





TONGYONG
JISHU
普通高中教科书

通用技术

— 选择性必修1 —

电子控制技术



 广东教育出版社
 广东科技出版社

普通高中教科书

通用技术

选择性必修1 电子控制技术

主 编 刘琼发

 广东教育出版社
 广东科技出版社

· 广州 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

通用技术. 选择性必修1: 电子控制技术 / 刘琼发主编. —广州:
广东教育出版社: 广东科技出版社, 2021.6 (2021.12重印)

普通高中教科书

ISBN 978-7-5548-4122-8

I. ①通… II. ①刘… III. ①通用技术—高中—教材
IV. ①G634.931

中国版本图书馆CIP数据核字 (2021) 第114301号

编写单位: 广东教育出版社 广东科技出版社
主 编: 刘琼发
副 主 编: 李 榕 周卫星 朱美健 席春玲
本 册 主 编: 周卫星
本册副主编: 李冰清
编写人员: 周卫星 江 茂 李冰清 宋向明

出 版 人: 朱文清
责任编辑: 林 雁 黄子丰
责任技编: 许伟斌
装帧设计: 友间文化

通用技术 选择性必修1 电子控制技术
TONGYONG JISHU XUANZEXING BIXIU 1 DIANZI KONGZHI JISHU

广东教育出版社 出版
广东科技出版社

(广州市环市东路472号12-15楼)

邮政编码: 510075

网址: <http://www.gjs.cn>

广东新华发行集团股份有限公司经销

广州市彩源印刷有限公司

(广州市黄埔区百合3路8号 邮政编码: 510700)

890毫米×1240毫米 16开本 6印张 132 000字

2021年6月第1版 2021年12月第2次印刷

ISBN 978-7-5548-4122-8

定价: 7.36元

批准文号: 粤发改价格〔2017〕434号 举报电话: 12315

著作权所有·请勿擅自用本书制作各类出版物·违者必究

如有印装质量或内容质量问题, 请与我社联系调换

质量监督电话: 020-87613102 邮箱: gjs-quality@nfc.com.cn

购书咨询电话: 020-87772438

前言

“嫦娥奔月”是中华民族一个古老而美丽的传说。我国自启动了“嫦娥工程”探月计划以来，逐渐实现对月球的直接勘察。

月球离地球约38万千米，要使飞船能飞往离地球这么远的地方，控制技术将发挥关键性的作用。我们在本书中将要学习的是控制领域中重要的技术之一——电子控制技术。

本书共五章。第一章从与学生生活密切相关的典型实例开始，通过调查、讨论等活动，使同学们感知生产和生活中电子控制产品应用的广泛性，形成对电子控制技术价值的认识。

第二章至第四章以电子控制系统的基本组成部分为主线，分别介绍了常用电子元器件及晶体管、模拟电路和数字电路、传感器与继电器。相对而言，这三章的内容专业性比较强，因此我们在书中尽量用贴近同学们生活的事例引入，如将传感器比作人的五官，将逻辑门电路的逻辑关系与生活中的实例相类比等，由此加深同学们对这些技术的认识。



本书始终强调实践，在第二章至第四章的学习中，同学们可以发现教材中设有很多简单而有趣的小制作，通过这些制作，将加深你们对所学知识的理解。

第五章是本书的一个重点。我们将引领同学们运用系统的方法分析电子控制的过程和可能发生的问题，并亲历一个电子控制系统的设计、制作、调试、改进的全过程。

本书设置了“讨论”“分析”“思考”“知识窗”“设计与实践”等栏目。这些栏目的设置，为同学们自主学习、合作学习和探究学习提供了方便。

电子控制是一门集电子、通信、计算机等理论和技术为一体的学科。信息化、数字化、自动化、网络化正成为当今时代进步的特征。未来的社会需要无数卓越的电子工程师，通过本书的学习，可为同学们将来成为他们其中的一员打下基础。

目 录



第一章 电子控制系统初探	01
第一节 电子控制概述.....	02
第二节 电子控制系统的基本组成.....	05
第三节 电子控制系统的优点.....	07
本章回顾与评价.....	09



第二章 电子元器件	10
第一节 电阻器、电容器及电感器.....	11
一、电阻器.....	11
二、电容器.....	12
三、电感器.....	13
第二节 晶体二极管和晶体三极管.....	15
一、晶体二极管的基本特性及应用.....	15
二、晶体三极管结构和类型.....	18
三、晶体三极管的特性曲线.....	19
第三节 电子电路图的识读与焊接.....	21
一、识读电子电路图的基本方法.....	21



二、电路的焊接方法	22
三、焊接技术的发展趋势	25
本章回顾与评价	27

第三章 模拟电路与数字电路	28
第一节 模拟信号与数字信号	29
一、模拟信号	29
二、数字信号	30
三、模数转换与数模转换	33
第二节 模拟电路	34
第三节 基本数字逻辑电路	37
一、与门	37
二、或门	38
三、非门	39
四、与非门、或非门	40
五、虚拟电子工作台	41
第四节 数字集成电路及其应用	45
一、晶体三极管的开关特性	45
二、数字集成电路的应用	47
本章回顾与评价	50



第四章 传感器与继电器	51
第一节 认识常见的传感器	52
一、什么是传感器	52
二、传感器在电子控制中的作用	53
三、认识传感器	54

第二节 传感器及其应用	57
一、温度传感器的应用	57
二、光传感器的应用	58
三、其他传感器及其应用	60
第三节 传感器的发展趋势	63
第四节 认识继电器	66
一、电路控制与继电器	66
二、电子控制系统中常用的继电器	66
第五节 直流电磁继电器	68
一、直流电磁继电器的结构及工作原理	68
二、干簧继电器的结构和工作原理	69
三、继电器的型号及其技术参数	70
四、电磁继电器的选用	71
本章回顾与评价	74



第五章 电子控制系统及其应用	75
第一节 电子控制系统	76
一、开环电子控制系统	76
二、闭环电子控制系统	78
第二节 设计实例分析	80
一、电子控制系统设计的一般原则	80
二、电子控制系统设计的一般过程	80
三、恒温控制箱的设计和制作	80
第三节 设计的改进	84
第四节 综合活动	86
一、设计与制作	86
二、领略现代电子控制系统	87
本章回顾与评价	88





第 一 章 电子控制系统初探

电子控制技术是以控制系统的思想和方法为基础，运用电子电路实现信号采集、处理和驱动执行的技术。现代产业几乎都涉及电子控制技术，大到遨游在浩瀚宇宙中的航天飞船，小到普通家用电器的遥控器，都离不开电子控制技术。本章将使你了解电子控制系统的基本组成，体会电子控制系统的优越性。

第一节 电子控制概述

学习目标

- 感知生产和生活中电子控制产品的广泛性。
- 形成对电子控制技术应用价值的认识。

我们通过《技术与设计2》的学习已经知道，如果根据某种目的，通过一定的手段，使事物沿着某一确定的方向发展，就是控制。

早期的控制完全是手动的。生产的要求推动了发明创造，机械装置控制替代了部分人工控制。人类社会发展到一定的阶段，在人工控制和机械控制已不能完全适应生产力水平的社会背景下，电子控制技术的出现大大促进了社会的进步。

通常我们把运用电子控制技术实现的控制系统称为电子控制系统。生活中，我们每天都可能听说、看见或使用各种与电子控制系统相关的事物（图1-1至图1-6）。



图1-1 高铁控制中心



图1-2 国产大飞机C919



图1-3 遥控玩具



图1-4 温控大棚



图1-5 智能手机



图1-6 门禁设备

参观与调查 >

调查主题——电子控制技术的发展史

调查项目

通过参观、访问、上网等方式，调查、了解电子控制技术的发展历程。

组织与分工

3~5人一组，选出组长，进行小组分工，并填写表1-1。

表1-1 小组分工

组 长	组 员	调 查 对 象

展示与交流

用恰当的方式，展示小组的调查结果，组与组之间互相交流，就下列问题进行讨论。

1. 电子控制技术发展的基础是什么？
2. 与其他控制方式相比，电子控制有什么优点和缺点？

随着大数据、云计算、物联网等技术的发展，图像和自然语言识别及理解技术的进步，电子控制技术正朝着智能控制的方向发展，智能机器人、自动驾驶的汽车、无人机、工厂中的无人车间等在一些特定的场合已得到了实际应用（图1-7、图1-8）。



图1-7 无人机



图1-8 自动驾驶的汽车

参观与调查 >

调查主题——系统的控制方式

调查项目

调查以下系统的控制方式，了解它们的控制过程（建议调查在课前完成）。

1. 抽水马桶水位自动控制系统。
2. 遥控电视机。
3. 自选调查对象。

组织与分工

3~5人一组，选出组长，进行小组分工，并填写表1-2。

表1-2 小组分工

组 长	组 员	调 查 对 象

调查与记录

实地考察，参照表1-3，做好调查记录。

表1-3 调查记录

控制系统名称	控制方式	被控对象	被控量	特 点

展示与交流

用恰当的方式，展示小组的调查结果，小组之间互相交流，就下列问题进行讨论。

1. 在调查的系统中，哪些是电子控制系统？
2. 与其他控制方式相比，电子控制系统有什么特点？

习 题

下面给出了两个电子控制系统，请补充其他你所知道的电子控制系统，并运用学到的知识，完成表1-4。

表1-4 控制系统的主要组成部分

控制系统名称	输入部分	控制部分	输出部分	被控对象
路灯（黑夜自动开，白天自动关）				
电冰箱恒定温度控制				

第二节 电子控制系统的基本组成

学习目标

- 知道电子控制系统的基本组成。

电子控制系统是控制系统的一个类别，所以可以用《技术与设计2》中关于控制系统的组成框图去描述，但在实际的构造上，电子控制系统与其他控制系统有何差别呢？

案例

风扇控制技术的发展

利用风扇制造人造风，是人们在夏日取凉或实现特定生产需求时常采用的一种方法，风扇在历史上早就存在，随着时代的进步和技术的发展，风扇的驱动方式和控制方式也在不断地发展。

图1-9所示的电风扇是由电动机驱动扇叶转动的，比起完全靠人力驱动的扇子，性能要优越许多。但这类电风扇的风速、定时等控制还需要人工按动按钮或旋转机械开关来完成，所以还属于人工手动控制。

图1-10是常用的遥控电风扇，由于遥控信号的产生、接收和处理都要通过电子电路实现，所以遥控电风扇是应用了电子控制技术的产品。

图1-11和图1-12分别是手动控制和遥控的电风扇的控制部件。图1-11所示的控制部件就是一组机械开关，按下不同的按键，就直接改变了电路的连接，从而使电风扇转换到不同的工作状态。图1-12所示的控制部件，按键开关并不直接改变电风扇的电路连接，而是通过控制电路（图中的集成电路）接收按键信



图1-9 手动控制电风扇



图1-10 遥控电风扇

息，经过识别、处理后发出控制信号，通过执行器使电风扇在不同的模式下工作，所以图1-12为采用了电子控制技术的电子控制板。



图1-11 机械控制开关



图1-12 电子控制板

最基本的电子控制系统由输入、控制、输出和被控对象4个部分组成。其中输入部分通常是把非电信号转换成电信号，其大多由传感器等组成；控制部分对输入信号进行处理、判断，输出控制信号，通常由数字电路、单片机等组成；输出部分控制被控对象的工作，可由电磁继电器等组成；被控对象接受控制信号，改变自己的工作状态。

我们可以将最基本的开环电子控制系统的组成用图1-13来表述。



图1-13 开环电子控制系统的基本组成

随着技术的发展，具声控功能及具备自动感知温度调节风量，同时还具有Wi-Fi功能的智能电风扇也渐渐走进人们的生活，人们就可通过手机远程控制开关、风速、定时、预约等智能功能，大大方便了我们的生活。

对于功能较为丰富的控制系统将会涉及闭环控制，根据在《技术与设计2》中学到的知识，我们可用图1-14来描述这类控制系统。

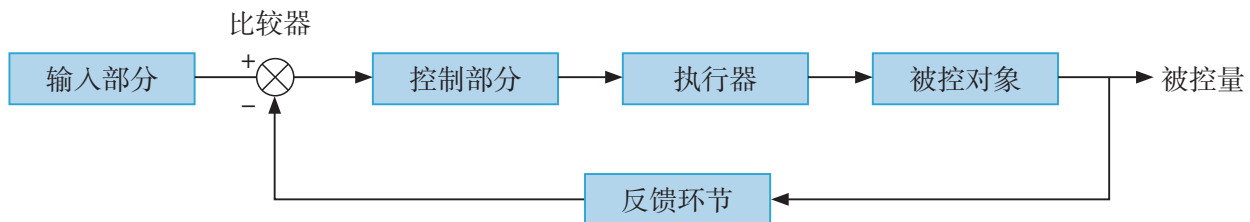


图1-14 闭环电子控制系统的基本组成

讨论

表1-5所列器件属于电子控制系统中的哪个组成部分？

表1-5 各类器件在电子控制系统中的组成部分

器件名称	单片机	按键开关	光电传感器	继电器	直流电动机	发光二极管
组成部分						

第三节 电子控制系统的优点

学习目标

- 体会电子控制技术的优点。
- 理解电子控制技术对人类和生活的影响。

电子控制系统与其他的控制系统相比，一般具有下述优点。

高速、准确。电子控制系统能高速、准确地实行控制。例如在汽车的自动生产线上，由计算机控制的机器人手臂可快速、准确地将各种部件安装在相应的位置上（图1-15）。

智能化程度高。单片机，特别是计算机技术的引入，使电子控制系统具有高度的智能化。如飞机的自动驾驶系统可在计算机控制下代替驾驶员对飞机进行操作（图1-16），可用语音操作的智能音箱（图1-17）。



图1-15 汽车自动化生产线



图1-16 智能化的飞机驾驶舱



图1-17 可用语音操作的智能音箱

可进行远距离控制。利用电子控制系统，可对火箭、航天飞机及深海探测机器人等进行远距离的控制（图1-18、图1-19）。



图1-18 航天器对接



图1-19 深海机器人

体积小、质量轻、功耗低、寿命长。随着集成电路技术的不断发展，电子器件的体积越来越小，功耗越来越低，器件的可靠性越来越高，系统的工作寿命越来越长。如图1-20所示的智能手表、图1-21所示的微型全球定位器。



图1-20 智能手表



图1-21 微型全球定位器

参观与调查 >

调查主题——锁的发展和未来

调查项目

通过参观、访问、上网等方式，调查锁的发展历程，体会电子控制技术的优越性。

组织与分工

3~5人一组，选出组长，进行小组分工，并填写表1-6。

表1-6 小组分工

组 长	组 员	调 查 对 象

展示与交流

用恰当的方式，展示小组的调查结果，小组之间互相交流，就下列问题进行讨论。

1. 在调查中，哪些锁属于电子控制系统？
2. 随着科技的发展，你希望有什么功能的锁出现？

立即行动

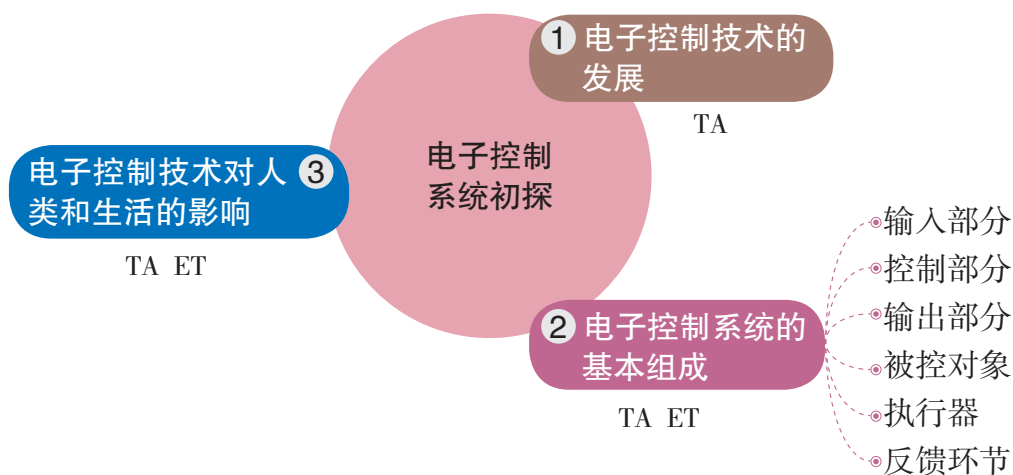
电子控制系统已获得了广泛的应用，但是否存在使用不当的问题呢？下面我们以辩论的形式来探讨这一问题。

背景：某公司在工作场所安装了闭路电视监控系统对员工进行全程监视。公司管理层认为这样有助于管理，但员工则认为这样侵犯了个人隐私。

辩论题目：工作场所应不应该安装闭路电视监控系统？

本章回顾与评价

一、学习内容梳理



说明：TA—技术意识，ID—创新设计，ET—工程思维，TD—图样表达，CM—物化能力

二、学习评价

评价内容	评价方式		
	自评	互评	师评
能通过案例，感知生产和生活中电子控制产品使用的广泛性			
能通过调查身边的电子控制系统应用状况，形成对电子控制技术应用价值的认识			
通过分析电风扇发展的案例，能知道电子控制系统的基本组成			
能比较电子控制系统与其他的控制系统，体会电子控制技术的优点			
能通过调查锁的发展，理解电子控制技术对人类和生活的影响			
说明：A—优秀，B—良好，C—合格，D—待改进			

通过本章的学习，你的核心素养得到了哪些发展？



第二章 电子元器件

当我们打开一个电器设备的外盖时，我们会看到各种各样的电子元器件——电阻器、电容器、电感器等。所有电器都离不开电路板上的各种电子器件。认识它们并通过学习焊接方法将各种元件组合成各种电路，是设计、安装和调试电子控制系统的基础。

第一节 电阻器、电容器及电感器

学习目标

- 辨别和检测电阻器、电容器及电感器。

一、电阻器

案例

打开一个电器设备的外盖，我们经常可以看到称为电路板（图2-1）的部件。在电路板上布满了密密麻麻的电子器件，它们的名称是什么呢？有什么作用呢？



图2-1 电脑主电路板

电阻器，简称为电阻，一般用 R 表示。电阻器阻值的单位是欧姆，简称欧，符号是 Ω 。在实际使用中，还用千欧 ($k\Omega$) 和兆欧 ($M\Omega$) 表示阻值，它们之间的换算关系是： $1M\Omega = 10^3k\Omega = 10^6\Omega$ 。常见的电阻种类及在电路图中标示的符号如图2-2、图2-3所示。

电阻器的阻值是其重要参数之一，设计电路时我们需要选取满足需要阻值的电阻器。

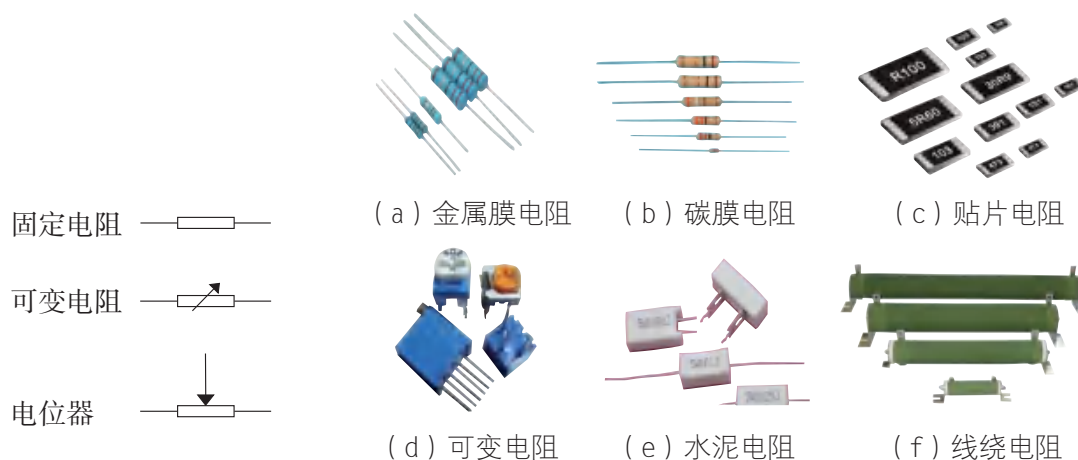


图2-2 电阻器的常用符号

图2-3 各种电阻器

电路工作时，电路中的电阻会消耗一定的功率而使其发热，如果热量过大会使电阻器损坏。所以每种类型的电阻器都会有一个正常工作时能承受的最大功率，称为额定功率，单位是瓦特，符号是W。电阻器的额定功率也是选取电阻时的重要参数。

分析

某同学在安装电路时需要一个阻值为 $1k\Omega$ ，额定功率为 $1/8W$ 的电阻器，但手头只有一个阻值为 $1k\Omega$ ，额定功率为 $1/4W$ 的电阻器，你认为是否可用，为什么？

二、电容器

电容器 (capacitance) 是一种储存电荷的电子元件，简称电容。电容器用字母 C 表示，电容值的单位是法拉 (Farad)，简称法，符号是F。在实际使用中，电容常用单位有微法 (μF)、纳法 (nF) 和皮法 (pF)。它们之间的换算关系为： $1F=10^6\mu F=10^9nF=10^{12}pF$ 。

电容器在电路中的符号如图2-4所示。将一个电容器接在直流电源上，电容器所带的电荷量 Q 与两极板间的电压 U 成正比，该比值就叫作该电容器的电容值。电容器的电容值越大，电容器储存电荷的性能就越强。

电容器的种类非常多 (图2-5、图2-6)。电容器的容量标注，通常有直接标注法和数字标注法。直接标注法就是将相关信息直接标注在电容上，如图2-7所示。

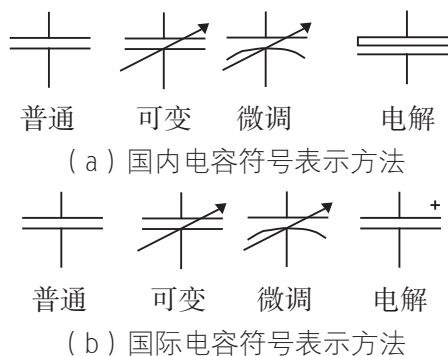


图2-4 不同电容器的电路符号

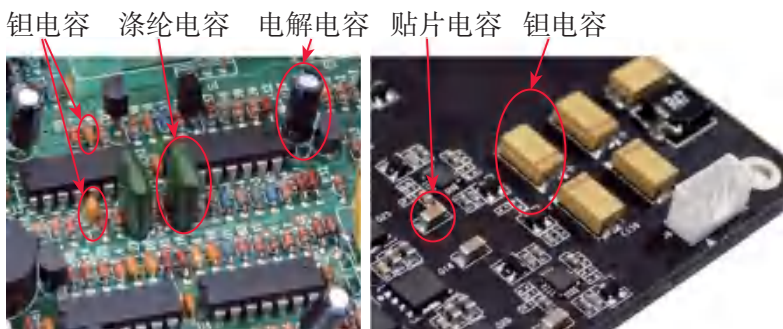


图2-5 电路中的各种电容器

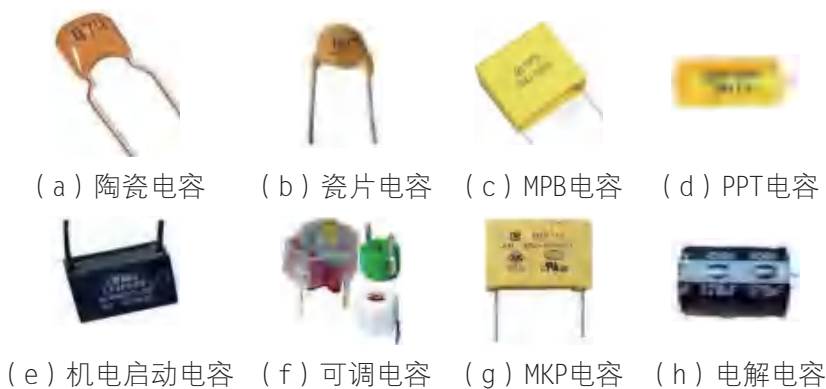


图2-6 各种电容器

直接标注电容器的容量



图2-7 电容量的直接标注

数字标注法一般用3位数字表示，前2位是有效数字，后1位为10的次方数，单位为pF。在图2-8中，左边的电容值为 $10 \times 10^4 \text{pF} = 0.1 \mu\text{F}$ ，右边的电容值为 $20 \times 10^5 \text{pF} = 2 \mu\text{F}$ 。

大部分电容器与电阻器一样，是没有极性的，在电路中两个引脚可以互换，但电解电容器由于内部两极之间的绝缘物质为有极性的电解液，所以这类电容器在使用时就要注意区分正、负极，否则电容器有发热甚至爆炸的危险（图2-9）。

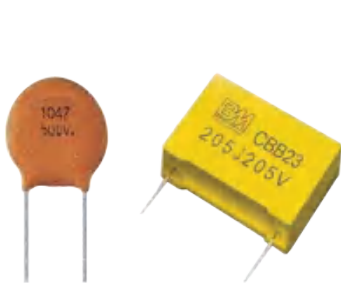


图2-8 电容的数字标注

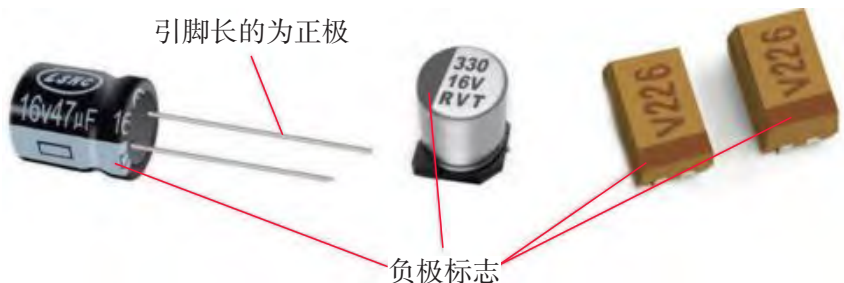


图2-9 电容器的极性标志

电容器的一个重要特性是不能通过直流信号却可通过交流信号，所以电容器在电路中除了用于存储电荷外，很多时候可用于阻断直流信号而让交流信号通过，这个功能简称为隔直。

由于电容器对直流信号是开路的，所以用万用表的电阻挡可初步判断电容器的好坏。

立即行动

电容器特性的测试

1. 按图2-10所示电路图连接电路，观察开关从位置3到位置1的瞬间：发光二极管会闪一下，但很快就会熄灭，此时虽然开关一直保持在位置1的闭合状态，但发光二极管上并没有电压，说明电容器不能让直流电通过。

2. 如果我们使开关在位置3和位置1之间快速切换，你会发现发光二极管会频繁发光，这是因为我们来回切换开关位置时，相当于在电容器两端施加了一个变化的电压。发光二极管频繁发光，表明这个变化的电压通过电容器加到了发光二极管的两端，说明了电容器可以让变化的信号通过。

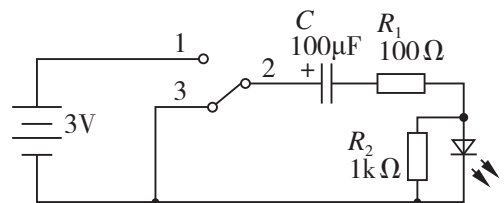


图2-10 电容特性测试电路

3. 观察开关在位置3和位置1之间切换速度对发光二极管发光的影响。

三、电感器

电感器（inductor）是电子电器中常用的元器件之一，是能够把电能转化为磁能而存储起来的元件。电感器用字母 L 表示，单位是亨利，简称亨，符号是H。常用的单位还有

毫亨 (mH) 和微亨 (μH)，它们之间的换算关系是：
 $1\text{H}=10^3\text{mH}=10^6\mu\text{H}$ 。

电感器具有阻碍电流变化的特性。如果电感器在没有电流通过的状态下，电路接通时它将试图阻碍电流通过它；如果电感器在有电流通过的状态下，电路断开时它将试图维持原电流不变。电感器又称扼流器、电抗器。

电感器是用漆包线、纱包线、塑皮线等在绝缘骨架或磁芯、铁芯上绕制成线圈而构成的。电路中常用的电感器及其电路符号如图2-11、图2-12所示。

电感器具有阻止交流电通过而让直流电顺利通过的特性，频率越高的交流电信号，电感器对其呈现的阻抗越大。因此电感器主要用于对交流信号进行隔离、滤波或与电容器组成谐振电路。

