

普通高等院校

电子信息类系列教材

*DianGong DianZi JiShu
ShiYan ZhiDao*

电工电子技术 实验指导

© 郑明辉 胡莹 主编

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
教育部“卓越工程师教育培养计划”重点教材

Developing Design Ability
Shi Yan Zhi Dao

电工电子技术 实验指导

第2版

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等院校电子信息类系列教材

电工电子技术实验指导

郑明辉 胡 莹 主编

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术实验指导 / 郑明辉, 胡莹主编. —北京:
人民邮电出版社, 2008.10
(普通高等院校电子信息类系列教材)
ISBN 978-7-115-18618-8

I. 电… II. ①郑…②胡… III. ①电工技术—实验—高等学校—教学参考资料②电子技术—实验—高等学校—教学参考资料 IV. TM-33 TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 119948 号

内 容 提 要

本书共分 3 章, 第 1 章介绍电工电子测量技术的基本知识, 第 2 章、第 3 章分别为电工技术实验和电子技术实验, 电工技术部分有 13 个实验, 电子技术部分有 12 个实验。每部分实验中, 既有基本型实验, 又有设计型实验和综合型实验。

本书可作为高等院校非电专业多学时“电工学”课程的实验教材。

普通高等院校电子信息类系列教材

电工电子技术实验指导

-
- ◆ 主 编 郑明辉 胡 莹
责任编辑 须春美
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 8
字数: 192 千字 2008 年 10 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2008 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-18618-8/TN

定价: 15.00 元

读者服务热线: (010) 67170985 印装质量热线: (010) 67129223
反盗版热线: (010) 67171154

前 言

本书是根据教育部颁发的“电工学”教学基本要求，结合当前一些新技术及实验设备编写的。内容既有基本型实验内容，又有提高设计型实验；既可以用计算机仿真虚拟实验，又有实验室实际操作实验。目的在于帮助学生验证所学的理论知识，训练学生的实验技能，提高学生分析问题和解决问题的能力，使学生养成严谨的科学作风。

本书是《电工学》(秦曾煌主编)的配套教材。全书共分3章，第1章介绍电工电子测量技术的基本知识；第2章为电工技术实验部分，介绍常用电子仪器的使用、直流电路、交流电路、系统时域分析、异步电动机控制等。其中加大了综合设计性实验的内容，如电压电流表的设计、异步电动机的继电器—接触器控制、无源和有源滤波器的设计，这部分内容的综合性很强，既可以安排在学完《电工学》上册后，也可以安排在全部学完《电工学》后。第3章为电子技术实验部分，介绍单管电压放大电路、模拟集成电路和数字集成电路的基本应用，注意将模拟与数字集成电路相结合，如555定时电路及其应用设计、温度检测与报警电路的设计、数字频率计的设计等实验。书后附有附录，附录A为电子仿真软件Multism 7的基本应用，附录B为DG-3现代电工电子综合实验系统使用，附录C为常用仪器仪表的使用，附录D为部分集成电路引脚排列。

本书是由江苏科技大学电工电子实验中心的教师在总结多年实验课教学经验的基础上编写的。本书由郑明辉、胡莹主编，郑明辉编写了第1、2章及附录部分，胡莹、邢晓浚等编写了第3章。在编写本书的过程中，作者参阅了电工电子实验中心的其他实验指导书，同时还得到江苏科技大学电子信息学院领导的大力支持，电子信息学院书记张先生教授在百忙之中审阅了本书的样稿，副院长张尤赛教授对初稿作了指导，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，恳请使用本书的老师和同学批评指正。

编 者
2008年6月

目 录

第 1 章 电工电子测量技术的基本知识	1
1.1 常用电工仪表的性能与特点	1
1.2 常用电子元件的性能与特点	3
1.2.1 电阻器	3
1.2.2 电容器	6
1.2.3 电感器	7
1.2.4 导线	8
1.2.5 晶体二极管	8
1.2.6 晶体三极管.....	10
1.2.7 运算放大器.....	11
1.3 电气测量的基本方法.....	12
1.3.1 电阻的测量.....	12
1.3.2 电流的测量.....	14
1.3.3 电压的测量	15
1.3.4 功率的测量.....	16
1.4 实验误差及数据处理.....	18
1.4.1 误差分类及其相应数据处理方法.....	18
1.4.2 实验数据处理.....	19
第 2 章 电工技术实验	20
实验 1 常用电子仪器的使用练习	20
实验 2 电路元件伏安特性测试	22
实验 3 叠加原理和戴维南定理的验证	24
实验 4 交流阻抗参数的测量和功率因数的改善	28
实验 5 RLC 串联谐振电路的研究	31
实验 6 RC 选频电路的设计	33
实验 7 单相变压器特性测试	35
实验 8 三相交流电路	38
实验 9 积分电路与微分电路的设计	41
实验 10 异步电动机的直接启动与正反转控制	44
实验 11 异步电动机的继电器-接触器控制线路设计	48
实验 12 电压/电流表的设计	49
实验 13 无源和有源滤波器的设计	52
第 3 章 电子技术实验	57
实验 1 单管低频小信号电压放大器	57
实验 2 负反馈放大器研究	61
实验 3 差动放大器	65

