

电子信息类规划教材

模拟电子线路(二)

郑应光



东南大学出版社

电子信息类规划教材

主要内容

本书为电子信息类规划教材，主要介绍模拟电子线路的基本概念、基本理论和基本分析方法。全书共分五章，第一章介绍模拟电子线路的基本概念，第二章介绍二极管、三极管、场效应管、晶闸管等非线性元件的伏安特性及基本电路，第三章介绍集成运算放大器的基本特性及基本电路，第四章介绍集成运算放大器的应用电路，第五章介绍功率放大电路。本书可作为高等院校电子信息类及相关专业教材，也可供从事电子工作的工程技术人员参考。

模拟电子线路

(二)

郑应光

责任编辑：王桂芳

出版：东南大学出版社

地址：南京

ISBN 7-81020-239-6

定价：3.00元

印数：10000册

中图分类：TN71

江苏出版集团

（南京）

出版

地址：南京

地址：南京

东南大学出版社

地址：南京

地址：南京

内 容 提 要

本书为原电子工业部“九五”规划教材。内容分7章,分别叙述高频小信号放大器,高频功率放大器,正弦波振荡器,频率变换和模拟乘法器,调幅、检波与变频,调角与解调,锁相环路。每章末都有小结和习题,书末附有部分习题答案,便于读者自学。

本书可作为高职、中等职业院校电子类专业的教材,也可供有关电子技术人员参考。

(二)

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子线路(二)/郑应光编. —南京:东南大学出版社, 2000. 8

ISBN 7-81050-589-0

I. 模... II. 郑... III. 模拟电路-高等学校-教材
IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 39688 号

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销

扬中市印刷有限公司印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:12.5 字数:312 千字

2000 年 8 月第 1 版 2004 年 1 月第 5 次印刷

印数:14001-17000 册 定价:18.00 元

出版说明

为做好全国电子信息类专业“九五”教材的规划和出版工作,根据国家教委《关于“九五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》和《普通高等教育“九五”国家级重点教材立项、管理办法》,我们组织各有关高等学校、中等专业学校、出版社,各专业教学指导委员会,在总结前四轮规划教材编审、出版工作的基础上,根据当代电子信息科学技术的发展和面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的要求,编制了《1996—2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》。

本轮规划教材是由个人申报,经各学校、出版社推荐,由各专业教学指导委员会评选,并由我部教材办商各专指委、出版社后,审核确定的。本轮规划教材的编制,注意了将教学改革力度较大、有创新精神、特色风格的教材和质量较高、教学适用性较好、需要修订的教材以及教学急需,尚无正式教材的选题优先列入规划。在重点规划本科、专科和中专教材的同时,选择了一批对学科发展具有重要意义,反映学科前沿的选修课、研究生课教材列入规划,以适应高层次专门人才培养的需要。

限于我们的水平和经验,这批教材的编审、出版工作还可能存在不少缺点和不足,希望使用教材的学校、教师、同学和广大读者积极提出批评和建议,以不断提高教材的编写、出版质量,共同为电子信息类专业教材建设服务。

前 言

本书是“九五”规划教材,根据原电子工业部《〈模拟电子线路〉教学大纲》编写的,并经全国中专电子技术类专业教学指导委员会组织的审稿会审定通过,可作为高职、中专等职业院校电子类专业的教材。

《模拟电子线路》分为两册出版,其中《模拟电子线路(一)》为低频电子线路,《模拟电子线路(二)》为高频电子线路,它们之间既相对地独立,又有机地联系在一起。

当前,电子技术的发展异常迅速,教学改革的风潮汹涌澎湃,如何编写一本符合教改精神、反映电子技术的新进展而又具有职教特色的教材,无疑是一项艰巨的任务。为此,全国中专电子技术类专业教学指导委员会于1998年10月在南京召开了《模拟电子线路》编写大纲讨论会,参加会议的有来自上海、天津、辽宁、常州、淮阴、浙江、安徽、福建、山东、广东、南昌、重庆、贵州和南京等14所电子类职业院校的教师。本书就是作者根据这次会议确定的编写大纲,并总结多年教学实践的经验和教训编写的。

