



电工电子技术

主 编 © 史 芸 翟明戈



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

电工电子技术

主 编：史 芸 翟明戈
副主编：韩程章
参 编：刘 爱 马淑芳 马乳娜
编 审：王 鼎

内 容 简 介

本书分为5个单元,内容包括电路分析基础、正弦交流电路、电磁器件与控制、模拟电子电路、数字电子电路。每个单元分为感性认识的教学过程、理论教学过程、理论与实践相结合的教学过程三个部分,形成一种对事物螺旋式上升的认知规律。

本书内容详略得当,基本概念讲述清楚,思考题、例题、练习题配置齐全,难易适中,可作为高等院校非电类专业的本、专科教材使用,也可供有兴趣的读者自学使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术 / 史芸, 翟明戈主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2017.9
ISBN 978 - 7 - 5682 - 4876 - 1

I. ①电… II. ①史…②翟… III. ①电工技术 - 高等学校 - 教材②电子技术 - 高等学校 - 教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 235335 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 14.5

字 数 / 362 千字

版 次 / 2017 年 9 月第 1 版 2017 年 9 月第 1 次印刷

定 价 / 59.80 元

责任编辑 / 陆世立

文案编辑 / 赵 轩

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 施胜娟

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前言

Qianyan

“电工电子技术”是非电类专业学生开设的专业基础课，它的主要任务是为学生学习后续专业课程打好电学基础，并使学生受到必要的基本技能训练。

本教材编写的指导思想是：既要满足国家高等院校非电类专业对本课程的教学基本要求，为培养非电类专业人才的基本素质提供扎实的基础知识和基础理论；又要适应当前深化教育教学改革的新形势，以培养应用型人才为出发点，使教材的结构形式、知识内容更贴近非电类专业的岗位技能培养，更贴近当前社会对应用型人才的需求。

因此，我们改革了传统教材篇、章、节的体例，采用全新的结构形式，把全书分成电路分析基础、正弦交流电路、电磁器件与控制、模拟电子电路、数字电子电路五大知识单元。在每个知识单元的内容编排上，按照人们对事物的认知规律，每个知识单元内容由感性认识过程、理论学习过程、实践创新过程三个部分组成，以人们从感性到理性，再到感性，最后再到理性的螺旋式上升的认知规律为导链，以任务过程为载体，用导链把任务过程1（感性认识的教学过程）、任务过程2（理论教学过程）、任务过程3（理论与实践相结合的教学过程）有机地串在一起，形成完整的知识群。

全书内容简明、概念清晰、条理清楚、插图规范，易于开展教学。每单元均配有适量习题，供学生课后复习巩固。

本书由马乳娜编写第1单元，史芸编写第2单元，马淑芳编写第3单元，刘爱编写第4单元，韩程章编写第5单元。全书由史芸、翟明戈负责统稿，王鼎进行全书审读，习题由韩程章审阅并演算。

由于编者水平有限，书中不妥和错误之处，欢迎读者批评指正。

编者

单元一 电路分析基础	001
任务过程1 感性认识的教学过程	001
1.1 电路中最基本的元器件	001
1.2 几种实际的电路	008
任务过程2 理论教学过程	011
1.3 电路的基本物理量及参考方向	011
1.4 电路的工作状态	015
1.5 理想电路元件	017
1.6 基尔霍夫定律	024
1.7 电路的基本定律	026
任务过程3 理论与实践相结合的教学过程	031
1.8 知识拓展	031
1.9 科技小制作	032
习题一	035
单元二 正弦交流电路	040
任务过程1 感性认识的教学过程	040
2.1 交流电路中最基本的元器件	040
2.2 生活中的交流电路	044
任务过程2 理论教学过程	046
2.3 正弦交流电的基本概念	046
2.4 正弦交流电的相量表示法	049
2.5 单一元件的正弦交流电路	051
2.6 RLC 串联的正弦交流电路	056
2.7 三相交流电源	060
2.8 三相交流负载	062
任务过程3 理论与实践相结合的教学过程	065
2.9 知识的拓展	065
2.10 科技小制作	068
习题二	070