实验 4	集成运放的基本应用 (一) —— 信号运算电路	67
实验 5	集成稳压电源	70
实验 6	组合逻辑电路的分析与设计	73
实验 7	集成触发器及其应用	74
实验 8	计数、译码显示电路的应用	78
实验 9	555 时基电路及其应用电路设计	81
实验 10	温度检测与报警电路的设计	82
实验 11	集成运放的基本应用 (二) —— 波形产生电路	84
实验 12	数显式频率计的设计	85
附录 A	电子仿真软件 Multisim 7 简介	88
A1	定制用户界面	89
A2	调出和连接元件操作	91
A3	虚拟仪器的调用和设置方法	92
附录 B	DG-3 现代电工电子综合实验系统的使用	96
B1	DG-3-01 主控制屏的使用	96
B2	直流可调稳压电源使用说明	97
B3	直流稳流源使用说明 (DG-3-03)	97
B4	信号源使用说明 (DG-3-04)	98
B5	直流电压表、电流表使用说明 (DG-3-10)	99
B6	交流电压表、电流表使用说明 (DG-3-11)	99
B7	多功能交流仪表使用说明 (DG-3-13)	100
B8	常见故障的排除方法	101
附录 C	常用仪器仪表的使用	102
C1	万用表的使用	102
C2	D34-W 型低功率因数瓦特表使用	105
C3	XD-1B 型低频信号发生器的使用	106
C4	DS1000 型双踪示波器的使用	108
附录 D	部分集成电路引脚排列	115
D1	74LS 系列	115
D2	GMOS 系列	117
附录 E	安全用电知识	119
附录 F	电工电子技术实验须知	120
参考文献		122

第 1 章 电工电子测量技术的基本知识

1.1 常用电工仪表的性能与特点

1. 磁电式仪表

磁电式仪表结构如图 1-1-1 所示。磁电式仪表有一个永久磁铁（马蹄形磁钢），在其磁极间放有一个圆柱形铁芯，磁极和铁芯这样放置是为了在气隙中获得一个辐射形均匀磁场。可动线圈绕在一个矩形的铝框架上可以在气隙中自由偏转。当被测电流经产生反抗力矩的螺旋弹簧（即游丝）引入通过线圈时，线圈在永久磁铁的磁场中受力而偏转。

磁电式仪表的主要特性是：刻度均匀，准确度高，可以制成 0.1 级的标准表。由于永久磁铁有较强的磁场，所以测量机构的灵敏度高，受外磁场的影响小。仪表本身消耗的功率小，对外电路的影响也小。它的缺点是只适于测直流，且由于电流要经过游丝所以过载能力低，当电流超过仪表的额定值时游丝会过热而失去弹性以致毁坏仪表。

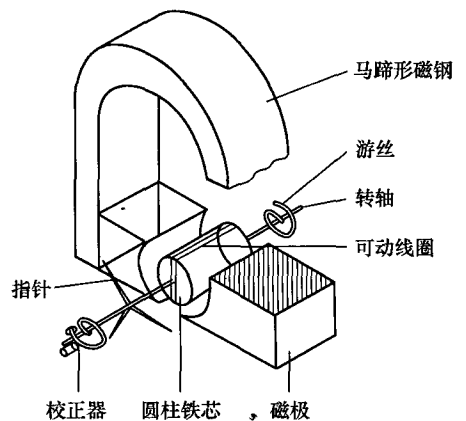


图 1-1-1 磁电式仪表结构

磁电式仪表可用作直流电路的电流表，直流电压表，许多常用仪表的测量机构，检流计以检测微电流或作为指零仪表。

2. 电磁式仪表

电磁式仪表结构如图 1-1-2 所示。铁片 B_1 和 B_2 放在固定线圈内。铁片 B_1 与转轴相连可以自由转动，铁片 B_2 则是固定不动的。被测电流通过固定线圈产生磁场，铁片 B_1 和 B_2 同时被磁化互相排斥。 B_1 受到 B_2 的排斥而使仪表的转动部分产生偏转，被测电流方向改变线圈产生的磁场方向也随之改变，但 B_1 所受到的力总是 B_2 对它的斥力，因此仪表活动部分所受到的转动力矩的方向，并不因被测电流方向改变而改变。转动力矩决定于 B_1 所受到的斥力，该斥力与 B_1 和 B_2 的磁化程度有关，即由线圈内的磁场强度的平方所决定，而线圈内的