本书为《模拟电子线路(二)》。由于高频电子线路涉及到的基本单元电路类型较多,因此在编写时精选内容,侧重于单元电路的基本工作原理和基本分析方法,避免繁琐的公式推导,着重于讲清物理意义,并适当介绍新器件和新电路。编者希望本书具有“通俗易懂、好教好学、内容精炼、有所创新”的特色,能得到读者的肯定和喜爱。

本书选取了适量的习题,并在书末附有参考答案。

本书打星号(*)的内容可不讲授。

东南大学谢嘉奎教授在讨论编写大纲和书稿的形成过程中提出了许多中肯的建议,并给予了热情的指导,编者在此表示深切的谢意。

由书由福建电子工业学校潘平仲老师主审,他认真地审阅了教材的原稿,指出了书稿中的不妥之处,并提出了许多宝贵的意见。辽宁电子工业学校金文华老师,天津电子信息学校季世伦老师,山西电子工业学校陈立平老师,内蒙古电子学校尹作林、刘英、刘利平、邢树忠、韩丁、巴根等老师参加了审稿会,他们都提出了宝贵的意见。其中金文华老师为本书的责任编委,在本书的编写和审稿过程中做了大量的工作。编者在此对以上同志表示衷心的感谢。此外,南京无线电工业学校的领导对本书的编写工作给予大力的支持,为本书的出版创造了良好的条件。

由于编者水平有限,书中一定存在不当之处,期望得到广大读者的批评指正。

编 者

2000年7月于南京

目 录

绪论	(1)
1 高频小信号放大器	(6)
1.1 宽带放大器的特点和分析方法	(6)
1.1.1 宽带放大器的主要特点	(6)
1.1.2 宽带放大器的分析方法	(6)
1.2 扩展放大器通频带的方法	(8)
1.2.1 组合电路法	(8)
1.2.2 负反馈法	(9)
1.2.3 集成宽带放大器	(10)
1.3 小信号谐振放大器的分类和主要性能指标	(12)
1.4 调谐回路谐振放大器	(13)
1.4.1 单调谐放大器	(14)
1.4.2 双调谐放大器	(17)
1.5 集成中频放大器	(20)
1.5.1 集成中频放大器的组成	(20)
1.5.2 陶瓷滤波器	(20)
1.5.3 声表面波滤波器	(22)
1.5.4 集成中频放大器电路实例	(22)
小结	(24)
习题一	(24)
2 高频功率放大器	(26)
2.1 概述	(26)
2.1.1 高频功率放大器的分类	(26)
2.1.2 谐振功率放大器的特点	(26)
2.2 谐振功率放大器的工作原理	(27)
2.2.1 丙类谐振功率放大器	(27)
2.2.2 倍频器	(29)
2.2.3 丁类谐振功率放大器	(29)
2.3 丙类谐振功率放大器的性能分析	(31)
2.3.1 谐振功率放大器的动态线	(31)
2.3.2 集电极余弦电流脉冲的分解	(33)
2.3.3 丙类谐振功率放大器的特性	(34)
2.4 丙类谐振功率放大器电路	(36)
2.4.1 直流馈电电路	(36)
2.4.2 匹配网络	(38)

2.4.3	谐振功率放大器的实际电路	(41)
* 2.4.4	谐振功率放大器的调谐与调整	(42)
* 2.5	宽带高频功率放大器	(43)
2.5.1	传输线变压器	(43)
2.5.2	宽带功率合成与分配网络	(46)
2.5.3	宽带高频功率放大器电路实例	(48)
小结		(49)
习题二		(49)
3	正弦波振荡器	(52)
3.1	反馈式正弦波振荡器的工作原理	(52)
3.1.1	组成与分类	(52)
3.1.2	平衡条件和起振条件	(53)
3.1.3	主要性能指标	(55)
3.1.4	分析步骤	(56)
3.2	LC 正弦波振荡器	(56)
3.2.1	变压器反馈式振荡器	(57)
3.2.2	三点式振荡器	(58)
3.2.3	差动对管振荡器	(63)
3.2.4	频率稳定	(63)
3.2.5	改进型电容三点式振荡器	(64)
3.3	石英晶体振荡器	(66)
3.3.1	石英谐振器	(66)
3.3.2	石英晶体振荡器	(68)
3.4	RC 正弦波振荡器	(71)
3.4.1	RC 串并联网络的频率特性	(71)
3.4.2	文氏电桥振荡器	(72)
* 3.5	间歇振荡和寄生振荡	(74)
3.5.1	间歇振荡	(74)
3.5.2	寄生振荡	(76)
小结		(76)
习题三		(77)
4	频率变换和模拟乘法器	(82)
4.1	频率变换的基本概念	(82)
4.1.1	信号的频谱	(82)
4.1.2	频率变换	(84)
4.2	模拟乘法器	(84)
4.2.1	模拟乘法器的概念	(84)
4.2.2	模拟乘法器的基本工作原理	(85)
4.2.3	集成模拟乘法器 F1595	(88)

