



普通高中教科书

通用技术

选择性必修

电子控制技术

人民教育出版社

人民教育出版社

普通高中教科书

通用 技术

选择性必修

电子控制技术

上海市中小学（幼儿园）课程改革委员会组织编写

人民教育出版社

· 北京 ·

仅供个人学习使用，未经授权不得另做他用

总 主 编：褚君浩

副 主 编：朱志勇

本册主编：韩定定

编写人员：石春琦 张立为 刘彦博 韩定定

责任编辑：谢李杉

美术编辑：胡白珂

普通高中教科书 通用技术 选择性必修 电子控制技术

上海市中小学（幼儿园）课程改革委员会组织编写

出版发行 人民教育出版社

（北京市海淀区中关村南大街17号院1号楼 邮编：100081）

网 址 <http://www.pep.com.cn>

版权所有·未经许可不得采用任何方式擅自复制或使用本产品任何部分·违者必究

如发现内容质量问题，请登录中小学教材意见反馈平台：jcyjfk.pep.com.cn

声明 按照《中华人民共和国著作权法》第二十五条中有关规定，我们已尽量寻找著作权人支付报酬。

著作权人如有关于支付报酬事宜可及时与出版社联系。

本册教材图片提供信息：

本册教材中的图片由全景网、视觉中国等图片网站提供。

仅供个人学习使用，未经授权不得另做他用

通用技术是一门联系科学规律和技术应用的课程。人类在生产实践和科学实验的过程中，获得了知识，掌握了规律，形成了技术，进而在工程任务中利用技术，提升生产实践和科学实验的水平。实践—认识—再实践—再认识，这样的过程循环反复，人类的科学技术不断提升，社会生产力不断发展。

世界是物质的，物质是运动的。在我们周围充满着物质的多种多样的运动形式，除了常见的机械运动，还有光、声、热、电、磁、分子、原子、基本粒子、生命运动等。人们在观察和研究物质的这些运动形式时，发现了规律，运用规律发明了技术，相应产生了机械技术、光技术、声技术、热技术、电技术、磁技术、分子技术、核技术、生物技术等。这些技术分别或者集成起来在多类工程任务中得以应用，涉及机械工程、土木工程、热力工程、电子工程、光学工程、能源工程、环境工程、生物工程、航空航天工程、海洋工程、地质工程等。典型的工程，包括南浦大桥、世博会的中国馆、虹桥枢纽屋顶上的太阳能发电站、C919大飞机、风云四号等大工程，也包括制造服装、烹饪菜肴、室内装修、三维打印零件等小工程。工程任务完成后制造出各类产品，应用于社会方方面面不同领域，为社会创造财富。从事这些工作的勤奋踏实而富有创新精神的劳动者，成为了基础扎实的工程师和精益求精的工匠，他们是我们学习的楷模。

我国古代人民的发现和发明造就了中国科学技术的辉煌历史，不仅有指南针、造纸术、印刷术、火药等重要发明，还有以都江堰水利工程、传统木建筑的榫卯结构等为代表的水利、天文、建筑、铸造、纺织、陶瓷、冶金、航海等古代科学技术，这些杰出的技术是中国古代科技文明的精粹，对人类文明发展和社会生产力的进步产生了巨大推动作用和深远影响。

技术是人类利用自然规律实现某种功能和目标的一种能力，它的背后是科学规律，它的前面是工程任务。工程任务有明确目标，技术在完成工程任务中实现它的价值。例如，根据牛顿第三定律可以利用作用力的反作用力推进物体，这一原理可以用于火箭工程，再运用万有引力定律，可以发射地球卫星，甚至把嫦娥四号送到月球背面。技术的价值在工程任务中得到充分体现。

把技术应用于工程，就要遵循工程的规范。实现技术的应用，完成一项工程任务，首先要明确这项工程的具体目标，提出完整可行并有创新的设计方案。设计方案又涉及工程目标物的结构、工艺流程、组成系统、设计意图控制等。方案的具体内容要用技术语言和图样表达出来，根据图样来操作加工，最后实现方案，完成工程任务。工程实施过程中的经验和教训，需要同行互相交流；是否完成了预期的目标要求，需要由外部专家和使用者的评价。工程交付后，还要经受时间和应用的评判。

同学们，新时代已经来临！新工业革命正在悄悄向我们走来。如同18世纪以机械化为特征的第一次工业革命、19世纪以电气化为特征的第二次工业革命、20世纪以信息化为特征的第三次工业革命，21世纪人类将开启以智能化为特征的第四次工业革命。人类

总是先在观察或实践中发现规律，在此基础上发明了技术，进而推动技术的应用与发展。人们发现了质能关系，发明核技术；发现了受激辐射规律，发明激光技术；发现了光纤中光传输规律，发明光通信技术；发现了电磁波规律，发明无线通信技术；发现了半导体光跃迁规律，发明半导体照明技术；等等。先进技术为构建人类绚丽文明打下基础。谁掌握了规律，谁发明了技术，谁就获得了主导权。智能制造是新工业革命的重要特征，而通用技术是智能制造的基础课程之一。同学们，机遇和挑战在等待着我们！

通用技术课程必修内容包括“技术与设计1”“技术与设计2”2个模块，它们分别从技术和设计的角度阐述通用技术的一般概念，并通过实践来帮助同学们体验技术与设计的内涵。选择性必修内容包括“技术与生活”“技术与工程”“技术与职业”和“技术与创造”4个系列11个模块。整体框架由图0-1表示。学习这门课程要注重掌握概念和加强实践，尤其要通过动手实践，来培养自己的技术意识、工程思维、创新设计、图样表达和物化能力等核心素养。

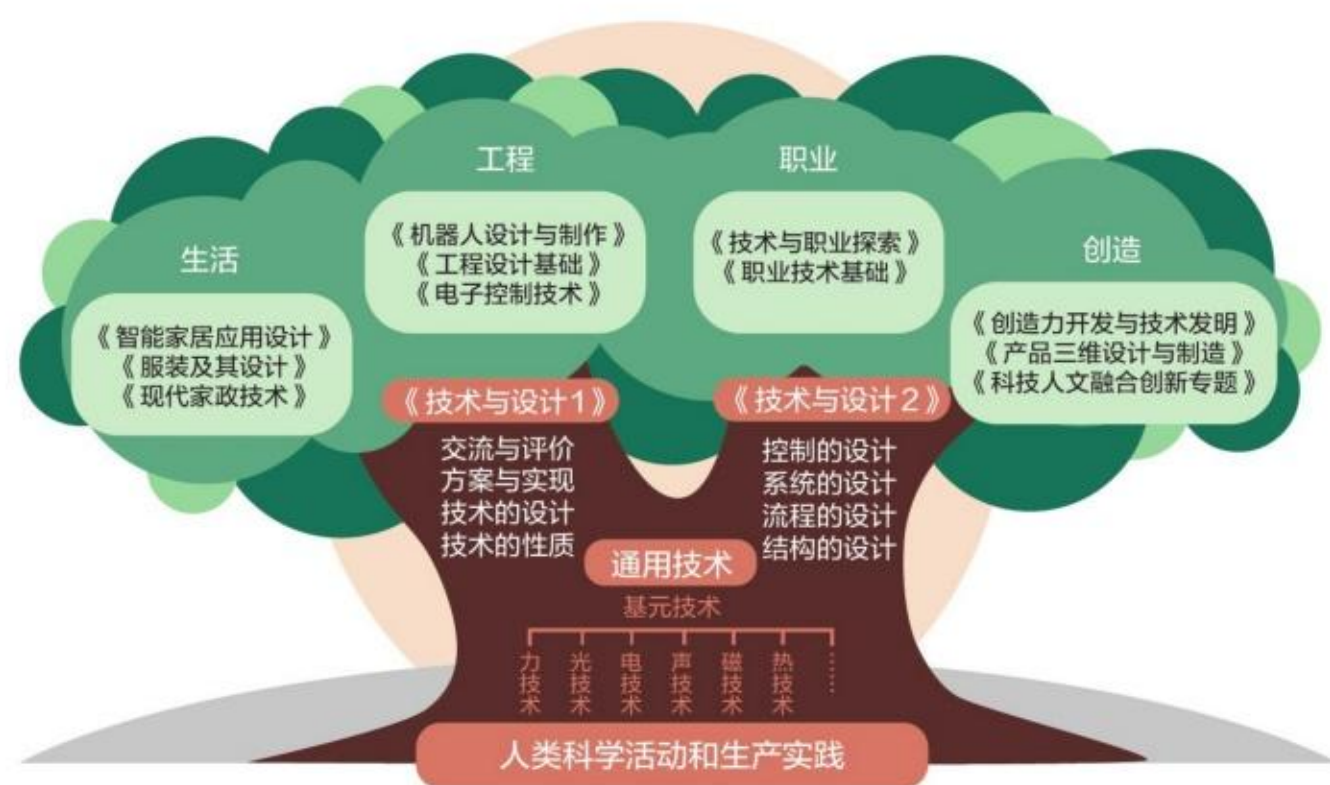


图 0-1 课程内容整体框架

本分册讲授电子控制技术的发展、电子元器件与电路的基础知识及其应用，带领同学们认识、学习电子控制系统，体验传感器、继电器等的实际应用。本分册共分为四章，分别介绍电子控制概述、模拟电路与数字电路、传感器与继电器、电子控制系统，内容层层递进，将同学们带入神奇的电子世界当中。学习本分册后，即使是原本没有电路和编程基础的同学，也能根据原理知识来完成项目，做出很多实用的作品。每一个项目的开始列出了所需的元器件，提供了电路图和连线图，带领同学们逐步操作，经历项目的全过程，让同学们在体验成功的同时，提升解决问题的能力。

第一章 电子控制概述 1

第1节 控制技术的发展 2

- 1.1 控制技术的发展 2
- 1.2 电子控制技术 2
- 1.3 电子控制系统 5

第2节 现代控制技术的特点 7

- 2.1 电子化 7
- 2.2 网络化 8
- 2.3 智能化 9

第3节 电子控制技术改变现代生活 10

- 3.1 从门锁演变看控制技术 10
- 3.2 电子控制技术对生活的改变 12

第4节 常用电子元器件的识别及焊接 15

- 4.1 电子元器件的分类 15
- 4.2 电子元器件的认识 15
- 4.3 电路与电路符号 20
- 4.4 电路板焊接 22

第二章 模拟电路与数字电路 27

第1节 模拟信号和数字信号 28

- 1.1 模拟信号和数字信号的特性 28
- 1.2 模拟信号和数字信号之间的转换 29

第2节 常用晶体管的基本原理和应用 32

- 2.1 晶体二极管的应用 32
- 2.2 晶体三极管 33

第3节 晶体三极管的开关特性及其应用 38

- 3.1 晶体三极管的开关特性 38
- 3.2 常见的数字集成电路类型 39

第4节 数字电路中的基本组合逻辑电路 41

- 4.1 逻辑代数的三种基本运算 41
- 4.2 基本门电路 42
- 4.3 常用组合逻辑电路 43

第5节 典型电路应用举例 46

5.1 简易声光报警电路 46

5.2 火情报警器 47

第三章 传感器与继电器 51

第1节 传感器的发展趋势 52

1.1 传感器的发展趋势 52

1.2 认识传感器 53

第2节 传感器的特性及分类 55

2.1 传感器的一般特性 55

2.2 传感器的分类 56

第3节 常见传感器的应用 57

3.1 温度传感器的应用 57

3.2 光敏传感器的应用 59

3.3 磁敏传感器的应用 61

第4节 继电器的应用 63

4.1 继电器的作用与分类 63

4.2 电磁继电器的结构与工作原理 65

4.3 直流电磁继电器的规格 66

4.4 直流电磁继电器的应用 68

第四章 电子控制系统 73

第1节 电子控制系统 74

1.1 认识电子控制系统 74

1.2 开环电子控制系统 77

1.3 闭环电子控制系统 78

第2节 开环电子控制系统设计 81

2.1 利用面包板搭建、焊接电路 81

2.2 开环电子控制系统示例 82

第3节 闭环电子控制系统设计 87

3.1 开源微控制器平台介绍 87

3.2 闭环电子控制系统示例 87

第一章 电子控制概述

控制，并不是一项新技术，早在古代就有人将控制技术应用到门闩的设计中，但是电子控制技术却是在现代才被广泛应用于生产、生活中。电子控制技术已经渗透到生产、生活的方方面面，工业生产中几乎每一个环节都有电子控制技术的身影，日常生活中电子控制技术也必不可少。那么，控制技术是如何发展的呢？电子控制技术有哪些特点和典型应用，又是如何改变现代生活的呢？电子元器件是电子控制系统的基本组成单元，常用的电子元器件有哪些呢？怎么将这些电子元器件集成后发挥作用呢？在本章的学习中，同学们将逐渐知道这些问题的答案。本章还增加了一些拓展阅读，拓宽同学们的视野，也设计了一些思考与练习环节，帮助同学们通过解决问题加深对电子控制技术的认识。本章旨在让同学们对电子控制技术的知识有初步的掌握，从而具备一定的专业素养。

第1节 控制技术的发展

第2节 现代控制技术的特点

第3节 电子控制技术改变现代生活

第4节 常用电子元器件的识别及焊接



第 1 节 控制技术的发展

学习目标

- 1. 了解控制技术的发展过程及基本含义。
- 2. 掌握电子控制技术的定义及应用领域。
- 3. 理解电子控制系统的定义及组成。

控制技术经历了一系列的发展，最终形成现代的电子控制技术。电子控制技术广泛应用于各个领域，是电子控制系统的核心，是现代技术中不可或缺的一部分。

1.1 控制技术的发展

控制技术，一般指人们为了使事物向着期望的目标发展所采用的手段或方法。随着人们需求的发展和技术手段的丰富，控制技术由最初的人工控制逐步发展为机械控制，再进一步演化出后来的电子控制，如图 1-1 所示。面对多种多样的控制技术，我们应当根据不同的需要以及被控对象的特点，选择合适的控制方式来实现控制目的。



图 1-1 控制技术的发展

1.2 电子控制技术

电子控制技术是一门运用电子电路来实现控制功能的技术。它不仅常用于日常生活，而且广泛应用于工业、农业、医疗、国防科技、航空航天等各个领域。

现代工业中，一些车间的生产线（图 1-2）常常采用自动化控制的方式，这样不仅大幅度节约了人工成本，还能保证产品的质量，

减少生产材料的损耗，统一的流水线生产也使得车间的生产环境更加干净整洁，工作效率更高。



图1-2 生产线

电子控制技术为农业发展提供科技和装备支撑，有助于实现农业现代化，加快建设农业强国。传统的人工操作逐渐被应用了电子控制技术的现代化农业机械所代替，这不仅解放了劳动人民的双手，还可以显著提高农业生产效率，增加农作物的产量，因此农民的收入得到提高，生活水平也得到改善。图1-3中就是一种现代农业中常用到的农业机械。



图1-3 农业机械

在过去，很多疑难杂症，如天花、肺结核等，因为治疗条件和技术水平有限而难以治愈，导致很多患者最终失去生命，很多家庭支离破碎。如今，随着现代化控制技术以及其他先进的科学技术在医疗领域的应用，医疗设备不断进步，医疗水平也逐渐提高。图1-4中的医疗设备就是现代医疗中常见的核磁共振仪，其中也应用了电子控制技术。现代医疗技术的发展，使很多病症得以治愈。相信在不久的将来，电子控制技术的进一步发展和创新，将有助于更多的病症被攻克。



图1-4 医疗设备

国防科技工业也是电子控制技术应用的一个重要领域。现代军事装备有导弹、坦克、潜水艇、航空母舰等，还有图1-5中正在进行飞行表演的战斗机，它们都离不开电子控制技术。现代化的军事装备有助于实现国防和军队现代化，提高捍卫国家主权、安全、发展利益战略能力。



图1-5 军事装备

从2003年的“神舟五号”首次升空，再到之后的“神舟七号”“神舟九号”等先后升空，我国的航空航天事业持续快速发展。航天器是非常复杂的系统，多方面运用现代科学技术，控制技术在其中发挥着重要作用。图1-6中展示的是运载火箭升空时的景象。我国现代航空航天事业的进步和发展，值得每一位中国人为之兴奋和自豪。

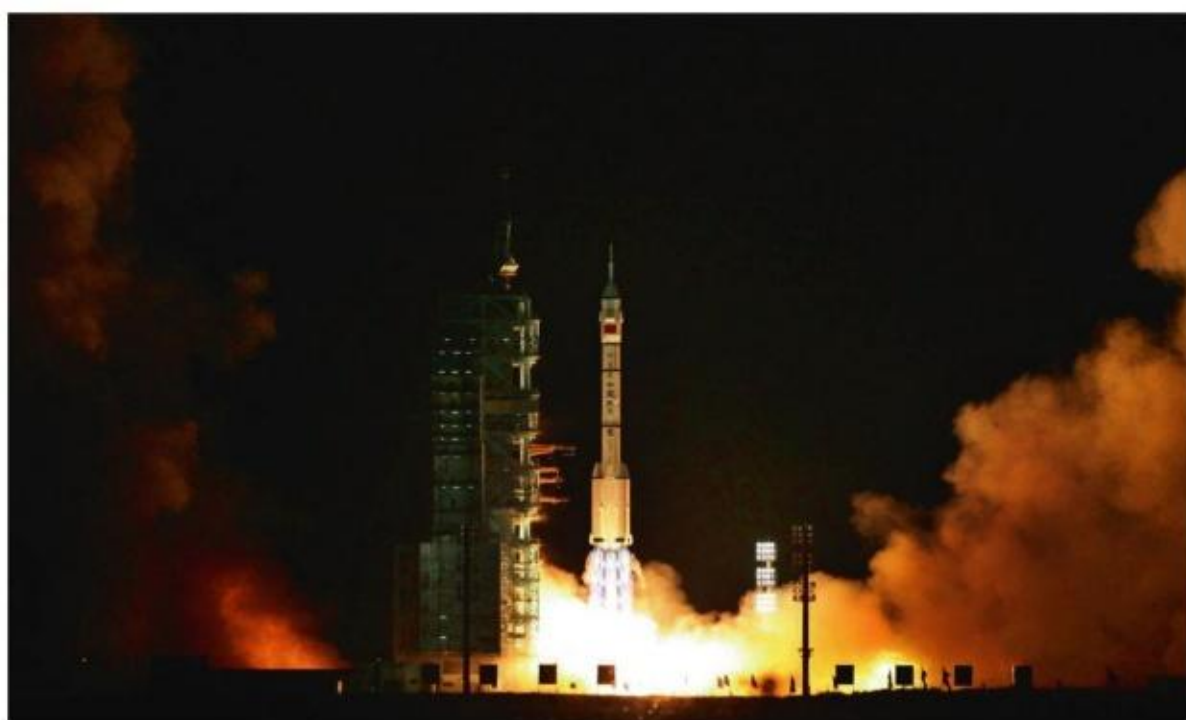


图 1-6 运载火箭升空



拓展阅读

我国的航空航天事业始于20世纪50年代。1956年初,著名科学家钱学森先生向国务院提出了《建立我国国防航空工业意见书》,对我国的航空航天事业起到了极为重要的推动作用。1970年,我国第一颗人造卫星“东方红一号”发射升空,开启了中国航天的新纪元。此后,中国航天人不断努力,不懈探索。2003年10月15日9时,我国第一艘载人飞船神舟五号伴随一声巨响在酒泉卫星发射中心点火升空,航天员杨利伟和中国国旗进入太空,这使得中国成为第三个将人类送上太空的国家。2005年10月17日,神舟六号首次完成多人多天的航天飞行。2007年10月24日,我国第一颗绕月人造卫星嫦娥一号在西昌卫

星发射中心成功发射,并于2009年3月1日撞向月球预定地点。嫦娥一号以中国神话人物嫦娥命名,取“嫦娥奔月”之意,探月活动主要有四大目标:获取月球表面三维影像、分析月球表面有用元素含量及分布特点、探测月壤厚度以及探测地球与月球之间的空间环境。2008年9月27日,神舟七号成功实现航天员出舱,进行太空行走。此后,“嫦娥”系列探测器和“神舟”系列载人飞船相继升空。2020年,新一代载人飞船试验船、空间站、神舟十二号、天舟二号等任务顺利进行,嫦娥五号实现月面无人采样返回。2024年6月25日,嫦娥六号携带月球背面样品成功返回地球。中国航天从未停下探索太空的脚步。

1.3 电子控制系统

电子控制系统,核心是电子控制技术。一个电子控制系统中一般包含电容器、电感器等电子元件,也会有二极管、三极管、集成电路等电子器件,各个模块之间相互作用、互相依赖,形成一个整体,以实现控制的目的。

电子控制系统一般包括输入、处理和输出三部分。输入部分主要是接收输入的控制信息,常见的有作用力、光、温度等,这个部分通常是由各类传感器构成,将接收到的信息转化成系统可传递的电信号。处理部分是电子控制系统的核心,主要是对输入部分传递

的信号进行分析处理，由具有控制功能的电子电路组成，并给出最终指令。输出部分即为电子控制系统的执行机构，用于完成指令要求，形式包括声音、图像、动作等，组成也是多种多样，常见的有电磁继电器、晶闸管等。



图1-7 现代家居设备

电子控制系统在生活中随处可见，图1-7中为一些家庭生活中常见的现代家居设备。例如，家庭中使用的空调，人们可以根据需要来控制它的开关，设定需要达到的温度，甚至是利用定时操作来控制它的工作时间；我们所熟悉的电视机，人们可通过遥控器发出红外信号来控制它的开关、音量、频道等；厨房中常见的电饭煲，人们可以通过控制面板来控制烹饪方式、烹饪时间等。

思考 & 练习

1. 控制技术的发展经历了哪些过程？
2. 电子控制系统通常包括哪些部分？每一部分的功能是什么呢？

第2节 现代控制技术的特点

学习目标

1. 了解现代控制技术的特点。
2. 了解现代控制技术的相关应用场景。

随着人类科学技术的不断进步，科技含量高的生产工具逐渐取代了简单的人力操作。尤其是数控机床、电子计算机等工具的大量应用，使得工矿企业中，大量的体力劳动逐渐被精密化、程式化的现代工具所代替，而一些远程的、需要进行实时工业控制的危重作业也逐渐由电子设备代劳。

2.1 电子化

在现代控制技术中，电子元器件是最为常见也是不可或缺的部分。电子技术的不断发展，电子设备的普及，大大推动了电子控制系统在现代社会中的应用。

晶体管收音机（图1-8），是一种基于晶体管的小型无线电接收机。第一款民用晶体管收音机诞生于美国印第安纳州，由印第安纳波利斯市工业发展工程师协会研制。晶体管收音机是继电子管收音机后的第二代收音机，与电子管相比，晶体管具有体积小、重量轻、耐震动、寿命长、耗电少等优点。因此，晶体管收音机可制作得非常小巧，且性能较稳定。晶体管收音机问世后，便携式收音机和袖珍收音机大幅占据市场，便于人们携带使用。之后，随着集成电路的出现和发展，晶体管又被集成电路所代替，由此出现第三代收音机——集成电路收音机。

现代控制技术的电子化，主要体现在体积小、使用方便、清洁高效，为现代生活提供便利。电子元器件造价低，易于获取。随着制造工艺越来越成熟，电子元器件的集成度越来越高，被应用在各个领域，具有很强的竞争力。



图1-8 晶体管收音机

2.2 网络化

现代社会中，电子设备被广泛应用到我们生活中的方方面面。而人们对于电子设备的要求和期待也越来越高，电子设备有了越来越高端的配置、越来越复杂的控制系统。

汽车可视为现代控制技术的典型应用。现代汽车已基本实现联网（图1-9），日常使用过程中，无论是听音乐、打电话，还是其他操作等，都无一例外使用到网络。网络一体化，每个模块各司其职，共同作用，服务于整台汽车的运作。为优化系统控制作用，需要引入网络总线来操纵多个控制模块，保证信息实时交互，提高装置的传递速率和安全性能。汽车传输网络标准主要有三种。第一种是低速网络，数据传输速率在10 kbps以下，主要用于控制对于反应速率要求不高的简易设备，如车窗、车灯等；第二种是中速网络，数据传输速率低于100 kbps，用于控制仪表盘、安全气囊等；第三种是高速网络，数据传输速率可高达1 Mbps，用于控制发动机、防抱死系统等设备。这三种网络在功能上是向下兼容的，高速网络可涵盖中速和低速网络的功能，中速网络可实现低速网络的功能。



图1-9 汽车网络

电子控制系统的网络化不单指某一独立网络，往往是多个网络共同协作，实现整个系统的正常运行。

2.3 智能化

近几年来，最热门的词汇莫过于“智能”，但何为“智能”呢？

某些资料中对“智能”一词是这样解读的：智能，是智力和能力的总称。中国古代思想家一般把智与能认为是两个相对独立的概念。《荀子》中有记载：“所以知之在人者谓之知。知有所合谓之智。智所以能之在人者谓之能。能有所合谓之能。”通常认为“智”指进行认识活动的某些心理特点，“能”则指进行实践活动的某些心理特点。

在科学领域，“人工智能”指的是机器已经达到可媲美人类的智力和能力，甚至有过之而无不及，且具有自我学习及自我成长的特质。

在现代生活中，我们了解或接触到很多“智能”的机器，如智能机器人（图1-10）、机械臂等。在这些机器内部有着非常复杂的控制程序，现代控制技术的智能化，让人为之着迷。



图1-10 智能机器人



拓展阅读

“人工智能”其实并不是一个新兴词汇，早在1956年，以麦卡赛、明斯基等为首的一批年轻科学家，就提出了这一术语。但是因为当时客观条件的局限性，人工智能并没有得到很好的关注和发展。20世纪90年代，一款名为“深蓝”的计算机一举击败当时的世界国际象棋冠军，向人们展示了人工智能技术意想不到的价值和意义。近年来，人工智能更是一跃成为热门词汇，

几乎到了全民皆知的地步。人工智能不是单一的学科，而是多学科的交叉，涉及数学、计算机科学、认知科学、哲学等，研究范围更是涵盖计算机视觉、自然语言处理、模式识别、神经网络等多个领域。目前，众多高校已经将人工智能相关知识纳入教学课程，并开设相应学科，一些企业也逐步将人工智能投入商业化生产。

第 3 节 电子控制技术改变现代生活



学习目标

1. 理解电子控制技术对现代生活带来的改变。
2. 熟悉与掌握生活中能接触到的电子控制技术。

现代生活中的方方面面都有着电子控制技术的身影，也正是因为电子控制技术的进步，我们的生活水平不断提高，生活环境也越来越便利。那么，电子控制技术到底是如何改变现代生活的呢？

3.1 从门锁演变看控制技术

安全是人们在生活中的基本需要之一。为了能满足和更好实现这一需要，人们发明了锁具来控制门的开和关。多少年以来，锁具在日常生活中被广泛地使用，并随技术的发展而发展。

在古代，生活中被广泛使用的锁具是人工控制的木闩（图 1-11）。这种装置的特点是简单，但安全性低，且只能单向从内侧实现控制，有着非常大的局限性。



图 1-11 木闩

随着技术的发展，金属锁出现了。这种锁具大多由铜或铁制作而成，锁内有片状的弹簧，利用钥匙与内部凹槽的卡合，再借助弹簧的弹力作用来实现控制。随着社会的进步，金属锁的原材料种类日渐丰富，制作工艺越来越精巧，款式也是越来越多样化。图1-12中是古往今来一些典型样式的金属锁。



图1-12 各类金属锁

在现代社会中，我们越来越多地接触到电子锁（图1-13）。我们不再需要随身携带钥匙来实现控制，而仅需要输入密码、指纹或人脸识别等。这种锁具的安全性高，方便可靠，为生活带来很多便捷。



图1-13 电子锁

3.2 电子控制技术的改变

随着现代技术的进步，我们的生活发生了翻天覆地的变化。传统的人工控制、机械控制发展为现代电子控制技术，为现代人的衣、食、住、行等各个方面带来了便利。

一、衣

世界上第一台洗衣机据传在1858年诞生于美国的匹兹堡，由汉密尔顿·史密斯制成。这台洗衣机外部是一只圆桶，内部是一根带有桨状叶子的直轴，工作原理是通过手摇外部曲柄带动桶内直轴转动，这就是机械控制的应用，被视为现代洗衣机的开端。在此之前，传统的洗衣方式都是手洗。21世纪以来，电子控制技术被应用到洗衣机中。市面上常见的现代洗衣机有波轮洗衣机和滚筒洗衣机等，这已经成为每个家庭的生活必需品，图1-14中的洗衣机就是一种现代家庭生活中常见的洗衣机。现代洗衣机对衣物损伤比早期机械控制的洗衣机小很多，同时洗衣快速，节省了大量时间，更加适应现代人快节奏的生活方式。



