

职业技术教育电类系列教材

ZHIYE JISHU JIAOYU DIANLEI XILIE JIAOCAI



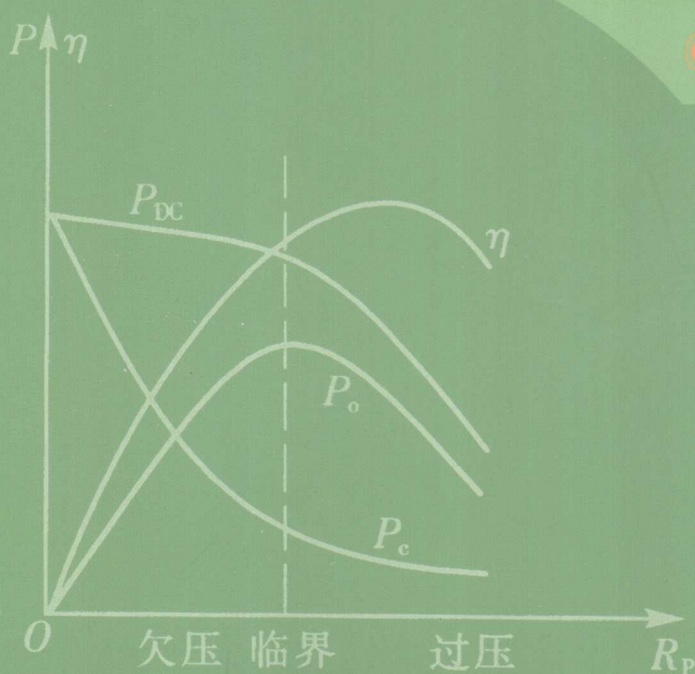
高频电子技术

安徽省高等教育“十一五”规划教材

GAOPIN DIANZI JISHU

● 主编 方庆山 副主编 范莉花 黄有金

● 主审 林春方



安徽科学技术出版社

职业技术教育电类系列教材



安徽省高等教育“十一五”规划教材

高频电子技术

● 主 编 方庆山
副主编 范莉花 黄有金
主 审 林春方

 安徽科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

高频电子技术/方庆山主编. —合肥:安徽科学技术出版社,2009.1

职业技术教育电类系列教材

ISBN 978-7-5337-3813-6

I. 高… II. 方… III. 高频-电子电路-高等学校: 技术学校-教材 IV. TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 125912 号

高频电子技术

方庆山 主编

出版人:黄和平

责任编辑:何宗华 期源萍

出版发行:安徽科学技术出版社(合肥市政务文化新区圣泉路 1118 号)

出版传媒广场,邮编:230071)

电话:(0551)3533330

网址:www.ahstp.net

E-mail:yougoubu@sina.com

经销:新华书店

排版:安徽事达科技贸易有限公司

印刷:合肥瑞丰印务有限公司

开本:787×1092 1/16

印张:10

字数:245 千

版次:2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷

定价:20.00 元

(本书如有印装质量问题,影响阅读,请向本社市场营销部调换)

内 容 简 介

本书主要介绍高频电子技术的基本原理、分析方法、计算方法及应用。主要内容有无线通信系统的组成简介、高频小信号放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、调幅、检波与混频、角度调制与解调、反馈控制电路、数字信号的调制与解调,以及 EWB 仿真实验等。每章后都附有本章小结及思考与练习,供读者自我检测。

本书可作为高等职业技术学院电子信息技术类专业及相关专业的教材,也可作为工程技术人员的参考用书及其他人员自学高频电子线路的参考用书。

前 言

21 世纪是信息的时代。为了适应时代对技能型人才的需求,深化教育改革,大力发展高等职业教育已势在必行。教材建设是发展高等职业教育的重要环节。我们编写的《高频电子技术》就是面向高职高专的教材,也可供应用技术性本科生使用。根据高职高专教育的特点,本着“淡化理论、够用为度、培养技能、重在实用”的原则,在教材编写过程中,我们力求摆脱繁琐的理论推导,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高频电子线路的分析方法。在附录中我们还利用流行的 EWB 仿真分析软件,完成对电路性能的分析,以加深学生对高频电路的工作原理和电路性能的理解。

高频电子技术是电子信息及其相关专业的一门重要的专业基础课程,是一门工程性和实践性都很强的课程,它需要一定的电路分析、信号系统及模拟电子线路等学科的知识作为基础。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,锻炼并掌握分析问题、解决问题的能力,以及使用 EWB 软件的能力。本书从模拟通信系统的组成以及系统整体的概念出发,逐步深入地介绍高频电子线路的各个功能电路,并适当介绍了新器件、新电路以及数字通信的一些基本知识。各章内容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运用,本教材对电路的介绍尽可能接近实际应用的情况,增加了集成电路的应用实例。

本教材由安徽电子信息职业技术学院方庆山任主编,负责全书的统稿工作,并编写了绪论、第一、二、七章以及附录部分,安徽职业技术学院范莉花编写了第三、四章,安徽职业技术学院黄有金编写了第五、六章。全书由安徽电子信息职业技术学院林春方老师主审。在本书的编写过程中得到了安徽科学技术出版社及安徽电子信息职业技术学院领导和老师的关心与帮助,一并致以真诚的感谢。