电感器基本都是由导线绕制而成的，所以其直流电阻都很小（接近“0”或仅几十欧姆的数量级）。用万用表进行电感器测试时：

- (1) 将万用表打到蜂鸣二极管挡，把表笔放在两引脚上，看万用表的读数。
- (2) 对于大部分电感器，此时的读数应很小，若万用表读数为无穷大则表示电感器已损坏。
- (3) 对于匝数较多、线径较细的电感线圈，读数会达到几十欧姆到几百欧姆。

立即行动

电感器特性的测试

1. 按图2-13所示连接电路，观察开关从位置3到位置1的瞬间：发光二极管开始不会立即发光，随后很快发光二极管就会发光，但只要开关一直保持在位置1的闭合状态，发光二极管就一直正常发光，这说明电感器可以让直流电通过。

2. 如果我们使开关在位置3和位置1之间快速切换，会发现发光二极管发光会变暗，这是因为我们来回切换开关位置时，相当于在电感器两端施加了一个变化的电压。发光二极管变暗，说明了电感器有阻止变化的信号通过的特性。如果要测试电感器的交流特性，我们该怎么做？

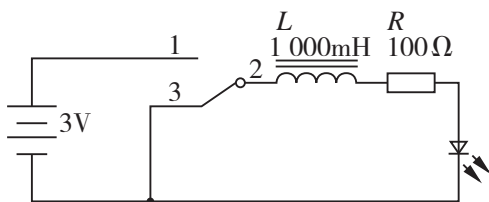


图2-13 电感器特性测试电路

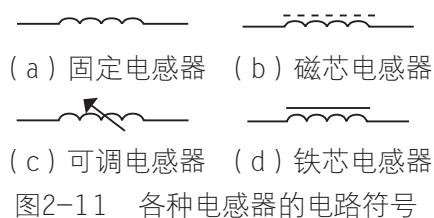


图2-11 各种电感器的电路符号



图2-12 电感器

第二节 晶体二极管和晶体三极管

学习目标

- 知道晶体二极管和晶体三极管的结构和类型。
- 能识读晶体三极管的特性曲线。
- 分析晶体二极管基本应用电路。

一、晶体二极管的基本特性及应用

晶体二极管 (diode) 是一种由半导体材料制成的具有两个电极的器件, 简称二极管 (图2-14、图2-15)。二极管的核心是一个PN结, 且有正、负两个端子, 正端也称为阳极, 负端也称为阴极, 电流只能从阳极向阴极方向移动。

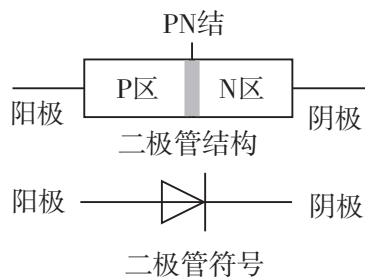


图2-14 二极管的结构与符号



图2-15 各种封装的二极管

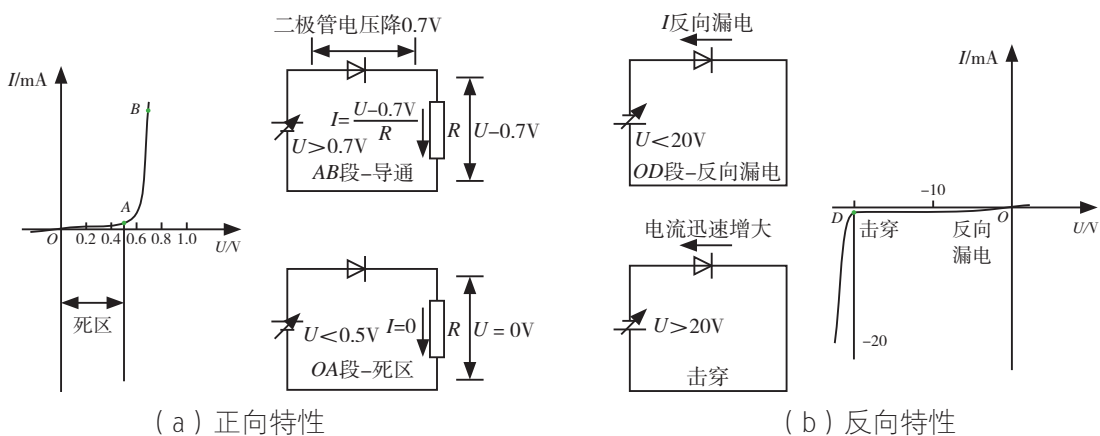


图2-16 二极管的伏安特性曲线及测试电路

图2-16所示为硅半导体材料的二极管的伏安特性曲线及测试电路。由图2-16 (a) 中可以看出, 二极管导通时, 它两端还有0.7V左右的电压降, 这个电压降称为正向电压降, 当加在二极管两端的正向电压小于0.5V时, 二极管基本不导通, 我们把0~0.5V这段区域

称为死区。一般情况下我们希望正向电压降越小越好。

由图2-16(b)中可以看出,当二极管两端施加反向电压时,流过二极管的电流很小,这时的二极管相当于开路,但当反向电压逐步加大时,二极管会出现突然导通的现象,我们称这种现象为“击穿”,导致二极管击穿的电压,我们称为反向击穿电压,简称击穿电压。在大部分二极管的应用场合,我们都希望二极管的击穿电压越大越好。

立即行动

按图2-17、图2-18连接电路,体会二极管的单向导电特性。

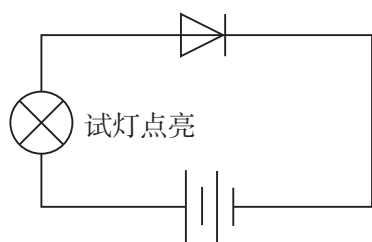


图2-17 二极管正向导通



图2-18 二极管反向截止

案例

很多时候我们需要将交流电转换为直流电,我们常用的手机充电器就是一个典型的交流电转换为直流电的应用电路。为了向手机提供充电所需的直流电,充电器中还有其他电路,但将交流电转换为直流电的任务,基本上都是由二极管完成的(图2-19)。



图2-19 手机充电器

思考

完成下列表2-1,你认为下列电器中有无将交流电转换为直流电的电路?

表2-1 电器中电路的电压类型转换

电器名称	有无交流电变直流电的电路	电器名称	有无交流电变直流电的电路
电视机		全自动洗衣机	
电风扇		遥控器	
智能手机		数码相机	
电吹风		台式电脑	

二极管在很多电路中的作用都是将交流电压变成直流电压，这个功能我们称为整流，图2-20所示是最常用的二极管整流电路。

图2-20所示的电路可以将输入的交流电压 V_1 ，经过整流得到脉动的直流电压 V_0 。从图2-20中的 V_0 波形可以看出，虽然 V_0 已没有负电压，但电压并不稳定，实际使用时还需要其他电路进行进一步的处理，从而得到稳定的直流电压。

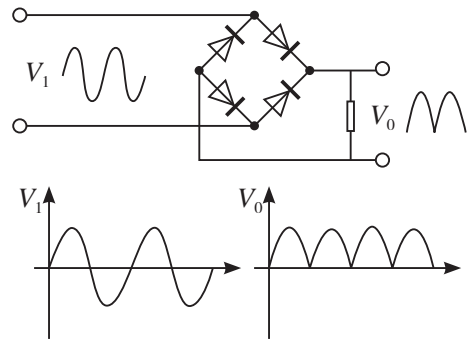


图2-20 二极管桥式整流电路

在图2-20所示的整流电路中用了4个二极管，它们的连接形式与物理课程中学习到的电桥类似，所以这种电路我们称为桥式整流电路。

立即行动

1. 有时为了简单，也可采用图2-21的整流电路，请同学们利用二极管单向导电的特点，画出在图示的交流电输入 U_2 时，该整流电路的输出电压 U_0 的波形。

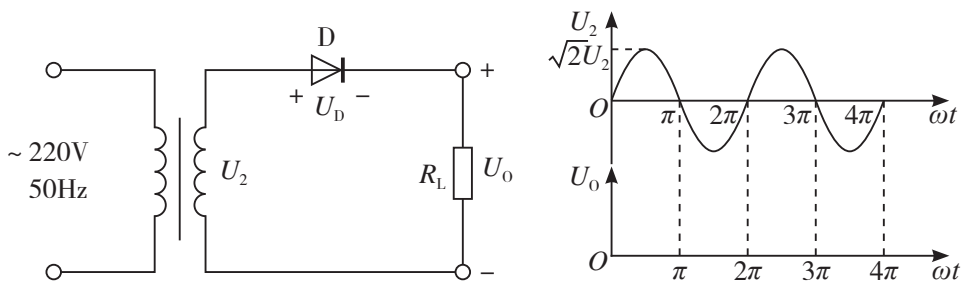


图2-21 半波整流电路及输入波形

2. 如将图2-21电路中的二极管反过来连接，输出的电压波形是怎样的？

知识窗

发光二极管

发光二极管（图2-22）是晶体二极管的一种，可以把电能转化成光能。发光二极管与普通二极管一样是由一个PN结组成，也具有单向导电性。

近年来随着材料和制造工艺的不断改进，发光二极管的发光效率越来越高，出现了很多用于照明的发光二极管，由发光二极管组成的光源具有亮度高、节能的特点，是照明光源的发展方向。



图2-22 发光二极管

但是，目前发光二极管也有不足之处，如芯片的耐温能力比较弱，长期在温度较高的环境下工作，会加快光衰。发光二极管本身是节能环保性产品，但是其电源在工作中自身损耗还是比较大。另外发光二极管的光通量与传统的高压卤素灯（金卤灯、钠灯）比还是有一定差距。

设计与实践

二极管的测试

1. 辨别出二极管的正负极，有白线的一端为负极，另一端为正极（图2-23）。
2. 将万用表上的旋钮拨到蜂鸣二极管挡，并将红黑表笔插在万用表的正确位置（图2-24）。



图2-23 二极管的正负极



图2-24 设置合适的挡位

3. 记住此时万用表的读数。因万用表红表笔带正电，黑表笔带负电，将红表笔接二极管正极，黑表笔接负极，若二极管正常，则万用表的读数会发生变化（一般为0.6左右）；交换表笔再测一次，万用表读数不变；如果两次测量时万用表的读数都不变化或都发生变化，则二极管已损坏（图2-25）。



图2-25 测试二极管

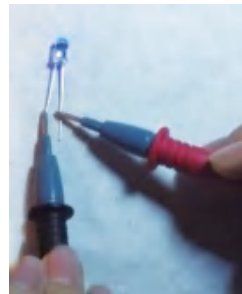
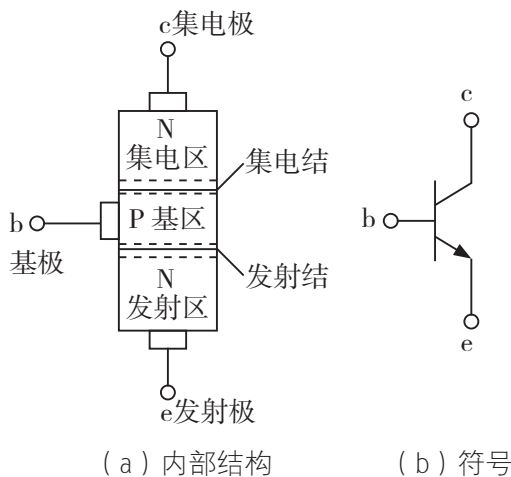


图2-26 测试发光二极管

4. 如果是发光二极管，则长引脚为正极，短引脚为负极。若发光二极管正常，当红表笔接其正极、黑表笔接负极时，则会发出微弱的亮光；交换表笔再测时，则发光二极管不亮（图2-26）。

二、晶体三极管结构和类型

晶体三极管通常也称双极型晶体管（BJT），简称晶体管或三极管。晶体二极管内部只有一个PN结，而晶体三极管内部有两个PN结（图2-27），且N型半导体和P型半导体交错排列形成三个区，分别称为发射区、基区和集电区。从三个区引出的引脚分别称为发射极、基极和集电极，用符号e, b, c来表示。处在发射区和基区交界处的PN结称为发射结，处在基区和集电区交界处的PN结称为集电结。



(a) 内部结构 (b) 符号
图2-27 NPN型三极管

因图2-27 (a) 所示三极管的三个区分别由NPN型半导体材料组成, 这种结构的三极管称为NPN型三极管。图2-27 (b) 是NPN型三极管的符号, 符号中箭头的指向表示发射结处在正向偏置时电流的流向。

根据同样的原理, 也可以组成PNP型三极管, 图2-28为PNP型三极管的内部结构和符号。

从三极管的符号中发射极箭头的方向, 我们可以判断出该类型三极管工作时, 工作电源与工作电流的方向。例如, 对于图2-27所示的NPN型三极管, 电流分别从基极和集电极流入, 从发射极流出。

如果我们将基极电流记为 I_b , 集电极电流记为 I_c , 发射极电流记为 I_e , 则有:

$$I_e = I_b + I_c \quad (2-1)$$

由于 I_b 通常较 I_c 和 I_e 都小很多, 所以(2-1)可写成:

$$I_c \approx I_e \quad (2-2)$$

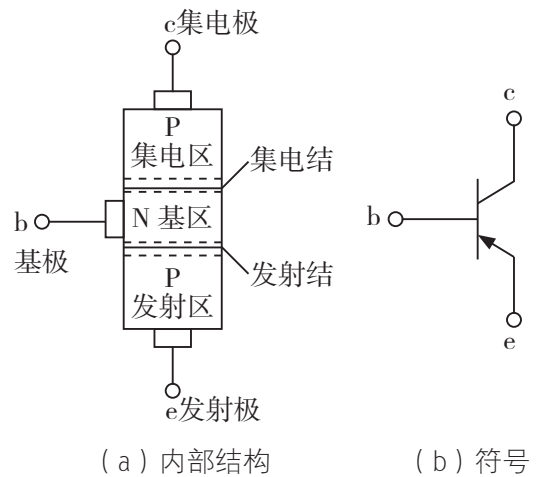


图2-28 PNP型三极管

三、晶体三极管的特性曲线

描述三极管性能和特性的参数很多, 但最为基本的是三极管的特性曲线。为了得到图2-29和图2-30的特性曲线, 我们以NPN型三极管为例, 可采用图2-31的测试电路进行测试。

对于图2-29的输入特性曲线, 反映的是流入基极的电流 I_b , 跟随加在基极和发射极之间电源 U_{be} 改变而变化的情况。由于三极管的3个电极之间会互相影响, 所以加在三极管集电极和发射极之间的电压 U_{ce} 也会对图2-29的曲线有所影响, 但当 U_{ce} 大于3V后, 输入特性曲线基本就由 U_{be} 控制了。

图2-30为三极管的输出特性曲线, 它反映了晶体三极管较重要的一些特性, 所以是最为常用也是最为重要的特性曲线。图2-30的曲线涉及三个参数: 集电极电流 I_c 、集电极-发射极电压 U_{ce} 和基极电流 I_b , 每给定一个 I_b , 就有一条反映 I_c-U_{ce} 的关系曲线。但基极电流

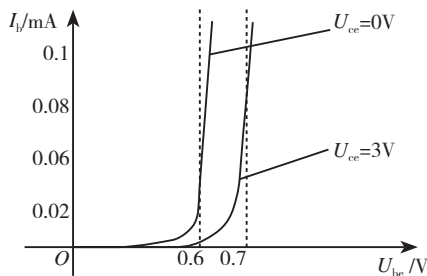


图2-29 三极管的输入特性曲线

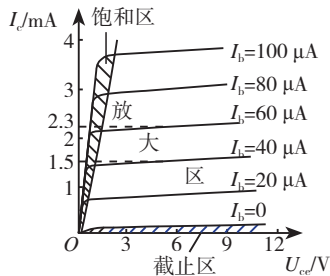


图2-30 三极管的输出特性曲线

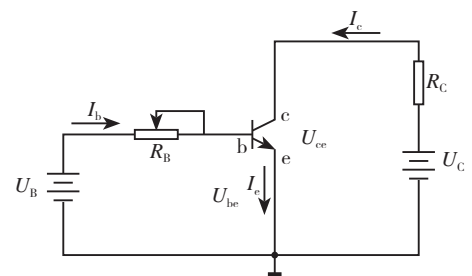


图2-31 三极管特性曲线测试电路

很小时（等于0或为负），尽管 U_{ce} 变化， I_c 始终都是很小，所以我们将 $I_b \leq 0$ 以下的区域称为截止区，这个时候相当于三极管的集电极和发射极之间开路，类似于开关断开；当 U_{ce} 电压很小时，集电极与发射极之间相当于短路，类似于开关闭合，这个区域称为饱和区；在饱和区与截止区之间，集电极电流 I_c 受 U_{ce} 的影响不大，基本上只受 I_b 的控制，这个区域称为放大区。从图2-30可以看到，在放大区当 I_b 从 $40\mu\text{A}$ 变化到 $60\mu\text{A}$ 时， I_c 从 1.5mA 变化到 2.3mA ，即 I_b 变了 $20\mu\text{A}$ ，而对应的 I_c 则变化了 $800\mu\text{A}$ （ 0.8mA ），如果我们用 β 表示这种变化率，则有：

$$\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} = \frac{2\,300\mu\text{A} - 1\,500\mu\text{A}}{60\mu\text{A} - 40\mu\text{A}} = \frac{800\mu\text{A}}{20\mu\text{A}} = 40 \quad (2-3)$$

称 β 为三极管的直流放大倍数，这是三极管一个非常重要的参数。式（2-3）可以写成：

$$\Delta I_c = \beta \Delta I_b \quad (2-4)$$

或：

$$I_c = \beta I_b \quad (2-5)$$

联系到前面的式（2-1）和式（2-2），我们可以得到三极管的几个重要公式：

$$I_c = \beta I_b, \quad I_e = I_b + I_c, \quad I_c \approx I_e。$$

习 题

图2-32为一个晶体三极管的输出特性曲线，试问：

1. 该三极管是NPN型还是PNP型？
2. $U_{ce} = -4\text{V}$ 时，该三极管的放大倍数 β 为多少？

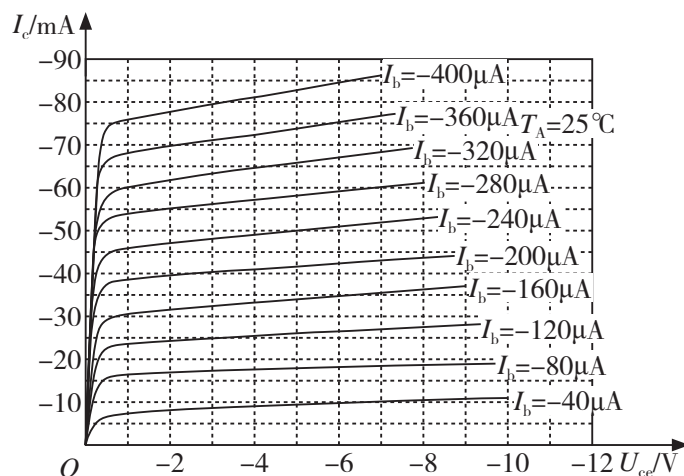


图2-32 三极管输出特性曲线

第三节 电子电路图的识读与焊接

学习目标

- 学习安装简单的电子控制装置。
- 掌握识读电子电路图的基本方法。
- 熟悉常见焊接工具及辅助材料的特性，掌握一种焊接方法。
- 了解电子电路焊接技术的发展趋势。

一、识读电子电路图的基本方法

1. 电路图的构成要素

电子电路图又称为电路图或电路原理图，是一种反映电子产品和电子设备中各元器件的电气连接状况的图。同时，电子电路图又是一种工程语言，可以帮助人们尽快熟悉电子设备的电路结构及工作原理。电子电路图主要由电子元器件的图形符号、文字符号、连线及注释性字符等（图2-33）要素构成。

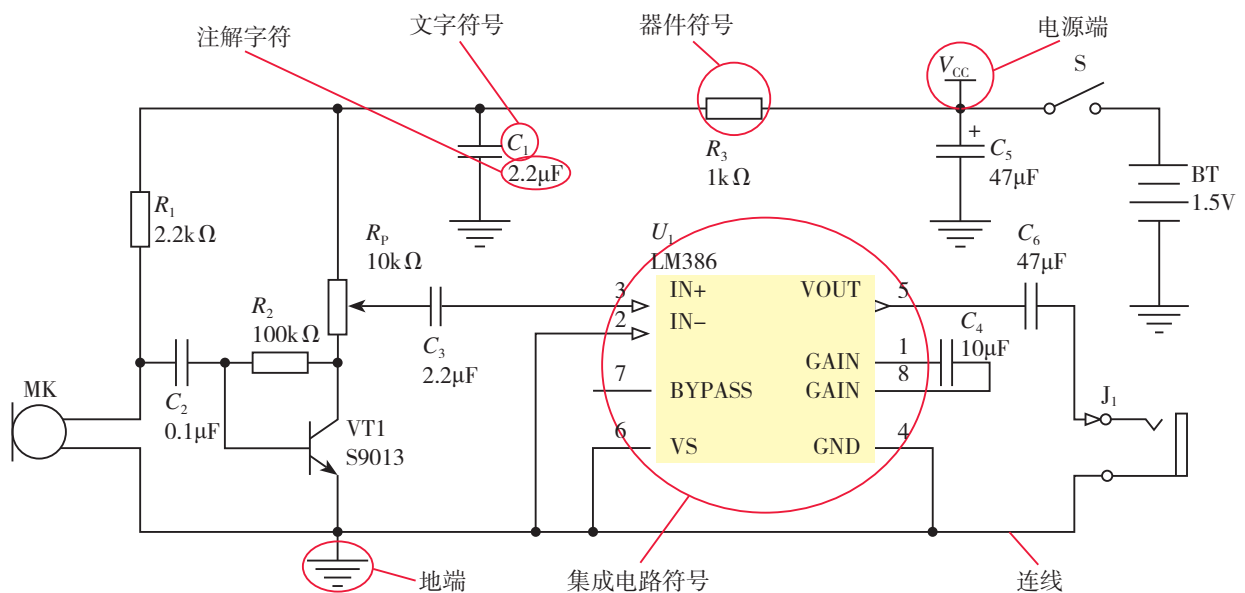


图2-33 电路图的基本要素

2. 电路图的常用符号

电路图中除了必要的元器件符号外，还有一些说明电气关系的符号。图2-33是几种常用的电路符号。

电路中的各个地端（也称公共端）和各个电源端可以分别用连线直接相连，在图2-33

中, 电容 C_1 、 C_5 和电源的一个端就是与地端相连的, 但有时为了使电路简洁, 也用图2-34中的符号标注。另外, 由于集成电路的引脚较多, 有时电路中会隐去集成电路的电源脚和地脚, 这也是为了使电路简洁一些, 并不表示它们不接电源和地端。

集成电路的内部电路非常复杂, 电路图中都用一个方框和相应的引脚表示。掌握一些基本电路的工作原理, 结合识读电路的基本方法, 可大大提高对电路工作原理的理解能力。



立即行动

找出家中电器的产品说明书, 尝试读懂其中电路图的信息。

二、电路的焊接方法

任何一个电子产品都离不开焊接, 图2-1中的电子元器件都通过焊接固定在电路板上。焊接工具非常多, 下面主要介绍一种焊接常用的工具——烙铁, 并学习如何使用烙铁完成电路板的焊接。

1. 常用焊接工具

烙铁(图2-35)是电子制作中常用的焊接工具, 有些具有温度控制功能的调温烙铁, 焊头温度可以调节, 以适应不同的焊接要求。

烙铁上的烙铁头也有多种形状可以选择, 一般圆形和铲形的用得较多, 如图2-36所示。

使用烙铁进行电路焊接时, 烙铁的正确握法如图2-37所示。

注意烙铁通电时和断电后一段时间内, 表面温度很高, 请勿用手触碰烙铁的金属部分, 使用后要将其放在专用的托架上。



(a) 普通烙铁



(b) 调温烙铁

图2-35 常用焊接工具



图2-36 各种形状的烙铁头









图2-37 烙铁的正确握法

2. 焊接辅助材料

除了烙铁外, 焊接时还需要一些辅助材料才能完成焊接, 并保证焊接的质量和焊接操作更为方便(表2-2)。

表2-2 常用焊接辅助材料

	焊锡丝。焊锡丝由锡合金和助剂两部分组成，在电子焊接时，焊锡丝作为填充物的金属加到电子元器件的表面和缝隙中
	助焊膏。涂敷助焊剂在母材表面，使母材表面的氧化物还原，消除氧化膜。另外，焊接的高温容易使焊接材料表面被氧化，助焊膏有助于阻止氧化过程
	松香。松香的主要作用是清除焊料和被焊母材表面的氧化物，使金属表面达到必要的清洁度。防止焊接时表面的再次氧化，降低焊料表面张力，提高焊接性能
	清洁块。用于擦拭烙铁头上焦化的焊剂及其他黑色残留物，保证烙铁头的清洁。使用时要加水润湿
	吸锡带。吸锡带是一款专用的维修工具。当用烙铁清理不干净的多余的锡时，用吸锡带可以将其清理掉
	吸锡器。大部分吸锡器为活塞式，按照吸筒壁材料，可分为塑料吸锡器和铝合金吸锡器

3. 基本焊接方法

(1) 焊前准备。焊接前的准备工作主要是对烙铁头的预处理。应在烙铁架的小盒内准备好松香和清洁块（用水浸湿），烙铁接通电源后，待烙铁头部温度大约达到松香的熔解温度（约150℃）时，将烙铁头插入松香，使其表面涂敷上一层松香。

(2) 焊接步骤。烙铁焊接的操作动作可分解为四步，要获得良好的焊接质量，必须严格地按图2-38所示步骤进行。

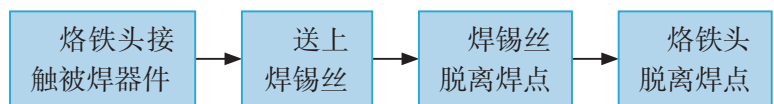


图2-38 烙铁焊接步骤

按上述步骤进行焊接是获得良好焊点的关键之一。

在实际操作中，容易出现的错误操作有烙铁头先与锡丝接触，熔化的焊锡滴落在尚未预热的被焊部位，导致虚假焊点的产生。或将烙铁头沾一点焊锡带到被焊部位，这时助焊剂已全部挥发或焦化，失去了助焊作用，影响焊接质量。在焊接过程中，若发现烙铁头部沾上焦化的焊剂及其他黑色残留物时，应及时在清洁块上擦拭，使头部残留物蓬松脱落。清洁后的烙铁头，可再插入松香中，这样可使头部氧化锡还原，以保持光亮的覆盖层，这对保证烙铁头传导热量的能力和焊接点的清洁是至关重要的。