图1-14 洗衣机

二、食

俗话说“民以食为天”，餐饮不仅满足每人每天对能量的摄取，更是提升幸福感的一种方式。从最早的钻木取火，到现代社会的电

磁炉、电饭煲等家用电器；从传统的地窖存储、冰镇保鲜，到现代社会中冰箱、冰柜的普及——食材的制作、保鲜从原始的人工控制，逐渐发展到现代厨房中无处不在的电子控制技术。在现代厨房（图 1-15）中，无论是冰箱还是微波炉，又或者是抽油烟机，这些设备无一例外都应用了电子控制技术。



图 1-15 现代厨房

三、住

建筑的演变反映了社会的进步发展。高是很多现代建筑的特点之一。人们常用高楼大厦这个词语来描述都市里的现代建筑，这些建筑通常有十几、二十几甚至三四十层高。不同于古代文学作品中常提到的茅草屋等建筑，对于现代都市中的高楼大厦来说，最不可或缺的就是电梯（图 1-16）。我们的生活中几乎每天都需要借用这个



图 1-16 电梯

工具，而要使电梯安全稳定地运行，精准到达每个楼层，就需要应用电子控制技术。

四、行

现代社会生活节奏快，得益于交通的便利。人们日常出行可以选择多种公共交通工具，如飞机、高铁、地铁、公共汽车等。借助现代化的交通工具，人们可以去往世界各地，并且能够节省大量旅途时间。如今，随着生活水平的提高，汽车（图1-17）也逐渐成为每个家庭的必备品，方便人们的日常出行、周末出游等。上述这些交通工具无一例外，都有电子控制技术的身影，电子控制技术的发展与成熟惠及全民。



图1-17 汽车

科技是第一生产力，是全面建设社会主义现代化国家的基础性、战略性支撑之一。正是因为电子控制技术的进步，我们的生活水平不断提高，生活的方方面面变得越来越便利。由点及面，个人生活中的点滴便利，反映着国家乃至世界的发展与进步。



思考 & 练习

1. 除了前面提到的应用，你还能说出哪些电子控制技术的应用？
2. 讨论电子控制在哪些方面对你影响最大。

第4节 常用电子元器件的识别及焊接



学习目标

1. 学会辨别和检测常用电子元器件。
2. 掌握识读电子电路图的基本方法。
3. 熟悉常见的焊接工具，掌握一种焊接方法。

电子元器件是组成电路和电子控制系统的基本单元，通过其端子与外部连接。电子产品的性能好坏，不仅取决于电路结构的设计，还取决于能否正确合理地选用电子元器件。电子元器件通常通过焊接的方式集成在电路板上，电路性能与电路板的焊接质量密切相关。

4.1 电子元器件的分类

通常将元器件分为有源元器件和无源元器件两大类。

有源元器件是指工作时，除了需输入信号，还必须要有外加电源才可以正常工作的元器件，如晶体二极管、晶体三极管、MOS场效应晶体管等。

无源元器件是指在电路中无须加电源即可在有信号时工作的元器件，如电阻器、电容器、电感器以及开关等。

习惯上称有源元器件为器件，称无源元器件为元件。

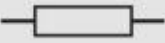
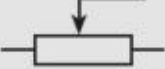
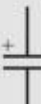
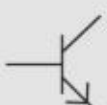
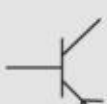
4.2 电子元器件的认识

电子元器件是组成电路的基本元素，常用的元器件列表如表1-1所示。

一、电阻器

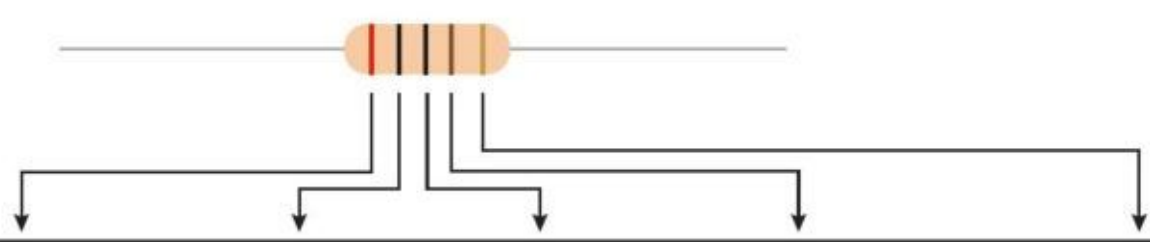
电阻器的主要参数包括标称阻值、允许误差、额定功率和温度系数。由于电阻器的表面大小有限，一般只标明标称阻值、允许误差和额定功率。电阻器在工作时，如果实际消耗功率过高，会被烧毁。为了防止其在电路中被烧毁，选择电阻器时，应使额定功率高于实际消耗功率的1.5~2倍。

表1-1 常用的元器件列表

名称及外形		作用	符号		单位	备注
			国标推荐	其他常用		
电阻器	定值电阻器 	阻碍电流通过			欧姆 (Ω) 千欧姆 ($k\Omega$) 兆欧姆 ($M\Omega$) $1 k\Omega = 10^3 \Omega$ $1 M\Omega = 10^6 \Omega$	
	可变电阻器 					
电容器	定值电容器 	充放电，隔直流通交流			法拉 (F) 微法拉 (μF) 纳法拉 (nF) 皮法拉 (pF) $1 \mu F = 10^{-6} F$ $1 nF = 10^{-9} F$ $1 pF = 10^{-12} F$	电解电容器是有极性的，两根引脚一长一短，长的是正极，短的是负极
	可变电容器 					
	电解电容器 					
电感器	电感器/线圈 	存储磁场能量，通直流隔交流			亨利 (H) 毫亨利 (mH) 微亨利 (μH) $1 mH = 10^{-3} H$ $1 \mu H = 10^{-6} H$	
晶体二极管	普通二极管 	检波，整流				标有色环的一端是负极
	稳压二极管 	稳定电压				
	发光二极管 (LED) 	发出各色光				两根引脚一长一短，长的是正极
晶体三极管	NPN型三极管 	信号放大，开关				标有型号的一面对向自己，三个引脚从左到右依次是发射极 (E)、基极 (B)、集电极 (C)
	PNP型三极管 					

1. 色环标注

色环标注电阻器阻值的识别方法如图 1-18 所示。



颜色	数值第1位	数值第2位	数值第3位	倍数	允许误差
银色	—	—	—	$\times 0.01$	$\pm 10\%$
金色	—	—	—	$\times 0.1$	$\pm 5\%$
黑色	0	0	0	$\times 1$	—
棕色	1	1	1	$\times 10$	$\pm 1\%$
红色	2	2	2	$\times 100$	$\pm 2\%$
橙色	3	3	3	$\times 1\,000$	—
黄色	4	4	4	$\times 10\,000$	—
绿色	5	5	5	$\times 100\,000$	—
蓝色	6	6	6	$\times 1\,000\,000$	—
紫色	7	7	7	—	—
灰色	8	8	8	—	—
白色	9	9	9	—	—

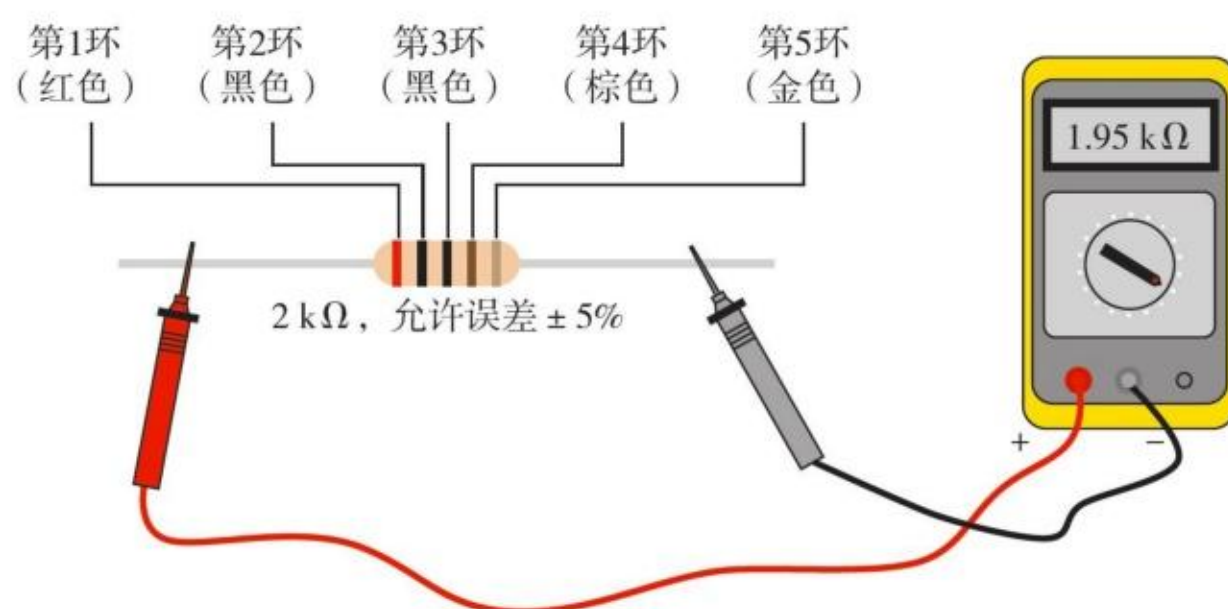


图 1-18 色环标注电阻器阻值的识别

2. 字母数字标注

22R: 表示 $22\ \Omega$

5R6: 表示 $5.6\ \Omega$

2M2: 表示 $2.2\ \text{M}\Omega$

220K: 表示 $220\ \text{k}\Omega$

? 思考 & 练习

1. 取若干色环电阻器，读出其阻值，并用万用表欧姆挡测量其阻值加以验证。
2. 选用电阻器的时候，除了考虑阻值大小，还要考虑哪些因素？



拓展阅读

0 Ω 电阻器在电路中主要有如下作用。

1. 在电路参数不确定的时候，以 0 Ω 电阻器代替，实际调试时，确定参数，再以具体数值的元器件代替。
2. 一般产品上不用跳线和拨码开关，为避免用户误操作，用 0 Ω 电阻器代替跳线。
3. 如果想测量电路消耗的电流，可以去掉 0 Ω 电阻器，接上电流表，方便测试。

二、电容器

电容器的主要参数包括标称容量、额定耐压值和允许误差等。额定耐压值是指电容器接入电路后，能连续可靠地工作而不被击穿时所能承受的最大直流电压。一般选择额定电压比实际工作电压高 10%~20% 的电容器。

电容器的误差一般分为三级，即 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 和 $\pm 20\%$ ，或写成 I 级、II 级和 III 级，有的电解电容器的容量误差可能大于 $\pm 20\%$ 。

表 1-1 中的定值电容器上标有“104”，这是数字标注法。左边和中间的数字是有效数字，最右边的一位数字表示 10 的多少次方，单位默认是 pF。即 104 表示的容量大小为 $10 \times 10^4 \text{ pF} = 0.1 \mu\text{F}$ 。

电容器有时也采用直接标注法，在电容器的外壳上直接标出标称容量和允许误差。在不标单位的情况下，当用整数表示时，单位为 pF；用小数表示时，单位为 μF 。标注示例如下。

2200：表示 2 200 pF

0.056：表示 0.056 μF

三、电感器

电感器的主要参数包括电感量、允许误差、品质因数和额定电流等。

品质因数也称 Q 值或优值，是衡量电感器质量的主要参数。电感器的 Q 值越高，其损耗越小，效率越高。电感器品质因数的高低与线圈导线的直流电阻、线圈骨架的介质损耗及铁心、屏蔽罩等引起的损耗有关。

额定电流是指电感器正常工作时允许通过的最大电流。若工作电流超过额定电流，电感器就会因发热而引起性能参数的改变，甚至还会因过流而烧毁。



思考 & 练习

1. 选取电容器时要考虑哪些因素？
2. 电感器的主要参数有哪些？

四、晶体二极管

晶体二极管（简称二极管）在电路中通常用字母D加数字表示，如 D_1 、 D_2 等，其电路符号中有短直线的一端代表负极，另一端代表正极，如图1-19所示。



图1-19 二极管符号

当正极接电源正极，负极接电源负极时，称为正向偏置。当正极接电源负极，负极接电源正极时，称为反向偏置。

对于理想二极管，施加正向偏置时，二极管导通；施加反向偏置时，二极管截止。二极管具有单向导电特性，即二极管正向电阻值小，反向电阻值大。

二极管的主要参数如下。

(1) 最大整流电流 I_{FM} ，二极管长期运行允许通过的最大正向平均电流。

(2) 反向击穿电压 U_{BM} ，允许加在二极管上的反向电压最大值。

(3) 反向电流 I_R ，在规定反向电压下的反向电流值。反向电流越小，二极管的单向导电性能越好。

(4) 最高工作频率 f_M ，当二极管的实际工作频率高于最高工作频率时，二极管来不及关断，相当于一直导通，失去其单向导电特性。

思考 & 练习

1. 二极管的正向特性有何特点？使用二极管应注意哪些事项？如何用万用表判断二极管的好坏？
2. 根据如图1-20所示的电路图搭建实际电路，用万用表测量回路的电流、二极管两端的电压和灯泡两端的电压。

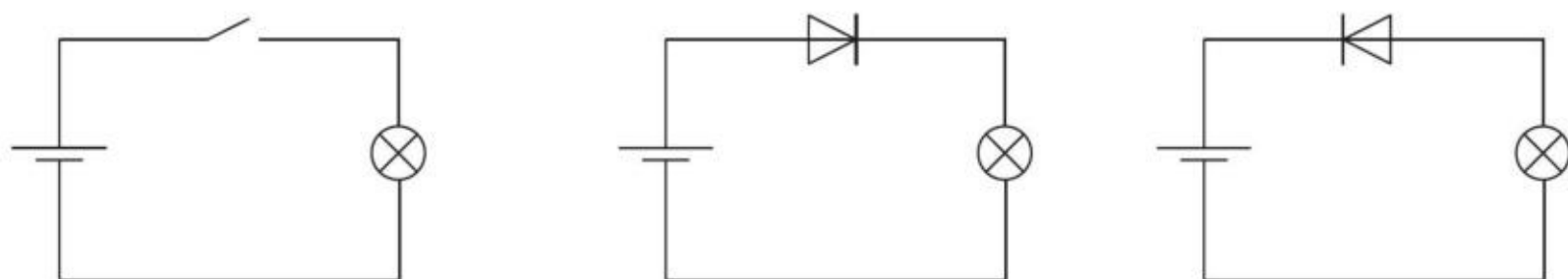


图1-20 基本电路

五、晶体三极管

晶体三极管（简称三极管）也称双极结晶体管（bipolar junction transistor, BJT），在电子电路中能起到开关或放大作用。音乐电子门铃、扩音器等都用到了三极管的放大作用。

晶体三极管在电路中通常用字母Q表示，识读三极管的电路符号时要注意以下几点。

(1) 箭头标识在发射极，其方向用以区分NPN型三极管和PNP型三极管。

(2) 箭头方向是发射结(基极与发射极之间)正向偏置的方向。

(3) 箭头方向是发射极的电流方向。

三极管的主要参数如下。

(1) 共发射极交流电流放大系数 β ,表示三极管工作在放大状态时,集电极电流变化量 ΔI_C 与基极电流变化量 ΔI_B 之比。三极管的 β 值小时,放大作用差, β 值太大时,工作性能不稳定。

(2) 特征频率 f_T ,当三极管的 β 值下降到 $\beta=1$ 时所对应的频率。当工作频率 $f>f_T$ 时,三极管便失去了放大能力。

(3) 集电极最大允许耗散功率 P_{CM} ,当实际耗散功率 P_C 大于 P_{CM} 时,不仅三极管的参数会发生变化,甚至还会烧毁。

(4) 反向击穿电压 $V_{(BR)CEO}$ 与 $V_{(BR)CBO}$,三极管的反向工作电压应小于击穿电压的 $\frac{1}{2}$ 或 $\frac{1}{3}$,以保证三极管安全可靠地工作。

思考 & 练习

1. 取若干三极管(图1-21),识别其型号以及基极(B)、集电极(C)、发射极(E)的位置。
2. 如何用万用表判断NPN型三极管或PNP型三极管的好坏?对于一个正常NPN型三极管,如何用万用表测量以识别器件的B、C、E?



图1-21 三极管

4.3 电路与电路符号

一、电路的组成

电路由电源、用电器、开关和导线组成。电路接通时,电流由电源正极流出,经开关、用电器等,流回电源的负极。

电源的作用是提供电能。日常使用的直流电源除干电池外,还可以由直流稳压器将交流电转换而成。

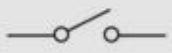
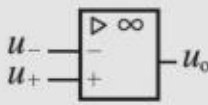
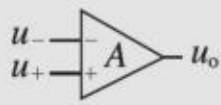
开关的作用是控制电路的通路和断路。直流电路中常用的开关有拨动开关、按钮开关等。

在一般电子制作和产品设计中,选用开关时,除了外形,参数方面通常需要注意额定电压、额定电流和接触电阻。

二、电路符号和电路图

电路图是指用规定的元器件符号代表实际电路连接情况的图。除了表1-1中列出的各类常用电子元器件符号,其他常用的电路符号如表1-2所示。

表1-2 常用电路符号

名称及外形	符号		说明
	国标推荐	其他常用	
干电池 			符号中长线表示正极，短线表示负极
灯泡 			
开关 			
蜂鸣器 			
运算放大器 			$u_o = A(u_+ - u_-)$ A为放大倍数，闭环使用时实现放大功能，开环使用时实现比较功能
导线 			交叉不连接
			交叉相连接
端子 			与外电路的连接点

 拓展阅读

MOS管是金属（metal）-氧化物（oxide）-半导体（semiconductor）场效应晶体管的简称。通常有N型沟道MOS管和P型沟道MOS管两种类型，分别简称为NMOS和PMOS，其电路符号如图1-22所示。

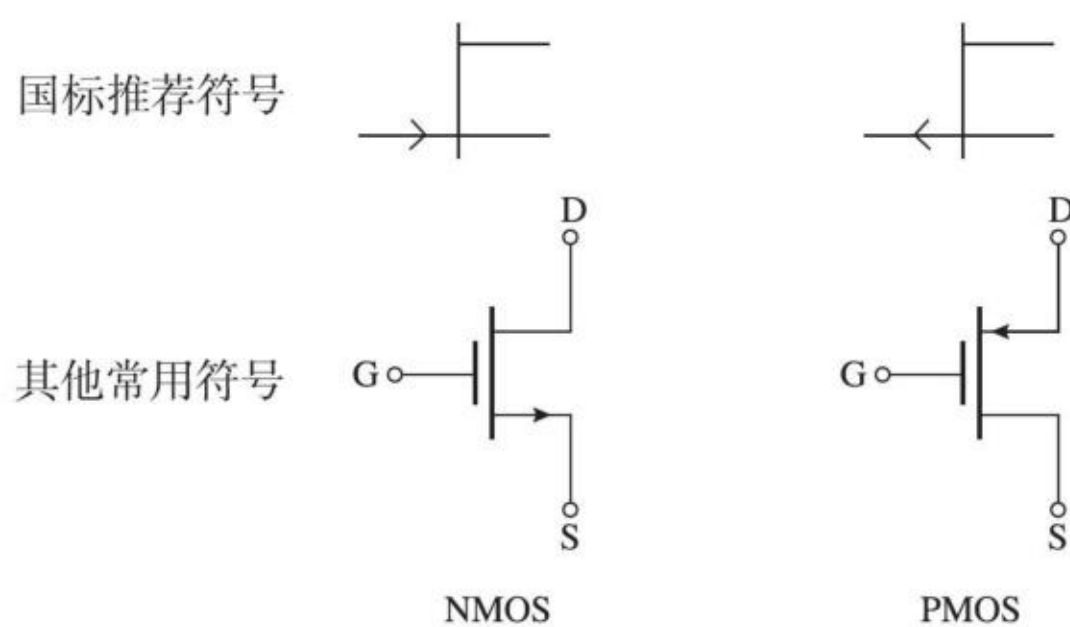


图 1-22 MOS 场效应晶体管

MOS 管的器件功能类似于三极管，在电路中实现信号的放大或开关的作用。在现代数字集成电路中，通常采用由 NMOS 和 PMOS 组成的互补

电路结构（CMOS 电路）实现一定的功能。由于其静态功耗低的优点，CMOS 电路已成为目前集成电路的主流工艺。

4.4 电路板焊接

焊接是完成电子元器件装配的最常见手段，焊接质量对电路的性能有着直接的影响。焊接按照其方式可以分为手工焊接与自动焊接。

常见的焊接工具及辅助材料有电烙铁、锡丝、助焊剂、焊锡膏、吸锡带、清洗剂等。部分常见焊接工具如图 1-23 所示。



图 1-23 部分常见焊接工具

电烙铁的主要用途是焊接元器件及导线，根据用途不同可分为大功率电烙铁和小功率电烙铁。

锡丝由锡合金和助剂两部分组成。手工焊接配合使用锡丝与电烙铁，由电烙铁提供稳定持续的熔化热量，锡丝作为金属填充物添加到电子元器件的表面或缝隙中，完成焊接。

助焊剂具有保护作用，是一种阻止氧化反应的化学物质，在焊接工艺中能帮助和促进焊接过程的完成。

焊锡膏是由焊锡粉、助焊剂以及其他的表面活性剂、触变剂等加以混合形成的膏状混合物。

手工焊接是焊接技术中最常使用的焊接方法，也是电子产品装配与维修中的一项基本技能，适用于小批量或自动焊接有困难的应用场合。手工焊接的要求是焊接牢固，焊点光亮、圆滑、饱满。焊接的质量主要取决于焊接工具、焊料、焊剂和焊接技术。焊接过程可以分成五个步骤：准备施焊、加热焊件、送入锡丝、移开锡丝、移开电烙铁。图1-24为手工焊接的操作示例。

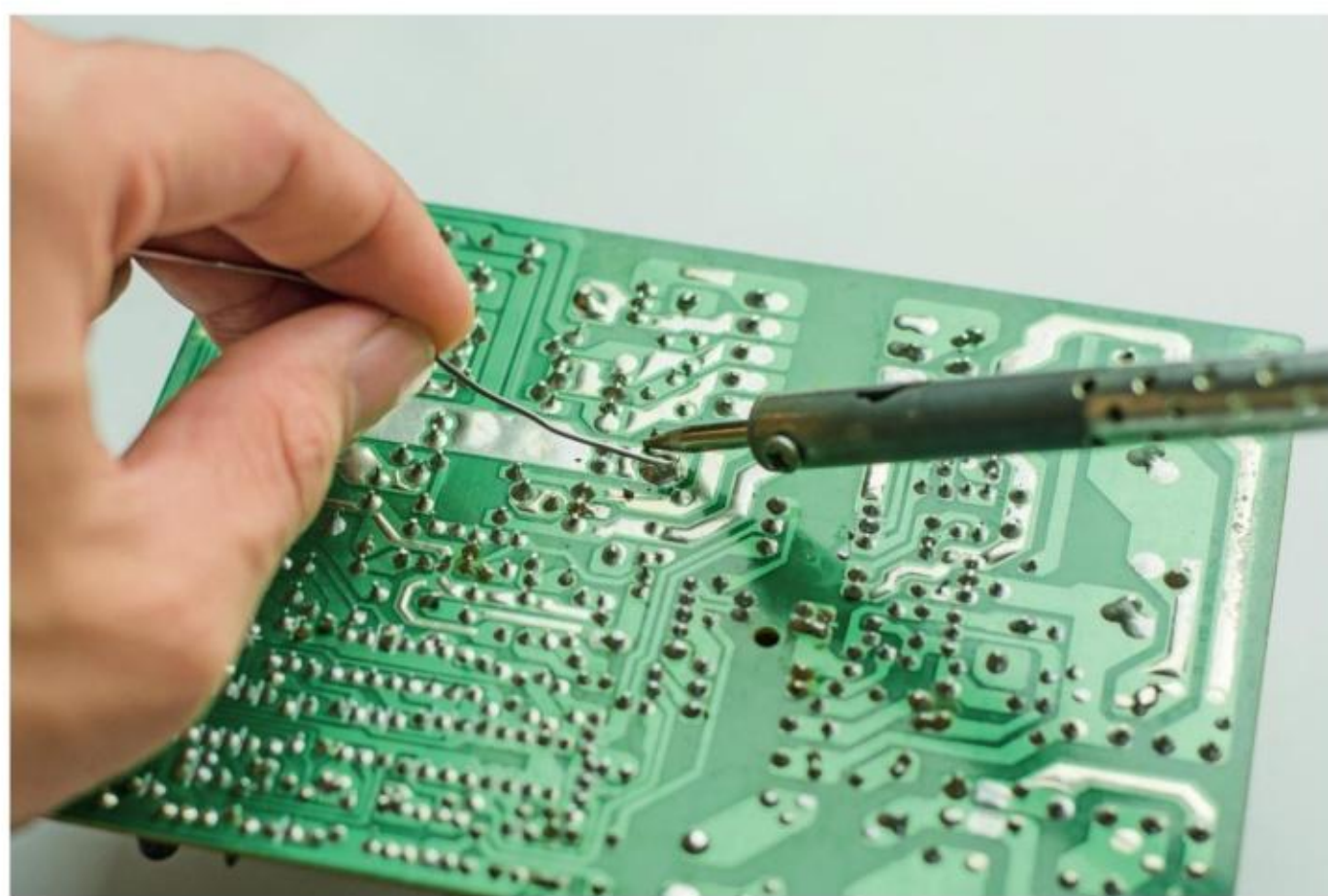


图1-24 手工焊接操作示例

- (1) 准备施焊。要求电烙铁头部干净，准备好电烙铁和锡丝。
- (2) 加热焊件。使用电烙铁加热焊件，并保持焊件均匀受热，电烙铁接触焊点。
- (3) 送入锡丝。达到熔化锡丝的温度后，把锡丝送入焊点，锡丝熔化并润湿焊点。
- (4) 移开锡丝。锡丝熔化至达到焊接要求后，将锡丝移开。
- (5) 移开电烙铁。焊点被完全润湿后，沿 45° 方向向上移开电烙铁。

现代化企业广泛使用自动插装、自动焊接的生产工艺，自动焊

接一般分为波峰焊和回流焊两大类。

随着制造业的快速发展，电子焊接技术的应用越来越广泛。电子产品生产更快、体积更小、价格更低的要求推动了电子制造技术的发展，电路板焊接技术呈现出向微电子焊接技术、无铅焊接技术这两个技术方向发展的趋势。有铅焊接技术有上百年的历史，具有较好的焊接可靠性和稳定性。随着环保要求的逐步提高，无铅焊接技术成为电子产业发展的一个必然选择。

本章小结

本章介绍了控制技术的发展过程，帮助同学们掌握电子控制技术、电子控制系统的基本知识；现代控制技术具有电子化、网络化和智能化的特点，在生产生活中得到广泛应用；电子控制技术对衣、食、住、行都有着不能忽视的影响，渗透到现代生活的方方面面；电子元器件是电子控制系统的基本组成单元，常用电子元器件的认识及使用是后续学习的前提，而将电子元器件焊接在电路板上是实现所需功能的第一步。本章知识结构如图1-25所示。

通过本章的学习，希望同学们对电子控制技术形成基本的认识 and 了解，感受电子控制技术的重要性及学习电子控制技术的必要性，同时注意观察、总结电子控制技术在现代生产生活中的更多应用场景，真正达到学以致用。