磁场强度是与线圈的电流成正比的，即瞬时力矩由电流 i 的平方决定。活动部分有一定惯性所以其偏转角与一周期内的平均力矩一一对应。活动部分在被测电流变化一个周期内的平均力矩则决定于电流 i 的平方在一个周期内的平均值（也即被测电流有效值的平方），所以电磁式仪表可用来测量交流电路的电流或电压的有效值。

电磁式仪表由于线圈内部有铁芯所以有磁滞和涡流现象，这就造成直流读数和交流读数不一样，且读数受频率和波形的影响，即测定不同频率或波形的同一有效值时，其偏转会有些不同。用于测量直流时，要注意由于磁滞的关系，当被测量缓慢增加时电磁式仪表给出较低的读数，而当被测量减小时它又给出较高的指示值，并且每次测量值都和该次测量前仪表铁芯的磁场状态有关。

电磁仪表的优点是构造简单，价格低廉，可用于交直流，能测量较大电流和允许较大的过载。由于电磁式测量机构中线圈的阻抗随被测电流的频率而变，所以不能用分流电阻来扩大量程式，为改变量程是将线圈绕组分段，利用串联和交联改接来达到。用这种仪表测量电压或电流具有非线性（平方）的标尺特性。电磁式仪表的准确度也较低，最高仅 0.2 级。

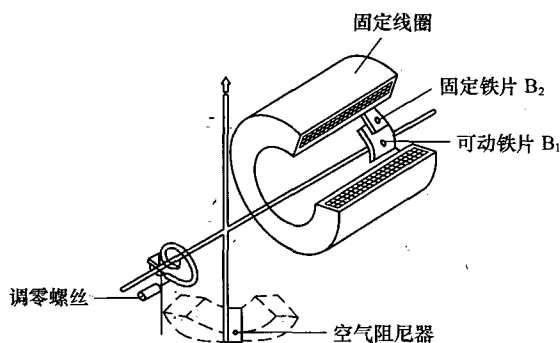


图 1-1-2 电磁式仪表结构

3. 电动式仪表

电动式仪表结构如图 1-1-3 所示。固定线圈能在线圈内产生较为均匀的磁场，可动线圈和转轴相连，可以在固定线圈内转动。当固定线圈和可动线圈都通电流时，可动线圈受到固定线圈的磁场对它的作用力而产生偏转。

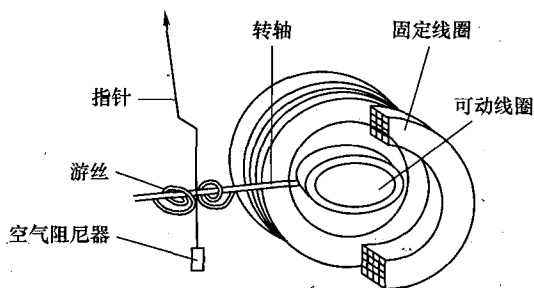


图 1-1-3 电动式仪表结构

电动式仪表用作电压表和电流表时，转矩与电流或电压的平方成正比，为使刻度均匀些要适当设计 $K(\gamma)$ 。而用作瓦特计时则要求 $K(\gamma)$ 基本上为常数，以具有近似线性的刻度。因此，电动式仪表不论是电压表、电流表或功率表，其刻度都是不均匀的，尤其在小刻度指示值时，仪表的灵敏度是较低的。由于仪表内部没有铁磁物质，所以精度较高且交直流读数一样，可用直流分度和校准，所以可用作交流的标准表。它能测

量交流量的有效值，与电磁式仪表相比较波形和频率的影响较小。通常使用的频率范围在 2.5kHz 以下。这种仪表功率损耗较大，直接用来测量电路的电压、电流常会改变电路的状态，一般作标准表用，其过载能力也低，而且转矩较小读数易受外磁场影响，所以通常都加有磁屏蔽防护。有时为了增加转动力矩而在可动线圈和固定线圈之间加上铁芯，这就是铁磁电动式仪表，但引进铁芯，也就引起了磁滞和涡流问题，使仪表的准确度降低。

电动式仪表的优点是适用于交直流，同时由于没有铁芯，所以准确度较高。其缺点是受外界磁场的影响大（本身的磁场很弱），不能承受较大过载。

作为瓦特计来测量电路的功率是电动式仪表的一个主要用途,在使用瓦特计时要注意以下几个问题。

(1) 接线时要注意端钮的极性。

(2) 瓦特计的量程是电流线圈的电流量和电压线圈支路的电压量限的乘积。

(3) 仪表损耗。瓦特计在使用时有两种接法,在图 1-1-4 (a) 所示的接法中,电压支路两端的电压等于负载的电压加上电流线圈的压降,所以,适用于高阻抗负载。在图 1-1-4 (b) 中,瓦特计电流线圈的电流等于负载电流加上电压线圈支路电流,适用于低阻抗负载。