(3) 焊接要领。掌握焊接要领是获得良好焊点的关键（图2-39），一般焊接要领有以下几点。

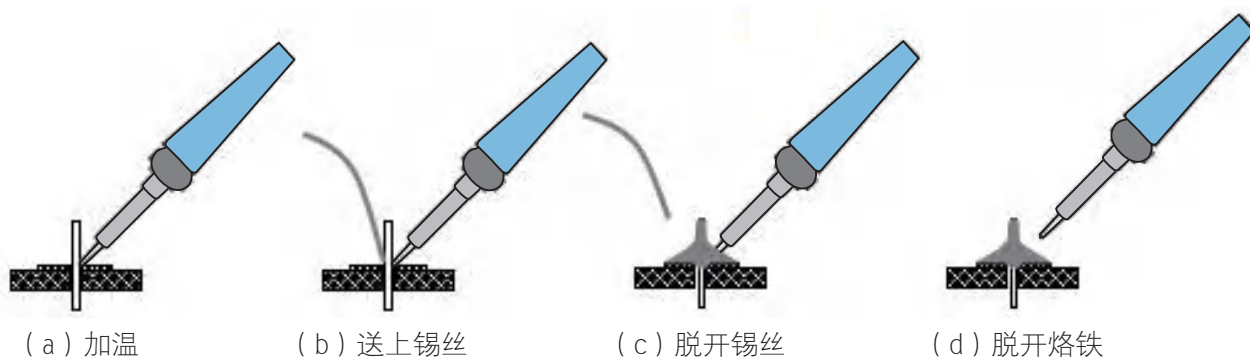


图2-39 焊接操作示意

① 烙铁头与被焊件的接触方式。被焊件通过与烙铁头接触获得焊接所需要的温度，所以要掌握下列要领。

a. 接触位置：烙铁头应同时接触需要互相连接的两个被焊件（如引线和焊盘），烙铁头一般倾斜 45° ，如图2-39所示。当两个被焊件热容量悬殊时，可适当调整烙铁倾角，使热容量较大的被焊件与烙铁头的接触面积增大，加强热传导效果。两个被焊件同时被加热到相同的温度，视为加热理想状态。

b. 接触压力：在不损伤被焊件表面的前提下，烙铁头与被焊件接触时应略施压力。

② 锡丝的供给方法。锡丝的供给方法主要掌握三个要领，即供给时间、供给位置和供给数量。

a. 供给时间：被焊器件升温达到焊料的熔解温度时立即送上锡丝。

b. 供给位置：送锡丝时应将锡丝送至烙铁头上，这样锡丝会融化包围住焊点。

c. 供给数量：焊点要饱满且有一个自然的坡度。

立即行动

准备合适的材料，完成焊接操作。在焊接的过程中替换电烙铁的加热时间、加热位置及给锡量对焊接质量的影响。要求做到锡量适当，焊点圆滑。

1. 材料准备：万能电路板1块（图2-40）、电阻器若干、电烙铁1把、焊锡丝若干、焊锡膏适量。

2. 焊接操作：①将电阻器的两个引脚从无敷铜的一面穿过电路板上任意合适的焊孔。②将电路板的敷铜面朝上，用前面学习过的焊接知识焊接电阻的引脚。



图2-40 万能电路板

三、焊接技术的发展趋势

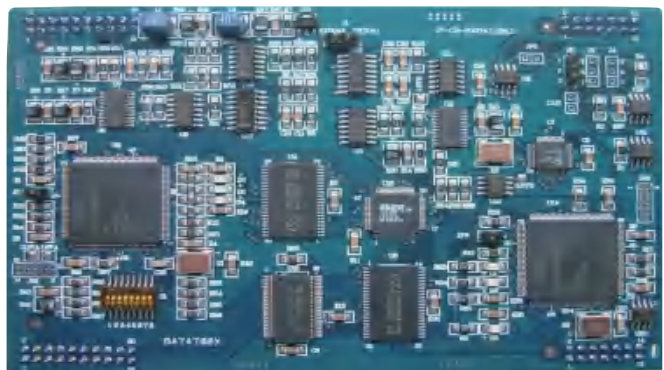
在现代电子焊接技术的发展历程中，经历了两次历史性的变革：第一次是从通孔焊接技术向表面贴装焊接技术的转变（图2-41），第二次从有铅焊接技术向无铅焊接技术的转变。

焊接技术作为一种电子技术的基础工艺，先进的焊接技术不断被发明出来，电子束、真空、等离子物理、超声、红外线、微电子等新技术都为焊接技术的发展奠定了基础，并使焊接技术的应用范围更加广泛。同时在焊接材料、自动化水平、高效性、清洁性等方面也有很大的发展，并且焊接技术的成本在日益地减少。

在图2-42所示的浸焊技术和波峰焊接技术中，都是采用同样温度的焊锡对电路进行焊接。但实际上，不同的焊点（如焊盘大小，焊盘连接元器件的性质等）对焊接时的温度等参数的要求是不同的，所以采用同一个温度对整个电路板进行焊接，并不是最佳的方法。选择性焊接技术就是对上述焊接方式的改进，选择性波峰焊接又称机器人焊接，它采用自动控制技术，可对每个焊点进行独立的焊接操作，根据焊点的不同，采用不同的焊接参数（如预热温度、阻焊剂量、焊接温度等），从而实现高质量的焊接。

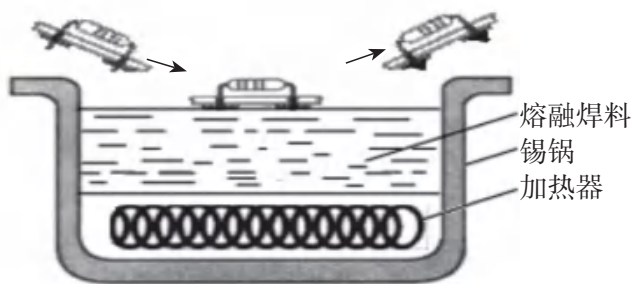


(a) 通孔器件电路板



(b) 表面贴装器件电路板

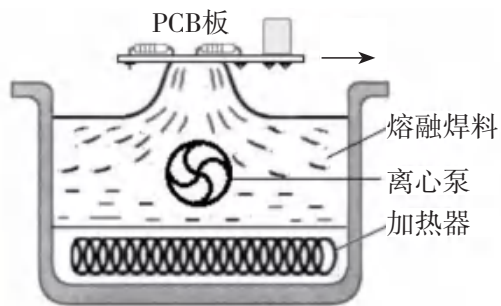
图2-41 通孔器件和表面贴装器件的焊接电路板



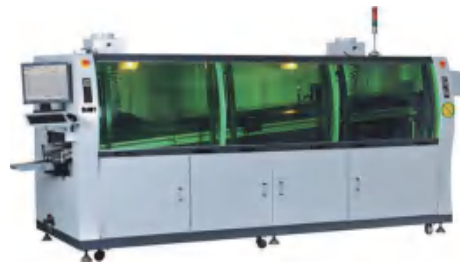
(a) 浸焊工作原理



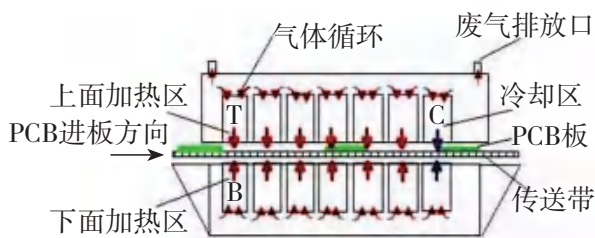
(b) 自动浸焊设备



(c) 波峰焊接原理



(d) 波峰焊接设备



(e) 回流焊接原理



(f) 回流焊接设备

图2-42 各种焊接及辅助设备

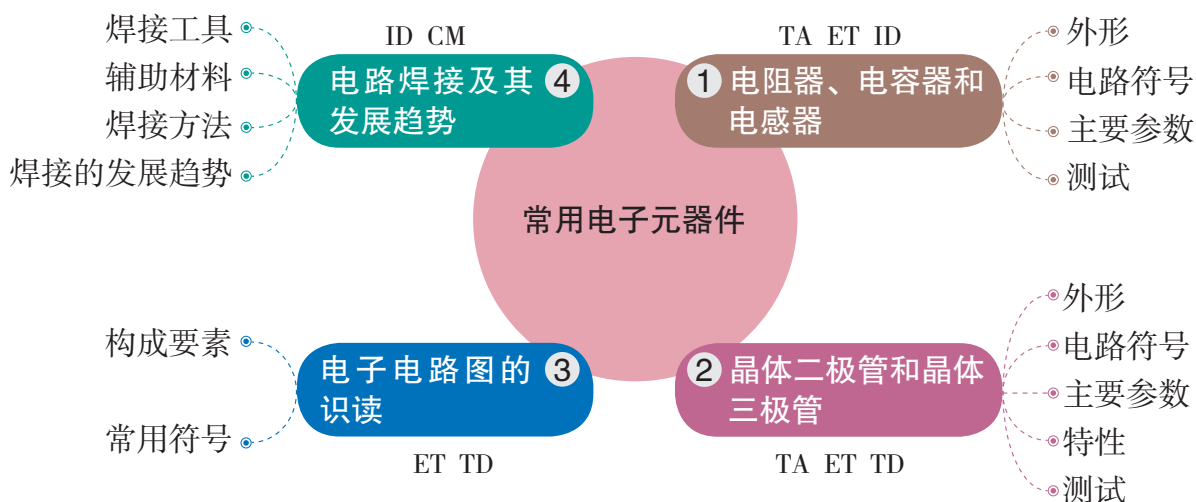
焊接材料对焊接质量有着非常重要的作用，在焊料的发展过程中，锡铅合金一直是最优质的、廉价的焊接材料，无论是焊接质量还是焊后的可靠性都能够达到使用要求。但是，随着人类环保意识的加强，铅及其化合物对人体的危害和对环境的污染越来越被人们所重视。无铅化技术受到了多个国家的重视，很多国家都专门设有无铅焊接材料研发的机构，这些研发机构及焊料生产厂商已经研发出多种无铅焊料（图2-43）。



图2-43 无铅焊料

本章回顾与评价

一、学习内容梳理



说明：TA—技术意识，ID—创新设计，ET—工程思维，TD—图样表达，CM—物化能力

二、学习评价

评价内容	评价方式		
	自评	互评	师评
能辨别和检测电阻器、电容器、电感器等常用电子元器件			
能知道和辨别晶体二极管和晶体三极管的结构和类型			
能分析晶体二极管基本应用电路，并识读晶体三极管的特性曲线			
能熟悉电路图的构成要素、常用符号，掌握识读电子电路图的基本方法			
熟悉常见焊接工具及辅助材料的特点，掌握用电烙铁焊接电子元器件的方法			
知道电子电路焊接技术的发展趋势			
说明：A—优秀，B—良好，C—合格，D—待改进			

通过本章的学习，你的核心素养得到了哪些发展？



第三章 模拟电路与数字电路

当你通过播放器欣赏优美的音乐时，当你通过计算机在网络世界畅游时，你是否意识到，你正在享受数字技术给我们带来的各种便利。面对如此神奇的数字技术，你了解它吗？本章将使你学到一些有关数字技术的基本知识。

第一节 模拟信号与数字信号

学习目标

- 尝试测量电子控制装置中的信号。
- 了解模拟信号和数字信号的特性，知道数字信号中“1”和“0”的含义。
- 知道模拟信号和数字信号各自的优点和局限性。
- 了解模拟信号和数字信号相互转换的原理。

一、模拟信号

案例

学校兴趣小组的同学为了解一天的温度变化对植物生长的影响，测试了8月份某天的温度变化，并描绘成下面的曲线（图3-1）。我们可以发现这条曲线在纵轴（温度）和横轴（时间）上都是连续变化的，即曲线没有断点。如果我们仔细观察，可以发现在自然界中还有很多类似的数据或信号。

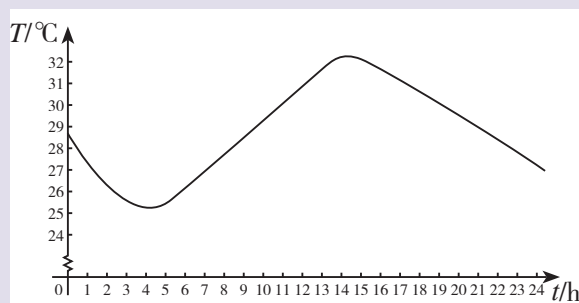


图3-1 8月份某天的室外温度变化

在自然界中，一些事物的量值是连续变化的，如一天里空气的温度，在数值上表现为在最高气温和最低气温之间连续变化；有些事物的量值是非连续变化的（离散的），如教室中课桌的数量、书包中课本的数量等。我们通常将在时间上和取值（幅度）上均是连续的信号称为模拟信号。

立即行动

1. 图3-2至图3-5中哪些量值是连续变化的，哪些是离散的？
2. 根据模拟信号的特点，判断表3-1中列出的信号，并填写你还知道的其他模拟信号。



图3-2 汽车的数量



图3-3 飞机的速度



图3-4 学生人数



图3-5 人体的高度

表3-1 模拟信号的判断

信号（变量）名称	是否模拟信号及原因
人说话时的声波	
舰船之间的旗语信号	

模拟信号的优点是直观且容易实现，但存在下面几个主要局限性。

保密性差。运用模拟信号进行通信时，尤其是无线通信或有线通信的过程中，很容易被窃听。只要收到模拟信号，就容易得到通信内容。

抗干扰能力弱。电信号在传输过程中会受到外界的和通信系统内部的各种噪声干扰，噪声和信号混合后难以分开，从而使得通信质量下降。线路越长，噪声的积累也就越多。

处理及存储不便。为完成一定的功能，我们经常要对信号进行各种处理（如放大、滤波、变换等），对模拟信号进行处理时，信号往往会失真，造成信号质量的下降。另外，模拟信号也不易存储，早期的录音带、录像带都是用来存储模拟音频、视频信号的，不仅体积庞大，而且回放质量也不高。

二、数字信号



自然界中的信号基本上都是属于模拟信号。为了得到数字信号，我们要对模拟信号进行数字化转换，即将模拟信号转换成数字信号（图3-6）。

思考

怎样将模拟信号转换成数字信号呢？

图3-6是模拟信号数字化过程的示意图。首先，对模拟信号在特定的时间上进行采样，得到采样信号。采样信号只反映在特定时刻模拟信号的取值，对非采样时刻没有定义，即采样信号在时间上是离散的。但采样信号反映了采用时刻模拟信号的幅度，由于

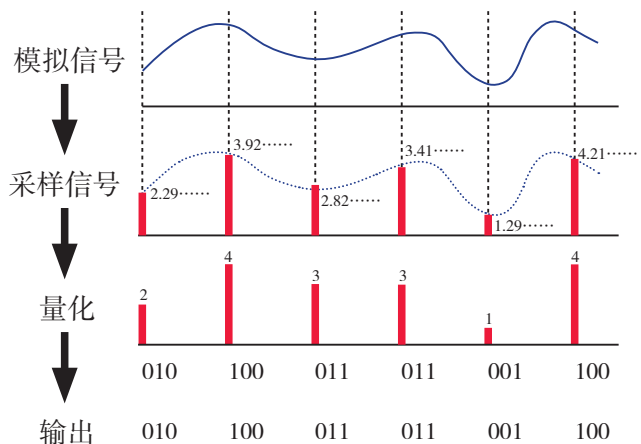


图3-6 模拟信号的数字化

模拟信号的幅度在定义域内的取值是连续的，要准确描述采样信号的幅度，其数字的位数将是无限的，数字电路无法处理无限位的数字，所以下一步对采样信号的幅度用最接近的有限位数来表示，这一步叫量化。最后将量化后的十进制整数转换为二进制数并输出。量化后的幅度虽然与原来模拟信号的幅度并不完全相同，但只要量化的精度位数足够，就可以非常接近原来的信号幅度。

量化后的信号可用有限位整数来表示信号的幅度。图3-6所示例子中，通过四舍五入，用1、2、3、4共4个十进制整数来表示量化后的信号幅度，所以幅度通过量化后被离散化了。

这个例子反映了将模拟信号转换为数字信号的过程，也同时指出了数字信号的本质。

在时间上和取值（幅度）上均是离散的信号称为数字信号。

上述例子中用1~4表示信号的幅度，已经将信号的幅度离散化了，但我们为什么常常还要将十进制的数用二进制来表示呢？

在电子电路中，最容易实现和识别的状态是电路的“通”和“断”，或电平的“高”和“低”。所以我们通常将在电路中用高、低两个电平状态来表示的信号也称为数字信号（图3-7），并将这两个电平状态分别记为“1”和“0”。而模拟信号（图3-8）则指那些连续变化的信号。由于

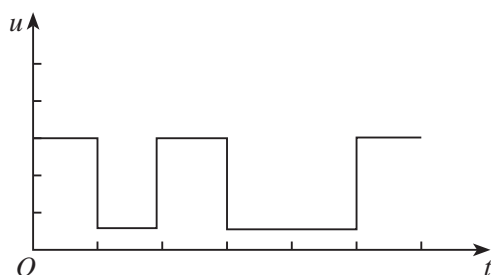


图3-7 数字信号

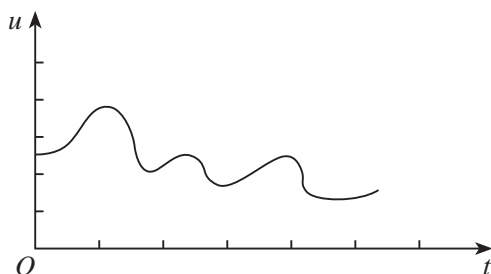


图3-8 模拟信号

在处理二进制数字信号的电路中，电路的状态不是高电平就是低电平，所以当我们测量电路中的信号时，会出现类似图3-7的波形，这个波形虽然在时间轴上是连续的，但它是离散的数字信号在电路中的表现形式，所以我们称这样的信号为数字信号。

通过上面的活动，我们可以发现数字信号与模拟信号相比，有以下明显的优点。

抗干扰能力强。在受到干扰的情况下，数字信号由于状态简单，所以容易恢复原来的模样，如图3-9所示。

易于处理。一幅图像经数字化后，可以方便地对其进行各种加工处理，从而产生很多模拟技术无法达到的效果，如图3-10所示。

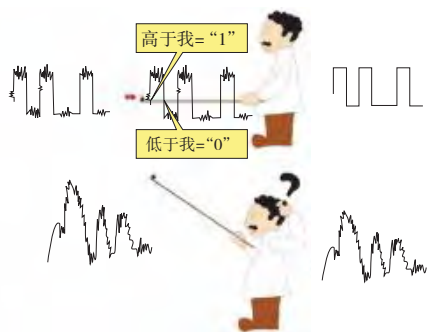
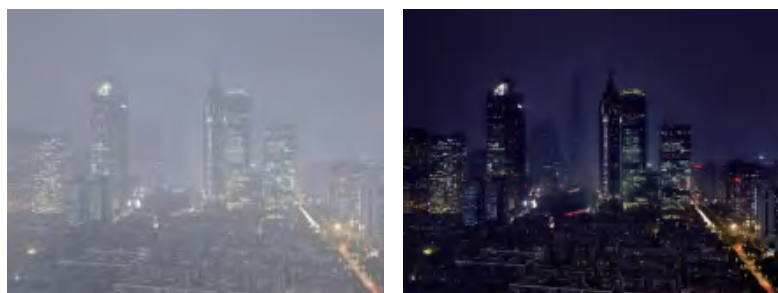


图3-9 数字信号抗干扰能力强



(a) 去雾前照片

(b) 去雾后照片

图3-10 照片去雾

精度高。图3-11是一个模拟指针式电压表和数字式电压表测量同一电池的指示。从数字式电压表中可以读到小数点后4位的数值，而模拟指针式电压表是无法读到这个精度的。

易于保存。数字信号只有两个状态，所以数字信号的保存、记录就比较容易。图3-12是大家熟悉的光盘的读取原理示意图。实际上，记录在光盘上是一些非凹和凹的小坑，在读取时，激光束在凹坑部分反射的光强度，要比从非凹部分反射的光的强度来得弱，光盘就是利用这个简单的原理来区分信号“1”和“0”的。

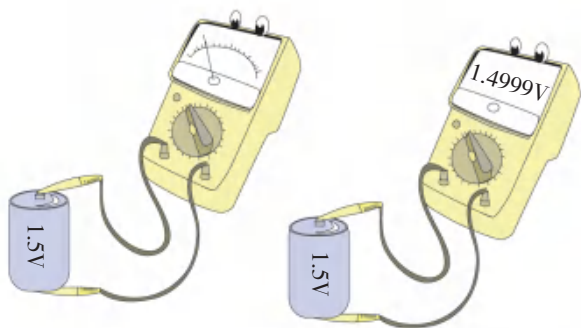


图3-11 模拟指针式电压表和数字式电压表

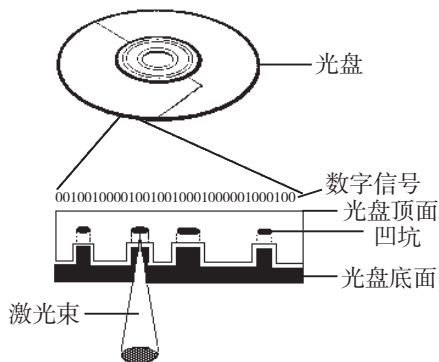


图3-12 光盘的读取原理

数字信号有明显优点的同时也有其缺点，如：

数据量大、占用频带较宽。将模拟信号转换为数字信号后，往往会造成很大的数据量，如进行传输，会占用较大的传输带宽。传送一路数字化语音信息需占64kHz带宽，而传送一个模拟话路只占用4kHz带宽，即一路数字化语音信号占了几个模拟话路。对这一个模拟话路而言，它的利用率降低了，或者说它对线路的要求提高了。

接收、发送的技术要求复杂。发送方发了一串“0”和“1”组合的数据流，接收方要能正确地理解发送方的意思，就必须知道数据头和数据尾的准确位置，才能准确地区分每个码元，这就需要收发双方实现严格的同步关系，如果组成一个数字网的话，同步问题的解决将更加困难。

随着技术的不断进步，数字信号的缺点不断地被克服，其传输、存储和进行各种处理的巨大优势使数字信号得到了广泛的应用。

设计与实践 >

参考图3-13，制作一个能够检测电路中高、低电平的简单工具，我们把它叫作逻辑笔。图3-13(a)是它的电路原理图，为了使用方便，我们可以按图3-13(b)将其装在一支钢笔套中。

使用时，将B端接地，用A端与被检测的点相连，如果被检测点为高电平“1”，则LED发光；否则LED不亮。通过观察LED的亮灭，就可方便地判断被测点是“1”还是“0”。

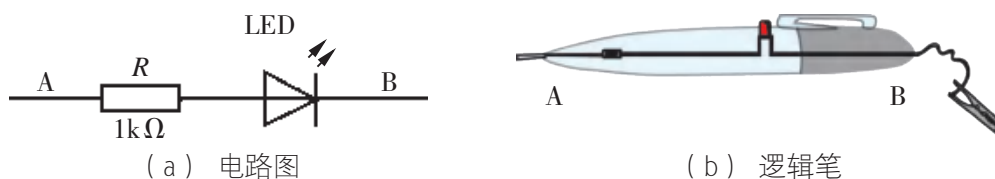


图3-13 逻辑笔及其电路图



逻辑笔只能测量低压电路（通常是5V）的电平，不能用于测量高于36V电路的电平，否则测量人员会有触电的危险。

三、模数转换与数模转换

自然界中很多事物的量值是连续变化的，但我们在计算机或网络中处理的都是数字信号，为了使数字电路能处理那些连续变化的量值，就需要一种专门把模拟信号转换成数字信号的器件，称为模数转换器，简称为ADC（analog-to-digital converter）或A/D转换器。

图3-6展示的就是将模拟信号转换成数字信号的过程，也是ADC的基本工作原理。

表3-2 数模转换关系

数字信号	对应的十进制值	模拟信号 / V
000	0	0
001	1	0.5
010	2	1
011	3	1.5
100	4	2
101	5	2.5
110	6	3
111	7	3.5

我们的耳朵和眼睛接收的都是模拟信号，所以在计算机或网络中处理的数字信号，很多时候还要转换成我们能识别的模拟信号，完成这个工作的器件为数模转换器，简称DAC（digital-to-analog converter）或D/A转换器。

DAC的作用与ADC的作用相反。表3-2所示的就是一种数模转换的关系。

数据转换技术是模拟信号和数字信号之间的重要桥梁，高速度、低电压、高效率、小尺寸、低成本是ADC/DAC发展的趋势。除此以外，通信与网络设备的集成化趋势需要ADC/DAC转换器集成更多的功能，同时具有更宽的输出电压或多路输出。近年来转换器产品已达到数千种，ADC和DAC的市场呈稳步增长的发展趋势，它们在现代军用和民用电子系统中均起到了非常重要的作用。

第二节 模拟电路

学习目标

- 知道简单的晶体三极管共发射极放大电路的组成和工作原理。
- 掌握晶体三极管在模拟电路中的运用。

案例

在上课或开会时，有时由于场地较大，为了保证所有人能清晰地听到发言人的声音，一般都会使用扩音器（图3-14）。这个扩音器实际上就是一个声音的放大器。



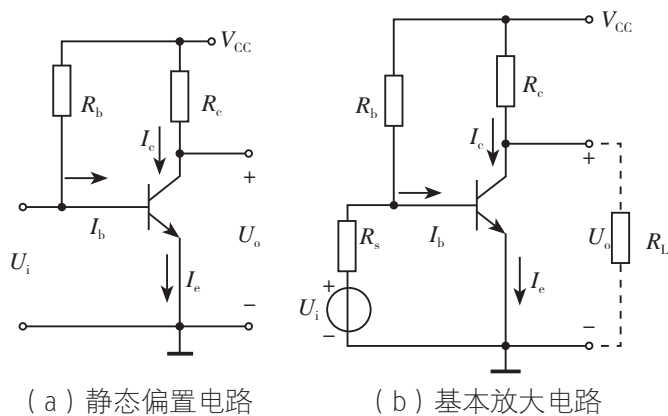
(a) 便携式扩音器



(b) 专业大功率扩音机

图3-14 扩音器

扩音器的种类很多，但内部的主要电路大多是晶体管放大电路，而晶体三极管共发射极放大电路，是一种最为基本的放大电路，这种电路通常称为共发射极放大电路，简称为共射放大电路。图3-15是一种典型的共发射极放大电路，该放大电路的输入信号 U_i 和输出信号 U_o 都有一段与三极管的发射极相连。



(a) 静态偏置电路

(b) 基本放大电路

图3-15 三极管基本放大电路

在电路中 R_b 和 R_c 是起什么作用的呢？我们知道信号（如声音）是大小不断变化的，如果在图3-15（a）所示的电路中去掉 R_b ，那么在没有信号接入时，基极的电流 $I_b=0$ 。由于 $I_c=\beta I_b$ ，所以 $I_c=0$ ，三极管处于截止状态，如果这时加入信号 U_i ，信号幅度向大的方向变化，那么可能产生基极电流。同样由于 $I_c=\beta I_b$ ，输出端会产生 β 倍的 I_b 电流，则信号被放大。但是如果信号向小的方向变化，则会使三极管继续保持截止状态，输出电流为0，此时输入信号的变化反映不到输出端，结果是输出信号只有输入信号的高电平部分，低电平部分全部为0，这样输出的信号就与输入的信号的波形不一样，称为失真。

为了避免共射放大电路的信号失真，需要把基极的电流事先设置一个不为0的 I_b ，图3-15（a）中 R_b 就起到这个作用。有了 R_b ，电源 V_{cc} 就会通过它向基极提供一个电流，其大小取决于 R_b 的阻值。通过 R_b 设置一个适当的基极电流，就可在信号加入后，不管信号的幅度朝哪个方向变化，基极电流都不会为0，这样在输出端，就可以得到一个放大的、与输入信号形状一样的不失真信号。

思考

如果基极电流预先设置得太大，会出现什么现象？

由于 R_b 的存在，晶体三极管在没有信号加入时就有一个不为0的基极电流，这个电流称为基极偏置电流，所以图3-15（a）称为静态偏置电路。 I_b 、 I_c 和 U_{ce} 合称为放大电路的静态工作点。结合晶体三极管的特性曲线，我们可以把静态时的 I_b 、 I_c 、 U_{ce} 标注在曲线图上，图3-16中的点 Q ，就是静态工作点。

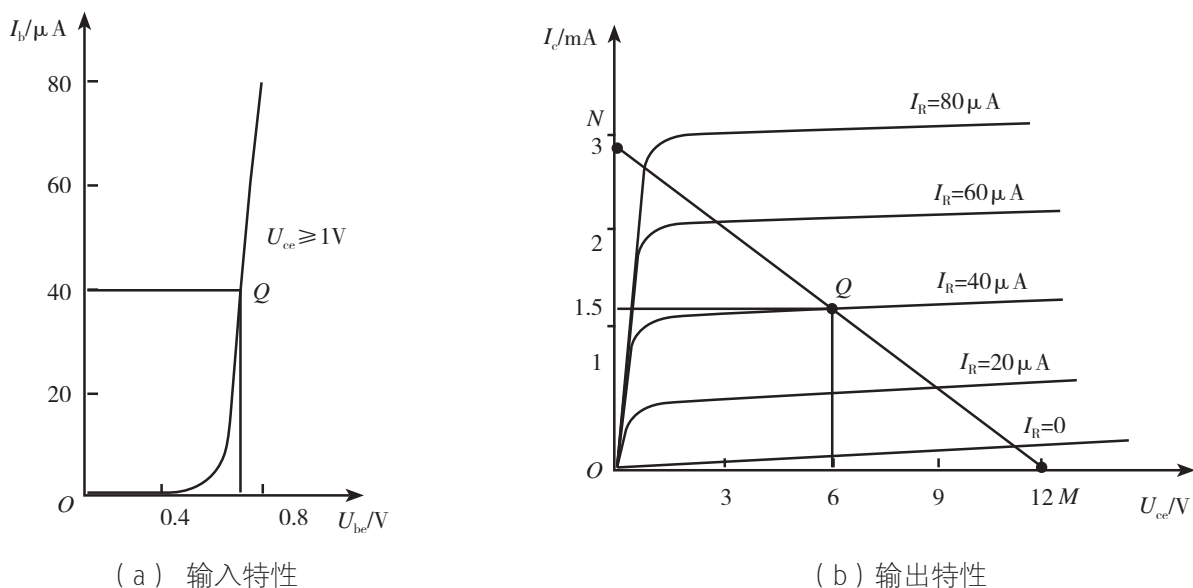


图3-16 图解法分析静态特性

思考

- (1) 在图3-15 (b) 的电路中, 如果三极管的放大倍数为 β , 电源电压为 V_{CC} , 在静态时 (没有加入信号) 基极的静态电流为 I_b , 那么对应的 I_c 、 U_{ce} 分别是多少?
- (2) 在图3-16 (b) 上, 有一条直线 NM , 当 I_b 变化时, 点 Q 只在直线 NM 上移动, 为什么?