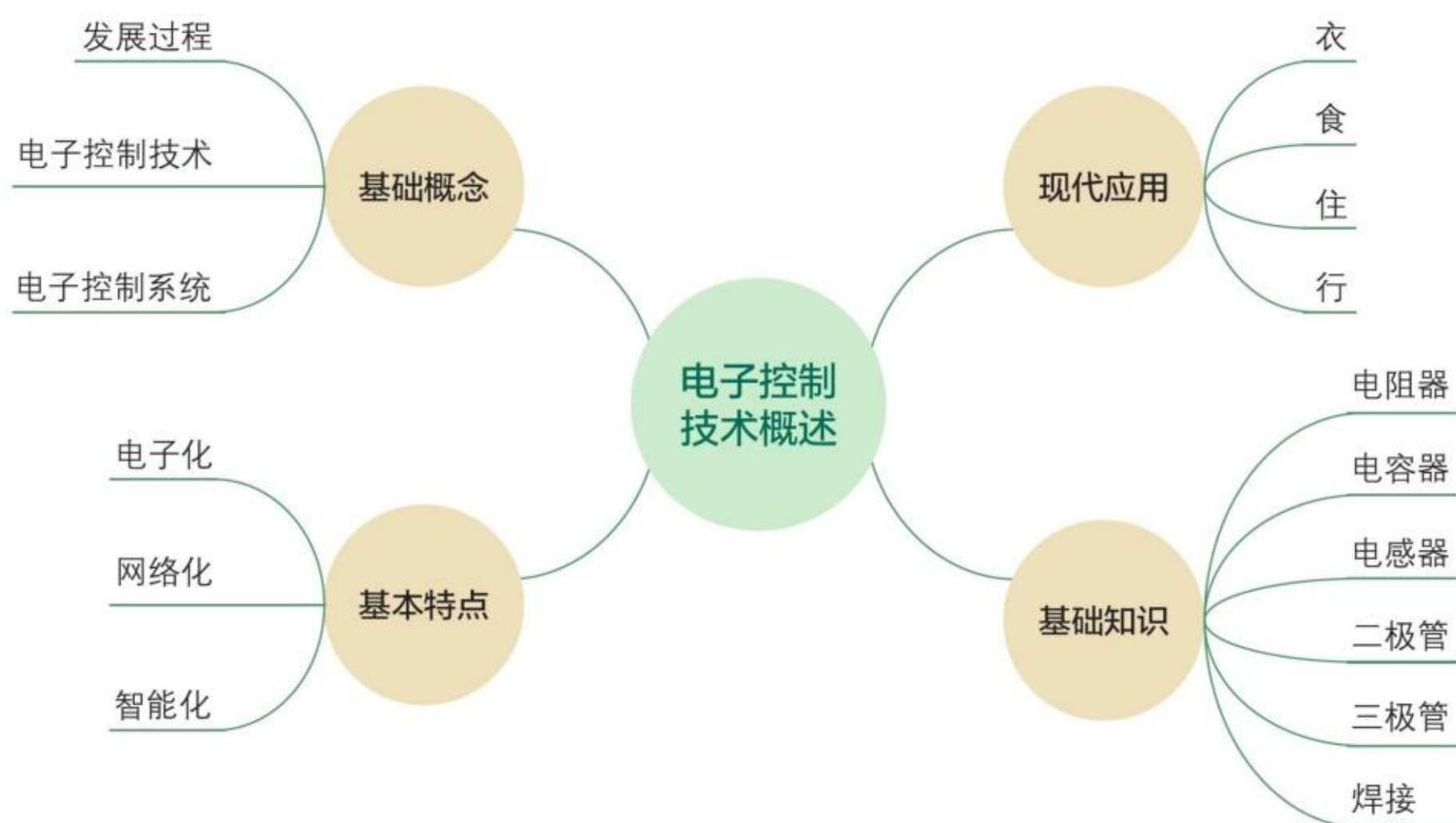


图1-25 本章知识结构

本章学习评价表

课程目标/ 实践项目	评价指标	评价方式		
		自评	互评	师评
控制技术的发展	能说明控制技术的发展过程及基本含义			
	掌握电子控制技术的定义及应用			
	理解电子控制系统的定义及组成			
现代控制技术的特点	掌握现代控制技术的特点			
	了解现代控制技术相关应用场景			
电子控制技术改变现代生活	掌握电子控制技术对现代生活的改变			
	了解生活中接触到的电子控制技术			
常用电子元器件的识别及焊接	掌握辨别和检测常用电子元器件的方法			
	掌握识读电子电路图的基本方法			
	熟悉常见的焊接工具并掌握一种焊接方法			

等级标准：A优秀、B良好、C合格、D待改进。

第二章 模拟电路与数字电路

电路由基本的电子元器件按照一定的连接方式组成，可以实现一定功能。例如，我们要实现一个恒温控制系统，首先需要温度采集处理电路采集温度数据，然后需要逻辑比较电路实现温度比较，以决定是加热还是制冷。这些电路的工作方式是怎样确定的呢？它们的处理方式相同吗？通过本章的学习，同学们将了解模拟电路和数字电路处理信号的过程，初步掌握电子控制的实现方法。

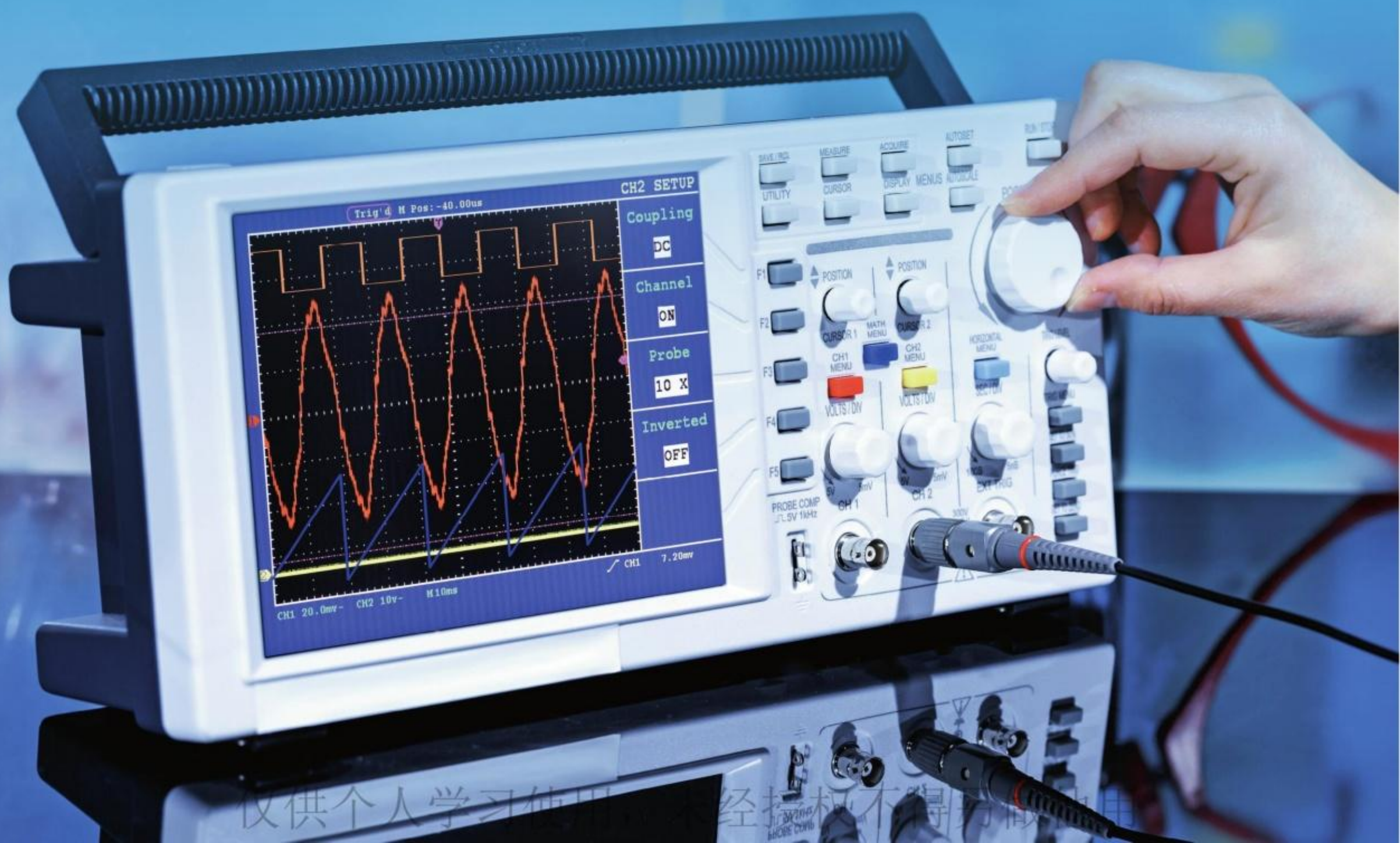
第1节 模拟信号和数字信号

第2节 常用晶体管的基本原理和应用

第3节 晶体三极管的开关特性及其应用

第4节 数字电路中的基本组合逻辑电路

第5节 典型电路应用举例



第 1 节 模拟信号和数字信号



学习目标

1. 了解模拟信号和数字信号的特性。
2. 了解模拟信号和数字信号相互转换的原理。

信号是承载信息的载体，它通常包含光信号、声信号和电信号等。电子控制系统中处理的信号有不同的分类和特征。

1.1 模拟信号和数字信号的特性

问题1：你能举例说明身边都有哪些信号吗？

上课的铃声是声信号，表示该上课了；十字路口的红绿灯是光信号，可以保证交通安全和秩序；常见的广告牌也可以看成是文字或图像信号；收音机接收到的是广播信号。由此可见，信号给我们的生活带来极大的方便。

问题2：常见的信号都可以通过电路直接处理或控制吗？

常见的信号，如声音、压力、温度、光的强弱等信号不能被电路直接处理。通常先经过传感器把所获取的信号转化为电信号，即电压或电流的变化量，然后再通过电路进行信号的处理，如放大、滤波等。

问题3：生产线的零件个数、跳绳计数和温度等这些物理量有什么区别吗？

观察自然界中形形色色的物理量，可以发现其变化规律主要有两大类。

一类物理量的变化过程是连续的，其值随时间连续变化。这一类物理量叫作模拟量，表示模拟量的信号叫作模拟信号（analog signal），处理模拟信号的电子电路叫作模拟电路。日常生活中常见的温度、压力等都是模拟量。

另一类物理量的变化过程是不连续的，其值是离散的，且数值大小和每次的增减变化是某一个最小数量单位的整数倍，而小于这个最小数量单位的数值没有任何物理意义。这一类物理量叫作数字量，表示数字量的信号叫作数字信号（digital signal），处理数字信号的电子电路叫作数字电路。例如，记录从自动生产线输出的零件数目时，每输出一个零件可记为1，计数1个；没有零件输出时可记为0，不计数。可见，零件数目这个量无论在时间上还是数值上都是不连续的，因此是一个数字量，最小的数量单位就是1个。

用图像来表示模拟信号和数字信号如图2-1所示，模拟信号的值是连续的，数字信号的值是不连续的。

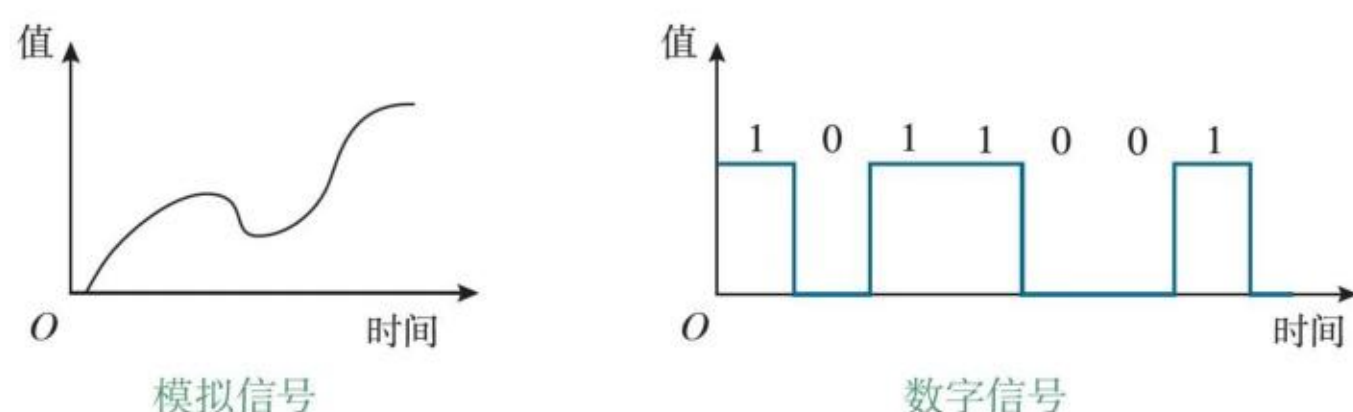


图2-1 模拟信号与数字信号示意图

在计算机中，数字信号的大小常用有限位的二进制数表示，例如，字长为2位的二进制数可表示4种大小的数字信号，它们是00、01、10和11。二进制数易于由数字电路进行处理，因此得到了广泛的应用。

此外，在数字电路中，1表示高电平信号，0表示低电平信号。

1.2 模拟信号和数字信号之间的转换

由于数字电子技术的迅速发展，尤其是计算机在自动控制、自动检测等领域的广泛应用，用数字电路处理模拟信号的情况更加普遍了。

为了能够使用数字电路处理模拟信号，必须把模拟信号转换成相应的数字信号，输入计算机进行处理。同时，还要求把处理得到的数字信号再转换成相应的模拟信号，作为最后的输出。

我们把模拟信号到数字信号的转换称为模数（analog-to-digital, A/D）转换，把实现模数转换的电路称为模数转换器（analog-to-digital converter, ADC）；把数字信号到模拟信号的转换称为数模

(digital-to-analog, D/A) 转换, 把实现数模转换的电路称为数模转换器 (digital-to-analog converter, DAC)。

为了保证数据处理结果的准确性, ADC 和 DAC 必须有足够的转换精度, 同时, 为了适应快速过程的控制和检测需要, ADC 和 DAC 还必须要有足够快的转换速度。

一、模数转换原理

模数转换是将任意的模拟信号, 按规定的位数变换为数字编码。如图 2-2 所示, 模拟信号通常先经过采样保持电路在时间上离散化, 然后根据每个采样时刻的模拟输入信号幅度的大小进行量化、编码, 得到相应的二进制数。



图 2-2 模数转换基本原理

很明显, 在每个周期内对模拟信号的采样次数越多, 对模拟信号的再现就越准确, 图 2-3 给出了不同采样频率的图示说明。

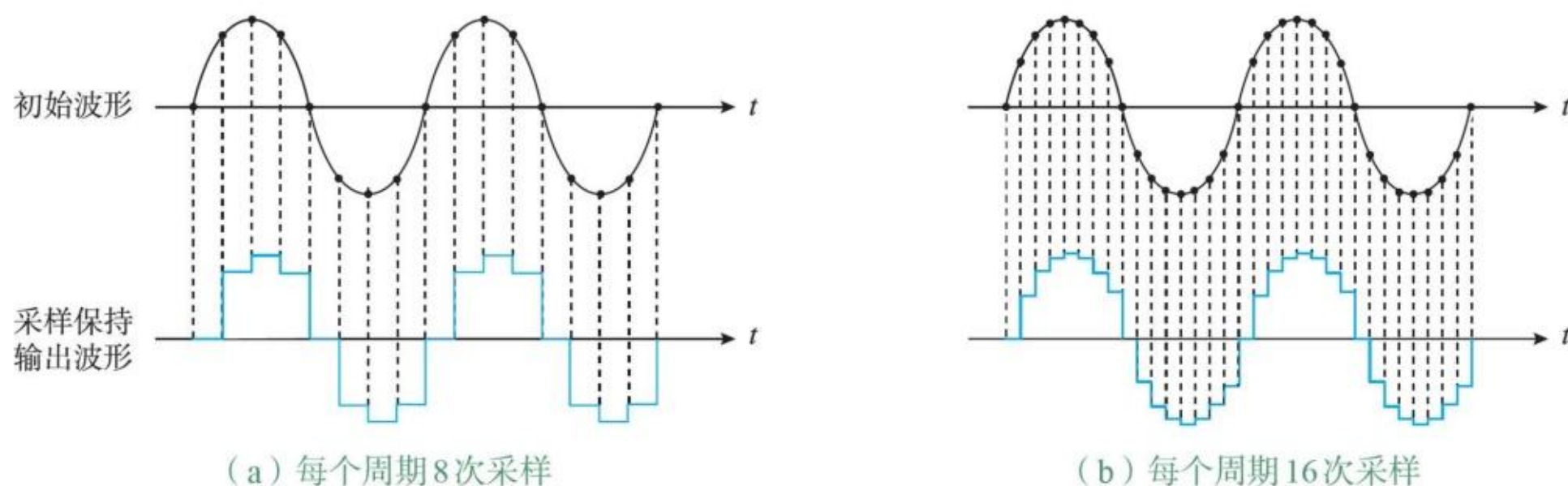


图 2-3 两种采样频率的再现准确程度比较

ADC 可以认为是一个编码器件, 编码的位数 N 为 ADC 的分辨率。因为 $2^4 = 16$, 所以一个 4 位 ADC 可以表示一个模拟信号的 16 个不同值, 类似地, 一个 8 位 ADC 可以表示一个模拟信号的 256 个不同值, 一个 12 位 ADC 可以表示一个模拟信号的 4 096 个不同值。输出二进制数的位数越多, 转换越准确。

二、数模转换原理

DAC可以认为是一个译码器件，它接收的是数字信号，而以电压或电流形式提供模拟信号的输出，其基本功能框图如图2-4所示。

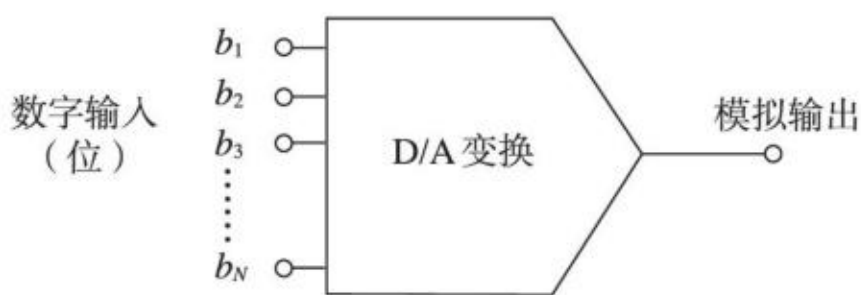


图2-4 DAC基本功能框图

DAC的输入信号是一组由0和1组成的数字编码 D 。假设 D 为 N 位数字编码， b_1 、 b_2 …… b_N 是各位的系数，它们量化为0或1，则 D 可以表示为

$$D = b_1 2^{-1} + b_2 2^{-2} + b_3 2^{-3} + \cdots + b_N 2^{-N}$$

因此，DAC的输出信号 u_o 可写为

$$u_o = V_{\text{REF}} (b_1 2^{-1} + b_2 2^{-2} + b_3 2^{-3} + \cdots + b_N 2^{-N})$$

其中 V_{REF} 为基准电压。由上式可以根据输入的数字编码生成相应的模拟输出电压。

图2-5为一个根据上述电压定标原理工作的3位DAC的示意图，它的电阻链由8个相同的电阻器构成，接于基准电压 V_{REF} 和地之间。

每个电阻器两端的电压等于 $\frac{V_{\text{REF}}}{2^N}$ 。输出电压由开关矩阵产生，然后

通过电压跟随器输出。 A 、 B 、 C 表示开关的状态，分别由对应于 b_3 、 b_2 和 b_1 的逻辑信号驱动。当输入代码为000时， A 、 B 、 C 处开关均断开， $\bar{A}$ 、 $\bar{B}$ 、 $\bar{C}$ 处开关均闭合，输出电压为0 V。与此类似，如果输入代码为100，则 A 、 $\bar{B}$ 、 $\bar{C}$ 处开关闭合，输出电压为 $\frac{V_{\text{REF}}}{2}$ 。

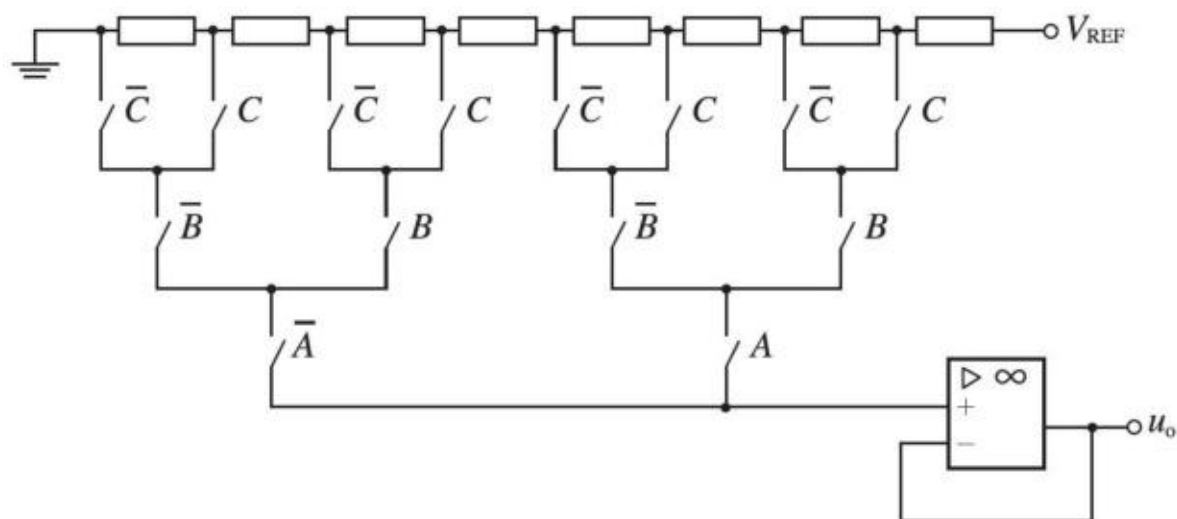


图2-5 采用电压定标原理工作的3位DAC示意图



思考 & 练习

1. 模拟信号和数字信号各自有哪些特点？
2. 列举数字信号1和0在不同场合表示的含义。
3. 简要叙述模拟信号和数字信号之间的转换过程。

第2节 常用晶体管的基本原理和应用

学习目标

1. 知道晶体二极管的应用和晶体三极管的结构和类型。
2. 知道晶体三极管共发射极放大电路的组成和工作原理。
3. 掌握晶体三极管在模拟电路中的应用。

在电子控制系统中，除了基本的电阻器、电容器、电感器等无源元器件，要实现控制，晶体管是必不可少的元器件，主要有二极管、三极管等。

2.1 晶体二极管的应用

一、开关作用

晶体二极管具有单向导电的特性。如果用一个二极管代替图2-6(a)中的开关S，同样能使电路出现灯亮或灯灭两种状态，如图2-6(b)所示。

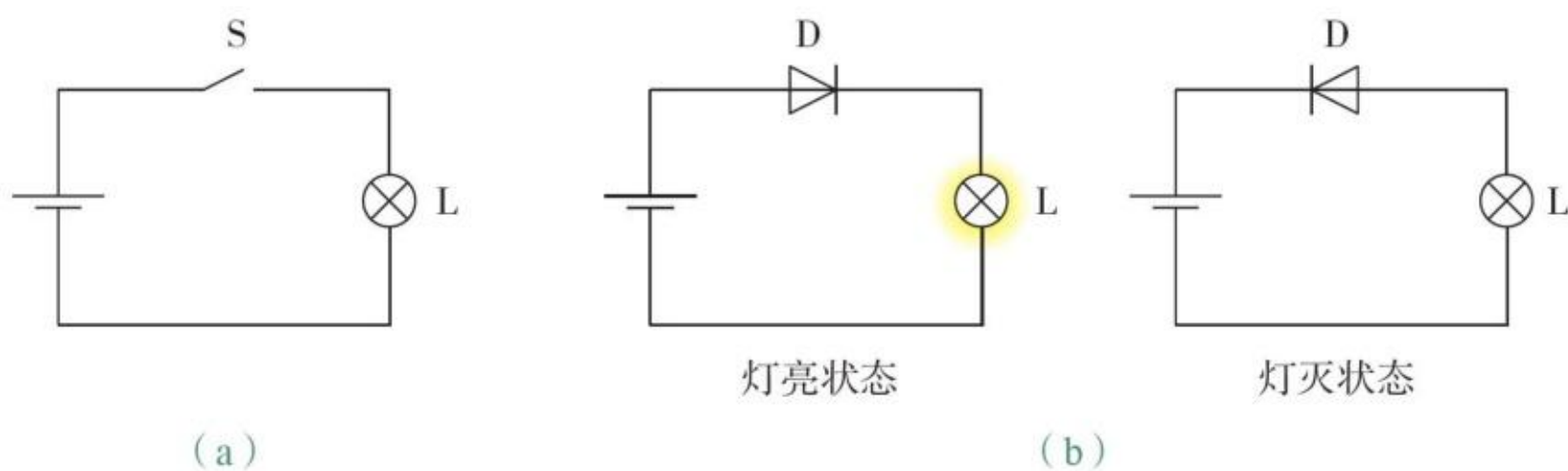


图2-6 二极管的单向导电特性用作开关

二、半波整流

图2-7为简单的二极管半波整流电路，由整流二极管 D_1 和负载电阻 R_1 组成， V_i 为交流输入信号， V_o 为输出信号。输入信号如图2-8(a)所示，当 V_i 信号为正半周时， D_1 导通，忽略二极管的导通压降， $V_o = V_i$ ；当 V_i 信号为负半周时， D_1 截止， $V_o = 0$ 。图2-8(b)即为输出信号波形示意图。

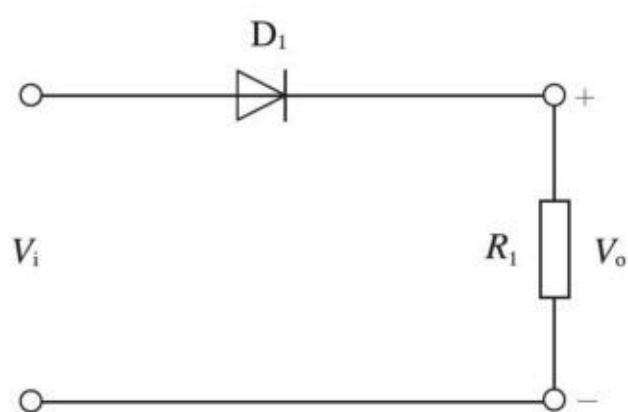


图2-7 半波整流电路

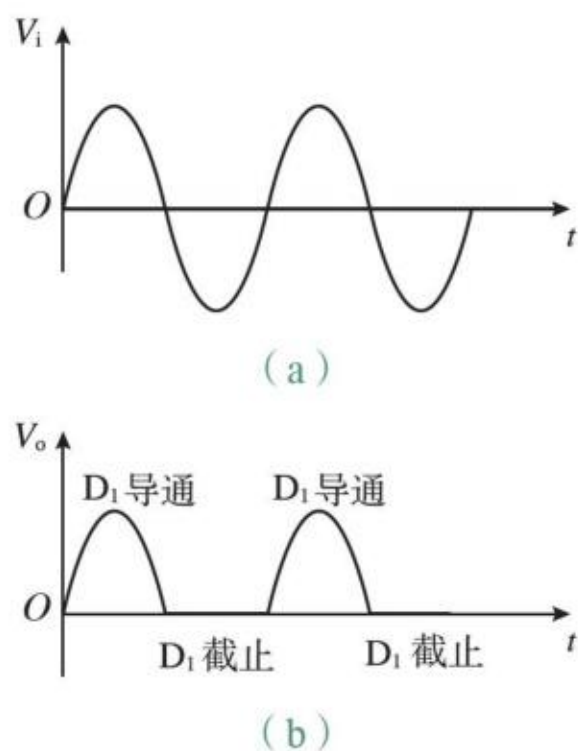


图2-8 输入、输出信号波形示意图

三、全波整流

图2-9为全波整流电路的电路图。输入信号如图2-10 (a) 所示, 当交流输入信号为正半周时, D_2 和 D_4 导通, 负载电阻上输出电压约等于输入电压; 当输入交流信号为负半周时, D_3 和 D_1 导通, 负载电阻上输出电压约等于输入电压, 图2-10 (b) 即为输出信号波形示意图。

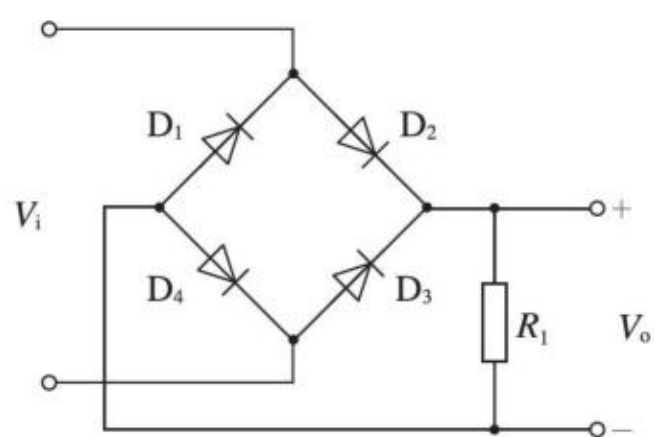


图2-9 全波整流电路

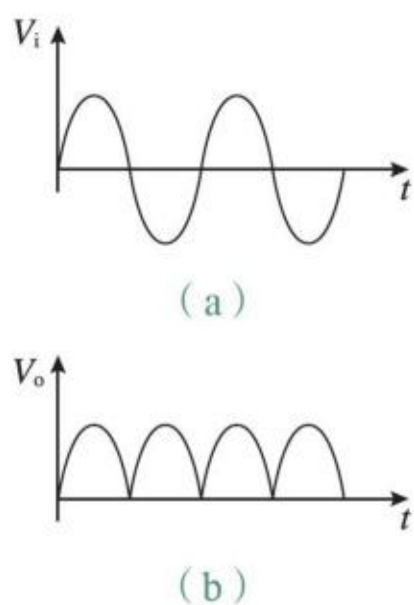


图2-10 输入、输出信号波形示意图

? 思考 & 练习

利用电路仿真软件 EWB 平台, 搭建全波整流电路, 分析其工作原理和过程, 并将分析结果和仿真结果进行对比总结。

2.2 晶体三极管

一、晶体三极管的基本结构

晶体三极管是由两个按一定顺序排列的 PN 结构成的可以获得信

号增益的器件。根据其各电极控制电压的不同，三极管可工作在不同的状态。

三极管有两种基本结构：NPN型和PNP型，其结构如图2-11所示，其中B表示基极（base），C表示集电极（collector），E表示发射极（emitter），基极与集电极之间为集电结，基极与发射极之间为发射结。

