版社的大力支持和帮助。在此，一并致以诚挚的感谢。

限于作者水平，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者指正。

编 者

# 目 录

## 前言

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 通信与通信技术 .....	1
第二节 通信系统 .....	1
第三节 收发信机电路 .....	4
第四节 本课程特点 .....	9
<b>第二章 窄带小信号谐振放大器</b> .....	11
第一节 概述 .....	11
第二节 小信号谐振放大器 .....	12
第三节 集中选频放大器 .....	31
习题 .....	35
<b>第三章 窄带谐振功率放大器</b> .....	36
第一节 概述 .....	36
第二节 谐振功率放大器 .....	36
第三节 宽频带功率放大与功率合成 .....	55
习题 .....	65
<b>第四章 正弦波振荡器</b> .....	66
第一节 概述 .....	66
第二节 反馈型振荡器的基本工作原理 .....	66
第三节 LC 正弦振荡器 .....	70
第四节 晶体振荡器 .....	74
习题 .....	78
<b>第五章 振幅调制与混频</b> .....	79
第一节 概述 .....	79
第二节 振幅调制电路 .....	87
第三节 振幅解调电路 .....	96
第四节 混频电路 .....	101
第五节 自动增益控制 .....	108
习题 .....	112
<b>第六章 角度调制</b> .....	113
第一节 角度调制原理 .....	113
第二节 调频电路 .....	118

第三节	角度调制的解调 .....	126
第四节	自动频率控制 .....	135
习题	.....	137
<b>第七章</b>	<b>锁相技术及频率合成</b> .....	<b>138</b>
第一节	锁相环路 .....	138
第二节	集成锁相环路和锁相环路的应用 .....	149
第三节	频率合成原理 .....	162
习题	.....	170
<b>第八章</b>	<b>数字调制</b> .....	<b>172</b>
第一节	概述 .....	172
第二节	二进制数字调制 .....	173
习题	.....	180
<b>参考文献</b>	.....	<b>180</b>

# 第一章 绪 论

## 第一节 通信与通信技术

通信是当前最为流行的专业术语之一，而通信技术则是发展最快的高新技术之一，由此引发的通信产业就成为了我国经济建设中的支柱产业。

通信的任务是传递信息，是将经过处理的信息从一个地方传递到另一个地方。我们知道，人们需要获取或传递的信息的具体形式有：语言、文字、符号、音乐、图形、图像和数据。通信系统就是将表示声音和图像等物理信号，经过传感器转换为电信号，再经过一定处理，变换成有利于传输的信号，进行远距离传输，远方的人们从接收到的信号中可获取信息。

信息传递中，最重要的就是信息传输的可靠性和有效性。各种通信系统及其技术的根本目的就是更有效、更可靠地传递信息。通信系统包括电话通信系统、微波通信系统、移动通信系统、光纤通信系统和卫星通信系统等，还有计算机通信系统。而建立在这些系统上的相关通信技术也涉及到许多方面，如网络技术、交换技术、多媒体通信技术、数据通信技术，还有通信电子电路及通信设备等方面的技术。

传递信息可以通过有线信道，也可以通过无线信道。信号的无线传输成为无线电技术的主要应用，所以，通信作为无线电技术的最早应用方面，其组成和工作过程，很典型地反映了无线电技术的基本问题。通信技术的发展和现代化充分地反映了无线电技术的发展和现代化。本书将以无线通信系统为基础和主要研究对象，着重讨论无线电设备中的基本组成电路，包括高频放大器和高频功率放大器、振荡器及频率变换等电子电路的基本原理和应用。

## 第二节 通信系统

通信系统直接完成信息的传递任务。我们首先了解系统的构成，以有利于掌握无线通信的基本原理以及通信电子电路的组成原理。我们知道，无线通信是将信号从一个地方，经空间传送到另一个地方。为了使我们获取的声音或图像信号，不失真地传递到其他地方，需要对声音或图像信号做一些处理，使代表这些信息的电信号变换成有利于传输的信号。这就是通信系统的基本功能。

