

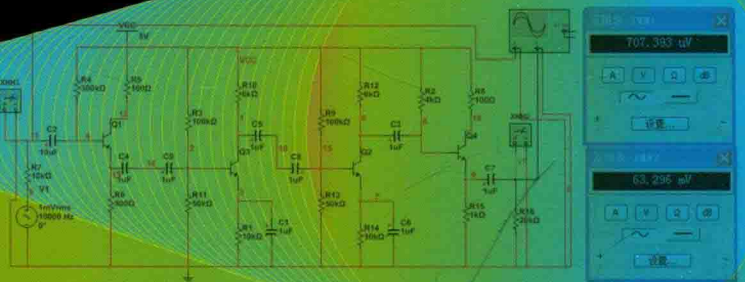


新能源系列 —— 光伏发电技术及应用专业规划教材

GUANGFU YINGYONG CHANPIN
DIANZI XIANLU FENXI YU SHEJI

光伏应用产品 电子线路分析与设计

廖东进 黄建华 主 编
张培明 胡建宏 副主编



xny.qq-online.net
新能源类专业教学资源库

 化学工业出版社

新能源系列——光伏发电技术及应用专业规划教材

光伏应用产品电子线路 分析与设计

廖东进 黄建华 主 编
张培明 胡建宏 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

《光伏应用产品电子线路分析与设计》以模拟电子技术为知识载体,以光伏应用产品实际电路为案例,分析了直流稳压电源电路、太阳能草坪灯电路、直流升降压电路、蓄电池充放电保护电路、波形发生电路、光伏逆变器电路、小信号放大电路等内容。

《光伏应用产品电子线路分析与设计》按照项目驱动方式设置教学内容,每个项目包含案例引导、项目任务、预习练习、相关知识、训练与提高、课后思考题等内容。

本书可以作为光伏发电相关专业学生的专业基础课教材以及各类光伏发电技术培训班的教学用书。

光伏应用产品电子线路分析与设计

主 编 廖东进 黄建华
副主编 宋毅刚 胡毅斌

图书在版编目 (CIP) 数据

光伏应用产品电子线路分析与设计/廖东进,黄建华
主编. —北京:化学工业出版社,2015.8

(新能源系列——光伏发电技术及应用专业规划教材)

ISBN 978-7-122-24384-3

I. ①光… II. ①廖…②黄… III. ①光电池-电路
分析-教材②光电池-电路设计-教材 IV. ①TM914

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 138880 号

责任编辑:刘 哲
责任校对:王素芹

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张11 字数272千字 2015年10月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

前言

光伏应用产品电子线路分析与设计
GUANGFU YINGYONG CHANPIN DIANZI XIANLU FENXI YU SHEJI

太阳能资源分布广泛,利用前景广阔。太阳能发电作为太阳能利用的重要方式,已经得到世界各国的普遍关注。近几年,太阳能发电技术进步很快,产业规模持续扩大,发电成本不断下降,在全球已实现较大规模的应用。

本书在编写时既考虑到要使学生获得必要的电子技术基础知识和基本技能,也充分考虑到实际课堂的执行情况,在编写过程中理论以够用为度,加强应用,同时引入 EDA 仿真技术,提高学生分析和解决问题的能力。

本书的编写思路如下。

① 关注电子技术与光伏发电应用的结合,引入相关典型案例,提高学生光伏发电应用能力。

② 注重理论与工程实践相结合,重在会用,各项目列举大量应用实例,以加深学生对各个单元电路功能的理解。

③ 在教材的组织上,按照“行动导向”教学理念,采用任务驱动、项目训练的体例,侧重实践操作技能。

④ 在项目实施过程中,采用了大量 EDA 仿真技术,便于项目化课堂的实施和学生技能考核与培养。

本教材以模拟电子技术为知识载体,以光伏应用产品实际电路为案例,分析了直流稳压电源电路、太阳能草坪灯电路、直流升降压电路、蓄电池充放电保护电路、波形发生电路、光伏逆变器电路、小信号放大电路等内容。

本书按照项目驱动方式设置课程教学内容,每个项目包含案例引导、项目任务、预习练习、相关知识、训练与提高、课后思考题等内容,并且每个项目都以 Multisim 仿真技术为手段,较好地实现了“做中学、学中做”的教学模式,培养学生电子线路的分析与设计能力。