电路中的 R_c 起什么作用呢? 因为晶体三极管是一个电流放大器件, 即 $I_c = \beta I_b$, 而很多时候我们需要放大器输出电压信号。接入 R_c , 就会使 I_c 在 R_c 的两端产生电压, R_c 的作用就是将输出的电流 I_c 转变成对应的输出电压。 R_c 称为负载电阻, 而由它决定的图3-16 (b) 中的直线 NM , 称为负载线。

立即行动

按图3-17连接电路, 调节 R_{b1} , 观察电压表的变化。

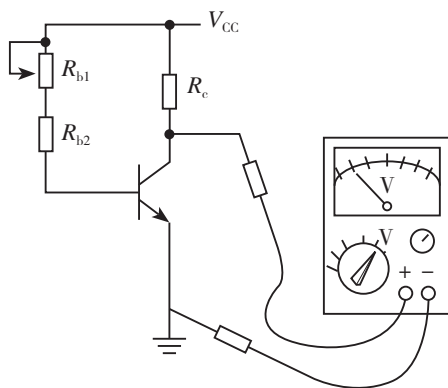


图3-17 测量电路的输出

第三节 基本数字逻辑电路

学习目标

- 知道与门、或门、非门、与非门和或非门等基本逻辑门的逻辑关系。
- 能分析简单的组合逻辑电路，会填写真值表，能画出波形图。
- 能使用软件对电路进行仿真试验。

门电路是构成数字电路的基本单元，它的输出状态（信号）由输入状态（信号）决定。最为基本的门电路是与门、或门和非门。

一、与门

在生活中，有些事要在几个条件同时满足时才可实现，如在一个学生专场的活动中必须同时持有学生证和入场券的人员才可入场，若仅有其中一种，便不能入场（图3-18）。

当所需条件同时满足（为真）时，结果才为真的逻辑关系，称之为“与”。在图3-19（a）所示的电路中，只有当 S_1 、 S_2 这两个开关同时闭合时灯泡才会亮。如果将开关的闭合和灯泡发光视为真，则图3-19（a）是一个“与”关系的电路。“与”关系的逻辑表达式为

$$F = A \cdot B$$

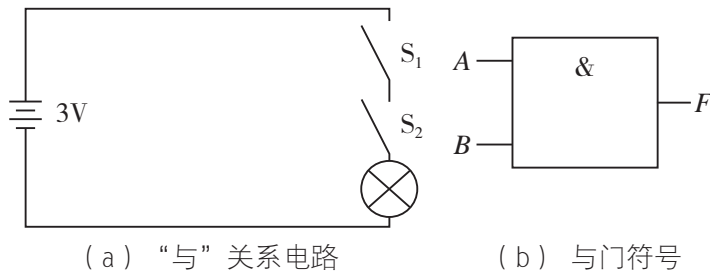
在数字电路中，将高电平即“1”视为“真”，并用图3-19（b）的符号表示一个有两输入端的与门。它的逻辑关系为：当两个（所有）输入端信号为高电平“1”时，输出才为高电平“1”，即“全1出1，有0出0”。

我们也可以利用一张表格来描述一个逻辑门的输入和输出的关系，将输入量填在表左边的列中，输出量填在表右边的列中，这样的表格称为真值表。设 A 、 B 为输入， F 为输出，表3-3就是一个有两输入端的与门的真值表。

电路中的信号是经常发生变化的，这时用波形图来描述输入输出的关系更为直观。图3-20是输入信号 A 、 B 在不断变化时，与门的输入与输出的关系波形图。



图3-18 生活中的“与”关系



(a) “与”关系电路

(b) 与门符号

图3-19 与门

表3-3 两输入端与门的真值表

A	B	F
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

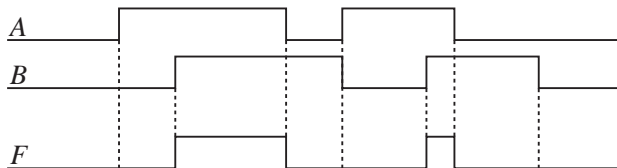


图3-20 两输入端与门波形

立即行动

1. 一个有A、B、C三输入端的与门，输入信号A、B、C的波形如图3-21所示，画出相应于输入波形的输出波形F。

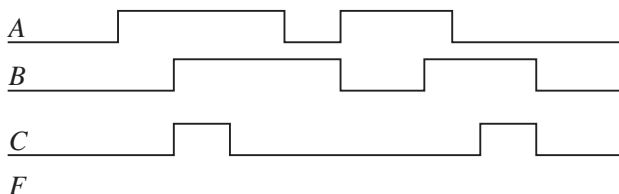


图3-21 三输入端与门输入波形

2. 让我们为幼儿园的小朋友制作一个智力玩具。要求一个小朋友在猫和兔中选择一种动物，然后由另一个小朋友选择这种动物喜欢吃的东西。选对了，发光管会亮，否则发光管不亮。图3-22是这一玩具的参考电路图，图中与门可采用CT74LS08中的与门电路。尝试在万能电路板上焊接并测试此电路。

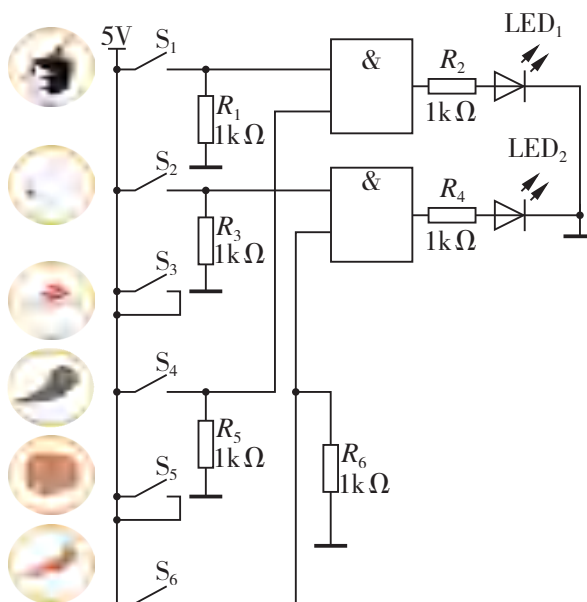


图3-22 智力玩具参考电路

二、或门

有的时候，只要有一个条件满足，事件就可成立，如学生的请假条，父母任一方签字均有效（图3-23）。

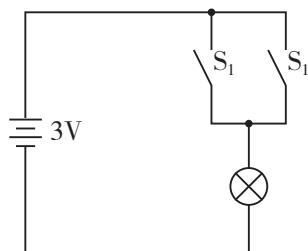
当所需条件至少有一个满足（为真）时，结果就为真的逻辑关系，我们称之为“或”。图3-24（a）表示了一个“或”关系的电路。电路中，开关 S_1 、 S_2 任一闭合，灯泡都会发亮。“或”关系的逻辑表达式为

$$F = A + B$$

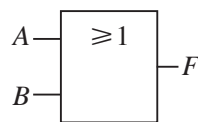
在数字电路中，用图3-24（b）的符号表示一个有两输入端的或门。它的逻辑功能为：只要有一个输入端为高电平“1”，输出即为高电平“1”，即“有1出1，全0出0”。



图3-23 生活中的“或”关系



(a) “或”关系电路图



(b) 或门符号

图3-24 或门

假设用A、B表示一个或门的输入信号，F表示输出信号，则可得到表3-4所示的真值表。图3-25是输入信号A、B在不断变化时或门的输入、输出关系波形图。

表3-4 两输入端或门的真值表

A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

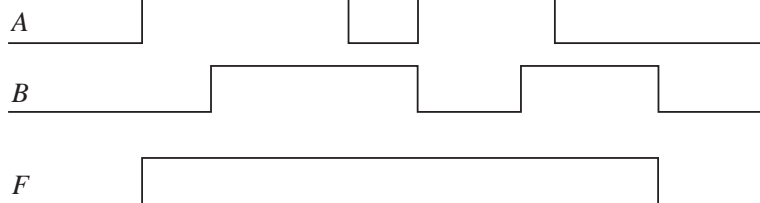


图3-25 两输入端或门波形

立即行动

一个有A、B、C三输入端的或门，A、B、C端的波形如图3-26，画出相应于A、B、C波形的输出波形F。

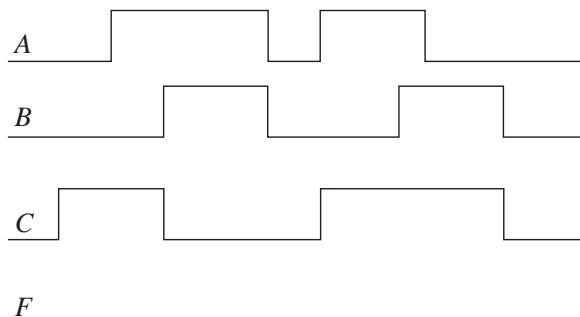


图3-26 三输入端或门输入波形

三、非门

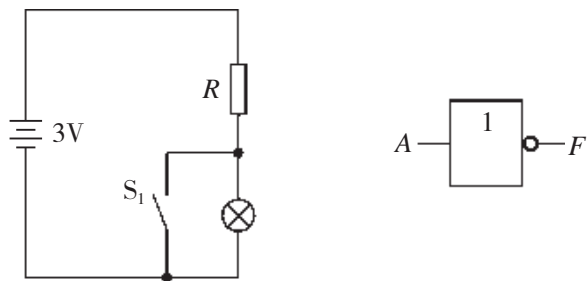
条件为真、结果为假，条件为假、结果为真的逻辑关系，称之为“非”。图3-27 (a) 示出了一个“非”关系的电路。在电路中，当S₁闭合（为真）时灯泡不亮，而S₁断开（为假）时，灯泡发光。“非”关系的逻辑表达式为

$$F = \bar{A}$$

在数字电路中，用图3-27 (b) 的符号表示一个非门。它的逻辑功能为：输入为高电平“1”，输出为低电平“0”；输入为低电平“0”，输出为高电平“1”，即“有1出0，有0出1”。表3-5是非门的真值表。

表3-5 非门的真值表

A	F
0	1
1	0



(a) “非”关系电路图 (b) 非门符号
图3-27 非门

立即行动

1. 非门输入端A的波形如图3-28，请画出输出波形F。

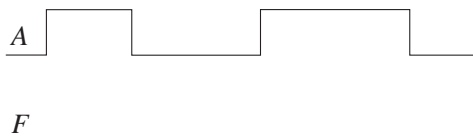


图3-28 非门输入波形

2. 简易电子密码器的设计与制作。

设计一个采用二进制数值输入密码的密码器。图3-29所示的是一个密码为二进制数101100的密码器电路。图中用一个发光二极管来指示密码器的输出状态，发光二极管发光表示密码正确，否则表示密码错误。如果我们用密码器的输出去控制相应的电路，就可实现一些保密功能。你可以尝试设计不同密码的电路。图中与门可用CT74LS08（内有4个两输入端的与门），非门可用CT74LS04（内有6个非门）。尝试在万能电路板上焊接并测试CT74LS04中的非门电路。

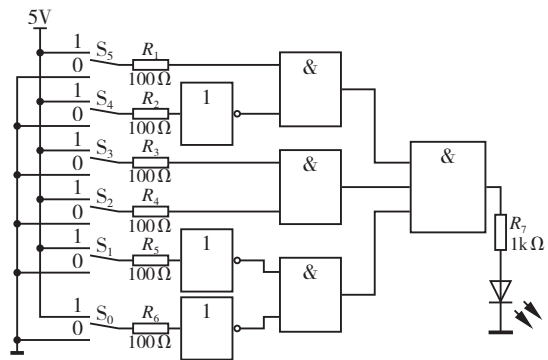
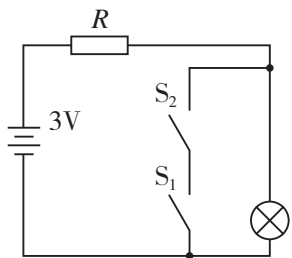


图3-29 简易电子密码器电路

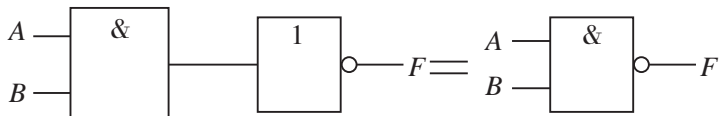
四、与非门、或非门



如果将一个与门和一个非门按图3-30所示电路图连接，那么就可以形成一个新的逻辑关系——“与非”关系。



(a) “与非”关系电路图



(b) 与非门等效图

(c) 与非门符号

图3-30 与非门

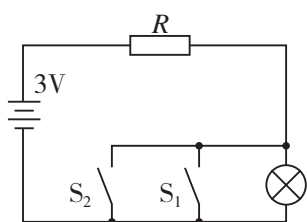
图3-30 (a) 所示是一个“与非”关系的电路。电路中， S_1 、 S_2 这两个开关都闭合（为真）时，灯泡不亮，否则灯泡发光。“与非”关系的逻辑表达式为

$$F = \overline{A \cdot B}$$

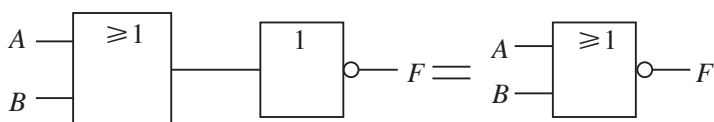
在数字电路中，与非门的逻辑功能为：输入端只要有一个为低电平“0”，输出即为高电平“1”；所有输入端全为高电平“1”时，输出才为低电平“0”。即“有0出1，全1出0”。

图3-31 (a) 所示是一个“或非”关系的电路。电路中， S_1 、 S_2 这两个开关只要有一个闭合（为真），灯泡就不亮；当 S_1 、 S_2 全部打开（为假）时，灯泡才发光。“或非”关系的逻辑表达式为

$$F = \overline{A+B}$$



(a) “或非”关系电路图



(b) 或非门等效图

(c) 或非门符号

图3-31 或非门

在数字电路中，或非门的逻辑功能为：输入端只要有一个为高电平“1”，输出即为低电平“0”；输入端全为低电平“0”时，输出才为高电平“1”。即“有1出0，全0出1”。

立即行动

图3-32中， A 、 B 为输入信号，分别画出采用与非门和或非门时的输出波形，并列出自的真值表。

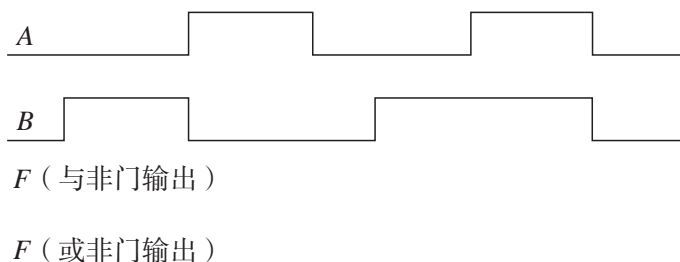


图3-32 两输入端与非门、或非门的输入波形

五、虚拟电子工作台

电子设计自动化技术能使电子产品的设计、性能分析等在计算机上完成。虚拟电子工作台就是一类能在计算机上实现电路绘制、元件选取、性能仿真的软件（如Multisim、EWB等）。这类软件的操作界面大多相似，一般都有仿真的手段切合实际，选用元器件和仪器与实际情况相近的特点。绘制电路图需要的元器件、电路仿真需要的测试仪器一般可直接从窗口中选取，而且操作开关、按键同实际仪器相似，因此通过电路仿真，既可了解电路的性能，又熟悉了仪器的使用方法。

虚拟电子工作台的功能非常强大，很多分析方法和测试工具的使用会涉及较深的专业知识，我们只需学习最基本的使用方法与步骤，就可选择合适的虚拟电子工作台完成所学电路的分析与测试。

1. 测试电路图

这个电路只有一个两输入端的与非门。为了测试这个与非门的特性，我们分别在它的输入端接上频率分别为1 000Hz和100Hz的2个信号源，同时用一个示波器观察与非门的输出。电路如图3-33所示。

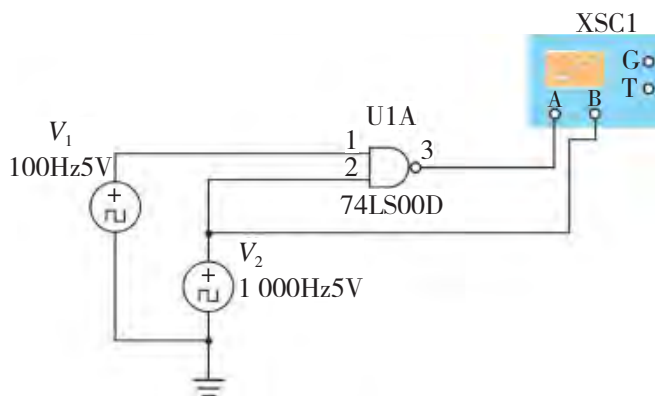


图3-33 两输入端与非门电路

2. 主窗口

虚拟电子工作台的主窗口如图3-34所示。

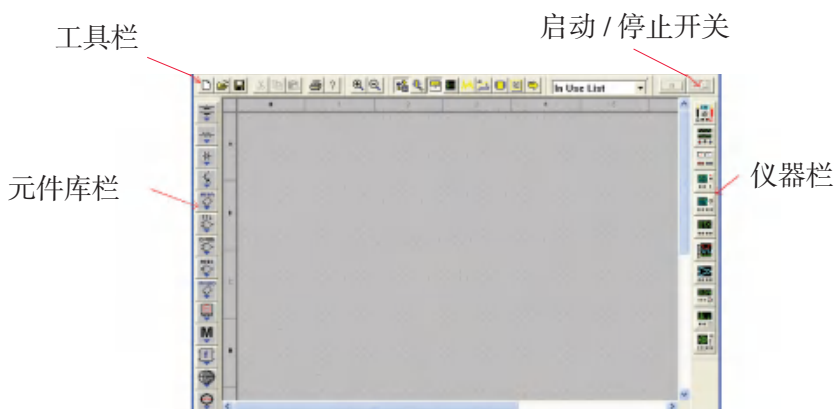
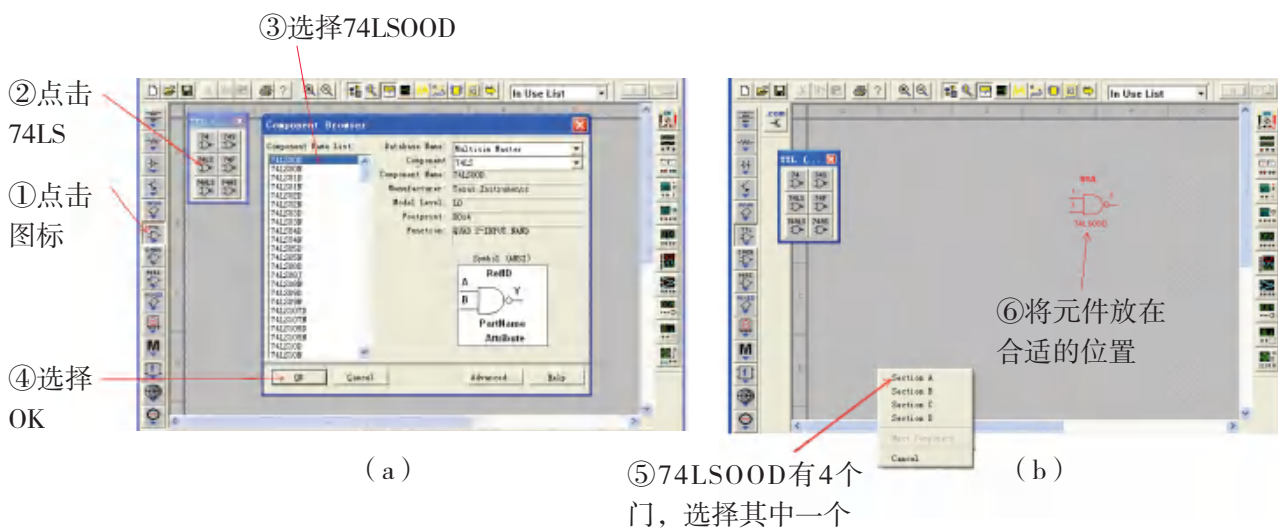


图3-34 虚拟电子工作台主窗口

3. 放置元件

虚拟电子工作台放置元件的步骤如图3-35所示。



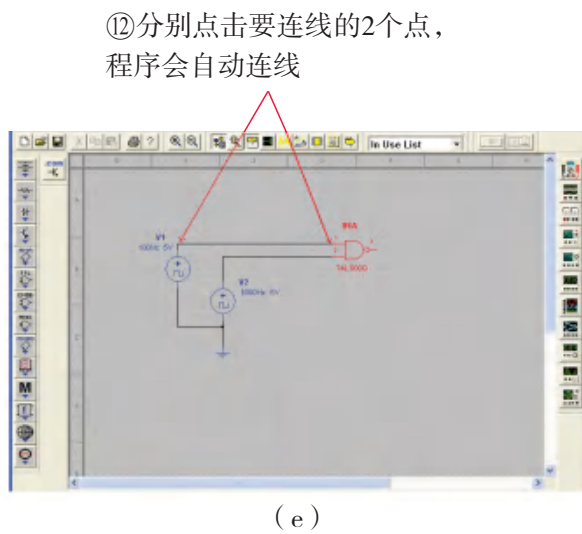
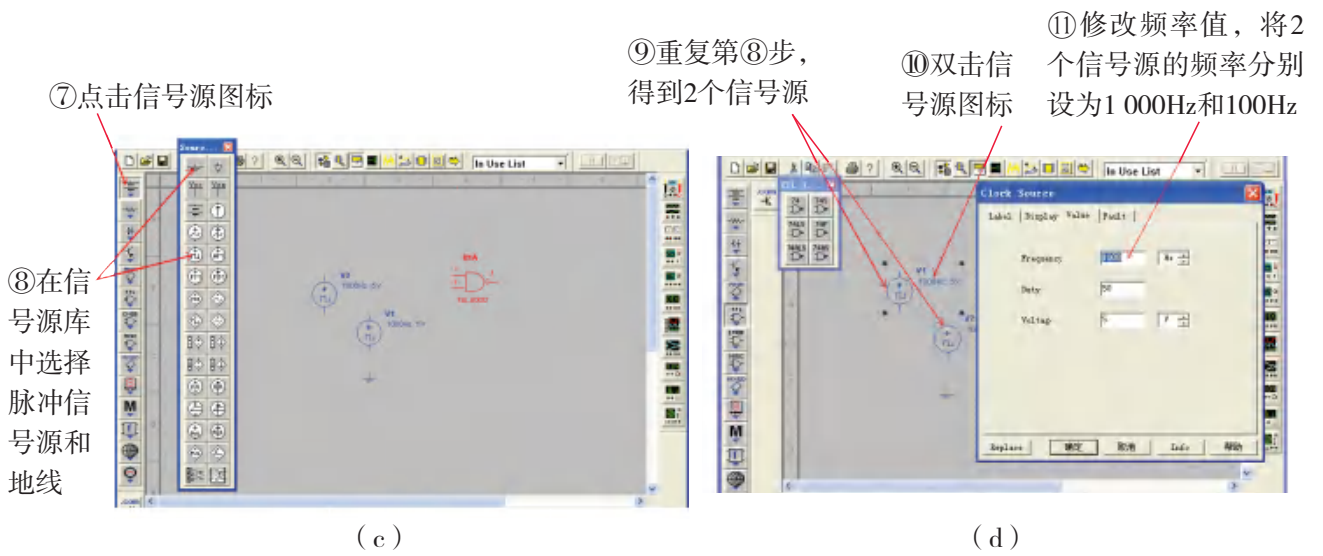


图3-35 虚拟电子工作台放置元件

4. 放置测试仪器

虚拟电子工作台放置测试仪器的方法如图3-36所示。

- ②将示波器放在合适的位置并按图连线
- ①点击示波器图标

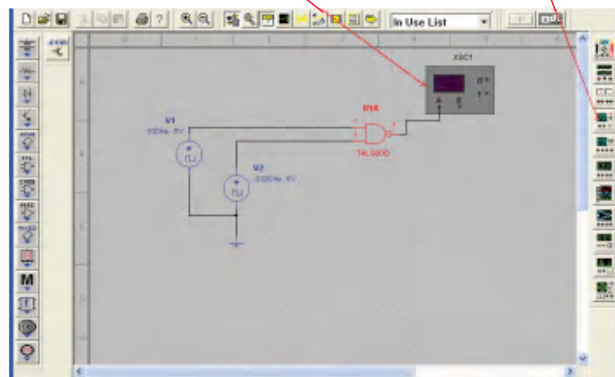


图3-36 虚拟电子工作台放置测试仪器

5. 开始仿真

图3-37 (a) 中所示的示波器是双踪示波器（可同时测试2个信号），按照图中所示的步骤，我们可以观察电路中2个点的信号。按图3-37 (b) 所示的第④步中选择Color项，出现下面的颜色选择框，选择一种颜色，所选颜色就是示波器显示该信号的颜色。为使显示的2个波形更明显，通常将2个信号用不同的颜色显示。我们完成的虽然是一个简单的电路仿真，但同学们不难根据这些步骤设计、仿真出更复杂的电路。

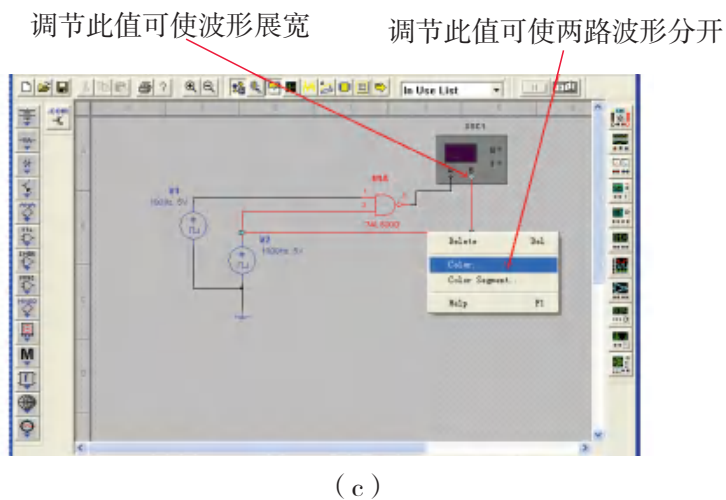
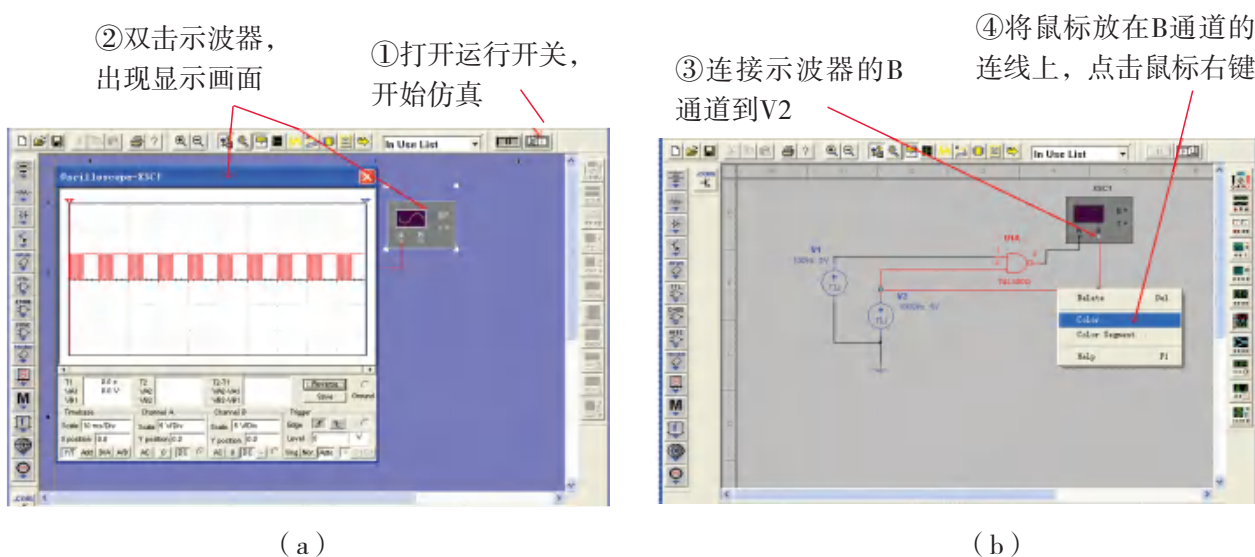


图3-37 开始仿真

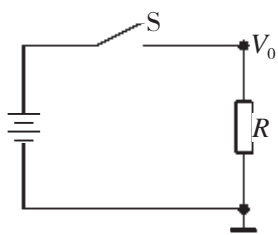
第 四 节 数字集成电路及其应用

学习目标

- 举例说明晶体三极管的开关特性及其在数字电路中的应用。
- 了解常见的数字集成电路的类型。
- 能用数字集成电路安装简单的实用电路。

一、晶体三极管的开关特性

在图3-38 (a) 中, 把开关S的开、关状态看作输入信号, 把电压 V_o 的有无看作输出信号, 这种输入、输出的关系可用图3-38 (b) 表示。用“0”表示开关断开, 用“1”表示开关闭合。输出电压的有无也分别用“1”和“0”表示, 得到图3-38 (c) 所示的真值表。



(a)

S	V_o
闭合	有电压
断开	无电压

(b)

S	V_o
1	1
0	0

(c)

图3-38 简单开关电路

机械开关的体积大、开关速度慢, 因此在实际的电路中, 很少用一个机械开关来产生“0”和“1”。图3-39是用一个晶体三极管组成的非门电路。若S接B, V_i 为低电平“0”, 则晶体三极管截止, 集电极输出为高电平“1”; 若 V_i 为高电平“1” (S接A), 晶体三极管导通, 集电极输出为低电平“0”。表3-6为这个电路的真值表。

表3-6 电路真值表

V_i	V_o
1	0
0	1

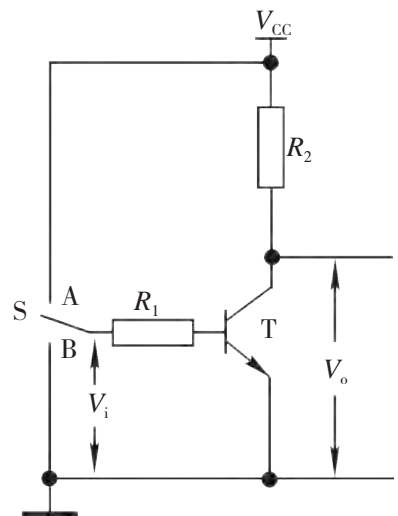


图3-39 三极管开关电路

讨论

图3-38(c)与表3-6的逻辑关系有何不同?如何用晶体三极管实现与图3-39逻辑功能相同的电路?