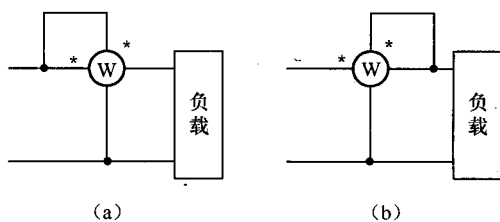


图 1-1-4 用瓦特计测量电路功率的接线图

4. 感应式仪表

感应式仪表结构如图 1-1-5 所示。其测量机构的活动部分是一个导电圆盘(或环或其他类似的结构),转轴通过盘的中心并与其垂直,固定部分是两个(或两个以上)用以产生磁通的磁路 2、3,导电圆盘可在磁路的气隙中转动。当穿过圆盘的磁通 φ_1' 、 φ_U 、 φ_1'' 随时间变化时,在圆盘中就会产生感应电流(涡流),磁通与圆盘中涡流间的电磁场力作用于盘上就形成仪表的转动矩。

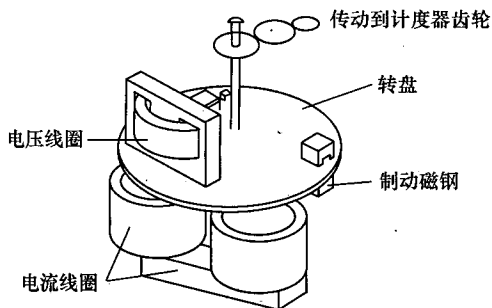


图 1-1-5 感应式仪表结构

若在测量机构中去掉反作用弹簧,则当作用力矩与阻尼力矩相等时导电盘将作匀速转动。若阻尼力矩是由通过导电盘的恒定磁通产生,则阻尼力矩将与转速成正比,也即转速与作用力矩(即功率)成正比。这样在一定时间内转盘的转速就反映电负载在这段时间内消耗的电能量,这就是电度表的原理。电度表的转数一般是用一个计数器记录的。

感应式电表的转动力矩较大,结构也较牢固,由于采用了铁芯,本身磁场较强对外磁场不敏感,由于负载电流不经活动部分,所以过载能力较强。但它的力矩与频率有很大的关系,所以一般只在用于标称频率电路中。由于有铁磁物质及导电盘,其磁性及电阻率随温度变化较大,又由于存在非线性元件(铁),电压、电流的大小,负载的功率因数角均会影响准确度,所以其准确度不高。

1.2 常用电子元件的性能与特点

1.2.1 电阻器

电阻器是实验电路中常用的元件,在实验装置中利用其消耗电功率的特征来实现电路的电阻参数。电阻器的种类繁多,分类的方法也很多,可按材料、结构、用途、阻值大小、屏

蔽保护等来分类。根据其阻值在电路中的特性来分,可分为固定电阻器、可变电阻器(电位器)和敏感电阻器。常用的电阻器有线绕电阻、碳膜电阻、金属膜电阻等,线绕电阻多用锰铜丝和康铜丝绕制。

1. 电阻器的类型与图形符号

国家标准规定电阻器图形符号如图 1-2-1 所示。固定电阻器用 R (Resistor) 表示,电位器用 R_P 或 R_w 表示,敏感电阻器则根据敏感性能在 R 下方加英文字母来表示,如热敏电阻器用 R_T 来表示。

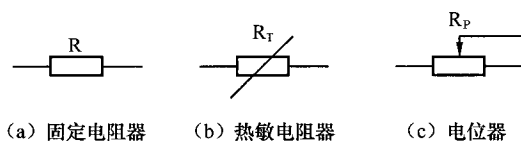


图 1-2-1 电阻器的图形符号

2. 电阻器的主要技术条件

(1) 标称值。标志在电阻器和电位器上的阻值称为标称值,它是以 20°C 为工作温度来标定的。各电阻器产品的标称值的间隔有一定的规定,在选用电阻器时应根据各系列标称值选取。标称阻值系列表如表 1-2-1 所示。

表 1-2-1 标称阻值系列表

标称阻值系列	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 2.2 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
E12	$\pm 10\%$	II	1.0 1.2 1.5 1.8 2.2 2.7 3.3 3.9 4.7 5.6 6.4 8.2
E6	$\pm 20\%$	III	1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8

电阻器的阻值和误差的标注方式有 3 种:一是直标法,将电阻器的主要参数和性能指标用数字或字母标注在电阻体上;二是文字符号法,将电阻器的主要参数和性能用文字和数字符号有规律地组合起来标注在电阻器上,如 3.6Ω 标志为 $3\Omega 6$, $3.6\text{k}\Omega$ 标志为 $3\text{k}6$,其允许误差用字母表示, J 为 $\pm 5\%$, K 为 $\pm 10\%$, M 为 $\pm 20\%$;三是色标法,用不同颜色的色环表示电阻器的阻值及误差等级。目前市面上大部分电阻器采用色标法标注,普通电阻器采用四色环表示法,精密电阻采用五色环表示法。各色环颜色代表的含义如表 1-2-2 所示。色环法表示的电阻器阻值一律是欧姆。