全书分为 9 个项目,由廖东进、黄建华任主编,张培明、胡建宏任副主编。其中项目 1、项目 2、项目 3、项目 4 由衢州职业技术学院廖东进编写;项目 5、项目 6 由湖南理工职业技术学院黄建华编写;项目 7 由武威职业学院胡建宏编写;项目 8、项目 9 由济南工程职业技术学院张培明编写。另外,山东理工职业技术学院静国梁,衢州职业技术学院毛玉清、方晓敏、刘晓龙对本书资料的收集与整理做了很多工作。全书由廖东进统稿,衢州职业技术学院黄云龙教授主审。

由于笔者水平有限,书中若有疏漏之处,诚恳欢迎读者批评指正。

编者

2015 年 4 月

目 录

光伏应用产品电子线路分析与设计
GUANGFU YINGYONG CHANPIN DIANZI XIANLU FENXI YU SHEJI

项目 1	常用电子元器件及测量工具使用	1
1.1	数字万用表的使用	2
1.1.1	指针式万用表	2
1.1.2	数字式万用表	4
	【课后思考题】	6
1.2	电阻元件的认知及测试	6
1.2.1	电阻种类及阻值识别	7
1.2.2	光敏电阻	9
	【课后思考题】	11
1.3	电容、电感元件的认知及测试	11
1.3.1	电容元件的认识及测试	12
1.3.2	电感元件的认识及测试	15
	【课后思考题】	17
项目 2	市电直流稳压电源分析与设计	18
2.1	二极管的单向导电特性	19
2.1.1	二极管的单向导电特性	20
2.1.2	二极管电路模型	23
	【课后思考题】	24
2.2	特殊二极管及应用	25
2.2.1	稳压二极管工作原理	26
2.2.2	稳压二极管稳压电路分析	27
2.2.3	其他特殊二极管	28
	【课后思考题】	29
2.3	三端直流稳压电源制作	30
2.3.1	市电直流稳压电源组成	31
2.3.2	整流稳压电路	32
	【课后思考题】	36

2.4 LM317 连续可调的稳压电路制作	36
【课后思考题】	38

项目3 太阳能草坪灯电路分析与制作 39

3.1 双极型三极管直流电路及应用	40
3.1.1 双极型三极管电流放大特性	41
3.1.2 晶体管伏安特性与开关特性	43
【课后思考题】	45
3.2 太阳能草坪灯控制电路分析	46
3.2.1 小功率太阳能草坪灯控制电路分析	46
3.2.2 大功率太阳能草坪灯控制电路分析	48
【课后思考题】	50

项目4 小信号放大电路分析与设计 51

4.1 单级信号放大电路	52
4.1.1 基本共射极放大电路分析	53
4.1.2 共射极放大电路静态分析	54
4.1.3 共射极放大电路动态分析	54
4.1.4 分压偏置电路	56
【课后思考题】	57
4.2 多级信号放大电路	58
【课后思考题】	60
4.3 放大电路输入、输出级	60
4.3.1 共集电极放大电路	60
4.3.2 共基极放大电路分析	62
【课后思考题】	63

项目5 太阳能充放电控制器电路分析与设计 64

5.1 集成运算放大器认识与基本应用	66
5.1.1 集成运算放大器认识	66
5.1.2 集成运算放大器 LM358	67
【课后思考题】	69
5.2 集成运算放大器基本运算电路分析	69
5.2.1 同相比例运算放大器	70
5.2.2 加、减运算放大电路	71
5.2.3 积分、微分运算放大电路	73
【课后思考题】	74
5.3 比较器电路分析	75

5.3.1	单限比较器	76
5.3.2	双限比较器	78
	【课后思考题】	79
5.4	迟滞比较器电路	79
	【课后思考题】	81
5.5	反馈认识及应用	82
5.5.1	反馈基本概念	82
5.5.2	负反馈对电路的影响	85
	【课后思考题】	86
5.6	太阳能充放电控制器电路分析	86

项目6 直流升降压电路分析与设计 89

6.1	Boost 升压电路	90
	【课后思考题】	93
6.2	Buck 电路分析与制作	93
	【课后思考题】	96
6.3	Buck-Boost 电路分析与制作	97
	【课后思考题】	101
6.4	太阳能升压草坪灯电路制作	101
6.4.1	以光敏电阻为光感器件的升压电路	102
6.4.2	以太阳能电池为光敏器件的升压电路	102
	【课后思考题】	103

