

国家级电工电子实验教学示范中心实验教材系列

通信电路实验与设计

刘国华 主编

林 弥 王光义 参编



科学出版社

www.sciencep.com

国家级电工电子实验教学示范中心实验教材系列

通信电路实验与设计

刘国华 主编

林 弥 王光义 参编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是与“通信电子电路”理论课程相配套的实验课与课程设计教程。全书共编排 15 个实验项目和 5 个设计课题。实验分为基础实验和综合性实验:基础实验包括小信号调谐放大器、高频谐振功率放大器、高频振荡器、混频器等;综合实验包括振幅调制和解调器、频率调制和鉴频器、二次变频、锁相环及锁相频率合成等内容。设计课题包括调频通信系统的发射和接收机设计、数字调谐 FM 收音机设计、无线数据收发系统设计与无线充电器设计,本部分可供课程设计或毕业设计选用。此外,书中还对实验基础知识、实验仪器的操作使用方法做了简单介绍,并在书后附有部分元器件的型号和性能参数。

本书可作为高等院校电子通信类专业本科生的实验和课程设计教材,也可供从事电子线路设计的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信电路实验与设计/刘国华主编;林弥,王光义参编. —北京:科学出版社,2009

国家级电工电子实验教学示范中心实验教材系列

ISBN 978-7-03-025161-9

I. 通… II. ①刘…②林…③王… III. ①通信系统-电子电路-实验-教材②通信系统-电子电路-设计-教材 IV. TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 134400 号

责任编辑:贾瑞娜 / 责任校对:朱光光

责任印制:张克忠 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 8 月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2009 年 8 月第一次印刷 印张:11

印数:1—3 500 字数:207 000

定价:18.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

实践环节是电子和通信类本科教学必不可少的重要环节,通信电子电路实验和课程设计主要是培养学生对通信电路理论知识的综合运用能力和电路设计与测试的实践动手能力,许多学校把该实践课程列为必修的专业基础课。本书即是为提高学生的综合动手能力和设计创新能力而编写的。

本书第1章和第5章为基础知识和基本仪器操作部分。介绍了实验准备、数据处理、布线的基础知识和常用仪器的技术参数与基本使用方法。书后附录给出实验报告撰写要求,常用器件的型号和性能参数。

基础实验部分(第2章)旨在通过基本的操作和验证性实验,一方面使学生加深对理论知识的理解和基本应用,熟悉常用高频单元电路的技术指标和测试测量方法;另一方面通过学生对常用高频实验仪器设备的操作使用,使其熟练掌握这些测试仪器的基本原理、使用方法、操作注意事项和调试技巧。这部分实验是必做内容。

综合实验部分(第3章)是在基础实验的基础上,培养学生对理论知识的综合分析和应用能力。考虑到实际教学要求在3学时内完成一个实验,实验电路难度、测试项目数量均受到限制,因此,这部分主要包括通用集成电路的应用和简单调幅调频通信系统的联调。实验项目有:振幅调制器、振幅解调器、变容二极管调频、电容耦合的相位鉴频、二次变频和集成鉴频、集成锁相环和锁相频率合成等。该部分内容可以根据需要选做部分内容。

电路设计部分(第4章)是对调频调幅通信系统的综合应用,旨在激发学生的学习兴趣和培养学生的系统设计、工程计算及实践创新能力。要求学生自己根据设计任务和要求搜集资料,完成电路的设计、制作与调试,部分课题还需要自己编写、设计相关程序以实现预期功能。该部分对学生要求较高,不适合课堂实验,可以用于课程设计、毕业设计或课外制作与创新实践。

全书主要章节由刘国华编写,林弥老师和王光义教授编写了部分内容,王光义教授审校了大部分章节。实验室的王飞同学参与了全书的绘图工作。

书中的许多重要内容都是和刘建岚、陈瑾、刘公致等有关任课老师讨论后确定的,刘建岚副教授对本书部分内容进行了审阅,在此表示诚挚的感谢!同时感谢科学出版社的编辑对本书出版给予的大力帮助与支持。