表 1-2-2 色环的基本色码及含义

色 别	左第一环	左第二环	左第三环	右第二环	右第一环
	第一位数	第二位数	第三位数	倍乘率	精度
棕	1	1	1	10^1	F+1%
红	2	2	2	10^2	G+2%

续表

色 别	左第一环	左第二环	左第三环	右第二环	右第一环
	第一位数	第二位数	第三位数	倍乘率	精度
橙	3	3	3	10^3	
黄	4	4	4	10^4	
绿	5	5	5	10^5	D+0 5%
蓝	6	6	6	10^6	C+0 2%
紫	7	7	7	10^7	B+0.1%
灰	8	8	8	10^8	
白	9	9	9	10^9	
黑	0	0	0	10^0	
金				10^{-1}	J+5%
银				10^{-2}	K+10%

(2) 准确度。以其允许的相对误差表示。

(3) 允许功率。当电流通过电阻器时会消耗功率引起温升。实际使用功率超过规定值时，会使电阻器因过热改变阻值甚至烧毁。对一些准确度高的电阻器，为保证其准确度，往往还要降低功率使用。

电阻器的允许功率与其使用时的周围温度有关，通常电阻器标明的允许功率（或允许电流）是指其周围温度在 20°C 附近时的值。随着温度升高其允许功率将下降，当温度上升到某一数值时，电阻器允许的功率将降为零，即这个温度是该电阻器的最高允许温度。因此，在选用电阻器时要注意选用合适允许功率（或电流）的电阻器，而并不是仅仅考虑其阻值。

(4) 时间常数。为了表征电阻器杂散电感和电容的大小，定义电阻器的时间常数为 τ 。注意这时的时间常数和电路原理分析过渡过程时所定义的时间常数略有不同。当 τ 为正时电阻器表现为感性，为负时表现为容性。理想的电阻器其时间常数应为零。在直流电路中一般并不关心电阻器的值，但在交流电路中，电阻器的 τ 值也是一个重要的指标。一般来讲准确度越高，其所允许时间常数的绝对值也越小。交流电路中用的电阻器的 τ ，一般要求比直流电路的小。一般线绕电阻有较大的电感和电容（匝间、层间电容），因而有较大的 τ 。

(5) 温度系数。电阻器的阻值和温度有关。通常希望电阻器的温度系数尽可能小，准确度高的电阻器其电阻温度系数小。只有那些为特殊目的而使用的热敏电阻等，则要求有较大的电阻温度系数，以便起某种自动控制和温度传感器的作用。

(6) 接触电阻。对于电阻值较小或准确度要求很高的电阻器，在使用时其连接导线以及连接点的接触电阻是不可忽略的。一般良好的活动接触的接触电阻在 $0.1\Omega \sim 0.01\Omega$ 数量级，接线电阻可能达 0.1Ω 数量级。为消除连接导线和接触电阻的影响，可将电阻器制成 4 个端钮的结构，如图 1-2-2 所示。外侧的一对端钮 c、

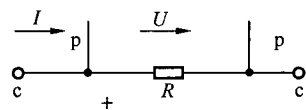


图 1-2-2 电阻器端钮结构

c 称电流端钮，供电阻接入电路通过一定的工作电流，内侧的一对端钮 p、p 称电压端钮，该端钮仅用来取电阻的电压用。电阻器的标称值指 p、p 端钮间的电阻值，即 $U = I * R$ 。

1.2.2 电容器

电容器是由极间放有绝缘电介质的两金属电极构成。电容器所用的电介质有真空的、气体的、云母的、纸质的、高分子合成薄膜的、陶瓷的、金属氧化物的等。电容器的分类方法很多，按有无极性可分为无极性电容器和有极性电容器（电解电容器），按电容器容量是否可变分为固定电容器和可变电容器、半可变电容器。

电容器按其工作电压可分高压电容器和低压电容器。高压电容器两极板间的距离相对较大。低压电容器常见的有平板式电容器，它是由两组金属平板互相交错叠成，板间填充有电容器所用的电介质（气体介质）。按电容量与电压的关系来分，电容器分为线性电容器和非线性电容器，以空气、云母、纸、油、聚苯乙烯等为介质的电容器是线性电容器；以铁电体陶瓷为介质的陶瓷电容器是非线性电容器，它虽有较大的电容量，但由于铁电体的介电系数 ϵ 不是常数，所以其电容量会随所加的电压的大小而改变。

