

通信电子线路 实 践 教 程

TONGXIN DIANZI XIANLU
SHIJIAN JIAOCHENG

侯长波 宫 芳 编 著
阳昌汉 主 审

非 外 借

HEUP 哈尔滨工程大学出版社

通信电子线路实践教程



著
审

内 容 简 介

“通信电子线路”是电子信息类专业一门重要的专业基础课程,具有很强的理论性、工程性及实践性特点。本书以能力培养为主线,注重项目研究思维和方法的培养,在内容和体系上重在引导学生更深刻地理解理论课所讲授的内容,同时掌握仪器的使用方法;也注重培养学生的系统概念和设计能力,通过课程设计培养学生系统电路的设计、调试技能,增强学生的工程实践能力,提高分析问题和解决问题的能力。

本书内容强调工程应用,与工业技术结合,具有较强的实用性,可激发学生的学习兴趣,充分调动学生的实验积极性及创新精神。

本书适用于电子信息类专业本科生和相关专业的自学者。

图书在版编目(CIP)数据

通信电子线路实践教程/侯长波,宫芳编著. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2017.8

ISBN 978-7-5661-1675-8

I. ①通… II. ①侯… ②宫… III. ①通信系统-电子电路-高等学校-教材 IV. ①TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 219600 号

选题策划 付梦婷

责任编辑 张忠远 付梦婷

封面设计 博鑫设计

出版发行 哈尔滨工程大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区南通大街 145 号

邮政编码 150001

发行电话 0451-82519328

传 真 0451-82519699

经 销 新华书店

印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司

开 本 787 mm × 960 mm 1/16

印 张 9.5

字 数 207 千字

版 次 2017 年 8 月第 1 版

印 次 2017 年 8 月第 1 次印刷

定 价 25.00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

“通信电子线路”是电子信息类专业一门重要的专业基础课程,具有很强的理论性、工程性及实践性特点。本书是根据“通信电子线路实验课程”教学大纲的基本要求,在总结实验教学、科研项目经验及当前教学改革和教学体系建设的要求下编写而成的。本书以能力培养为主线,注重项目研究思维和方法的培养,在内容和体系上有以下特点。

1. 根据实验对人才培养的定位梳理课程思路

本书的基础实验重在引导学生进行研究性实验,通过基础实验使学生掌握基本单元电路的设计、制作与测试的方法,更深刻理解理论课所讲授的内容,同时掌握仪器的使用;综合设计类实验注重培养学生的系统概念和设计能力,通过课程设计培养学生系统电路的设计、调试技能,增强学生的工程实践能力,提高分析问题和解决问题的能力。

2. 实验内容及要求循序渐进

本书内容由单元电路到系统电路,再延伸至电子设计竞赛实例项目,由基本技能训练到综合能力的培养,符合学生的学习和认知规律。针对综合性实验,实验难度分级,学生自主选择。通过难度分级,打破所有学生同一培养模式的僵局,利用为不同层次学生量身打造的不同的教学内容,调动起每个学生参与实验的积极性。“实验分级化”不但为能力较强的学生提供了进一步发展的空间,同时也对学生起到了较强的激励作用,更为学生自主学习打下良好基础。

3. 本书内容注重项目研究思维和方法的培养

本书基本思想为在“项目式”技术指标要求下,用理论知识指导设计原理图和元件参数,采用 EDA 仿真论证设计的合理性,最后硬件实现及测试技术指标,与理论对照分析实验结果,进一步研究如何提高技术指标。