设计与实践

1. 按图3-40接好电路。
2. 将输入端接地,电阻 R_c 两端的电压 $U_R = \underline{\hspace{2cm}}$ V,此时电流 $I_{ce} = \underline{\hspace{2cm}}$ mA,三极管处于 $\underline{\hspace{2cm}}$ (“导通”或“截止”)状态;三极管集电极c与发射极e之间的电压 $U_{ce} = \underline{\hspace{2cm}}$ V,属于 $\underline{\hspace{2cm}}$ 电平 (“高”或“低”)。

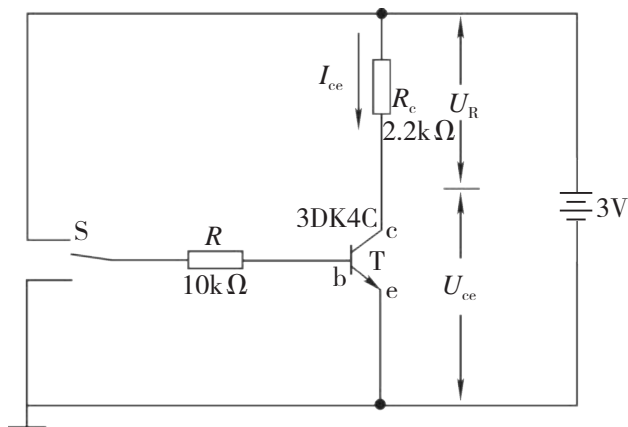


图3-40 晶体三极管的开关特性

3. 将输入端接3V电压,用多用电表测量电阻 R_c 两端的电压 $U_R = \underline{\hspace{2cm}}$ V,此时电流 $I_{ce} = \underline{\hspace{2cm}}$ mA,三极管处于 $\underline{\hspace{2cm}}$ (“导通”或“截止”)状态;三极管集电极c与发射极e之间的电压 $U_{ce} = \underline{\hspace{2cm}}$ V,属于 $\underline{\hspace{2cm}}$ 电平 (“高”或“低”)。
4. 用学习本章第一节时制作的逻辑笔,检测三极管各端在两种情况下的逻辑状态。
5. 想一想,晶体三极管可以作为开关吗?

晶体三极管是组成各种数字电路最基本的器件,现在可以在一个芯片上集成多达 10^9 个晶体三极管。由这些晶体三极管组成的电路,可以实现各种复杂的逻辑功能。根据采用不同类型的晶体管,数字集成电路主要有TTL(transistor-transistor logic)与CMOS(complementary metal oxide semiconductor)两种类型。CMOS电路容易制成集成度很高的芯片,而且功率损耗也比TTL电路小,所以目前大部分集成电路都是采用CMOS工艺制造的。但CMOS也有它的缺点,与TTL相比,CMOS的工作速度较慢。两种类型的集成电路的结构和电气性能有较大差异,在使用时要对它们的特性有所了解。

TTL与CMOS部分参数的比较见表3-7。

表3-7 TTL与CMOS部分参数比较(在5V电源情况下)

项 目	TTL	CMOS
工作电压	5V	3~18V
最高工作频率	35~125MHz	25MHz
工作温度	0~70℃	-40~85℃
高电平	2.4~5V	3.5~18V
低电平	0~0.8V	0~1.5V
功率消耗	大	小

二、数字集成电路的应用

集成电路使用的注意事项：

- (1) 使用时电源电压不要超过规定的最大电压，特别要注意电源极性，不能接反。
- (2) 焊接每个引脚时，焊接时间不要过长（最好 $<10s$ ）。
- (3) 引脚序号不能搞错。
- (4) TTL型与CMOS型集成电路混合使用时，应注意两种电路逻辑电平的匹配。

设计与实践

两人抢答器的设计

设计要求

在很多智力竞赛中，都有抢答的项目（图3-41）。该设计要求完成1个两人抢答器，具体要求如下。

1. 每人一个按键，按下为高电平，不按为低电平。
2. 电路有2个指示灯，每人对应1个。
3. 最先按下者对应的灯亮，此后，另外一人即使按下，对应的灯也不亮。

参考电路

图3-42是根据题目要求给出的一个参考电路。图中与门电路可用CT74LS08，非门电路可用CT74LS04。

设计的优化

1. 图3-42的电路虽然可以实现谁先按，谁的灯先亮，但先按者的手一放开，其灯就会灭。能不能设计一个只要谁先按下，不管按后放不放手，其灯都一直亮着，而其他人即使再按开关灯也不亮的电路呢？解决这个问题的关键，就是要电路能够“记住”刚才的状态。数字电路中能够记忆电路状态的电路是触发器。图3-43是使用D触发器

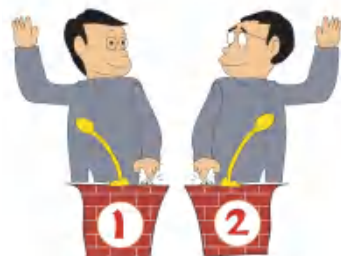


图3-41 两人抢答

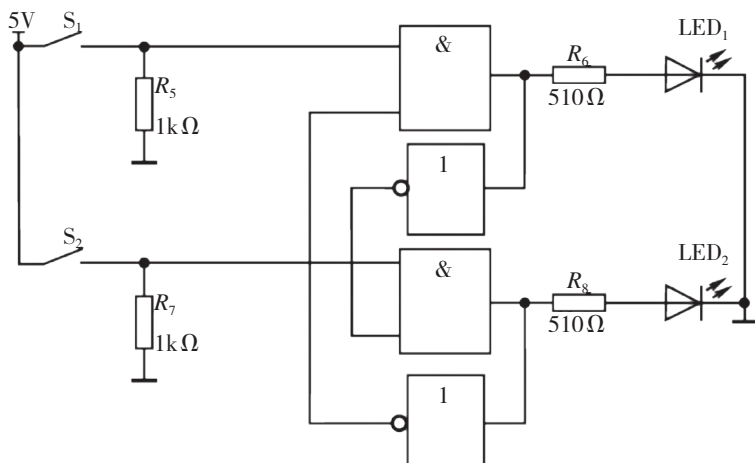


图3-42 两人抢答器参考电路

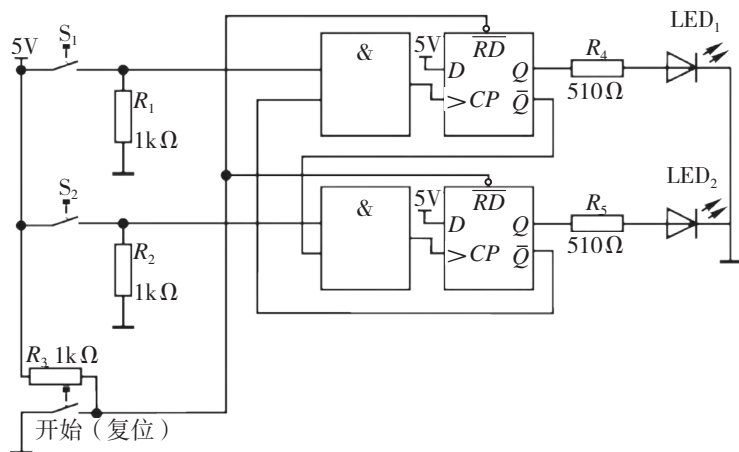


图3-43 优化后的两人抢答器电路

完成上述要求的参考电路。*D*触发器可选用CT74LS74（内有2个*D*触发器）。

2. 在两人抢答器的基础上设计制作一个4人抢答器。几种常用的集成逻辑门引脚如图3-44所示。

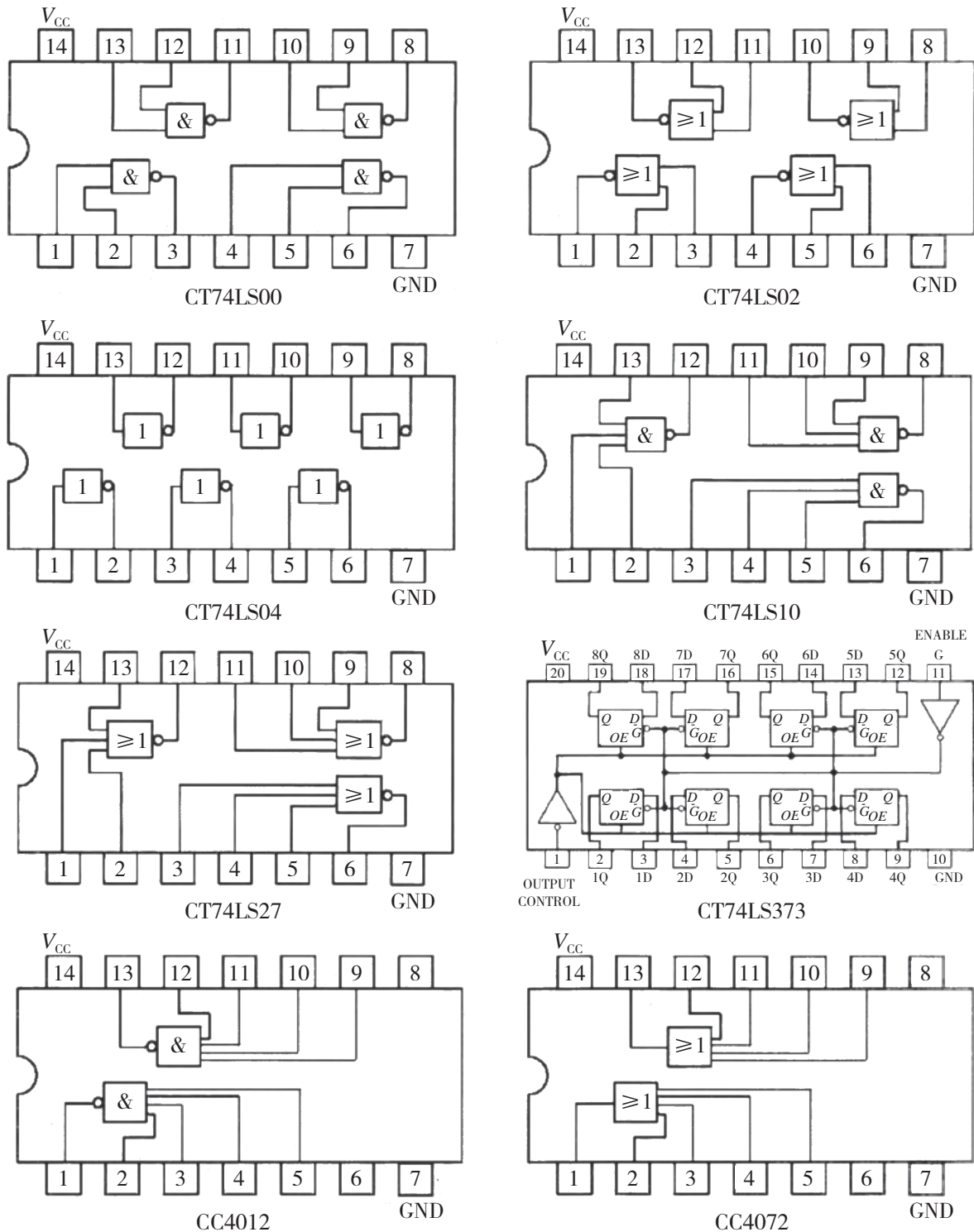
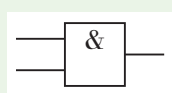
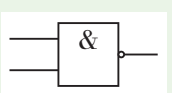
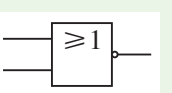
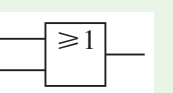
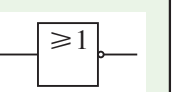
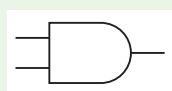
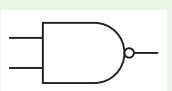
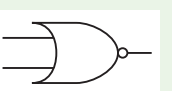
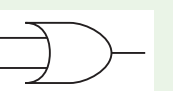
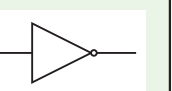


图3-44 常见的集成逻辑门引脚

我们在其他资料还可能看到另外一种门电路的符号，它们与国家标准符号的对应关系如表3-8。

表3-8 不同标准的门电路符号

国家标准					
其他标准					

参观与调查 >

调查主题——未来数字技术的应用

调查项目

围绕主题，选择下列一项开项调查活动：

1. 数字技术在生活中的应用。
2. 数字技术在工业、农业及国防上的应用。
3. 数字集成电路的发展。

组织与分工

每3~5人一组，自由组合。各小组要对任务进行具体的分析，并依据各成员的特长做出适当的分工。此外，要对开展的内容进行细化，在时间和人员方面做出具体的安排等。

调查方案

制作调查方案，调查可以采用走访、查阅资料、上网查阅等形式相结合地进行。

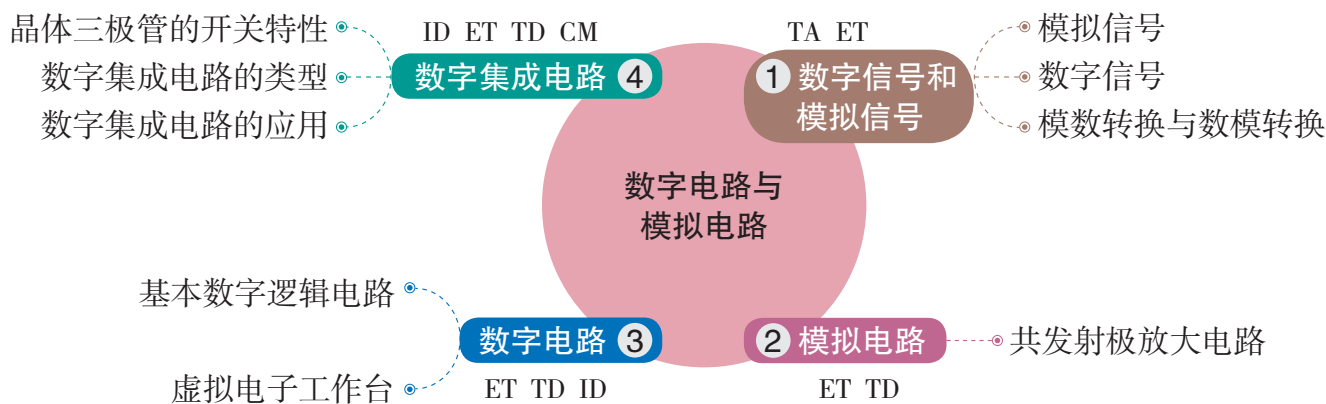
1. 上网调查。在选择网站时，要结合“数字技术、集成电路”等关键词进行搜索。
2. 查阅图书资料。以上网调查所获得的信息为线索，查阅（包括上网查阅）相关图书资料，例如《集成电路手册》，获取相关集成电路的详尽资料。

交流与评价

写出调查报告，重点陈述数字技术的发展动态和趋势，并分组交流、评价。在此基础上对调查报告做进一步的修改，形成最终的调查报告。

本章回顾与评价

一、学习内容梳理



说明：TA—技术意识，ID—创新设计，ET—工程思维，TD—图样表达，CM—物化能力

二、学习评价

评价内容	评价方式		
	自评	互评	师评
能测量电子控制装置中的信号，了解模拟信号和数字信号的特性			
知道数字信号中“1”和“0”的含义			
能阐述模拟信号和数字信号各自的优点和局限性，了解信号相互转换的原理			
知道简单的晶体三极管共发射极放大电路的组成和工作原理，掌握晶体三极管在模拟电路中的运用			
能阐述基本逻辑门的逻辑关系			
会分析简单的组合逻辑电路，填写真值表，画出波形图，能使用软件对电路进行仿真试验			
能说明晶体三极管的开关特性及其在数字电路中的应用；了解常见的数字集成电路的类型，用数字集成电路安装简单的实用电路			
说明：A—优秀，B—良好，C—合格，D—待改进			

通过本章的学习，你的核心素养得到了哪些发展？



第四章 传感器与继电器

我们通过眼睛观察多彩的世界，用耳朵聆听大自然美妙的声音。我们的感觉器官使我们时刻感觉到外部世界的复杂变化，并通过大脑控制或调整自身的状态，以适应环境的变化。那么，在电子控制系统中，又是通过什么来获取外部信息，最终完成控制任务的呢？

第一节 认识常见的传感器

学习目标

- 认识温度传感器、光传感器等常见的传感器。
- 能用多用电表检测传感器的特性。

一、什么是传感器

案例

(1) 当我们走近自动门(图4-1)时,门会自动开启。门怎么会知道有人走近呢?

(2) 当电冰箱(图4-2)内的温度降到我们预先调定的温度值时,制冷系统会停止工作;当温度升高,超过设定温度值时,制冷系统又会重新工作。电冰箱的控制系统是如何感知温度的高低的呢?

(3) 当我们到超市购物的时候,结账时收银员只需用条码扫描器(图4-3)对准货物上的条码扫描一下,就知道货物的名称和价格,这是怎么做到的呢?



图4-1 自动门



图4-2 电冰箱



图4-3 条码扫描器

原来在自动门控制系统中安装的检测是否有人走近装置,在电冰箱控制系统中安装的检测温度装置,都是传感器。传感器是能够感受规定的被测量并按照一定的规律将其转换成可用输出信号的器件或装置。

由于电子控制系统是目前应用最广泛的控制系统，所以，大多数的传感器都是将被测的非电信号转换成电信号输出。图4-4所示的框图描述了传感器的功能。

传感器所感受的是非电信号，这些非电信号有温度、湿度、亮度、位移、力等物理量，也有空气中的有害气体、水中的污染物质等化学量，甚至还有酶、微生物等与生物相关的生物量。传感器能够将这些信号全部转换成便于输出和处理的电信号。

思考

你使用过感应式水龙头（所谓感应式水龙头，是指当手靠近水龙头时，水会自动流出来；手离开时，水即停止流出的一种节水装置）洗手吗？试想一下它是怎样工作的（图4-5）。

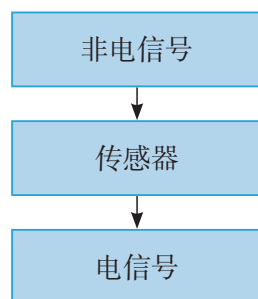


图4-4 传感器的功能



图4-5 感应式水龙头

二、传感器在电子控制中的作用

为什么一定要用传感器来完成检测信息的工作呢？因为电子控制系统的控制过程是由电子电路来完成的，电子电路所能处理的只能是电信号。比如在自动门和电冰箱的例子中，人是否走近、温度是高是低，这些信息都不是电信号，必须将这些非电信号转换成电信号才能用电子电路来处理，实现电子控制（图4-6）。

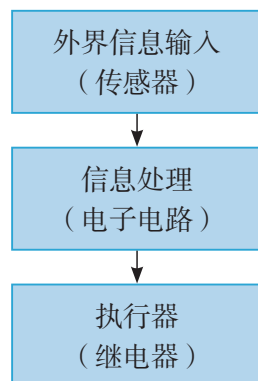


图4-6 传感器在电子控制系统中的作用

案例

如图4-7所示，机器人是最典型的电子控制系统，传感器作为电子控制系统中外界信息的入口，就好比人的感觉器官，它使电子控制系统有了眼睛、耳朵、鼻子……能够看得见、听得到、嗅得出，能对各种信息做出反应。

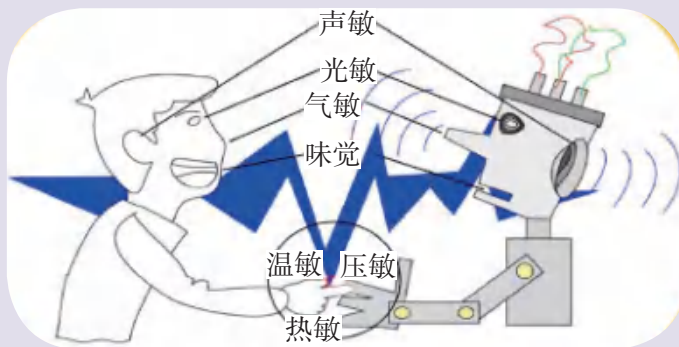


图4-7 人与传感器

如果将计算机比作机器人的大脑，那么传感器就是机器人的感觉器官。没有功能正常的感觉器官，大脑就不能发挥其应有的作用。

分析

你知道哪些采用了传感器的电子控制实例？分析传感器在其中所起到的作用。

三、认识传感器

传感器一般由敏感元件和输出部分组成。敏感元件是传感器中能直接感受被测信息并把它转换成电信号的部分，是传感器的核心。

1. 温度传感器

我们的生活与温度关系密切，经常需要根据不同的目的对温度进行控制。电冰箱、空调器就是我们常用控制温度的家用电器，而这些电器的工作都离不开温度传感器。

温度传感器是将温度量转换为电信号的装置。

热敏电阻是一种用半导体材料制成的热传感器，它的特点是电阻值随温度变化而显著变化，将它接在电路中，就能直接将温度的变化转换为电量的变化。热敏电阻具有灵敏度高、体积小、工作稳定、寿命长的优点，应用很广泛。

立即行动

观察热敏电阻的温度特性

准备一个热敏电阻，可选择型号MFD103-36（或其他型号）；一个多用电表；一个电吹风。

用多用电表的欧姆挡测量室温下热敏电阻的阻值，这一电阻的阻值约 $10\text{k}\Omega$ ，然后用手握着热敏电阻（图4-8），观察电表的示数，可以看到热敏电阻的阻值减小。再用电吹风对热敏电阻加热5s，可以看到热敏电阻的阻值进一步下降。停止对热敏电阻加热，热敏电阻冷却后阻值又回到加热前的阻值。把试验的结果记录在表4-1中，并仔细观察和思考试验过程中温度与阻值的关系。



图4-8 检测热敏电阻

表4-1 检测热敏电阻

检测条件	热敏电阻值
室温	
手握	
用电吹风加热	
室温	

以上试验中的热敏电阻的阻值随温度升高而降低，我们将这种热敏电阻称为负温度系数热敏电阻。此外，还有一种热敏电阻的阻值则随温度的升高而增大，我们称它为正温度系数热敏电阻。这两种热敏电阻分别用在不同的场合，负温度系数热敏电阻用得较多。

热敏电阻能将环境温度的变化转换为电阻值的变化，这种把感受外界信号的变化转换为电阻值变化的传感器称为电阻性传感器。应用时，将电阻性传感器接在电路中，这样就可以通过电阻的变化得到电压或电流的变化，如图4-9所示。

热敏电阻主要由电阻芯（热敏探头）、外壳和电极引线三部分组成，如图4-10所示。

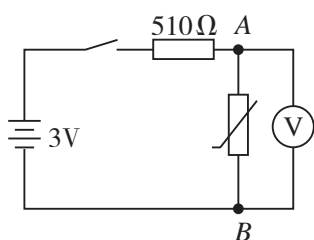


图4-9 热敏电阻应用电路

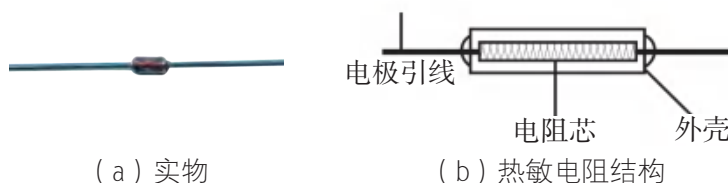


图4-10 热敏电阻

分析

在图4-10中，电压表的指针是随着温度的变化而变化的。如果把电表面板的电压指示值改为对应的温度值，是不是该电表就成了一个电子温度计呢？

2. 光传感器

城市街道和公路上的路灯（图4-11）、航道上的航标灯，都需要夜明昼熄，为实现这一控制，通常采用带有光传感器的电子控制系统。系统中的光传感器感受到昼夜亮度的变化，使系统自动控制电灯的开或关。

光传感器是将光信号转换为电信号的装置。

光敏电阻（图4-12）是用半导体材料制成的光敏感元件，它的特点是电阻率随光照强度变化而变化。将光敏电阻接在电路中，就能直接将光信号的变化转换为电信号的变化。光敏电阻具有灵敏度高、体积小、工作稳定、寿命长的优点。

在遮光（暗光）条件下，光敏电阻的阻值一般 $>10\text{M}\Omega$ ；在光照条件下，光敏电阻的阻值随着亮度的增强迅速减小到几十千欧甚至更小。

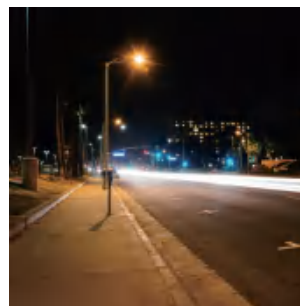
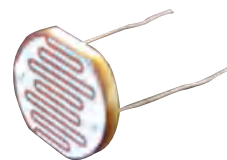
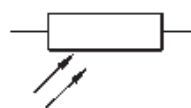


图4-11 路灯



(a) 实物



(b) 光敏电阻电路符号

图4-12 光敏电阻

立即行动

观察光敏电阻的特性

用多用电表来检测光敏电阻（图4-13）。准备一个光敏电阻（型号不限）、一个多用电表。



图4-13 检测光敏电阻

仔细观察光敏电阻在室内光线照射下、用手遮盖下和用阳光或灯光照射下三种情况下电阻的变化，并将结果记录在表4-2中。

表4-2 检测光敏电阻

光敏电阻的环境亮度条件	电表指示的阻值
室内光线照射	
用手对光敏电阻遮光	
用灯光或阳光照射光敏电阻	
恢复室内光线照射	

通过试验，我们可以看到光敏电阻的阻值随着光照强度的变化而变化，光照强度越强，光敏电阻的阻值越小。

光敏电阻和热敏电阻一样，属于电阻性传感器，其电阻值都可以用多用电表来检测。但是，检测非电阻性传感器一般用多用电表直接测量难以得到准确结果，而要将传感器接到一个合适的电路中，检测测试点的电压或电流的变化。如果变化太小，还需要用到放大电路才能进行检测。