项目7 波形发生电路分析与设计 104

7.1	变压馈式 LC 正弦波振荡电路	105
7.1.1	振荡电路概述	106
7.1.2	LC 振荡电路工作原理	108
7.1.3	变压器反馈式振荡电路	108
	【课后思考题】	109
7.2	电容三点式 LC 振荡电路	109
7.2.1	电容三点式振荡电路	110
7.2.2	改进型电容三点式电路	111
	【课后思考题】	113
7.3	电感三点式 LC 振荡电路	114
	【课后思考题】	116
7.4	RC 正弦波振荡电路	116
	【课后思考题】	119
7.5	占空比可调的方波振荡电路	119
	【课后思考题】	122

7.6	晶体管多谐振荡电路	122
	【课后思考题】	124
7.7	555 定时器及其应用	124
7.7.1	555 定时器工作原理	124
7.7.2	555 定时器应用	126
	【课后思考题】	129

项目 8 简易光伏逆变器电路分析与设计 131

8.1	场效应管电路分析	132
8.1.1	结型场效应管	133
8.1.2	绝缘栅场效应管	136
	【课后思考题】	139
8.2	逆变器结构及方波逆变器电路分析	139
8.2.1	逆变器结构	140
8.2.2	方波逆变器电路分析	142
	【课后思考题】	143
8.3	RC 滤波电路设计	143
	【课后思考题】	146
8.4	正弦波逆变器电路分析	146
8.4.1	电路组成	146
8.4.2	电路参数设计	147
	【课后思考题】	148

项目 9 Multisim 在电子线路分析中的应用 149

9.1	Multisim 用户界面及基本操作	149
9.1.1	Multisim 用户界面	149
9.1.2	Multisim 菜单中英对照表	151
9.1.3	Multisim 仿真基本操作	153
9.2	直流稳压电源电路设计	157
9.2.1	二极管正向导通特性曲线	157
9.2.2	正 15V 直流稳压电源电路分析	158
9.3	简易太阳能草坪灯电路分析与制作	160
9.3.1	三极管输出特性曲线分析	160
9.3.2	光伏电池为光敏器件的太阳能草坪灯电路分析	160
9.4	小信号放大电路分析与设计	162
9.4.1	基本共射极放大电路分析	162
9.4.2	多级放大电路分析	164

常用电子元器件及测量工具使用



【情境设计】

生活中经常用到各种电器，如计算机、手机、随身听、剃须刀等，包括将要制作的光伏控制器，不管这些电器的电路是简单还是复杂，都是由各种各样的电子元器件组成的。这些器件的识别和选用，以及如何运用各种测量仪表对电路进行特性测量，是学习电子技术必须掌握的内容。



【学习目标】

(1) 知识目标

- ① 了解常用元器件的概况。
- ② 掌握常见电阻、电位器元件的基本特性：结构与符号、分类及特点、使用及选用原则、特性测试等。
- ③ 掌握常见电感元件的基本特性：结构与符号、分类及特点、使用及选用原则等。
- ④ 掌握常见电容元件的基本特性：结构与符号、分类及特点、使用及选用原则等。
- ⑤ 掌握常用测量仪表万用表的使用，了解各种测量仪器的特点、分类和工作原理。
- ⑥ 基本掌握 Multisim 仿真软件原理图绘制与调试。

(2) 技能目标

- ① 能利用数字万用表测量电压、电流、电阻、电容等特性参数。
- ② 能用 Multisim 仿真电路及基本参数测量。

(3) 项目任务

- ① 掌握万用表的使用。
- ② 掌握应用直标法以及测试仪表测试各种元器件的特性参数的方法。
- ③ 熟练使用各种常用测量仪表。



(a) 指针式万用表



(b) 数字万用表

图 1.2 万用表

转换开关旋钮周围有几种符号,其作用和含义如下。

“ $\times k$ ”表示表盘上 Ω 刻度线读值乘以 1000,如刻度指示为 4,则所测阻值为 4000 Ω ,即 4k Ω 。

“DCV”表示测量直流电压挡,以 V(伏)为单位,各分挡上的数值是该挡允许实测电压的上限值,万用表的表针会满偏出刻度线。“ACV”表示测量交流电压挡,以 V(伏)为单位。各分挡上的数字含义与 DCV 挡相同。“DCmA”和“A”表示测量直流电流,分别以 μA (微安)和 mA(毫安)为单位。它也由若干个表示测量允许上限值的分挡组成。