由于编者水平有限,经验不足,书中疏漏之处恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

绪 论	1
第一节 无线通信系统的基本工作原理	1
第二节 发射设备的基本原理和组成	3
第三节 接收设备的基本原理和组成	4
本章小结	5
思考与练习 0	5
第一章 高频小信号放大器	6
第一节 宽带放大器的特点、技术指标和分析方法	6
第二节 扩展放大器通频带的方法	8
第三节 小信号谐振放大器	13
第四节 集中选频放大器	19
本章小结	24
思考与练习 1	24
第二章 高频功率放大器	25
第一节 概述	25
第二节 丙类谐振功率放大器	26
第三节 丙类倍频器	37
第四节 丁类高频功率放大电路简介	38
第五节 宽带高频功率放大器	39
本章小结	43
思考与练习 2	43
第三章 正弦波振荡器	44
第一节 反馈式振荡器的工作原理	44
第二节 LC 正弦波振荡器	48
第三节 石英晶体振荡器	52
第四节 RC 正弦波振荡器	55
第五节 负阻正弦波振荡器	59
本章小结	61
思考与练习 3	61
第四章 调幅、检波与混频	64
第一节 调幅波的基本性质	64
第二节 调幅电路	68

第三节 检波器	73
第四节 混频器	78
本章小结	83
思考与练习 4	84
第五章 角度调制与解调	87
第一节 调角信号的基本性质	87
第二节 调频电路	93
第三节 鉴频器	98
本章小结	104
思考与练习 5	105
第六章 反馈控制电路	107
第一节 自动增益控制(AGC)	107
第二节 自动频率控制(AFC)	111
第三节 锁相环路	113
本章小结	122
思考与练习 6	123
* 第七章 数字信号的调制和解调	124
第一节 数字通信系统概述	124
第二节 基带数字信号	126
第三节 幅度键控	130
第四节 频率键控	133
第五节 相位键控	135
本章小结	140
思考与练习 7	140
附录 EWB 仿真实验	141
第一节 EWB 基本操作方法简介	141
第二节 仿真实验	144
实验一 高频小信号谐振放大器	144
实验二 高频谐振功率放大器	145
实验三 正弦波振荡器	146
实验四 调幅与检波	147
实验五 混频器	151
实验六 斜率鉴频器	152
参考文献	154

绪 论

电子技术最早应用于通信(communication)。虽然随着电子技术的发展,其应用几乎遍及各个科学领域和国民经济的各个部门,但通信系统仍是电子技术应用的重要领域。通信的主要任务是传递信息,即将信息从一个地方传递到另一个地方。传递信息既可以通过有线方式,也可以通过无线方式,即有线通信和无线通信。无线通信系统是通信系统中最典型的系统。由于无线电波能方便快捷地在空间传播,所受限制较少,因此广泛应用于广播、电视、个人通信、雷达和导航等领域。高频电子线路研究的对象主要是无线电发射与接收设备中有关单元电路的原理、组成与功能。下面先以无线通信系统为例,简单介绍通信系统的基本工作原理及各高频单元电路的应用,以增加读者对高频电子线路的认识,使读者对本书所要讨论的主要内容以及它们之间的联系有个初步的了解。

第一节 无线通信系统的基本工作原理

无线通信系统的组成框图如图 0-1 所示。它由发射设备、传输媒质和接收设备构成,其中发射设备包括变换器、发射机和发射天线 3 个部分;接收设备包括接收天线、接收机和变换器 3 个部分;传输媒质为自由空间。

信息源发出需要传送的信息,如符号、文字、声音和图像等,由变换器将这些要传送的声音或图像信息转换成相应的电信号,然后由发射机把这些电信号转换成高频振荡信号,发射天线再将高频振荡信号转换成无线电波,向空间发射。无线电波经过自由空间到达接收端,接收天线将接收到的无线电波转换成高频振荡信号,接收机把高频振荡信号转换成原始电信号,再由变换器还原成原来传递的信息(声音或图像等),送给受信人,从而完成信息的传递过程。