由于编者水平有限,加上编写时间有限,书中错漏之处实难避免,恳请广大师生和读者批评指正。

编 者

2009年3月

目 录

前言

第 1 章 实验基础知识	1
1.1 实验预习与准备	1
1.1.1 实验要求和预习内容	1
1.1.2 实验准备	2
1.2 实验测量技术	2
1.2.1 实验测量方法和仪器	2
1.2.2 测量误差分析	5
1.2.3 实验故障处理	7
1.3 数据处理	8
1.4 布线技术与电路抗干扰	8
1.4.1 布线技术	8
1.4.2 接地技术	10
1.4.3 屏蔽与隔离技术	13
1.5 高频电子仪器使用	16
1.5.1 实验目的	16
1.5.2 实验仪器	16
1.5.3 实验原理	16
1.5.4 实验内容和步骤	17
1.5.5 实验注意事项	19
1.5.6 实验报告要求	19
1.5.7 实验思考题	19
第 2 章 通信电子电路基本实验	20
2.1 单调谐回路谐振放大器	20
2.1.1 预习要求	20
2.1.2 实验目的	20
2.1.3 实验仪器	20
2.1.4 单调谐放大器的技术指标和工作原理	21
2.1.5 实验电路	22
2.1.6 实验内容和步骤	23
2.1.7 实验注意事项	25

2.1.8	实验报告要求	25
2.1.9	实验思考题	25
2.2	双调谐回路谐振放大器	26
2.2.1	预习要求	26
2.2.2	实验目的	26
2.2.3	实验仪器	26
2.2.4	双调谐放大器的技术指标与工作原理	26
2.2.5	实验电路	28
2.2.6	实验内容和步骤	28
2.2.7	实验注意事项	29
2.2.8	实验报告要求	30
2.2.9	实验思考题	30
2.3	高频谐振功率放大器	30
2.3.1	预习要求	30
2.3.2	实验目的	30
2.3.3	实验仪器	31
2.3.4	丙类谐振功率放大器的工作原理	31
2.3.5	实验电路	33
2.3.6	实验内容和步骤	34
2.3.7	实验注意事项	36
2.3.8	实验报告要求	36
2.3.9	实验思考题	36
2.4	改进型电容三点式振荡器	37
2.4.1	预习要求	37
2.4.2	实验目的	37
2.4.3	实验仪器	37
2.4.4	LC 振荡器的工作原理	37
2.4.5	实验电路	40
2.4.6	实验内容和步骤	41
2.4.7	实验注意事项	43
2.4.8	实验报告要求	43
2.4.9	实验思考题	43
2.5	石英晶体振荡器	44
2.5.1	预习要求	44
2.5.2	实验目的	44
2.5.3	实验仪器	44

2.5.4	石英晶体振荡器的工作原理	44
2.5.5	实验电路	46
2.5.6	实验内容和步骤	46
2.5.7	实验注意事项	47
2.5.8	实验报告要求	48
2.5.9	实验思考题	48
2.6	混频器电路	48
2.6.1	预习要求	48
2.6.2	实验目的	48
2.6.3	实验仪器	49
2.6.4	混频器的工作原理	49
2.6.5	实验电路	51
2.6.6	实验内容和步骤	51
2.6.7	实验注意事项	53
2.6.8	实验报告要求	53
2.6.9	实验思考题	54
2.7	二极管函数电路实现波形变换	54
2.7.1	预习要求	54
2.7.2	实验目的	54
2.7.3	实验仪器	54
2.7.4	二极管函数电路的工作原理和实验电路	54
2.7.5	实验内容和步骤	56
2.7.6	实验报告要求和思考题	56
第3章	通信电子电路综合实验	57
3.1	振幅调制器	57
3.1.1	预习要求	57
3.1.2	实验目的	57
3.1.3	实验仪器	57
3.1.4	振幅调制电路的工作原理	58
3.1.5	实验电路	60
3.1.6	实验内容和步骤	61
3.1.7	实验注意事项	63
3.1.8	实验报告要求	63
3.1.9	实验思考题	63
3.2	振幅解调器	63
3.2.1	预习要求	64