量程开关选择遵循先选挡位后选量程,量程从大到小选用的原则。

万用表刻度线分为均匀和非均匀两种,其中电流和电压的刻度线为均匀刻度线,电阻的刻度线为非均匀刻度线。

(3) 指针式万用表工作原理

指针式万用表是把被测量电量转换为指针的偏转角,并使两者之间保持一定的比例关系。这样,偏转角的大小就反映了被测电量的数值,而表头是用来实现这一转换的核心部件。

(4) 指针式万用表的性能指标

① 准确度 万用表的准确度通常称为精度,它反映了万用表在测量中基本误差的大小。基本误差是指万用表在规定的正常温度和放置方式,不存在外界电场或磁场影响的情况下,由于活动部分的摩擦、标尺刻度的不准确、结构工艺的不完善等原因造成的误差,它是仪表固有的一种误差。基本误差越小,仪表的准确度越高。根据国家标准,仪器的准确度可分为 7 个等级,即 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 级。万用表的等级一般在 1.0~5.0 级之间。MF368 型万用表直流电流挡和电阻挡的准确度为 2.5 级。交流电压挡的准确度为 5.0 级。

② 电压灵敏度 电压灵敏度为电压内阻与该挡量程电压的比值,即

$$\text{电压灵敏度} = \frac{\text{电压表内阻}}{\text{电压挡量程}}$$

③ 测量范围 不同型号的万用表,测量的种类和范围也不相同。下面以 MF368 型万用表为例来介绍测量种类和范围。

直流电压挡: 0~0.5V~10V~50V~250V, 0~500V~1500V

直流电流挡：0~50 μ A~2.5mA~25mA~0.25A，0~2.5A
 交流电压挡：0~2.5V~10V~50V~250V，0~500V~1500V
 直流电阻挡： $\Omega \times 1$ 挡 0.2 Ω ~2k Ω (150mA)
 $\Omega \times 10$ 挡 2 Ω ~20k Ω (15mA)
 $\Omega \times 100$ 挡 20 Ω ~200k Ω (1.5mA)
 $\Omega \times 1k$ 挡 200 Ω ~2M Ω (150A)
 $\Omega \times 10k$ 挡 2k Ω ~20M Ω (60A)

音频电平：-10~+22dB

放大倍数：0~1000

负载电流：0~150mA~15mA~1.5mA~150 μ A

负载电压：0~3V

(5) 万用表的使用方法及注意事项

① 正确地进行被测电量和量程的选择 万用表是一个多电量、多量程的测量仪表，在测量中应首先选择相应的电量和量程。如测量 220V 交流电时，转换开关应置于交流电压挡，并选择量程 250V 或 500V。万用表被测电量子程的选择有两种方法：一种是同时选择，即一个转换开关在选择量程的同时，还用来选择电量；另一种是分别选择，即使用两个转换开关，一个选择被测电量的种类，另一个用来选择量程。

在选择万用表量程时，一般要使指针指示在满刻度的 1/2 或 2/3 以上的位置，这样便于读数，测量结果比较准确。如果不知道被测电量的范围，可先选择最大的量程，若指针偏转很小，则逐步减小量程。

② 正确读数 一般万用表盘上有多条标度尺，分别在测量不同电量时使用。在选好被测电量种类和量程后，还要根据相应的标度尺去读数，如标有“DC”或“—”的标度尺可以用来读取直流量，标有“AC”或“~”的标度尺可以用来读取交流量等。在读数时，眼睛应位于指针的正上方。对于有反射镜的万用表，应使指针和镜像中的指针相重合，这样可以减小读数误差，提高读数准确性。在测量电流和电压时，还要根据所选择的量程确定刻度线上每一个小格所代表的值，从而确定最终的读数值。

③ 使用注意事项 在使用万用表之前，应先进行“机械调零”，即在没有被测量电量时，使万用表指针指在零电压或零电流的位置上。尤其是测量电阻时，在切换量程时，不同量程均必须调零。