4.2.4	集成模拟乘法器的应用	(89)
4.3	频谱搬移的实现原理	(92)
4.3.1	模拟乘法器实现频谱搬移的原理	(92)
4.3.2	非线性器件的相乘作用	(94)
小结		(96)
习题四		(96)
5	调幅、检波与变频	(98)
5.1	调幅波的基本性质	(98)
5.1.1	调幅波的数学表达式和波形	(98)
5.1.2	调幅波的频谱与带宽	(99)
5.1.3	调幅波的功率关系	(100)
5.1.4	双边带调制和单边带调制	(101)
5.2	调幅电路	(103)
5.2.1	普通调幅电路	(103)
5.2.2	双边带调制电路	(105)
5.2.3	单边带调制电路	(109)
5.3	检波器概述	(110)
5.3.1	检波器的作用和组成	(110)
5.3.2	检波器的主要性能指标	(111)
5.4	检波电路	(112)
5.4.1	同步检波器	(112)
5.4.2	大信号包络检波器	(114)
5.5	自动增益控制	(117)
5.5.1	AGC 电路的作用	(117)
5.5.2	实现 AGC 的方法	(118)
5.5.3	AGC 电压的产生	(120)
5.6	变频器概述	(121)
5.6.1	变频器的作用	(121)
5.6.2	变频器的工作原理	(122)
5.6.3	变频器的主要性能指标	(123)
5.7	混频电路	(123)
5.7.1	模拟相乘混频器	(123)
5.7.2	二极管环形混频器	(124)
5.7.3	三极管混频器	(125)
5.7.4	干扰和失真	(127)
小结		(131)
习题五		(131)
6	调角与解调	(135)
6.1	调角波的基本性质	(135)

6.1.1	瞬时频率和瞬时相位	(135)
6.1.2	调角波的数学表达式、频偏和相偏	(135)
6.1.3	调角波的频谱与频带宽度	(139)
6.1.4	调频制和调幅制的比较	(141)
6.2	调频电路	(142)
6.2.1	直接调频电路	(142)
6.2.2	间接调频电路	(146)
6.2.3	扩展线性频偏的方法	(148)
6.3	鉴频方法综述	(149)
6.3.1	鉴频的方法	(150)
6.3.2	对鉴频器的主要性能要求	(150)
6.4	鉴频电路	(151)
6.4.1	斜率鉴频器	(151)
6.4.2	相位鉴频器	(154)
6.4.3	脉冲计数式鉴频器	(159)
6.5	自动频率控制	(160)
6.5.1	AFC 的工作原理	(161)
6.5.2	AFC 的应用	(161)
小结		(162)
习题六		(163)
7	锁相环路	(166)
7.1	锁相环路的基本工作原理	(166)
7.2	锁相环路的相位模型及性能分析	(167)
7.2.1	锁相环路的相位模型	(167)
7.2.2	捕捉与跟踪	(172)
7.2.3	一阶锁相环路的性能分析	(173)
7.2.4	锁相环路的基本特性	(174)
7.3	集成锁相环路	(175)
7.3.1	模拟锁相环 L562	(175)
7.3.2	数字锁相环 CC4046	(176)
7.4	锁相环路的应用简介	(177)
7.4.1	调频与解调	(177)
7.4.2	调幅信号的同步检波	(178)
7.4.3	频率合成	(179)
小结		(182)
习题七		(183)
附录 1	部分习题参考答案	(185)
附录 2	本书常用符号表	(189)
参考文献		(192)