通信系统的基本组成框图，如图 1-1 所示，由输入、输出变换器、发送、接收

设备,以及信道组成。输入变换器主要将要传递的声音或图像信息变换为电信号,该电信号包含了原始信息的全部信息(允许存在一定的误差,或者说信息损失),称为基带信号。输入变换器的输出作为通信系统的信号源。不过,这种信号的变换不是本书讨论的重点。输出变换器实现的是输入变换器的逆过程,即将经过处理的基带信号重新恢复为原始的声音或图像,以为人们所接受。

信道是信号传输的通道,也就是传输媒介,不同的信道有不同的传输特性。为了适应信道对要传输的信号的要求,就必须将已获取的基带信号,再做变换,这就是发送变换设备的功用。发送设备将基带信号经过如调制等处理,并使其具有足够的发射功率,再送入信道,实现信号的有效传输。显然,接收变换设备的作用与输入变换设备相反,用来恢复原始基带信号。不过,发送变换和接收变换有许多方式,其传送信息的效率和可靠性都不同,变换机理及实现的电子电路也不同,这是本书研究的重点。

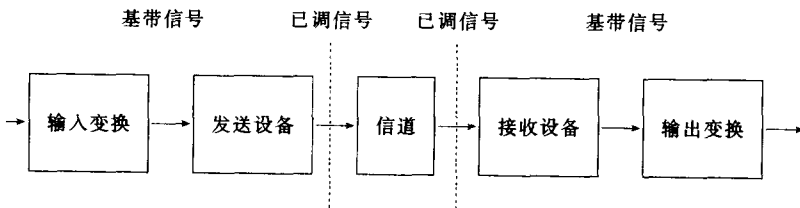


图 1-1 通信系统基本组成框图

根据分类方式的不同,通信系统的种类很多。按传输的信息的物理特征,可以有电话、电报、传真通信系统,广播电视通信系统、数据通信系统等;按传输的基带信号的物理特征,又可以分为模拟和数字通信系统;而按传输媒介的物理特征,则分为有线通信系统和无线通信系统。

在无线模拟通信系统中,传输媒介是自由空间。根据电磁波的波长或频率范围,电磁波在自由空间的传播方式不同,且信号传输的有效性和可靠性也不同,由此使得通信系统的构成及其工作机理也有很大的不同。

无线通信系统使用的频率范围很宽阔,从几十千赫兹到几十吉赫兹。习惯上按电磁波的频率范围划分为若干个区段,称作频段,或波段。无线电波在空间传播的速度  $c = 3 \times 10^8 \text{m/s}$ ,则高频信号的频率  $f$  (Hz) 与其波长  $\lambda$  (m) 的关系为

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1-1)$$

无线电波段可以按频率划分,也可以按波长划分。如表 1-1 所示,列出按波长划分的波段名称、相应的波长范围及相应的频段名称。不过,波段的划分是粗糙的,各波段之间并没有明显的分界线,所以各波段之间的衔接处,无线电波的特



性也无明显差异。

应当注意到，无线电波传播方式与波长有关。无线电波的传播，是无线通信系统中的一个重要的环节，其传播方式有三种：沿地面传播的地波、靠电离层折射和反射传播的天波，以及沿空间直线传播的空间波。无线电波是一种电磁波，当沿地面传播时，由于地面不是理想导体，将造成能量的损耗，且这种损耗随频率的升高而增加。因此，通常只有中、长波适合地面传播。同时，由于地球表面的导电特性较为稳定，短时间内不会有很大的变化，因此，中、长波的传播也就较稳定，传送距离也较远。频率超过 30MHz 以上的超短波主要沿空间直线传播。鉴于地球表面是弯曲的，所以这种传播只限于视线范围，而卫星通信使空间传播的距离大大增加。在 1.5~30MHz 范围的短波是靠大气层上部的电离层的折射和反射进行传播的，可以传播得很远。无线电波到达电离层后，一部分能量被吸收掉，一部分能量被反射和折射到地面。其中，频率较低的无线电波被反射到地面，频率较高的无线电波则穿过电离层，不会反射到地面，这就是 30MHz 的超短波主要沿空间直线传播的原因。