立即行动

图4-14是一个简易的光控电路，LED是一个发光二极管，R是一个光敏电阻（型号：CDS60-90K），S为电源开关。当光照到光敏电阻上时，光敏电阻阻值减小，电路中电流增大，发光二极管会发光；当用手遮住光敏电阻时，发光二极管不亮。

如果希望有光照时发光二极管不亮，无光照时发光二极管亮，则电路应如何设计？

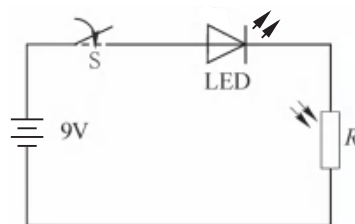


图4-14 简易光控电路

第二节 传感器及其应用

学习目标

- 知道各种传感器的作用及其应用。

一、温度传感器的应用

除了在家用电器的电子控制系统中应用温度传感器外，利用热敏电阻对温度变化的高灵敏度还可以制成适宜测量微小物体或物体局部温度的测温计。这种测温计可以用来测量运行中的电机轴承的温度、晶体管的温升、植物叶片温度，以及人体内血液的温度等。在电子电路中，一般都用热敏电阻组成的温度保护电路对电路中的重要部件的温度进行监测，当温度超过限定值时，启动保护电路。

现代化农业、工业生产中（图4-15）需要控制温度时，都会使用由温度传感器组成的自动温度控制系统，使得生产效率提高，保证产品质量。



图4-15 现代化工厂

知识窗 >

热 电 偶

两种不同材料的导体或半导体A、B串接成一个闭合回路，如图4-16，并使接点1和接点2处于不同的温度 T 、 T_0 ，那么回路中就会存在电动势，因而就有电流产生，这一现象称为热电效应。回路中的电动势称为热电动势，回路中产生的电流称为热电流，导体A、B称为热电极。测温时，接点1置于被测的温度场中，称为热端；接点2一般处在某一恒定温度，称为冷端。由这两种导体组合并将温度转换为热电动势的传感器，称为热电偶。



图4-16 热电效应示意

热电偶可作为温度传感器的敏感元件，它的测量范围很宽，低温可测到 -500°C ，高温可测到 $1\ 600^{\circ}\text{C}$ 。这种传感器在工业生产中得到广泛应用，如炼钢厂检测钢水的温度。

讨论

你还知道哪些温度传感器的应用例子？

二、光传感器的应用

常见的光传感器有光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管、光电池等。光传感器能在光源的配合下识别物体，为自动化设备、计算机和智能机器人提供信息，是目前使用非常广泛的一种敏感元件。光敏器件的发展十分迅速，且品种繁多。

1. 光敏二极管和光敏三极管

除了光敏电阻，光敏二极管（图4-17）和光敏三极管也是光传感器。光敏二极管和光敏三极管的PN结装在管的顶部，上面有一个用透镜制成的窗口，以便于入射光集中照在PN结上。

从图4-17（c）中可以看到，光敏二极管是在反向偏压下工作的，即光敏二极管的负极接电源的正极，光敏二极管的正极接电源的负极。在无光照时，光敏二极管的反向电阻很大，因此只有很小的电流流过电阻 R_N ，该电流为暗电流；当有光照时，在光的激发下产生光生电流，该电流流过电阻 R_N ，在电阻上产生输出电压，从而实现了光信号到电信号的转换。



图4-17 光敏二极管

光敏三极管有2个PN结（图4-18），大多数光敏三极管的基极无引出线。光敏三极管在无光照（暗光）时截止，无电流流过电阻 R_N ；当有光照时，光敏三极管导通，有电流流过电阻 R_N 。

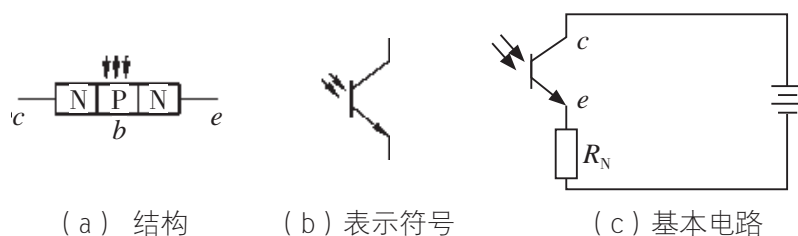


图4-18 光敏三极管

光敏二极管和光敏三极管广泛用于光控电路，如光控调光灯等。

2. 红外传感器

普通的光敏器件是对可见光敏感，而红外接收二极管则是对红外光敏感的红外光传感器。把这种二极管接在电路中，流过二极管的电流大小与入射红外光的强度有关。

红外光介于可见光和微波之间，其波长为 $0.75 \sim 1\ 000\mu\text{m}$ 。因位于可见光谱的红端以外而得名，也称为红外线。当物体的温度高于绝对零度（ -273.15°C ）时，有红外线向外辐射。所以，通过探测红外辐射的强弱，可以了解物体的形状、大小、温度高低等。

大部分自动门就是采用红外传感器检测是否有人走近。当人接近门时，红外传感器能及时探测到人体辐射的红外线，并将其转换成电信号，“告诉”控制系统将门打开。

红外传感器可制成夜视仪（图4-19）。夜视仪能帮助人们在漆黑的夜晚看到周围的景物。

红外传感器也可以用于遥感和红外摄像（图4-20）。在飞机或卫星上通过红外遥感和红外摄像，可以了解地面上农作物的生长和病虫害情况。红外传感器还可以制成非接触式的测温器，在有疫情发生时，设在公共场所（车站、机场等地）监测流动人群的体温，找出体温异常者，以避免疫情扩散。



图4-19 红外夜视仪

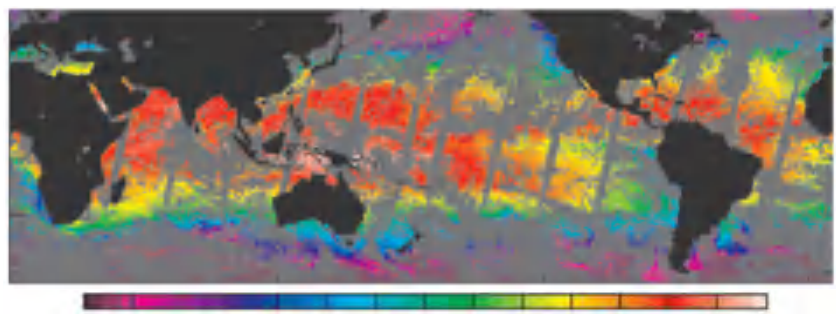


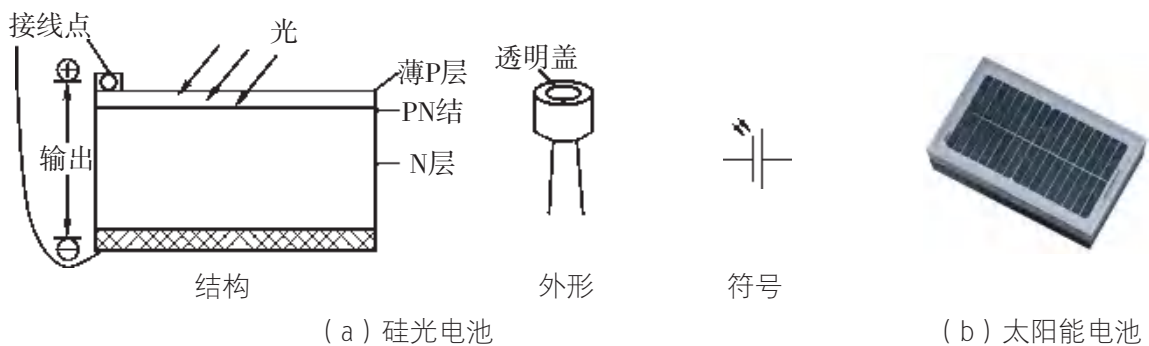
图4-20 海洋温度的红外遥感照片

红外传感器制成红外光束火灾探测器，用于仓库、厂房、住宅等场所，自动监测火灾的发生并发出报警信号。

3. 光电池

光电池（图4-21）是基于光生伏特效应制成的，也属于光传感器。光电池有较大面积的PN结，当光照射在PN结上时，在结的两端产生电动势。

硒和硅是光电池最常用的材料，图4-21（a）为硅光电池的结构和实物图。硅光电池也称为硅电池，它是用单晶硅制成的。有时为了获得更大的电能，人们将许多小的光电池集成在一起，组成面积很大的太阳能电池，如图4-21（b）所示。



(a) 硅光电池

(b) 太阳能电池

图4-21 光电池

知识窗

条码扫描器（图4-3）、数码照相机和数码摄像机（图4-22）都是利用光传感器将图像信号转换为电信号，其中电荷耦合器件（CCD）是典型的固体图像传感器。



图4-22 数码摄像机

三、其他传感器及其应用

1. 湿敏传感器

常用的湿敏传感器为湿敏电阻。湿敏电阻（图4-23）可随着空气湿度的变化而改变阻值。湿敏电阻也是电阻性传感器，可以用多用电表进行检测。

湿敏传感器可以用来检测土壤湿度和粮食、棉花等农产品的含水量。一些对湿度很敏感的仪器设备也装有湿敏传感器。

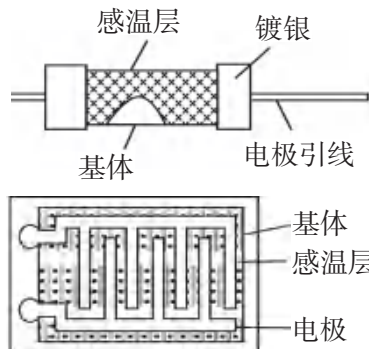


图4-23 湿敏传感器的结构

2. 磁敏传感器

（1）干簧管。干簧管的结构如图4-24所示，它的工作原理是：周围无磁场时，两个簧片相互分离，干簧管处于断开状态；当有磁铁靠近时，簧片被磁化而相互吸引，干簧管处于接通状态。所以，可以利用干簧管的通断来检测周围有无磁场。



图4-24 干簧管

（2）霍尔传感器。霍尔传感器（图4-25）是利用霍尔元件制成的传感器。霍尔元件是利用霍尔效应制成的半导体元件。

利用霍尔元件制成的位移传感器可以用来测量极小的位移，如测量机械振动等，还可以制成霍尔转速表，用于测量转速。



图4-25 霍尔传感器

3. 声敏传感器

我们用于录音的话筒是最常见的声敏传感器，它将空气的振动转换成电信号。常用的话筒有动圈式和电容式两种。

动圈式传声器的结构如图4-26所示，其振膜是一张圆形的弹性薄膜，一般用塑料或铝箔制成，其边缘固定在支架上，音圈粘在振膜上，并悬在磁钢的缝隙中。当振膜受到声波的压力而振动时，音圈切割磁力线，产生感应音频电压输出。

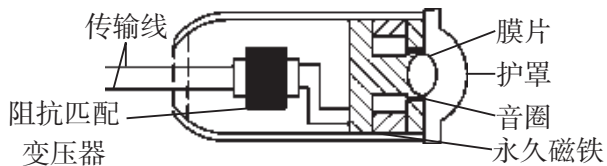


图4-26 动圈式传声器的结构

电容式传声器常用的有驻极体传声器，它是一种用驻极体材料做成的电容式传声器。驻极体是一种能永久保留表面电荷的电介质。驻极体传声器的结构如图4-27所示，其金属镀层和背极构成一个电容，这一电容

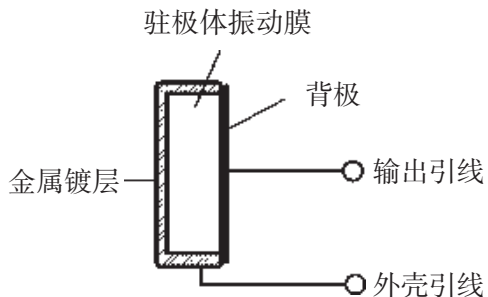


图4-27 驻极体传声器的结构

受到驻极体的静电感应而被充电。当声波使驻极体薄膜振动时，电容两端的电压随之变化，产生音频电压输出。

4. 气敏传感器

我们都知道酒后驾驶汽车很危险。交通警察使用酒精浓度测试仪检测可疑驾驶员口中呼出气体的酒精浓度（图4-28），以判断该驾驶员是否酒后驾驶。酒精浓度测试仪中就是使用了对酒精气体敏感的气敏传感器。



图4-28 检测酒精浓度

气敏传感器是获取气体信息并转换为电信号的装置。利用不同的半导体材料对不同的气体敏感的特性，可以制造出检测不同气体的各种气敏传感器（图4-29）。气敏电阻是一种气敏器件，其电阻值随被检测气体的浓度和成分而变化。



(a) 气敏传感器 (b) 烟雾报警器

图4-29 半导体气敏器件

半导体气敏器件的灵敏度很高，即使空气中待测气体的含量不到千分之一，气敏电阻的阻值也会产生很大的变化。

5. 力敏传感器

力敏传感器是一种将被测的力学量转换成电信号的装置。力敏器件有应变片（包括金属丝应变片和半导体应变片）、压电元件等。应变片的电阻值随相对形变的变化而变化。由应变片组成的称重传感器（图4-30）就是电子秤（图4-31）的核心。



图4-30 称重传感器

半导体应变片的灵敏度很高，为电阻丝应变片的几十倍，可以用在微小形变的测量中，如用于冲击波的分析，以及火箭、导弹、航空等遥测系统的测量。

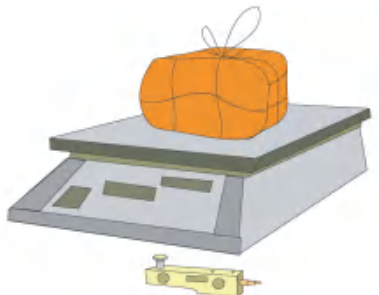


图4-31 电子秤

6. 超声波传感器

超声波传感器包括超声波发送和接收两部分。超声波是指比声波频率要高的机械振荡波。超声波的方向性好，遇到物体后会反射回来。物体的密度不同，反射的强弱不同，物体密度越大反射越强。通过接收反射波，就可以了解物体的方向和距离。超声波在水里传播的距离很远，大约是在空气中传播距离的1 800倍，因此超声波传感器成为探测水底和水中物体的神奇武器。如轮船上安装了超声波雷达，就能“看”清水下的情况；汽车的尾部装上超声波雷达，倒车时就能提示避免撞上物体 [图4-32 (a)]；用超声波传感器制成的B超探头配上信号处理器和显示器就能够看清人体内器官的情况，及时发现病变 [图4-32 (b)]。



(a) 汽车倒车雷达



(b) 超声波检测

图4-32 超声波传感器的应用

常见传感器的名称、外形和电路符号见表4-3。

表4-3 常见传感器的名称、外形和电路符号

传感器名称	外形	电路符号
热敏电阻		
光敏电阻		
声敏传感器		
称重传感器		—
霍尔传感器		
湿敏传感器		
超声波传感器		—

设计与实践

活动1 自制一个湿敏传感器

材料：一块长、宽为6cm的覆铜板，一些导线。

工具：刻刀一把，多用电表一个，电烙铁一把。

步骤：

1. 把覆铜板固定在一块木板上，以便加工。

2. 用刻刀在覆铜板的中间刻一道槽（宽度 $<1\text{mm}$ ），要将覆铜层刮掉，如图4-33（a）所示。

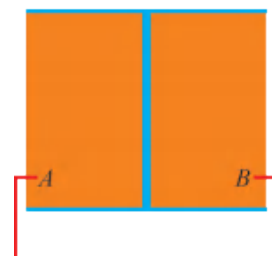
3. 用细砂纸把覆铜板擦干净，用多用电表测量A、B两点间干燥时的电阻值，一般接近无穷大。然后，滴一些水在覆铜板上，再测量A、B两点间的电阻值。由于水的导电作用，这时可以测到几十千欧至 $100\text{k}\Omega$ 的电阻值，记下这个阻值。

4. 改进这一湿敏传感器。如图4-33（b）所示，在A、B两边各加刻一道槽，再用导线分别将接点1和接点3、接点2和接点4连接起来，然后测量A、B两点有水时的电阻值，其电阻值应该比只有一道槽时更小。

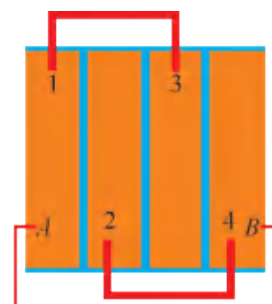
5. 如果你对这一湿敏传感器还不满意，你可以继续想办法改进。

活动2 用自制湿敏传感器制作下雨报警器

参考电路如图4-34，当传感器上有水时，电路中的发光二极管发亮，而干燥时发光二极管则不亮。A、B为自制湿敏传感器的两极。



(a) 改进前



(b) 改进后

图4-33 简易湿敏传感器

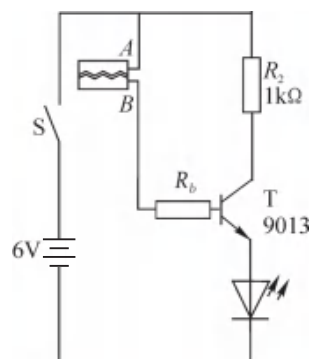


图4-34 下雨报警器电路

第三节 传感器的发展趋势

学习目标

- 了解传感器的发展趋势。

随着科学技术的迅猛发展及相关条件的日趋完善,传感器技术逐渐受到了更多人的高度重视。当今传感器技术的研究与发展,特别是基于光电通信和生物学原理的新型传感器技术的发展,已成为推动国家乃至世界信息化产业进步的重要标志与动力。

根据对国内外传感器技术的研究现状分析及对传感器各性能参数的要求,现代传感器技术的发展趋势可以从4个方面分析与概括。

1. 新材料的开发及应用

材料是传感器技术的重要基础和前提,是传感器技术升级的重要支撑。事实上由于材料科学的不断发展,传感器材料不断更新,品种不断丰富,目前除传统的半导体材料、陶瓷材料、光导材料、超导材料以外,新型的纳米材料的诞生有利于传感器向微型方向发展。随着科学技术的不断进步将有更多的新型材料诞生(图4-35)。



图4-35 柔性传感器

2. 实现传感器集成化、多功能及智能化

传感器的集成化分为传感器本身的集成化和传感器与后续电路的集成化。前者是在同一芯片上,将众多同一类型的单个传感器件集成为一维线型、二维阵列(面)型传感器,使传感器的检测参数由点到面到立体多维图像化;后者是将传感器与调理、补偿等电路集成一体化,使传感器由单一的信号变换功能,扩展为兼有放大、运算、干扰补偿等多功能,实现了横向和纵向的多功能(图4-36)。

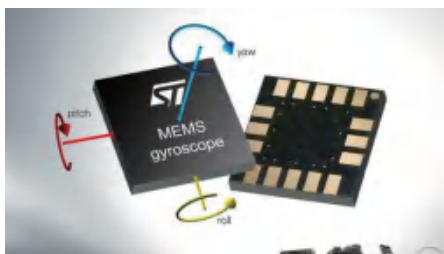


图4-36 三轴加速度

与传统的传感器相比,智能化传感器具有以下优点。

- (1) 智能化传感器不但能够对信息进行处理、分析和调节,能够对所测的数值及其误差进行补偿,而且还能够进行逻辑思考和结论判断。
- (2) 智能化传感器具有自诊断和自校准功能,可以用来检测工作环境。
- (3) 智能化传感器能够完成多传感器多参数混合测量,从而进一步拓宽了其探测与应用领域,而微处理器的介入使得智能化传感器能够更加方便地对多种信号进行实时处理。
- (4) 智能化传感器既能够很方便地实时处理所探测到的大量数据,也可以根据需要将它们存储起来。

3. 实现传感技术硬件系统与元器件的微型化

微型传感器已经对大量不同应用领域，如航空、远距离探测、医疗及工业自动化等领域的信号探测系统产生了深远影响。目前开发并进入实用阶段的微型传感器已可以用来测量各种物理量、化学量和生物量，如位移、速度、加速度、压力、应力、应变、声、光、电、磁、热、离子浓度及生物分子浓度等（图4-37、图4-38）。

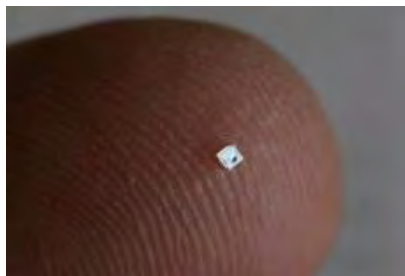


图4-37 微型传感器



图4-38 指纹传感器

4. 通过传感器与其他学科的交叉整合，实现无线网络化

无线网络对我们来说并不陌生，比如手机、无线上网、电视机。传感器对我们来说也不陌生，比如温度传感器。但是，把二者结合在一起，提出无线传感器网络的概念，这个网络的主要组成部分就是一个个传感器节点，这些节点可以感受温度的高低、湿度的变化、压力的增减、噪声的升降等。更让人感兴趣的是，每一个节点都是一个可以进行快速运算的微型计算机，它们将传感器收集到的信息转化成为数字信号，进行编码，然后通过节点与节点之间自行建立的无线网络发送给具有更大处理能力的服务器。传感器网络是当前国际上备受关注的由多学科高度交叉的新兴前沿研究热点领域，被认为是将对21世纪产生巨大影响力的技术之一。将来无线传感器网络将无处不在，将完全融入我们的生活。比如微型传感器网最终可能将家用电器、个人电脑和其他日常用品同互联网相连，实现远距离跟踪，家庭采用无线传感器网络负责安全调控、节约能源等。

传感器行业的发展已经进入了一个新的时代，网络传感器、生物传感器、纳米传感器等更尖端的传感器已进入市场，进入我们的生活。当前技术水平下的传感器系统正向着小型化、智能化、多功能化和网络化的方向发展。随着CAD技术、MEMS技术、信息理论及数据分析算法的继续向前发展，未来的传感器系统必将变得更加微型化、综合化、多功能化、智能化和系统化。

设计与实践 >

简易光通信

这是一个有趣的试验，通过试验，可以了解传感器的应用和光通信的简单原理。

试验器材

①两个直径为10cm的凸透镜。②光源：一个8W左右的节能灯（或40W左右的普通灯泡）。③一个光电池（参考型号：SG-01）。④一台输出功率>5W的扩音机，该机外接

一个3~5W的纸盆喇叭。⑤一张薄硬纸条。⑥一台有话筒输入插孔的扩音机。⑦一个话筒输入插头。⑧一些连接用导线。⑨一个多用电表。

试验步骤

1. 如图4-39所示,将光源、透镜和光电池放在一条直线上,调整它们的相对位置,使光源处在第一个透镜的焦点位置,光电池处在第二个透镜的焦点位置。同时将多用电表接在光电池的输出端,用直流电压2.5V挡监测光电池的输出。若光电池的输出电压为最大,说明摆放的位置正确,然后固定位置。

2. 喇叭接在放音机的输出端,在喇叭纸盆上贴上一张薄硬纸条,纸条垂吊在光路中。纸条不能太长,刚好掉入光路即可。

3. 用导线将光电池的输出脚与话筒插头连接好(最好焊接好),插头插入扩音机的话筒输入插孔,让光电池的输出作为扩音机的输入信号。

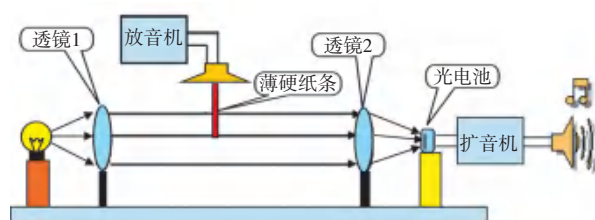


图4-39 简易光通信

试验时,用放音机放送音乐,接在其输出端的喇叭有信号输出,纸盆随声音信号振动,从而带动薄硬纸条一起振动。薄硬纸条的振动对光路造成遮挡,遮挡的程度随声音的大小而变化。光电池接收到这一变化的光信号,并将它转换为电信号输入扩音机,我们可以从扩音机的喇叭或耳机里听到声音了。

为了减小喇叭发声对试验的干扰,可以在贴纸条的喇叭的纸盆上开一些孔,使其只振动不发声,接收端用耳机接收。

讨论

1. 上述试验中哪个是传感器,它的作用是什么?
2. 试验中遇到哪些问题?你们是如何解决的?

