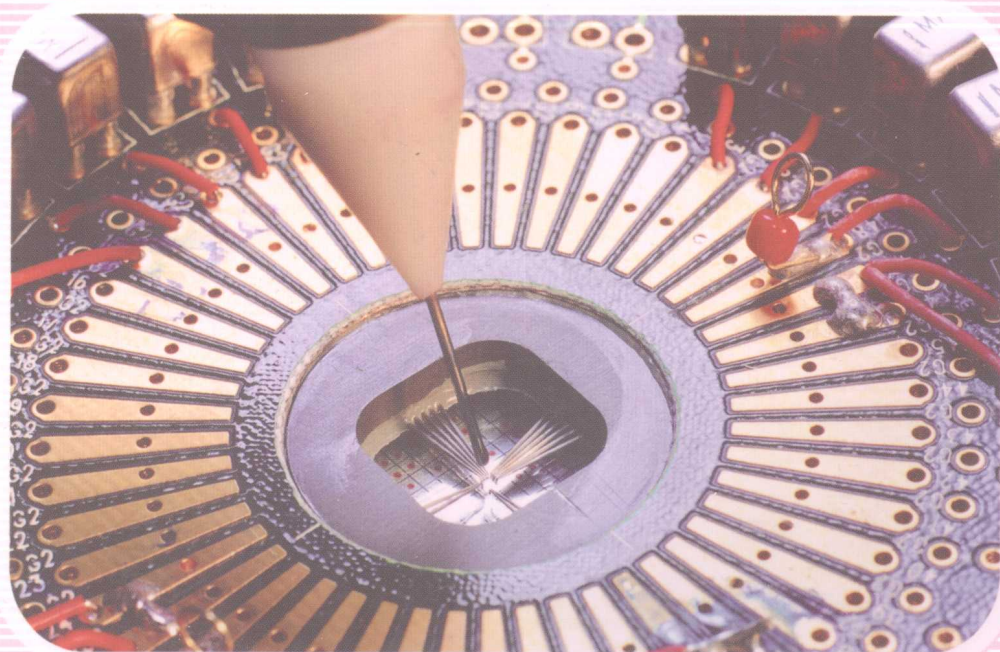


应用电子与电子信息专业高技能型人才教学用书

高频电子实训

李宏民 主编



适用层次： 高职高专、高级技校、技师学院、职业培训

应用电子与电子信息专业高技能型人才教学用书

高频电子实训

主 编 李宏民
参 编 翟志华 曾令琴 马国瀚
主 审 王 建
参 审 王春晖



机械工业出版社

本书依据应用电子与电子信息专业实训教学大纲而编写。主要包括：简单调幅广播接收机、高频小信号调谐放大器、正弦波振荡器、振幅调制与解调、混频电路、丙类谐振功率放大器和集电极调幅电路、频率调制与解调、锁相环路及综合实训等。

本书为高等职业学校应用电子与电子信息专业高技能型人才电子音响设备课程的实训用书，可作为成人高校或职业技术学院相关专业的教材，也可作为自学用书，还可供有关技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

高频电子实训/李宏民主编. —北京：机械工业出版社，2008.5
应用电子与电子信息专业高技能型人才教学用书
ISBN 978-7-111-23943-7

I. 高… II. 李… III. 高频—电子电路—自学参考资料
IV. TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 053248 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑：朱 华 王振国 责任编辑：王振国 版式设计：霍永明
责任校对：李秋荣 封面设计：陈 沛 责任印制：杨 曦
北京机工印刷厂印刷 (北京樱花印刷厂装订)
2008 年 6 月第 1 版第 1 次印刷
184mm × 260mm · 6.75 印张 · 159 千字
0 001—4 000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-23943-7
定价：13.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
销售服务热线电话：(010) 68326294
购书热线电话：(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话：(010) 88379083
封面无防伪标均为盗版

高等职业院校高技能型人才教学用书

编 审 委 员 会

主 任	李 伟					
副主任	王 建	徐 彤				
委 员	施利春	徐洪亮	张 宏	孙德胜	黄天顺	祁和义
	杜诗超	李宏民	翟志华	张新军	张艳丰	李永星
	王 昆	任凤轩	荆宏智	何月秋	朱 华	李迎波
	熊新国	肖海梅	郭 赞	于胜利	刘万有	吕书勇

序

自中国加入世界贸易组织后，中国的经济飞速发展，对各层次专业人才的需求不断增加。随着经济全球化进程的不断深入，发达国家的制造能力加速向发展中国家转移，我国已成为全球的加工制造基地，这样就造成了高技能型人才的严重短缺。媒体在不断呼吁现在是“高薪难聘高素质的高技能型人才”，高技能型人才的严重短缺成为社会普遍关注的热点问题。针对这一问题，国家先后出台了《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》、《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》和《国务院关于大力发展职业教育的决定》、《关于进一步加强高技能人才工作的意见》等相关政策和法规，决定大力发展职业教育，加强高技能型人才的培养。