3.2.2	实验目的	64
3.2.3	实验仪器	64
3.2.4	振幅检波电路的工作原理与技术指标	64
3.2.5	实验内容和步骤	68
3.2.6	实验注意事项	70
3.2.7	实验报告要求	70
3.2.8	实验思考题	70
3.3	变容二极管频率调制器	70
3.3.1	预习要求	71
3.3.2	实验目的	71
3.3.3	实验仪器	71
3.3.4	变容二极管调频电路工作原理和技术指标	71
3.3.5	实验内容和步骤	73
3.3.6	实验注意事项	75
3.3.7	实验报告要求	75
3.3.8	实验思考题	75
3.4	电容耦合的相位鉴频器	76
3.4.1	预习要求	76
3.4.2	实验目的	76
3.4.3	实验仪器	76
3.4.4	电容耦合相位鉴频器电路的工作原理	77
3.4.5	实验电路	78
3.4.6	实验内容和步骤	79
3.4.7	实验注意事项	80
3.4.8	实验报告要求	80
3.4.9	实验思考题	81
3.5	二次变频与鉴频电路	81
3.5.1	预习要求	81
3.5.2	实验目的	81
3.5.3	实验仪器	82
3.5.4	二次混频电路工作原理	82
3.5.5	实验电路	84
3.5.6	实验内容和步骤	85
3.5.7	实验注意事项	86
3.5.8	实验报告要求	86
3.5.9	实验思考题	86

3.6 集成电路锁相环及应用	87
3.6.1 预习要求	87
3.6.2 实验目的	87
3.6.3 实验仪器	87
3.6.4 锁相环电路工作原理	87
3.6.5 实验电路	90
3.6.6 实验内容和步骤	92
3.6.7 实验注意事项	93
3.6.8 实验报告要求	94
3.6.9 实验思考题	94
3.7 锁相频率合成器	94
3.7.1 预习要求	94
3.7.2 实验目的	95
3.7.3 实验仪器	95
3.7.4 锁相频率合成器电路工作原理	95
3.7.5 实验电路	98
3.7.6 实验内容和步骤	98
3.7.7 实验注意事项	100
3.7.8 实验报告要求	100
3.7.9 实验思考题	100
第4章 通信电路设计	101
4.1 小功率调频发射机的设计与制作	101
4.1.1 设计目的	101
4.1.2 设计任务与要求	101
4.1.3 电路原理分析	101
4.2 调频接收机的设计与制作	107
4.2.1 设计目的	108
4.2.2 设计任务与要求	108
4.2.3 电路原理分析	108
4.3 基于FM模块的数字调谐收音机设计	114
4.3.1 设计目的	114
4.3.2 设计任务与要求	114
4.3.3 调频收音机原理和FM模块简介	115
4.4 基于RF模块的无线温度测试系统设计	121
4.4.1 设计目的	121
4.4.2 设计任务与要求	121

4.4.3	nRF905-FE 无线数据收发模块和 DS18B20	121
4.5	无线充电器设计	127
4.5.1	设计目的	127
4.5.2	设计任务与要求	127
4.5.3	无线供电原理和设计要点	127
第 5 章	常用实验仪器简介	130
5.1	双踪示波器	130
5.1.1	TDS2012B 型数字存储示波器	130
5.1.2	YB4360 模拟双踪示波器的技术指标	134
5.2	高频信号发生器	135
5.2.1	AS1054 型高频信号发生器	135
5.2.2	SP1501 型数字合成标准信号发生器	137
5.3	频谱分析仪和频率特性测试仪	140
5.3.1	AT6011 频谱分析仪	140
5.3.2	BT-3D 型频率特性测试仪(扫频仪)	144
5.4	调制度仪和数字频率计	147
5.4.1	QF4132 型调制度仪	147
5.4.2	GFC8131H 型频率计主要技术参数	149
5.5	高频毫伏表	150
5.5.1	SP2271 型数字超高频毫伏表	150
5.5.2	HFJ-8D 型超高频毫伏表的技术指标	150
5.6	台式数字万用表和函数信号发生器	151
5.6.1	UT804 型真有效值台式数字万用表	151
5.6.2	CDM-8045A 型台式数字万用表	153
5.6.3	SP1641B 函数信号发生器/计数器	154
参考文献		156
附录 A	实验报告要求	157
附录 B	部分器件型号与性能简介	159
附录 C	dBm 与 mW 互换关系表	164

第1章 实验基础知识

1.1 实验预习与准备

实验是人们认识自然规律和从事科学研究的重要手段之一。对理工科大学学生而言,实验是培养基本技能,验证和巩固理论知识,提高应用创新能力的重要环节。通过实验,学生可获得仪器操作使用、数据分析处理、创新思考与设计、信息交流与团队合作等能力。通信电路实验是电子信息类本科生的一门专业基础实验,主要培养学生的独立思考能力、动手能力和实践技能。通信电路系统设计则要求学生将电路原理、模拟、数字电子技术的基础理论和实践能力相结合,综合单片机与射频技术,通过设计制作实际电路或简单的通信系统,培养其创新思考和工作能力。