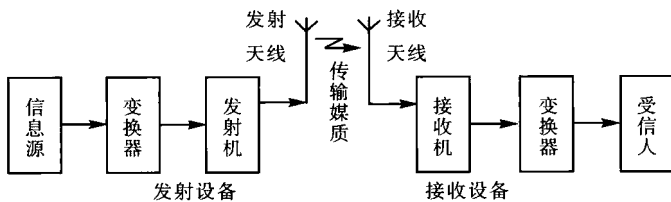


图 0-1 无线通信系统组成框图

无线电波是一种电磁波,其传播的速度与光速相同,约为 3×10^8 m/s。无线电波的波长、频率和传播速度之间的关系可用下式表示

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (0-1)$$

式中, λ 是波长,单位为 m; c 是传播速度,单位为 m/s; f 是频率,单位为 Hz。

在电子线路中,由于信号频率不同时,电子器件、电路的特性和无线电波传播的特点差异很大,因此我们有必要了解一下无线电波波段划分及各波段的主要用途(表 0-1)。

表 0-1 无线电波段划分及各波段的主要用途

波段名称	波长范围	频段名称	频率范围	主要用途
超长波	$10^4 \sim 3 \times 10^4 \text{ m}$	甚低频(VLF)	$30 \sim 10 \text{ kHz}$	高功率、长距离、点对点通信
长波	$10^3 \sim 10^4 \text{ m}$	低频(LF)	$300 \sim 30 \text{ kHz}$	长距离点与点间的通信、船舶通信
中波	$10^2 \sim 10^3 \text{ m}$	中频(MF)	$3000 \sim 300 \text{ kHz}$	广播、船舶通信、飞行通信
短波	$10 \sim 10^2 \text{ m}$	高频(HF)	$30 \sim 3 \text{ MHz}$	短波广播、军事通信
米波	$1 \sim 10 \text{ m}$	甚高频(VHF)	$300 \sim 30 \text{ MHz}$	电视、调频广播、雷达、导航
分米波	$10 \sim 100 \text{ cm}$	特高频(UHF)	$3000 \sim 300 \text{ MHz}$	电视、雷达、移动通信
厘米波	$1 \sim 10 \text{ cm}$	超高频(SHF)	$30 \sim 3 \text{ GHz}$	雷达、中继、卫星通信
毫米波	$1 \sim 10 \text{ mm}$	极高频(EHF)	$300 \sim 30 \text{ GHz}$	短距离通信、高分辨力雷达、飞行导航、遥感遥测
亚毫米波	$< 1 \text{ mm}$		$> 300 \text{ GHz}$	

无线电波在空间的传播途径有 3 种:①沿地面传播的地波,如图 0-2(a)所示;②依靠电离层的反射传播的天波,如图 0-2(b)所示;③在空间直线传播的直线波,如图 0-2(c)所示。

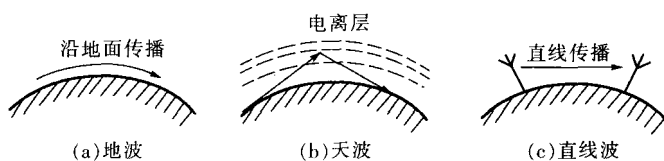


图 0-2 无线电波的传播方式

长波的波长较长,遇障碍物绕射能力强,且地面的吸收损耗较少,因此长波主要以地波方式传播。

波长介于长波与短波之间的中波,由于电离层对其吸收较强,尤其是在白天吸收更为严重。因而,中波在白天基本上不能依靠电离层的反射,而只是依靠地波方式进行传播。但是,地面对中波的吸收比长波厉害,因此,中波在白天传播距离约 100 km。而在晚上,电离层对中波的吸收减弱,这时中波可借助电离层反射传播到较远的地方。这就是为什么某些远距离的广播电台在白天收不到而在夜间却能收到的原因。

短波的波长较短,地面绕射能力弱,且地面吸收损耗较大,不宜地面传播。虽然电离层对短波的吸收也很厉害,但依靠电离层的反射可以实现远距离的短波通信。尤其是利用电离层与地球表面之间的多次反射现象,可实现超远距离的无线电通信,因此短波主要以天波方式传播。

波长比短波更短的无线电波称为超短波(如米波、分米波等)。超短波的波长往往小于地面障碍物(如山、高大建筑物等),不能绕过,且地面吸收损耗很大,所以不能以地波方式传播;同时超短波也能穿透电离层,即电离层很难反射它,所以也不能以天波方式传播。因此超短波只能在空间以直线波方式传播。由于地球的表面是球面的,为了增大传播的距离,发射天线往往要提高架设的高度。

第二节 发射设备的基本原理和组成

在无线通信的发射部分,待传送的信息(声音、图像等)由变换器转换成相应的电信号。一般来说,这些电信号的频率较低或频带较宽,例如,音频信号(包括语言、音乐)的频率为 $20\text{ Hz}\sim 20\text{ kHz}$,图像信号的频率为 $0\sim 6\text{ MHz}$ 。值得注意的是,如果把上述信号直接以电磁波形式从天线辐射出去,则存在下述两个问题。

首先,无法制造合适尺寸的天线。由电磁场理论知,只有当天线的尺寸可与被辐射信号的波长相比拟时(波长 λ 的 $1/10\sim 1$),信号才能被天线有效地辐射出去。对于频率 f 为 $20\text{ Hz}\sim 20\text{ kHz}$ 的音频信号,由式(0-1)可得,相应的波长 λ 为 $15\,000\sim 15\text{ km}$ 。若采用 $\lambda/4$ 天线,则天线的长度应在 3.75 km 以上。显然,这么长天线的制造与安装实际上是做不到的。

其次,无法选择所要接收的信号。即使上述信号能发射出去,由于多家电台的发射信号的频率大致相同,它们在空间混在一起,因此接收机无法区分,接收者也就无法选择所要接收的信号。