作为高技能型人才的重要培养基地，高职高专和高级技工学校如何突破传统的课程设置和教学模式，主动适应未来经济发展对人才的要求，已经成为非常迫切的任务。教学过程中，实训是培养高技能型人才的重要途径，而教材的质量直接影响着高技能型人才培养的质量。因此，编制一套真正适合于高职高专和高级技工学校教学的实训教材迫在眉睫。

为了全面学习和贯彻国家相关文件的精神，突出“加强高技能型人才的实践能力和职业技能的培养，高度重视实践和实训环节教学”的要求，结合国家职业标准，我们编写了“应用电子与电子信息专业高技能型人才教学用书”。本套实训教材的编写特色是：

1. 教材编写以职业能力建设为核心，在职业分析、专项能力构成分析的基础上，把职业岗位对人才的素质要求，即将知识、技能以及态度等要素进行重新整合，突破传统的学科教育对学生技术应用能力培养的局限，以模块构架实训教学体系。

2. 内容上涵盖国家职业标准对各学科知识和技能的要求，从而准确把握理论知识在教材建设中的“必需、够用”，又有足够技能实训内容的原则；注重现实社会发展和就业需求，以培养职业岗位群的综合能力为目标，从而有效地开展对学生实际操作技能的训练与职业能力的培养。

3. 教材结构采用模块化，一个模块包含若干个项目，一个项目就是一个知识点，重点突出，主题鲜明，打破原有的教材编写习惯，不追求知识体系的多学科扩展渗透，而追求单科教学内容单纯化和系列教材的组合效应。

4. 以现行的相关技术为基础，以项目任务驱动教学，从提出训练目的和要求开始，设定训练内容，突出工艺要领和操作技能的培养。在项目的“相关知识点析”部分，将项目涉及的理论知识进行梳理，努力使实训脱离理论教材。将每个实训项目的训练效果进行量化，在“成绩评分标准”中对训练过程进行记录，并相应的给出量化参考标准。

5. 教材内容充分反应新知识、新技术、新工艺和新方法，具有超前性和先进性。

**高等职业院校高技能型人才
教学用书编审委员会**

前 言

根据《高技能人才培养体系建设“十一五”规划纲要》和国家对高等职业教育发展的要求,为落实“十一五”期间,完善高技能型人才培养体系建设,加快培养一大批结构合理、素质优良的技术技能型、复合技能型和知识技能型高技能人才的这一建设目标,结合高等职业院校的教学要求和办学特点,我们为此编写了《高频电子实训》一书。

本书的主要特点:

1. 以国家最新的职业标准《国家职业标准 电子产品维修工》为依据,突出工艺要领和操作技能的培养。

2. 采用“模块化”教材结构,每个模块为一知识单元,主题鲜明,重点突出,以其良好的弹性和便于综合的特点适应教学环节需求。

3. 在“相关知识点析”部分,对本项目中涉及的理论知识进行梳理,努力使读者在进行实训时脱离理论教材。

4. 将每个实训项目的训练效果进行量化,在“成绩评分标准”中对训练过程进行记录,并相应地给出量化参考标准。

本书由李宏民任主编,翟志华、曾令琴和马国瀚参编。其中李宏民编绪论及模块一、二、九;翟志华编模块三、四;曾令琴编模块五、六;马国瀚编模块七、八。本书由王建主审、王春晖参审。

在本书的编写过程中,参考了有关资料和文献,在此向其作者表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,且时间仓促,本书难免有疏漏、错误和不足之处,恳请读者批评指正!

编 者

目 录

序	
前言	
绪论	1
模块一 简单调幅广播接收机	7
模块二 高频小信号调谐放大器	15
项目 2.1 高频小信号单调谐回路谐振放大器的调测	15
项目 2.2 集中选频放大器的调测	21
项目 2.3 自动增益控制	26
模块三 正弦波振荡器	31
项目 3.1 LC 三点式正弦波振荡器的调测	31
项目 3.2 晶体振荡器的调测	38
模块四 振幅调制与解调	42
项目 4.1 用模拟乘法器实现普通调幅、抑制载波双边带调幅和单边带调幅	42
项目 4.2 二极管峰值包络检波与同步检波电路的调测	47
模块五 混频电路	55
项目 5.1 晶体管变频电路的调测	55
项目 5.2 二极管环形混频器和集成模拟乘法器混频器	60
模块六 丙类谐振功率放大器和集电极调幅电路	67
项目 6.1 丙类谐振功率放大器的调测	67
项目 6.2 集电极调幅电路的调测	71
模块七 频率调制与解调	76
项目 7.1 变容二极管直接调频电路的调测	76
项目 7.2 乘积型相位鉴频器的调测	78
模块八 锁相环路	84
项目 8.1 集成锁相环 NE564 及其鉴频电路的调测	84
项目 8.2 锁相频率合成器及其调测	90
模块九 综合实训	94
参考文献	97

绪 论

对于初学高频电子电路的读者来说,可能立即会想到的问题是:什么是高频电子电路?这门课程的主要内容和研究对象是什么?为了阐明这些问题,下面将结合无线电通信系统来讨论高频电子电路的组成、工作原理及其分析方法。这是因为,一个无线电通信系统所包含的电子电路,涉及到了高频电子电路的主要类型。因此,通过对无线电通信系统的简单介绍,可以使读者对高频电子电路及其内容有一个初步的认识。