单元三 电磁器件与控制	073
任务过程1 感性认识的教学过程	073
3.1 实际的变压器	073
3.2 生产生活中的电动机	075
3.3 常用的电磁器件	078
任务过程2 理论教学过程	079
3.4 磁路与铁芯线圈	079
3.5 变压器	084
3.6 三相异步电动机的基本构造与工作原理	089
3.7 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	093
3.8 三相异步电动机的使用	096
3.9 三相异步电动机的控制	103
任务过程3 理论与实践相结合的教学过程	116
3.10 知识的拓展	116
3.11 科技小制作	119
习题三	122
单元四 模拟电子电路	125
任务过程1 感性认识的教学过程	125
4.1 半导体二极管	125
4.2 半导体三极管	126
4.3 晶闸管	127
4.4 模拟集成芯片介绍	128
任务过程2 理论教学过程	130
4.5 半导体二极管	130
4.6 双极型三极管	135
4.7 单极型三极管	138
4.8 基本交流放大电路	139
4.9 多级放大电路与功率放大电路	146
4.10 放大电路中的负反馈	149
4.11 差动放大电路	151
4.12 集成运算放大电路简介	152
4.13 集成运放的应用	154
任务过程3 理论与实践相结合的教学过程	159
4.14 知识的拓展	159
4.15 科技小制作	159
习题四	164
单元五 数字电子电路	169
任务过程1 感性认识的教学过程	169
5.1 数字集成电路芯片	169
5.2 显示器件	171



任务过程2 理论教学过程	172
5.3 数字电路概述	172
5.4 逻辑门电路	176
5.5 逻辑代数及其化简	186
5.6 组合逻辑电路的分析与设计	189
5.7 双稳态触发器	196
5.8 常用的时序逻辑电路器件	202
5.9 555 定时器	209
任务过程3 理论与实践相结合的教学过程	214
5.10 知识的拓展	214
5.11 科技小制作	216
习题五	219
参考文献	223

单元一 电路分析基础

本章是电工电子技术课程的重要理论基础,主要是从工程应用的角度对电路的基本参量、电路变量、电气设备额定值、电路状态、欧姆定律和基尔霍夫定律等问题进行深入阐述和探讨,要求在理解的基础上掌握运用电路的分析方法,为后续各章的学习打好基础。

任务过程 1 感性认识的教学过程

1.1 电路中最基本的元器件

1.1.1 电路中的电阻器

1. 电阻器

导体对电流的阻碍作用叫做电阻,电阻是导体的一种基本性质,其大小与导体的尺寸、材料和温度有关。利用导体的这些特性而制成的元件称为电阻器,简称为电阻,它是消耗电能的元件,用符号 R 表示,是英文 Resistor 的缩写。在国际单位制中,电阻的单位是欧姆,用符号 Ω 表示,还有千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$)、吉欧 ($G\Omega$) 和太欧 ($T\Omega$),它们之间的换算关系为

$$1 T\Omega = 10^6 G\Omega$$

$$1 G\Omega = 10^3 M\Omega$$

$$1 M\Omega = 10^3 k\Omega$$

$$1 k\Omega = 10^3 \Omega$$

电阻器在电子设备中约占元件总数的 30% 以上,其质量的好坏对电路的性能有极大的影响。电阻器的主要用途是稳定和调节电路中的电压和电流,其次还可以作为分流器、分压器和消耗电能的负载等。

2. 常用电阻的图形符号

常用电阻的图形符号和标注意义如图 1.1-1 所示。

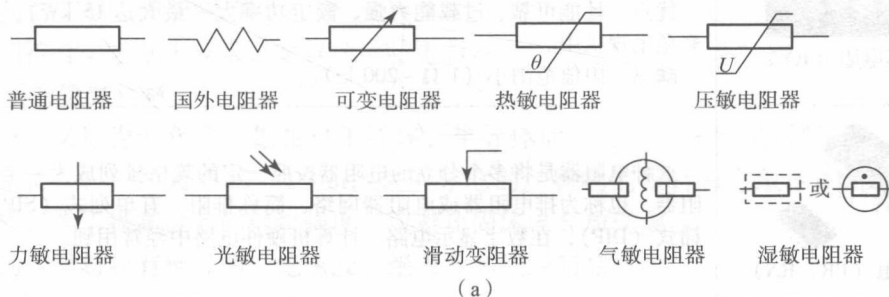


图 1.1-1 电阻器的图形符号和标注意义

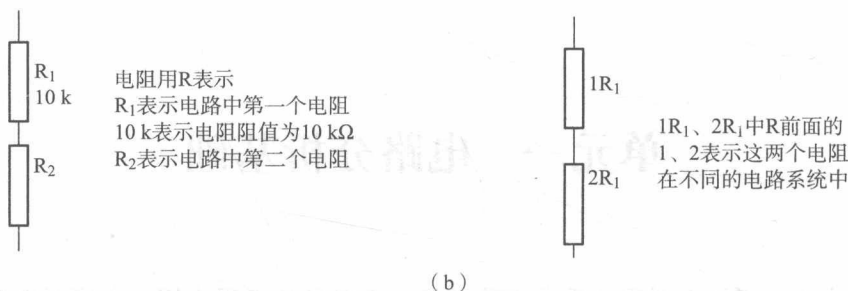




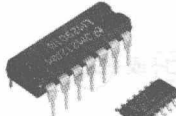


图 1.1-1 电阻器的图形符号和标注意义 (续)





