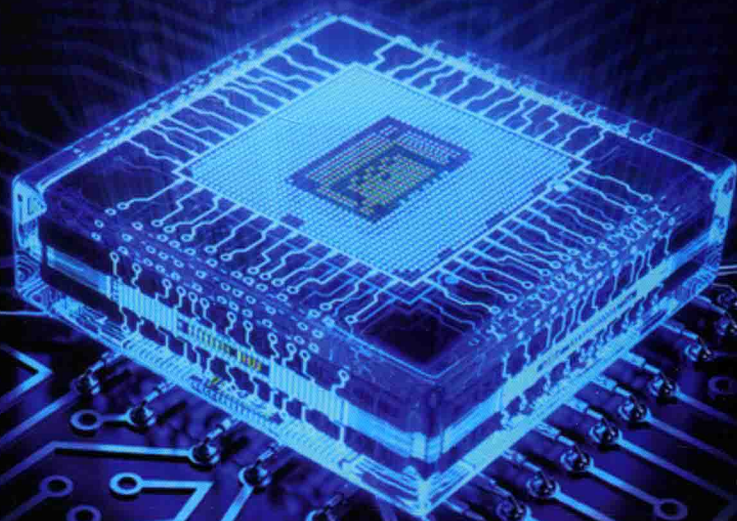


DIANZI JISHU SHIYAN YU SHIXUN



电子技术

实验与实训

主 编◎王 霞

副主编◎王留留 陆 磊



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

电子技术实验与实训

主 编 王 霞

副主编 王留留 陆 磊

 东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

· 南京 ·

内容提要

本书为淮南师范学院电子工程学院电子基础实验中心教师共同编著的实验教材。全书共分4篇。第1篇介绍了电子技术实验中所用到的电子元件的基本知识,误差的基本概念及实验数据的处理;第2篇详细介绍了模拟电子技术实验;第3篇介绍了数字电子技术实验。实验部分增加了设计性、研究性内容,实验项目内容详细完整。第4篇是电子技术实训,介绍了电子产品安装调试的基础知识及部分电子产品安装实例。附录介绍了部分电子仪器及Multisim仿真软件,还有常用集成电路符号及引脚排列供查阅。

本书可作为高等院校工科电子、通信、自动化、电气类各专业的电子技术实验实训课程教材,也可供从事电路设计的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实验与实训 / 王霞主编. — 南京: 东南大学出版社, 2016. 1

ISBN 978-7-5641-6180-4

I. ①电… II. ①王… III. ①电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 294722 号

电子技术实验与实训

出版发行 东南大学出版社

出版人 江建中

社址 南京市四牌楼2号

邮编 210096

经 销 江苏省新华书店

印 刷 兴化印刷有限责任公司

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 12.5

字 数 320千字

书 号 ISBN 978-7-5641-6180-4

版 次 2016年1月第1版

印 次 2016年1月第1次印刷

印 数 3000册

定 价 32.00元

(凡有印装质量问题,请与我社营销部联系。电话:025-83791830)

前 言

本教材基于教育部高等学校电子信息科学与工程类基础课程教育指导分委会 2004 年修订的《高等学校电工电子课程教学基本要求》，针对人才培养方案，吸取了多位教师近年来实验改革的经验编撰而成。

本教材的特色之一是，每个实验内容都按从易到难、由浅入深、循序渐进的原则编写，既保留了传统的验证性内容，又增加了设计、研究性要求。实验指导教师可根据学生的实际情况，对实验内容有所取舍，对实验项目有所选择。

本教材的特色之二是，既考虑到与理论课教材的衔接、呼应和配套，又不失实验教材的自身独立体系。在编写实验项目时已经顾及所用实验仪器、设备和实验器材的通用性及实验装置的开放性。

本教材特色之三是，增加了电子技术实训内容。编者结合我院电子工艺实训实际，编写了电子实训基本知识及多个电子实训实例，学生可根据实际情况选择实训项目。

成功的实验基于准确的测量和正确的使用实验仪器，考虑目前学生的实际情况，本教材在第 1 篇中简要地介绍了电子技术实验中所用到的电子元件、误差基本知识和实验数据处理，学生在进入实验室进行电子技术实验前，必须通过自学了解上述内容。

为了进一步提高电子技术实验的教学质量，本教材增加了“实验要求”，实验指导教师则可根据此来检查学生的实验完成情况。

本教材第 1 篇、第 4 篇部分内容及附录 2 由王霞编写，第 2 篇、第 3 篇部分内容及附录 1 由王留留编写，第 2 篇、第 3 篇部分内容由陆磊编写，第 3 篇部分内容和附录 3 由朱婕编写，第 4 篇部分内容由沈晓波编写。参加本教材编写的还有钱军、徐刚、陈景霞和宇文珊等。