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,但是通信仍是电子技术应用的重要领域。通信是信息的传输和处理的过程,而本书为模拟电子线路的高频部分,它所涉及的单元电路都与信息的传输和处理有关,因此有必要对通信系统作一简单的介绍,使读者对本书所要讨论的主要内容以及它们之间的关系有个初步的了解。

广义地说,通信是将信息从发送者传送到接收者的过程,而实现这种信息传送过程的系统称为通信系统。一个完整的通信系统应包括信号源、发送设备、传输媒质、接收设备和终端装置五部分,如图 0.1 所示。

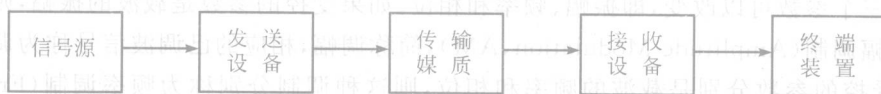


图 0.1 通信系统的组成方框图

信号源是指待传送的信息(例如声音或图像)通过换能器(例如话筒或摄像机)转换成的电信号,它与待传送信息的变化规律相同。这种电信号一般较微弱,必须利用电子线路进行放大。终端装置将接收到并经一定处理的电信号转换为原来的信息,它可以是扬声器、显像管等。

传输媒质是发送设备和接收设备之间信号传送的通道,它可以是导线(架空明线或电缆)或光导纤维(简称光纤),也可以是传输电磁波的自由空间。利用导线或光纤传送信号的系统称为有线通信系统,其中利用光纤传送信号的系统又称为光纤通信系统;利用电磁波在自由空间传送信号的系统称为无线通信系统。下面以无线通信系统为例,对其发送设备和接收设备的基本原理和组成作一简单的介绍。

0.1 发送设备的基本原理和组成

1) 调制(Modulation)

无线通信系统是用电磁波辐射的方式传送信号的,这些信号包括语言、音乐、电码或电视图像等。一般说来,它们的频率较低或频带较宽,例如,音频信号(包括语言、音乐)的频率约为 20 Hz~20 kHz,图像信号的频率约为 0~6 MHz。我们知道,交变的电振荡可以利用天线向空间辐射电磁波。但是,若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:

(1) 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 Hz~20 kHz 的音频信号,由 $\lambda=c/f$ 知(c 为光速),相应的波长 λ 为 15 000~15 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。

(2) 接收者无法选择所要接收的信号 即使上述信号能发射出去,由于不同的发送设备(即电台)发射信号的频率大致相同,它们在空间混在一起,因此接收设备将同时接收到不同电台的信号,无法加以区分,接收者也就无法选择所要接收的信号。

为了解决上述问题,我们可以让各电台发射频率不同的高频电磁波,同时让所要传送的信号“装载”到这些频率不同的高频信号上。这样,既缩短了天线尺寸,使其便于制造和安装,又使接收者可以选择所需接收的信号,避免互相干扰。实现上述设想的措施就是采用“调制”。

把要传送的信号“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(Modulation Signal);未调制的高频振荡信号称为载波信号,简称载波(Carrier),其频率称为载频或射频(Radio Frequency);经过调制后的高频振荡信号称为已调波信号(Modulated Signal)。一个载波电压信号可表示为

$$u_c(t) = U_{cm} \cos(\omega_c t + \varphi_0)$$

它有三个参数可以改变,即振幅、频率和相位。如果受控的参数是载波的振幅,则这种调制称为振幅调制(Amplitude Modulation, AM),简称调幅,相应的已调波信号称为调幅波信号;如果受控的参数分别是载波的频率和相位,则这种调制分别称为频率调制(Frequency Modulation, FM)和相位调制(Phase Modulation, PM),简称为调频和调相,相应的已调波信号分别称为调频波信号和调相波信号^①。由于一个信号的频率和相位有着密切的联系,无论是调频或调相,都会使载波的相角变化,因此二者统称为角度调制(Angle Modulation),简称为调角,相应的调频波和调相波信号统称为调角波信号。