3. 常见的固定电阻实物图

常见的固定电阻实物图和特点见表 1.1-1。

表 1.1-1 电阻实物图及特点

实物图	特点
 碳膜电阻 (RT)	<p>结构: 以小瓷棒或瓷管做骨架, 通过真空和高温热分解出的结晶碳沉积生成碳膜 (导电膜), 瓷管两端装上金属帽盖和引线, 外涂保护漆, 通过改变碳膜的厚度和长度, 获得不同的电阻值。</p> <p>优点: 稳定性好、噪音低、价格低、阻值范围宽 (几欧至几兆欧)。一般应用在要求不高的电路中。</p>
 金属膜电阻 (RJ)	<p>结构: 以小瓷棒或瓷管做骨架, 由合金粉蒸发而成的金属膜形成导电膜, 瓷管两端装上金属帽盖和引线, 外涂保护漆。</p> <p>优点: 各项指标均优于碳膜电阻。稳定性好、噪声低、价格低、阻值范围宽 ($10 \Omega \sim 10 \text{ M}\Omega$)。适用于要求较高的通信设备、电子仪器等电路, 在收音机、电视机等民用产品上也有较多的应用。</p>
 金属玻璃釉电阻 (RI)	<p>结构: 金属氧化物 (如钨、银、钼、锡、铋等) 和玻璃釉粘合剂混合后, 涂敷在陶瓷骨架上, 经高温烧结而成, 属于厚膜电阻。</p> <p>优点: 耐高温、耐潮湿、温度系数小、负荷稳定性好、噪声小、阻值范围大 ($4.7 \Omega \sim 200 \text{ M}\Omega$)。</p>
 氧化膜电阻 (RY)	<p>结构: 用铋或锡等金属盐溶液喷雾到炽热的陶瓷骨架表面, 沉积形成导电膜, 瓷管两端装上金属盖帽和引线, 外涂保护漆。</p> <p>优点: 性能可靠、过载能力强、额定功率大 (最大达 15 kW), 广泛用于彩色电视机中。</p> <p>缺点: 阻值范围小 ($1 \Omega \sim 200 \text{ k}\Omega$)。</p>
 集成电阻 (PR、RN)	<p>这种电阻器是将多个分立的电阻器按照一定的规格排列成为一个组合型电阻器, 也称为排电阻器或电阻器网络, 简称排阻, 有单列式 (SIP) 和双直插式 (DIP), 在数字显示电路、计算机硬件电路中经常用到。</p>

续表

实物图	特点
 <p>线绕电阻</p>	<p>结构：用金属电阻丝绕制在陶瓷或其他绝缘材料的骨架上，表面涂以保护漆或玻璃釉。</p> <p>优点：阻值精确（$5\ \Omega \sim 56\ \text{k}\Omega$）、功率范围大、工作稳定可靠、噪声小、耐热性能好（主要用于精密和大功率场合）。</p> <p>缺点：体积较大、自身电感大、高频性能差、时间常数大，只适用于频率在 $50\ \text{kHz}$ 以下的电路。</p>
 <p>水泥电阻</p>	<p>水泥电阻的电阻丝同引脚之间采用压接方式连接，外部采用陶瓷或矿物质材料包封，具有良好的绝缘性能，通常用于功率大、电流大的场合。负载短路时，水泥电阻器的电阻丝与焊脚间的压接处会迅速熔断，对整个电路起限流保护作用。水泥电阻通常采用直接标注法标注。</p>
 <p>实心碳质电阻 (无机 RS 型、 有机 RN 型)</p>	<p>结构：用碳质颗粒导电物质（炭黑、石墨）作导电材料，用云母粉、硅粉、玻璃粉、二氧化钛作填料，另加粘合剂经加热压制而成，按照粘合剂的不同，分为有机实心电阻器和无机实心电阻器。</p> <p>优点：无机实心电阻器温度系数较大，可靠性较高；有机实心电阻器过负荷能力强。</p> <p>缺点：无机实心电阻器阻值范围小；有机实心电阻器噪声大、稳定性较差、分布电容和分布电感大。</p>
 <p>电力铝壳电阻</p>	<p>弹簧合金电阻体与成形铝壳的组合，将其经高温阳极处理后，再以特殊不燃性耐热水泥充填，待阴干经过高温处理固定绝缘而成，不怕外来的机械力量与尘埃环境。这种电阻器不但功率大，而且坚固、耐振动、散热良好、电阻温度系数小，适用于产业机械、负载测试、电力分配仪表设备及自动控制装置等。</p>