无线电通信系统的基本组成如图 0-1 所示。它由信源、输入换能器、发送设备、传输信道、接收设备和输出换能器等部分组成。

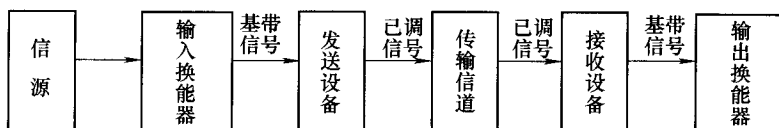


图 0-1 无线电通信系统的基本组成

所谓信源就是信息的来源,它有不同的形式,如声音、文字、图像和数据等,它们都是通信系统所要传送的信息。在利用无线电进行通信之前,首先应把要传送的声音、图像等信息转换成电信号,其中输入换能器的作用就是将信源输入的信息转换成电信号,这种电信号称为基带信号。不同的信源需要不同的换能器,如话筒、摄像机等。

在无线电通信中,声音、图像等基带信号是不可能直接通过天线发送到天空中去的。根据天线理论,只有当天线的几何长度能够与欲发射的电磁波长近似相等时,天线才能有效地辐射电磁波。如声音的频率为 $400 \sim 1000\text{Hz}$,相应的电磁波长为 $750 \sim 300\text{km}$,要制作如此大的天线显然是难以实现的。因此,要进行无线电通信必须利用高频振荡,使其波长与实际天线尺寸相近,同时还要设法使此高频振荡“携带”着要传送的基带信号从天线辐射出去。通信系统中的发送设备就是完成上述任务的。

现以无线电广播系统为例来说明发送设备的基本组成。

图 0-2 所示为无线电调幅广播发送设备的组成框图。图中低(音)频部分的换能器为话筒,它将声音变换为电信号——音频信号;低频电压和功率放大器用来放大话筒所产生的微弱音频信号,然后送入调制器。高频部分一般包含以下几个部分:

(1) 天线 把已携带音频信号的、足够强大的高频已调信号辐射到空中,以便向四面八方传送。

(2) 高频振荡器 用来产生最初的高频信号,它的工作频率低于或等于所需要的工作频率,即载波频率。在前一种情况下,可通过倍频器将振荡频率整倍数倍增到其载波频率上。

(3) 高频放大器 即图中的中间放大器,用来将载波信号放大到一定的电平,以激励

(或称推动) 调制器。

(4) 调制器 将输入的高频载波信号和音频基带信号 (也称为调制信号) 变换成高频已调信号, 即把调制信号“装载”到载波之上, 这一过程称为调制。然后经已调放大器 (高频功率放大) 以足够强大的功率输送到天线。

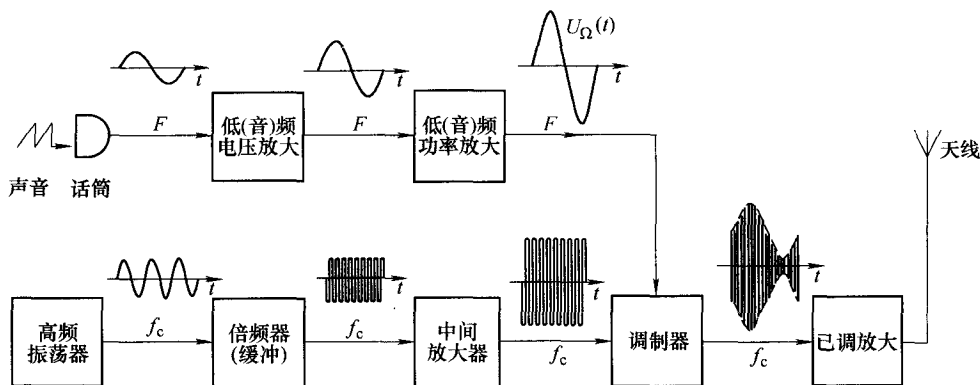


图 0-2 发送设备框图

如上所述, 要通过载波传送基带信号, 必须设法把调制信号“装载”到载波之上, 通常可以设法让基带信号分别控制载波信号的某一参数——振幅、频率或相位, 使载波信号的某一参数——振幅、频率或相位随基带信号的变化而改变来实现这一目的。用基带信号分别控制载波信号振幅、频率、相位分别称为振幅调制 (调幅)、频率调制 (调频) 和相位调制 (调相), 并常用 AM、FM 和 PM 表示。

现以最简单的普通振幅调制 (AM) 为例说明已调信号的特点, 中、短波广播就是采用的这种调制方式。先分析下单一音频信号的振幅调制过程。假设音频信号为

$$u_{\Omega} = U_{\Omega m} \cos \Omega t = U_{\Omega m} \cos 2\pi f t \quad (0-1)$$