1.1.1 实验要求和预习内容

实验是手脑并用的过程。一个成功的实验,需要对实验具体要求的准确理解和认真细致的准备工作。

首先,必须熟悉实验守则和安全操作规程。实验守则和操作规程,是对实验者最基本也是必须遵守的要求。安全操作规程包括人身安全和仪器安全两个方面。首要的是人身安全,尤其是电类实验,操作要遵循安全第一的原则,防止发生人身意外。实验过程中,保护仪器也很重要,现在高频实验仪器普遍价格较高,如操作不当,轻则测量结果错误,严重时损坏仪器,造成财产损失。

其次,明确实验目的和要求。实验开始前,要充分熟悉实验目的与内容,复习和了解与实验内容相关的基本理论,分析和预测可能的实验结果。熟悉实验中用到的仪器设备名称、工作原理、主要技术指标、基本操作要领等,对以上做到心中有数,避免实验开始后不知所措。

第三,写出符合要求的预习报告。按照要求,未写出实验预习报告者不得进入实验室操作。预习报告不是将实验指导书上的内容简单抄一遍,而是在充分预习和掌握实验基本原理及内容的基础上用自己的思路写出的。预习报告的要求和内容如下:

(1) 实验目的。通过本次实验,可以达到什么目的,包括理论理解、器件应用、仪器操作使用、测试和综合技能等方面。用自己的语言描述,勿照抄指导书。

(2) 实验仪器。实验中可能用到的仪器名称、型号、主要技术指标、基本工作原理和在本实验中的主要用途等。先把表格列好,根据实验过程中所用的仪器情况,在操作时将表格填写完整。

(3) 实验原理。实验所依据的基本理论和电路工作原理。要自己总结,切忌照抄实验指导书。由于大部分实验电路比较复杂,可以不画实验电路,但需根据实验电路画出电路原理图,说明工作原理。

(4) 实验内容和步骤。这部分是预习报告的重点,在熟悉实验目的和实验原理的基础上,列出实验测试条件,设计并画出记录数据的表格,留出绘制各种曲线的空间。

(5) 实验思考题。每个实验后面的思考题都有一定的代表性,在预习时需明确问题内容,带着问题进入实验室。在操作中思考问题,或者可以用实验验证问题。

1.1.2 实验准备

做好预习报告后方可进入实验室开始实验。在实验正式开始之前,需了解以下过程:

(1) 进入实验室,将实验预习报告交指导老师查看合格后方可入座,无预习报告或预习报告不合格者,不得进行实验。

(2) 实验开始前,指导老师会大致讲解实验的安全注意事项和操作要领,虽然时间较短,但对实验的顺利完成很重要,学生应认真听讲并做必要记录。

(3) 对每个实验,会用到哪些仪器设备要做到心中有数,连接实验电路之前要先检查和调整好仪器。未经指导老师许可,勿乱动实验仪器设备。

(4) 如遇到仪器设备不能正常工作或出现故障,自己先冷静分析原因,如仍无法解决,可请指导老师帮助。

1.2 实验测量技术

测量是为了确定某一对象的量值而进行的一组操作。测量的要素包括被测对象、测量仪器设备、测量技术方法、测量环境和测量执行者。通信电路实验和设计均离不开测量,测量对象为被测电路,测量大多在实验室完成,测量方法离不开实验仪器。由于存在各种影响测量结果的因素,测量不可避免地会产生误差。

1.2.1 实验测量方法和仪器

测量技术方法分为直接测量、间接测量和组合测量。

直接测量是指用测试仪器直接地测出未知量的量值的方法,如用电压表直接

测出电压值,用示波器测出交流信号的电压幅值和周期等。这种测量方法的优点是测量过程简单、直观、快速。

间接测量是指必须先对与未知量 y 有确切函数关系的其他变量 x (或 $x_1, x_2, \dots, x_n$) 进行直接测量,然后再通过函数关系式 $y=f(x)$ 计算出待测量。通常以下两种情况需要采用间接测量:一是没有直接的测量仪器,如用示波器测量普通 AM 信号的峰峰值电压 A 和谷谷值电压 B ,用函数关系式 $m=\frac{A-B}{A+B}\times 100\%$,可以计算出 AM 信号的调制系数 m ;二是虽有仪器但测试起来比较不方便,如用电压表测量电阻 R 两端电压 V 的方法计算流过电阻的电流 $I=\frac{V}{R}$,用直流电压表和直流电流表测量负载的直流功率 $P=VI$ 。