实际上,上述三种调制的调制信号都是连续信号,因此统称为连续波调制。另一大类调制是脉冲波调制,这种调制首先使脉冲的幅度或宽度、位置等按照调制信号的规律变化,然后再用这已调脉冲对载波进行调制,因此脉冲调制是双重调制。脉冲调制有脉幅调制(Pulse Amplitude Modulation, PAM)、脉宽调制(Pulse Width Modulation, PWM)、脉位调制(Pulse Position Modulation, PPM)和脉冲编码调制(Pulse Code Modulation, PCM)等多种形式。连续波调制和脉冲波调制的调制信号是模拟信号,故统称为模拟调制(Analog Modulation)。如果调制信号为数字信号,则相应的调制称为数字调制(Digital Modulation),又称为键控调制,它有移幅键控(Amplitude Shift Keying, ASK)、移频键控(Frequency Shift Keying, FSK)和移相键控(Phase Shift Keying, PSK)等。本书只讨论连续波的调制。

2) 发送设备的组成

图 0.2 为采用调幅方式的无线通信发送设备(也称发射机, Transmitter)的组成方框图。下面简述各部分的作用。

高频振荡器用来产生频率稳定的高频振荡信号。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。由于高频振荡的频率有时还不够高,所以这时还应通过倍频器,使高频振荡的频率倍增到载波频率 f_c 上,最后输出的是幅度足够大的载波 u_c 。

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

^① AM、FM 和 PM 将在后面章节中详细介绍。

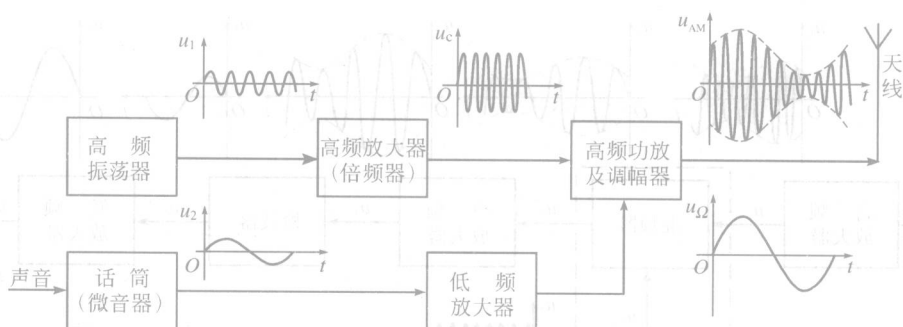


图 0.2 采用调幅方式的无线通信发送设备的组成方框图

调制信号(即音频信号),它由几级小信号低频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(Antenna)发射出去。

为了形象地说明上述工作原理,在图 0.2 中还画出了各部分的波形图。

0.2 接收设备的基本原理和组成

1) 解调(Demodulation)

无线通信接收设备(也称接收机,Receiver)的工作过程恰好与发送设备相反,它的任务是把空间传来的电磁波接收下来,选出所需的已调波信号,并把它还原为原来的调制信号,以推动终端装置。从高频已调波信号中“取出”调制信号的过程,称为解调。由于已调波的调制方式有三种,因此解调也有三种方式,其中调幅波的解调称为振幅检波,简称检波(Detection);调频波的解调称为频率检波,简称鉴频(Frequency Detection);调相波的解调称为相位检波,简称鉴相(Phase Detection)。

2) 接收设备的组成

无线通信的接收机有直接放大式和超外差式两种。前者由于灵敏度不高已很少使用,因此下面仍以调幅方式为例,简单介绍无线通信超外差式(Superheterodyne)接收机,其组成方框图如图0.3所示。

图中,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(它也可以省略不用)从中选择出所需的信号并进行放大,得到高频调幅波信号 $u_1(t)$,高放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,Local Oscillator)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合,输出电压 $u_3(t)$ 。 $u_3(t)$ 与 $u_1(t)$ 相比,其包络线的形状不变(后文将看到,这表明 $u_3(t)$ 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(有时为和),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。