载波信号为 $u_c = U_{cm} \cos \omega_c t$, 则振幅受调制的已调信号为

$$u = U_{cm} (1 + M_a \cos \Omega t) \cos \omega_c t \quad (0-2)$$

式中 M_a 与 u_{Ω} 成正比, $M_a = kU_{\Omega}/U_c$ 称为调幅度, 它说明载波振幅受音频信号控制的程度。

比较式 (0-1) 和式 (0-2) 可见, 已调信号的振幅 $U_{cm}(1 + M_a \cos \Omega t)$ 与音频信号成线性关系。图 0-3a、b、c 分别为音频信号、载波信号和已调信号的波形。由此可见, M_a 必须小于 1, 才能使高频信号的振幅 (包络) 无失真地反映被传送的音频信号。

用三角函数关系将式 (0-2) 展开, 可得

$$u = U_{cm} \cos \omega_c t + \frac{M_a}{2} U_{cm} \cos (\omega_c + \Omega) t + \frac{M_a}{2} U_{cm} \cos (\omega_c - \Omega) t \quad (0-3)$$

式中, 除了原有的载波分量外, 还出现了 $(\omega_c - \Omega)$ 和 $(\omega_c + \Omega)$ 两个频率分量。它们的振幅相同, 分别称为下边频 $(\omega_c - \Omega)$ 和上边频 $(\omega_c + \Omega)$ 。图 0-4 所示为调制信号、载波信号和已调信号的频谱图。由图可见, 振幅调制过程也可以看成是频谱搬移过程, 即将音频信号搬移到载波频率两边。

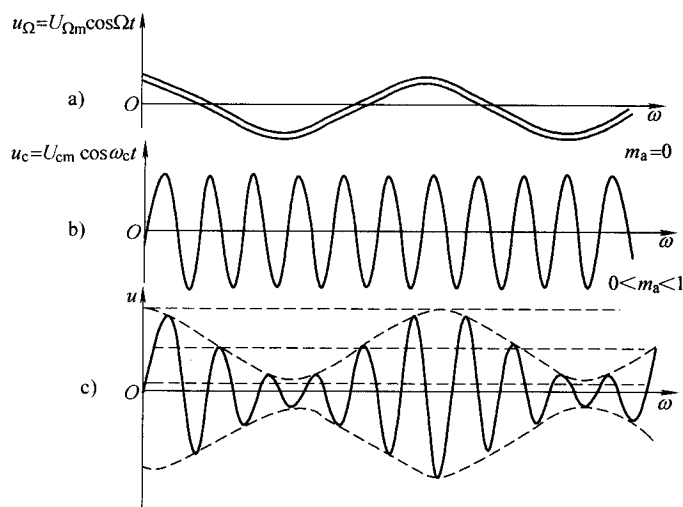


图 0-3 各信号波形

a) 音频信号 b) 载波信号 c) 已调信号

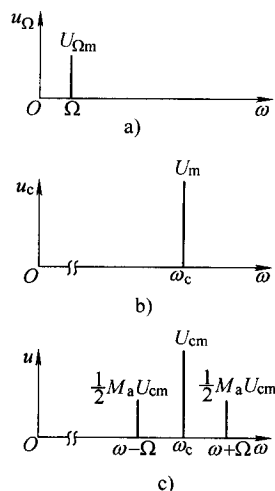


图 0-4 各信号频谱图

由式 (0-3) 和图 0-4c 可知, 已调波的频带宽度 BW 为

$$BW = \frac{(\omega_c + \Omega) - (\omega_c - \Omega)}{2\pi} = (f_c + F) - (f_c - F) = 2F \quad (0-4)$$

式中, $f_c = \omega_c / 2\pi$ 为载波频率, $F = \Omega / 2\pi$ 为调制信号频率。

对于占有一定频带的复杂音频信号的调制, 假设其角频率范围是 $\Omega_{\min} \sim \Omega_{\max}$, 相应的频率范围是 $F_{\min} \sim F_{\max}$, 载频仍是 f_c , 则这时的普通调幅信号可以看成是调制信号中所有频率分量分别对载频进行调制后信号的叠加, 各对上、下边频的叠加组成了上、下边带, 相应的波形和频谱如图 0-5 所示。总频带宽度仍为调制信号带宽的两倍, 即