1.1.2 电路中的导线

1. 常用的导线材料

选用工频导线材料时应考虑以下因素：

- (1) 导电性能好，即电阻率小；
- (2) 不容易氧化，耐腐蚀；
- (3) 有较好的机械强度，能承受一定的拉力；
- (4) 延伸性好，容易拉制成线材，方便焊接；
- (5) 资源丰富，价格便宜。

铝和铜符合上述基本要求，是优选的导电材料。

2. 常用的绝缘材料

绝缘材料又称为电介质，是相对于导体、半导体而言的一类非导电材料，在正常情况下，电阻率很大，一般大于 $10^7\ \Omega \cdot \text{m}$ ，是不导电的。影响绝缘材料电阻率的因素有湿度、温度和杂质，为了提高设备的绝缘强度，应避免固体电介质受潮。

常用的绝缘材料有绝缘油、绝缘胶、绝缘漆和绝缘制品。

1) 绝缘油

绝缘油有天然的植物油、矿物油和合成油。植物油有蓖麻油、大豆油等；天然矿物油有

开关油、电容器油、变压器油和电缆油等；合成油有甲基硅油、苯甲基硅油等。空气中的氧气和环境温度的升高是引起绝缘油老化的重要因素。

2) 绝缘胶

常用的绝缘胶有环氧电缆胶、环氧树脂胶、环氧聚酯胶、黄电缆胶和黑电缆胶等。

3) 绝缘漆

绝缘漆包括浸渍漆和涂覆漆两大类。浸渍漆包括有机溶剂浸漆和无机溶剂浸漆两种类型，涂覆漆有硅钢片漆、漆包线漆、放电晕漆和覆盖漆等。

4) 绝缘制品

常用的绝缘制品有电工塑料、云母制品、石棉制品、绝缘薄膜及其复合制品、电工玻璃与陶瓷、电工橡胶、电绝缘包扎带、绝缘纤维制品、浸渍纤维制品和绝缘层压制品等。

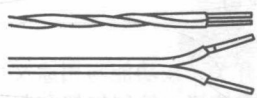

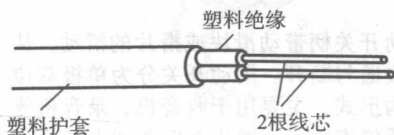
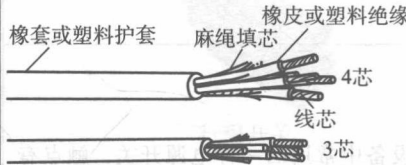
3. 常用的绝缘导线型号用途

“R”代表软铜线，“V”代表聚氯乙烯绝缘，“S”代表双绞，“B”代表扁型，“P”代表屏蔽。各种导线结构、型号、名称及用途见表 1.1-2。

表 1.1-2 导线结构及用途

结构	型号	名称	用途
	BV-70 BLV-70	聚氯乙烯绝缘铜芯线 聚氯乙烯绝缘铝芯线	用来作为交直流额定电压为 500 V 及以下的户内照明和动力线路的敷设导线，以及户内沿墙支架线路的架设导线。
	BX BLX	铜芯橡皮线 铝芯橡皮线	
	LJ LGJ	裸铝绞线 钢芯铝绞线	用来作为户外高、低压架空线路的架设导线，其中 LGJ 应用于气象条件恶劣、电杆档距大、跨越重要区域或电压较高等线路场合。
	BVR BLVR	聚氯乙烯绝缘铜芯线 聚氯乙烯绝缘铝芯线	适用于不作频繁活动的场合的电源连接线，但不能作为不固定的或处于活动场合的敷设导线。