参观与调查

1. 全班同学分成几组,分别去工厂、农村或商场,调查了解传感器在实际中的应用。各小组讨论和交流调查了解的情况,并写出调查报告。

2. 设想一下,如果让你们采用电子控制的方案对教室的现有环境进行改善,需要用到哪些传感器?以此内容为题,组织一次讨论。

第 四 节 认识继电器

学习目标

- 知道继电器的作用和分类。

一、电路控制与继电器

对用电设备的控制，不管是人工的还是自动的，最常用的措施通常都是断开电路或者接通电路。

要断开或接通电路，我们会首先想到使用开关。例如，用一个闸刀开关控制一盏电灯的亮与灭。

闸刀开关是人工控制的机械式开关，同类的还有拉线开关、按钮开关和拨动开关等。这些开关结构简单，价格便宜，在控制小功率、低电压和小电流的场合使用十分广泛。但当要控制的是大功率的用电设备或需要进行复杂控制时，人工操作闸刀开关会遇到下面的问题（图4-40）：①人工操作开关断开或者闭合的时间较长。如当设备发生故障需要断开电路执行保护时，人工操作的速度很难跟上，很可能在电路还未断开时，设备已经损坏。②当设备功能很多，其控制系统很复杂时，人工操作根本无法满足其准确、及时的控制要求。③在开关断开或者闭合的瞬间，可能会产生很大的电弧，极易击伤或烧伤近距离操作的人员。

解决上述问题的有效方法之一是使用继电器。继电器能够安全、准确和及时地控制电路的通断。继电器能够根据控制系统的控制命令自动接通或者断开电路，实现自动控制或保护用电设备。

继电器的分类方法很多，按工作原理，可分为电磁继电器、感应继电器、晶体管继电器等；按输入信号的性质，可分为电压继电器、电流继电器、速度继电器、热继电器、压力继电器等；按输出方式，可分为有触点继电器和无触点继电器。

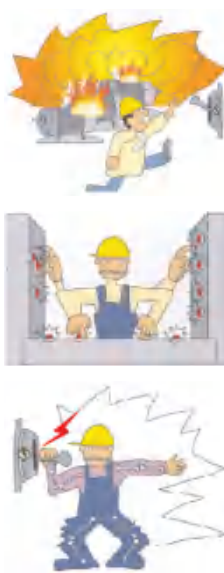


图4-40 使用人工闸刀开关存在的问题

参观与调查

建议有条件的学校组织学生参观一间工厂，了解继电器的实际使用情况。

二、电子控制系统中常用的继电器

1. 电磁继电器

在电子控制技术中，可用图4-41表示一个控制过程。

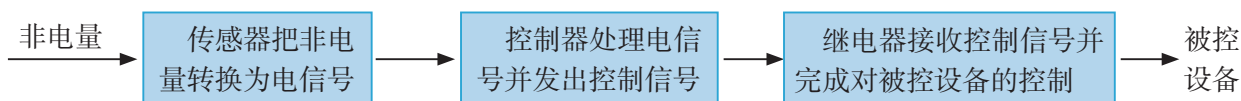


图4-41 电子控制过程

由图4-42可见，电子控制系统中的继电器的输入信号为电信号。使用这一电信号去驱动电磁铁，利用电磁铁的吸合接通或断开被控电路，这样的继电器称为电磁继电器。

如图4-43所示，电磁继电器有两个回路：控制回路（又称为输入回路）和被控制回路（又称为负载回路或主回路）。

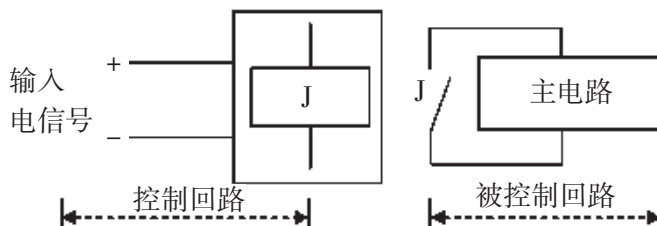


图4-42 电磁继电器示意

通常，控制回路只需要使用小电流、低电压来驱动，而被控制回路可以是大电流、高电压，这样，通过继电器就实现了“以小控大，以低控高”的目的。

继电器的控制回路和被控制回路是相互独立的。控制回路只涉及比较安全的低电压、小电流的信号，不涉及危险的高电压、大电流，很好地解决了电隔离的问题，保证了操作人员的安全，同时也有利于实现远距离控制、遥控和自动化控制。此外，控制回路和被控制回路又是紧密联系在一起的，它们通过中间机构连接成一个整体，继电器的线圈一旦通电（达到预定值），控制回路就会接通或断开主电路，很好地解决了信号耦合问题。

常见的电磁继电器有直流电磁继电器、交流电磁继电器和干簧继电器等。

电磁继电器按照输入控制信号是直流电还是交流电，可分为直流电磁继电器和交流电磁继电器两种，如图4-43所示。直流电磁继电器和交流电磁继电器二者的工作原理相同，只是结构上稍有差别。在电子控制系统中，最常用的是直流电磁继电器，但在电力拖动、电力保护和控制上，交流电磁继电器使用较多。

干簧继电器（图4-44）是一种特殊的电磁继电器，它结构简单、工作可靠、质量小、价格便宜、吸合功率小、灵敏度高，使用十分广泛。干簧继电器的触点负荷较小，通常作为小容量的继电器使用。

2. 无触点继电器

在电子控制系统中，除了使用电磁继电器之外，还广泛使用固态继电器（如晶体三极管和晶闸管）控制电路的接通或断开。这种继电器因为没有触点系统，所以称为无触点继电器（图4-45）。



(a) 直流电磁继电器



(b) 交流电磁继电器

图4-43 电磁继电器



(a) 干簧继电器



(b) 干簧管

图4-44 干簧继电器



图4-45 无触点继电器

第五节 直流电磁继电器

学习目标

- 了解常见的直流电磁继电器的构造、规格和工作原理。
- 学会直流电磁继电器的使用。

一、直流电磁继电器的结构及工作原理

1. 直流电磁继电器的结构

直流电磁继电器在电子控制系统、直流电动机、直流输送电中都有广泛的应用。直流电磁继电器主要由直流电磁铁、触点系统和辅助部件等组成（图4-46）。

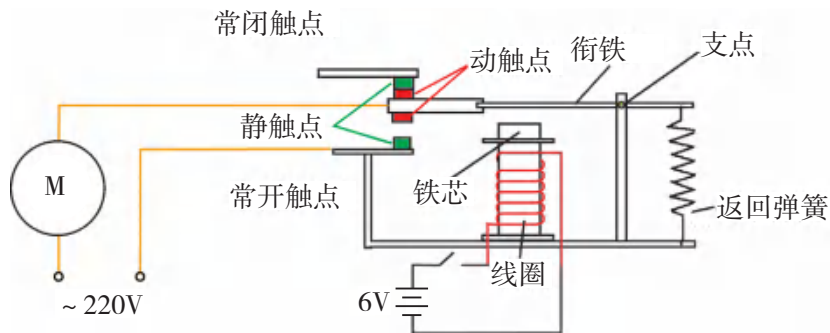


图4-46 直流电磁继电器的结构

在图4-46中，线圈、铁芯等是继电器的感测机构，即电磁铁部分。线圈和其外接电路组成输入回路，接收控制器送来的控制信号，并由电磁铁转换为电磁力。返回弹簧、衔铁等是继电器的中间机构，当输入信号达到预定值时，带动执行机构动作。动、静触点组成触头系统，是继电器的执行机构，控制被控电路的接通与断开。

电磁继电器的电路符号如图4-47所示。在图4-47中，(a)表示继电器的线圈，(b)(c)(d)分别表示继电器的触点类型。线圈未通电时处于断开状态的动触点，称为“常开触点”；反之，则称为“常闭触点”。一个动触点与一个静触点常闭而与另一个静触点常开，则称为“转换触点”。在一个继电器中，可以具有多对、多种类型触点。电磁继电器中通常只有1个线圈，但也有的继电器有2个或2个以上彼此独立的线圈。

应当注意，在绘制电路原理图时，同一个继电器的各个部件的图形符号可能分别画在不同的电路系统中。

为了表明它们同属于同一个继电器，在图形符号的旁边以相同的字母来标注，在看电路图

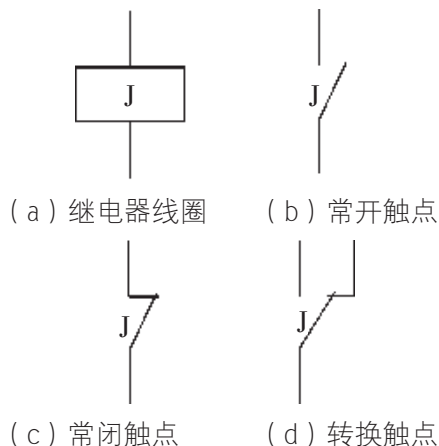


图4-47 电磁继电器电路符号

时，应该注意。

图4-48是一个直流电机自动控制电路（部分），同一个继电器（图中同一颜色标注部分）的线圈和它的触点分别画在电路的不同位置上。测量时，电磁继电器不要接在电路上。

立即行动

采用多用电表测电阻的方法，判断电磁继电器的常闭触点和常开触点。

2. 直流电磁继电器的工作原理

在图4-49中，继电器输入回路的线圈有电流流过时会激发磁场，使电磁铁的铁芯产生吸引力。当吸引力足够大时，将衔铁吸向铁芯，并带动触头系统动作，常闭触点分开，常开触点闭合。当电磁铁吸合后，继续维持或增大输入回路的电流，电磁铁维持吸合；如果减少流过线圈的电流，电磁铁吸引力随之减少，当减少到某一定值时，电磁力不足以抵抗返回弹簧的拉力作用，衔铁上移，电磁铁释放，触点系统恢复原态。

二、干簧继电器的结构和工作原理

干簧继电器主要由干簧管和线圈组成，如图4-49所示。

干簧继电器是一种特殊的电磁继电器，与普通电磁继电器相比较，它没有铁芯、衔铁一类的传动部分。当线圈中有电流流过时，线圈产生磁场，直接使簧片磁化而吸合，接通被控制电路；当线圈中没有电流时，簧片分开，断开被控制电路。

干簧继电器与普通电磁继电器相比，具有如下的特点。

- (1) 结构简单，体积小巧，质量小，容易实现自动化生产。
- (2) 触头（舌簧片）密封在玻璃管中，与外界完全隔绝，从而能有效地防止大气及尘埃对触头的污染，提高了工作的可靠性，延长了使用寿命。
- (3) 可动部分质量小，动作时间较短。

讨论

比较直流电磁继电器和干簧继电器的结构、工作原理的异同。

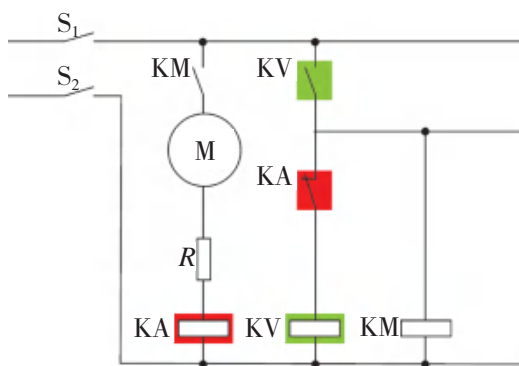


图4-48 直流电机控制电路（部分）

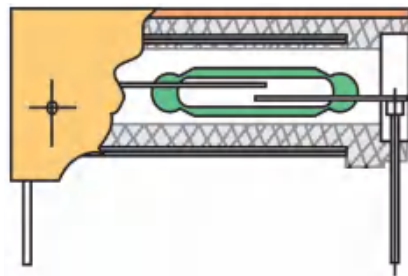


图4-49 干簧继电器的结构

三、继电器的型号及其技术参数

继电器的型号一般由基本型号和规格代号两部分组成。规格代号表示继电器的主要特征（如线圈额定电压、安装方式、引出端形式或触点组数等）。

继电器的技术参数通常都会在产品的手册中给出。电磁继电器有以下主要技术参数。

额定电压。继电器的额定电压指继电器线圈正常工作时，加在线圈上的电压。常用的直流电磁继电器的额定电压有：6V、12V、24V等。

吸合与释放电流。吸合电流是指继电器能完成吸合动作时，继电器线圈流过的最小电流；释放电流则是指继电器从吸合状态转入释放状态时，继电器线圈流过的最大电流。通常吸合电流远大于释放电流。

线圈功耗。线圈功耗指继电器线圈正常工作时消耗的功率。常见的有： $\leq 0.2\text{W}$ 、 $\leq 0.4\text{W}$ 、 $\leq 1.2\text{W}$ 、 $\leq 5\text{W}$ 、 $\leq 7\text{W}$ 、 $\leq 7.5\text{W}$ 等。

触点负荷。触点负荷指继电器触点所承受的开路电压和闭合电流。常见的开路电压有：110V、220V、380V等。常见的闭合电流有：5A、10A、50A、100A等。

知识窗 >

继电器基本型号命名标志方法

继电器的基本型号一般由主称代号、外形符号、短画线、序号和防护特征符号组成（图4-50）。

继电器产品的详细标志一般由基本型号和规格代号（规格代号不能单独使用）两部分组成，基本型号和规格代号之间用斜线分开，如图4-51所示。

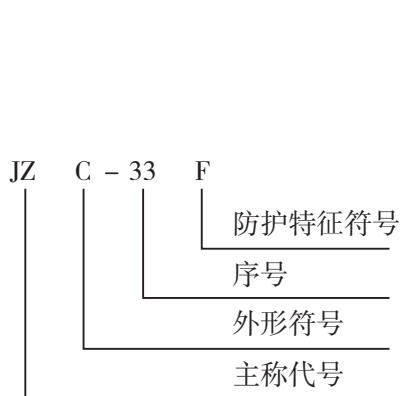


图4-50 继电器的基本型号

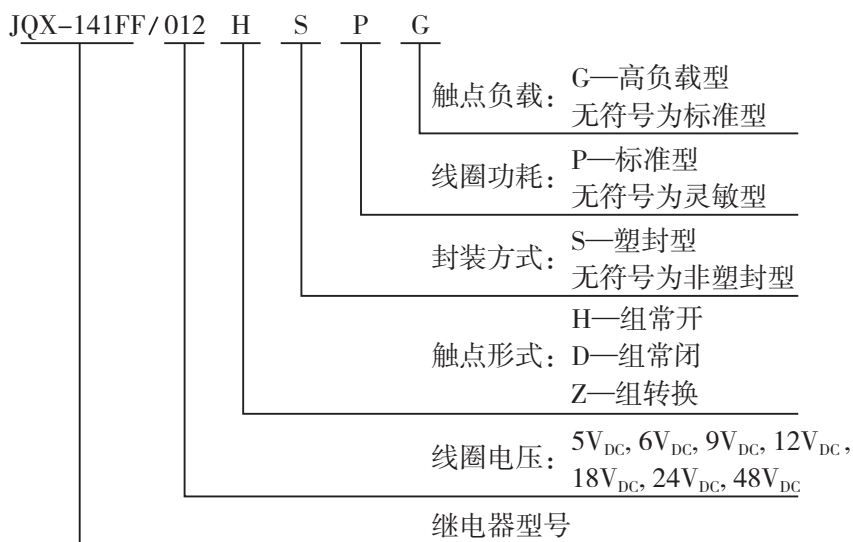


图4-51 继电器产品标志

常见继电器的基本型号和规格代号组成如表4-4所列。

表4-4 常见继电器的基本型号和规格代号

分类号	名称	型号					斜线	规格代号	
		第一部分	第二部分	第三部分	第四部分	第五部分			
		主称	外形符号	短画线	序号	防护特征			
1	直流电磁继电器	微功率	JW	W (微型) C (超小型) X (小型)	—	—	M (密封) F (封闭)	/	—
		弱功率	JR						
		中功率	JZ						
		大功率	JO						
2	固态继电器	JG	—	—	—	—	/	—	

探究

仔细观察几种直流电磁继电器、干簧继电器和无触点继电器的实物，试确定其型号，并查阅资料，了解其技术参数。

四、电磁继电器的选用

选用电磁继电器时，通常要注意下列几点。

线圈工作电压。选用电磁继电器时，应确定继电器线圈工作电压是交流电还是直流电，并使继电器的额定工作电压等于输入电压。

触点类型及触点负荷。应根据应用电路的要求，选择合适的触点类型。所选继电器的触点负荷应高于其触点所控制电路的最高电压和最大电流，否则会烧毁继电器触点。

合适的体积。继电器体积的大小通常与继电器触点负荷的大小有关，选用多大体积的继电器应根据应用系统的要求而定。

设计与实践

活动1

设计（搭接）一个使用直流电磁继电器控制一台玩具电动机和一个报警器（用蜂鸣器来表示）的装置。图4-52为参考电路。

当开关S断开时，继电器的常闭触点接通电动机电路，电动机旋

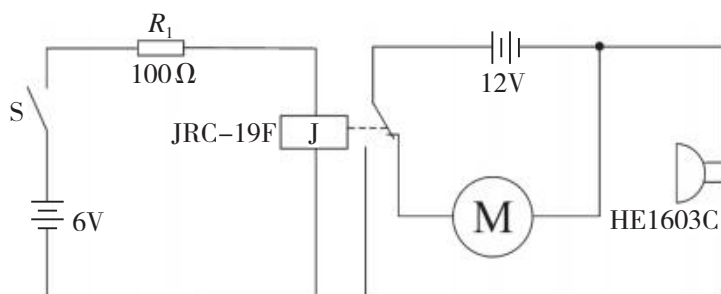


图4-52 活动1参考电路

转；当开关S闭合时，继电器的线圈通电，电磁铁吸合，常闭触点断开，电动机回路断开，而常开触点闭合，接通报警器（蜂鸣器）回路，蜂鸣器发声报警。这样，就实现了用1个电磁继电器的转换触点分别控制2个装置的目的。

活动2

设计（搭接）一个使用直流电磁继电器控制楼道电灯的装置。图4-53为参考电路。

活动3

设计（搭接）一个使用直流电磁继电器控制的用电装置。

提示：设计过程包括以下几点。

1. 发现与明确设计问题。
2. 制定设计方案。
3. 制作模型或原型。
4. 优化设计。
5. 完成设计。

警示：注意安全。

1. 用电安全。

- (1) 实验室要有漏电保护装置。
- (2) 学生进入实验室要穿胶鞋。

(3) 学生设计（搭接）的装置一定要经过老师或电工师傅检查后才能接通电源，特别是220V电源。

- (4) 在通电试验中，始终要有老师在场监控。
- (5) 要教育学生，不要私自进行类似的试验。

2. 使用工具的安全。

- (1) 使用电烙铁要防止烫伤。
- (2) 使用电工刀要防止割伤。

3. 使用继电器的安全。

- (1) 严格区分低压电路和高压电路，严防接线错误。
- (2) 检查动作部件是否可靠，防止卡住。
- (3) 检查安装是否牢固，防止松脱等。

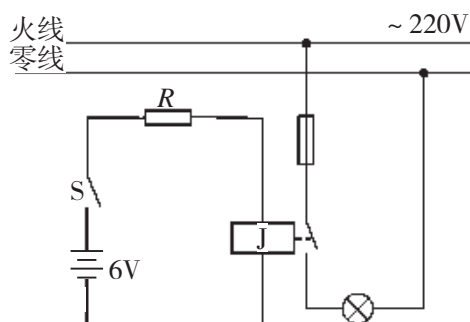


图4-53 活动2参考电路

参观与调查**调查主题——查找继电器的应用实例****调查项目**

同学们可自由选择参加活动中的任何一项，也可以自主设置活动（要求围绕主题），以小组合作的方式完成下列调查。

1. 继电器在电子控制系统中应用实例的调查。
2. 继电器在触电保护中应用实例的调查。
3. 继电器在电流过载保护和高压（过压）保护中应用实例的调查。
4. 继电器在高温、有毒、易爆环境下应用实例的调查。

组织与分工

每3~5人一组，自由组合，选出组长并在组内合理分工。

说明：各小组要根据情况对任务进行具体的分析，并依据小组各成员的特长做出适当的分工。此外，要对开展的内容进行细化，并提出可行的解决方法，在时间和人员方面做出具体的安排等。

调查方案

制定调查方案。调查可以采用走访、查阅资料、上网相结合的形式进行。以“继电器在高温、有毒、易爆环境下应用实例的调查”为例，调查可分为两部分进行。

1. 上网调查。在选择网站时，要尽可能结合“继电器、高温、有毒和易爆”等关键词进行搜索。调查内容如下。

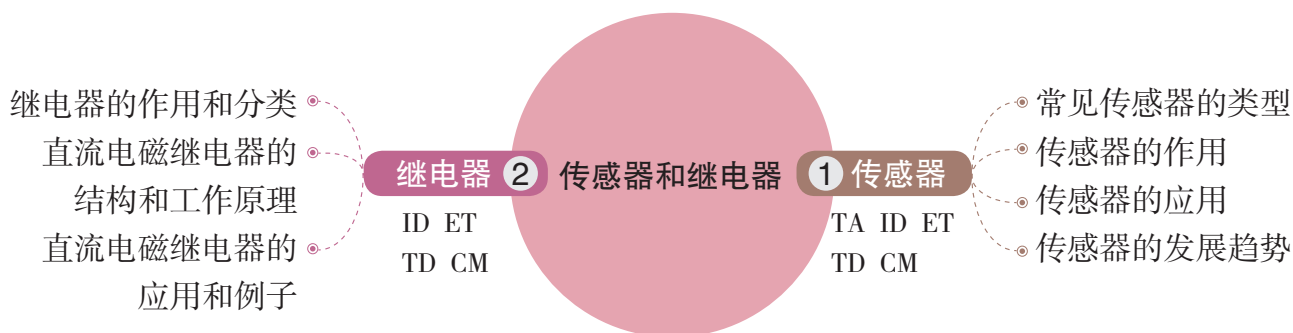
- （1）冶金行业使用继电器的实例，包括继电器的类型、性能要求等。
- （2）化学工业使用继电器的实例，包括继电器的类型、性能要求等。
- （3）煤矿开采使用继电器的实例，包括继电器的类型、性能要求等。

说明：在调查中，注意资料的记录和及时下载，特别注意收集电磁继电器和晶闸管的使用实例。

2. 查阅图书资料。以上网调查所获得的信息（继电器的类型、性能等）为线索，查阅相关资料，如《继电器手册》，获取相关继电器的资料。

本章回顾与评价

一、学习内容梳理

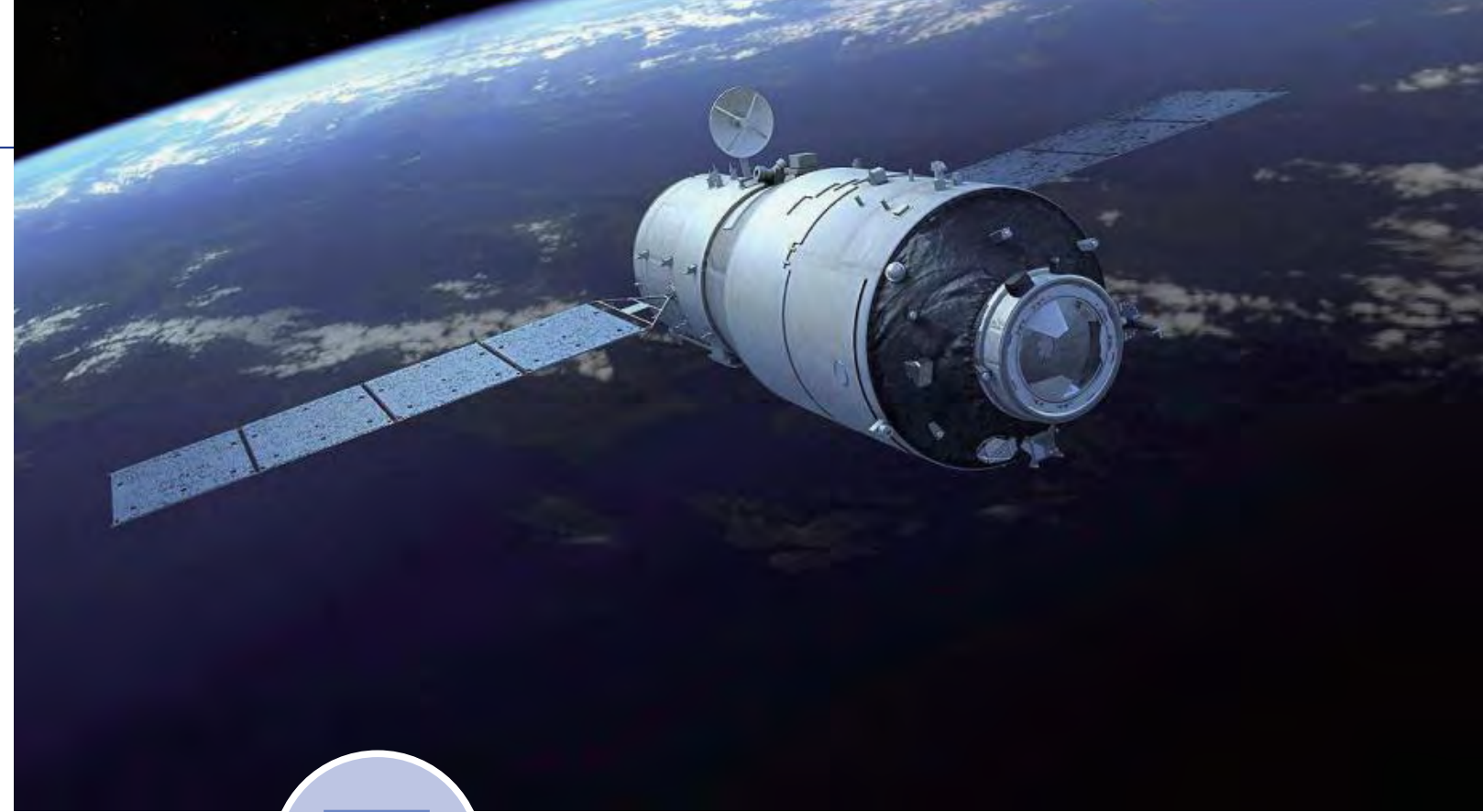


说明：TA—技术意识，ID—创新设计，ET—工程思维，TD—图样表达，CM—物化能力

二、学习评价

评价内容	评价方式		
	自评	互评	师评
通过自动门、电冰箱等案例，认识常见的传感器，能用万用表检测热传感器和光传感器			
知道各种传感器在生活与生产中的作用及其应用			
通过制作与调查，能够说明传感器的发展趋势			
通过举例与调查，知道继电器的作用和分类			
了解常见的直流电磁继电器和干簧继电器的构造、规格和工作原理			
参考直流电子继电器的电路，设计并制作，学会直流电磁继电器的使用方法			
说明：A—优秀，B—良好，C—合格，D—待改进			

通过本章的学习，你的核心素养得到了哪些发展？



第五章 电子控制系统及其应用

电子控制技术打开了我们的眼界，开拓了我们的思路，同学们，你们开始有想要进行设计的冲动了！本章我们将在进一步了解电子控制系统的构成及作用的基础上，学习一些电子控制系统的分析方法，并尝试完成一件简单有趣的电子控制作品。

第一节 电子控制系统

学习目标

- 知道电子控制系统的基本组成。
- 能用方框图分析电子控制系统的工作过程。

一、开环电子控制系统

讨论

1. 请分析下面的系统的被控对象和被控量分别是什么？
 - (1) 十字路口红绿灯的定时转换系统。
 - (2) 农田定时喷灌系统。
 - (3) 楼道灯自动开关（人经过时灯亮，人离开后灯灭）。
 - (4) 广告牌和霓虹灯控制系统。
2. 当被控量发生变化时，控制系统能否及时做出反应，改变控制状态？

探究

登录相关网站了解一个典型的开环控制系统——农业用喷灌系统的有关知识。

1. 开环控制系统实例：高温报警系统

温室中的温度过高或过低会危害温室中动植物的生存；火箭、飞机、汽车的发动机温度过高，往往是发生故障的先兆。可见，在很多生产和生活的场合，及时掌握温度的变化是非常必要的。

设计与实践

高温报警器

下面我们来做一个实验（实验电路如图5-1所示）。我们把一个温度计紧贴在热敏电阻 R_2 上，测得温度值为 t_1 。然后用一个电吹风对 R_2 吹热风加热，直到

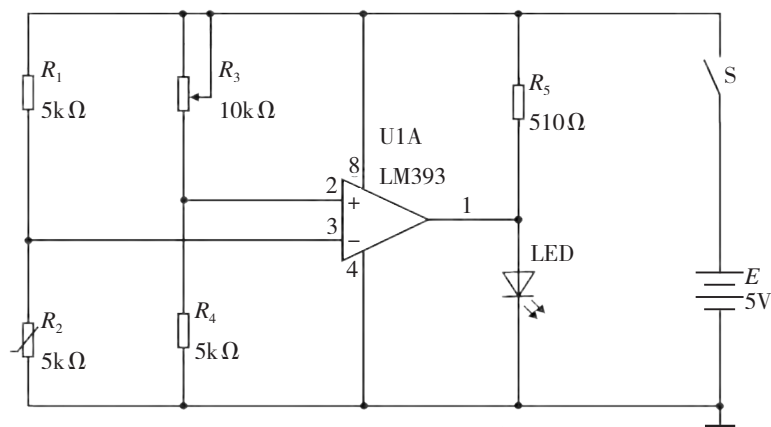


图5-1 高温报警器电路原理

LED发亮为止。LED发亮，表明系统发出了报警信号，这时再测得 R_2 的温度为 t_2 ，则 t_2 就是高温报警温度。

高温报警电路的核心是一个比较器（LM393）。在比较器的2个输入端分别接有由 R_1 和 R_2 、 R_3 和 R_4 组成的分压电路，其中 R_2 为负温度系数热敏电阻。

在常温下，调节 R_3 可使比较器的同相输入端（第3脚）的电压略小于反相输入端（第2脚）的电压，此时比较器的输出（第1脚）为低电平，LED不亮。

当温度逐渐升高时， R_2 的阻值逐渐变小，比较器反相输入端的电压随之下降，当电压下降到小于同相输入端的电压时，比较器的输出由低电平转为高电平，LED发光，此时的温度值就是该温度报警系统的报警温度。

思考

若要提高图5-1所示系统的报警温度值， R_3 的阻值应怎样变化？请写下你的分析。

知识窗

很多型号的集成电路内部都装有若干个功能相同的电路单元，例如LM393（图5-2）内部装有两个相同的比较器。如果在实际电路中只用了其中的几个，我们可以只画出所使用的那些单元，这样可使电路较为简洁。在图5-1的电路中，我们只使用了LM393中的一个比较器，所以只需画出一个电路单元即可。此外，所画单元的引线在实际集成电路上的引脚号，应该标注在电路图上，这样在实际安装时就不会接错。

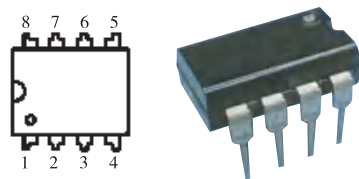


图5-2 LM393集成电路

2. 开环电子控制系统原理及结构框图

从图5-1可以看出，高温报警系统的被控量（光）对由热敏电阻组成的输入电路没有影响，所以被控量的变化不会引起控制量的改变，这个高温报警系统是一个开环电子控制系统。

我们可以用框图来描述开环电子控制系统的结构，可以清晰地表达电子控制系统的工作过程，如图5-3所示。



图5-3 开环电子控制系统结构框图

分析

试分析图5-3中各功能框与图5-1电路原理中各部分电路的对应关系。

开环电子控制系统的最大特点是结构简单，控制精度要求不高，所以一般情况下造价也较低。如图5-1所示的高温报警系统，其中LED的发光只有亮、灭两种状态，而农田定时喷灌系统也只有喷灌和不喷灌两种状态，都可使用开环电子控制系统。