表 1-1 波段的划分

波段名称	波段范围	频率范围	频段名称
超长波	10~100km	3~30kHz	甚低频 VLF
长波	1~10km	30~300kHz	低频 LF
中波	200~1000m	0.3~1.5MHz	中频 MF
短波	10~200m	1.5~30MHz	高频 HF
超短波（米波）	1~10m	30~300MHz	甚高频 VHF
微波	分米波	10~100cm	特高频 UHF
	厘米波	1~10cm	超高频 SHF
	毫米波	1~10mm	极高频 EHF
	亚毫米波	0.1~1mm	超极高频

通信系统的核心组成部分是发送设备和接收设备。不同的通信系统的发送设备和接收设备的组成不完全相同，但基本结构也还是有相似之处。我们经常见到的通信系统有广播通信系统和移动通信系统。它们都是无线通信系统，从发送设备到接收设备之间的无线电波的传播是属于模拟通信系统，其组成结构基本相同。在我们接触这些设备的工作原理和组成电路之前，初步了解其结构组成是有好处的。

无线通信系统的发送设备和接收设备的结构框图，如图 1-2 和图 1-3 所示。

振荡器产生等幅的高频正弦信号，经过倍频器后，即成为载波频率信号。然

后，被基带信号调制，产生高频已调信号，最后再经功率放大器放大，获得足够的发射功率，作为射频信号发送到空间。载波频率是在适合无线信道传播的频率范围。

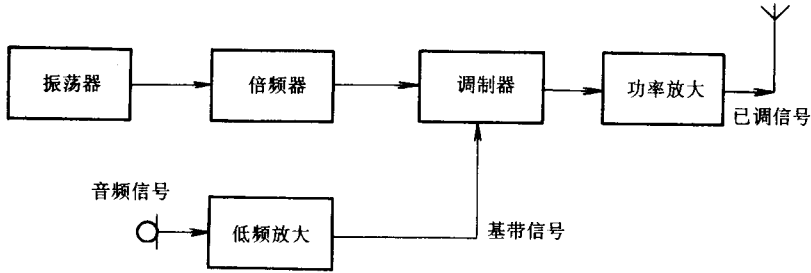


图 1-2 无线通信发送设备

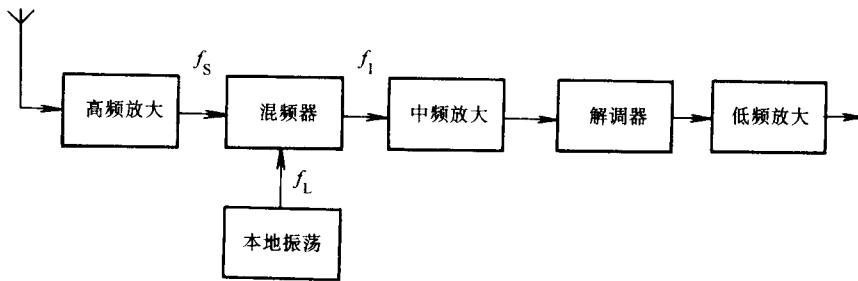


图 1-3 无线通信接收设备

接收设备的第一级是高频放大器。由于由发送设备发出的信号经过长距离的传播，受到很大的衰减，能量受到很大的损失，同时还受到传输过程中来自各方面的噪声干扰。当达到接收设备时，信号是很微弱的，所以需要经过放大器的放大。并且，高频放大器的窄带特性同时滤除一部分带外的噪声和干扰。高频放大器的输出是载频为  $f_s$  的已调信号，经过混频器，与本地振荡器提供的频率为  $f_L$  的信号混频，产生频率为  $f_1$  的中频信号。中频信号经中频放大器放大，送到解调器，恢复原基带信号，再经低频放大器放大后输出。

高频放大器、中频放大器都是小信号谐振放大器，功率放大器是谐振功率放大器，调制器和解调器进行幅度调制、角度调制和它们的解调，上述放大器以及振荡器、混频器都是本课程所讨论的重点。

### 第三节 · 收发信机电路

本节选用一台 450MHz 移动通信设备作为实例，给出其组成框图与电路，使

读者可以较为全面地了解通信收发信设备的整体结构和功能模型，以利于对通信电路功能模块电路的理解。

该收发信机的发射机输出功率为 25W，接收机在信纳比为 12dB 时的灵敏度为  $0.25\mu\text{V}$ 。可在 450MHz 频段 25MHz 频带宽度上工作。在该范围内使用的发射和接收频率由频率合成器控制，可对频率在 16 个信道上编程。