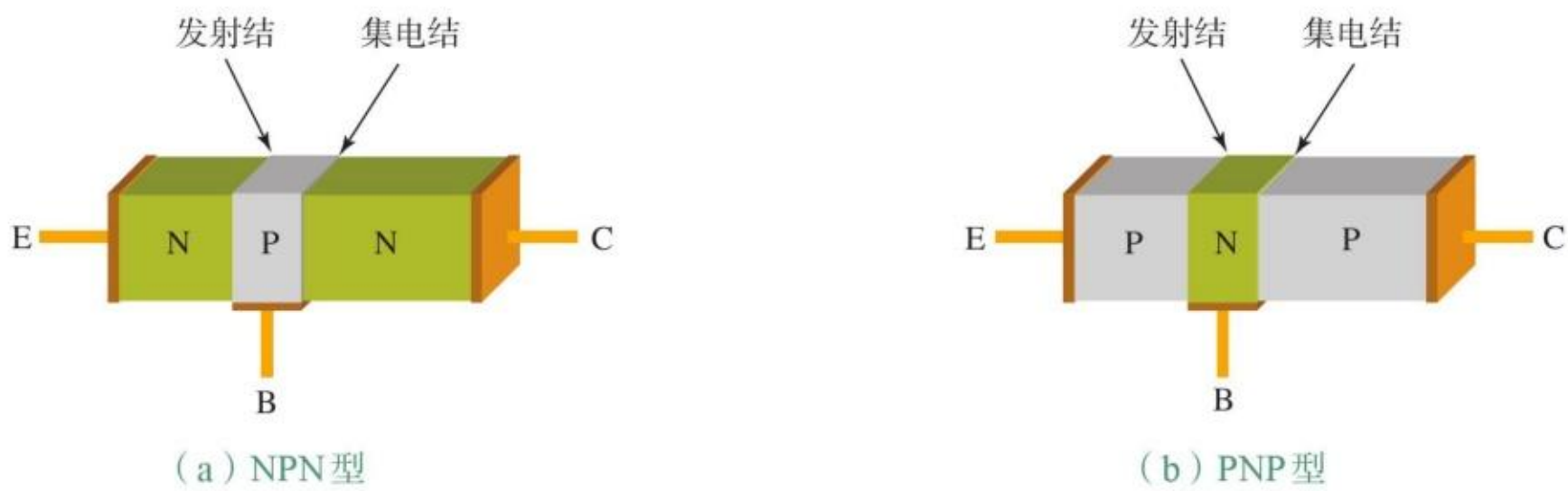


图2-11 三极管结构示意图

二、晶体三极管的工作原理

根据三极管工作时各个电极的直流偏置条件，三极管的工作模式总结如表2-1所示。

以NPN型三极管为例，相应的特性曲线如图2-12所示，其中 V_{BE} 表示基极与发射极之间的电压差（ $V_B - V_E$ ）， V_{CE} 表示集电极与发射极之间的电压差（ $V_C - V_E$ ）。在特定的偏置条件下，三极管可以实现对信号的放大或在电路中起到开关的作用。

表2-1 三极管的工作模式

工作模式	发射结	集电结	应用场合
线性放大	正偏	反偏	信号放大
饱和	正偏	正偏	开关的“开”
截止	反偏	反偏	开关的“关”

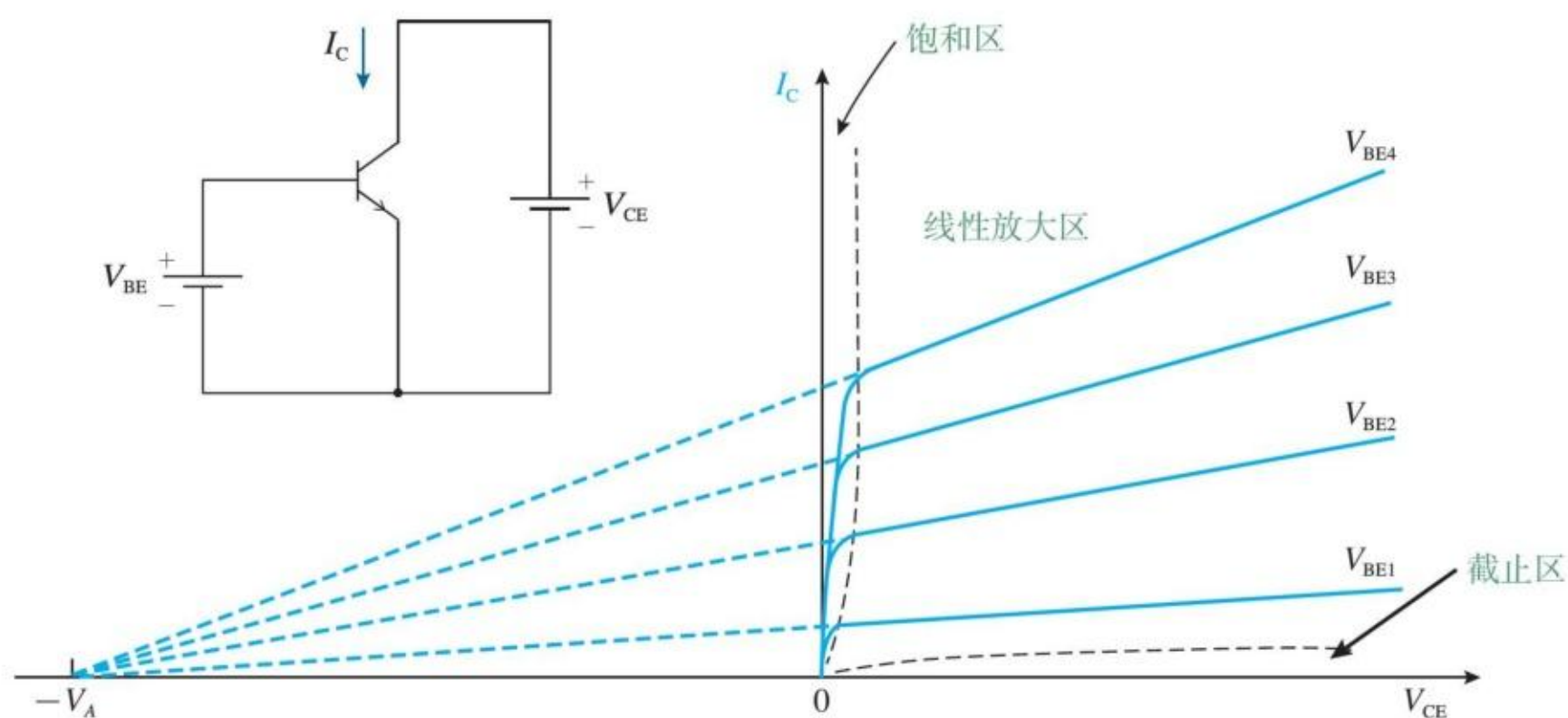


图2-12 NPN型三极管的特性曲线

三、晶体三极管的放大作用

当三极管被用作放大器时，其中两个电极用作信号（待放大信号）的输入端，两个电极作为放大后信号的输出端，那么三极管的三个电极中，必须有一个电极既是信号的输入端，同时又是信号的输出端，这个电极称为输入信号和输出信号的公共端。按照三极管公共端的不同选择，放大电路有三种基本类型：共发射极放大电路、共集电极放大电路和共基极放大电路。具体接法如表2-2所示。

表2-2 基于三极管接法的放大电路类型

输入端	输出端	公共端	放大电路类型
基极（B）	集电极（C）	发射极（E）	共发射极放大电路
基极（B）	发射极（E）	集电极（C）	共集电极放大电路
发射极（E）	集电极（C）	基极（B）	共基极放大电路

案例

以NPN型三极管为例实现共发射极放大电路

共发射极放大电路的基本原理如图2-13所示。由三极管的特性曲线可知， V_{BE} 的微小变化（ ΔV_{BE} ），会导致 I_C 发生较大的变化，变化的电流 I_C 流经负载电阻即产生变化的电压 ΔV_o 。因为 $V_o = V_{CC} - I_C R_o$ ，即 I_C 变大， V_o 变小，

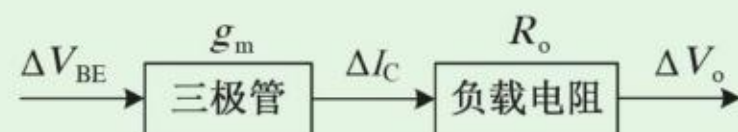


图2-13 共发射极放大电路基本原理示意图

也就是说 I_C 和 V_o 是反向变化的,所以共发射极放大电路实现反向放大。

ΔV_o 与 ΔV_{BE} 的比值即是该电路的电压放大倍数 A_v ,即

$$A_v = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_{BE}} = -g_m R_o$$

式中 g_m 为三极管的跨导,表征三极管的放大能力。 $g_m = \frac{I_C}{U_T}$, I_C 为三极管的集电极电流, U_T 为热电压,为一常量,其值约为26 mV。

1. 利用电路仿真软件EWB平台,搭建如图2-14所示的共发射极放大电路。元器件参数选取如下: Q_1 为NPN型三极管,型号为2N2712, R_1 阻值为470 k Ω , R_2 阻值为2 k Ω , R_3 阻值为2 k Ω , C_1 容量为10 μ F, C_2 容量为10 μ F。

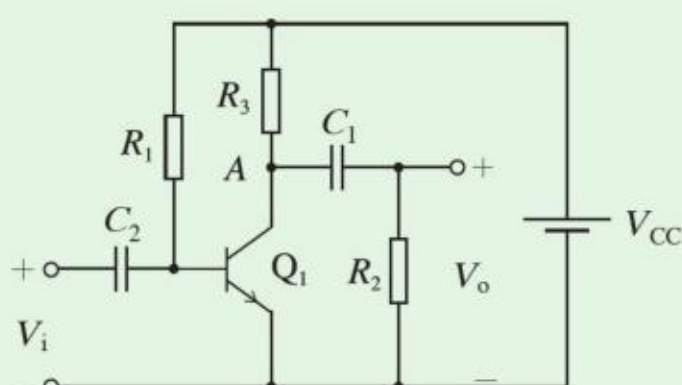


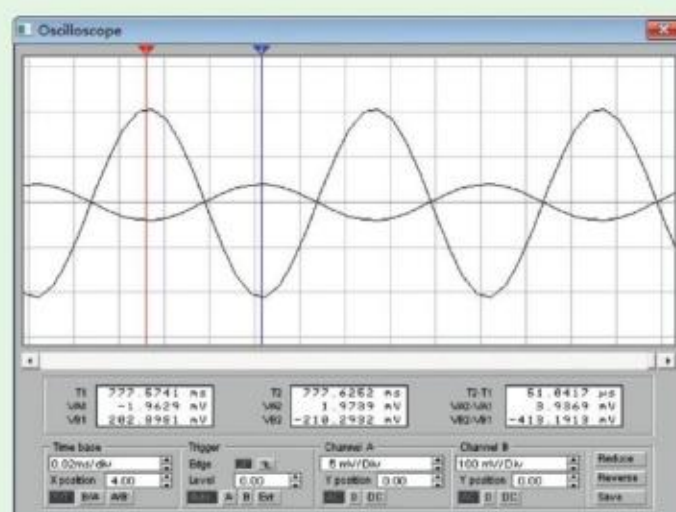
图2-14 共发射极放大电路的电路图

2. 为确保三极管处于线性放大模式,并使输出信号具有较大的输出幅度,通常设置三极管的集电极(图2-14中A点)电压为 $\frac{V_{CC}}{2}$ 。如 $V_{CC} = 12$ V,可调节各电阻器的阻值,使 $V_{CE} \approx 6$ V。

3. 设置输入交流信号,设置参考如图2-15(a)所示,通过虚拟示波器观察输出的放大交流信号,如图2-15(b)所示。从图中的示数可知,该放大器的电压放大倍数约为100倍。



(a) 输入信号设置



(b) 虚拟示波器输出信号

图2-15 EWB平台的设置及仿真结果

4. 理论分析:根据电路图,可得

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_3} \approx 3 \text{ mA}$$

三极管输出端(集电极)的负载电阻 $R_o = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 1 \text{ k}\Omega$, 因此

$$A_v = \frac{I_C}{U_T} \cdot R_o \approx \frac{3 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} \cdot 1 \text{ k}\Omega \approx 115$$

理论计算结果和仿真结果基本吻合。

思考 & 练习

1. 图2-14中的共发射极放大电路，其输入信号幅度为2 mV，如果增大输入信号幅度为20 mV，输出波形会有变化吗？电路的放大倍数会变化吗？
2. 在共发射极放大电路中，保持输入信号的幅度为2 mV，增大输入信号的频率，观察电路的放大倍数是否有变化。

课外实践

利用电路仿真软件EWB平台，搭建一个共发射极放大电路，完成下列项目，并参考表2-3进行评价。

1. 分析电路的直流工作点，确保三极管工作在线性放大模式。
2. 分析电路的放大倍数。
3. 对分析结果与仿真结果进行对比总结。

表2-3 共发射极放大电路设计评价表

评价项目	评价标准	评价方式		
		自评	互评	师评
设计方案	工作原理正确，设计合理			
输出结果	功能正确			
合作情况	小组团结合作			

等级标准：A优秀、B良好、C合格、D待改进。

拓展阅读

我们在日常生活中经常用到电源适配器，它的输入是交流220 V市电，输出为直流电，电压通常为9 V、5 V等。

图2-16表示了从220 V市电到直流电的过程。

220 V交流电压首先经过变压器转换为交流低压，然后经整流电路输出单向脉动电压，再经过滤波电路输出直流电压。整流电路可以采用如图2-9所示的全波整流电路，滤波电路主要由滤波电容实现。

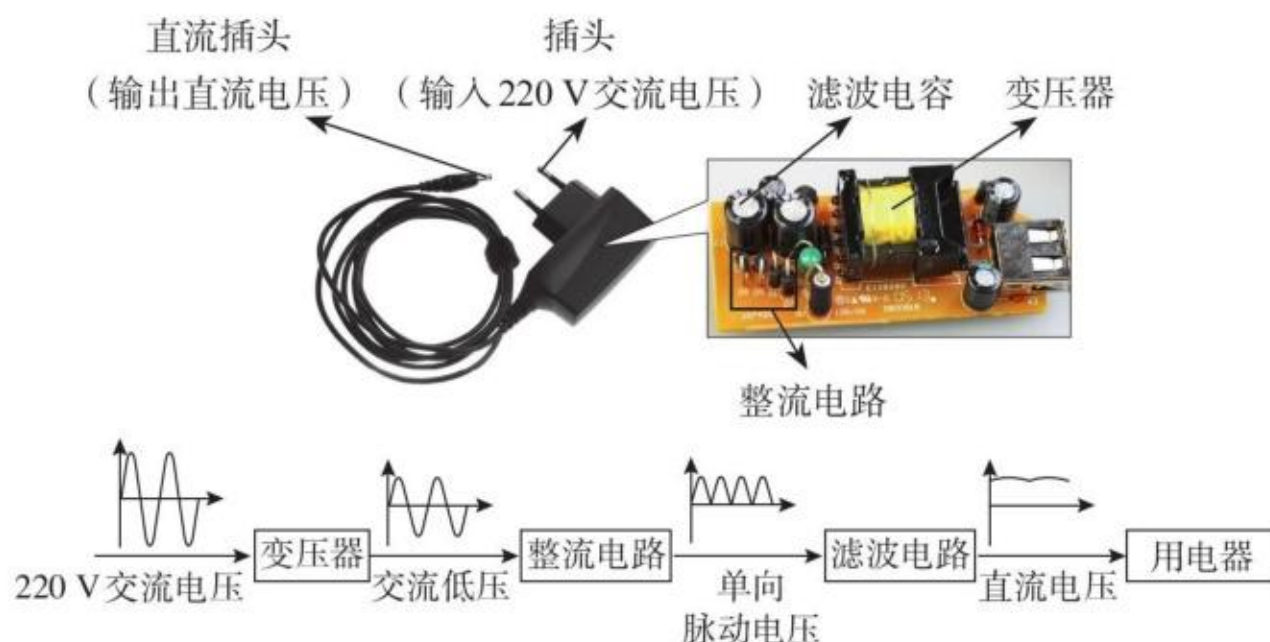


图2-16 从220 V市电到直流电

第3节 晶体三极管的开关特性及其应用

学习目标

1. 知道晶体三极管的开关特性。
2. 了解常见的数字集成电路类型。

晶体管是数字电路中最基本的元器件之一。早期的数字电路常采用晶体三极管，通过其开关特性实现“1”和“0”，现代的数字电路通常采用CMOS晶体管实现。CMOS电路由于具有静态功耗低的优点，已成为目前集成电路的主流工艺。

3.1 晶体三极管的开关特性

一、晶体三极管的开关特性

晶体三极管在电路中工作时，在不同的偏置条件下，除了可以工作在放大状态，也可以工作在开关状态。开关状态包括截止和导通两种状态。我们可以通过控制晶体三极管的基极电压，使三极管分别处于截止和导通状态，起到开关的作用。

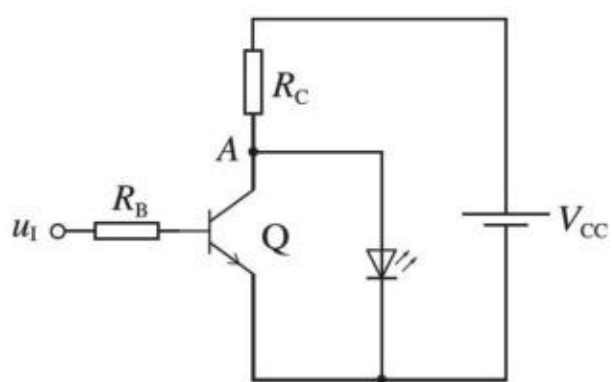


图2-17 晶体三极管的开关特性

在如图2-17所示电路中，当输入信号 u_1 为低电平信号时，晶体管Q处于截止状态，Q的等效电阻无穷大，A点输出为高电平信号，发光二极管发光；当输入信号 u_1 为高电平信号时，晶体管Q处于导通状态，A点输出为低电平信号，发光二极管熄灭。

工程上通常规定了电路中高电压和低电压的基准值，高于高电压基准的就是高电平，低于低电压基准的就是低电平。

二、开关特性在数字电路中的应用

根据晶体三极管的开关特性，可以实现数字电路中的逻辑关系，包括反相、与、与非、或、或非等。

例如,图2-17中的电路可以实现反相逻辑关系。将高电平信号和低电平信号分别记作1和0,则有: u_1 输入为1时,A点输出为0; u_1 输入为0时,A点输出为1。

3.2 常见的数字集成电路类型

一、集成电路的概念

集成电路(integrated circuit, IC)是指利用半导体工艺,将二极管、三极管等有源元件和电阻器、电容器、电感器等无源元件,按照一定的电路互连,集成在一块半导体晶片(如硅或砷化镓)上,封装在一个外壳内,执行特定电路或系统功能的一种器件。当今半导体工业大多数应用的是基于硅的集成电路。

二、集成电路的分类

1. 按电路的功能和结构分类

(1) 数字集成电路(digital integrated circuit),是处理数字信号的集成电路,即采用二进制方式进行数字计算和逻辑函数运算的一类集成电路。

(2) 模拟集成电路(analog integrated circuit),是处理模拟信号的集成电路,典型电路包括运算放大器、电压比较器、振荡器等。

(3) 数模混合集成电路,典型电路包括数模转换器(DAC)和模数转换器(ADC)等。

2. 按集成度高低分类

集成度是指每块集成电路芯片中包含的元器件数目。集成电路按集成度高低的的不同可分为小规模集成电路、中规模集成电路、大规模集成电路和超大规模集成电路。

以计算机的中央处理器(CPU)为例,2000年发布的Pentium 4处理器集成了约4 200万个晶体管,2009年发布的Xeon处理器集成了约20亿个晶体管,2017年发布的麒麟970处理器集成了55亿个晶体管。

3. 按制作工艺分类

按照制造集成电路的工艺来分,主要有双极型集成电路、CMOS集成电路、BiCMOS集成电路、锗硅(SiGe)集成电路以及砷化镓(GaAs)集成电路等。

三、常见的数字集成电路类型

按照电路中采用的晶体管类型不同，数字集成电路通常分为两大类：一类由晶体二极管、晶体三极管组成，叫作晶体管-晶体管逻辑（transistor-transistor logic, TTL）电路；另一类由MOS场效应晶体管组成，叫作互补型金属氧化物半导体电路，即前面介绍的CMOS电路。

TTL标准通用集成电路产品，国内为CT1000系列，国际为74系列；高速集成电路产品，国内为CT2000系列，国际为74H系列。CMOS集成电路产品，国内为CC4000系列，国际为CD4000系列。图2-18给出了集成电路CT1000型TTL四2输入与非门的内部逻辑功能和引脚示意图，该集成电路包含四个相同的2输入与非门，典型工作电源电压为5 V。

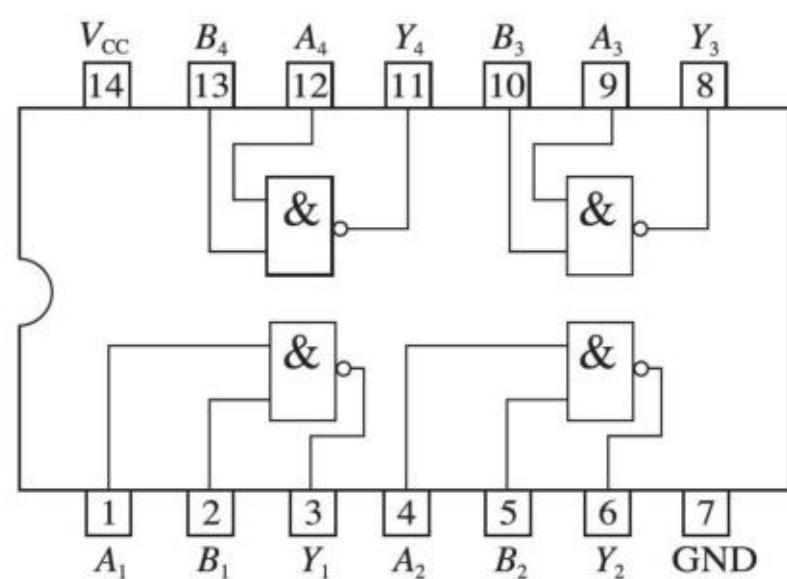


图2-18 集成电路CT1000型TTL四2输入与非门的内部逻辑功能和引脚

思考 & 练习

在图2-17的电路中， V_{CC} 为5 V，当晶体三极管分别工作在导通和截止状态时，A点输出分别为低电平和高电平，试分析对应状态下A点的输出电压分别为多少。

第 4 节 数字电路中的基本组合逻辑电路

学习目标

- 1. 熟悉与、或、非三种基本逻辑关系以及基本门电路。
- 2. 学会分析简单的组合逻辑电路，能填写真值表，画出波形图。

数字电路根据逻辑功能的不同特点，可以分为两大类，一类叫组合逻辑电路（简称组合电路），另一类叫时序逻辑电路（简称时序电路）。组合逻辑电路中逻辑功能的特点是任意时刻的输出仅仅取决于该时刻的输入，与电路原来的状态无关。而时序逻辑电路中逻辑功能的特点是任意时刻的输出不仅取决于当时的输入信号，而且还取决于电路原来的状态，或者说，还与以前的输入有关。

4.1 逻辑代数的三种基本运算

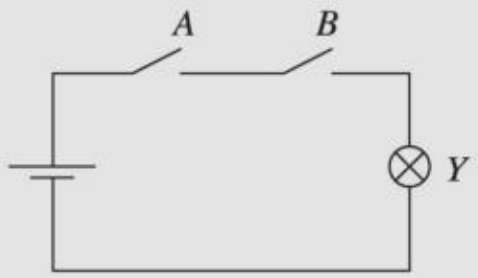
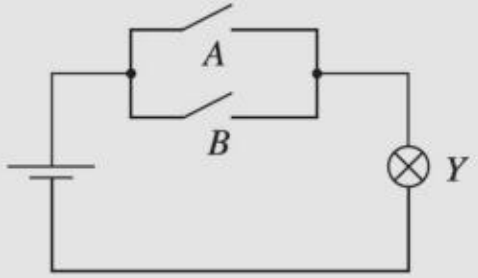
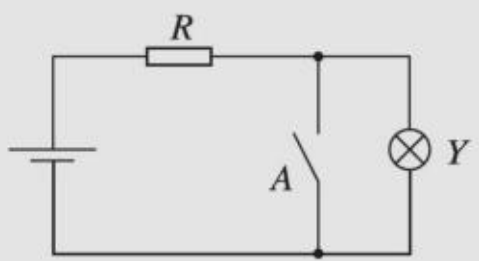
英国数学家乔治·布尔首先提出了描述客观事物逻辑关系的数学方法——布尔代数。由于布尔代数被广泛地应用于开关电路和逻辑电路的分析和设计，因此也被称为开关代数或逻辑代数。

逻辑代数的基本运算有与、或、非三种，描述了数字电路中相应的三种基本逻辑关系。通常用“ $\cdot$ ”表示与运算，用“ $+$ ”表示或运算，用“ $-$ ”表示非运算。

真值表，即逻辑真值表，是表征逻辑事件输入和输出之间全部可能状态的表格，通常以1表示真，0表示假。

用 A 、 B 表示输入， Y 表示输出，可以实现三种基本逻辑关系的电路图及其对应的逻辑表达式、真值表如表2-4所示。

表2-4 基本逻辑关系

项目	逻辑与	逻辑或	逻辑非
电路图			

续表

项目	逻辑与			逻辑或			逻辑非																																					
状态描述	当两个开关都闭合的时候，灯泡亮			只要有一个开关闭合，灯泡亮			开关闭合，灯泡灭；开关断开，灯泡亮																																					
逻辑表达式	$Y=A \cdot B$			$Y=A+B$			$Y=\overline{A}$																																					
真值表	<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>			A	B	Y	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	<table><tr><th>A</th><th>B</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>			A	B	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	<table><tr><th>A</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>		A	Y	0	1	1	0
	A	B	Y																																									
	0	0	0																																									
	0	1	0																																									
	1	0	0																																									
1	1	1																																										
A	B	Y																																										
0	0	0																																										
0	1	1																																										
1	0	1																																										
1	1	1																																										
A	Y																																											
0	1																																											
1	0																																											

注：开关闭合用1表示，开关断开用0表示；灯泡亮用1表示，灯泡灭用0表示。

4.2 基本门电路

用以实现逻辑运算的单元电路统称为门电路，基本门电路包括与门、或门、非门、与非门、或非门等。基本门电路的逻辑表达式与常用符号如表2-5所示。与非门可由与门和非门组合而成，或非门可由或门和非门组合而成。同样地，与门可由与非门和非门组合实现，或门可由或非门和非门组合实现。

表2-5 基本门电路

项目	与门	或门	非门	与非门	或非门
逻辑表达式	$Y=A \cdot B$	$Y=A+B$	$Y=\bar{A}$	$Y=\overline{A \cdot B}$	$Y=\overline{A+B}$
国标推荐符号					
其他常用符号					

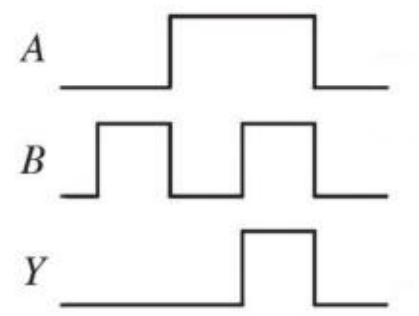


图2-19 与门电路的工作波形

逻辑电路输出与输入之间的关系也可用波形图描述，具有较好的直观性。如图2-19所示为与门电路 $Y=A \cdot B$ 的工作波形。

4.3 常见组合逻辑电路

常见的组合逻辑电路包括编码器、译码器、数据选择器、加法器、函数发生器等。组合逻辑电路分析、设计的一般步骤如下。

- (1) 由实际逻辑问题列出真值表。
- (2) 由真值表写出逻辑表达式。
- (3) 化简、变换输出逻辑表达式。
- (4) 画出逻辑电路图。

下面以3位二进制编码器为例介绍组合逻辑电路的基本分析和设计方法。



案例

组合逻辑电路的分析与设计

在数字系统中，为了区分一系列不同的事物，将每个事物用一个二进制代码表示，这就是编码的含义。能够实现编码的电路称为编码器。编码的逆过程是译码。

3位二进制编码器的框图如图2-20所示， $I_0 \sim I_7$ 为8个输入信号，任何时刻只允许输入一个高电平编码信号， $Y_0 \sim Y_2$ 为3位二进制输出信号。