由于编者的水平有限，本教材中难免有疏漏和不妥之处，殷切希望得到读者的批评指正。

编 者

2015 年 10 月于淮南

目 录

第 1 篇 电子技术实验基础知识

1	电子元器件识别与测量	(1)
1.1	电阻器	(1)
1.2	电位器	(3)
1.3	电容器	(4)
1.4	电感器	(7)
2	测量误差	(9)
2.1	测量误差的定义	(9)
2.2	测量误差的来源	(9)
2.3	测量误差的表示方法	(10)
2.4	误差的分类及误差处理	(13)
3	实验数据处理	(17)
3.1	有效数字的处理	(17)
3.2	实验数据的记录与整理	(18)
3.3	实验数据的表示法	(19)

第 2 篇 模拟电子技术实验

实验 1	常用电子仪器的使用	(22)
实验 2	单管共射极放大电路	(26)
实验 3	两级负反馈放大电路	(32)
实验 4	射极跟随器电路	(36)
实验 5	差动放大电路	(40)
实验 6	低频 OTL 功率放大器	(44)
实验 7	RC 正弦波振荡器	(48)
实验 8	集成运算放大器应用电路设计	(51)
实验 9	晶闸管可控整流电路设计	(59)
实验 10	用运算放大器设计万用表	(63)

第 3 篇 数字电子技术实验

实验 1	TTL 集成门电路的逻辑功能与参数测试	(68)
------	---------------------------	--------

实验 2 组合逻辑电路的设计与测试	(74)
实验 3 译码器及其应用	(77)
实验 4 数据选择器及其应用	(83)
实验 5 触发器及其应用	(89)
实验 6 计数器及其应用	(96)
实验 7 移位寄存器及其应用	(101)
实验 8 555 时基电路及其应用	(107)
实验 9 智力竞赛抢答装置	(113)
实验 10 D/A - A/D 转换器	(115)

第 4 篇 电子技术实训

1 电子产品焊接与装配	(120)
1.1 焊接基础知识	(120)
1.2 电子产品的装配工艺	(122)
1.3 电子产品的调试	(126)
1.4 整机故障检测	(129)
2 实训实例	(132)
实训实例 1 超外差收音机的安装与调试	(132)
实训实例 2 报警电路的安装与调试	(142)
实训实例 3 TDA2030 集成音频功率放大器的安装与调试	(147)
实训实例 4 DT830B 数字万用表的安装与调试	(153)

附 录

1 常用仪器的使用	(161)
1.1 示波器	(161)
1.2 数字信号发生器	(163)
1.3 电子学综合实验装置	(165)
2 Multisim 的基本使用方法	(167)
2.1 Multisim 的基本界面	(167)
2.2 Multisim 的基本操作	(170)
2.3 虚拟仪器的使用	(172)
2.4 Multisim 分析功能介绍	(179)
3 常用集成电路符号及引脚排列	(183)
3.1 集成逻辑门电路新、旧图形符号对照	(183)
3.2 集成触发器新、旧图形符号对照	(184)
3.3 常用集成电路引脚排列	(185)
参考文献	(194)

第 1 篇 电子技术实验基础知识

1 电子元件识别与测量

电子电路由各种电路元器件组成,其性能和应用范围有很大不同,随着电子工业的飞速发展,电子元器件中的新产品层出不穷,其品种规格十分繁杂。为了能对电子元器件有初步了解,并能较合理地选择和使用,这里只对电阻器、电位器、电容器、电感器及变压器等最常用电子元器件作简要介绍。

1.1 电阻器

电阻器是电子元器件中最常用的一种,它是耗能元件,在电路中起分配电压、电流的作用,常用作负载和阻抗匹配等。

(1) 电阻器符号

电阻器在电路图中用字母 R 表示。常用的图形符号如图 1-1-1 表示。



图 1-1-1 电阻器符号

(2) 电阻器的分类

电阻器种类很多,按工艺结构和材料分为:薄膜型电阻器和线绕型电阻器,其结构和特点如下:

①薄膜电阻 它按结构和材料的不同,又分为碳膜电阻器和金属电阻器。

碳膜电阻器:碳膜电阻是在绝缘材料做的骨架上覆盖一层结晶碳膜,然后用刻槽的方法来确定阻值的大小,为了防潮和绝缘,其表面涂有一层薄漆,这种电阻器稳定性好,价格便宜,所以被广泛使用。