$$BW = 2F_{\max} \quad (0-5)$$

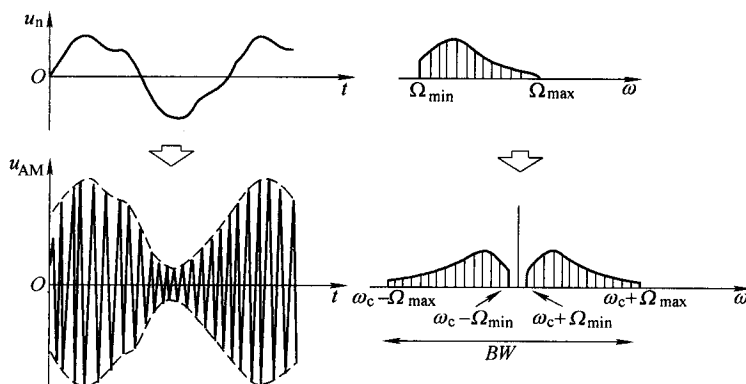


图 0-5 复杂信号调制时的调幅波

由此可见, 为了使发送设备和接收设备不失真地传输该已调信号, 其高频电路的频带宽度应大于 $2F_{\max}$ 。

无线电通信系统的另一个重要组成部分是接收设备。最简单的无线电调幅广播接收设备

框图如图 0-6 所示。

(1) 天线 接收电磁波, 并将电磁波变换为已调波电流。

(2) 选择性回路 选频, 即选择欲接收的电台。

(3) 检波 调制的逆过程, 即将已调波中所包含的基带信号分离出来。

(4) 耳机 实现电/声转换。

在实际应用中, 为了提高接收机的性能, 无线电广播接收设备目前广泛采用超外差方式。超外差无线电调幅广播接收设备的组成框图如图 0-7 所示。

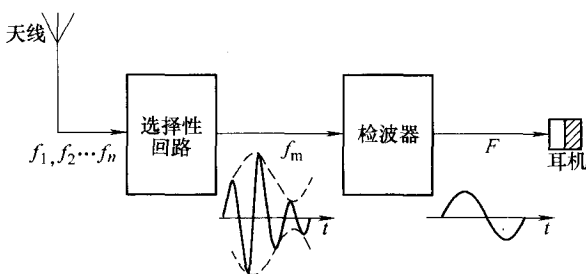


图 0-6 接收设备框图

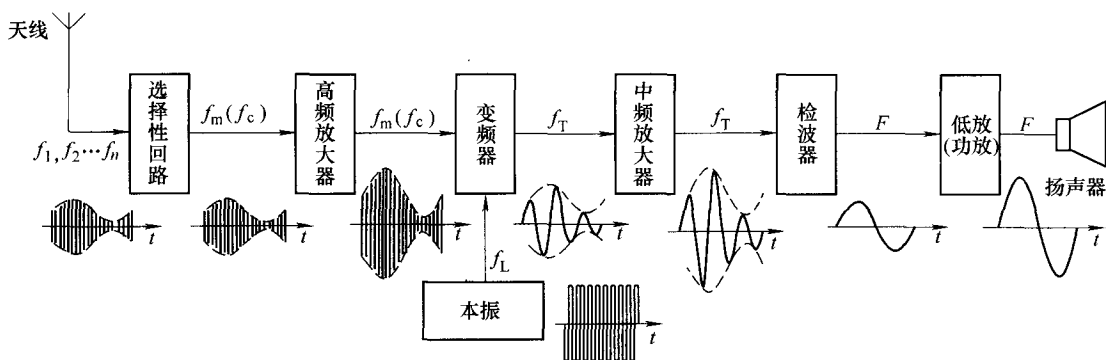


图 0-7 典型超外差接收设备组成框图

超外差接收机的结构特点是具有变频器和中频放大器。图 0-7 中高频放大器用来对天线和选频回路所收到的有用频率信号进行初步的放大和进一步选择, 所谓“选择”就是只选取频率为 f_c 的所需信号, 而抑制其他频率的无用信号。变频器将来自高频放大器的 f_c 信号和来自本机振荡器的频率为 f_L 的信号进行相加、减, 得到频率为 $f_T = f_c \pm f_L$ 的中频已调信号。中频放大器为中心频率固定在 f_T 上的选频放大器, 它将有用的中频信号放大并进一步滤除无用信号, 然后经检波器的解调, 就可还原出基带信号, 经低频放大后输出。

由此可以看出, 发送和接收设备中除了低频放大器外, 其他主要是处理高频信号的电路, 它们是能产生高频信号的电路——振荡器, 能对高频信号进行选频放大的高频电压和功率放大器, 能对基带信号进行变换和处理的调制器、解调器、变频器和倍频器等。这些基本单元电路的组成原理及有关技术问题都是本书要讨论的主要对象。这些基本单元电路也广泛应用于其他领域, 如电子测量、自动化以及许多应用电子技术的非电领域。

高频电子电路是一门工程实践性很强的课程, 在工程应用中其性能指标最终要通过电路的装接、调测来实现。因此, 对于高频电子电路装接、调测等操作实训, 在本课程的学习中起着十分重要的作用。通过相关实训操作可以帮助读者达到掌握和巩固所学基本概念和提高自行分析类似电路的能力, 从而实现理论学习与实践操作的完美结合。在实训过程中要熟悉各种类型高频电子电路的基本组成, 主要元器件及参数的选择, 熟悉高频测试仪器的的工作原理和使用方法, 掌握利用各种高频测试仪器进行电路参数测试的基本方法, 全面掌握所学知识, 达到学会分析与解决各种实际问题的方法, 提高实际动手的技能。