由此可见,要实现无线通信,首先必须让各电台发射频率不同的高频振荡信号,再把要传送的信号“装载”到这些频率不同的高频振荡信号上,经天线发射出去。这样既缩短了天线尺寸,又避免了相互干扰。

把待传送的信号“装载”到高频振荡信号上的过程,称为调制。所谓“装载”,是指由携有信息的电信号去控制高频振荡信号的某一参数,使该参数按照电信号的规律变化。通常将携有信息的电信号称为调制信号;未经调制的高频振荡信号好比“运载工具”,称为载波信号;经过调制后的高频振荡信号称为已调波信号。当传输的调制信号为模拟信号时,称为模拟通信系统;当传输的调制信号是数字信号时,称为数字通信系统。虽然调制信号不同,但通信系统的原理和组成是相同的。

高频载波通常是一个正弦波振荡信号,有振幅、频率和相位 3 个参数可以改变,因此,用调制信号对载波进行调制就有调幅、调频和调相 3 种方式。

调幅(Amplitude Modulation, AM),指载波的频率和相位不变,载波的振幅按调制信号的变化规律而变化。调幅获得的已调波称为调幅波。

调频(Frequency Modulation, FM),指载波的振幅不变,载波的瞬时频率按调制信号的变化规律而变化。调频获得的已调波称为调频波。

调相(Phase Modulation, PM),指载波的振幅不变,载波的瞬时相位按调制信号的变化规律而变化。调相获得的已调波称为调相波。调频和调相统称为调角。

由于调幅应用较早而且使用广泛,因此,下面以调幅广播发射机为例简明扼要地说明发射设备各部分的作用,调幅广播发射机的组成方框图如图 0-3 所示。

高频振荡器用来产生频率稳定的高频振荡信号,现多采用石英晶体振荡器。高频放大器用来放大振荡器产生的高频振荡信号,它通常是由多级谐振放大器组成的。由于石英晶体产生的振荡频率不能太高,所以这时还应通过倍频器,使高频振荡的频率倍增到所需的载波频率上,最后输出的是幅度足够大的载波。

低频放大器又称为调制信号放大器,用来放大话筒变换来的电信号,最后输出足够强的调制信号。通常低频放大器是由几级小信号低频电压放大器和低频功率放大器组成。

高频功放及调幅器将载波信号的功率放大到足够大,同时用调制信号对载波进行调幅,得

到功率足够大的调幅波信号,最后由天线以电磁波形式辐射出去。

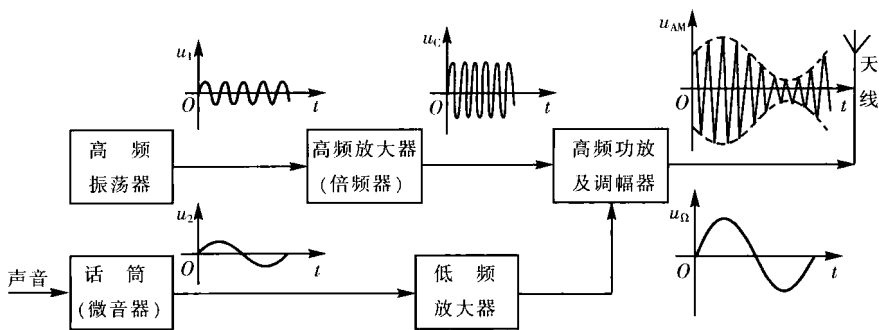


图 0-3 采用调幅方式的无线广播发射机框图

第三节 接收设备的基本原理和组成

无线通信接收设备的工作过程与发射设备的相反,它的任务是把空间传来的电磁波接收到,选出所需的已调波信号,并把它还原为原来的调制信号,以推动输出变换器,获得所需的信息。从高频已调波中“取出”调制信号的过程,称为解调。由于已调波的调制方式有 3 种,因此解调也有 3 种方式:检波(调幅波的解调)、鉴频(调频波的解调)与鉴相(调相波的解调)。

目前,无论是无线电广播接收机(收音机),还是电视接收机(简称电视机)、通信接收机、雷达接收机等都毫无例外地采用“超外差”接收机的形式。以上各类接收机的组成与工作原理大同小异,所以,下面以超外差调幅收音机为例,对其工作原理作简略分析。超外差调幅收音机的组成方框图如图 0-4 所示。