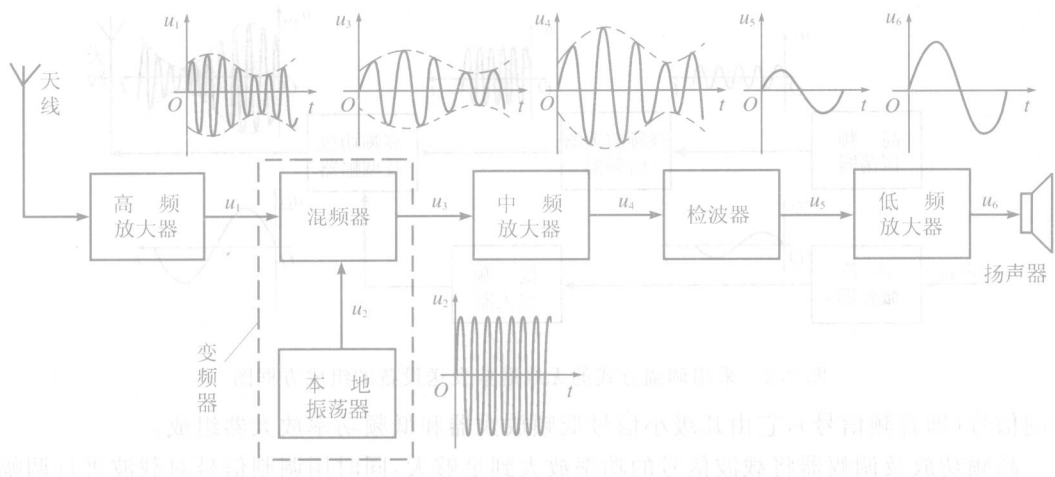


图 0.3 采用调幅方式的无线通信超外差式接收机的组成方框图

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^①,这种作用就是所谓的外差作用,也是超外差式接收机名称的由来(没有中放的称为外差式接收机)。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等性能较好。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。

应当指出,对于调频等其他调制形式信号的接收,也采用超外差式接收机,只是解调器不是采用检波器,而是采用鉴频器等其他形式。

0.3 无线电波波段的划分

由于频率不同时,电子器件、电路的特性和无线电波传播的特点差异很大,因此我们有必要简单介绍无线电波波段的划分及其主要用途。

习惯上,人们把频率 f 在 10 kHz 到 10^3 GHz 范围内的电磁波叫做无线电波。对于频率范围如此宽的无线电波,为了分析和应用方便,人们按照习惯把它划分为若干波段或频段,如表 0-1 所示。表中的集总参数元件通常指电阻、电容、电感等,分布参数元件指同轴线、波导等。

表 0-1 无线电波波段划分表

波 段	波长范围	频率范围	频 段	主要用途	附 注
超长波	10 000~30 000 m	30~10 kHz	甚低频 (VLF)	高功率、长距离、点与点间的通信	现已很少用
长 波	1 000~10 000 m	300~30 kHz	低频 (LF)	长距离点与点间的通信,船舶助航用	

^① 显然,本振信号的频率应能跟踪高频调幅波的载波频率变化。

续表 0-1

波 段	波长范围	频率范围	频 段	主要用途	附 注
中 波	100~1 000 m	3 000~300 kHz	中频 (MF)	广播、船舶通信、飞行通信、船港电话	其中 535~1 605 kHz 为广播波段
短 波	10~100 m	30~3 MHz	高频 (HF)	中距离及远距离的各种通信与广播	中波、短波和米波采用集总参数的元件和一般电子器件
米 波	1~10 m	300~30 MHz	甚高频 (VHF)	短距离通信、电视、调频、雷达、导航	其中 88~108 MHz 为调频广播波段
分米波	10~100 cm	3 000~300 MHz	特高频 (UHF)	短距离通信、雷达、电视、散射通信	分米波以上采用分布参数元件和速调管等电子器件
厘米波	1~10 cm	30~3 GHz	超高频 (SHF)	短距离通信、波导通信、雷达、卫星通信	$\lambda < 30$ cm 的分米波和厘米波又称为微波
毫米波	1~10 mm	300~30 GHz	极高频 (EHF)	短距离通信、高分辨力雷达、飞行导航、遥感遥测、光通信	亚毫米波包括自红外线至紫外线的光波,其传输媒质常采用光纤
亚毫米波	<1 mm	>300 GHz			

0.4 本课程的内容和特点

根据前面的介绍,《模拟电子线路(二)》应包括下述内容:宽带放大器、小信号谐振放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、调幅器、检波器、变频器、倍频器、调频器、鉴频器等。由于在调幅、检波等电路中广泛采用模拟乘法器,所以本书还将介绍模拟乘法器;在调频、鉴相和同步检波等电路中锁相环应用很广,所以本书还包括锁相环路的有关内容。