续表

结构	型号	名称	用途
 <p>绞合线 平行线</p>	RVB-70 (或 RFB) RVS-70 (或 RFS)	聚氯乙烯绝缘双根 平行软线 聚氯乙烯绝缘双根 绞合软线	用来作为交直流额定电 压为 250 V 及以下的移动 电具、吊灯的电源连接导 线。
 <p>棉纱编织层 橡皮绝缘 多根束绞线芯 棉纱层</p>	BXS	棉纱编织橡皮绝缘 双根绞合软线	用来作为交直流额定电 压为 250 V 及以下的移动 电具（如小型电炉、电熨 斗和电烙铁）的电源连 接线。
 <p>塑料绝缘 塑料护套 2根线芯</p>	BVV-70 BLVV-70	聚氯乙烯绝缘和护 套 2 根或 3 根铜芯套 线 聚氯乙烯绝缘和护 套 2 根或 3 根铝芯护 套线	用来作为交直流额定电 压为 500 V 及以下的户内 外照明和小容量动力线路 的敷设导线。
 <p>橡皮或塑料护套 麻绳填芯 橡皮或塑料绝缘 4芯 线芯 3芯</p>	RHF RH	氯丁橡胶套软线 橡胶套软线	用于移动电器的电源连 接导线，插座电源连接导 线或短期临时送电的电源 馈线。

1.1.3 电路中的开关

开关是一种在电路中起控制、选择和连接等作用的元件，大量应用于电子、电力设备中。在电路中开关用文字符号“S”或“SA”、“SB”（旧标准用“K”）等表示，开关的种类和图形符号如图 1.1-2 所示。

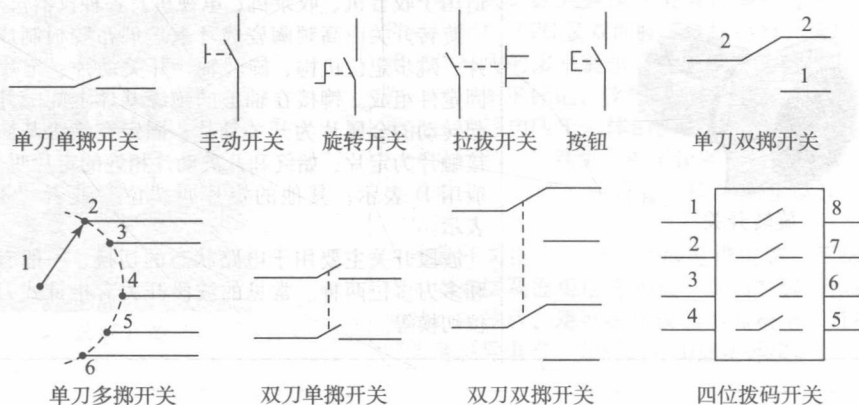




图 1.1-2 各类开关图形符号

常见开关的实物图及特点见表 1.1-3。

表 1.1-3 开关实物图及特点

开关名称与实物图	特点及应用
 <p>平头按钮 旋钮 钥匙钮</p> <p>急停钮 平头带灯按钮</p>	<p>按钮有单极双位开关或双极开关，按功能与用途又可分为起动按钮、复位按钮、检查按钮、控制按钮和限位按钮等。</p> <p>微型按钮用导电橡胶或金属片等作导体，可作为状态选择开关，用于小型半导体收音机、遥控器和验钞机等产品中。主要特点是体积小、重量轻、按动操作方便、手感舒适和价格低廉等。</p>
 <p>拨动开关</p>	<p>拨动开关通过拨动开关柄带动滑块或滑片的滑动，从而控制开关触点的接通与断开。拨动开关分为单极双位和双极双位两种结构形式，主要用于收音机、录音机等小电器及普及型仪器仪表中，一般用在电路状态转换和低压电源控制等。</p>
 <p>钮子开关</p>	<p>钮子开关是电子设备中常用的一种电源开关，触点有单刀、双刀和三刀等多种，接通状态有单掷和双掷两种。主要用于小型电源开关电路转换，主要特点是螺纹圆孔安装，加工方便。</p>
 <p>旋转开关</p>	<p>旋转开关主要有旋转式波段开关和旋转式功能转换开关两种，靠旋转开关手柄来控制开关触点的接通与断开，适用于收音机、收录机、电视机及各种仪器仪表。</p> <p>旋转开关由高频陶瓷或环氧玻璃布胶板制成的绝缘基片、跳步定位机构、旋转轴、开关动片、定片以及其他固定件组成。铆接在轴上的绝缘基体上能随开关旋轴一起转动的金属片为开关动片；固定在绝缘基体上不动的接触片为定片；始终和开关动片相连的定片叫“刀”，一般用 D 表示；其他的定片叫“位”或者“掷”，用 W 表示。</p> <p>波段开关主要用于电路状态的切换，一般有单刀多位和多刀多位两种。常见的波段开关有指针式万用表的档位切换等。</p>