设计与实践 >

尝试将图5-1所示的电路改成一个宾馆防火烟雾报警器，给出你的方案。

二、闭环电子控制系统

讨论

1. 请同学们上网查找对温度的稳定度有较高要求的应用例子，并分析下列系统的工作情况。

- (1) 家用电冰箱的恒温控制系统。
- (2) 家用空调的温度控制系统。
- (3) 蔬菜大棚种植的恒温、恒湿控制系统。
- (4) 孵化箱的恒温控制系统。

2. 上面的控制系统是否属于电子控制系统？

3. 当设定的温度（给定量）与实际的温度（被控量）存在误差时，上面的控制系统能否进行自动调整？

4. 以电冰箱为例，描述它的温度调整过程。

通过上面的分析与讨论，我们可以发现，这些系统都需要对温度进行定量控制。但是在很多情况下，外界许多因素都会影响实际的温度值，因此我们需要设置一个能够检测温度变化的反馈环节，使控制系统能够根据温度的变化自动调整控制状态，以达到稳定温度的目的。

1. 闭环控制系统实例：电子控制的恒温箱

设计与实践 >

恒温箱工作试验

将恒温箱温度设定为 38°C ，用电吹风给恒温箱里吹凉风（图5-4），使箱内温度下降，我们可以看到箱内用来加热的灯泡会自动亮起来。停止吹风，箱内温度会逐渐回升，当箱内温度上升到设定值时，灯泡又会自动熄灭。

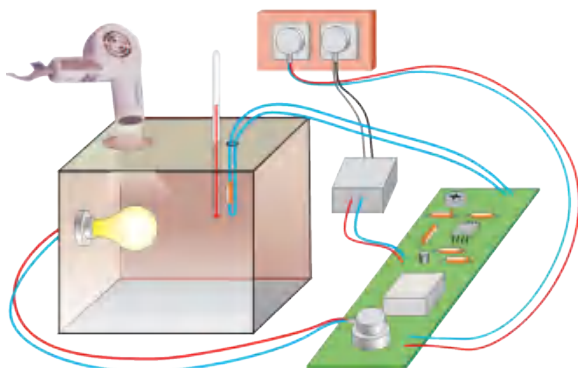


图5-4 恒温箱工作试验示意

需要保持温度恒定的应用场合很多，如医院中的婴儿保温箱、大规模集成电路的生产车间、农村的蔬菜大棚、现代化的孵化间等，都对温度的稳定度有较高的要求。

2. 闭环电子控制系统原理及结构框图

观察电子控制的恒温箱的工作可以发现，负责加热的电灯会自动地亮、灭，这是因为电灯亮时，会对箱内的空气加热，这个热量通过热敏电阻（热敏传感器）又影响了控制器的输入，通过对输入信号的判断，控制器能够知道当前的温度是太高还是太低，从而决定电灯的亮、灭。可见热敏电阻起到了将箱内空气的温度值反馈给控制电路的作用。由于加入了反馈环节，所以恒温箱就是一个闭环控制系统。

在图5-3的开环电子控制系统结构框图的基础上，稍加改进并加入一个表示反馈的方框，可得到图5-5所示的恒温箱闭环电子控制系统的结构框图。

在图5-5中，热敏传感器将温度转换为电压信号并与给定量进行比较，控制器根据比较的结果输出一个控制信号，控制加热器的工作与否。

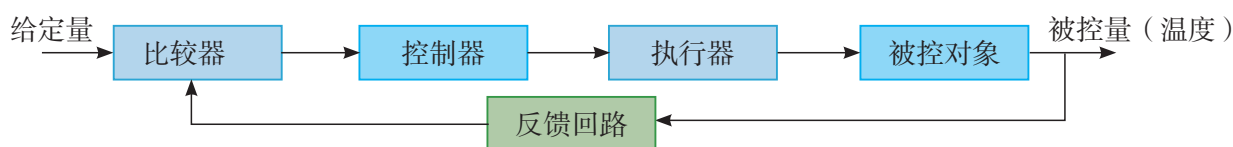


图5-5 闭环电子控制系统结构框图（恒温箱控制系统结构）

在电子控制系统中，控制电路一般都是由各种集成电路、单片机或计算机等组成，它们的工作电压一般都较低，所以当被控对象工作在高电压、大电流时，控制电路和被控对象之间应加一个执行器，这个执行器通常为继电器。

图5-5是由分析电子控制的恒温箱的工作情况得出的，其实对于各类闭环电子控制系统，只要将图中的传感器和被控对象做相应的改变，图5-5都是适用的。

立即行动

1. 参考图5-1、图5-4和图5-5，试画出恒温箱的电路原理图，并指出反馈回路是如何构成的。

2. 列出身边的几种电子控制系统，指出它们的控制类型，并完成表5-1的内容。

表5-1 电子控制系统的类型

控制系统名称	控制类型（开环控制、闭环控制）

第二节 设计实例分析

学习目标

- 应用功能电路设计开环电子控制系统和简单的闭环电子控制系统。
- 学会安装、调试简单的电子控制系统。

一、电子控制系统设计的一般原则

1. 满足对控制系统提出的功能指标要求。
2. 符合工作的条件，例如工作环境的要求（温度、湿度等）、体积和质量的限制、可靠性和安全性等。
3. 系统要有良好的抗干扰性能和良好的电磁兼容性能。
4. 尽可能使外形美观，操作简单，使用方便，感觉舒适。
5. 满足其成本价格限制。

二、电子控制系统设计的一般过程

根据系统的复杂程度，一个控制系统的设计具体过程可能会有所不同，但最基本的设计过程是相同的，其流程见图5-6。

三、恒温控制箱的设计和制作

1. 问题的提出

在规模化、自动化的养鸡场中，小鸡的孵化不管在时间上还是数量上都要做到人工可控，为此我们需要建造一个适合孵化小鸡的人工环境。从鸡蛋孵化出小鸡，合适的温度是一个关键的条件，温度过高或过低，都不利于小鸡的孵化。

2. 确定控制系统的功能和指标

设计制作一个实验用的电子控制恒温孵

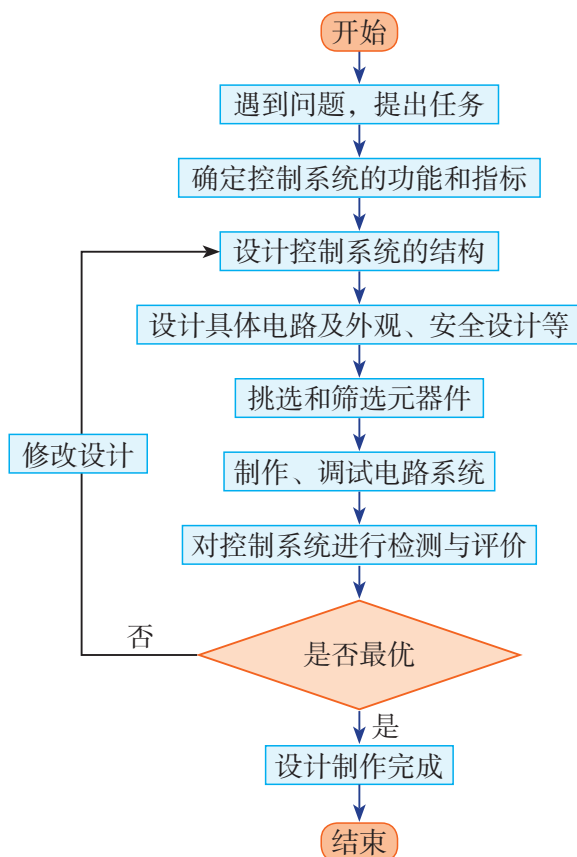


图5-6 最基本的设计流程

化箱，孵化箱的恒定温度控制在 38°C 左右，一次可孵化5只鸡蛋，孵化箱的体积定为 $20\text{cm} \times 20\text{cm} \times 20\text{cm}$ 。

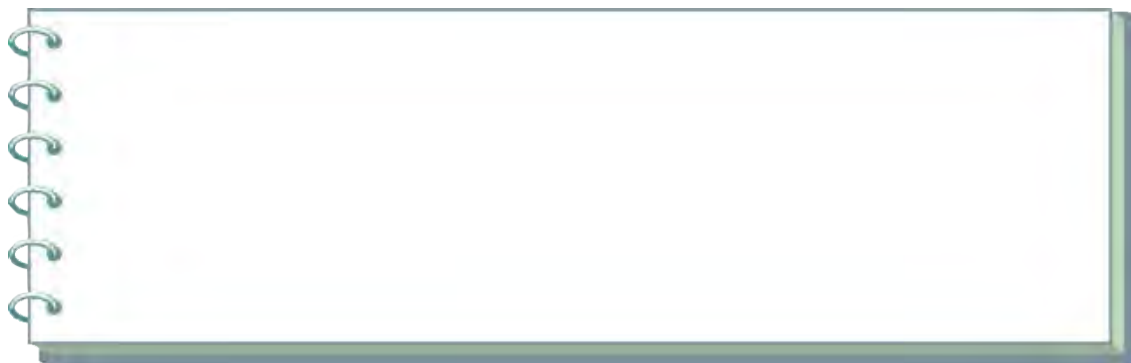
3. 系统结构设计

由于需要保持孵化箱内的温度尽量恒定，所以应该采用什么结构的电子控制系统呢？

开环控制系统

闭环控制系统

试画出系统框图：



4. 设计具体电路

图5-7所示的电路是实现闭环控制的电路之一。同学们可以发现，图5-7中的大部分元器件与图5-1的高温报警器完全相同，只是比较器的输出并不是控制一个发光二极管，而是控制一个NPN型三极管T的通断。T控制着继电器J。与高温报警器一样，当温度达到所设定的温度值时，比较器输出高电平，通过 R_5 ，T获得足够的基极电流使其完全导通，这时接在T集电极上的继电器线圈通电，常闭触点断开，电源插座断电，插在恒温控制器电源插座的电灯熄灭。而当温度低于设定值时，比较器输出低电平，常闭触点接通，电源插座通电。因此，该电路能根据孵化箱内温度的变化，相应地控制电灯的亮灭，最终使被控温度保持在一个较为稳定的值上。

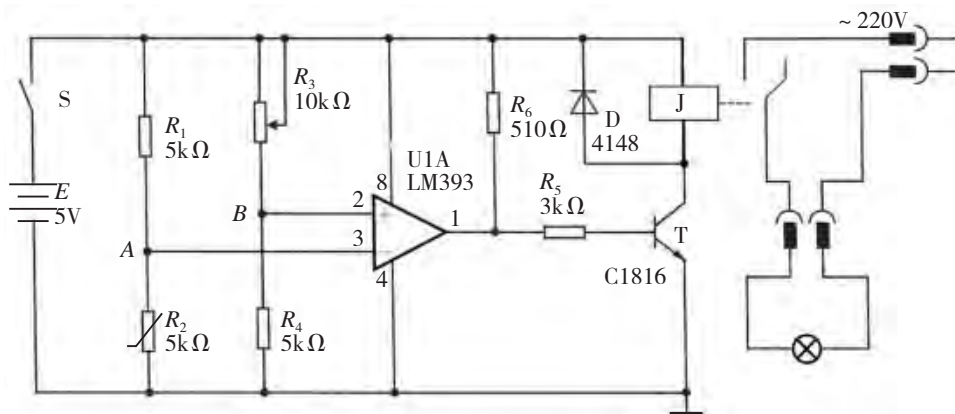


图5-7 电子控制恒温孵化箱

图5-11的电路可分为四大部分：

- (1) 温度传感器及分压器（由 R_1 、 R_2 组成）。
- (2) 基准分压电路（由 R_3 、 R_4 组成）。
- (3) 比较器（LM393）。
- (4) 执行电路（由T、J、D等组成）。

5. 挑选和筛选元器件

R_1 和 R_2 ， R_3 和 R_4 分别组成两组分压电路。 R_3 为线性电位器， R_5 和 R_6 为偏置电阻。在分压电路中，为了得到一个分压值，两个分压电阻阻值范围的选择是很大的。如果阻值太小，将会增加电路的功耗；阻值太大，分压值容易受外接电路的影响。 R_2 为负温度系数的热敏电阻，在选择时还应注意它是否能在规定的温度范围内工作。

对集成比较器LM393的要求不高，只要其工作电压满足要求即可。我们采用5V的直流电源，LM393能够胜任。

思考

- (1) 如果 R_2 选用正温度系数的热敏电阻，你觉得电路应作何改动才能正常工作？
- (2) 如果将A点电压改接入比较器“+”端，而B点电压接入“-”端，试分析一下系统可否正常工作，为什么？

电路中的执行电路由T、J、D等组成。由于恒温箱中采用了220V供电的灯泡加热，所以这里使用电磁继电器控制灯泡的工作。电路中LM393输出的电流较小，一般情况下不能直接带动电磁继电器，因而用三极管T对LM393输出的小电流进行放大，再由T带动继电器工作。选择继电器的一般要求：

- (1) 继电器的触点电流必须大于灯泡工作时的最大电流。
- (2) 继电器的触点耐压必须大于220V（要留有足够的余量）。
- (3) 继电器的触点类型（常闭或常开）要和电路的工作状态相配合。

采用继电器可在实现用小电流控制高压、大电流的同时，使高压部分（加热器电路）与低压部分（控制电路）相互隔离，从而保证整个系统在调试、操作时的安全。

在选择三极管T时，应确保其集电极电流大于继电器线包的工作电流，三极管ce极间的耐压要大于直流供电电压（5V）2倍。

该系统在满足设计要求的前提下，采用了较为简单的实现方案，有利于系统的制作和调试。

思考

如果采用继电器常开触点，电路应做怎样的改动？

6. 制作与调试

图5-8为图5-7电路的印刷电路板图。

注意：该系统涉及220V交流电压，操作时一定要注意安全！

调试步骤：

(1) 将图5-7中的元器件安装在图5-8的电路板上。

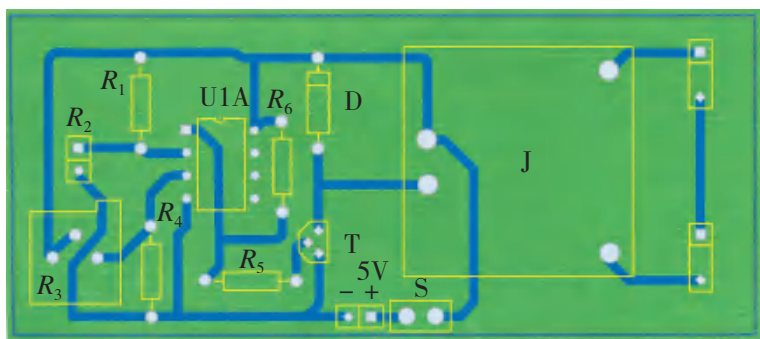


图5-8 印刷电路板

(2) 将系统按图5-9连接。待孵化箱的温度达到38℃时，调节 R_3 ，使继电器吸合（听到继电器“嗒”的一声）。

注意：由于该电路工作时涉及220V的交流电压，为进一步确保安全，电路安装完成后，用胶带将一块与电路板面积相等的绝缘板固定在电路板的下面，这样可防止焊点外露，避免在调试、使用过程中触电。

(3) 将系统按图5-10连接，系统应能正常工作。

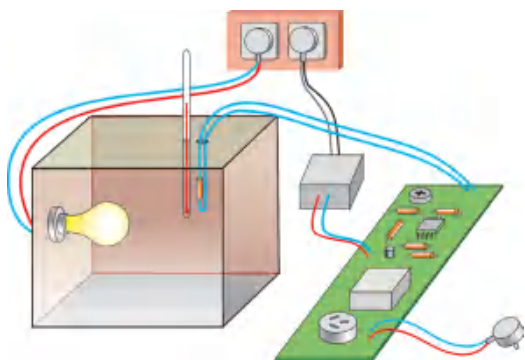


图5-9 恒温控制的孵化箱

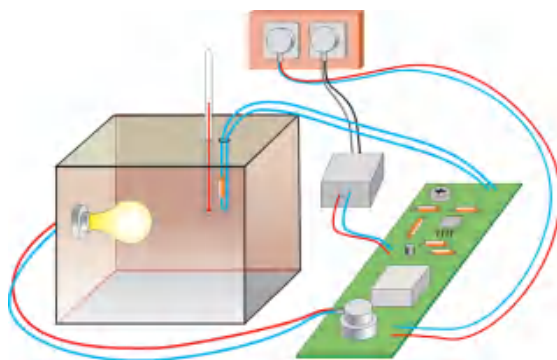


图5-10 孵化箱电路的连接

7. 检测与评价

系统制作调试完成后，该系统是否达到我们所设计的功能指标，需要经过检测来评价。请同学们按照表5-2的要求，测出恒温箱温度随时间的变化值。

表5-2 测试表

时间/min	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5
温度/℃									

分析表中数据，看看是否达到设计要求：



达到



基本达到



尚未达到

第三节 设计的改进

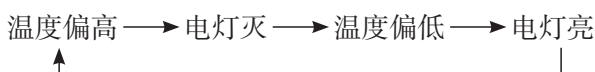
学习目标

- 学会对所设计的电子控制系统进行改进。

1. 发现新问题

在恒温孵化箱的制作中，同学们觉得有什么不足之处及改进的设想呢？

在调试电路的过程中，同学们可能会发现，当温度达到设定的温度值后，电灯会频繁地闪动。电灯的频繁闪动是继电器的触点频繁地开合引起的，这会影响灯泡和继电器的使用寿命。为什么会出现这种情况呢？这是因为系统中只有一个温度比较点，当温度达到比较点时，系统在比较点附近会出现下列工作情况：

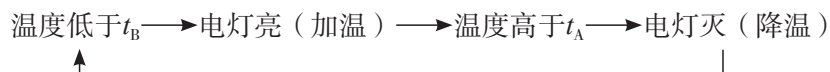


思考

分析电灯频繁闪动的原因，你能想出几个解决的办法来吗？

2. 解决问题的方法 (I)

解决电灯频繁闪动的方法之一是在电路中设置两个温度比较值，我们称 t_A 为高温值， t_B 为低温值，此时电路的工作过程是：



由于 t_A 、 t_B 之间有温度差，温度从 t_B 上升到 t_A 需要一定的时间，所以不会出现电灯频繁亮灭的情况。需要注意的是，此时恒温箱的温度将在 t_A 、 t_B 之间变化，所以 t_A 、 t_B 的温度差不宜太大，该控制应在允许的温度变化范围之内。其恒温控制电路如图5-11所示。

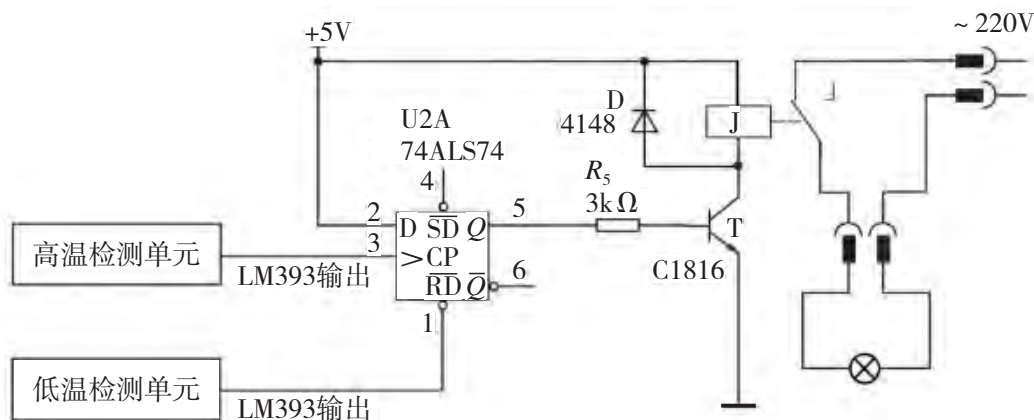


图5-11 改进后的恒温控制电路

图5-11中低温检测单元和高温检测单元的内部电路与图5-7的基本相同，只是LM393的输出没有直接驱动三极管T，低温检测单元的LM393输出控制D触发器的清零端，高温检测单元的LM393的输出控制D触发器的时钟端。

讨论

运用前面各章所学的知识，请同学们分组讨论、分析图5-11的工作原理。

1. 参考图5-7，画出图5-11中高、低温检测单元的电路图。
2. U2A触发器在电路中起什么作用？
3. 若将高温检测单元输出端接U2A的1脚，将低温单元输出端接U2A的3脚，控制系统工作状态将会发生什么变化？

3. 解决问题的方法（II）

在上述的方案中，温度检测电路都是靠调节比较器的电压门限来进行温度控制的，当需要对温度进行较为精确地控制时，用电位器进行电压的设置较为困难。我们不妨将温度传感器的信号转换成数字信号，然后利用数字处理的优势来进行温度控制。

由于目前的部分单片机内部都集成了A/D转换功能，所以如果只用单片机对图5-11的系统进行改进，单片机对外只要用2个控制引脚，一个引脚采集由 R_1 和 R_T 组成的分压电路分压点的电压。 R_1 为普通电阻器，其阻值随温度的变化很小，而 R_T 为热敏电阻，当温度变化时其阻值会发生变化，所以 R_1 和 R_T 的分压点的电压会随着温度的变化而变化，通过检测分压点的电压就可计算出当前的温度。单片机的另一个引脚控制继电器的工作。

单片机输出引脚的输出电流都不大，为了可靠地驱动继电器，一般由单片机控制一个三极管，再由三极管去控制继电器。图5-12就是一个采用单片机进行温度控制的电路框图。

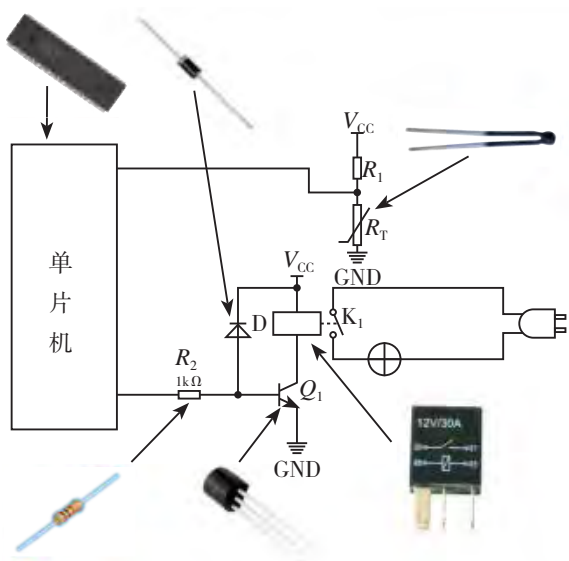


图5-12 单片机温度控制系统

立即行动

1. 画出图5-12的控制系统框图，并分别指出电路中的各部分及反馈环节。
2. 将自己设想的改进方案与上述两种方案进行比较，分析各个方案的特点。
3. 是否可将图5-12所示的电路改造成一个天黑自动亮、天亮自动灭的自动路灯控制系统？如果可以，请画出你设计的电路图。

第 ④ 节 综合活动

学习目标

- 理解电子控制技术对人类和社会的影响。
- 感知生产和生活中电子产品应用的广泛性。

一、设计与制作

下面给出的设计与制作活动中，第一个项目为必做项目，其余的项目可根据个人的兴趣和特长，在其中任选一项，也可自主确立设计与制作活动的内容，组成若干个合作小组开展活动。

设计与实践 >

设计与制作活动项目及设计要求

1. 图5-11所示的恒温控制电路。要求：恒温温度设定在37~39℃。
2. 防盗报警系统。要求：当有人进入房间时，能够向房间外发出报警信号。
3. 烟雾报警预防火灾系统。要求：当室内烟雾浓度达到一定值时，能够向外发出报警信号。
4. 湿度保持自动喷淋系统。要求：当湿度不足时能自动喷淋，湿度超过某一值时停止喷淋。
5. 十字路口红绿灯自动转换控制系统。要求：根据马路上汽车流量自动调整红绿灯的开关时间，使交通顺畅。

设计的提示

1. 必须根据各种传感器的工作原理、特点、优点、缺点，以及传感器工作位置、方式来选定合适的传感器。
2. 提出各种方案进行讨论，发表各自的见解，最后根据被控量与控制量的关系，确定是选择开环电子控制系统还是选择闭环电子控制系统，并画出结构框图。
3. 设计具体电路图，提出所制作产品的功能指标。
4. 选定元器件及材料。

实施制作提示

1. 制作工具：电烙铁、尖嘴钳、钢锯、铁锤、螺丝刀、镊子、电钻。

2. 制作零件及材料：根据设计要求自行采购。
3. 所需仪器设备：多用电表、计数器、函数信号发生器、10MHz示波器。
4. 实施制作：
 - (1) 可采用不同的方案和不同的电路制作，并进行性能比较。
 - (2) 在测试、调整过程中不断发现新问题并修改方案或电路。
 - (3) 详细记录活动全过程。

测试

测试所制作的电子控制系统，记录测试结果，检查是否达到所设定的功能指标。

评价

对本次设计与制作活动情况进行评价总结。根据评价总结情况，调整改进以后的设计制作活动。

向全班展示小组所制作的作品，并描述一下该作品的设计思路，包括所选择控制系统的类型、元器件的权衡选择等。

各小组之间对各自所设计制作的作品从外观、创意、功能和指标达成情况等方面进行自评、互评。

二、领略现代电子控制系统

前面我们所学习的仅仅是最简单最基本的电子控制系统。随着科学技术的不断发展，特别是信息技术和计算机技术的进步，越来越多的高新技术应用于电子控制系统中，使电子控制系统越来越先进，功能越来越多，应用范围越来越广泛。

参观与调查

自选项目，分组调查现代先进的电子控制系统，并写出调查报告。

建议的项目有：

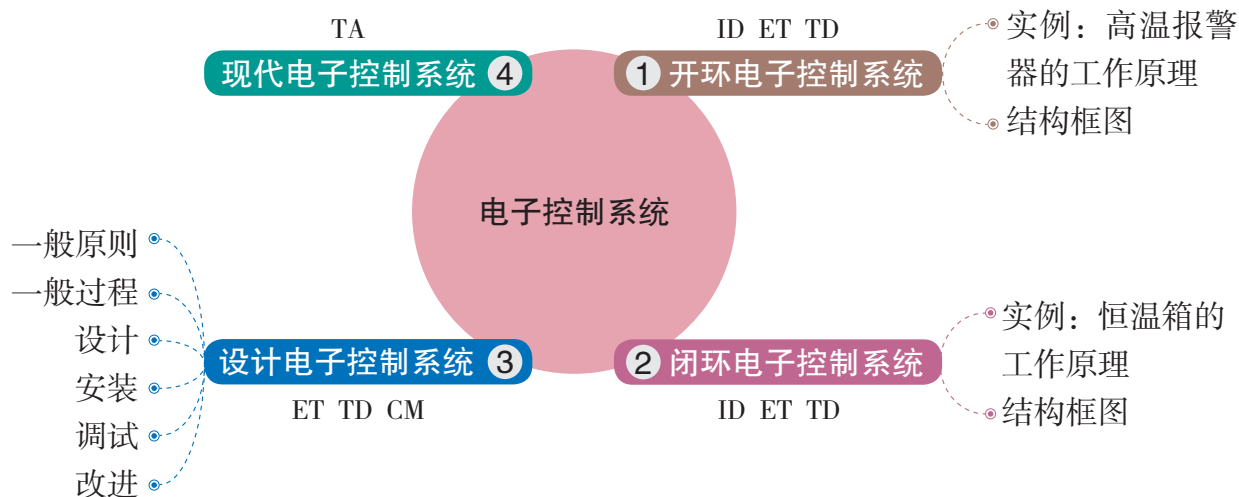
- (1) 数控机床。
- (2) 十字路口“电子眼”（汽车冲红灯时可自动拍照记录）。
- (3) 汽车自动驾驶系统。
- (4) 各类机器人。
- (5) 自选项目。

要求：了解控制系统的作用，画出控制系统的工作原理框图。

让我们通过接触现代先进的电子控制系统，领略技术发展的内在动力、发展动向和文化意义，开阔视野，丰富和提高我们的想象力和创造力。通过今后较高层次的学习，能够自己设计制作出更新更好的电子控制系统。

本章回顾与评价

一、学习内容梳理



说明：TA—技术意识，ID—创新设计，ET—工程思维，TD—图样表达，CM—物化能力

二、学习评价

评价内容	评价方式		
	自评	互评	师评
能描述高温报警器、恒温箱等控制系统的基本组成，用方框图分析其工作过程			
以恒温控制箱为例，应用功能电路设计开环电子控制系统和简单的闭环电子控制系统			
能安装、调试和改进简单的电子控制系统			
通过调查现代先进的电子控制系统，感知生产和生活中电子控制产品应用的广泛性			
理解电子控制技术对人类和社会的影响			
说明：A—优秀，B—良好，C—合格，D—待改进			

通过本章的学习，你的核心素养得到了哪些发展？



批准文号：粤发改价格〔2017〕434号 举报电话：12315



定价：7.36元