本书的内容与《模拟电子线路(一)》最大的不同点,在于许多电路输出信号的频率与输入信号的频率不同,如调幅器、检波器、变频器和倍频器等,这些电路称为频率(或频谱)变换电路。在《模拟电子线路(一)》中,各种放大器的输出信号与输入信号的频率相同,因此都属于线性电路,其中的电子器件虽然都是非线性器件,但在一定条件下其非线性特性可忽略不计,这时可把它看成线性器件。在频率变换电路中,因为有新的频率产生,因此必须采用非线性器件,如工作在非线性区的三极管、模拟乘法器等。由于采用非线性器件,给电路分析带来很大的困难,故在工程上往往根据实际情况对器件的数学模型和电路的工作条件进行合理的近似,以使用简单的分析方法获得具有实用意义的结果。

此外,虽然本书所涉及的电路很多,但它们都是在一些基本电路基础上发展起来的。因此,在学习本课程时不但要掌握各种单元电路的组成、工作原理和分析方法,而且要深入了解它们之间的内在联系,培养分析和解决电子技术问题的能力。由于本课程的实践性很强,因此在学好理论课的同时,一定要坚持理论联系实际,重视动手能力和创新能力的培养。

本书的授课约需 76 学时,各章的学时分配建议如下(不包括实验):绪论 2 学时;第 1 章高频小信号放大器 8 学时;第 2 章高频功率放大器 10 学时;第 3 章正弦波振荡器 12 学时;第 4 章频率变换和模拟乘法器 8 学时;第 5 章调幅、检波与变频 16 学时;第 6 章调角与解调 12 学时;第 7 章锁相环路 8 学时。

1 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,高频小信号放大器有宽带型和窄带型两大类。所谓频带的宽窄,指的并不是绝对频带,而是相对频带,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(往往在 0.1 以上),窄带放大器的相对频带较窄(往往小到 0.01)。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,然后简单分析一种重要的窄带放大器——小信号谐振放大器,最后简单介绍具有集中选频功能的滤波器及其组成的小信号谐振放大器——集成中频放大器。

1.1 宽带放大器的特点和分析方法

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,模拟电视接收机中的图像信号所占频率范围为 0~6 MHz,而雷达系统中信号的频带可达几千兆赫。要放大如此宽的频带的信号,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)。按待放大信号的强弱,它可分为小信号和大信号宽带放大器。本章讨论的是小信号宽带放大器。大信号宽带放大器又称宽带功放,将在第 2 章中讨论。

1.1.1 宽带放大器的主要特点

宽带放大器由于待放大的信号频率很高,频带又很宽,因此有着下述与低频放大器和窄带谐振放大器不同的特点:

- (1) 三极管采用 f_T 很高的高频管,分析电路时必须考虑三极管的高频特性。
- (2) 对电路的技术指标要求高。例如,视频放大器放大的是图像信号,它被送到显像管显示,由于接收这个信号时,人的眼睛对相位失真很敏感,因此对视频放大器的相位失真应提出较严格的要求。而在低频(音频)放大器中,接收信号的往往是对相位失真不敏感的耳朵,故不必考虑相位失真的问题。

宽带放大器的主要技术指标有通频带、增益(或 GB 值)和失真(包括线性失真和非线性失真)等,不再一一说明。

- (3) 负载为非谐振的。由于谐振回路的带宽较窄,所以不能作为宽带放大器的负载,即它的负载只能是非谐振的。

1.1.2 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和小信号的低频放大器有所不同。通常,可用稳态法或暂态法来分析宽带放大器的特性。

1) 稳态法

稳态法即稳态分析法,它是在频域内分析放大器特性的方法,又称频域分析法。

2) 暂态法

由于任一信号也可看成由许多不同起始时间、不同幅度的矩形脉冲的叠加,因此,我们可以通过观察矩形脉冲(为了便于在示波器上观察,实际上采用的是周期性矩形脉冲)经宽带放大器放大后波形的失真情况,来判断该放大器的特性。要求观察波形的示波器的高、低频特性要好,且与被测放大器之间应有良好的阻抗匹配。