开关名称与实物图	特点及应用
 <p data-bbox="243 523 341 548">按键开关</p>	<p data-bbox="555 285 1156 479">按键开关一般由手柄、滑板、活动触片、固定端子、压簧和外壳等构成，它通过按动开关手柄来控制活动触点与固定端子触点的接通与关断。按键开关有单键式和多键组合式两种类型，常用于家用电器、电信设备、自控设备、计算机及仪表中，有时用在电路转换中，主要特点是嵌卡式安装，可靠性高，指示灯、轻触式操作。</p> <p data-bbox="555 484 1156 542">国产按键开关主要型号有 KAQ × ×、KAD × ×、KJJ × × 等。</p>
 <p data-bbox="243 759 341 784">轻触开关</p>	<p data-bbox="555 662 1156 720">轻触开关主要用于键盘等数字化设备面板的控制，主要特点是体积小、重量轻、可靠性好、寿命长。</p>
 <p data-bbox="243 1029 341 1054">行程开关</p>	<p data-bbox="555 855 1156 952">行程开关的结构比较复杂，属于单极多位多列开关，有一个动触点和多个静触点，主要用于机械传动系统中的状态检测。</p> <p data-bbox="555 958 1156 1054">它是一个机械控制开关器件，当机械运动达到一定位置时，行程开关被执行，将常闭触点断开，常开触点闭合，从而控制电路执行机械运动的停止或返回。</p>
 <p data-bbox="243 1280 341 1306">拨码开关</p>	<p data-bbox="555 1174 1156 1232">拨码开关主要用于不经常动作的数字电路转换，主要特点是体积小、安装方便、可靠性高。</p>
 <p data-bbox="243 1686 341 1711">薄膜开关</p>	<p data-bbox="555 1358 1156 1609">薄膜开关又称为触摸开关或轻触式键盘，是采用 PC、PVC、PET、FPC 及双面胶等软性材料，运用丝网印制技术制作而成的多平面组合密封的，集按键开关、开关线路、文字图形标记、读数显示透明窗、指示灯、透明窗、面板装饰等功能于一体的新型电子元器件，适用于机电一体化产品、计算机、电子设备、医疗仪器、家用电器、工控设备、塑胶工业设备、模具工业设计、工程控制、通信等。</p> <p data-bbox="555 1615 1156 1731">薄膜开关由引出线、上部电极电路、下部电极电路、中间隔离层及面板层等构成。背面有强力压敏胶层，将防粘纸撕掉后，便可贴在仪器的面板上，且开关的引出线为薄膜导电带，并配以专用插座连接。</p>

开关名称与实物图	特点及应用
 <p>声光控延时开关</p>	<p>声光控延时开关是由集成电路构成、利用声音控制电路工作的电子开关。通电后，白天停止工作，灯不亮，当周围环境光线较暗时自动进入工作状态，只要靠近开关产生声音输入如拍一下手掌，灯泡将自动点亮并持续一段时间（2~3 min），再自动关断，灯熄灭。</p> <p>声光控延时开关主要应用于路灯、工厂、公园和港口等对于自动开启时间要求不是很严格的场所。</p>
 <p>触摸延时开关</p>	<p>当人手接触金属片时，人体所带有的电荷由手转移到金属片上，此时所形成的瞬间电流经放大后推动晶体管的开关电路，其开关信号可以控制晶体闸流管的导通和关断，并与延时电路一起控制触摸式延时照明电路。</p>

1.2 几种实际的电路

1.2.1 面包板及其电路

1. 认识面包板

面包板是实验室中用于搭接电路的重要工具，熟练掌握面包板的使用方法是提高实验效率、减少实验故障出现几率的重要基础之一。面包板的结构及其分布如图 1.1-3 所示。窄条上下两行之间电气不连通。图中，每 5 个插孔为一组，通常的面包板上有 10 组或 11 组。