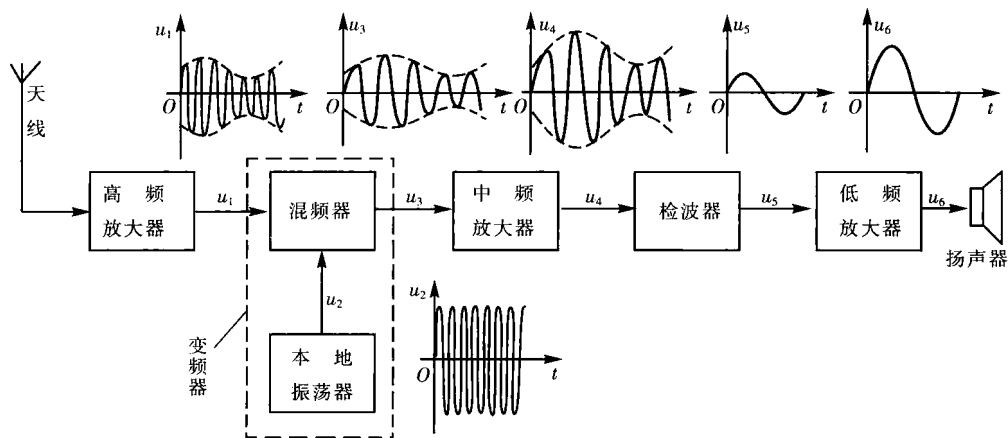


图 0-4 超外差调幅收音机方框图

接收天线接收从空间传来的电磁波并感生出微小的高频信号,高频放大器从中选择出所需的信号并进行放大,得到高频调幅波信号 $u_1(t)$,高频放大器通常由一级或多级具有选频特性的小信号谐振放大器组成。本地振荡器(又称本机振荡器)产生高频等幅振荡信号 $u_2(t)$,它

比 $u_1(t)$ 的载频高一个中间频率,简称中频。调幅波信号 $u_1(t)$ 和本振信号 $u_2(t)$ 同时送至混频器进行混频,混频后输出 $u_3(t)$ 。 $u_3(t)$ 与 $u_1(t)$ 相比,其包络线的形状不变,即仍携有原来调制信号的信息,但载波频率则转换为 $u_2(t)$ 的频率与 $u_1(t)$ 的载频之差,即转换为中频,因此 $u_3(t)$ 为中频调幅波信号。 $u_3(t)$ 经中频放大器放大为 $u_4(t)$,再送到检波器。检波器从中频调幅信号 $u_4(t)$ 中取出反映传送信息的调制信号 $u_5(t)$,再经低频放大器放大为 $u_6(t)$,送到扬声器中转变为声音信号。

超外差式接收机的核心是混频器,其作用是将接收到的不同载波频率转变为固定的中频,这就要求本振频率始终比外来信号频率超出一个差频,这也是超外差式接收机名称的由来。由于中频是固定的,因此中放的选择性和增益都可以较高,从而使整机的灵敏度和选择性也好。混频器和本地振荡器如果共用一个电子器件,则它们将合并为一个电路,称为变频器。

本章小结

本章简单介绍了无线通信系统的基本组成及工作原理。无线通信系统是高频电子线路的一个典型应用。无线通信系统一般由发射设备、传输媒质和接收设备构成,其中发射设备包括变换器、发射机和发射天线 3 个部分;接收设备包括接收天线、接收机和变换器 3 个部分;传输媒质为自由空间。信号发射要经过调制过程,信号接收要经过解调过程。本章所涉及的调制、解调、振荡和变频等概念将在后续章节陆续介绍。

思考与练习 0

- 0.1 无线通信系统由哪几部分组成,各部分起什么作用?
- 0.2 无线通信中为什么要进行调制与解调?它们的作用是什么?
- 0.3 画出超外差式调幅收音机的原理框图,简要叙述其工作原理。
- 0.4 如接收的广播信号频率为 936 kHz,中频为 465 kHz,问接收机的本机振荡频率是多少?

第一章 高频小信号放大器

放大高频小信号(中心频率在几百千赫到几百兆赫)的放大器称为高频小信号放大器。根据工作频带的宽窄不同,高频小信号放大器分为宽带放大器和窄带放大器两大类。所谓频带的宽窄,指的是相对频带,即通频带与其中心频率的比值。宽带放大器的相对频带较宽(通常在 0.1 以上),窄带放大器的相对频带较窄(通常要小到 0.01)。其中窄带放大器又可分为两类:一类是以谐振回路为负载的谐振放大器;另一类是以集中滤波器为负载的集中选频放大器。本章首先介绍宽带放大器的特点、分析方法和扩展放大器通频带的方法,然后分析小信号谐振放大器,最后简单介绍具有集中选频功能的集中选频放大器。

第一节 宽带放大器的特点、技术指标和分析方法

随着电子技术的发展及其应用的日益广泛,被处理信号的频带越来越宽。例如,在模拟电视接收机中的图像信号占有的频率范围为 0~6 MHz。为了不失真地进行放大,要求放大器的工作频率至少为 50 Hz~5 MHz,最好是 0~6 MHz。又如,在 300 MHz 的宽带示波器中,Y 轴放大器需要具有 0~300 MHz 的通频带。在雷达和通信系统中,也需要传输和放大宽频带信号。例如,同时传输一路电视和几百路电话信号的微波多路通信设备,放大器的通频带约需 20 MHz,若设备的中频选为 70 MHz,则相对频带接近 30%。而雷达系统中信号的频带可达几千兆赫。要放大和处理以上的信号,以前所介绍的许多放大器是不能胜任的,而必须采用宽带放大器(Wideband Amplifier)。按放大信号的强弱,宽带放大器可分为小信号和大信号两类,本章主要介绍小信号宽带放大器。大信号宽带放大器又称宽带功放,将在第二章介绍。