话音频偏为  $\pm 3.75\text{kHz}$ ，信道防护调制附加频偏为  $\pm 0.75\text{kHz}$ 。当设备受到呼叫时，信道防护电路激活收发信机的接收机，产生音频输出。

接收机还有一个静噪电路，在背景噪声减小情况下提供业务，而在接收到相当强信号时，接收机的输出才被激活。发射机和接收机的频率响应，应当在 300Hz 和 3000Hz 之间每倍频程预加重和去加重标准 6dB 的  $+1\text{dB}\sim-3\text{dB}$  之内。

该设备使用一种可供选择的附加扫描单元，可对 16 个可用信道中的任一个或全部信道进行自动扫描，加以编程。在正常情况下，该单元按照已制定的时间表，将改配短时守听的频率转换到已编程的信道上。它有两种优先权能力。优先权 1，一旦出现信号，就锁定在特别重要信道上，这一信道每 0.5s 受到一次扫描。优先权 2，是锁定在第二个被选信道上，每 2s 完成扫描，第二个被选信道不包括优先权 1 的信道。

### 一、收发信机功能框图

移动无线电设备内部分两块电路板：一块为发射机和接收机电路板，功能框图如图 1-4 所示。另一块为频率合成器和内连电路，功能框图如图 1-5 所示。两块电路板用插头和插座相互连接，无需用内部电线相连。

图 1-5 中部的频率合成器 IC101 的输出电压，为发射机的注入电压（图 1-4 顶部左侧）和接收机的注入电压（图 1-4 左侧中部）。发射和接收注入电压由图 1-5 右侧的收发开关取出。信号通过的路径可从图 1-5 看出，信号从话筒预放（Q901）出发，经过音频处理器（IC301）和音频调制器（R320）接至调频压控振荡器 VCO。压控振荡器 VCO 后接缓冲器（Q106 Q107），然后以收发开关（D105 D104）接于发射端，150MHz 范围内的调频信号加至图 1-4 顶部左侧的发射机输入射频放大器 1（Q101）。经三倍频器（Q102）将信号倍频至 450MHz 频带。经过一系列射频放大器放大，使信号输出功率达到 25W。功率调整控制级与第一功率放大器相连。该电路将在后面讨论。

在天线开关的接收部位（见图 1-4，W201），信号从天线加到接收机输入端的滤波器（L401、L402）上。随后经放大器（Q401）、第一混频器（Q402），将输入频率减小为 45MHz 中频。第一混频器注入信号源是另一电路板上的频率合成器。这一注入信号加至图 1-4 的左侧中部的本地振荡器缓冲器（Q351）上。该电压频率也在 150MHz 范围，必须经三倍倍频，方可得到加至第一混频器所需频率。

混频器输出的 45MHz 信号是接收信号频率与注入信号频率之间的差频。经过放大，信号加至图 1-4 下部左侧的第二混频上，该混频器将频率减小至标准的 455kHz 范围。混频器的注入信号源是晶体振荡器和频率调整电路（Y 501 和 L501）产生。这些级之后为正交检波器、音频放大器、音频去加重网络和扬声器音频放大器。

几种附加功能和作用简述如下。

#### （一）集成电路 IC501

在图 1-4 下部左侧的集成电路 IC501，其中包括接收机静噪单元。该单元分离和测量音频输出的噪声分量，在没有信号时，形成所需的直流控制电压，使音频输出静噪。在设定噪声调整值（R607）时，应设定在使令人烦恼的背景噪声截止；另一方面，若有一定电平的电波信号时，应能够切断静噪电路，从而听到音频输出。