1. 常用电容器的图形符号

图 1-2-3 所示为常用电容器的图形符号。

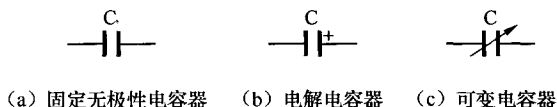


图 1-2-3 常用电容器的图形符号

2. 电容器的主要技术条件

(1) 标称值。电容器的标称值，是指该电容器在正常工作条件下的电容量，一般在电容器上都有标明。通常电容器的电容量是在 pF（微微法）级至 $10^4 \mu\text{F}$ 级的范围内。

小于 100pF 的电容器一般采用直标法，只标注数值而省去单位，如 220 表示 220pF；10 000pF~1 000 000pF 的电容器，以微法（ μF ）为单位，以小数点为标志；也只标注数值而省去单位，如 0.1 表示 0.1 μF ；电解电容器以微法（ μF ）为单位直接标印在电容器上，如 10 μF /16V，表示标称值为 10 μF ，耐压为 16V。

数码表示法用 3 位数码表示容量大小，前 2 位表示电容量的有效数字，第 3 位表示零的个数，单位为 pF。如 103 表示 $10 \times 10^3 = 10\ 000\text{pF}$ ，224 表示 $22 \times 10^4 = 220\ 000\text{pF}$ ，如果第 3 位是 9，则乘 10^{-1} ，如 339 表示 $33 \times 10^{-1} = 3.3\ \text{pF}$ 。

(2) 准确度。通常实验中使用的电容器和电容箱的准确度均低于 0.1 级，电解电容器的准确度是极低的，其误差可在 $-50\% \sim 100\%$ ，与使用及贮存的时间有关，一般只作旁路电容器用。

(3) 损耗。电容器的损耗主要是电容器极板间的介质损耗，包括泄漏电阻损耗和介质极化损耗。电容器的泄漏电阻也就是电容器在恒定直流电压作用下的电阻，电路的频率越低，该电阻的影响越大。在直流电路中，电容器两端的稳态电压就是由泄漏电阻决定的，而不是由电容决定的。在积分电路中电容器的泄漏电阻会影响积分的正确性。随着电路频率的增大，电容器介质中的极化损耗也相应增大，逐渐成为电容器损耗的主要成分。

(4) 电容器的额定电压。电容器的额定电压通常在电容器上都有标出，低的只有几伏，高的可达数万伏。使用时要注意选择合适额定电压的电容器，避免因工作电压过高而使电容器击穿造成短路。一些容易被瞬时电压击穿的瓷介电容器应尽量避免接于低阻电源的两端。有些电容器经不太严重的击穿后，虽仍可恢复其绝缘，但容量的准确度将降低。

电解电容器的耐压和贮存时间有很大关系，长期未加电压的电解电容器耐压水平会下降，重新使用时应先加半额定电压，一段时间后才能恢复原有的耐压水平。

(5) 电容器的使用频率范围。电容器的等效电容量和损耗角都与频率有关。通常电容器的等效电容量 C_e 在低频段随 f 增加略有降低，中频后则随 f 增加而增加。损耗角在低频随 f 增大下降较为明显，但并不与 f 成反比，在某一频率时将出现一最小值。

由于电容器所用介质不同，各种电容器有一定的使用频率范围。

电解电容器由于损耗大、杂散电感大，使用的频率上限很低，所以在用电解电容器旁路时，还需并联小容量的其他电容器以降低高频时的总阻抗。

(6) 使用温度和电容温度系数。标准电容器必须在规定的温度下使用，才能保证其标称值和准确度。温度改变时电容量也要随时改变。

(7) 电容器的稳定性。电容器经长期使用后会有一定的变化。电解电容器的稳定性很差，钽电解电容器比铝电解电容器好些。

(8) 吸附效应。介质在电场中极化需要一定时间，极化的消失也要一定的时间，所以当充电过的电容器两极瞬时短路后再开路时，电容器两端仍会有电压残留，这种现象称为吸附效应。吸附效应的强弱是以电容器经 1s 短路后的残留电压与放电前电压比的百分数表示。

(9) 寄生电容和三端电容器。电容器的极板和端钮与周围物体之间均会形成电容，这些寄生电容的大小是随周围物体的放置而变的。寄生电容会影响电容器的电容量，外界干扰信号也会通过这些寄生电容进入电路形成。为了避免外界的干扰并固定电容器的电容量，可将电容器用金属外罩加以屏蔽，屏蔽罩也有一个接线端钮，因此就成为一个具有 3 个端钮的电容器。三端电容器的示意图如图 1-2-4 所示。

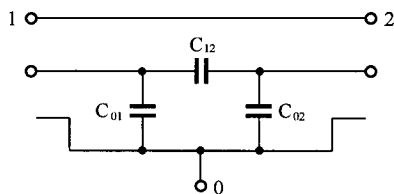


图 1-2-4 寄生电容和三端电容器

1.2.3 电感器

在实验中常需用到电感元件（电感器）。实验所需的电感元件大多是用绕在空心圆筒或带肋骨的架子上的线圈来实现，圆筒或架子的材料可能是纸质，也可能是胶木、陶瓷、塑料或大理石。