一、宽带放大器的主要特点

(一)三极管采用特征频率(f_T)很高的高频管

虽然宽带放大器的下限频率低,但由于其上限频率很高,分析电路时也必须考虑三极管的高频特性。

(二)对电路的技术指标要求高

宽带放大器,从技术上讲,比一般低频放大器要求高。这不仅因为它的频带宽,而且还由于它所放大的信号,最终接受的感觉器官往往是眼睛,而不是耳朵。前者比后者敏感得多。所以,在低频放大器中未考虑的一些问题,例如相位失真等,在宽带放大器中就必须予以考虑。

(三)负载为非谐振的

不同用途的宽带放大器,其电路形式是有所不同的。大体上可分为两种情况:放大从零频到高频信号的宽带放大器,一般采用直接耦合的直流放大器;放大从低频到高频信号的宽带放大器,多采用阻容耦合放大器。但不管哪一类宽带放大器,由于频带宽,负载总是非谐振的。

二、宽带放大器的主要技术指标

宽带放大器的主要技术指标有以下 4 项。

(一)通频带

通频带是基本指标,由于用途不同,对其要求也不同。因为下限频率很低,而上限频率很高,往往就用上限频率表示频带宽度。如果下限频率接近零,必须注明它的下限频率值,以便在设计电路时,充分考虑下限频率能否顺利通过。

(二)增益

宽带放大器的增益应足够高。但增益与带宽的要求往往相互矛盾,有时不得不牺牲增益来得到带宽。为了全面衡量放大器的质量指标,常需考虑放大器的增益带宽积。其值越大,宽带放大器的质量越高。

(三)输入阻抗

为了减轻宽带放大器对前级的影响,要求放大器的输入阻抗高。高质量的宽带放大器的输入阻抗一般为兆欧级。

(四)失真

宽带放大器的失真要小。失真包括非线性失真、频率失真和相位失真。为减小非线性失真,宽带放大器和音频放大器一样,都应该工作在器件特性曲线的线性段,而且应工作在甲类状态。产生频率失真的原因是由于三极管在高频时的电容效应,以及外电路中存在的电抗元件,由此使宽带放大器对不同频率的信号增益不同,从而引起频率失真。而不产生相位失真的条件则是使各频率分量的时延时间相等。

三、宽带放大器的分析方法

宽带放大器的上述特点决定了它的分析方法与小信号的低频放大器有所不同。通常有稳态法和暂态法两种,下面对这两种方法做一下介绍。

(一)稳态法

任何复杂的信号都可看成许多不同频率、不同幅度的正弦信号的叠加。我们可以通过分析或测量宽带放大器对不同频率正弦波的响应情况,得到电路的振幅频率特性(幅频特性)和相位频率特性(相频特性),据此即可分析出宽带放大器的增益、带宽、相移和信号失真的情况。这种方法称为稳态分析法,也称频域分析法。用稳态法测试宽带放大器频率特性时,一般用扫频仪进行,其接线如图 1-1 所示。用扫频仪输出频率连续变化的扫频信号送到被测放大器的输入端,再用扫频仪的探头观测放大器的输出端,即可在扫频仪的屏幕上直接看到放大器的幅频特性。然后通过扫频仪的频标及 Y 轴衰减器就可以读出放大器的中频增益和通频带。

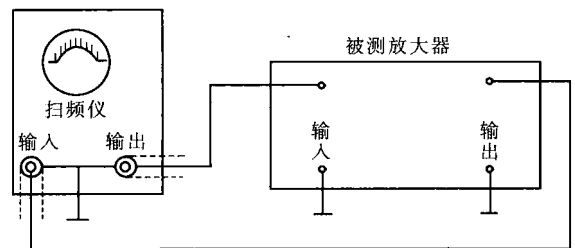


图 1-1 扫频仪测试宽带放大器的接线图

(二)暂态法

暂态法是在时域内研究放大器对阶跃脉冲的响应情况。我们知道,任何信号也可看成许

多不同起始时间、不同幅度的矩形脉冲的叠加。因此,我们可以将一周期性的矩形脉冲送入宽带放大器,并观察经宽带放大器处理后输出波形的失真情况,据此来判断该放大器的某些特性。这种分析方法称为暂态法,也称时域分析法。

图 1-2 为用暂态法测试宽带放大器时的接线图。其方法是给宽带放大器输入一个理想的矩形脉冲如图 1-3(a) 所示,然后用脉冲示波器观察该放大器对此矩形脉冲的响应。图 1-3(b) 是有失真时的输出波形。失真程度用脉冲的上升时间 t_r 和平顶降落 ΔU_m 来表示。上升时间 t_r 又叫建立时间,它是指输出电压 $u_o(t)$ 从 $0.1U_m$ 上升到 $0.9U_m$ 所需要的时间。平顶降落 ΔU_m 表示输出电压 $u_o(t)$ 的上升沿顶点 U_m 与下降沿拐点处脉冲值之差的绝对值。为了比较降落的程度,常用平顶降落的相对值 δ 表示,即 $\delta = \Delta U_m / U_m$ 。