在使用万用表过程中，不能用手去接触表笔的金属部分，这样一方面可以保证测量的准确，另一方面也可以保证人身安全。

在测量某一电量时，不能在测量的同时换挡，尤其是在测量高电压或大电流时，更应注意。否则，会使万用表毁坏。如需换挡，应先断开表笔，换挡后再去测量。

万用表在使用时，必须水平放置，以免造成误差。同时，还要注意避免外界磁场对万用表的影响。

万用表使用完毕，应将转换开关置于交流电压的最大挡。如果长期不使用，应将万用表内部的电池取出来，以免电池腐蚀影响表内其他器件。

1.1.2 数字式万用表

(1) 数字万用表的特点

数字式万用表区别于指针式万用表的特点如下。

① 数字显示, 直观准确 数字式万用表采用数字化测量和数字显示技术, 通过 18mm^2 或 25mm^2 的液晶显示器, 把测量结果直接以数字的形式显示出来, 一目了然, 避免了指针式万用表中的读数误差。

② 准确度高 数字式万用表的准确度是测量结果中系统误差和随机误差的综合, 它表明了测量结果与实际数值的一致程度, 也反映了测量误差的大小。数字式万用表的准确度与显示位数有关, 其性能远远优于指针式万用表。

③ 分辨率高 分辨率是指数字式万用表对微小电量的识别能力, 它要受到准确度的制约。数字式万用表中分辨率是以能显示的最小数字 (零除外) 与最大数字的百分比来确定的, 百分比越小, 分辨率越高。例如, $3\frac{1}{2}$ 数字式万用表可显示的最小数为 1, 最大数为 1999, 故分辨率为 $1/1999 \approx 0.05\%$ 。

④ 测量速率快 测量速率是指仪表每秒内对被测电路的测量次数, 单位为 “次/s”。完成一次测量过程所需要的时间称为测量周期, 单位为 s。显然, 这两者呈倒数关系。一般数字式万用表测量速率为 $2 \sim 5$ 次/s, 而有些数字式万用表可达每秒几十次, 甚至几百或上千次。

⑤ 输入阻抗高 数字式万用表具有很高的输入阻抗, 这样可以减少对被测电路的影响。 $3\frac{1}{2}$ 位数字式万用表电压挡的输入电阻通常为 $10\text{M}\Omega$, 而 $5\frac{1}{2} \sim 8\frac{1}{2}$ 位的数字式万用表输入电阻可达 $10\text{G}\Omega$ 。

⑥ 集成度高, 便于组装和维修 目前数字式万用表均采用中大规模集成电路, 外围电路十分简单, 组装和维修都很方便, 同时也使万用表的体积大大缩小。

⑦ 保护功能齐全 数字式万用表内部有过流、过压等保护电路, 过载能力很强。在不超过极限值的情况下, 即使出现误操作 (如用电阻挡测量电压等), 也不会损坏内部电路。

⑧ 数字式万用表还具有功耗低、抗干扰能力强等特点。

(2) 数字万用表测电压方法

① 直流电压的测量 首先将黑表笔插进 “COM” 孔, 红表笔插进 “V Ω ”。把旋钮选到比估计值大的量程 (注意: 表盘上的数值均为最大量程, “V—” 表示直流电压挡, “V~” 表示交流电压挡, “A” 是电流挡), 接着把表笔接电源或电池两端, 保持接触稳定。数值可以直接从显示屏上读取。若显示为 “1.”, 则表明量程太小, 要加大量程后再测量。如果在数值左边出现 “—”, 则表明表笔极性与实际电源极性相反, 此时红表笔接的是负极。

② 交流电压的测量 表笔插孔与直流电压的测量一样, 不过将旋钮打到交流挡 “V~” 处所需的量程即可。交流电压无正负之分, 测量方法跟前面相同。

无论测交流电压还是直流电压, 都需要注意人身安全, 不要随使用手触摸表笔的金属部分。

(3) 数字万用表测电流方法

① 直流电流的测量 先将黑表笔插入 “COM” 孔。若测量大于 200mA 的电流, 则要将红表笔插入 “10A” 插孔并将旋钮打到直流 “10A” 挡; 若测量小于 200mA 的电流, 则将红表笔插入 “200mA” 插孔, 将旋钮打到直流 200mA 以内的合适量程。调整好, 就可以测量了。将万用表串进电路中, 保持稳定, 即可读数。若显示为 “1”, 要加大量程; 如果在数值左边出现 “—”, 则表明电流从黑表笔流进万用表。