电感器就其值而言，可分为可变电感器与定值电感器。可变电感器可利用改变线圈的匝数，以达到有级调节电感，如常用的十进电感箱；可利用改变各段线圈间的相对位置以改变互感，达到无级调节电感，也可用改变线圈的磁路，以改变磁场，达到改变电感。

1. 常用电感器的图形符号

图 1-2-5 所示为常用电感器的图形符号。

线圈的电感量与线圈的直径、长度、匝数有关，圈数越多，电感量越大。线圈内有铁芯、磁芯的比无铁芯、磁芯的电感量大。



图 1-2-5 常用电感器的图形符号

2. 电感器的主要技术条件

(1) 标称值。电感器的标称电感是指在正常工作条件下该电感器的电感量，一般在电感器上都有标明。铁芯线圈的标称电感是线圈在额定电压（电流）条件下的电感量。

(2) 准确度。电感器的准确度等级的定义类似于电阻器。

(3) 使用温度与电感温度系数。标准电感器必须在规定的使用温度下使用才能保证其准确度等级。

(4) 稳定性。对于空芯电感器，其稳定度取决于制造电感器材料的机械结构的稳定性。含磁芯的电感器其电感量随时间而变化，主要是由于磁芯材料老化引起内部结构性质的改变所致。

(5) 最大允许电流。电感器的的工作电流不得超过其说明书中的允许电流。有些可变电感箱当旋钮在不同示值时的允许电流是不同的，使用时要特别注意。

(6) 使用频率。由于电感器的等效参数与频率有较大的关系，所以电感器的标称值、准确度等指标，都是在指定的频率范围内给出的。

(7) 电感器的品质因数。电感器的等效阻抗的虚部和实部之比称为该电感器的品质因数，记作 Q_L ，即 $Q_L = X/R$ 通常希望 Q_L 的值越高越好。

1.2.4 导线

导线是实验电路中不可缺少的构成部分。通常导线用的导电材料为铜和铝。铜是电阻系数仅大于银的良导体，且有较好的机械强度和易于加式的性能。日常生活及实验室中常用的多是以聚氯乙烯为绝缘材料的铜线。在高频电路中还使用屏蔽线，屏蔽线是为了减少外界信号对实验装置的干扰，而在导线的绝缘介质外再套上一层用金属丝织成的网套。

在大电流实验中要注意导线电流不能超过其允许电流。通常可用电流粗略估计导线的允许电流。对于直径为几毫米的导线，铜线的允许电流密度为 $(2.5 \sim 10) \text{ A/mm}^2$ ，铝线的允许电流密度为 $(2 \sim 5) \text{ A/mm}^2$ 。允许电流密度的大小与周围环境温度、导线截面积、绝缘材料及通风情况等因素有关。

当实验装置中有高电压时，要考虑该电压是否超过导线绝缘的允许使用电压。一般以聚氯乙烯为绝缘材料的导线只能用于 500V 以下的交流电路和 1000V 以下的直流电路。如果电压超过这些值，则要改用高绝缘的导线或另外采取措施提高导线的绝缘水平。

导线和其他电路元件一样也具有电阻、电感和电容参数。

1.2.5 晶体二极管

半导体是一类导电性能介于导体和绝缘体之间的材料，目前制造晶体管的多数是锗 (Ge) 和硅 (Si) 类半导体材料，所以晶体管也称作半导体管。按照电极数目，晶体管通常分为晶体二极管（简称二极管）和晶体三极管（简称三极管）。

用一定的工艺方法把P型和N型半导体紧密结合在一起,就会在其交界处形成空间电荷区,叫做PN结。当对PN结两端加上不同极性的直流电压时,其导电性能将产生很大的差异。这就是PN结的单向导电性,也是PN结最重要的电特性。二极管内部具有一个PN结,所以具有单向导电特性。

二极管有多种类型:按制作材料分,有锗二极管、硅二极管、砷化镓二极管;按用途分,常用的有整流二极管、稳压二极管、检波二极管、变容二极管、光电二极管、发光二极管、开关二极管等。二极管的图形符号如图1-2-6所示。

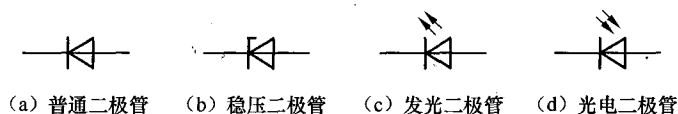


图1-2-6 二极管的图形符号

1. 二极管的伏安特性

(1) 正向特性。当对二极管两端加正向电压时,二极管导通。当正向电压很低时,电流很小,二极管呈现较大电阻,这一区域称为死区。锗管的死区电压约为0.1V,导通电压约为0.3V;硅管的死区电压和导通电压则分别为0.5V和0.7V。当外加电压超过死区电压之后,二极管内阻变小,电流随着电压的增加而急速上升,这就是二极管的正常工作区。在这一区域,无论电流增大或减小,管压降基本保持在导通电压值,变化很小。