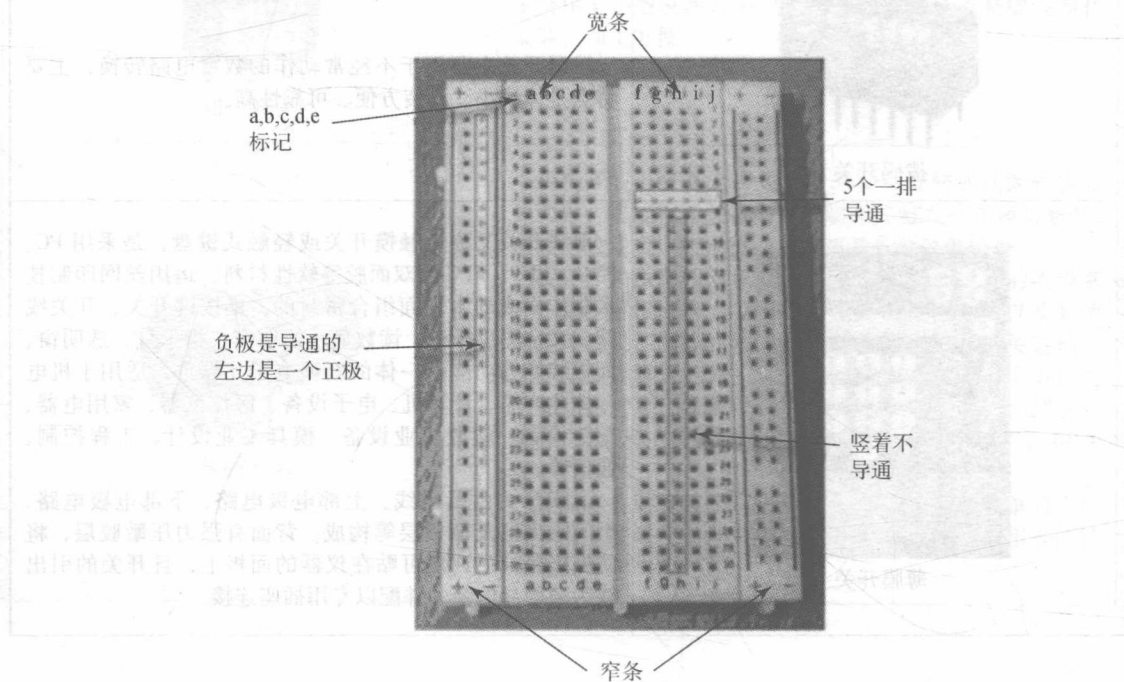


图 1.1-3 面包板分布图

对于 10 组的结构, 左边 5 组内部电气连通, 右边 5 组内部电气连通, 但左右两边之间不连通。如图 1.1-3 所示。

2. 在面包实验板上接线

根据图 1.1-4 中各元器件的连接方式, 在面包板上完成接线。

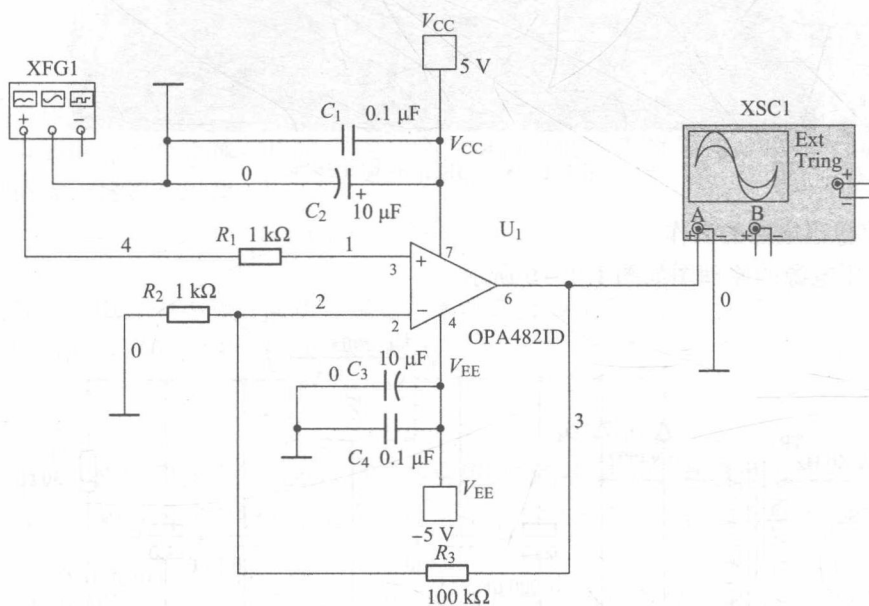


图 1.1-4 电路接线图

1.2.2 印刷电路板及其电路

1. 基本内容

印刷电路板, 又称印制电路板、印刷线路板, 简称线路板, 常使用英文缩写 PCB 或 PWB, 它以绝缘板为基材, 将绝缘板切成一定尺寸, 其上至少附有一个导电图形, 并布有孔 (如元件孔、紧固孔、金属化孔等), 用来代替以往装置电子元器件的底盘, 并实现电子元器件之间的相互连接。由于这种板是采用电子印刷术制作的, 故被称为印刷电路板。