组合测量是指有若干个待测量,将这些待测量用不同方式组合进行测量,把直接测量值与待测量之间的函数关系列成方程组,将方程组求解得出待测量。这种方法主要用于复杂系统的测量,通信电路实验一般不用此方法。

1. 电压、电流和阻抗的测量

电压和电流分为直流信号和交流信号。直流或低频信号一般用万用表测量。交流电压信号有最大值 V_m 、峰峰值 V_{pp} 、有效值 V_{rms} 的区分,对正弦交流信号,峰峰值和有效值之间的关系为 $V_{pp}=2\sqrt{2}V_{rms}$,万用表的测量结果通常是有效值。许多型号的数字万用表可以测量非正弦交流电压的真有效值,需要注意的是,数字万用表的带宽一般不大,约几百千赫到几兆赫,不能测量频率很高的交流信号。高频电压需要用高频示波器或高频毫伏表测量。

直流和低频电路的电阻也可以用数字万用表直接测量,但当工作频率较高时,分布参数的影响不可忽略,电阻成为阻抗,需要用阻抗分析仪测量。

2. 电容和电感的测量

在低频电路中,电容和电感通常的作用是耦合或滤波。一般数值比较大,电容为 μF 数量级,电感为 μH 或 mH 数量级。目前,有些数字万用表可以测量低频电路中的电容和电感,但误差可能比较大。如对精度要求较高,可用专门的 LCR 电桥测量。电桥除能测量电容和电感值外,还可以测量其他参数,如电感的 Q 值和损耗阻抗。高频电路中电感和电容的测量需要用专门的高频 Q 表完成。

3. 频率和周期的测量

实验室有专门测量频率的仪器,如数字频率计,其核心部件是比较器和计数器,测频大多采用门控计数法原理。其基本思想是在计数电路前有一个主控门,周期性的外部输入信号首先变换成周期性的脉冲信号,主控门在规定的时间内打开,使脉冲信号通过并进入计数器电路,通过计算单位时间内的脉冲个数来获得被测信号频率。图 1-1 所示是数字频率计的基本原理框图。

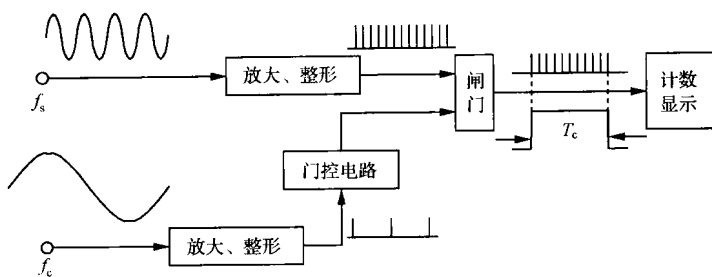


图 1-1 数字频率计原理框图

f_s 为被测周期信号, f_c 是频率计内部产生的控制信号, $f_c \ll f_s$, 两者经过放大、整形后变成周期脉冲, f_c 控制闸门即主控门的开启时间 T_c , 使被测信号通过, 进入计数器计数, 最后计算出被测信号频率并显示出来。根据闸门开启时间和通过脉冲的个数, 也可以计算被测信号的周期。

如果对测量精度的要求不高, 也可用示波器测量频率和周期, 目前带自动读出的模拟和数字存储示波器可直接读出被测信号的频率和周期。

4. 时域测量

时域主要指信号随时间而变化的过程。如正弦信号的波形、幅度、周期和脉冲信号的前后沿、宽度、上冲、下冲等参数。实验室观察时域信号最常用的仪器是示波器。示波器可以显示两个电信号的相互关系, 根据信号处理方式不同分为模拟示波器和数字示波器。

模拟示波器的内部电路均为模拟电路, 它由示波管、垂直通道和水平通道组成, 示波管由电子枪、偏转系统和显示屏组成。被测信号进入垂直 Y 通道, 经前置放大后一路进入垂直偏转系统, 一路作为触发信号; 水平 X 通道的主要任务是产生随时间线性变化的扫描电压, 然后送到水平偏转系统; 最后电子枪发射的电子束经水平和垂直偏转后在显示屏上显示出来。