金属膜电阻器:一般用真空蒸发或烧渗法在陶瓷体上形成一层金属薄膜。这种电阻器具有耐高温,稳定性和精密度高,体积小特点,但价格相对较高。

②线绕电阻 用电阻线绕在绝缘骨架上,外层涂有耐高温的绝缘层,其特点是工作稳定,耐热性能好,适用于大功率场合,其额定功率在 1 W 以上。缺点是固有电感和固有电容大,不宜应用于高频工作情况。

(3) 电阻器的主要参数

电阻器主要有标称阻值、允许误差(精度等级)、额定功率这三项主要指标,另外还有温度系数、噪声、高频特性及最高工作电压等,这里就不一一介绍了。

①标称阻值 电阻器阻值的大小,不是无穷多个连续数值,而是按照一定规律制造的。产品出厂时标注在电阻上的值就是标称值。电阻值上的标称值是国家标准规定的电阻值。不同精度的电阻器,其阻值系列不同。称为标称系列,见表 1-1-1。阻值的单位为欧姆(Ω)。

表 1-1-1 电阻器标称值系列

标称值系列	允许误差	精度等级	电阻器标称值
E24	$\pm 5\%$	I	1.0 1.1 1.2 1.3 1.5 1.6 1.8 2.0 2.4 2.7 3.0 3.3 3.9 4.3 4.7 5.1 5.6 6.2 6.8 7.5 8.2 9.1
E12	$\pm 10\%$	II	1.0 1.2 1.5 1.8 2.2 2.7 3.3 3.9 4.7 5.6 6.8 8.2
E6	$\pm 20\%$	III	1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8

②允许误差 电阻器的允许误差是指电阻器的实际阻值对于标称阻值的最大允许误差范围,它表示产品的精度,允许误差越小,精度越高。普通电阻器允许误差为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 及 $\pm 20\%$ 三个等级。精密电阻器允许误差在 $\pm 2\%$ 以下。

③额定功率 电阻器的额定功率是指在规定的环境和温度下,电阻器长期连续工作而其性能不变所允许消耗的最大功率称电阻器的额定功率。当超过额定功率时,电阻器的阻值将发生变化,甚至发热烧坏。为了保证安全使用,一般选其额定功率比电路中消耗的功率高 1~2 倍。

额定功率分 19 个等级,常用的有:1/20 W、1/8 W、1/4 W、1/2 W、1 W、2 W、4 W、5 W……。实际上应用较多的有 1/4 W、1/2 W、2 W、4 W。

(4) 电阻器的色标法

电阻器的阻值和误差,一般用数值标印在电阻上。有一些体积较小的电阻器其阻值和误差用色环(或色点)表示。称为电阻器的色标法。这种电阻常被称为“色环电阻”。色环电阻通常有四个色环,位置靠近电阻器的一端,从端点向中间依次为第 1~4 色环。第一色环表示电阻阻值有效数值的高位,第二色环表示有效数值的低位,第三色环表示乘数(10^n),第四色环表示允许误差。色标法中颜色代表的数值见表 1-1-2。

表 1-1-2 色标法中颜色代表的数值

颜色 意义 数值	银	金	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白
有效数字	—	—	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
乘数 10^n	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
允许误差(%)	± 10	± 5	—	± 1	± 1	—	—	± 0.5	± 0.2	± 0.1	—	+50~-20

精密电阻器常采用五道色环表示其阻值和误差,第 1~3 色环分别表示电阻值从高的三位有效数值,第四色环表示乘数,第五色环表示允许误差。

(5) 电阻器的测量

电阻器的阻值及误差无论是数标还是色标,一般出厂时都标好。若需要测量电阻器的阻值,通常用万用表的欧姆挡。用指针式万用表欧姆挡时,首先要进行调零,选择合适的挡位,使指针尽可能指示在表盘中部,以提高测量精度。如果用数字万用表测量电阻器的阻值,其测量精度要高于指针式万用表。对于大阻值电阻器,不能用手捏着电阻的引线两端来测量,防止人体电阻与被测电阻并联,使测量值不准确。对于小电阻值的电阻器,要将引线刮干净,保证表笔与电阻引线良好接触。对于高精度电阻可采用电桥进行测量,对于大电阻值低精度的电阻器可采用兆欧表进行测量。

1.2 电位器

电位器是一种具有三个接头的可变电阻器,其阻值在一定范围内连续可调。

(1) 符号和分类

电位器的图形符号为图 1-1-2:

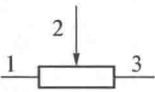


图 1-1-2 电位器的图形符号

在电路中用字母 R_p 表示。按材料分为碳膜电位器和线绕电位器。

碳膜电位器采用碳粉和树脂的混合物喷涂在马蹄形胶版上制成。其阻值连续可调,分辨率高,阻值范围大,工作频率范围宽,但功率较小,且受湿度和温度的影响较大。

线绕电位器是用电阻丝绕在绝缘支架上,再装入基座内,并配上转动系统组成,其阻值范围几十至几十千欧。最大优点是耐热性能好,能承受较大功率,且精度较高,适用于低频率大功率电路。