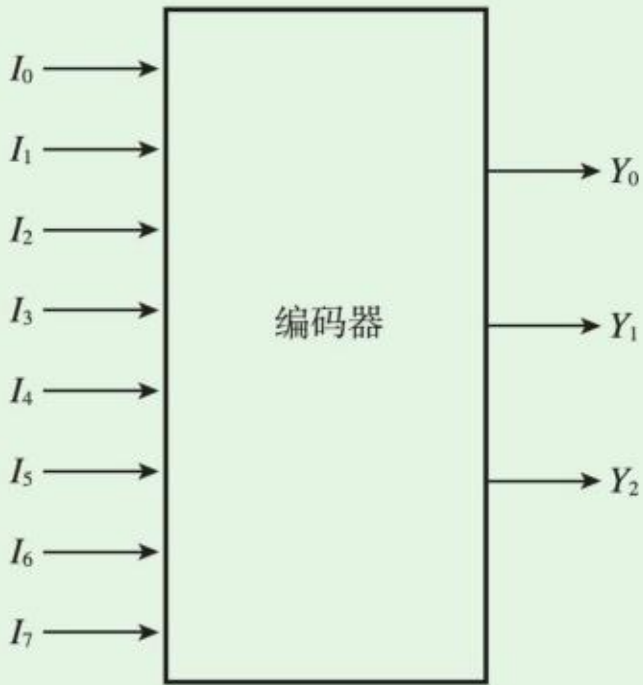


图2-20 3位二进制编码器框图

该编码器的输入与输出的对应关系如表2-6所示。

表2-6 3位二进制编码器的真值表

I_7	I_6	I_5	I_4	I_3	I_2	I_1	I_0	Y_2	Y_1	Y_0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1

续表

I_7	I_6	I_5	I_4	I_3	I_2	I_1	I_0	Y_2	Y_1	Y_0
0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

根据真值表，得到逻辑表达式

$$\begin{cases} Y_2 = I_4 + I_5 + I_6 + I_7 \\ Y_1 = I_2 + I_3 + I_6 + I_7 \\ Y_0 = I_1 + I_3 + I_5 + I_7 \end{cases}$$

根据该表达式，可得出如图2-21所示的3位二进制编码器电路图。

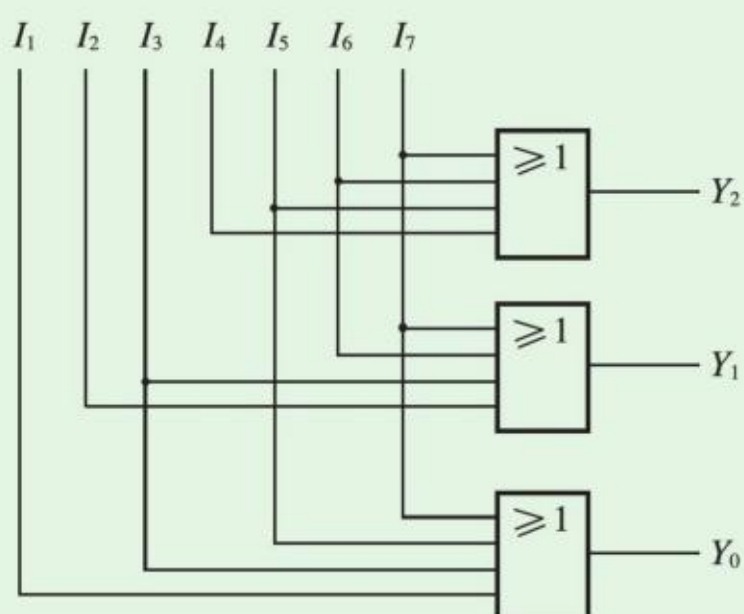


图2-21 3位二进制编码器电路图

思考 & 练习

1. 分别写出与非、或非逻辑关系的真值表。
2. 已知输入信号 A 、 B 的工作波形如图2-22所示，画出输出信号 $Y_1 = \overline{A \cdot B}$ 和 $Y_2 = \overline{A + B}$ 的波形图。
3. 参考如图2-23所示的电路图，分析与非门的逻辑功能。改变输入信号 A 、 B ，把观察到的发光二极管的显示情况填写在表2-7中。

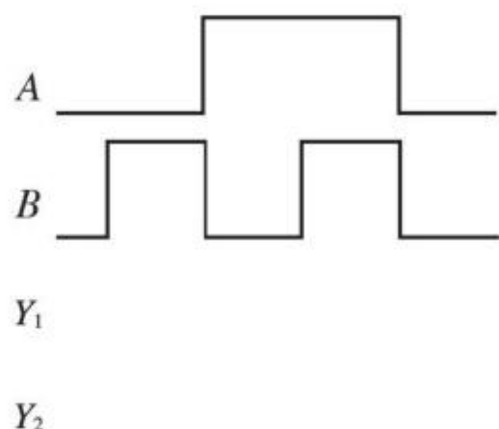


图2-22 输入、输出信号波形

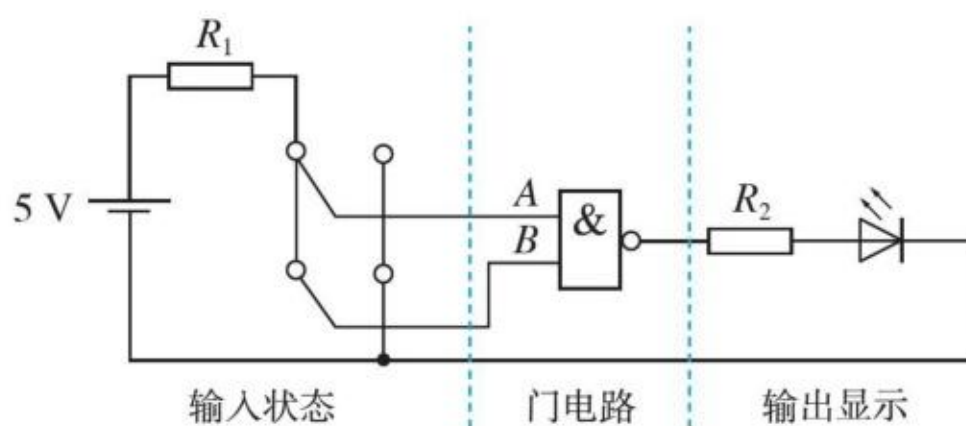


图2-23 与非逻辑功能电路

表2-7 输出结果统计表

输入		输出
A	B	发光二极管的显示情况
低电平	低电平	
低电平	高电平	
高电平	低电平	
高电平	高电平	



课外实践

设计4位二进制编码器，并通过实验加以验证，参考表2-8进行评价。

表2-8 4位二进制编码器设计评价表

评价项目	评价标准	评价方式		
		自评	互评	师评
设计方案	工作原理正确，设计合理			
输出结果验证	功能正确			
合作情况	小组团结合作			

等级标准：A优秀、B良好、C合格、D待改进。

第5节 典型电路应用举例

学习目标

1. 了解晶体三极管在实际应用电路中的控制作用。
2. 初步掌握电路分析的一般方法。

5.1 简易声光报警电路

采用学过的基本元器件，可以制作一个简易声光报警电路，如图2-24所示。图中 Q_1 型号为S9014， Q_2 型号为S9013， R_1 阻值为51 k Ω ， R_2 阻值为5.1 k Ω ，HA为蜂鸣器，D为发光二极管，开关 S_1 为接通电源的开关，开关 S_2 代表需要监测报警的因素。

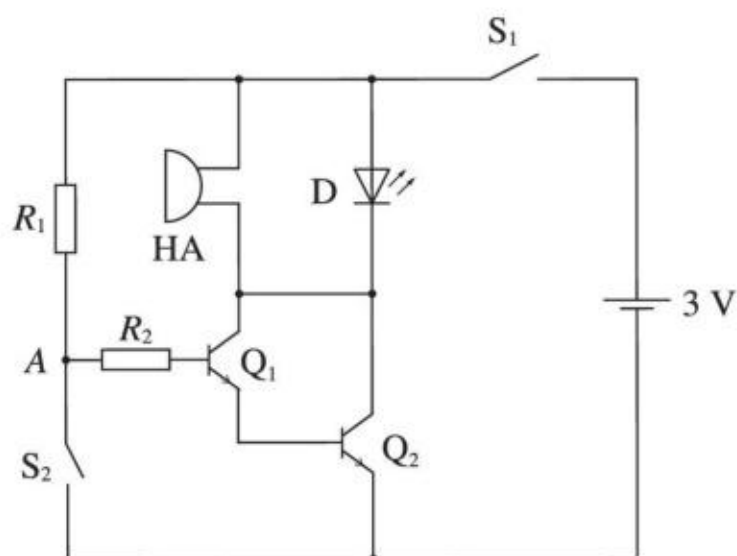


图2-24 简易声光报警电路

接通电源（ S_1 闭合），电路开始工作。当开关 S_2 闭合时，A点电压为零，三极管 Q_1 和 Q_2 均不导通，蜂鸣器和发光二极管没有反应；当开关 S_2 断开时，A点电压升高， Q_1 和 Q_2 导通，蜂鸣器发声，发光二极管发光报警。

讨论 & 交流

如果电路工作不正常，应该从哪些方面进行检查？



参考图2-24，进行简易声光报警电路的搭建与调试，并参考表2-9进行评价。

表2-9 简易声光报警电路搭建评价表

评价项目	评价标准	评价方式		
		自评	互评	师评
组件安装	元器件摆放合理，接插紧固			
通电调试	功能正确			
合作情况	小组团结合作			

等级标准：A优秀、B良好、C合格、D待改进。

5.2 火情报警器

读电路图是为了对电路进行分析，读图能力体现了对所学知识的综合应用能力。电路是由各种电子元器件组成的，要学会看懂电路图，正确理解电路图的工作原理，首先要了解图中各种元器件的原理和功能。

在分析电子电路时，首先将整个电路分解成具有独立功能的几个部分，进而弄清每一部分的工作原理和主要功能，然后分析各部分之间的联系，从而得出整个电路所具有的功能和性能特点，必要时再进行定量估算。要进行更细致的分析，还可以借助于电子电路计算机辅助分析和设计软件。

下面以图2-25的火情报警器电路为例，说明电子电路的一般分析方法。

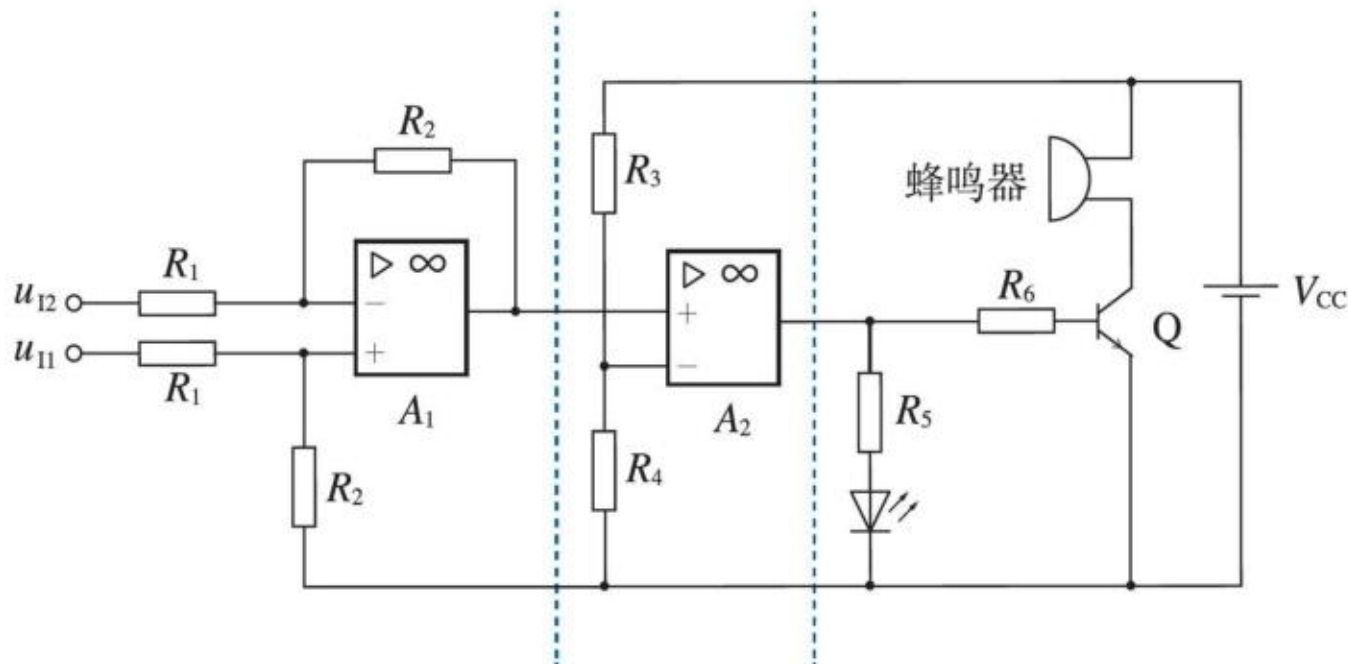


图2-25 火情报警器电路

图中 u_{11} 和 u_{12} 分别来源于两个温度传感器，它们安装在室内同一处，其中一个安装在金属板上，产生 u_{11} ；另一个安装在塑料壳体内，产生 u_{12} 。

1. 了解用途

正常情况下，即无火情时，两个温度传感器产生的电压相等，发光二极管不亮，蜂鸣器不响。有火情时，由于安装在金属板上的温度传感器升温较快，而安装在塑料壳体内的温度传感器温度上升较慢，使 u_{11} 和 u_{12} 产生差值，差值大到一定数值时，发光二极管发光，蜂鸣器鸣叫。

2. 化整为零

根据信号的流通，电路可分为如图2-25中虚线划分的三个部分。左侧 A_1 构成运算放大电路，中间 A_2 构成电压比较器，右侧分立元器件构成声光报警及其驱动电路。

3. 分析功能

运算放大电路的输入具有对称性，是双端输入的比例运算电路，实现差分放大，输出电压 u_{O1} 为

$$u_{O1} = \frac{R_2}{R_1} (u_{11} - u_{12})$$

电压比较器的参考电压 U_T 为

$$U_T = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot V_{CC}$$

当 $u_{O1} < U_T$ 时， $u_{O2} = U_{OL}$ ，即 u_{O2} 输出低电平，发光二极管和三极管均截止。

当 $u_{O1} > U_T$ 时， $u_{O2} = U_{OH}$ ，即 u_{O2} 输出高电平，发光二极管导通，蜂鸣器鸣叫。

4. 统观整体

根据上述分析，该火情报警器电路的系统原理框图如图2-26所示。



图2-26 火情报警器的系统原理框图

在没有火情时， $(u_{11} - u_{12})$ 数值很小， $u_{O1} < U_T$ ， $u_{O2} = U_{OL}$ ，发光二极管和三极管均截止。

当有火情时， $u_{11} > u_{12}$ ， $(u_{11} - u_{12})$ 增大到一定程度， $u_{O1} > U_T$ ， $u_{O2} = U_{OH}$ ，发光二极管和蜂鸣器发出警告。

本章小结

本章首先学习模拟信号和数字信号的特点，了解控制系统中常见信号的分类，知道模拟信号和数字信号之间如何相互转换；然后学习晶体管的特性，掌握晶体管在电路中的不同作用，如放大、开关等；最后学习声光报警电路等，初步掌握利用晶体三极管在电路中实现控制的方法，初步了解电子电路的分析方法，为后续复杂电子控制的学习奠定基础。本章知识结构如图2-27所示。

通过本章的学习，同学们能逐步获得图样表达、工程思维等核心素养。

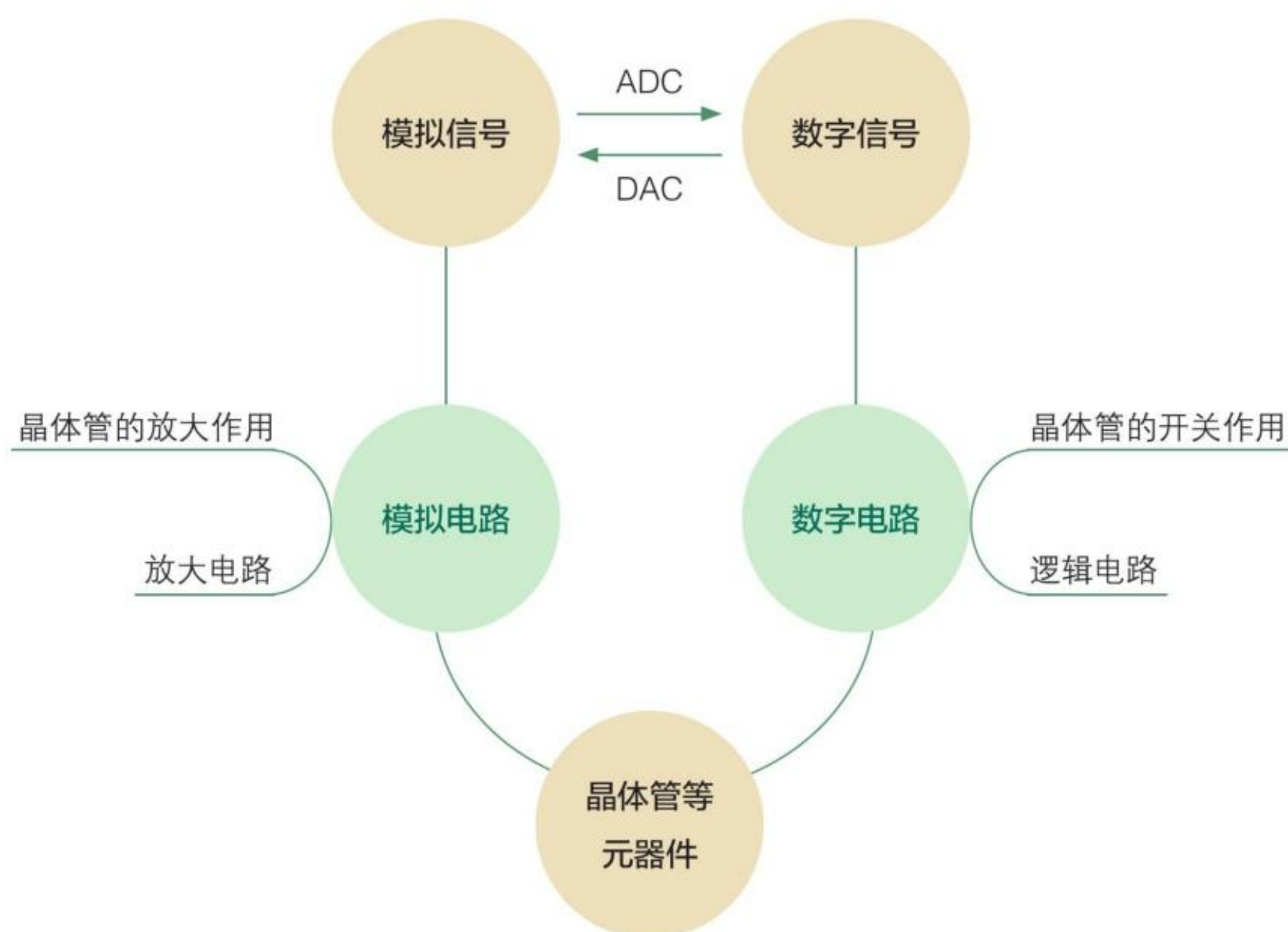


图2-27 本章知识结构

本章学习评价表

课程目标/ 实践项目	评价指标	评价方式		
		自评	互评	师评
模拟信号和数字信号	了解模拟信号的特征			
	了解数字信号的特征			
	了解模拟信号和数字信号之间的转换原理			
晶体管的基本原理和 应用	知道晶体二极管的应用			
	知道晶体三极管的工作原理			
	知道晶体三极管的放大作用			
	了解共发射极放大电路			
晶体三极管的开关特性 及应用	知道晶体三极管的开关特性			
	了解数字集成电路的类型			
数字电路中的组合逻辑 电路	熟悉三种基本逻辑关系			
	熟悉基本门电路			
	能写出简单组合逻辑电路的真值表			
	能画出简单组合逻辑电路的波形图			

等级标准：A 优秀、B 良好、C 合格、D 待改进。

第三章 传感器与继电器

计算机技术、通信技术、传感技术是现代电子信息技术三个主要组成部分。如果把计算机比作人的大脑，那么通信就相当于人的神经，传感器就相当于人的感官。在电子控制系统中，传感器是把外界信息转换成电信号的装置，电子控制电路对传感器输出的电信号进行处理，通过执行器实现输出。电子控制电路通常在低电压、小电流状态下工作，通过继电器或者可控硅等执行器来实现对高电压、大电流工作电路的控制。电磁继电器就是一种典型的执行器，其工作原理和工作过程简单、清晰。本章带领同学们认识常见的传感器并学会使用万用表检测，知道继电器的作用和分类，了解直流电磁继电器的构造、规格和工作原理，学会应用直流电磁继电器。

第1节 传感器的发展趋势

第2节 传感器的特性及分类

第3节 常见传感器的应用

第4节 继电器的应用

第 1 节 传感器的发展趋势



学习目标

1. 了解常见的传感器。
2. 了解传感器的发展趋势。

1.1 传感器的发展趋势

传感器在信息科学技术领域、工农业生产以及日常生活中发挥着越来越重要的作用。为满足越来越高的要求，传感器也在不断地更新发展，具有以下发展趋势。

1. 高精度

例如火箭发动机燃烧室的压力测量，人们希望测量精度能优于 0.1%。

2. 小型化和廉价化

几乎不太可能会有人花几百元去买一个 A4 纸大小的传感器来整合家具实现智能家居。但如果这一传感器变得只有纽扣大小，且仅需花费 1 元，情况就会大大不同了。

3. 集成化

多功能一体化，将传感器与放大、运算以及温度补偿等环节集成化。

4. 数字化

将传统的模拟传感器经过加装或改造，使之具备 A/D 转换模块，成为输出信号为数字量（或数字编码）的传感器，有利于传感器与计算机直接互联通信。

5. 网络化

新一代信息技术物联网可在云端聚集海量数据点，这些数据点的核心就是网络化传感器。

6. 智能化

传感器自带算法，实现智能化。

1.2 认识传感器

地铁站（图3-1）是城市轨道交通系统的重要设施之一。上海地铁17号线的诸光路站被称为全亚洲“最绿色”地铁站。该站的出入口和站厅站台层都设置了照度传感器，系统会根据实时照度自动选择合适的照明模式。当列车抵达时，站台灯光会自动调亮，方便乘客上下车；当列车离站后，站台灯光则会在保证照明的前提下，自动调暗。在公共区域和设备管理区，共安装了上百个传感器，实时监测新风、二氧化碳、光照、温度、湿度等指标，并采取智能分区调节，提高乘客舒适度。传感器的应用有利于现代化基础设施体系的构建，推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展。



图3-1 地铁站

通常将能把被测量转换为与之有确定对应关系的物理量输出的装置称为传感器，常见的传感器有温度传感器、压力传感器、红外传感器、风速传感器和PM2.5（细颗粒物）传感器等。图3-2是一个利用了多种传感器的小型气象站，能对风速、风向等进行实时监测。



图3-2 小型气象站

传感器一般可以由敏感元件、转换元件和测量电路组成，如图3-3所示。

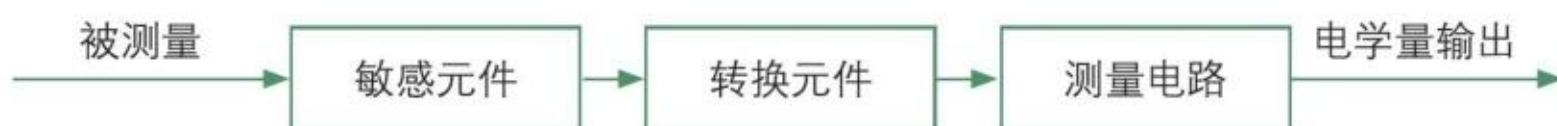


图3-3 传感器组成方框图

敏感元件，指直接感受被测量（一般为非电量），输出与被测量有确定函数关系的其他量（一般为电学量）的元件。例如，医用一次性体温探头使用的热敏电阻器就是敏感元件。

转换元件，一般情况下不直接感受被测量，而是将敏感元件的输出量转换为电信号。例如，压力传感器中使用的应变片就是转换元件。

测量电路，把转换元件的电信号转换成便于测量、显示、记录、控制和处理的电信号输出。典型的测量电路有放大器、电桥等。

思考 & 练习

1. 指出图3-2中有哪几种传感器。
2. 生活中除了地铁站，还有哪些地方用到了传感器？这些传感器的用途是什么？

课外实践

查阅资料，用方框图画出图3-4中热电偶传感器由哪些部分组成，并说出对应部分的具体作用，参考表3-1进行评价。



图3-4 热电偶传感器

表3-1 绘制热电偶传感器的方框图评价表

评价项目	评价标准	评价方式		
		自评	互评	师评
绘制方案	方框图绘制正确			
具体作用	作用描述正确			
合作情况	小组团结合作			

等级标准：A优秀、B良好、C合格、D待改进。

拓展阅读

目前传感器的发展主要体现在以下三个方面。面的优越性能。

1. 开发新型传感器。世界各国都在新型传感器方面投入大量人力、物力来加强研究。其中，利用量子力学诸效应研制的低灵敏阈传感器，可以用来检测微弱的信号，是发展新动向之一。

2. 开发新材料。传感器材料是传感器技术的重要基础，是传感器技术升级的重要支撑。新型陶瓷材料，具有电学、磁学、光学、生物学等方

3. 采用新工艺。新型传感器的发展，离不开新工艺的采用。新工艺的含义范围很广，主要指与发展新型传感器关系特别密切的微细加工技术，又称为微机械加工技术。微细加工技术是近年来随着集成电路工艺发展起来的，包括溅射、蒸镀、等离子体刻蚀、化学气相沉积、外延、扩散、腐蚀、光刻等工艺。

第 2 节 传感器的特性及分类

学习目标

- 1. 知道传感器的静态特性和动态特性。
- 2. 知道传感器的测量参数与不同分类方法。

2.1 传感器的一般特性

传感器的输入量可分为静态量和动态量。静态量是指不随时间变化、处于稳定状态（静态）的信号或者变化极其缓慢（准静态）的信号。动态量是指周期信号、瞬变信号或随机信号。不管是静态量还是动态量，传感器输出的电学量都要能够不失真地复现输入量的变化。如图 3-5 所示，根据输入量的不同，传感器的一般特性可分为静态特性和动态特性。

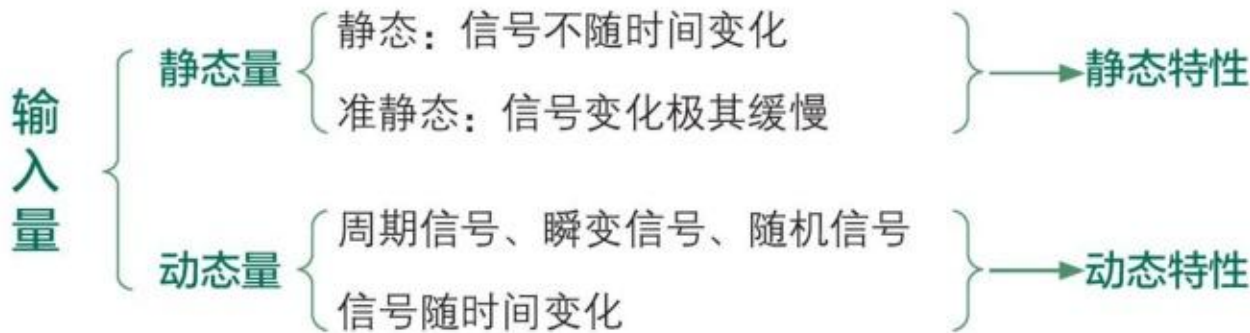


图 3-5 传感器的一般特性

1. 传感器的静态特性

传感器的静态特性是指传感器在输入量处于稳定状态时输出量与输入量之间的关系。例如，某一个传感器输出量的值为 y ，输入量的值为 x ，如果传感器的静态特性满足线性方程 $y=kx+b$ （ k, b 为常数且 $k \neq 0$ ），则称该传感器具有线性的静态特性。一般要求传感器的静态特性为线性或近似为线性。衡量传感器静态特性的重要指标有线性度、迟滞、重复性和灵敏度。