数字存储示波器是将被测信号经过 A/D 转换后变成数字信号, 然后再用 CPU 对数字信号进行处理, 并将最后的波形显示在 LCD 屏幕上。目前, 数字示波器发展迅速, 价格下降很快, 大有取代模拟示波器的趋势。

在实际测量中, 对高频模拟信号的测量, 模拟示波器具有优势。主要体现在显示速度快、波形连续性好、操作方便。数字示波器由于采用数字信号处理技术, 可以对被测信号进行数学运算, 功能比较强大, 但速度不及模拟示波器。不管是模拟还是数字示波器, 都有一个测量带宽的问题, 输入信号频率不能超过其要求的上限截止频率。另外, 要注意的是示波器探头的使用, 通常示波器探头上有一个 $1\times$ 挡和 $10\times$ 挡的转换开关, 前者可以测量的最高频率相对示波器总带宽比较低, 如带宽 60MHz 的模拟示波器, $1\times$ 挡最高只能测 6MHz 的信号, 高于 6MHz 的信号需要

用 $10\times$ 高阻挡测量,当然读出的电压幅值也要乘 10 倍。

5. 频域测量

在实际的射频信号测量中,有时候只有时域测量是远远不够的,很多时候需要关注信号频谱的分布情况。例如,需要知道电路的频率特性或分析电路中的噪声分布情况,这时可以用频率特性测试仪和频谱分析仪等频域测量仪器。频率特性测试仪又叫扫频仪,本身可以输出扫频信号,同时又可以检波(需外接检波探头)后送回仪器显示频率特性曲线,一台仪器综合了扫频信号发生器和示波器,用来测量电路或系统的频率特性非常方便而直观。频谱分析仪用来测量信号中的频率分布情况,水平轴为频率,垂直轴为信号幅度,其幅度灵敏度非常高,一般可达 -100dBm (50Ω 负载),远远高于普通示波器的垂直灵敏度。

1.2.2 测量误差分析

实验测量中,由于测试仪器和测量方法的原因,测量值与真实值不可能完全相等,即存在误差。采用准确度高的仪器和先进的测量方法可以减小测量误差,但不能消除误差。

1. 测量误差分类

根据测量误差的性质,测量误差可分为系统误差、随机误差和粗大误差。

1) 系统误差

在相同测量条件下,对同一被测量进行多次测量时,测量误差的绝对值和符号都保持不变,或测量条件改变时,误差按一定规律变化,称为系统误差。

系统误差和测量仪器因素、测量方法、测量环境及测量者都有关系。例如,仪器原理缺陷、仪器内部元器件值偏差、仪器安装不正确、测量方法不完善、采用近似计算公式、环境温度偏高、湿度偏大、测量者本人读数习惯偏向某一方向等。

减小系统误差的方法有:用精度更高的仪器定期对测量仪器进行校准,完善测量方法,计算时不用或少用近似方法,测量者养成严谨、负责的测量态度等。

2) 随机误差

在相同测量条件下,对同一被测量进行多次测量时,测量误差的绝对值和符号每次都以不可预测的方式随机变化,这种误差称为随机误差。

随机误差是由一系列不相关的因素共同造成的。如热噪声、电磁场微变、测量者读数时的感觉变化、实验台的微震等。

对同一被测量进行多次测量取算术平均值可以减小随机误差,但随机误差无法完全消除。

3) 粗大误差

粗大误差是指测量值和真实值有很大差值的误差,又叫过失误差。通常是由测量仪器故障或缺陷、测量操作疏忽或失误、测量方法错误或不当、测量环境突然

改变造成的。

在对数据进行处理和分析时,粗大误差很容易被发现,一旦确定某一数据存在粗大误差,在数据处理时应予以去除。

2. 绝对误差和相对误差

1) 绝对误差

测量值和真实值之间的计算差值,称为绝对误差。计算公式为 $\Delta x = x' - x$, x' 为测量值, x 是真实值(理论值或国家计量标准规定值), Δx 是绝对误差。

绝对误差很多时候不能反映测量的准确度。比如,一个 $1\text{k}\Omega$ 电阻 R_1 , 测量值为 1010Ω , 绝对误差为 10Ω , 相对真实值偏差了 1% , 又一个 10Ω 的电阻 R_2 , 测量值为 11Ω , 绝对误差 1Ω , 但相对真实值偏离了 10% , R_2 的绝对误差更小, 但却比 R_1 精度差。

2) 相对误差

相对误差是指绝对误差 Δx 对真实值 x 的比值。计算公式为 $r = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$, 通常用百分比表示。