② 交流电流的测量 测量方法与 1 相同, 不过挡位应该打到交流挡位。

(4) 数字万用表测电阻方法

将表笔插进“COM”和“VΩ”孔中，把旋钮打旋到“Ω”中所需的量程，用表笔接在电阻两端金属部位，测量中可以用手接触电阻，但不要把手同时接触电阻两端，这样会影响测量精确度的，因为人体是电阻很大但却是有限大的导体。读数时，要保持表笔和电阻有良好的接触。注意单位：在“200”挡时单位是“Ω”，在“2k”到“200k”挡时单位为“kΩ”，“2M”以上的单位是“MΩ”。

【训练与提高】

利用万用表测量图 1.3 电路 (Multisim) 中电位器 R_1 及电阻 R_2 的电压与电流，并计算电源输出总功率。

【课后思考题】

① 指针式万用表主要由 _____、_____、_____ 和 _____ 四部分构成。万用表的面板上有多条标度尺的刻度盘、转换开关旋钮、调零旋钮和接线插孔等。

② 简述指针式万用表使用方法。

③ 简述数字万用表测电流、电压、电阻的方法。

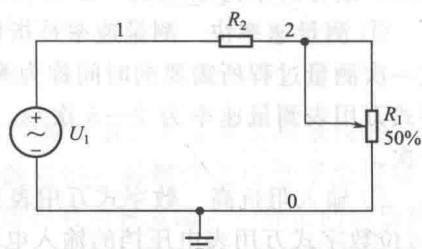


图 1.3 测量电路 (Multisim)

1.2 电阻元件的认知及测试

【案例引导】

测试电路板如图 1.4 所示。测量光敏电阻在有光和无光照射下电阻变化情况。

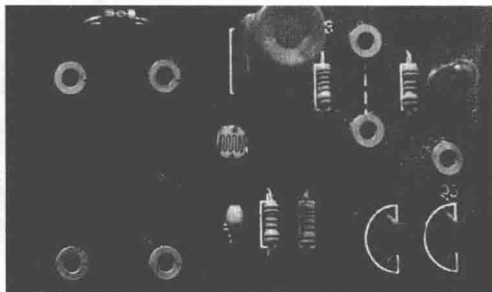


图 1.4 光敏电阻为光感器件的太阳能草坪灯测试电路板

图 1.4 中光伏电压连接太阳能电池输出端，蓄电池电压连接蓄电池组。

该电路为光敏电阻为光感器件的太阳能草坪灯控制电路。连接电路，开关闭合后，当遮挡光敏电阻时，指示灯 Q_2 点亮，否则熄灭。

【项目任务】

- ① 用色环法识别电阻值。
- ② 欧姆定律测试。
- ③ 光敏电阻特性测试。

【预习练习】

- ① 常用的电阻元件种类有 _____、_____、_____、_____、_____、_____。
- ② 识别电阻阻值的方法有 _____、_____。
- ③ 欧姆定律的标准公式：_____。

【相关知识】

1.2.1 电阻种类及阻值识别

电阻在电子产品中是必不可少的、用得最多的元件之一。它种类繁多、形状各异，功率也各有不同，在电路中常用来控制电流、分配电压。

常用的电阻元件实物如图 1.5 所示。

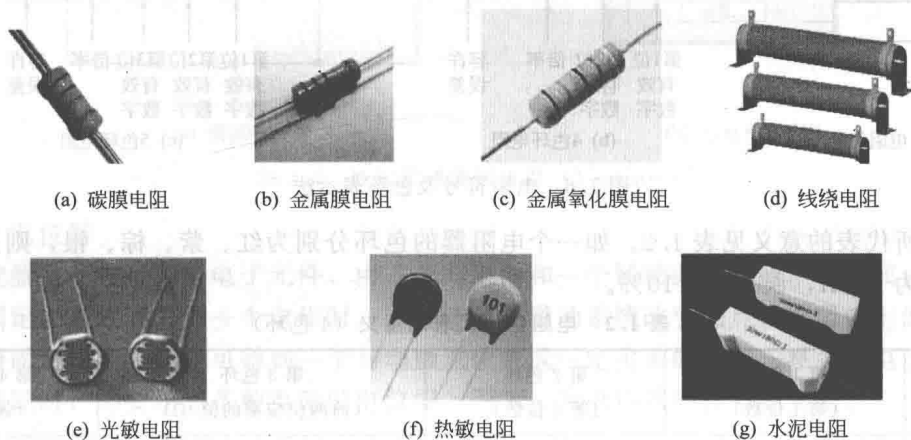


图 1.5 电阻种类

(1) 电阻种类

固定电阻的种类比较多，按材料不同，主要分为碳质电阻、碳膜电阻、线绕电阻等。固定电阻的电阻值是固定不变的，阻值的大小就是它的标称阻值。固定电阻的文字符号常用字母 R 表示，在电路图中的符号如图 1.3 所示。各种电阻的特性及使用范围见表 1.1。