现场实训操作过程要严格遵守以下操作规程：

1. 合理布局

各仪器、仪表和实操对象（如电路板或装置）之间应按信号流向并根据连线简捷、调节容易、观察与读数方便的原则进行合理布局，如图 0-8 所示。

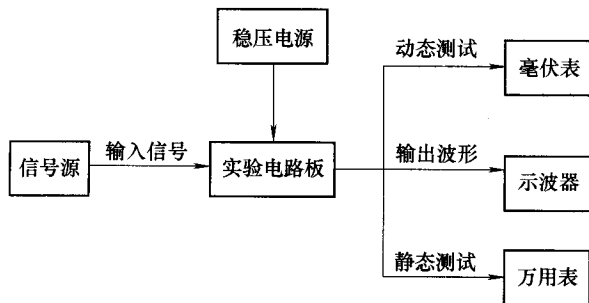


图 0-8 合理布局

2. 接线准备

1) 检查各种仪器（如信号源、稳压电源、示波器等）面板上的旋钮，使之处于所需要的位置（有些仪器设备需要进行通电调整），如直流稳压电源应将其电源接通并将其输出电压调整到所需的数值，然后关掉电源，准备接线。

2) 对照实验电路，对实验电路板中的元器件和连接导线进行仔细的寻迹检查，确保引线无接错，元器件及接点无漏焊、虚焊及短路等现象，并能够正确找到各接点及测试点。

3. 接线规则

1) 仪器与实验电路板间的接线要用不同颜色加以区分，以方便检查；接合位置应夹紧，以防接触不良。

2) 电路公共接地端和各种仪表的接地端通常要连接在一起作为电路的零点电位，并可避免干扰。某些特殊场合还常将一些仪器的外壳接大地，以实现屏蔽，并确保人身安全。例如：焊接测试 MOS 器件时，电烙铁和测试仪器均要求接地，以防因漏电而造成 MOS 器件的击穿。

3) 对于信号的传输线，应采用具有金属外壳的屏蔽线，不能使用普通导线。

4. 数据的获取和波形的观察

1) 根据不同测试对象正确选用合适的仪器和量程。

在不同场合下，测量不同频率范围和不同电压量程的信号电压，应选用不同灵敏度、内阻、频响的电压表（应熟悉每种仪器的技术指标）。同时，观察不同频率范围的信号波形，应选用不同规格的示波器。

注意：如果选用的量程不合适，会产生较大的误差。

2) 要充分考虑仪器仪表的内阻，采用合适的测量方法。

3) 对测试的原始数据需预先做出估计，做到心中有数，以便及时发现并解决问题。

其中，所记录的数据必须为原始数据并非换算后的数据。

注意：在需要绘制曲线时，应在曲线变化的位置处多读取一些数据。

5. 注意人身及仪器设备的安全

1) 注意安全操作规程，确保人身安全。

为了防止元器件损坏，在切断实验电路板上的电源后才能改接电路。调换仪器时应切断实验台的电源。同时，还要求逐步养成用右手进行单手操作的习惯。

2) 爱护仪器设备。

仪器在使用过程中，无需经常开关电源。同时，要切忌无目的地拨弄仪器面板上的开关和按钮。

仪器设备出现问题时，应及时向老师寻求帮助，请勿随便调换配件。

注意：切勿超过仪表允许安全电压（或电流）！当被测量的值无法估计时，应从仪表的最大量程开始测试，然后逐渐减小量程。

模块一 简单调幅广播接收机

项目目的

理解电感线圈和电容器的高频特性，熟悉串联谐振电路的工作特性和简单接收机的工作原理。掌握直接检波接收机的制作与调试操作。

项目内容

- 1) 绕制一个单层线圈，并测量其在不同条件下的主要特性参数。
- 2) 装接一个 LC 串联谐振电路，测量其在不同条件下的主要特性参数。
- 3) 制作一个直接检波接收机，并完成其相关调试过程。

相关知识点析

一、电感线圈

电感线圈是将导线一圈圈地缠绕在线圈骨架上，导线间彼此互相绝缘，而骨架可以是空心的，也可以包含铁心或磁心。电感线圈种类繁多，可根据需要采购成品，必要时也可自制。

1. 电感线圈的主要特性参数

电感线圈的主要特性参数有电感量 L 、品质因数 Q_L 、分布电容 C_L 等。

单层线圈的电感量通常与其匝数的平方 (N^2)、线圈的直径 D 以及形状系数 $L_0 D$ 的乘积成正比，即

$$L = L_0 N^2 D \times 10^{-3} \quad (1-1)$$

式中， $L_0 = k\pi^2 \frac{D}{l}$ ， l 为线圈长度，且 L_0 的数值可由有关曲线或数表查得。

对于高频电子电路中应用的电感线圈，其电感量约为几微亨 (mH) 到几十毫亨 (mH)。频率很高 (100MHz 以上) 时所用电感线圈的电感量小至几纳亨 (nH)。

线圈的品质因素 Q_L 是表示线圈质量的一个物理量， Q_L 为线圈磁场中的无功功率与损耗在线圈电阻中的功率之比，也就是线圈感抗 X_L 与其线圈有效电阻 r 的比值，即

$$Q_L = \frac{X_L I}{r I} = \frac{X_L}{r} = \frac{\omega L}{r} \quad (1-2)$$

线圈的有效电阻越小，则损耗越小，线圈的 Q_L 值也越高。 Q_L 值通常为几十到上百。

电感线圈匝与匝之间存在着电容，这些电容被称为分布电容。单层线圈的固有电容 C_L (分布电容) 与线圈的直径 D 、绕距以及导线直径等有关。多层线圈的分布电容较大，但是多层线圈绕成“蜂房式”时， C_L 的数值可减至 5pF 以下，常用作中波波段的线圈和扼流圈。