电位器按结构分,还可分为单圈电位器,多圈电位器,多圈微调电位器,双联、多联电位器,带开关电位器,半可调电位器,锁紧电位器等。

电位器按调节方式分类,可分为旋转式电位器、直滑式电位器。

(2) 主要参数

①标称值和允许误差 电位器同电阻器一样,有标称值和允许误差,见表 1-1-3。

表 1-1-3 标称系列

系列值($10^n \Omega, n$ 为整数)	允许误差
1.0 1.2 1.8 2.2 3.3 3.9 4.7 5.6 6.8 8.2	$\pm 10\%$ $\pm 5\%$
1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8	$\pm 2\%$ $\pm 1\%$

②电位器的额定功率 电位器的额定功率是指两个固定端之间允许耗散的最大功率。电位器的额定功率见表 1-1-4。

表 1-1-4 电位器的额定功率

类型	额定功率(W)										
线绕电位器	0.05	0.15	0.25	0.5	1	2	5	10	25	50	100
非线性绕电位器	0.025	0.05	0.1	0.25	0.5	1	2	3			

③阻值变化律 电位器的阻值变化规律是阻值随滑动片触点旋转角度(或滑动行程)之间的变化关系。这种关系常用的有直线式、对数式和指数式。在使用中,直线式电位器适用于分压、偏流的调整。对数式电位器适用于音调控制和电视机对比度调整。指数式电位器适用于做音量控制。

(3) 标注方法

电位器一般都采用直标法,其类型、阻值、额定功率及误差都直接标在电位器上。电位器常用标志符号见表 1-1-5。

表 1-1-5 电位器常用标志符号及意义

标志符号	意义
WT	碳膜电位器
WH	合成碳膜电位器
WN	无机实心电位器
WX	线绕电位器
WS	有机实心电位器
WI	玻璃釉电位器
WJ	金属膜电位器
WY	氧化膜电位器

(4) 电位器的测量

根据电位器的标称阻值大小适当选择万用表欧姆挡的挡位,测量电位器两固定端的电阻值是否与标称值相符,如果万用表指针不动,则表明电阻体与其相应的引出端断了。若万用表指示的阻值比标称阻值大许多,表明电位器已坏。

测量滑动端与任一固定端之间阻值变化时,开始时最小值越小越好,慢慢移动滑动端,如果万用表指针移动平稳,没有跳动和跌落的现象,表明电位器电阻体良好,滑动接触可靠。当滑动端移到极限位置时,电阻值为最大并与标称值一致,由此说明此电位器较好。

1.3 电容器

电容器是一种储能元件,在电路中具有隔直通交特性,用于调谐、滤波、耦合、旁路和能量转换等。电容器一般由两个金属电极中间夹一层介质构成。

(1) 图形符号

电容器在电路中用字母 C 表示,常用的图形符号如图 1-1-3 所示。

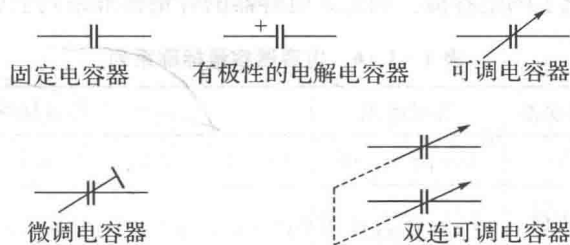


图 1-1-3 电容器图形符号

电容器的单位用:F(法拉)、mF(毫法)、 μ F(微法)、nF(纳法)、pF(皮法)表示。

(2) 电容器的种类

电容器有许多种,按介质材料分,有纸介质电容器、金属化纸电容器、薄膜电容器、云母电容器、瓷介电容器及电解电容器等。电解电容又分铝电解、钽电解、金属电解电容器等。按电容器的容量调节来分,又可分为固定电容器、半可调(微调)电容器、可调电容器、双连可调电容器等。另外还有多种片式电容器,如片式独石电容器、片式云母电容器、片式有机薄膜电容器等。下面介绍几种常用的电容器的构成特点和用途。

纸介电容器:纸介电容器用两片金属箔做电极,用纸做介质构成。其体积较小,容量可做得大,温度系数较大,稳定性差,损耗大,且有较大固定电感,适用于要求不高的低频电路。

油浸纸介电容器:将纸介电容浸在特定的油中可使其耐压较高。这种电容器容量大,但体积也较大。

有机薄膜介质电容器:涤纶电容器介质常数较高,体积小,容量大,稳定性好,适宜做旁路电容。聚苯乙烯电容器介质损耗小,绝缘电阻高,稳定性好,温度性能较差,可用做高频电路和定时电路中 RC 时间常数电路。聚四氟乙烯电容器耐高温(达 250℃)和化学腐蚀,电参数、温度及频率特性好,但成本较高。