4. 本书内容强调工程应用

课程与工业技术结合,具有较强的实用性,可激发学生的学习兴趣,充分调动学生的实验积极性及创新精神。

本书共分5章,参考实验学时为32学时,建议分为基础实验和课程设计两部分。

第1章为通信电子线路实验基础知识,主要包括通信电子线路实验内容、实验方法,以及实验会用到的基本元件。

第2章为通信电子线路常用仪器使用方法,主要包括通信电子线路实验用到的直流稳压电源、信号源、示波器、扫频仪、高频Q表的原理及使用方法。

第3章为通信电子线路基础实验。本章从实验目的、实验原理及电路、实验器材、实验内容及要求、实验步骤、实验预习要求、实验报告要求等方面论述了小信号谐振放大器、丙类功率放大器、LC振荡器及晶体振荡器、振幅调制与解调电路、频率调制与解调电路、锁相环电路六个基础实验。

第4章为通信电子线路综合设计实验,包含调幅发射系统的设计、调幅接收系统的设计、调频发射系统的设计、调频接收系统的设计。综合设计项目都提出了明确的技术指标要求,实验内容基本涵盖了理论知识。

第5章为通信电子线路Multisim仿真实验,引入Multisim电路仿真软件的使用方法,并通过几个典型的通信电路实例熟悉软件的使用,为后续实验奠定基础。

致谢

编著者

2017年7月

目 录

第 1 章 通信电子线路实验基础知识	1
1.1 通信电子线路实验方法	1
1.2 通信电子线路实验基本元件	4
第 2 章 通信电子线路实验常用仪器的使用方法	13
2.1 直流稳压电源 DP832 的使用方法	13
2.2 数字存储示波器 DS1104Z 的使用方法	19
2.3 函数/任意波形发生器 DG4102 的使用方法	29
2.4 扫频仪 SP30120 的使用方法	42
2.5 高频 Q 表 QBG-3D 的使用方法	51
第 3 章 通信电子线路基础实验	55
3.1 小信号谐振放大器的设计	55
3.2 丙类功率放大器的设计	62
3.3 LC 振荡器与晶体振荡器的设计	67
3.4 振幅调制与解调电路的研究	77
第 4 章 通信电子线路综合设计实验	87
4.1 调幅发射系统的设计	87
4.2 调幅接收系统的设计	94
4.3 调频发射系统的设计	101
4.4 调频接收系统的设计	106
第 5 章 通信电子线路 Multisim 仿真实验	112
5.1 小信号谐振放大器仿真实验	112
5.2 丙类功率放大器仿真实验	117
5.3 高频正弦波振荡器仿真实验	122
5.4 模拟乘法器实现振幅调制仿真实验	128
5.5 包络检波器仿真实验	134

5.6 变容二极管实现频率调制仿真实验	138
附录 A 调幅发射系统总体原理图	142
附录 B 调幅接收系统总体原理图	143
附录 C 调频发射系统总体原理图	144
附录 D 调频接收系统总体原理图	145
参考文献	146

第1章 通信电子线路 实验基础知识

1.1 通信电子线路实验方法

1.1.1 通信电子线路实验的一般过程

通信电子线路是一门具有工程特点和实践性很强的课程,它的实验是对学生进行专业技能训练,提高学生的工程实践能力的一个重要的教学环节。为了每个实验都能达到预期效果,教学时要求参加实验者做到实验前认真预习、实验中遵守实验操作规则和实验结束后认真撰写实验报告进行总结。

1. 实验前的预习

为了避免盲目性,使实验过程有条不紊地进行,实验者在每个实验前都要仔细阅读实验教程,复习有关理论,理解实验原理,明确实验目的、内容和要求,设计电路和元件参数,撰写实验预习报告。预习报告内容包括:

- (1)实验题目;
- (2)实验原理及电路;
- (3)实验内容及要求;
- (4)电路参数设计,即根据实验技术指标进行电路参数设计和仿真;
- (5)实验步骤及测试数据;
- (6)预习思考题。

2. 实验操作细则

上好实验课并严格遵守实验操作规则,是提高实验效果、保证实验质量的重要前提。因此实验者必须做到以下六点:

(1)实验课必须认真听讲,做好记录,明确实验过程及要求,针对实验教师强调的问题要特别注意。

(2)进入指定实验位置后,检查实验所需的元器件、仪器仪表、测试线等是否齐全。

(3)实验电路的焊接要严格按照设计报告的电路参数进行,注意元器件的正

负极。

(4)实验电路上电前,实验者必须先调整好直流电源,使其电压大小符合要求,然后按极性连接电源。上电后要观察电源电流和电路板是否有异常,如有异常应马上关闭电源检查问题。

(5)实验过程中应及时分析所测数据和观察到的各种波形是否合理,如有问题及时找出原因。实验过程中,实验者应注意理论联系实际,认真思考和分析,不断提高独立工作能力。

(6)实验结束后先切断电源,然后将实验结果交实验教师审查同意后才可拆除实验电路,整理好元器件、仪器设备及实验现场,经实验教师同意方可离开实验室。

3. 实验报告的撰写

实验报告是对实验工作的总结,也是实验课的继续和提高,通过撰写实验报告,可以培养学生分析综合问题的能力。实验报告的内容及要求如下:

(1) 实验数据处理

主要是对实验过程中的数据进行处理和计算电路技术指标,如绘制幅频特性曲线等。

(2) 实验结果分析

①根据实验所得数据,对比实验技术指标要求和理论设计指标进行分析,论述实验技术指标是否达到设计要求,如果未达到,是由什么原因引起的;如果和理论有差距,又是由什么原因引起的。

②论述由实验数据得出什么结论,证实了什么理论。

(3) 实验总结

对整个实验进行总结。

1.1.2 通信电子线路实验的基本方法

通信电子线路实验一般可按以下步骤进行。

1. 焊接及检查电路

焊接电路应注意以下三点:

(1)电路焊接过程中,一定要注意按照设计的电路焊接正确的参数,对于极性电容要注意方向,对于色环电阻一定要用万用表测试确定阻值;

(2)焊接连线要尽可能短,焊接测试线应尽可能粗;

(3)焊接完成后一定要用斜口钳剪断元器件长的引脚,避免短路。

在连接完实验电路后,不要急于接通电源,要认真检查。检查的内容包括以下两点:

(1)用数字万用表的短路挡检查电源的正、负极、地线是否存在短路;

(2)检查焊接是否存在断路或短路,用数字万用表的短路挡对照电路连接逐点测量,在电路图中应该连接的点是否都是通的,有电阻的两点之间的电阻是否存在等。

2. 通电调试

调试包括静态调试与动态调试两部分。在调试前,应先观察电路有无异常现象,包括有无冒烟,是否有异常气味,用手摸摸元器件是否发烫,用万用表测试电源是否有短路现象等。如果出现异常情况,应该立即切断电源,排除故障后再加电。

(1) 静态调试

静态调试是指在不加入输入信号的条件下所进行的直流测量和调整,例如测量和调整放大电路的直流工作点。

(2) 动态调试

动态调试是以静态调试为基础的。通常是在静态调试完成后,给电路输入端加入一定频率和幅度的信号,用示波器观察输出端信号,再用仪器测试电路的各项指标是否符合实验要求。

在进行比较复杂的系统性实验的调试时,应该焊接一级电路,调试一级,调试中包括静态调试和动态调试;正确后再将上一级电路的输出加至下一级电路的输入,接着调试下一级电路,这样直到最后一级。如果每一级的结果都正确,最后应该能够得到正确的结果。这样做,可以解决电路一次性连接起来由于导线过多,调试起来比较困难的问题,不但节省时间,还可以减少许多麻烦。

3. 故障查找与排除

实验中,出现故障是难以避免的事,关键是实验者要通过解决故障锻炼自己解决问题的方法和思路,进而提高实验技能。解决故障首先需要实验者对实验原理有清楚的认识,并对电路中各点信号波形有一定认识,这样才能通过测试的信号来判定问题所在。其次,要注意一些通用的方法,一般按下列步骤进行。