2. 电感线圈的高频特性

如上所述，一个电感线圈除了具有电感特性外，还同时具有电阻及电容的特性。当它工

作在较高频率时,线圈的有效电阻将增大,且随工作频率发生变化。电感线圈的分布电容虽然很小,但在高频工作时,其影响也可能很大。

线圈的有效电阻之所以随工作频率的不断提高而不断增大,这主要是由于产生了集肤效应,即频率不断升高时,线圈导体中的电流将趋于导体表面流动,而导体内部的电流密度逐渐减小。集肤效应的作用就是减小了导体的有效截面积,从而增加了电阻值。

此外,当导线绕制成线圈后,每匝导线又要受到相邻各匝导线磁场的作用,使电流分布更不均匀。这种作用称为邻近效应,其作用也使有效电阻增加。电感线圈中还有其他各种能量损失,如绕线骨架的介质损耗,屏蔽罩或铁心引起的损耗等,其结果均表现为有效电阻的增大。

下面再来分析一下高频时电感线圈的品质因数 Q_L 。由式(1-2)可见,当频率增加时,虽然 ωL 值增加,但由于有效电阻亦将增大,因而品质因数的变化是不大的,在一定的频率范围内可以看成是一个常数。但频率较高时,有效电阻增加更快,因此总的趋势是 Q_L 随频率的升高而下降。因此,提高线圈品质因数的有效方法就是设法减小有效电阻。通常情况下,可以利用多股绝缘的编织线或镀银铜线绕制线圈,以增加导线的有效截面积,减小因集肤效应引起的有效电阻的增加;采用介质损耗小的骨架,以减小介质损耗;采用磁心,虽增加了磁心损耗,但可以大大减小线圈匝数,从而减小导线直流电阻。

最后,讨论高频工作时分布电容的影响。考虑了分布电容后,一个电感线圈在高频工作时的等效电路可用图 1-1 来代表。其中 L 为线圈的电感, R 为有效电阻, C_L 为线圈的分布电容。

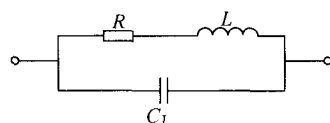


图 1-1 电感线圈在高频时的等效电路

因此,线圈等效电路的谐振角频率和谐振频率分别为

$$\omega_{0L} = \frac{1}{\sqrt{LC_L}} \quad \text{和} \quad f_{0L} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC_L}} \quad (1-3)$$

当工作频率 f 小于 f_{0L} 时线圈的阻抗呈感性。当工作频率 f 大于 f_{0L} 时,线圈的阻抗呈容性,这说明电感线圈失去作用变成电容了,这种情况是不希望发生的。因此,总希望 C_L 越小, f_{0L} 越高越好。

二、电容器

1. 电容器的主要特性参数

电容器的主要特性参数有电容量、工作电压和介质损耗等。

在高频电子电路中所用电容器的电容量为几个皮法到几百微法。电容器的实际电容量与其标称容量有一定的误差,误差等级常见的有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 和 $\pm 20\%$ 等。误差等级越小,则电容量的准确度越高。

电容器所用的电介质不可能是理想的绝缘体,在工作时总会有漏电流。所以一个实际电容器可用一个电容和一个电阻的组合来等效,如图 1-2 所示。图中 R_s 与 R_p 是不相等的, $C_s \approx C_p = C$ 。 R_s 与 R_p , C_s 与 C_p 之间的关系可由串并联阻抗等效互换求得。

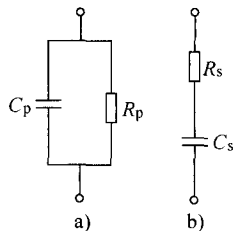


图 1-2 有损耗电容器的等效电路
a) 并联等效 b) 串联等效

电容器品质的优劣,主要取决于介质损耗的大小。介质损耗常用损耗角正切值 $\tan\delta$ 来表示。可以证明:

$$\tan\delta = \frac{1}{\omega C_p R_p} = \omega C_s R_s \quad (1-4)$$

电容器的品质也可以用品质因数 Q_c 来表示

$$Q_c = \frac{1}{\tan\delta} = \omega C_p R_p = \frac{1}{\omega C_s R_s} \quad (1-5)$$

由于 $\tan\delta$ 很小,所以 Q_c 一般是很高的。

2. 电容器的高频特性

电容器在高频工作时,首先表现为介质损耗增加和稳定性变差。因此,某些电介质做成的电容器(如纸介电容器、电解电容器等)不宜用于高频。另外电容器的引线和接头部分都有电阻,当频率较高因而集肤效应显著时,这些电阻可能变得较大。电容器还有固有电感,电感的大小与电容器的引线及其连接方式、电容器极板的面积有关。因此,电容器的等效电路如图 1-3 所示。图中 R 和 L_0 表示上述的电阻和电感。 C 和 R_p 已在前面说明,在频率较低时, R 和 L_0 的影响很小,可以忽略。在频率很高时, R 中的功率损耗可能变得远大于 R_p 中的功率损耗,从而 R_p 可以忽略,如图 1-3b 所示。此电路为一串联谐振电路,其谐振频率 $f_{os} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_0 C}}$ 。当工作频率小于谐振频率时,电容器表现为一容性阻抗;当工作频率大于谐振频率时,电容器表现为一感性阻抗,这种情况是不希望发生的。