2. 传感器的动态特性

传感器的动态特性是指传感器对于随着时间变化的输入量的响应特性。一个动态特性好的传感器，其输出量随时间变化的规律，要能实时再现输入量随时间变化的规律。

思考 & 练习

- 1. 说出传感器的输入量有哪些类型。
- 2. 说出对传感器输出电学量的要求。

2.2 传感器的分类

由于传感器的输入量种类繁多，其工作原理和使用条件各不相同，因此传感器的种类和规格十分丰富，分类方法也很多。常见的分类方法如表3-2所示。

表3-2 传感器常见分类

分类方法	传感器的种类
按用途分类	压敏传感器、位置传感器、液位传感器、能耗传感器、速度传感器、加速度传感器、射线辐射传感器、热敏传感器等
按工作原理分类	振动传感器、湿敏传感器、磁敏传感器、气敏传感器、真空度传感器、生物传感器等
按输入量分类	位移传感器、速度传感器、温度传感器、压力传感器等
按输出信号分类	模拟式传感器、数字式传感器等
按制造工艺分类	薄膜传感器、厚膜传感器、陶瓷传感器等
按测量目的分类	物理量传感器、化学量传感器、生物量传感器等
按构成分类	基本型传感器、组合型传感器、应用型传感器等
按作用形式分类	主动型传感器、被动型传感器
按能量关系分类	能量转换型传感器、能量控制型传感器

思考 & 练习

- 1. 列出7种按输入量分类的传感器的种类。
- 2. 温度传感器是何种分类方法下的传感器种类？

第3节 常见传感器的应用



学习目标

1. 知道传感器的作用及应用场景。
2. 会用万用表检测常见传感器。

传感器的应用和我们的日常生活息息相关，常见的传感器有温度传感器、光敏传感器、磁敏传感器等，这些传感器广泛地应用于我们生产、生活的各个方面。

3.1 温度传感器的应用

温度传感器的用途非常广泛，常用于电热水器、电饭锅、空调、电冰箱等各种家用电器中（图3-6），是与我们生活关系极为亲密的传感器之一。



图3-6 温度传感器在家用电器中的应用

热敏电阻器是一种常见的温度传感器，其电阻值随着温度的变化而变化。按照温度系数的不同，热敏电阻器分为正温度系数热敏电阻器（PTC）和负温度系数热敏电阻器（NTC）。正温度系数热敏电阻器在温度越高时电阻值越大，负温度系数热敏电阻器在温度越高时电阻值越低。

唐代诗人李绅的《悯农》为同学们所熟知，“谁知盘中餐，粒粒皆辛苦”的诗句体现了劳动果实来之不易。烹制盘中餐最常见的现代家电是电饭煲（图3-7），它最基本的功能是煮饭，同时还可以提供定时、保温及菜单选择等诸多功能。常见的电饭煲设计采用上、

下两个温度传感器，下盖温度传感器的主要作用是检测米饭是否做熟，上盖温度传感器的主要作用是检测煮饭过程中由于大量水蒸气上升导致的锅盖温度变化，以便电饭煲自动调整加热功率或者停止加热，确保锅内的米饭不会溢出。



图3-7 电饭煲

思考 & 练习

1. 说出生活中2~3处用到温度传感器的例子。
2. 简述温度传感器是如何检测温度变化的。

课外实践

取一个热敏电阻器，按照图3-8用万用表的欧姆挡测量不同温度下的电阻值，观察电阻值随温度变化而变化的规律，绘制其温度特性曲线，并参考表3-3进行评价。

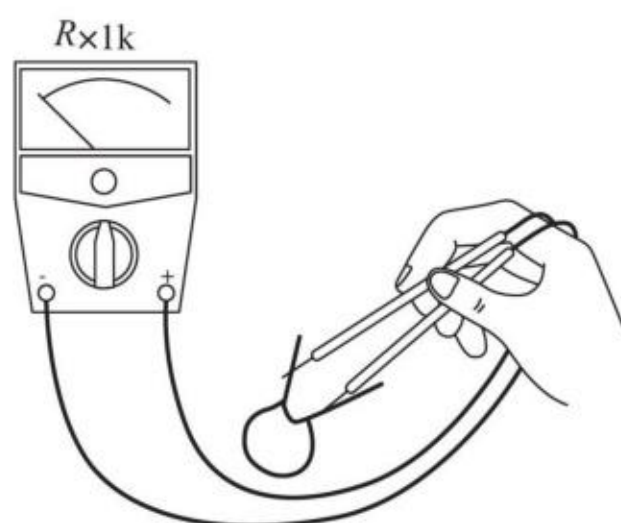


图3-8 测量热敏电阻器的电阻值

表3-3 绘制热敏电阻器温度特性曲线评价表

评价项目	评价标准	评价方式		
		自评	互评	师评
绘制方案	特性曲线绘制正确			
观察结果	温度变化规律描述正确			
合作情况	小组团结合作			

等级标准：A优秀、B良好、C合格、D待改进。



图3-9为焊接了DHT11数字温湿度传感器的电路板，DHT11是一款含有已校准数字信号输出的温度、湿度复合传感器。传感器包含一个电阻式感湿元件和一个NTC测温元件，并与一个高性能8位单片机相连接。

DHT11数字温湿度传感器广泛应用于自动控制、家电、医疗等领域的湿度调节器、除湿器、数据记录器、暖通空调、汽车等产品中。



图3-9 焊接了DHT11数字温湿度传感器的电路板

3.2 光敏传感器的应用

光敏传感器广泛应用于太阳能草坪灯、光控小夜灯、照相机、人体感应灯、人体感应开关、光电鼠标（图3-10）等电子产品和自动控制领域。

光敏传感器是将光信号转换为电信号的一种装置，其工作原理基于光电效应。光电效应是指光照射在某些物质上时，物质因电子吸收光子的能量而发生相应电效应的现象。

常见的光敏传感器有光电管、光电倍增管、光敏电阻器、光电二极管（又称光敏二极管）、光敏三极管（又称光电晶体管）、光电池等。图3-11中（a）为光敏电阻器及对应符号，（b）为光电二极管及对应符号，（c）为光敏三极管及对应符号，其工作原理如表3-4所示。



图3-10 光电鼠标

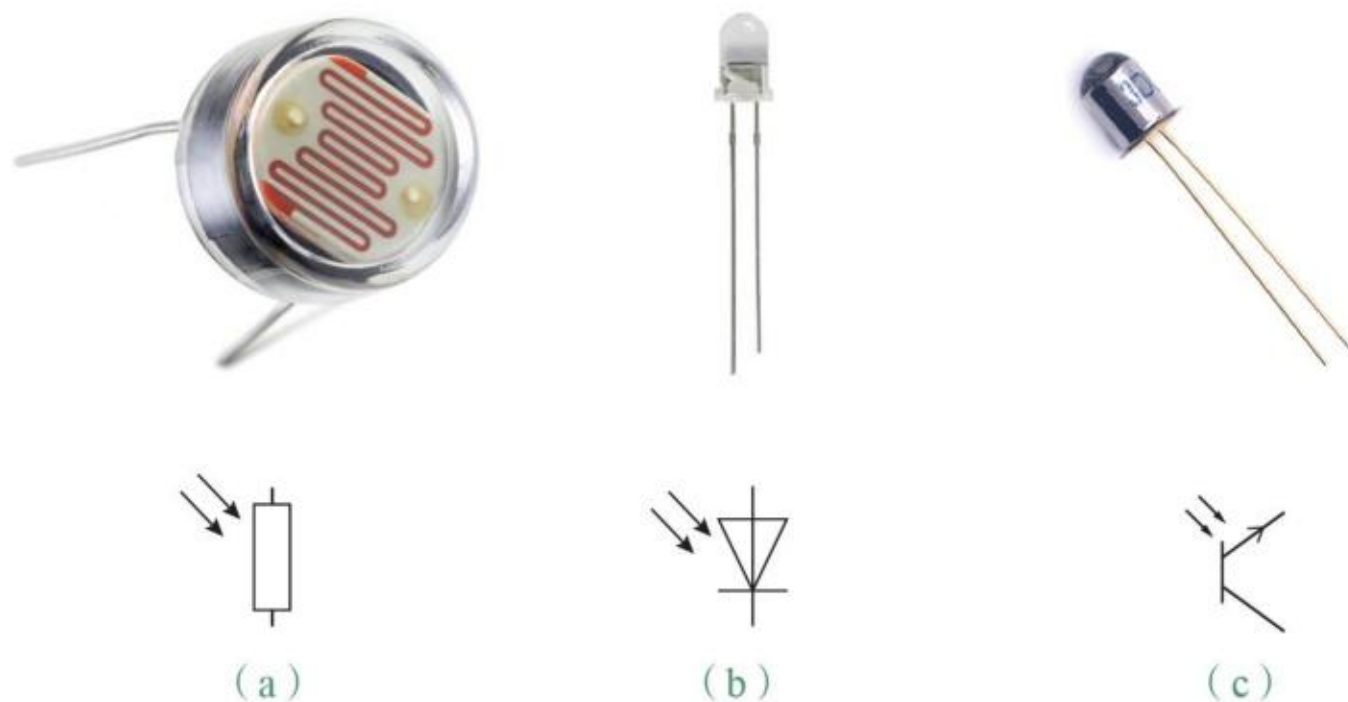


图3-11 常见光敏传感器

表 3-4 常见光敏传感器

名称	工作原理简述
光敏电阻器	光敏电阻器的电阻值随着光照的增强而减小
光电二极管	光电二极管在接收到光照时，正向电阻值不会改变，而反向电阻值会随着光照的增强而减小
光敏三极管	光敏三极管在有光照时，反向电阻值较小；无光照时，反向电阻值接近无穷大

思考 & 练习

1. 说出生活中 2~3 处用到光敏传感器的例子。
2. 简述光敏传感器是如何检测光照变化的。

课外实践

图 3-12 是一种光电开关的电路图，由红外线信号发射电路和红外线信号接收电路共同组成。在红外线信号发射电路中， R_1 是限流电阻，发光二极管发射红外线信号光。在红外线信号接收电路中，光敏三极管接收红外线信号光并对信号进行放大，与 R_2 组成输出电路。当光敏三极管没有接收到红外线信号光时，A 端输出为高电平；当光敏三极管接收到红外线信号光时，A 端输出为低电平。参考图 3-12，用光敏传感器设计制作一个透射型或反射型光电开关，并参考表 3-5 进行评价。

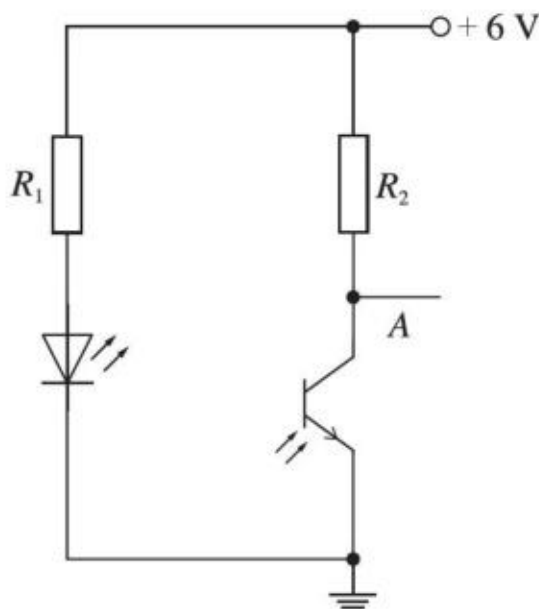


图 3-12 光电开关电路图

表 3-5 制作光电开关评价表

评价项目	评价标准	评价方式		
		自评	互评	师评
原理图绘制	原理图绘制正确			
制作结果	具有开关功能			
合作情况	小组团结合作			

等级标准：A 优秀、B 良好、C 合格、D 待改进。

3.3 磁敏传感器的应用

磁敏传感器也是一种常见的传感器。利用磁敏传感器可以进行无接触测量，广泛应用于直流无刷电机、流量计量、伪钞识别等。

磁敏传感器可以感知磁性物体的存在或者磁性强度，常见的磁敏传感器有干簧管、磁敏二极管和霍尔式传感器等。图3-13中（a）为干簧管，（b）为磁敏二极管，（c）为霍尔式传感器。

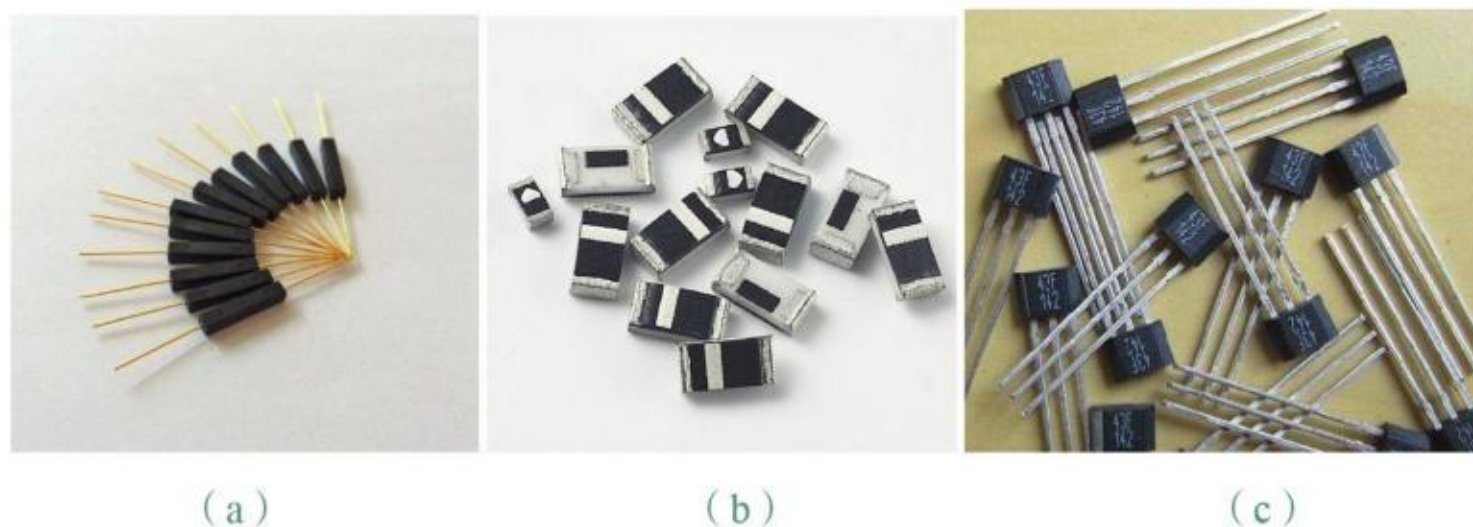


图3-13 常见磁敏传感器

思考 & 练习

1. 说出生活中2~3处用到磁敏传感器的例子。
2. 搜集资料，列出7个磁敏传感器的应用领域。

课外实践

干簧管是一种常见的磁敏传感器，当磁铁靠近干簧管时，玻璃管内的干簧片会闭合或者断开。取一只干簧管，采用图3-14所示的方法对它进行检测，记录检测结果，并参考表3-6进行评价。想一想，当磁铁靠近干簧管时，其玻璃管内的干簧片为什么会闭合或者断开？

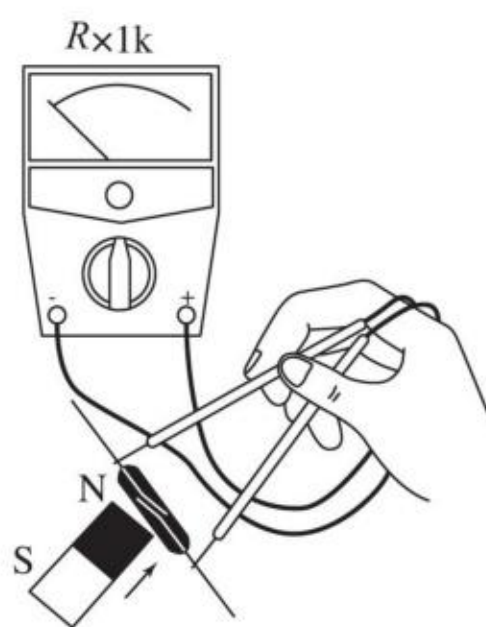


图3-14 检测干簧管

表3-6 检测干簧管评价表

评价项目	评价标准	评价方式		
		自评	互评	师评
万用表使用	挡位使用正确			
检测结果	记录电阻值正确			
合作情况	小组团结合作			

等级标准：A优秀、B良好、C合格、D待改进。



拓展阅读

霍尔式传感器是一种根据霍尔效应制作的磁敏传感器。当电流垂直于磁场方向通过导体时，导体中能够自由移动的带电粒子发生偏转，在垂直于电流和磁场的方向产生一附加电场，从而使导体的两端产生电势差（图3-15），这一现象就是霍尔效应。根据霍尔效应，用半导体材料制成的元件叫霍尔元件（图3-16）。

1. 开关型霍尔式传感器

开关型霍尔式传感器输出数字量，广泛应用于直流无刷马达、汽车发动机管理系统（电喷系统）、功率测量、阀门位置、机器人控制、电流传感、长度检测、流量测量、转速测量、安全系

统等。

2. 线性型霍尔式传感器

线性型霍尔式传感器输出模拟量，广泛应用于电流传感器、转速检测、电机控制、铁质金属检测、位置传感器、磁码读取、震动检测、液位传感器、压力传感器等。

除了本章介绍的温度传感器、磁敏传感器、光敏传感器，红外传感器、速度传感器、压力传感器、角度传感器、声音传感器、智能传感器等在我们的日常生活、生产活动中同样发挥了非常重要的作用。

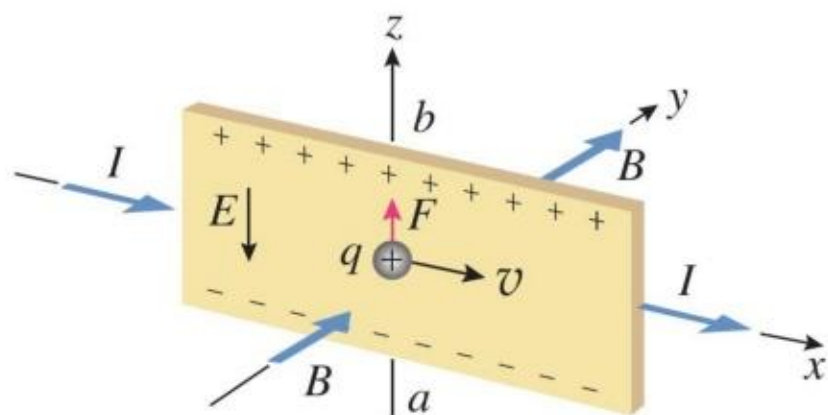


图3-15 霍尔效应

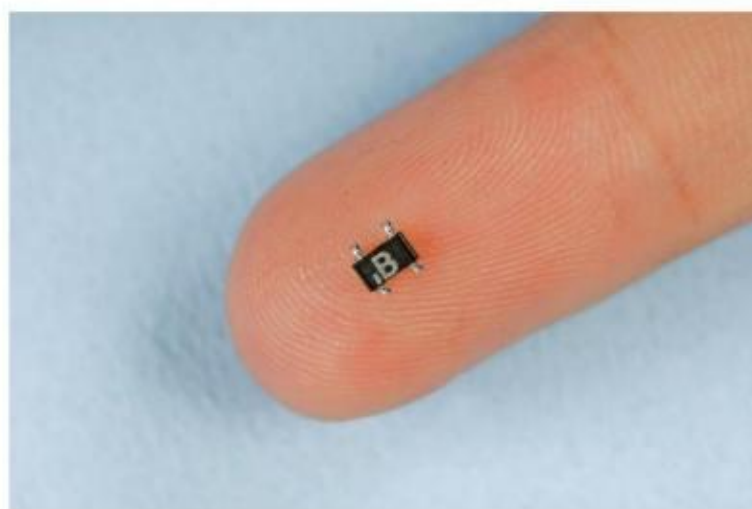


图3-16 霍尔元件

第4节 继电器的应用



学习目标

- 1. 了解常用的继电器。
- 2. 知道继电器的作用和分类。
- 3. 掌握直流电磁继电器的使用方法。

据相关机构调查分析，2019年中国继电器产量约为58.21亿个，继电器行业市场规模约为240.07亿元。常见的继电器有电磁继电器、固态继电器、时间继电器、温度继电器等。

4.1 继电器的作用与分类

继电器一般由感应机构、中间机构和执行机构三部分组成。感应机构能反映一定的输入变量，输入变量包含电流、电压、功率、阻抗、频率、温度、压力、速度、光等；执行机构实现对被控电路通、断状态的控制；中间机构在继电器感应机构和执行机构之间，对输入量进行耦合隔离、功能处理并对输出部分进行驱动。

继电器在电路中起着自动调节、安全保护、转换电路等作用。继电器的常用电路符号如图3-17所示，其中（a）为继电器线圈，（b）为动合触点，（c）为动断触点，（d）为转换触点。

继电器的种类较多，其工作原理和结构也各不相同。最常见的可分为有触点继电器和无触点继电器两大类。其他常见分类如表3-7所示。

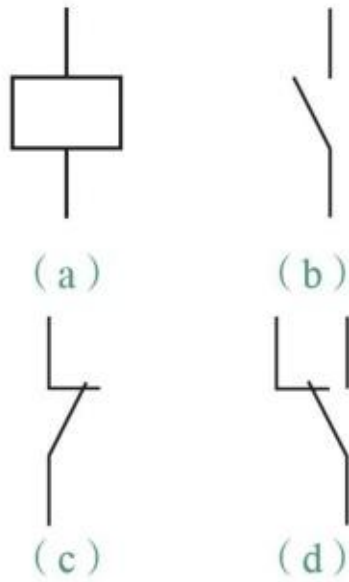


图3-17 继电器的常用电路符号

表3-7 继电器常见分类

分类方法	继电器的种类
按动作原理分类	电磁继电器、固态继电器、时间继电器、热继电器、温度继电器、热敏干簧继电器、仪表式继电器、差动继电器、感应继电器等
按外形尺寸分类	小型继电器、微型继电器、超小型继电器等
按负载分类	微功率继电器、弱功率继电器、中功率继电器、大功率继电器等

续表

分类方法	继电器的种类
按防护特征分类	密封继电器、塑封继电器、防尘罩继电器、敞开继电器等
按响应对象分类	电流继电器、电压继电器、功率继电器、阻抗继电器等
按在保护回路中所起的作用分类	启动继电器、量度继电器、时间继电器、中间继电器、信号继电器等
按动作时间分类	瞬时继电器、延时继电器等
按用途分类	控制继电器、保护继电器等

一、电磁继电器



图 3-18 电磁继电器

电磁继电器（图 3-18）是由铁芯、线圈、衔铁、触点簧片组成的有触点开关器件，是一种利用输入电路在电磁铁铁芯与衔铁间产生的吸力作用而工作的继电器，它利用电磁铁控制工作电路通断，是用较小电流、较低电压去控制较大电流、较高电压的一种“自动开关”，在电路中起着自动调节、安全保护、转换电路等作用。有一组转换触点的电磁继电器一般有两个与线圈相连的端子、一个与公共触头相连的端子、一个与常开触头相连的端子和一个与常闭触头相连的端子。

按照输入电路的控制电流是直流或交流，可以把电磁继电器分为直流电磁继电器和交流电磁继电器。



图 3-19 热敏干簧继电器

二、热敏干簧继电器

热敏干簧继电器（图 3-19）是一种利用热敏磁性材料检测和控制温度的新型热敏开关器件，由感温磁环、恒磁环、干簧管、导热安装片、塑料衬底等组成，由恒磁环产生的磁力驱动开关动作。

三、固态继电器



图 3-20 固态继电器

固态继电器是一种由固态电子元器件组成的无触点开关器件，利用大功率三极管、功率场效应晶体管、晶闸管、绝缘栅双极型晶体管等电子元器件的开关特性来达到无触点、无火花地接通和断开被控电路。

如图 3-20 所示，固态继电器是一种四端有源元器件，其中两个端子为输入控制端，另外两个端子为输出受控端，既有放大驱动作

用，又有隔离作用，很适合驱动大功率开关式执行机构。专用的固态继电器可以具有短路保护、过载保护和过热保护功能，还可以与组合逻辑电路固化封装，搭建实现用户需要的智能模块，直接用于控制系统中。固态继电器较之电磁继电器具有可靠性高、无触点、寿命长、速度快等优势，已得到广泛应用。

思考 & 练习

1. 说出生活中2~3处用到继电器的例子。
2. 说出最常见的继电器可以分为哪两大类。

4.2 电磁继电器的结构与工作原理

电磁继电器的触点有三种基本形式：动合型、动断型和转换型。

(1) 动合型：线圈不通电时两触头是断开的，通电后两个触头闭合。用“合”字的拼音字头“H”表示，简称H型。

(2) 动断型：线圈不通电时两触头是闭合的，通电后两个触头断开。用“断”字的拼音字头“D”表示，简称D型。

(3) 转换型：共有三个触头，其中中间是动触头，上下各一个静触头。线圈不通电时，动（公共）触头和其中一个静（常开）触头断开、和另一个静（常闭）触头闭合，线圈通电后，动触头移动，使原来断开的两触头闭合，原来闭合的两触头断开。用“转”字的拼音字头“Z”表示，简称Z型。

有一组动合触点的电磁继电器的工作原理图如图3-21所示，A是电磁铁，B是衔铁，C是弹簧，D是动触头，E是静触头。图中电路由低压控制电路和高压工作电路组成。控制电路由电磁铁A、衔铁B、低压电源V和开关S组成；工作电路由电动机M、高压电源U和相当于开关的静触头E、动触头D组成。

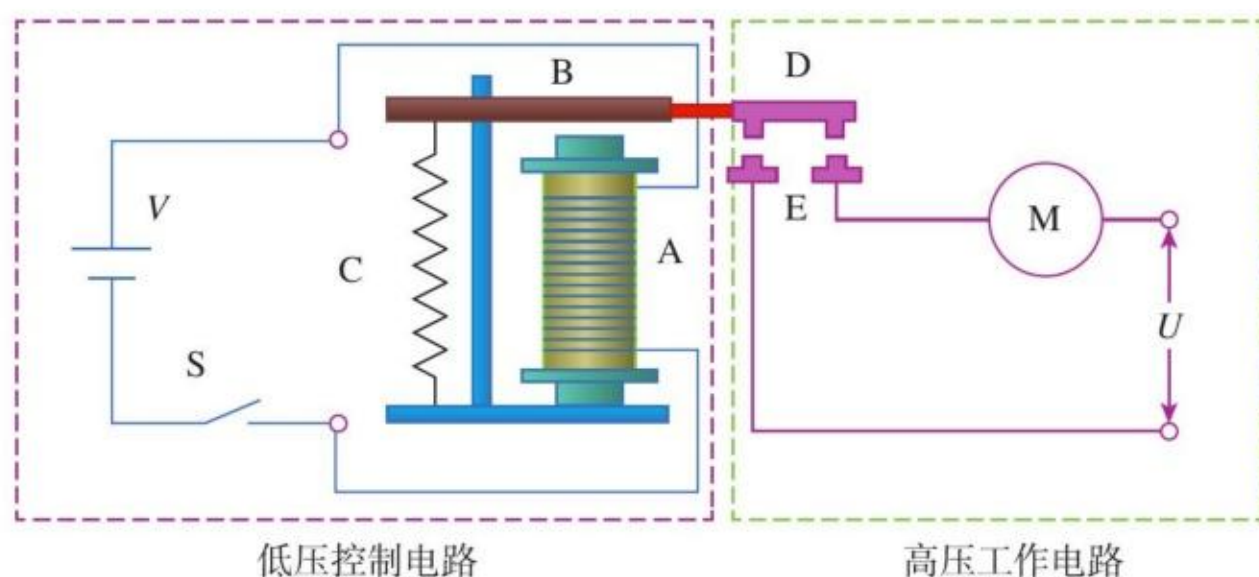


图3-21 有一组动合触点的电磁继电器的工作原理图

常态下，开关S断开，D与E断开，工作电路处于断开状态。

（1）闭合开关S，电磁铁A的线圈中有电流通过，铁芯被磁化，衔铁B在电磁作用力的作用下克服弹簧C的拉力被吸向铁芯，从而带动D与E闭合。此时，工作电路接通，电动机M开始工作。

（2）断开开关S，电磁铁A的线圈中没有电流通过，电磁作用力消失，衔铁B就会在弹簧拉力的作用下返回原来的位置，使D与E断开。此时，工作电路断开，电动机M停止工作。

根据工作原理，利用电磁继电器可以实现低压电路对高压电路的控制。

电磁继电器的触点也可以是多组。图3-21中的触点，动触头与静触头在线圈未通电时处于断开状态，也称为常开触点；如果动触头与静触头在线圈未通电时处于闭合状态，则称为常闭触点。