(1) 不通电检查线路

首先对照电路原理图,用万用表短路挡检查电路中应该连接的点是否连通,是否有断路,有无接触不良,元器件有无用错,极性有没有接反,芯片有没有插错等。

(2) 通电检查

用万用表电压挡将电源电压测量准确后,将其加至电路中,首先测量电源到地的电压是否正确。如果是集成电路,直接测量引脚上的正、负电源是否正确,然后再测量电路的静态工作点。当测量值与正确值相差较大时,需排查问题后方能进行动态调试。这一步在实际操作时要特别注意,只有在静态工作点正确的基础上调试动态特性才有意义,否则就是盲目实验。

(3) 动态检查

将电路接入规定的输入信号,然后借助于示波器等观察电路的输入、输出信号波形,以判断电路工作是否正确。由信号流向逐级调试电路,逐级观察信号的波形及幅值的变化情况,如果哪一级出现异常,则故障就出现在这一级。此外,也可以由后级到前级,逐级检查。在特定情况下,以断开后级,观察该级输出信号波形和幅值的变化来查找故障,以起到缩小故障范围的作用。

(4) 在进行故障检查时,也需注意测量仪器所引起的故障

例如,示波器探头、信号源连接线、电源连接线都是每次使用需要检查的;示波器探头和开路电缆对电路指标的影响;仪器输入阻抗对电路的影响等。

1.2 通信电子线路实验基本元件

1.2.1 电阻

在实验中常用到的电阻器有固定电阻和电位器,按照材料分,常见的固定电阻有碳膜电阻、金属膜电阻、合成膜电阻、氧化膜电阻、实心电阻、金属线绕电阻和特殊电阻。常见的电位器分为薄膜型电位器、合成型电位器、合金型电位器及线绕电位器。

1. 固定电阻

不同材料制作的电阻有其相对应的特点,具体如表 1.1 所示。

表 1.1 固定电阻特点分析表

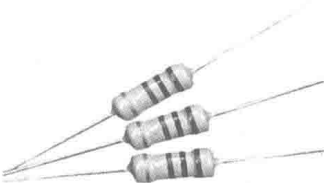
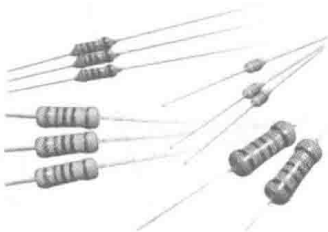
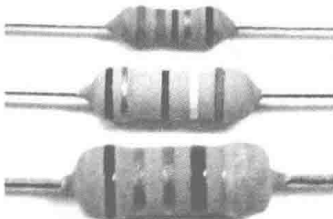
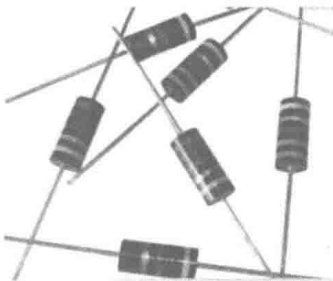
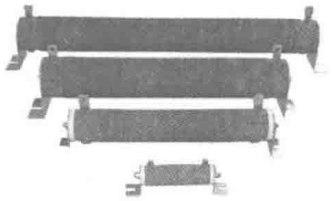
电阻类型	特性	实物图片
碳膜电阻	气态碳氢化合物在高温和真空中分解,碳沉积在瓷棒或者瓷管上,形成一层结晶碳膜。改变碳膜厚度和用刻槽的方法变更碳膜的长度,可以得到不同的阻值。 ①具有良好的稳定性,电压的变化对阻值的影响较小; ②高频特性好,可制成高频电阻器和超高频电阻器	

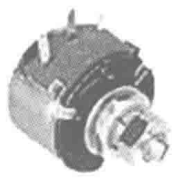
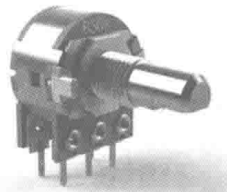
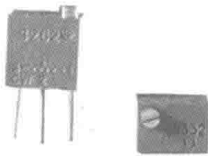
表 1.1(续)