信道防护框位于集成电路 IC501 的右侧。该电路当接收机中出现合适的单频音或数字信号时，激活音频输出。反之，音频输出保持截止。面板上有一监测开

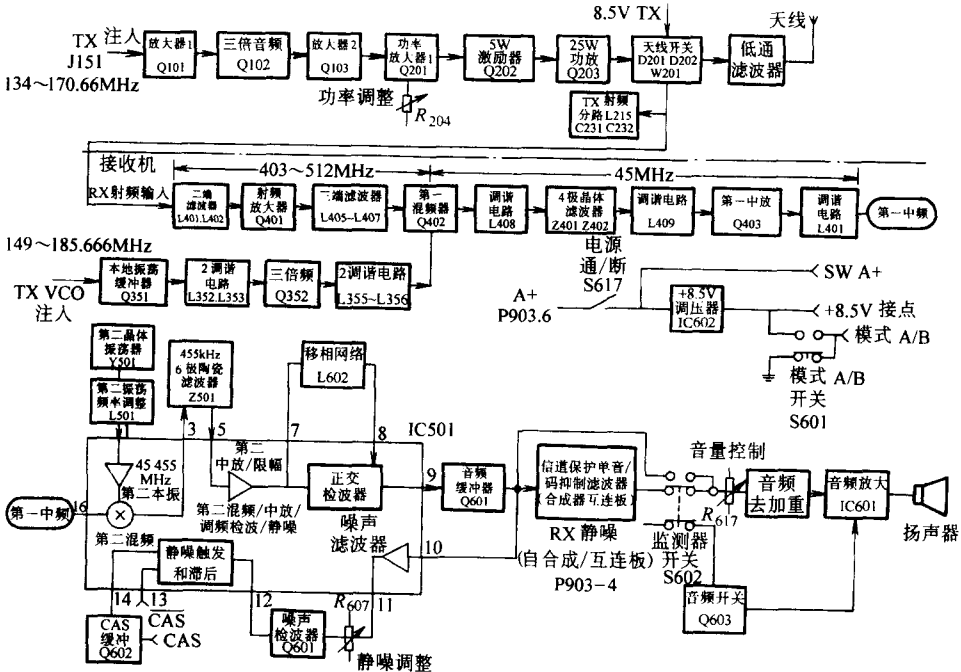


图 1-4 450MHz 移动无线电设备功能框图

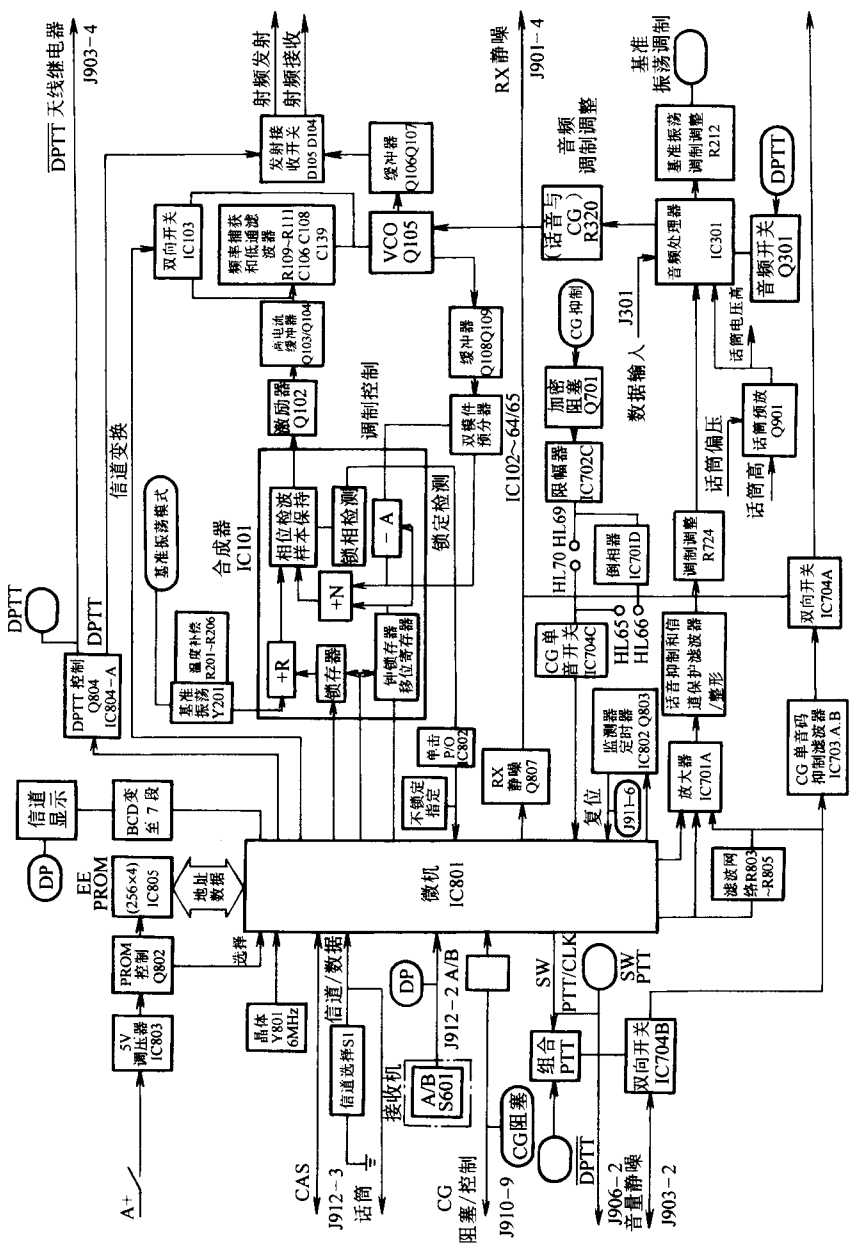


图 1-5 频率合成器/内连板的组成框图

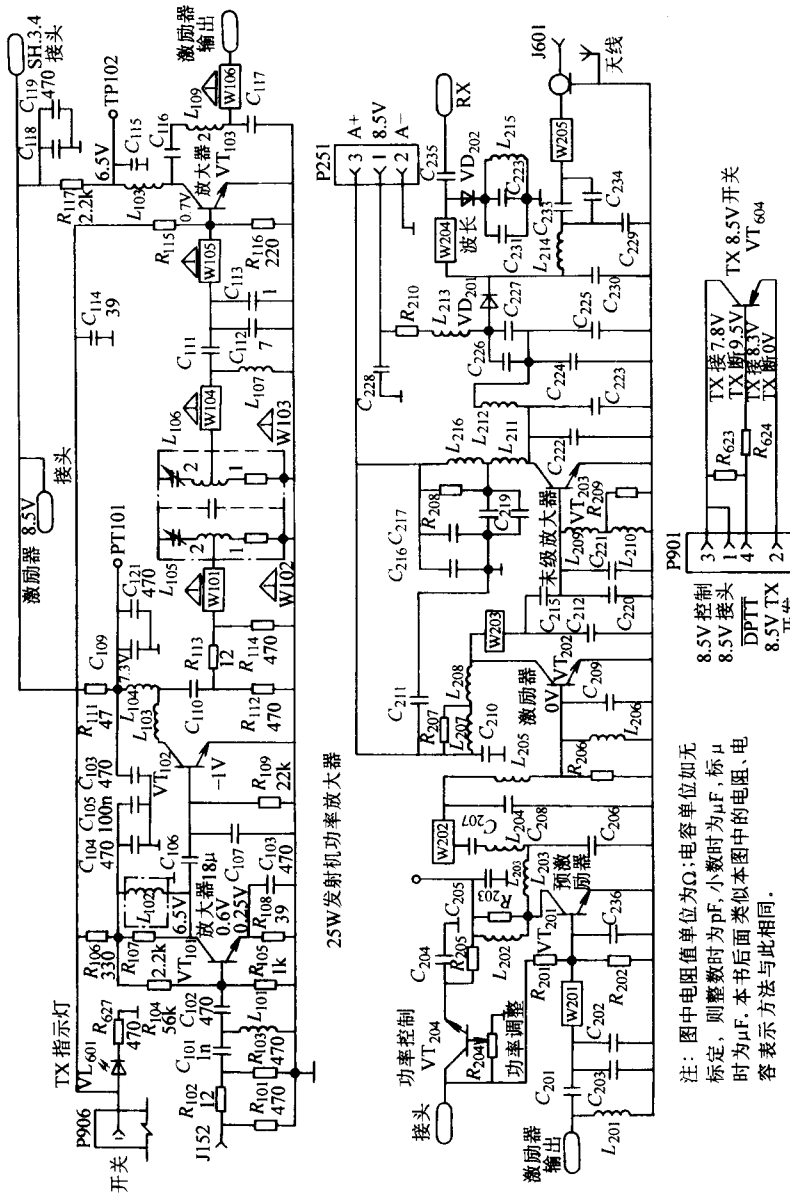


图 1-6 450MHz 发射机电路

关 S602, 按下 S602, 可使信道防护不起作用。这样一来, 就可以在从希望的任意时间, 在信道上守听。而且, 导出一个计算机辅助系统 (CAS) 分量, 用于计算机辅助静噪。只要信道在使用, 指示灯就发亮。

## (二) 频率合成器/内连板

频率合成器/内连板的附加功能的作用如图 1-5 所示。频率合成器 (IC101) 位于该图中部。主要组成部分有: 分频器、相位鉴别器、预分刻度器等。在微处理机 IC801 控制下, 根据图 1-5 左侧中部的信道选择开关 (S1) 和接收模式 A/B 开关 (S601) 的位置来选择信道, 产生需要的发射注入频率信号和接收注入频率输出信号。