(2) 反向特性。当对二极管两端加反向电压时,此时通过二极管的电流很小,且该电流并不随反向电压的增加而变大,这一电流称为反向饱和电流。所以在反向电压作用下,二极管呈现较大电阻,即反向电阻。反向饱和电流受温度的影响较大,温度每升高 10°C ,电流约增加1倍。当反向电压增加到一定数值时,反向电流会急剧增大,造成二极管被击穿,这种现象称为反向击穿,这时的电压称为反向击穿电压。二极管的正、反向特性如图1-2-7所示。

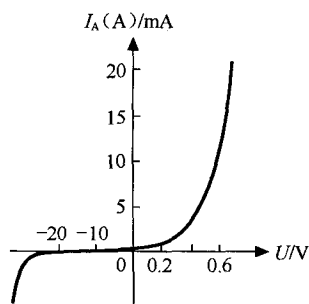


图1-2-7 二极管的正、反向特性

2. 二极管的参数

二极管的极限参数中最常用的有两个:最大工作电流和最高反向电压。例如,在实验室所用的二极管上标注有1.5A、100V。

(1) 最大工作电流。二极管长期工作时允许通过的最大正向电流,称为最大工作电流。使用时如果电流超过这个值,二极管会因过热而烧毁。

(2) 最高反向电压。由于二极管具有反向击穿的现象,所以反向击穿电压的极限值就是二极管的最高反向电压。

3. 半导体器件的命名方法

半导体器件的型号由5部分组成,各部分的含义如表1-2-3所示。

表 1-2-3

半导体器件的型号

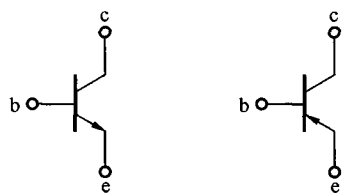
第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	第五部分
用数字表示器件的电极数目		用汉语拼音首字母表示器件的材料和极性		用汉语拼音首字母表示器件的类型			
字符	意义	符号	意义	符号	意义	用数字表示器件的序号	用汉语拼音首字母表示器件的规格号
2	二极管	A	N型锗材料	P	普通管		
		B	P型锗材料	W	稳压管		
		C	N型硅材料	Z	整流管		
		D	P型硅材料	K	开关管		
3	三极管	A	PNP型锗材料	X	低频小功率管		
		B	NPN型锗材料	G	高频小功率管		
		C	PNP型硅材料	D	低频大功率管		
		D	NPN型硅材料	A	高频大功率管		
		E	化合物材料				

1.2.6 晶体三极管

晶体三极管（简称三极管）是由两个 PN 结构成的三端有源器件。三极管既可组成放大电路、振荡电路及各种功能的电子电路，又具有开关特性，可应用于各种数字电路、控制电路，是组成模拟电路和数字电路的重要器件之一。三极管的图形符号如图 1-2-8 表示，图 (a) 所示为 NPN 型三极管的图形符号，图 (b) 所示为 PNP 型三极管的图形符号。

1. 三极管的结构和特性

三极管按制造材料可分为硅三极管和锗三极管，按结构又可分为 NPN 型三极管和 PNP 型三极管。三极管的 3 个极分别称为发射极 (e)、基极 (b) 和集电极 (c)。三极管有下述 3 种工作状态。



(a) NPN 型三极管 (b) PNP 型三极管

图 1-2-8 三极管的图形符号

(1) 截止状态。当 NPN 型硅三极管的 $U_{be} < 0.6V$ (NPN 型锗三极管的 $U_{be} < 0.2V$) 时，管子处于截止状态，此时管子相当于开关的关状态。此时 $I_B = I_C = 0$, $U_c = E_c$ (电源电压)。

(2) 饱和状态。当集电极电压 $U_c <$ 基极电压 U_B 时，管子处于饱和状态，管压降 U_{ce} 约为 $0.3V$ ，此时管子相当于开关的开状态。

(3) 线性状态。若管子不处于截止和饱和状态，则有 $I_C = \beta \Delta I_b$ ($u_{CE} =$ 常数), $I_E = I_C + I_b \approx I_C$ ，其中， I_b 、 I_C 、 I_E 分别为集电极、基极和发射极电流， β 为交流电流放大倍数。

2. 三极管的分类

三极管按频率分类，可分为低频、高频和甚高频三极管；按功率分类，可分为小功率、中功率和大功率三极管。在使用中、大功率的三极管时，要加散热片才能达到要求的输出功率。