云母电容器:用云母做介质,其介质损耗小,绝缘电阻大,精度高,稳定性好,适用于高频电路。

陶瓷电容:用陶瓷做介质,其损耗小,绝缘电阻大,稳定性好,适用于高频电路。

铝电解电容:容量大,可达几个法,成本较低,但漏电大,寿命短,适用于电源滤波或低频电路。

钽、铌电解电容器:体积小,容量大,性能稳定,寿命长,绝缘电阻大,温度特性好,但介质较贵,适用于要求较高的设备中。

(3) 电容器的主要参数

①**额定工作电压(耐压)** 电容器额定工作电压就是通常所说的耐压,它是指电容器长期连续可靠工作时,极间电压不允许超过的规定电压值,否则电容器就会被击穿损坏。额定工作电压值一般以直流电压标出。其系列标准为 6.3 V, 10 V, 16 V, 25 V, 40 V, 63 V, 100 V, 160 V, 400 V, 500 V, 630 V 等。电解电容器的标准还有 32 V, 50 V, 125 V, 300 V, 450 V。

②**标称值与允许误差** 电容量是电容器的最基本的参数,其标准值通常标在电容器外

壳上,标称值是标准化了的电容值。固定式电容器的容量标准系列值如表 1-1-6 所示。

表 1-1-6 电容器容量标称系列

电容器类型	允许误差	容量范围	容量标称值											
纸介、金属化纸介、低频有极性有机薄膜介质	$\pm 5\%$	100 pF~1 μ F	1.0	1.5	2.2	2.3	4.7	6.8						
	$\pm 10\%$ $\pm 20\%$	1~100 μ F	1	2	4	6	8	10	15	20	30	60	80	100
陶瓷、云母、玻璃釉、高频有极性有机薄膜介质	$\pm 5\%$	其容量为标称值乘以 10^n (n 为整数)	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2			
			2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1			
			5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1						
	$\pm 10\%$		1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7			
			5.6	6.8	8.2									
	$\pm 20\%$		1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8						
铝、钽、铌电解电容器	$\pm 10\%$ $\pm 20\%$		1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8						

电容器的允许误差是用实际电容量与标称电容量之间偏差的百分数来表示的,电容器的允许误差一般分七个等级,如表 1-1-7 所示。

表 1-1-7 电容器的误差等级

级别	0.2	I	II	III	IV	V	VI
允许误差	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$+20\% \sim -30\%$	$+50\% \sim -20\%$	$+100\% \sim -10\%$

③绝缘电阻 电容器的绝缘电阻是指电容器两极之间的电阻,在数值上等于加在电容器上的直流电压与漏电流之比,或称漏电电阻。理想电容器的绝缘电阻应为无穷大。电容器中的介质并非绝对绝缘体,总有一些漏电流产生。除电解电容器外,一般电容器漏电流很小。电容器漏电流越大,绝缘电阻越小,当漏电流过大时,电容器发热,破坏电解质的特性,导致电容器击穿损坏。使用中应选择绝缘电阻大的电容器。非电解电容器的绝缘电阻一般在 $10^6 \sim 10^{12} \Omega$ 之间。

(4) 规格标注方法

电容器的规格标注方法有直标法、数码表示法和色标法。

直标法:它是将主要参数和技术指标直接标注在电容器表面。

如 10m 表示 10 000 μ F;33n 表示 0.033 μ F;4u7 表示 4.7 μ F;5n3 表示 5 300 pF;3p3 表示 3.3 pF;p10 表示 0.1 pF。允许误差直接用百分数表示。

数码表示法:不标单位,直接用数码表示容量。如 4 700 表示 4 700 pF;360 表示 360 pF;0.068 表示 0.068 μ F。用三位数码表示容量大小,单位 pF,前两位是电容器的有效数值,后一位是零的个数。如 103 表示 10×10^3 pF;223 表示 22 000 pF;如第三位是 9,则乘 10^{-1} ,如 339 表示 $33 \times 10^{-1} = 3.3$ pF。