表 1.1 电阻的特性

电阻类型	材料及结构组成	特 点	使用范围
碳膜电阻	由结晶碳在高温与真空的条件下沉淀在瓷棒上或瓷管骨架上制成的	稳定性好，高频特性好，噪声小，并可在 70℃ 的温度下长期工作	用在收录机、电视机以及其他一些电子产品中
金属膜电阻	由合金粉在真空的条件下蒸发于瓷棒骨架表面制成的	稳定性好，高频特性好，噪声小，可靠性高，并具有比较好的耐高温特性（能在 125℃ 的温度下长期工作），精度高	在要求较高的电路中采用这种电阻器（如各种测试仪器）
金属氧化膜电阻	—	与金属膜电阻的性能和形状基本相同，而且具有更高的耐压、耐热性能，但长期工作的稳定性稍差	—
绕线电阻	由镍、铬、锰铜、康铜等合金电阻绕在瓷管上制成的	精度高，稳定性好，并能承受较高的温度（能在 300℃ 左右的温度下连续工作），有较大的功率，但不适用于高频电路	在万用表、电阻箱中作为分压器和限流器，在电源电路中作限流电阻
热敏电阻	—	电阻值随温度的变化而发生明显变化，分为负温度系数的热敏电阻和正温度系数的热敏电阻	在电路中作温度补偿，也可在温度测量和温度控制电路中作感温元件
光敏电阻	—	电阻值随光照强度的变化而发生明显的变化，分为负温度系数的光敏电阻和正温度系数的光敏电阻	作控制电路中的感光元件

(2) 色标法识电阻值

用不同颜色的色环表示电阻器的阻值和误差。电阻器上有 4 道或 5 道色环，靠近电阻器端头的为第 1 道色环，其余的顺次为 2、3、4、5 道色环。最后两道色环分别表示电阻倍率和误差，其余 2、3 色环表示数值。图 1.6 为电阻符号及色环读取方法示意图。

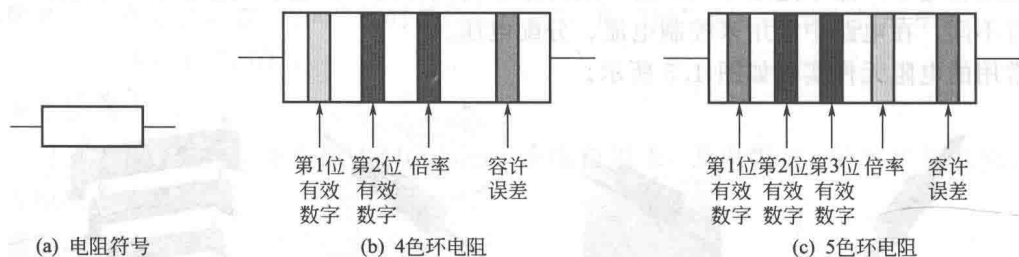


图 1.6 电阻符号及色环表示法

色环所代表的意义见表 1.2。如一个电阻器的色环分别为红、紫、棕、银，则这个电阻器的阻值为 270Ω ，误差为 $\pm 10\%$ 。

表 1.2 电阻色环代表的意义 (4 色环)

色环颜色	第 1 色环 (第 1 位数)	第 2 色环 (第 2 位数)	第 3 色环 (前两位应乘的值/ Ω)	第 4 色环 (误差)
黑	0	0	$\times 10^0$	$\pm 1\%$
棕	1	1	$\times 10^1$	$\pm 2\%$
红	2	2	$\times 10^2$	$\pm 3\%$
橙	3	3	$\times 10^3$	$\pm 4\%$
黄	4	4	$\times 10^4$	—
绿	5	5	$\times 10^5$	—
蓝	6	6	$\times 10^6$	—
紫	7	7	$\times 10^7$	—
灰	8	8	$\times 10^8$	—
白	9	9	$\times 10^9$	—
金	—	—	$\times 10^{-1}$	$\pm 5\%$
银	—	—	$\times 10^{-2}$	$\pm 10\%$
无色	—	—	—	$\pm 20\%$