图 1-2 暂态法测试宽带放大器的接线图

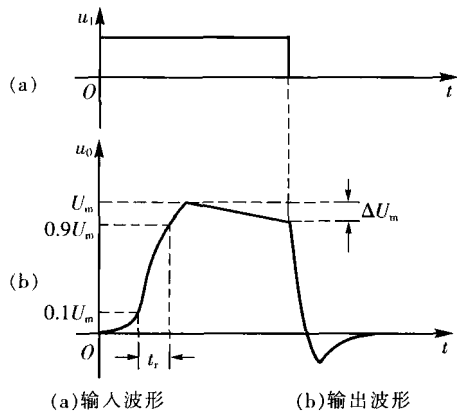


图 1-3 暂态法测试的输入波形与输出波形

宽带放大器的高频特性影响输出脉冲陡峭的前沿,而低频特性则影响平顶部分。输出脉冲的上升沿越陡,说明放大器的高频特性越好;平顶降落越少,说明放大器的低频特性越好。因此,根据输出脉冲的波形就可判断宽带放大器的特性。

稳态法和暂态法分别是 从频域和时域分析放大器特性的方法,它们在本质上是一致的。稳态法适合于定量计算,暂态法比较直观,适合于电路的调整。

第二节 扩展放大器通频带的方法

宽带放大器的通频带主要取决于放大器的上限频率,因此,要得到频带较宽的放大器,必须提高其上限频率。为此,除了选择 f_T 足够高的管子外,还广泛采用负反馈、组合电路以及对电路加以改进(高频补偿)等方法,以达到拓宽频带的目的。

一、负反馈法

采用负反馈技术以增宽放大器的通频带,是一种非常重要的手段,在宽带放大器中用得最多。负反馈既能抑制外界因素引起的放大器的增益变化,同时也能抑制由频率变化而引起的增益变化。图 1-4 所示为负反馈拓宽频带。由图中的幅频特性曲线可见,加入负反馈后中频电压增益降低了,但幅频特性变得平坦了,即通频带得到展宽。所以负反馈是以降低增益为代价来展宽频带的。而且反馈越深,通频带扩展得越宽。这里必须指出,加负反馈后在改善幅频

特性的同时,还会产生附加相移。如果在中频段能满足负反馈条件,在低频段或高频段上,由于这些附加相移的存在,有可能改变反馈信号的极性,致使负反馈变成正反馈,造成反馈放大器工作不稳定,这是在实践中必须注意的问题。

二、组合电路法

我们知道,影响放大器高频增益的因素除电路的外接电容、布线电容等外部因素外,主要与三极管内部参数即结电容、结电阻等有关。不同组态的放大电路有各自不同的特点,共射(CE)电路的电压增益最高,上限频率(f_H)却最低,输入、输出阻抗适中;共基(CB)电路的电流增益最低,有一定的电压增益, f_H 较高,输入阻抗低,输出阻抗高;共集(CC)电路的电压增益最低, f_H 很高,输入阻抗高,输出阻抗低。因此,如果将它们合理组合,取长补短,就可以用较少的元器件组成优质的宽带放大器。例如采用共射-共基、共射-共集等组合形式,均可组成较满意的宽带放大器。图1-5即为常见的几种组合电路的连接图。

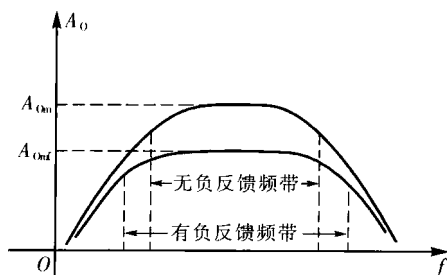


图 1-4 负反馈拓宽频带

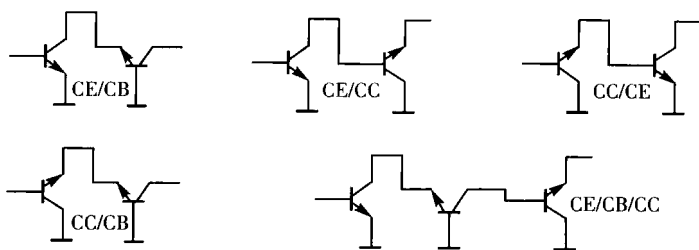


图 1-5 几种组合电路的连接方式

对于共射-共基组合电路,由于共基电路的上限频率远高于共射电路的上限频率,所以整个组合电路的上限频率取决于共射电路。共基电路很小的输入阻抗作为共射电路的负载,则共射电路中三极管的密勒等效电容(由 C_{bc} 引起)大大减小,从而提高了共射电路的上限频率,因此整个组合电路的上限频率也提高了。当然,负载减小会使共射电路的电压增益下降,但后级共基电路的电压增益会给予补偿,使整个组合电路的电压增益与单个共射电路的电压增益基本相同。

对于共射-共集电路则是利用了共集电路的输出阻抗很小的特点,减小了负载电容对电路高频特性的影响,从而使得组合电路频带得到展宽。

在共集-共射电路中,共集电路很小的输出阻抗作为共射电路等效的信号源内阻,它使得共射电路的源电压增益提高,这种组合电路与单级共射电路相比较,无论是电压增益,还是上限频率都有所提高。