思考 & 练习

- 1. 说出电磁继电器触点的基本形式有哪些。
- 2. 简述电磁继电器是如何工作的。

4.3 直流电磁继电器的规格

小型大功率直流电磁继电器（图3-22）是一种常见的电磁继电器。一种小型大功率直流电磁继电器的规格如表3-8所示。



图3-22 小型大功率直流电磁继电器

表3-8 小型大功率直流电磁继电器的规格

类型		内容
触点参数	触点形式	1H
	接触电阻	100 mΩ（1 A，6 V DC）
	触点材料	AgSnO ₂ ，AgCdO

续表

类型			内容
触点参数	触点负载		阻性负载：20 A，250 V AC 电机负载：2 马力，240 V AC
	最大切换电压		250 V AC
	最大切换电流		阻性负载：25 A
	最大切换功率		6 250 W
	机械耐久性		2×10^6 次
	电耐久性		1×10^5 次
性能参数	绝缘电阻		1 000 M Ω （500 V DC）
	介质 耐压	线圈与触点间	4 500 V AC，1 min
		断开触点间	1 000 V AC，1 min
	动作时间（额定电压下）		≤ 20 ms
	释放时间（额定电压下）		≤ 10 ms
	线圈温升（额定电压下）		≤ 80 K
	冲击	稳定性	196 m/s ²
		强度	980 m/s ²
	振动		10~55 Hz，1.5 mm，双振幅
	温度		-25~85 ℃
	湿度		5%~85% RH
	引出端形式		印制电路板式与快连接式
	重量		约 923 g
	封装方式		防尘罩型
线圈参数	额定线圈功率		900 mW
线圈规格表	额定电压		24 V DC
	动作电压		≤ 16.8 V DC
	释放电压		≥ 2.4 V DC
	最大电压		28.8 V DC
	直流电阻		$640 \times (1 \pm 10\%) \Omega$
安全认证	UL/CUL		1 马力，120 V AC 2 马力，240 V AC
	VDE		20 A，250 V AC，85 ℃

思考 & 练习

1. 表3-8中的小型大功率直流电磁继电器的额定工作电压是多少？
2. 表3-8中的小型大功率直流电磁继电器的线圈直流电阻是多少？

4.4 直流电磁继电器的应用

一、使用场景



图3-23 直流LED灯泡

制作一个控制器，使用直流电磁继电器对直流LED灯泡（图3-23）进行控制。控制要求：当控制信号为高电平时，灯泡点亮；当控制信号为低电平时，灯泡熄灭。直流LED灯泡的供电电源为直流12 V。

二、材料准备

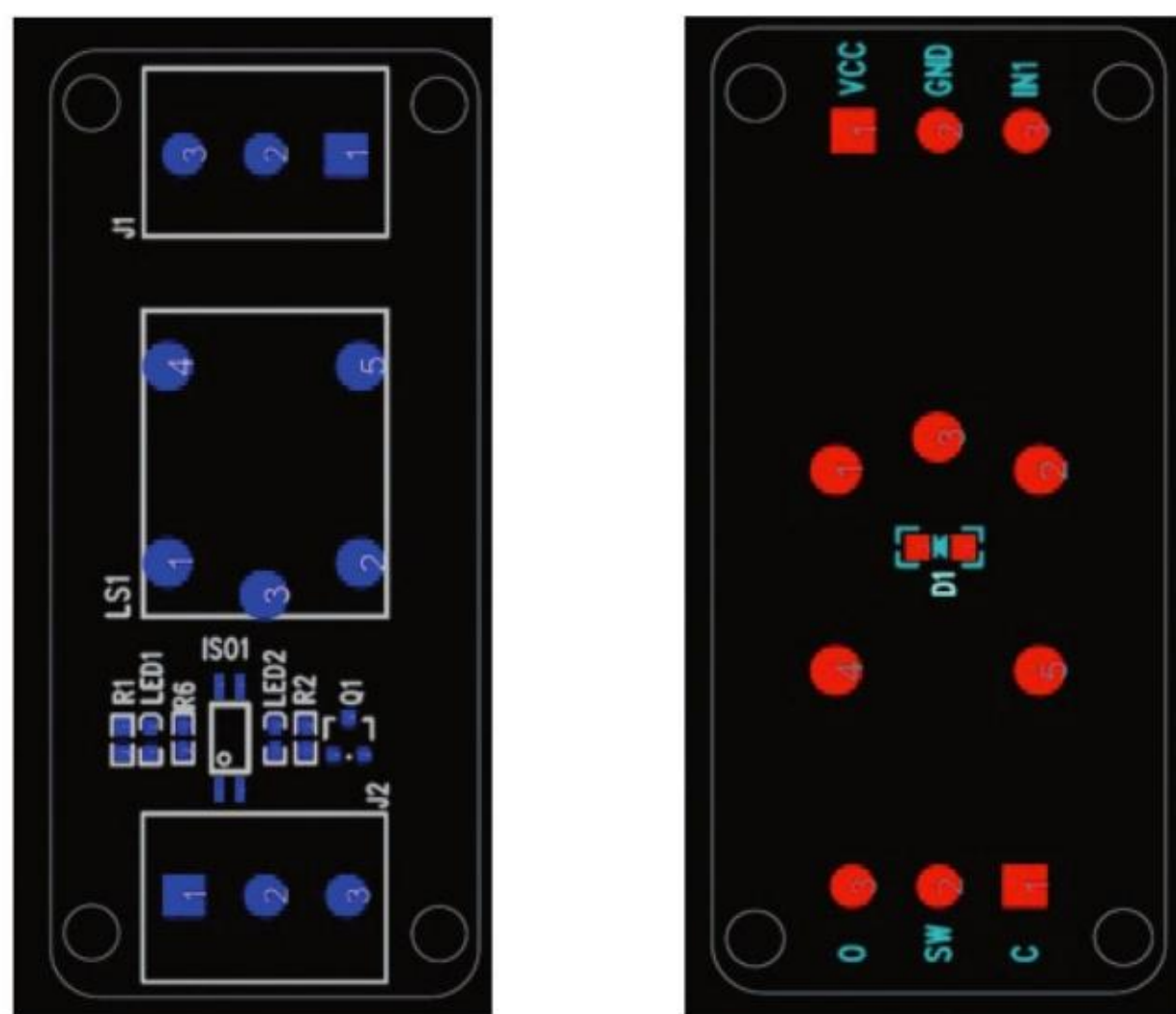
表3-9所列的是制作该控制器所需的材料。

表3-9 材料明细表

序号	名称	规格型号	数量	编号	封装
1	电阻器	4.7 k Ω	1	R1	R0603
2	电阻器	1 k Ω	2	R2, R6	R0603
3	LED	BLUE_LED	2	LED1, LED2	D0603
4	二极管	L4148	1	D1	D1206
5	三极管	SS8050	1	Q1	SOT-23
6	光电耦合器	TLP291	1	ISO1	SO16
7	继电器	JQC-3F	1	LS1	JQC-3FF/05-1ZS
8	接线座	CON3	2	J1, J2	KF128-3P-5.08

三、印制电路板

该控制器的印制电路板如图3-24所示。



(a) 印制电路板正面

(b) 印制电路板背面

图 3-24 控制器的印制电路板

四、电路板焊接

认真核对元器件的型号，找到元器件在印制电路板上正确的位置，仔细焊接，不漏焊、错焊、虚焊、假焊。图 3-25 所示是该控制器的 3D 效果参照图。

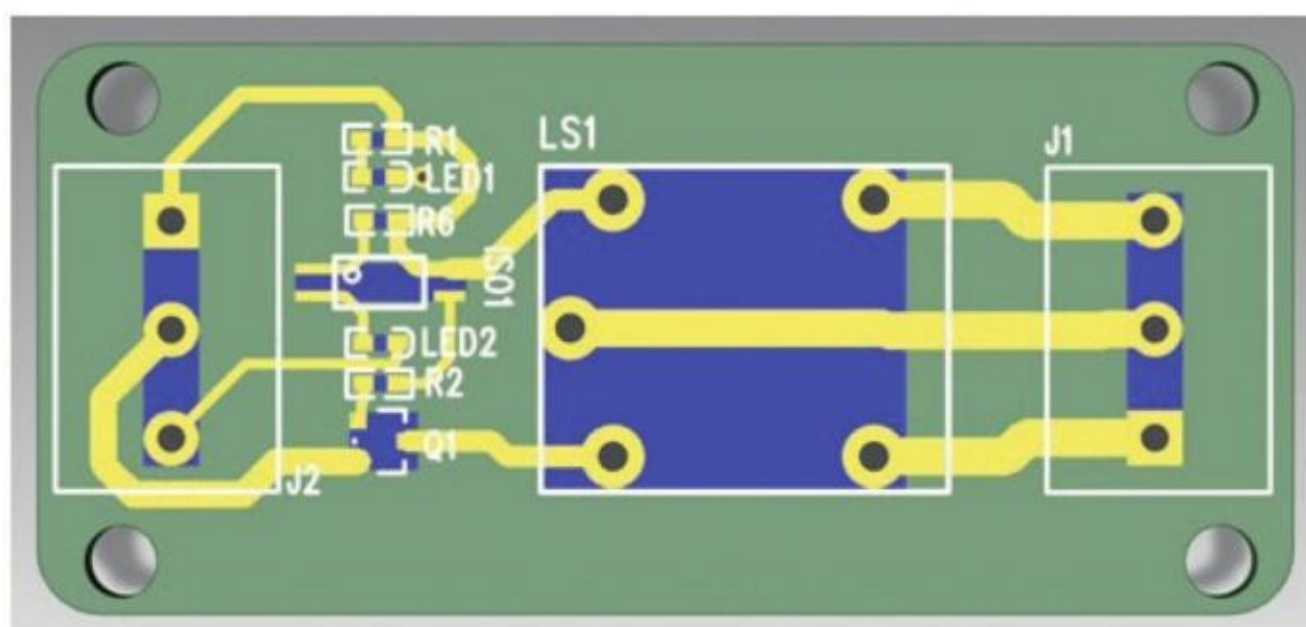


图 3-25 控制器的 3D 效果参照图

五、控制器的调试

控制器电路图如图 3-26 所示。图中 VCC 接直流 12 V 电源；输入接线座 J2 提供三个接线端子，1 号端子接输入信号 IN1、2 号端子接地 GND、3 号端子接电源 VCC；输出接线座 J1 提供三个接线端子，1 号端子 NC 与继电器 LS1 常闭触头相连，2 号端子 COM 与 LS1 公共触头相连，3 号端子 NO 与 LS1 常开触头相连；直流 LED 灯泡的地线

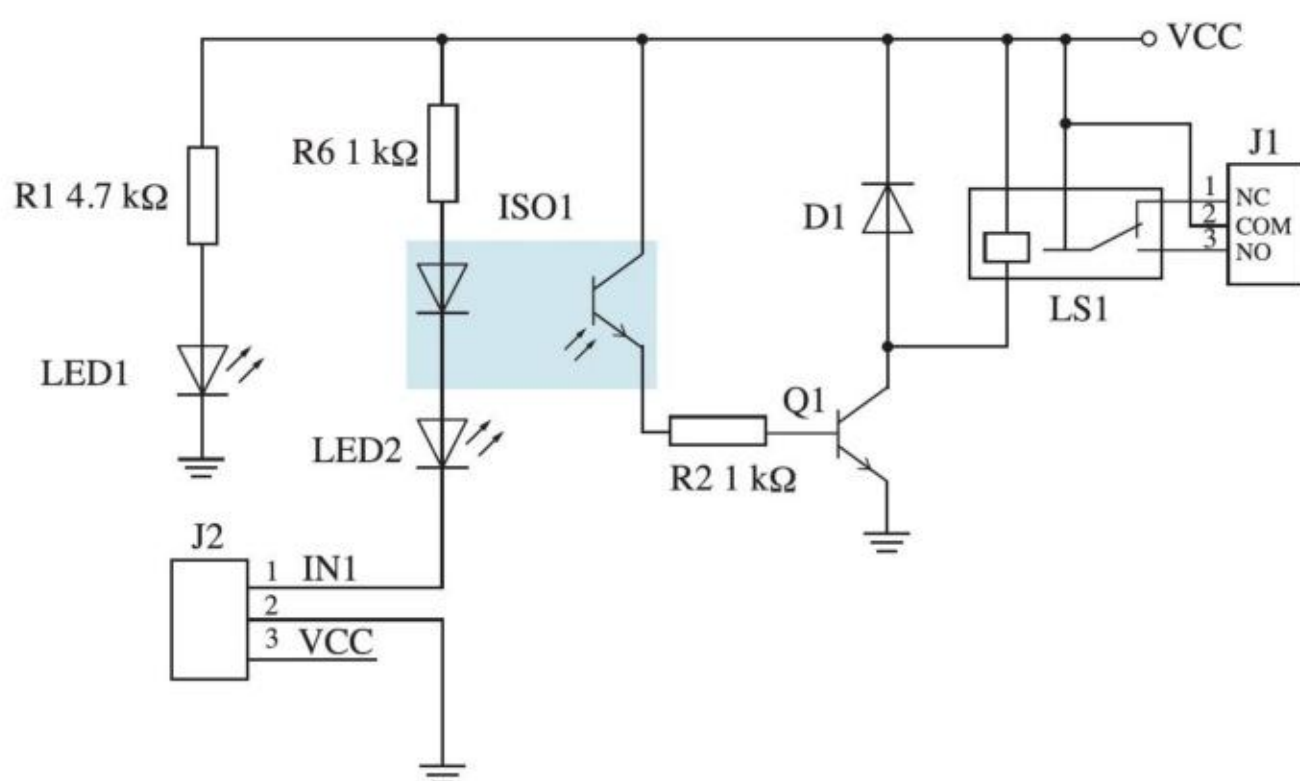


图 3-26 控制器原理图

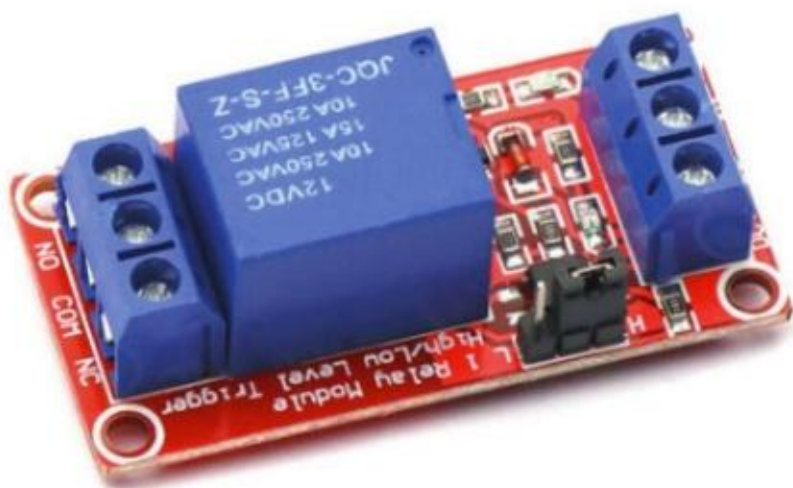


图 3-27 控制器实物图

接J2的2号端子，电源线接J1的1号端子NC，J1的3号端子NO不用接线，预留备份。图3-27为控制器实物图。

继电器LS1有一组转换触点。当输入信号IN1为低电平时，继电器动作，公共触头与常闭触头断开，与常开触头相连，直流LED灯泡供电电路断路，灯泡熄灭；当输入信号IN1为高电平时，继电器不吸合，公共触头保持与常闭触头相连，与常开触头断开，直流LED灯泡供电电路闭环，灯泡点亮。

六、控制器的创新设计

随着时代的进步，科技不断革新，控制器的设计也需要不断地创新。控制器的创新设计可以从以下两个方面考虑。

(1) 外观创新。控制器的外观设计要符合人机工程学,符合前沿的潮流与趋势。

(2) 功能创新。可以利用人工智能技术,设计人工智能型控制器,通过语音或者人脸识别来控制LED灯泡的点亮或熄灭。

思考 & 练习

1. 画图并简述用直流电磁继电器如何控制LED灯泡。
2. 搜集资料, 简述如何实现对220 V供电的路灯的控制。

本章小结

本章首先学习了传感器的相关知识及其应用，要求同学们能举例说明传感器的作用，能根据输入信号的特点选择合适的传感器，能用万用表检测常见的传感器；然后学习了继电器的相关知识及其应用，要求同学们知道继电器的作用与分类，了解常见的直流电磁继电器，学会直流电磁继电器的使用方法；最后通过控制直流LED灯泡这个实例的学习，进一步巩固元器件在电路中的应用，帮助同学们学习电路图、印制电路板的分析与识读，电路的焊接与调试，为后续复杂电子控制系统中传感器和继电器的应用奠定基础。本章的知识结构如图3-28所示。

通过本章的学习，同学们能获得理解技术活动需要综合运用多种知识的技术意识、进行简单技术方案设计的工程思维、初步的技术创新设计能力、识图的图样表达能力、产品制作和装配的物化能力。

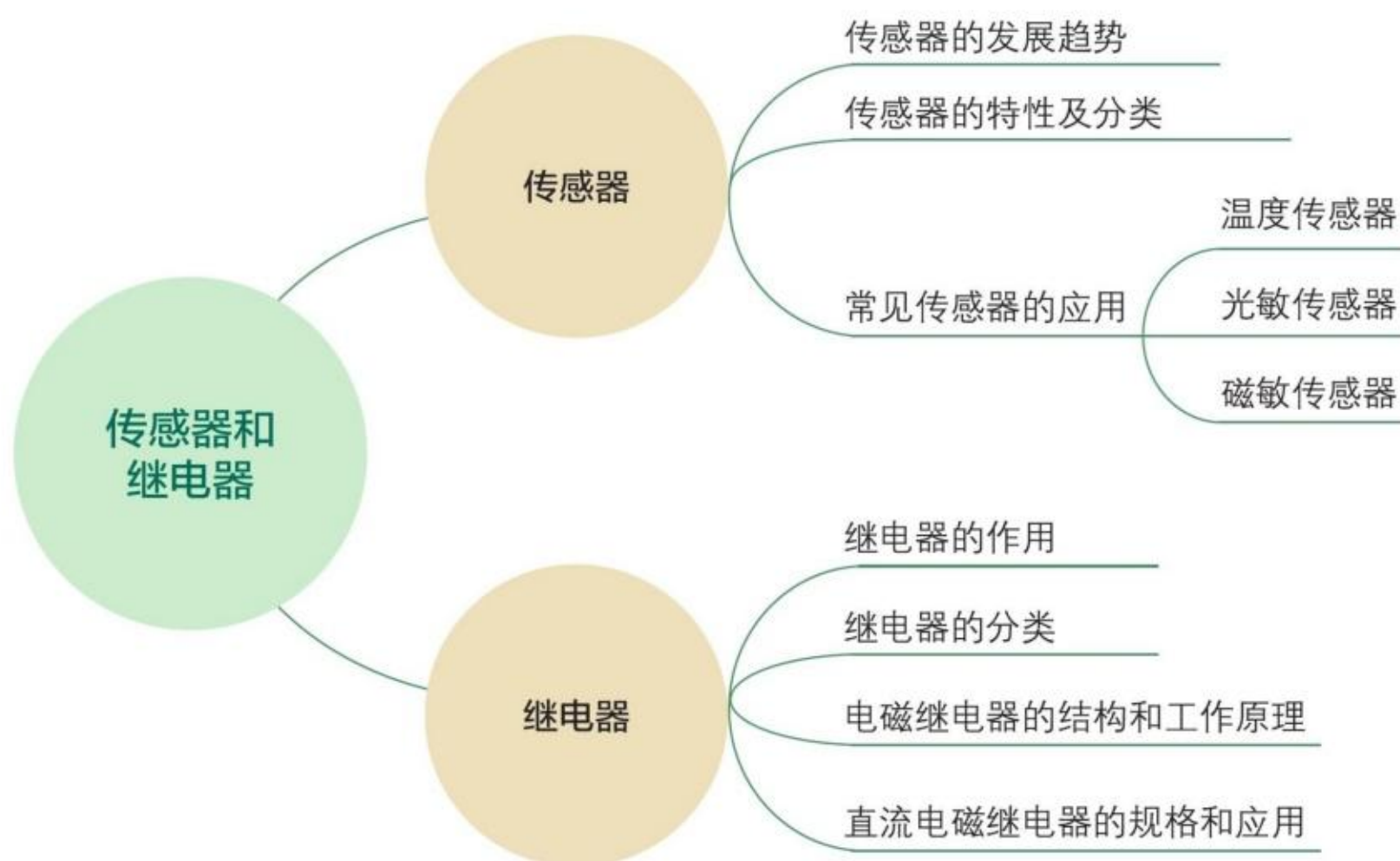


图3-28 本章知识结构

本章学习评价表

课程目标/ 实践项目	评价指标	评价方式		
		自评	互评	师评
传感器的发展趋势	了解常见的传感器			
	了解传感器的组成			
	了解传感器的发展趋势			
传感器的特性及分类	知道传感器的特性			
	知道传感器的分类			
常见传感器的应用	认识温度传感器并会用万用表检测			
	认识光敏传感器并会用万用表检测			
	认识磁敏传感器并会用万用表检测			
继电器的原理及其应用	知道继电器的作用及构成			
	知道继电器的分类			
	知道常用继电器的应用			
直流电磁继电器的原理及应用	了解电磁继电器的结构及工作原理			
	了解直流电磁继电器的规格			
	学会直流电磁继电器的使用方法			

等级标准：A优秀、B良好、C合格、D待改进。

第四章 电子控制系统

本章将结合前三章的内容，带领同学们进一步学习电子控制系统的组成。通过本章的学习，同学们将学会正确利用电子电路仪器，学习开环电子控制系统和闭环电子控制系统，了解信号输入和输出的特征，掌握闭环、开环电子控制系统的不同特征，设计适用的电子控制系统。

第1节 电子控制系统

第2节 开环电子控制系统设计

第3节 闭环电子控制系统设计

第 1 节 电子控制系统



学习目标

1. 了解电子控制系统的基本组成。
2. 了解开环与闭环电子控制系统的组成。
3. 能够使用方框图分析常见的电子控制系统的工作过程。

电子控制系统运用电子控制技术，由多个部分组成。不同于其他控制系统，电子控制系统主要考虑以电子控制技术为核心的结构体系。

1.1 认识电子控制系统

一、人工控制与电子控制

控制应用于生产、生活的方方面面。以照明的控制（图4-1）为例，在古代，当人们需要改变照明条件时，可以点亮或熄灭灯火来实现控制；在现代，智能家居系统可以根据外界光线的强弱自动点亮或熄灭电灯。过去的照明需要人工控制，而现在可以利用电子控制技术来实现自动化的电子控制。



图4-1 照明的控制

人工控制和电子控制是有着区别和联系的。以照明的控制为例，其人工控制和电子控制的过程分别如图4-2、图4-3所示。

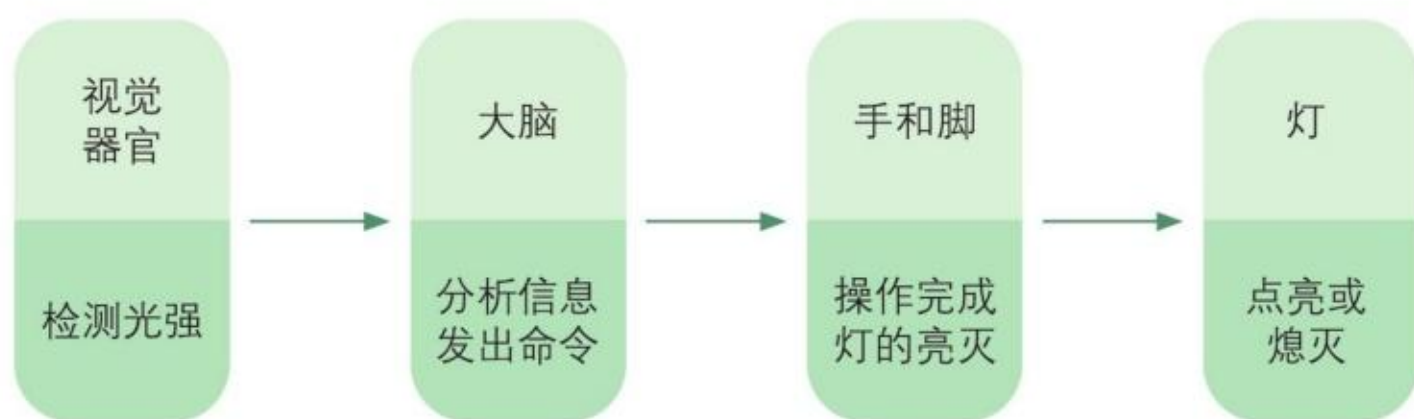


图4-2 人工控制逻辑图



图4-3 电子控制逻辑图

可以看出，这两种控制都是先进行信息的收集，然后经过对信息的分析、判断，发出命令，再执行命令，最终达到控制目的。任何一种控制的实现，都要通过若干个环节，这些环节有机组合就构成了一个系统，称为控制系统。控制系统的输出与输入之间有一定的对应关系。

二、电子控制系统

以电子控制技术为核心的控制系统，叫作电子控制系统。电子控制系统一般可分为输入、处理、输出三个基本的组成部分。用箭头代表信息传递的方向，可以用如图4-4所示的方框图来表示电子控制系统。

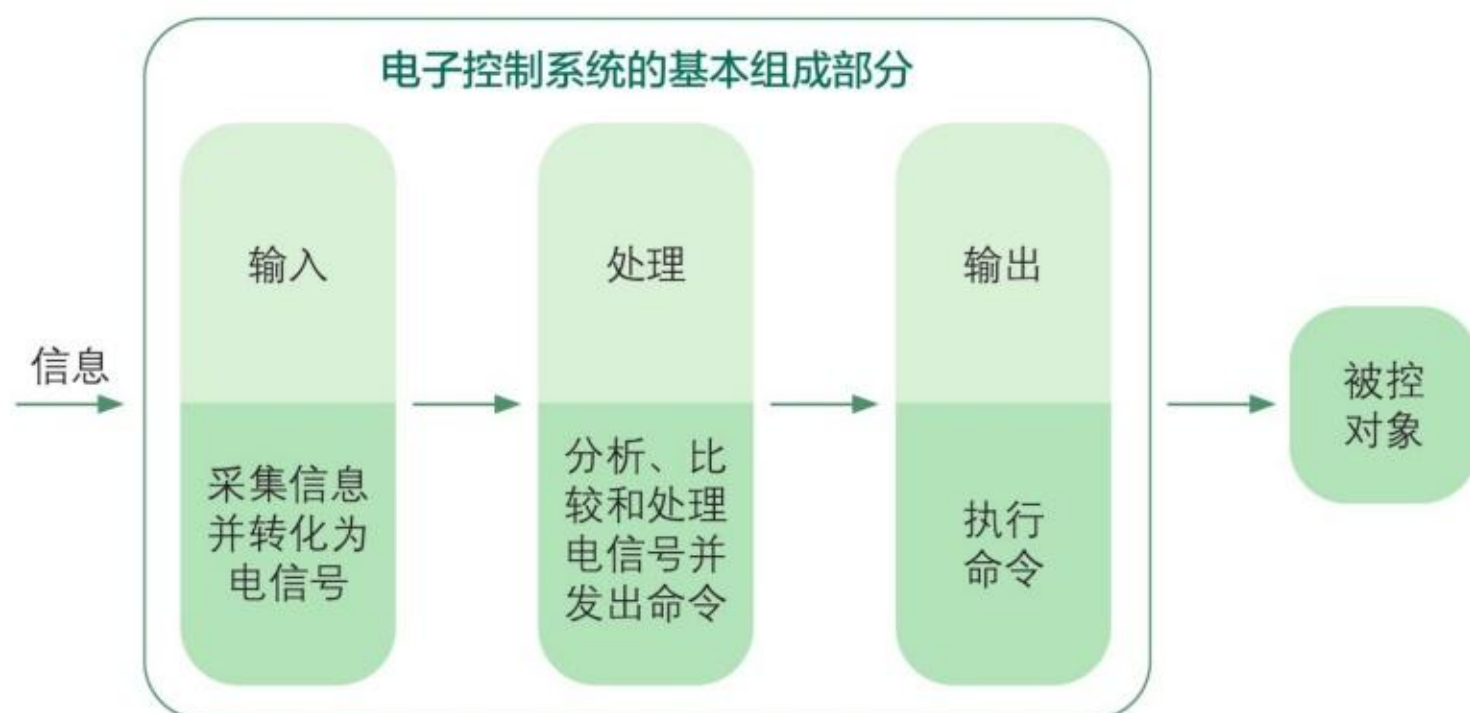


图4-4 电子控制系统的基本组成部分

输入部分：用传感器把采集的非电信息变化转变为电信号的变化——相当于感觉器官。

处理部分：对送入的电信号进行比较、分析和处理，并发出指令——相当于大脑。

输出部分：将电信号转化为各种信息——相当于手和脚。

例如，电风扇的风速控制是通过改变电机的转速来实现的。给电风扇设定风速挡位，电机就以一定的转速带动扇叶转动，输出预定的风速。风速挡位是该控制系统的输入，扇叶转动产生的风速是该控制系统的输出，一个挡位对应着一种风速。

思考 & 练习

1. 分析表4-1中电子控制系统的基本组成部分，并说出它们的简要工作过程。

表4-1 电子控制系统示例

电子控制系统名称	输入部分	处理部分	输出部分
路灯控制系统	环形感应线圈	电子电路	照明灯
船舶控制系统	水位传感器	电子电路	电磁开关

2. 观察日常生活中所接触的物品，如笔记本电脑（图4-5），思考它的输入、处理以及输出部分各是什么。再如智能手机（图4-6），观察其传感器和控制对象，举例说明哪些是输入、输出和处理部分。