(3) 欧姆定律

在同一电路中，导体中的电流跟导体两端的电压成正比，跟导体的电阻成反比，这就是欧姆定律：

$$R = \frac{U}{I}$$

注意公式中物理量的单位： I （电流）的单位是安培（A）， U （电压）的单位是伏特（V）， R （电阻）的单位是欧姆（ Ω ）。

Multisim 测试电路如图 1.7 所示。开关在 A 点，测量的直流电流为 12.00mA 。

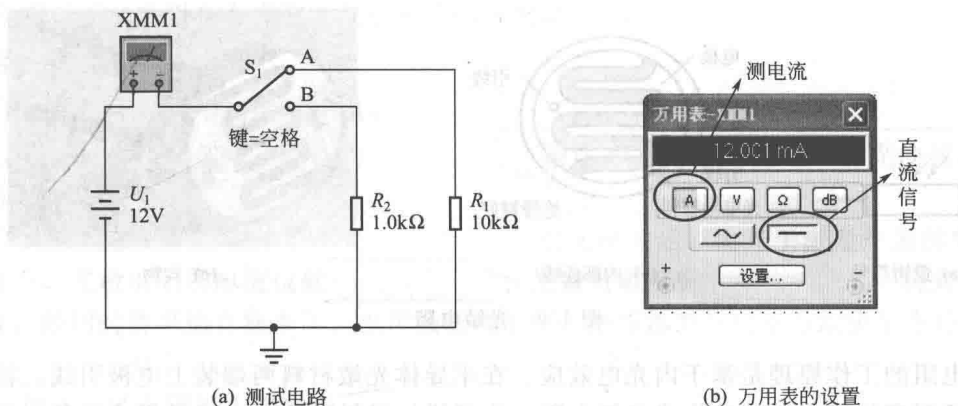


图 1.7 欧姆定律测试电路 (Multisim)

(4) 电位器

电位器是一种可调的电子元件, 由一个电阻体和一个转动或滑动的系统组成。当电阻体的两个固定触点之间外加一个电压时, 通过转动或滑动系统改变触点在电阻体上的位置, 在动触点与固定触点之间便可得到一个与动触点位置成一定关系的电压。在各类电子线路中进行精度调试时, 均要用到各种类型的电位器。图 1.8 为电位器的符号及实物。

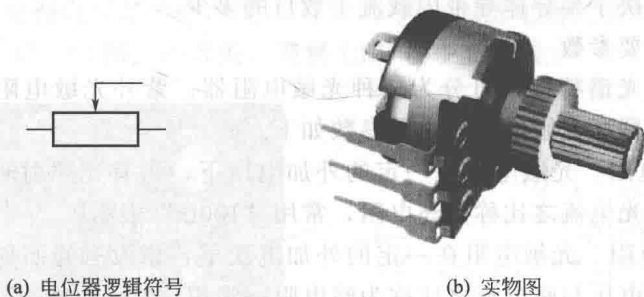


图 1.8 电位器符号及实物

电位器在电路中的主要作用有以下几个方面。

- ① 用作分压器 电位器是一个连续可调的电阻器, 当调节电位器的转柄或滑柄时, 动触点在电阻体上滑动, 此时在电位器的输出端可获得与电位器外加电压和可动臂转角或行程成一定关系的输出电压。
- ② 用作变阻器 电位器用作变阻器时, 应把它接成两端器件, 这样在电位器的行程范围内, 便可获得一个平滑连续变化的电阻值。
- ③ 用作电流控制器 当电位器作为电流控制器使用时, 其中一个选定的电流输出端, 必须是滑动触点引出端。

1.2.2 光敏电阻

(1) 光敏电阻工作原理

光敏电阻是利用半导体的光电导效应制成的一种电阻值随入射光的强弱而改变的电阻, 又称为光电导探测器, 入射光强, 电阻减小, 入射光弱, 电阻增大。还有另一种光敏电阻, 入射光弱, 电阻减小, 入射光强, 电阻增大。光敏电阻一般用于光的测量、光的控制和光电转换 (将光的变化转换为电的变化)。图 1.9 为光敏电阻的逻辑符号、内部连线及实物图。