电阻类型	特性	实物图片
金属膜电阻	在真空中加热合金,合金蒸发,使瓷棒表面形成一层导电金属膜。刻槽和改变金属膜厚度可以控制阻值。 ①耐热性好; ②电压稳定性好,温度系数小; ③工作频率范围宽,可在高频电路中使用; ④体积小,相同功率下,为碳膜电阻的一半	
合成膜电阻	以炭黑作为导电材料,以有机树脂为黏合剂混合制成的导电悬浮液,均匀覆在陶瓷绝缘基体上,经过加热聚合制成。 ①阻值比较高,工艺简单; ②电压稳定性差、频率特性不好、噪声大	
有机实心电阻	将炭黑、石墨等导电物质和填料、有机黏合剂混合成料粉,经专业的设备热压成形后装入塑料壳内制成。 ①机械强度高、可靠性好; ②固有噪声大,分布电容和分布电感严重,不适用于高频电路; ③电压和温度稳定性差,不适用于性能要求较高的电路; ④阻值范围宽	
线绕电阻	用康铜或者镍铬合金电阻丝,在陶瓷骨架上绕制成。这种电阻分固定和可变两种。它的特点是工作稳定,耐热性能好,误差范围小,适用于大功率的场合	

1.2.2 电位器

表 1.2 列出了常用电位器的主要特点,供电路设计中选择电位器时参考。

表 1.2 常见电位器

电位器类型	特性	实物图片
金属膜电位器	①电阻温度系数小,耐热性好; ②分布参数小,高频特性好; ③阻值范围小,接触电阻大; ④用于 100 MHz 以下电路	
合成碳膜电位器	①分辨力高; ②阻值范围宽,但是功率不大; ③常用于直流及交流电路	
金属玻璃釉电位器	①分布参数小,高频特性好; ②阻值范围宽、寿命长; ③接触电阻变化大,电噪声大; ④适用于高阻、高压及射频电路	
线绕电位器	①温度稳定性好,耐热性好; ②能承受较大功率; ③精度高,但是分辨率低; ④电阻体具有分布电容和分布电感,高频特性差; ⑤用于高精度及高功率电路	

1.2.3 电容

电容作为电路中的常用元件,其最基本的结构是由两个相互靠近的金属板中间夹一层绝缘介质组成。常用的电容有云母电容、瓷介电容、铝电解电容、钽电解电容、微调电容等。具体特性如表 1.3 所示。

表 1.3 常见电容

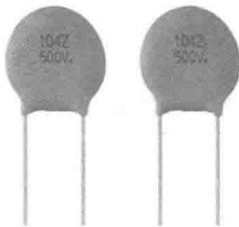
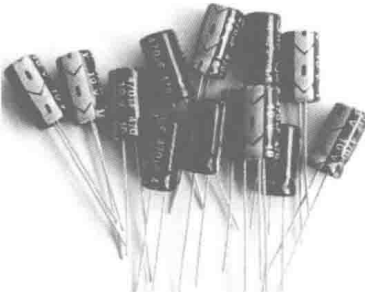
电容类型	特性	实物图片
云母电容	①稳定性好,可靠性高,可以制成高精度电容; ②固有电感小,频率特性稳定,是性能优良的高频电容器; ③介质损耗小,绝缘电阻高,但是价格较贵	
瓷介电容	①由于介质材料为陶瓷,所以耐热性能好,不容易老化; ②绝缘性能好,可制成高压电容器; ③低频陶瓷材料的介电常数大,所以低频瓷介电容体积小、容量大; ④高频陶瓷材料的损耗角正切值与频率关系小,在高频时可选用高频瓷介电容器	
铝电解电容	①单位体积电容量大,有极性; ②较大的介电常数; ③电容误差大,损耗大,漏电流大,容量和损耗会随着温度变化而变化; ④适合在直流和脉动电流中作整流、滤波和旁路使用	

表 1.3(续)