色标法:如电容器的色标法与电阻相似。色标颜色的意义与电阻相同。色标通常有

三种颜色,沿着引线方向,前两种表示有效数值,第三种色标表示有效数字后面零的个数,单位为 μF 。

(5) 电容器的测量

电容器在使用之前要对其性能进行检查,检查电容器是否有漏电、短路、断路、失效等。

漏电测量:用万用表 $R \times 1$ 或 $R \times 10\text{k}$ 挡测量电容器,指针一般回到 ∞ 位置附近,指针稳定时的读数为电容器的绝缘电阻,阻值越大,表明漏电越小,如指针距零欧近,表明漏电太大不能使用。有的电容器漏电电阻达到 ∞ 位置后,又向零欧方向摆动,表明漏电严重,也不能使用。若摆到零欧不再返回,表明电容器已击穿短路。

电容量的测量:指针式万用表的欧姆挡 $R \times 1$ 或 $R \times 10\text{k}$ 挡测电容器的容量,开始指针快速正偏一个角度,然后逐渐向 ∞ 方向退回。再互换表笔测量,指针偏转角度比上次更大,回 ∞ 的速度越慢表示电容量越大。若回 ∞ 的速度太慢,说明电容量较大,可将欧姆挡量程减小。与已知电容量的电容作比较测量就可估计被测电容量的大小。这种方法只能用于测量较大容量的电容器。 $0.01 \mu\text{F}$ 以下的电容指针偏转太小,不易看出。小电容器可以用数字万用表直接测量。

判别电解电容极性:因电解电容正反不同接法时的绝缘电阻相差较大,所以可用指针式万用表欧姆挡测电解电容器的漏电电阻,并记下该阻值,然后调换表笔再测一次,测得的两个漏电电阻中,大的那次黑表笔接电解电容的正极,红表笔接负极。

1.4 电感器

电感器是根据电磁感应原理制成,一般由导线绕制而成。电感器在直流电路中具有导通直流电,阻止交流电的能力,它主要用于调谐、振荡、滤波、耦合、均衡、延迟、匹配、补偿等电路。

(1) 电感器符号

电感器在电路中用字母 L 表示。常用的图形符号如图 1-1-4 所示。

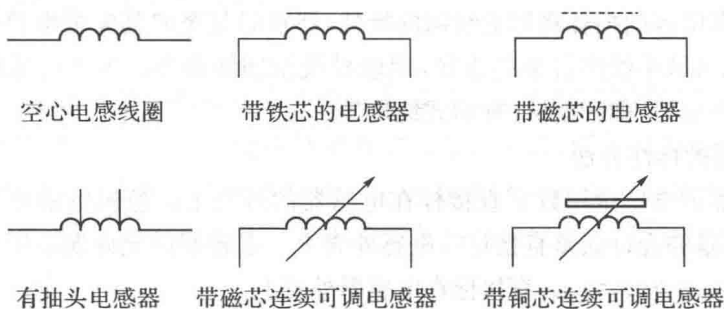


图 1-1-4 电感器图形符号

(2) 电感器种类

电感器一般称为电感线圈,它的种类很多,分类方法也不一样。按电感器的工作特征分为:固定电感器、可变电感器及微调电感器。按结构特点分为:单层线圈、多层线圈、

蜂房线圈、带磁芯线圈、可变电感线圈以及低频扼流圈。各种电感线圈都具有不同的特点和用途。但它们都是用漆包线、纱包线、裸铜线绕在绝缘骨架上或铁芯上构成的。下面介绍几种常用的电感器。

固定电感(色码电感):它是指由生产厂家制造的带有磁芯的电感器,也称微型电感,这种电感器是将导线绕在磁芯上,然后用塑料壳封装或用环氧树脂包封。这种电感体积小重量轻,结构牢固,安装方便。

低频扼流圈:低频扼流圈是一种具有铁心的电感线圈,线圈圈数一般在几千圈以上,各层之间用绝缘薄膜隔开,整个线圈都要经过浸漆烘干处理,线圈导线的粗细由额定电流和绕制方法决定。它与电容器组成滤波电路,消除整流后残存的交流成分,让直流通过,其电感量一般较大。

高频扼流圈:高频扼流圈在电路中,用来阻止高频信号通过而让低频交流信号和直流通过。在额定电流下,电感量固定,它的电感量一般只有几微亨。

(3) 电感器的主要参数

电感量:电感量的单位是亨利,简称亨,用字母 H 表示,常用的单位还有毫亨(mH)、微亨(μH)、毫微亨(nH),换算关系为: $1\text{ H}=10^3\text{ mH}=10^6\text{ }\mu\text{H}=10^9\text{ nH}$ 。

电感器的电感量由线圈的圈数 N 、横截面积 S 、长度 l 、介质磁导率 μ 决定,当线圈长度远大于直径时,电感量为 $L=\mu n^2 V=\mu N^2 S/l(\text{H})$, n 为单位长度内的线圈数, V 为线圈体积。由该式可见,电感量的大小与线圈匝数、直径、内部有无磁芯、绕制方式等有直接关系。圈数越多,电感量越大。线圈内有铁芯磁芯的比无铁心磁芯的电感大。铁氧体的磁导率 μ 值具有频率特性,当频率超过它的应用范围时, μ 值显著降低,所以使用时要注意。