如果测量值和真实值很接近, 可用公式 $r \approx \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$ 近似计算相对误差(分母用测量值取代真实值)。

3. 信号源和示波器的测量误差

通信电路实验中使用最频繁的仪器是信号发生器和示波器。下面简单分析这两种仪器的测量误差。

1) 信号发生器

信号发生器有高频和低频之分。以高频信号发生器 AS1054 为例, 输出电压幅度显示值是在 50Ω 负载上的有效值, 实际的被测电路输入阻抗可能不是 50Ω , 由于阻抗不匹配, 导致实际输入到被测电路的电压与显示值不同。如果被测电路的输入阻抗大于 50Ω , 则输入电压大于显示电压; 反之则小于显示电压。

2) 示波器

示波器输入阻抗与探头有关, 以 YB5060 型示波器探头为例, 衰减开关打到 $1\times$ 挡时, 输入阻抗 $1\text{M}\Omega$, 探头内部电容 105pF ; 打到 $10\times$ 挡时, 输入阻抗 $10\text{M}\Omega$, 探头内部电容 16pF 。当用此示波器探头直接测量高频信号发生器输出电压时, 由于阻抗不匹配, 测量值比信号发生器显示值要大, 等效电路如图 1-2 所示。

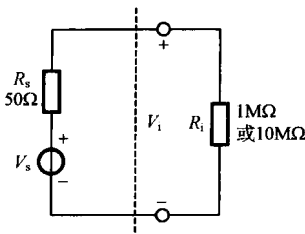


图 1-2 等效电路

$$V_i = \frac{R_i}{R_i + R_s} V_s$$

当 $R_i \gg R_s$, $V_i \approx V_s$, 信号发生器显示值是当 $R_i = 50\Omega$

时的 V_i 值,为 $0.5V_i$ 。因此,当用示波器直接测量高频信号发生器的输出电压时,测量峰峰值为显示值的 $2 \times 2\sqrt{2}$ 倍。

当用示波器测量电容三点式振荡器振荡频率时,由于探头的分布电容比较大,且和被测电路的输出端并联关系,导致振荡器回路总电容变大,振荡频率减小,因此,用示波器探头测量振荡器的振荡频率比实际值小。为减小测量仪器对振荡器的影响,可在振荡器后面加一级起隔离作用的射极跟随器。

1.2.3 实验故障处理

实验过程中出现故障是常见的事,如何对故障进行判断和排除往往能反映实验者的综合能力。实验者独立排除实验故障,需要扎实的基础理论知识和较强的分析和动手能力。通信电路实验和设计中常出现如下故障现象。

1. 电源类故障

实验开始前应先检查仪器电源是否接触良好并能正常开机。由于实验室仪器设备较多,通常一块插座板接有多台仪器,如果多台仪器电源接触良好但开机无显示,可能是插座板连接不良或出现故障,应予以排除。接通实验电路电源,如电路无法工作,则可能是电路板上的电源开关或电源电路出现了故障。

2. 连线类故障

实验中经常会遇到导线已连接,但信号无法正常传输的情况。例如,高频信号发生器输出通过同轴电缆连接到被测电路输入端,但经测量电路无输出信号。此时可用示波器测量电路输入端,如无信号,很可能是连线有故障。最简单的故障排除办法是更换一根电缆看能否正常工作,或者取下电缆用数字万用表的电阻挡测量一下内芯线电阻,如阻值很大可判断电缆开路。

3. 接地不良

只有良好的接地才能使信号构成回路。接地不良会造成信号浮地,使电路无法正常工作。在高频信号波形测量中,如示波器上无法正常显示波形,或者信号频率接近工频 50Hz ,很可能是接地不良造成的。此时可检查示波器探头接地线夹子是否连接良好,或者信号源输出到被测电路的接地线是否连接良好。

4. 仪器类故障

通信电路实验使用仪器较多,部分仪器操作比较复杂,当长时间工作时,出现故障的可能性增大。仪器如遇按键或旋钮功能失效、显示混乱或无显示、输出或测量误差明显偏大等情况,可能是仪器出现故障。

5. 实验电路板故障

基础实验和综合性实验一般是在设计好的实验电路板上完成的,电路板长期工作可能会使元器件性能变差,操作不当可能会损坏元器件,这些都使电路板的整体性能下降、指标变差、实验结果的一致性不好,甚至导致电路故障。考虑到实验