电容类型	特性	实物图片
钽电解电容	①电容量大,有极性,寿命长; ②较大的介电常数; ③绝缘电阻大,损耗小,漏电流小,频率特性好; ④主要使用于铝电解电容性能参数不能满足的场合	
微调电容	①电容量小,无极性; ②常用于电路中作为补偿电容或者校正电容	

1.2.4 电感

电感元件一般是由导线绕成的空心线圈或者带铁芯的线圈制成。按照其结构特点,可以分为贴片电感(分叠层、绕线两种)、功率电感、色码电感、磁芯电感等。具体的特性如表 1.4 所示。

表 1.4 常见电感

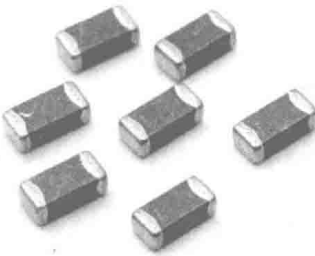
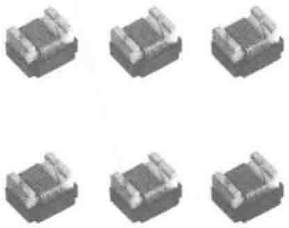
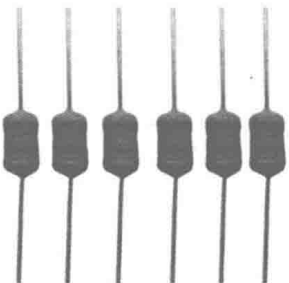
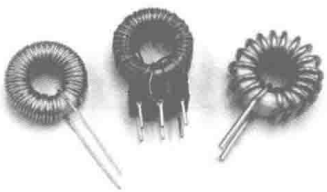
电感类型	特性	实物图片
贴片叠层电感	①尺寸小、电感值范围大; ②受到的电磁干扰小; ③耐高温、高可靠度	

表 1.4(续)

电感类型	特性	实物图片
贴片绕线电感	①尺寸小、电感值范围大; ②受到的电磁干扰小; ③耐高温、高可靠度; ④在高频时低直流阻值和高 Q 值	
功率电感	①低直流阻抗,可通过大电流; ②体积较小; ③高能量存储; ④常用于扼流、滤波电路中	
色码电感	①结构坚固; ②高 Q 值和自共振频率; ③外层用环氧树脂处理,可靠度高; ④电感范围大,可自动插件	
磁芯电感	①高互感量; ②存在高频磁滞损耗; ③极高的 Q 值; ④常用于高频电路、 LC 振荡电路、开关电源中	

1.2.5 磁环、中频变压器

1. 磁环

磁环是电子电路中常用的抗干扰元件,对于高频噪声有很好的抑制作用,一般使用铁氧体材料制成。磁环在不同的频率下有不同的阻抗特性,一般在低频时阻抗很小,当信号频率升高时磁环表现的阻抗急剧升高。常见的磁环如图 1.1 所示。

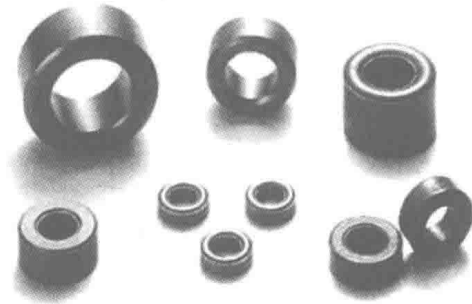


图 1.1 磁环

常用镍锌材料的磁环参数如表 1.5 所示。

表 1.5 常用磁环参数表

材料	饱和磁通量	剩余磁通密度	工作频率/MHz
NXO - 10	300	100	150
NXO - 20	200	120	50
NXO - 40	290	90	40
NXO - 60	390	270	25
NXO - 80	300	120	30
NXO - 100	330	220	15
NXO - 200	240	145	3
NXO - 400	320	170	3
NXO - 600	310	150	2
NXO - 1000	300	130	1.5