印刷电路板按照线路板层数可分为单面板、双面板、四层板、六层板以及其他多层线路板。在印刷电路板出现之前, 电子元器件之间的相互连接依靠电线直接连接实现, 而现在, 印刷电路板在电子工业中已经占据了绝对统治的地位。

2. PCB 设计

印刷电路板的设计以电路原理图为根据, 实现电路设计者所需要的功能, 印刷电路板的设计主要指版图设计, 需要考虑外部连接布局、内部电子元件的优化布局、金属连线和铜孔的优化布局、电磁保护和热损耗等各种因素; 优秀的版图设计可以节约生产成本, 达到良好的电路性能和散热性能。印刷电路板实物图如图 1.1-5 所示。

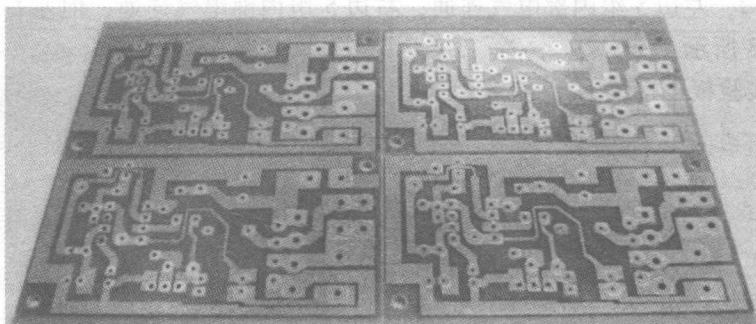


图 1.1-5 印刷电路板实物图

3. 直流稳压电源的制作

直流稳压电源的原理图如图 1.1-6 所示。

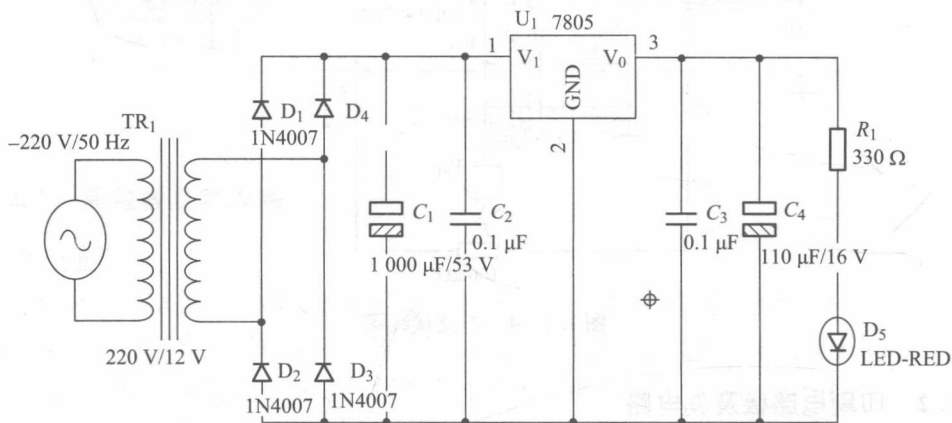


图 1.1-6 直流稳压源原理图

目标电路焊接图如图 1.1-7 所示。

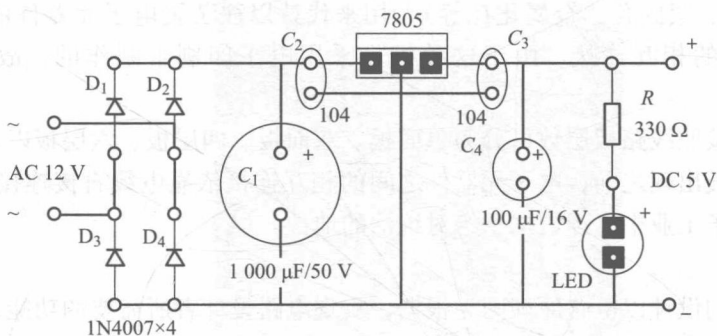


图 1.1-7 目标电路焊接图