模式 A/B 开关和信道选择器, 可选择 16 个工作信道。模式 A 可选择 8 个信道, 而模式 B 可选择 8 个附加信道, 从而获得总数 16 个信道。实际上可以选择 16 个独立的发射和接收频率。在典型应用中, 可对模式 A/B 开关编程, 通过中介转发台转发或者通过两移动台之间直接联系, 从而实现移动台至移动台的通信。举一个例子, 可对信道 1 模式 A 编程用于转发台频率路径, 而对信道 1 模式 B 编程用于移动台至移动台路径。通过设定模式开关位置可以选择信道 1 上的任一路径, 因而可以建立起各种有用的组合。

微处理机的存储系统如图 1-5 顶部左侧所示。所有信道数据都存储在 EEPROM 中。地址和数据母线将 EEPROM 接至微处理机。请注意, EEPROM 是一种可擦除型存储器, 并可由用户编制程序。微处理机钟是一个 6MHz 晶体电路 (Y801)。

信道防护的动作也是在微处理机控制下进行的。通过图 1-5 底部中央附近的一组框图, 将信道防护调制 R 724 加至音频处理器 (IC301), 以便形成频率调制信号。信道防护信息也存储在 EEPROM 存储器中。微计算机系统还控制载波接通时间。

## 二、发射机电路

发射机电路图如图 1-6 所示。图 1-6 由两部分组成, 其上半部分是该图中顶部三级激励器, 它包括输入放大器、三倍倍频器和第二放大器。其输出加到下半部分图中底部三级发射机功率放大器的输入端。