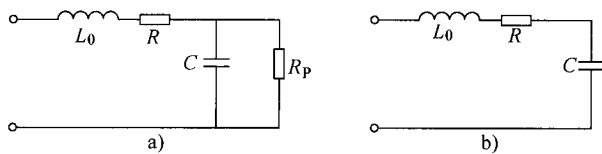


图 1-3 电容器的高频等效电路

a) 实际等效电路 b) 频率很高时的等效电路

在高频电子电路中,电容器通常用作回路(槽路)电容、耦合电容和旁路电容。用作回路电容时,要求电容器的电容量准确、稳定、损耗小。用作耦合电容时,除要求有一定的电容量外,还要求电容器的损耗小,满足耐压要求,而电容量的准确性和稳定性则可适当降低。

三、直接检波接收机

1. 直接检波接收机的工作原理

图 1-4 所示为最简单的调幅广播接收机——直接检波接收机原理图(俗称矿石收音机)。天线线圈 L_1 中接收到多个不同载频广播电台的高频已调信号, L_2 中就感应出各个不同载频广播电台的高频已调信号。如图 1-5 所示,由 L 、 C 组成一条串联谐振回路,通常称为输入回路,也称调谐回路或选频回路。其中损耗电阻 r 为线圈 L 、电容 C 和连接导线的高频损耗。由电路基础知识可知,该回路的阻抗及阻抗模分别为

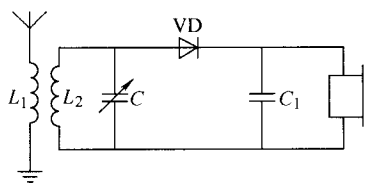


图 1-4 最简单的调幅广播接收机

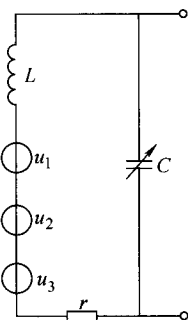


图 1-5 LC 串联谐振回路

$$Z = r + jX = r + j(\omega L - 1/\omega C) \quad (1-6)$$

$$|Z| = \sqrt{r^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} \quad (1-7)$$

显然，频率不同，回路阻抗的大小也不同。当信号频率为某值 ω_0 ，刚好使 $\omega_0 L = 1/\omega_0 C$ ， $X=0$ 时，称回路发生了串联谐振。这时的频率 ω_0 称为谐振角频率，由于 $\omega_0 = 2\pi f_0$ ， f_0 称为谐振频率。由 $\omega_0 L = 1/\omega_0 C$ ， $\omega_0 = 2\pi f_0$ 可知

$$f_0 = 1/2\pi \sqrt{LC} \quad (1-8)$$

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC} \quad (1-9)$$

由以上两式可见，电路的谐振频率是由电路本身的参数所决定的，与外加信号电压无关。因此改变信号频率或改变回路元件参数电感（或电容）的数值，都可使电路发生谐振。调节电感或电容的数值，使之发生谐振的过程称为调谐。当信号频率不等于谐振频率时，电路处于失谐状态。

谐振频率是谐振回路的一个重要参数。谐振回路的另一个重要参数为品质因数，它定义为谐振时的感抗值或容抗值与电阻的比值，并用 Q 表示，即

$$Q = \frac{\omega_0 L}{r} = \frac{1}{\omega_0 C r} \quad (1-10)$$

串联谐振回路中电流幅值随频率变化的关系称为串联回路的幅频特性，用公式表示为

$$I = \frac{U}{|Z|} = \frac{U}{\sqrt{r^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}} = \frac{U/r}{\sqrt{1 + (\frac{\omega L - 1/\omega C}{r})^2}} = \frac{I_0}{\sqrt{1 + (\frac{\omega^2 LC - 1}{\omega Cr})^2}} \quad (1-11)$$

式中 I_0 为谐振时的回路电流。将 $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ ， $Q = \omega_0 L/r = 1/\omega_0 Cr$ 代入上式，经整理后

$$I = \frac{I_0}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2}} = \frac{I_0}{\sqrt{1 + Q^2 \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)^2}} \quad (1-12)$$

如果电压 U 和元件参数保持不变，就可以画出 I 与频率的关系。图 1-6 所示为 Q 值不同时的幅频特性。由图可见，当电路谐振时，回路中电流达到极大值，失谐时，电流较小，失谐越大，电流越小。

虽然图 1-6 所示的幅频特性曲线比较具体，但是它不便于反映一般情况。为了更全面地反映出串联谐振回路的性质，通常研究 I/I_0 与频率的关系，即通用幅频特性。将式 (1-12)