品质因数:由于线圈存在电阻,电阻越大其性能越差。品质因数是反映线圈质量高低的一个参数,用字母 Q 表示, $Q=\omega L/R$, Q 越大线圈损耗越小。当用在调谐电路中时,线圈的品质因数决定着调谐电路的谐振特性和频率,要求它的品质因数在 $50\sim 300$ 。

分布电容:线圈匝与匝之间具有电容,该电容称为“分布电容”。此外多层绕组的层与层之间,绕线与底板之间,屏幕罩之间都存在着分布电容。分布电容的存在使线圈的 Q 值下降。分布电容的损耗将影响线圈的特性,严重时甚至使其失去电感的作用。为了减小分布电容,可减小线圈骨架的直径,用丝导线绕制线圈等。另外可采用一些特殊的绕法以减小分布电容,如间绕法、蜂房式绕法等。

(4) 电感器的标注方法

固定电感器的电感量用数字直接标在电感器的外壳上。色码电感已不再用色环表示,也是将电感量和允许误差直接标在电感外壳上。电感器的允许误差用 I、II、III 即代表 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 表示,直接标在电感器外壳上。

(5) 电感器的测量

一般用指针万用表欧姆挡 $R\times 1$ 或 $R\times 10$ 挡,测电感器的阻值来判断电感器的的好坏。若阻值为无穷大,表明电感器断路;若电阻很小,说明电感器正常。在电感器相同的电感器中,若电阻小,则 Q 值高。若要准确测量电感线圈的电感量 L 和品质因数 Q ,必须用专门的仪器测量,并且步骤较复杂,这里不作介绍。

2 测量误差

在实验测量中,由于测量仪器、工具的不准确,测量方法的不恰当以及各种因素的影响,实验中测得的值和它的真实值并不完全相同,这种矛盾在数值上的表现即为误差。随着科学水平的提高和人们的经验、技巧和专业知识的丰富,误差可以被控制得越来越小,但是不能使误差降为零,这就是所谓的误差公理:一切实验结果都具有误差,误差自始至终存在于一切科学实验过程中。

2.1 测量误差的定义

测量的目的是希望获得被测量的实际大小,即真值。所谓真值,就是在一定的时间和空间环境条件下,被测量本身所具有的真实数值。实际上,在一切测量中,由于各种因素(测量设备、测量方法、测量环境和测量人员素质)的影响,测量所得的量值 x 并不准确地等于被测量的真值 A ,二者之差($x-A=\Delta x$)称为测量误差。可以说,所有测量结果都带有误差。测量误差过大,可能会使测量结果变得毫无意义,不但没有利用价值,甚至带来危害。

研究误差的目的,就是要正确认识误差的性质,分析误差产生的原因及其发生规律,寻求减小或消除测量误差的方法,识别出测量结果中存在的各种性质的误差,学会数据处理的方法,使测量结果更接近于真值。

2.2 测量误差的来源

测量误差主要来自以下五个方面:

(1) 仪器误差

仪器误差是由于测量仪器及其附件的设计、制造、检定等环节不完善,以及仪器使用过程中老化、磨损、疲劳等因素而使仪器带有的误差。例如,仪器仪表的零点漂移、刻度的不准确和非线性,以及数字仪器的量化误差等都属仪器误差。为减小仪器误差的影响,应根据测量任务,正确地选择测量方法,合理使用测量仪器,控制测量环境条件等。

(2) 影响误差

影响误差是指由于各种环境因素(温度、湿度、振动、电源电压、电磁场等)与测量要求的条件不一致而引起的误差。

影响误差常用影响量来表征。所谓影响量,是指除了被测的量以外,凡是对测量结果有影响的量,即测量系统输入信号中的非被测量值信息的参量。测量中的影响量较多而且复杂,可以是来自系统外部环境(如环境温度、湿度、电源电压等)的外界影响量,也

可以是来自仪器系统内部(如噪声、漂移等)的内部影响量,不过这里讨论的影响误差通常是指来自外部环境因素的外部影响量。

(3) 理论误差和方法误差

由于测量原理带来的(如数字化测量的量化误差),或者由于测量计算公式的近似,以致测量结果出现的误差称为理论误差。由于测量方法不合理(如用低输入阻抗的电压表去测量高输入阻抗电路上的电压)而造成的误差称为方法误差。