激励器的输入电平近似于 5mW, 由装于第二块板上的频率合成器的电压控制振荡器供给, 该振荡器是频率合成器的一个组成部分。激励器的输出是 60mW, 是激励功率放大器的最小值。晶体管 VT101 是按 A 类工作的放大器。

## 第四节 本课程特点

通信电子电路是低频电子电路的后续课程。从它处理的信号频率角度来说, 发送和接收的信号都是高频信号。这是相对于需要传送信息的音频信号和视频信号

来说的。我们称这些音频信号和视频信号为基带信号。基带信号的基本特点是其信号频谱为宽带的，即该信号频谱范围的上限频率和下限频率的差（即信号带宽），与其下限频率的比远大于1。宽带信号包含大量低频信号的能量，这些信号不适于在空间（即无线信道）中传播，特别是远距离的传播。为了能够在无线信道中有效地传播这些信号，就必须经过调制，即将基带信号（即音频信号和视频信号）变换为适合于传播的高频信号。这就是说，无线通信中传送和接收的信号都是已调信号。已调信号是窄带信号，即已调信号频谱范围的上限频率和下限频率的差，与下限频率的比远小于1。宽带信号与窄带信号是相对而言的。

为了远距离地传送信号和接收信号，就需要调制和解调，这是一种变换。无线电波的发送设备和接收设备就是进行这种变换的设备。因此，在这些设备中，必定包含非线性的器件。在本教材中，阐述的各部分高频电子电路，除高频小信号谐振放大器外，都是非线性电路。