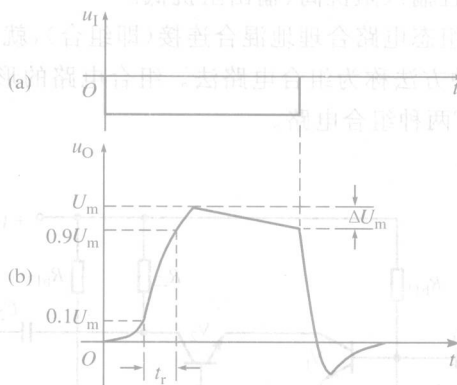


图 1.1 被测放大器的矩形脉冲输入波形与输出波形

(a) 输入波形

(b) 输出波形

如果上升时间 t_r 越短, 则输出脉冲波形的前沿就越陡峭, 说明宽带放大器的高频特性越好; 如果平顶降落越小, 则说明宽带放大器的低频特性越好。因此, 宽带放大器的高频特性影响输出脉冲前沿的陡峭程度, 而低频特性则影响其平顶部分, 我们根据输出脉冲的波形就可判断宽带放大器的特性。应该指出, 利用暂态法也可对宽带放大器进行调整, 使输出脉冲的波形尽量与输入的矩形脉冲波形相似, 使之满足我们的要求。

稳态法和暂态法分别是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。

1.2 扩展放大器通频带的方法

要得到频带较宽的放大器,必须提高其上限截止频率。为此,除了选择 f_T 足够高的管子 and 高速宽带的电流模集成运放等器件外,还广泛采用组合电路和负反馈等方法。

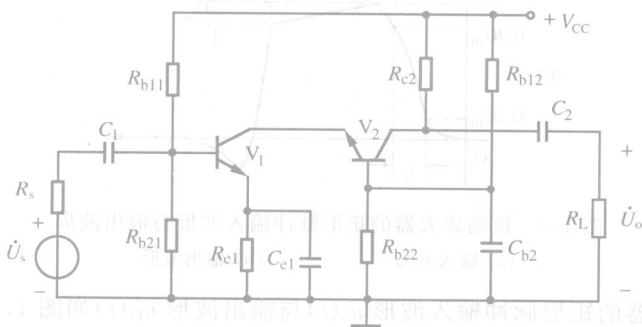
1.2.1 组合电路法

影响放大器的高频特性除器件参数和电路参数外,还与三极管的组态有关。

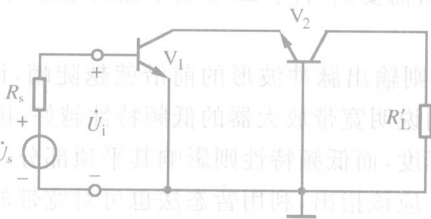
我们知道,不同组态的电路具有不同的特点。共射电路的电压增益高,但上限截止频率(与 f_β 有关)最低,输入、输出阻抗适中。共基电路的电流增益最低,但上限截止频率(与 f_c 有关)较高,而且输入阻抗低、输出阻抗高。共集电路的电压增益最低,但上限截止频率最高(由于是全电压负反馈),而且输入阻抗高、输出阻抗低。

因此,如果我们将不同组态电路合理地混合连接(即组合),就可以提高放大器的上限截止频率,扩展其通频带,这种方法称为组合电路法。组合电路的形式很多,下面介绍常用的“共射-共基”和“共集-共射”两种组合电路。

1) 共射-共基组合电路



(a)



(b)

图 1.2 共射-共基组合电路

(a) 电路 (b) 交流通路

电路如图 1.2(a)所示,图中 C_1 、 C_2 为耦合电容, C_{e1} 为射极旁路电容, C_{b2} 为基极旁路电容。图 1.2(b)为其交流通路,其中因 V_1 的输入阻抗小而忽略了 R_{b11} 和 R_{b21} ,且 $R'_L=R_{c2} \parallel R_L$ 。由图 1.2(b)可以看出, V_1 为共射组态, V_2 为共基组态,所以这是共射-共基组合电路。

由于共基电路的上限截止频率远高于共射电路,所以整个组合电路的上限截止频率取