理论误差和方法误差通常以系统误差的形式出现,在掌握了具体原因及有关量值后,通过理论分析与计算,或者改变测量方法,这类误差是可以消除或修正的。

(4) 人身误差

人身误差是由于测量人员感官的分辨能力、反应速度、视觉疲劳、固有习惯、缺乏责任心等原因,而在测量中操作不当、现象判断出错或数据读取疏忽等而引起的误差。

减少或消除人身误差的措施有:提高测量人员操作技能、增强工作责任心、加强测量素质和能力的培养、采用自动测试技术等。

(5) 测量对象变化误差

测量过程中由于测量对象本身的变化而使得测量值不准确,如引起动态误差等。

2.3 测量误差的表示方法

测量误差有绝对误差和相对误差两种表示方法。

(1) 绝对误差

①定义。由测量所得到的被测量值 x 与其真值 A_0 之差,称为绝对误差,即

$$\Delta x = x - A_0$$

式中, Δx 为绝对误差。

由于被测量值 x (它由测量仪器显示装置指示出来,故又称为仪器的示值)总含有绝对误差,其值可能比 A_0 大(正误差),也可能比 A_0 小(负误差),因此 Δx 既有大小,又有符号和量纲。显然,绝对误差并不是误差的绝对值,而是其代数值。

某一时刻和某一位置或状态下,被测量的真值是客观存在的,是通过完善的测量所得到的量值,然而无误差的“完善的测量”是不可能的,所以在大多数场合被测量的真值是未知的,只有特殊情况下的被测量的真值才是可知的。

在计量学中标准量是已知的,它们是一种约定真值。例如,长度 1 m 是光在真空中 $1/299\,792\,458$ s 时间间隔内所行进的路程。约定真值都具有一定的不确定度,应当予以说明,长度单位 1 m 的约定真值的不确定度为 $\pm 4 \times 10^{-9}$ m。此外,对标准器具也采用了约定真值,是指在给定地点,由参考标准复现的量值。例如,作为参考标准(标准砝码、标准物质、标准仪器等)在其证书中所给出的值,是一种约定真值。

真值 A_0 是一个理想的概念,一般来说是无法得到的,所以实际应用中通常用十分接近被测量真值的实际值 A 来代替真值 A_0 。实际值也称为约定真值,它是根据测量误差

的要求,用高一级以上的测量仪器或计量器具测量所得之值作为约定真值,即实际值 A 。因而绝对误差更有实际意义的定义是

$$\Delta x = x - A$$

绝对误差表明了被测量的测量值与被测量的实际值间的偏离程度和方向。

②修正值。与绝对误差的绝对值大小相等,但符号相反的量值,称为修正值,用 C 表示

$$C = -\Delta x = A - x$$

测量仪器的修正值可以通过上一级标准的校准给出,修正值可以是数值表格、曲线或函数表达式等形式。在日常测量中,利用其仪器的修正值 C 和该已检仪器的示值,可求得被测量的实际值 $A = x + C$ 。

(2) 相对误差

绝对误差虽然可以说明测量结果偏离实际值的情况,但不能完全科学地说明测量的质量(测量结果的准确程度),不能评估整个测量结果的影响。因为一个量的准确程度,不仅与它的绝对误差的大小,而且与这个量本身的大小有关。当绝对误差相同时,这个量本身的绝对值越大,则准确程度相对越高,因此测量的准确程度需用误差的相对值来说明。

①相对误差、实际相对误差和示值相对误差。绝对误差与被测量的真值之比,称为相对误差(或称为相对真误差),用 γ 表示

$$\gamma = (\Delta x / A_0) \times 100\%$$

相对误差是两个有相同量纲的量的比值,只有大小和符号,没有单位。由于真值是不能确切得到的,通常用实际值 A 代替真值 A_0 。来表示相对误差,用 γ_A 表示为

$$\gamma_A = (\Delta x / A) \times 100\%$$

式中, γ_A 为实际相对误差。

在误差较小、要求不太严格的场合,也可以用测量值 x 代替实际值 A ,称为示值相对误差:

$$\gamma_x = (\Delta x / x) \times 100\%$$

当 Δx 很小时, $x \approx A$, 有 $\gamma_x \approx \gamma_A$ 。

②满度相对误差(引用相对误差) γ_m 。实际中也常用测量仪器在一个量程范围内出现的最大绝对误差 Δx_m 与该量程的满刻度值(该量程的上限值与下限值之差) x_m 之比来表示的相对误差,称为满度相对误差(或称引用相对误差),用 γ_m 表示。

$$\gamma_m = (\Delta x_m / x_m) \times 100\%$$

引用相对误差是一种简化计算和方便实用的相对误差,特别是在多挡和连续刻度的仪表中,因为各挡示值和对应真值都不一样。因其分母一律取 x_m ,分子取为 Δx_m ,则对于