非线性电子电路的分析方法相对于线性电子电路的分析方法来说，更加复杂，求解也困难得多。然而，根据实际情况，常常可以通过工程分析方法，或借助电子电路的仿真软件 Pspice，对电子器件和电路的数学模型和工作条件进行合理的近似，以获取符合实际情况的具有实际意义的结果。我们更关心通信电子电路的各个部分的外特性，即输入信号与输出信号，及它们之间的变换关系。

全书共分八章。第一章为绪论，简单地介绍无线电信号传输的基本原理与通信系统，以使学生在一开始就建立系统的概念。第二章为窄带小信号谐振放大器，包括并联谐振回路及小信号谐振放大器的基本原理。第三章介绍了窄带谐振功率放大器，在这里使学生建立非线性电路的概念。第四章为正弦振荡器，作为载波信号源。第五章是一个重点，主要有幅度调制、解调、混频及其电路的基本原理。第六章所介绍的角度调制是非线性调制，也是通信系统经常采用的方式。第七章讲述的锁相环路是现代通信系统和测量设备不可缺少的技术。最后一章，描述了数字调制的一些基本概念。

通信电子电路的各个组成部分有许多实际的电路，反映出通信的基本原理，又包含着实际应用的价值，我们应当很好地掌握它们。然而，这些复杂的电路也有其特有的规律，必须掌握其要点。同时，应当注意到，构成通信电子电路的元器件与低频电子电路的元器件既有相同之处，又有不同之处。同学们在学习过程中，必须注意它们的异同点。

通信电子电路是在科学和生产实践过程中逐步发展起来的学科，因此，在学习过程中必须注重理论联系实际。



## 第二章 窄带小信号谐振放大器

### 第一节 概 述

在无线通信中,发射与接收的无线电信号通常是已调信号,具有窄带特性。经过长距离的无线传输后,信号会受到很大衰减和噪声干扰。到达接收设备的信号是非常弱的,为了有效地接收,首先需要经过放大和滤除噪声干扰。高频小信号谐振放大器将完成这样的处理,它也作为中频放大器对已调信号进行放大。

高频小信号放大器广泛用于广播、电视、通信、测量仪器等设备中。它们的主要功能是从接收的众多电信号中,选出有用信号并加以放大,同时对无用信号、干扰信号、噪声信号有抑制作用,以提高接收信号的质量和抗干扰能力。

高频小信号放大器有两类,即以谐振回路为负载的谐振放大器和以滤波器为负载的集中选频放大器。谐振放大器由晶体管与  $LC$  并联谐振回路构成,分为调谐放大器和频带放大器两种,用于接收前级时的调谐接收和谐振频率不变的中频放大。集中选频放大器将放大功能和选频功能分开,经宽频带放大器放大后,由窄带带通滤波器选频,这些窄带带通滤波器有  $LC$  带通滤波器、晶体滤波器、陶瓷滤波器和声表面波滤波器。目前广泛采用集中宽频带放大器。

高频小信号放大器主要性能指标有:谐振增益、通频带、选择性及噪声系数等等。

#### 一、谐振增益

放大器的谐振增益是指放大器在谐振频率上的电压增益,记为  $A_u$ 。其值可用分贝 (dB) 表示。放大器的增益具有与谐振回路相似的谐振特性,如图 2-1 所示。图中  $f_0$  表示放大器的中心谐振频率, $A_u/A_{u0}$  表示相对电压增益。当输入信号的频率恰好等于  $f_0$  时,放大器的增益最大。

#### 二、通频带

通频带是指信号频率偏离放大器的谐振频率  $f_0$  时,放大器的电压增益  $A_u$  下降到谐振电压增益  $A_{u0}$  的  $1/\sqrt{2} \approx 0.707$  时,所对应的频率范围,一般用  $BW_{0.7}$  表示,如图 2-1 所示。即

$$BW_{0.7} = f_H - f_L$$

#### 三、选择性

选择性是指谐振放大器从输入信号中选出有用信号成分并加以放大,而将无用的