在实用电路中,频带的展宽往往是几种方法综合运用结果。图1-6所示为集成宽带放大器 L1590 的内部电路。

图中,三极管 $VT_{11} \sim VT_{16}$ 、二极管 $VD_1 \sim VD_4$ 和有关电阻构成偏置电路。第一级由 VT_1 、 VT_2 、 VT_3 和 VT_6 构成,其中 VT_1 、 VT_3 和 VT_2 、 VT_6 均为共射-共基组合,它们共同构成共射-共基差动放大器。这种电路形式不仅具有较宽的频带,而且还提供了较高的增益,同

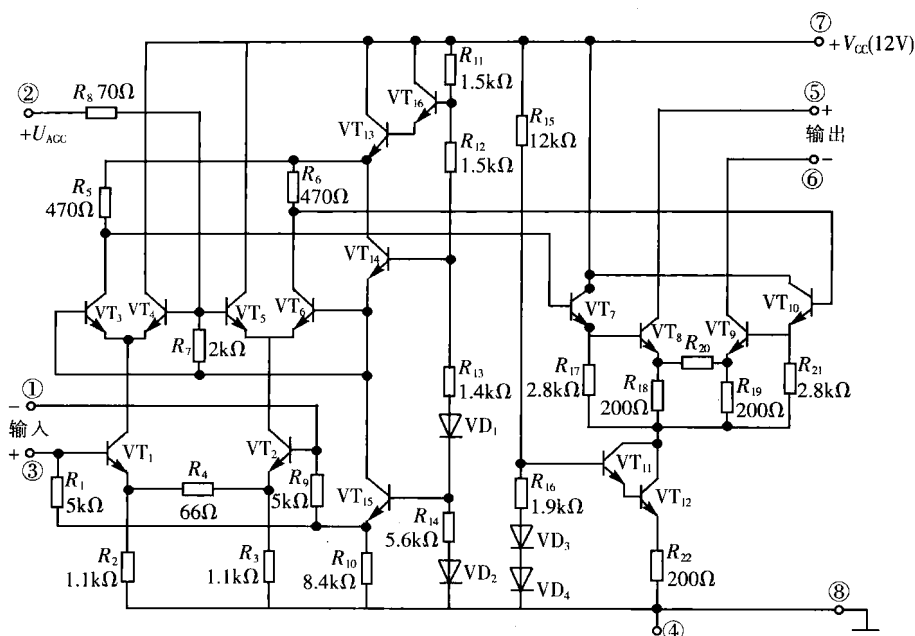


图 1-6 集成宽带放大器 L1590 的内部电路

时 R_2 、 R_3 和 R_4 引入的负反馈可扩展该级的频带。VT₃、VT₆ 集电极输出的信号分别送到 VT₇、VT₁₀ 的基极。第二级由 VT₇~VT₁₀ 构成,其中 VT₇、VT₈ 和 VT₉、VT₁₀ 均为共集-共射组合电路,它们共同构成共集-共射差动放大器, R_{18} 、 R_{19} 和 R_{20} 引入负反馈,改变 R_{20} 可调节增益。同时,VT₇、VT₁₀ 的共集组态可很好地将第一级与后面的电路隔离。采取了以上所述的拓宽频带的方法后,L1590 的工作频带可达 150 MHz。

三、补偿法

利用电抗元件进行补偿以展宽频带的方法,在宽带放大器中经常使用。根据补偿元件接入的电路不同,有基极回路补偿、发射极回路补偿以及集电极回路补偿。

(一)基极回路补偿

图 1-7 是基极 RC 补偿电路。图中 R_B 和 C_B 是补偿用的元件。在低频和中频时, C_B 的容抗较大, R_B 、 C_B 对输入信号电压有一定的分压作用,从而使得放大电路的电压增益降低。而在高频时, C_B 的容抗减小, R_B 、 C_B 对输入信号的分压作用减弱,这样,放大电路的高频增益相对来说就得到了提高,即得到了补偿。在脉冲技术中,由于接入 C_B 以后,可以使矩形脉冲的上升沿变陡,因此称 C_B 为加速电容。加入 C_B 后,改善了高频特性,亦即拓宽了频带。

(二)发射极回路补偿

发射极回路补偿是广泛使用的另一种补偿方法。图 1-8 是发射极回路补偿电路。图中 R_E 和 C_E 为补偿元件。在一般电路中,为了不致影响放大电路的增益,改善低频特性, C_E 往往用得很大,达 50~200 μF ,此时称 C_E 为旁路电容。但是,如果把 C_E 选小些,例如几皮法或几百皮法,那么在低频和中频时, C_E 可以视为开路,这时将有一定的电流负反馈,使得低频和中频增益下降。然而,在高频时,由于 C_E 容抗的减小,负反馈减弱,高频增益相对来说就得到了补偿。这种方法与基极回路补偿一样,实际上是用压低中、低频增益,来换取改善高频特性的。