图4-5 笔记本电脑



图4-6 智能手机

课外实践

根据下面的提示，利用第二章所学习的模拟电路知识设计一个系统，模拟路灯的自动亮灭。设计电路并画出系统方框图。

夜晚：用黑纸罩住光敏电阻器 R ，外界光线照射不到光敏电阻器时， R 的阻值变得很大，三极管导通，代表路灯的发光二极管自动点亮。

白天：移除遮光的黑纸，当强光照射光敏电阻器 R 时， R 的阻值变得很小，三极管截止，发光二极管熄灭。

1.2 开环电子控制系统

自动门（图4-7）控制系统是一个开环电子控制系统。

观察自动门的工作过程可以看到，当门前没有人时，门是关着的；当有人靠近门前时，门打开；当人离开门前一段时间后，门又关闭。



图4-7 自动门

总的来说，自动门需要实现的功能是无人时，常关；有人时，开门。实际生活中，自动门还需要达到一定的技术要求，例如，当人距门1 m时，门即打开；门打开后，延时10 s后关门。

自动门的控制系统可以用如图4-8所示的方框图来表示。

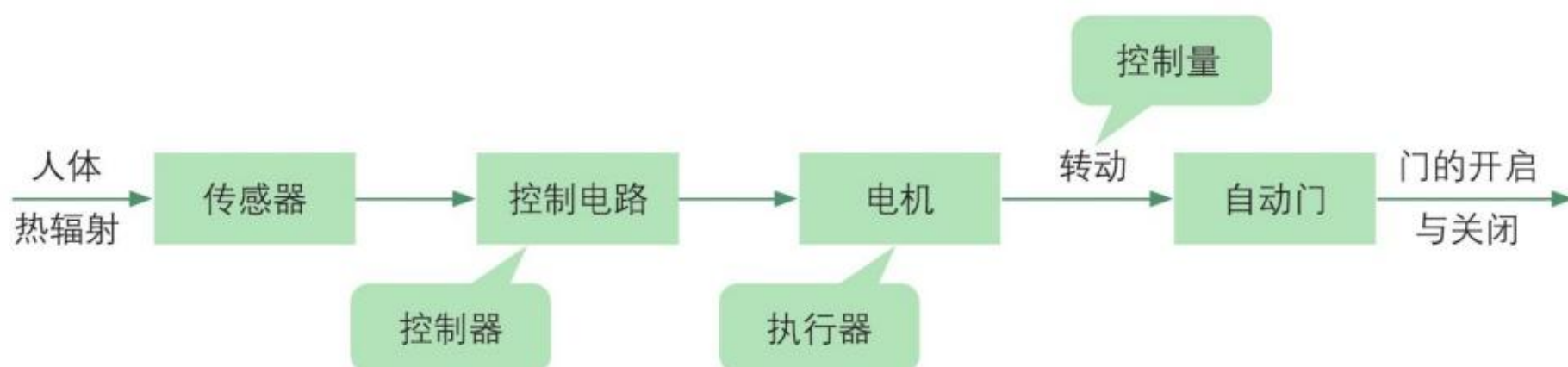


图4-8 自动门控制系统方框图

开环电子控制系统是指无被控量反馈的电子控制系统，即需要控制的是被控对象的某一量（被控量），而测量的只是给定信号，被控量对于控制作用没有任何影响。

如图4-9所示，系统的被控量仅受输入量控制，输入量到被控量之间的信号是单向传递。

输入量：控制系统测量的给定信号。

控制装置：包括控制器与执行器。其中，控制器是指对输入信号进行处理并发出控制命令的装置或元件，执行器是指直接对被控对象进行控制的装置或元件。

控制量：执行器的输出信号。

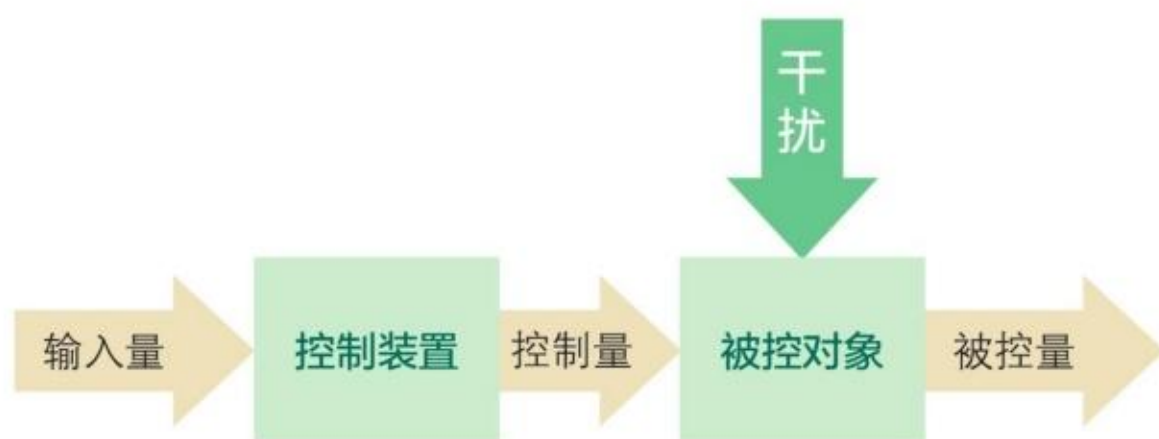


图4-9 一般开环电子控制系统方框图

被控对象：控制系统中需要控制的装置和生产过程。

被控量：即控制系统所要控制的量，也称输出量。

思考 & 练习

1. 思考生活中的开环电子控制系统，如公共汽车车门控制系统等，参考一般开环电子控制系统方框图画出它们的控制系统方框图。
2. 思考上述举例的控制系统特征，简述它们有哪些优点和不足。

1.3 闭环电子控制系统

在地面上画出一条直线，尝试先闭着眼睛再睁开眼睛沿着直线各走一遍，可以发现，睁开眼睛走直线比闭着眼睛走直线要简单得多。

没有传感器反馈信息的控制系统就相当于眼睛闭着的我们，显而易见，这样实现控制是可能存在困难的。这样的控制方式称作开环控制，相对地，接收传感器反馈的外界信息，并能根据这些信息进行调整的控制方式称作闭环控制。

闭环电子控制系统是指有被控制量反馈的电子控制系统。一般闭环电子控制系统的方框图如图4-10所示。从系统中信号流向看，

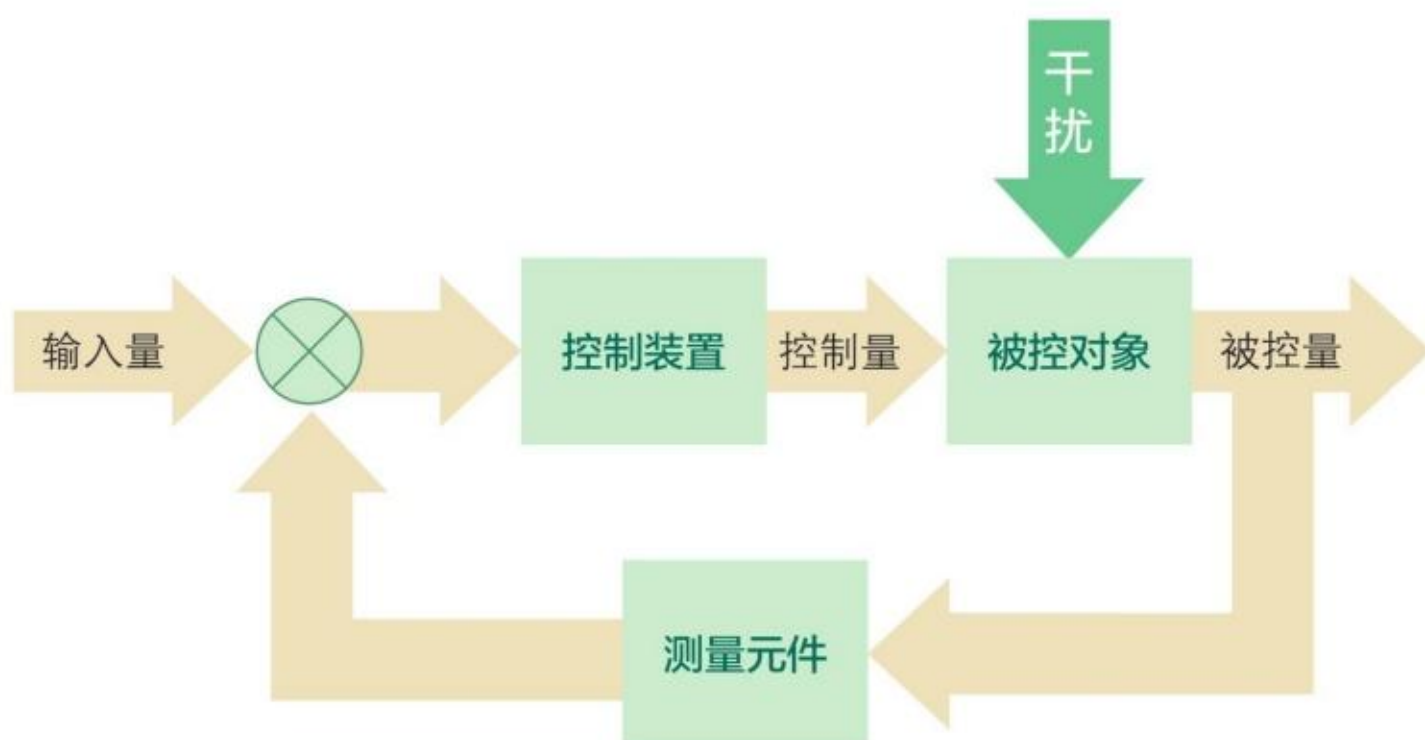


图4-10 一般闭环电子控制系统方框图

系统输出端的信号沿反馈通道又回到系统的输入端，构成闭合通道，故称闭环控制系统或反馈控制系统。

闭环电子控制系统的特征是系统的输出端与输入端信号之间存在一个回路——反馈回路。

信号灯（图4-11）是交通控制系统中的重要控制装置之一。传统的交通控制系统采用定时控制的信号灯，是一种开环电子控制系统，其方框图如图4-12所示。



图4-11 信号灯

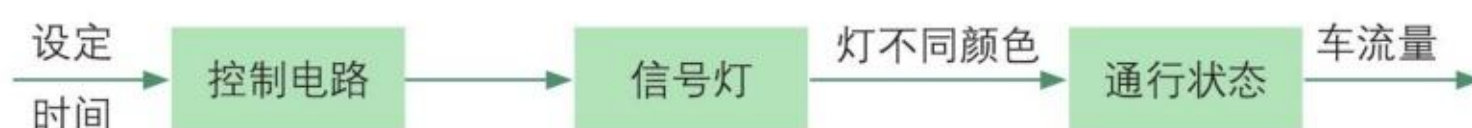


图4-12 开环交通控制系统方框图

智能信号灯系统由智能交通指挥中心电子电路、环形感应线圈、监控探头、信号灯四个部分构成。感应线圈埋在红绿灯下面，当车辆驶过路面时，感应线圈会自动计数，将数字信息传达到指挥中心，指挥中心再根据车流量指导信号灯，以达到信号灯自动调时的目的。信号灯“自适应”，将会在车流量大的时候自动延长通行时间，对缓解交通压力有很大的帮助。采用智能信号灯系统的交通控制系统是闭环电子控制系统，其方框图如图4-13所示。

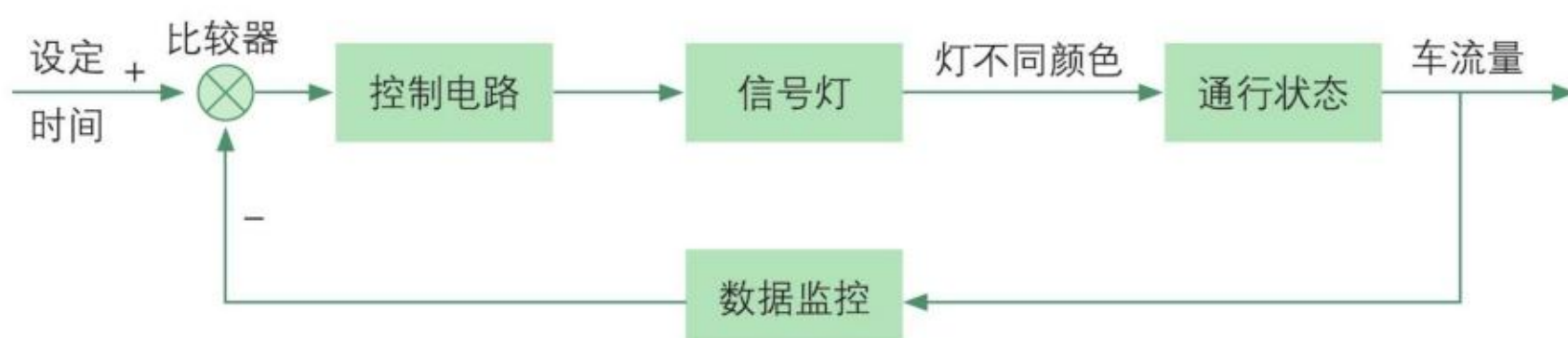


图4-13 闭环交通控制系统方框图

思考 & 练习

思考生活中的闭环电子控制系统，如水库阀门控制系统、音乐喷泉控制系统等，参考一般闭环电子控制系统方框图画出它们的控制系统方框图。

课外实践

根据下面的条件，利用第三章所学习的传感器知识，设计一个闭环电子控制系统。

游泳池注水或楼顶水箱注水，经过设定的时间，有时水满了，有时却未满。请设计一个闭环电子控制系统，能够使用传感器监测被控量，自动调节注水状态。

第2节 开环电子控制系统设计

学习目标

1. 能够利用面包板搭建控制电路。
2. 能够应用功能电路设计开环电子控制系统。
3. 掌握简单开环电子控制系统的安装、调试和改进的方法。

本节通过实例介绍基本电路载体的使用方法与搭载电路所需要的实操技巧，在实践中学习如何设计开环电子控制系统，并根据所设计的系统搭建电路，实现功能。

2.1 利用面包板搭建、焊接电路

面包板是实验室中用于搭建电路的重要载体。利用面包板搭建电路能够快速实现电路功能，在此基础上可以进一步设计印制电路板（printed circuit board, PCB）。

图4-14是利用面包板来搭建的微控制器平台。RX与TX分别是接收信息接口和发送信息接口。+5 V为电源输入端，GND为接地。

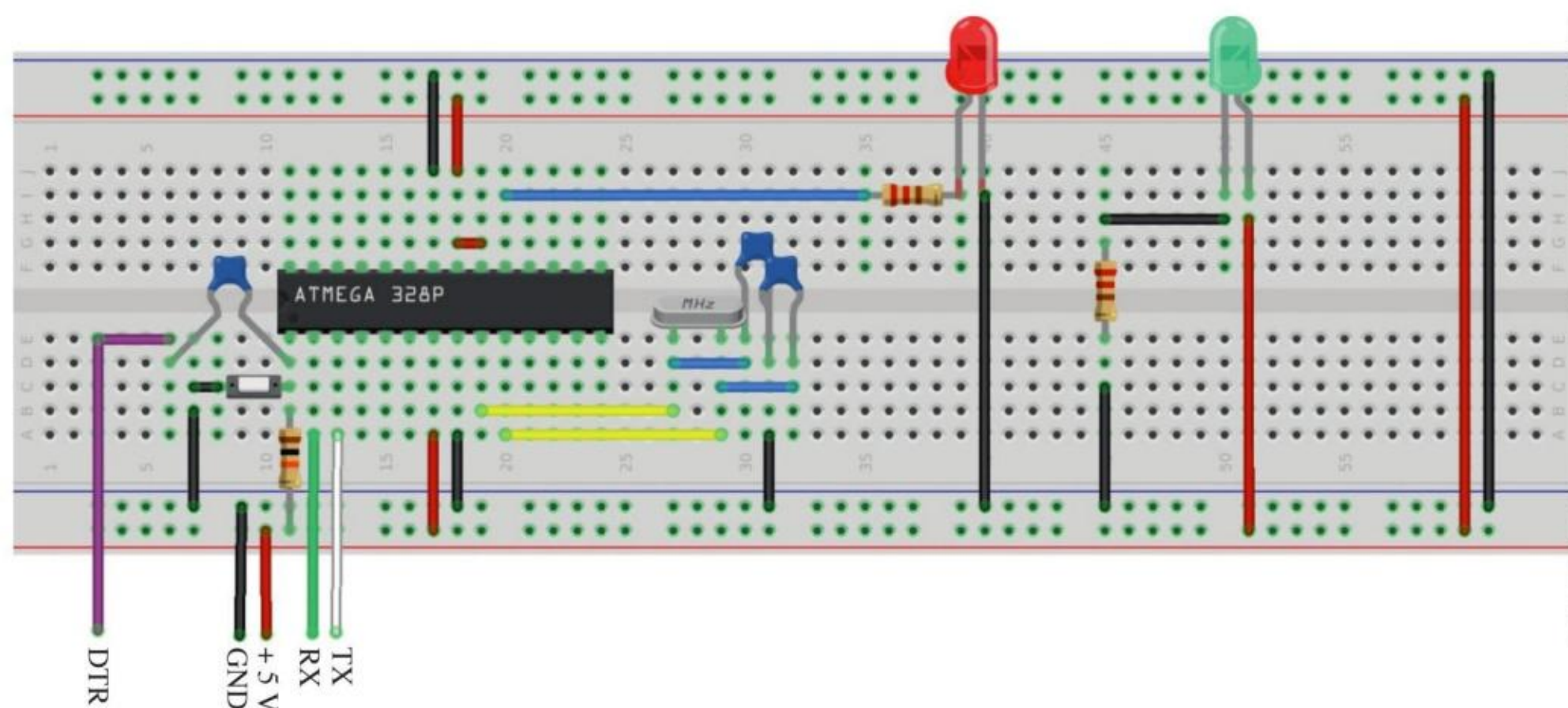


图4-14 利用面包板搭建微控制器平台

可以利用PCB设计软件来将面包板上面的功能硬件固化在电路板上，提高系统的可靠性和稳定性。

表4-2 简易温度报警器材料表

序号	名称	数量
1	电阻器	1
2	导线	7
3	DHT11 数字温湿度传感器	1
4	微控制器平台	1
5	计算机	1
6	LCD显示器	1
7	蜂鸣器	1

DHT11 数字温湿度传感器（图4-16）的输出电压与摄氏温度成正比，常用于检测周围空气温度。使用DHT11可以进行相对湿度和温度测量，其湿度精度为 $\pm 5\%$ 相对湿度，温度精度为 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，湿度量程为 $20\%\sim 90\%$ 相对湿度，温度量程为 $0\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。传感器有四个引脚，在本项目中，1号引脚接5 V电源，2号引脚为信号输出端，4号引脚接地。

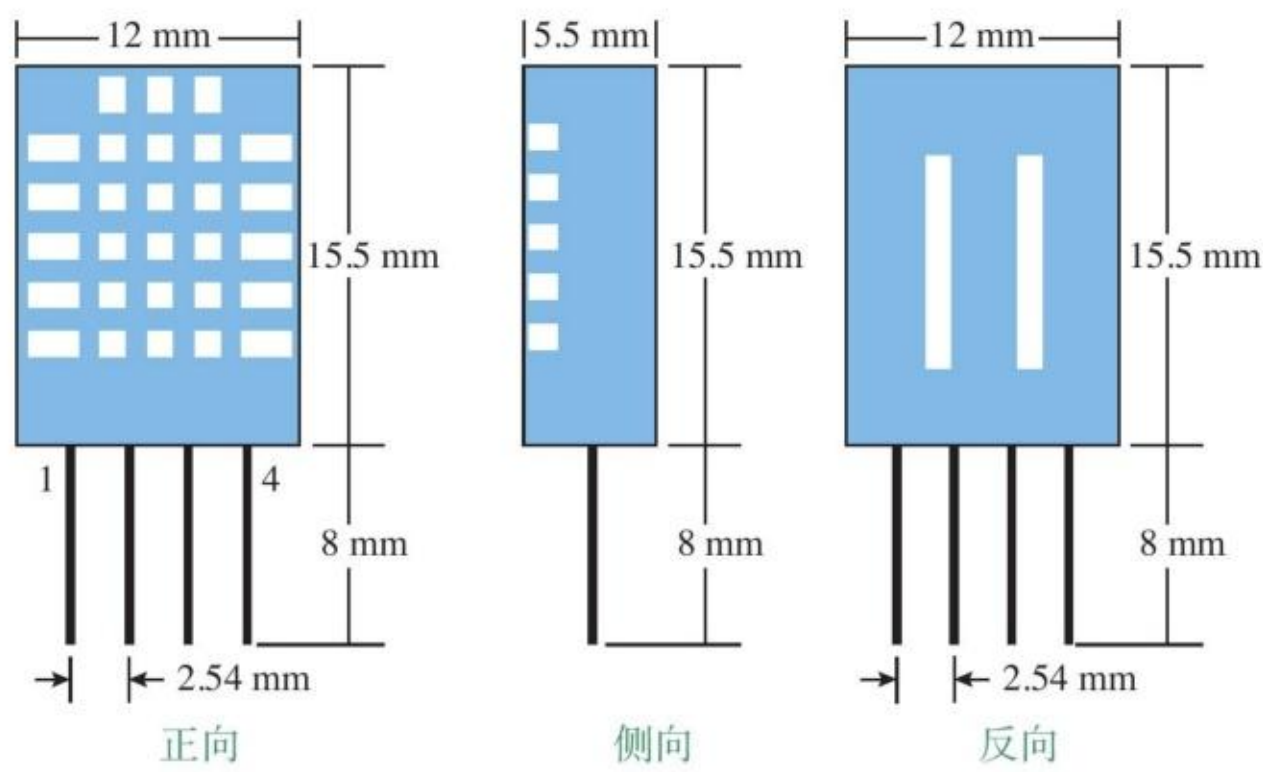


图4-16 DHT11 数字温湿度传感器尺寸图

三、原理图及印制电路板

简易温度报警器由三部分构成，分别为传感器部分、控制部分、输出显示部分。其原理图如图4-17所示。

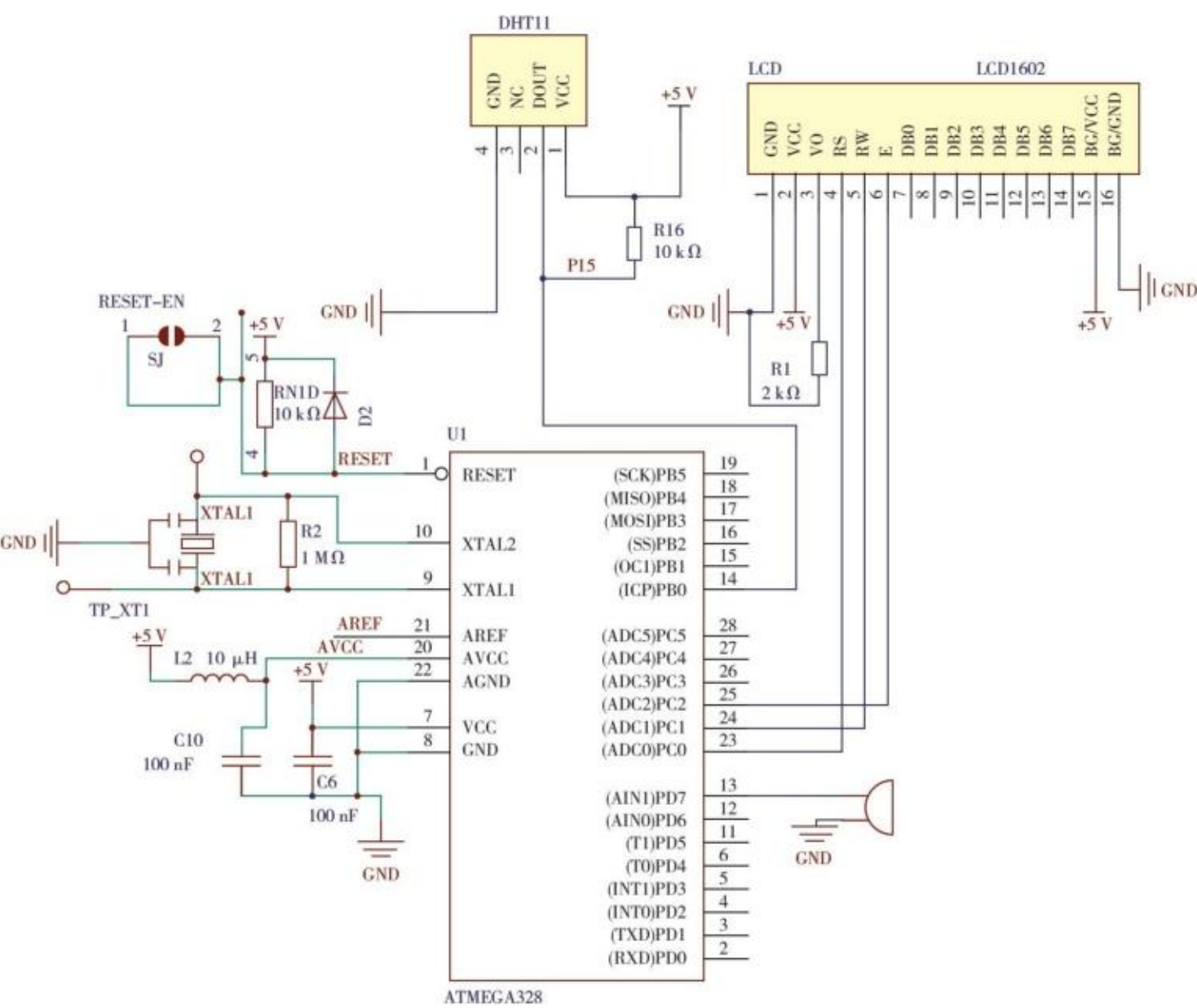


图4-17 简易温度报警器原理图

控制部分最小系统由 ATMEGA328 芯片、晶振、电阻器、电容器等元器件组成。对应的最小系统的原理图和印制电路板图分别如图4-18、图4-19所示。

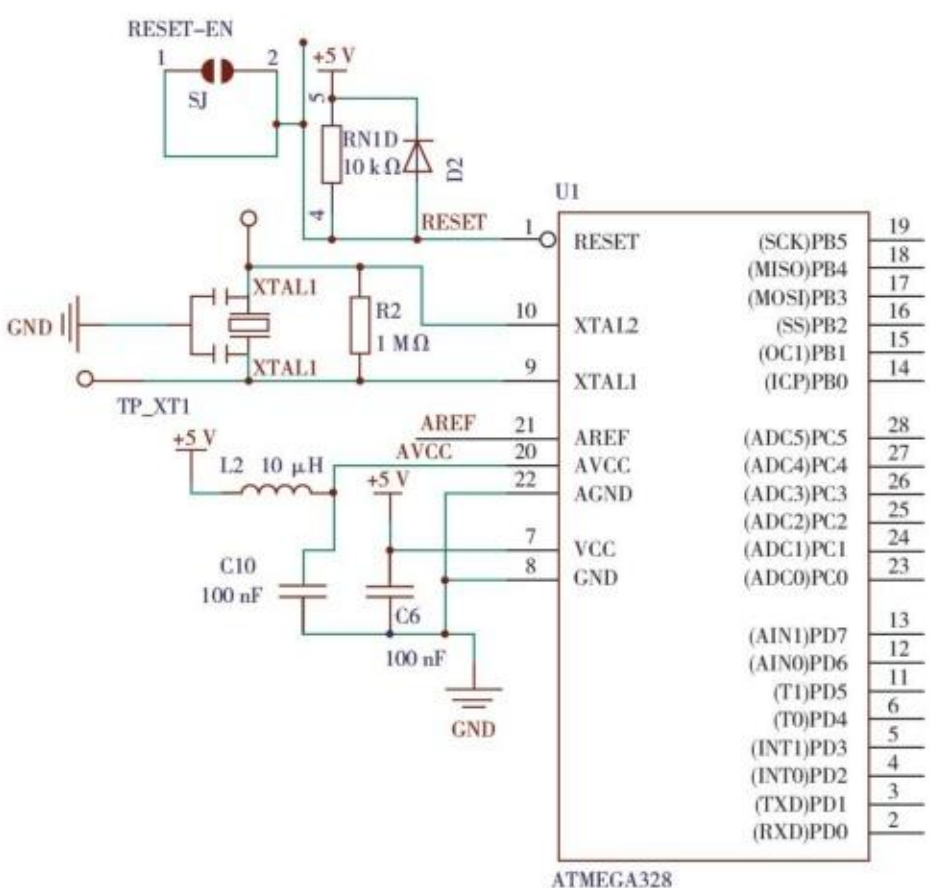


图4-18 控制部分最小系统原理图

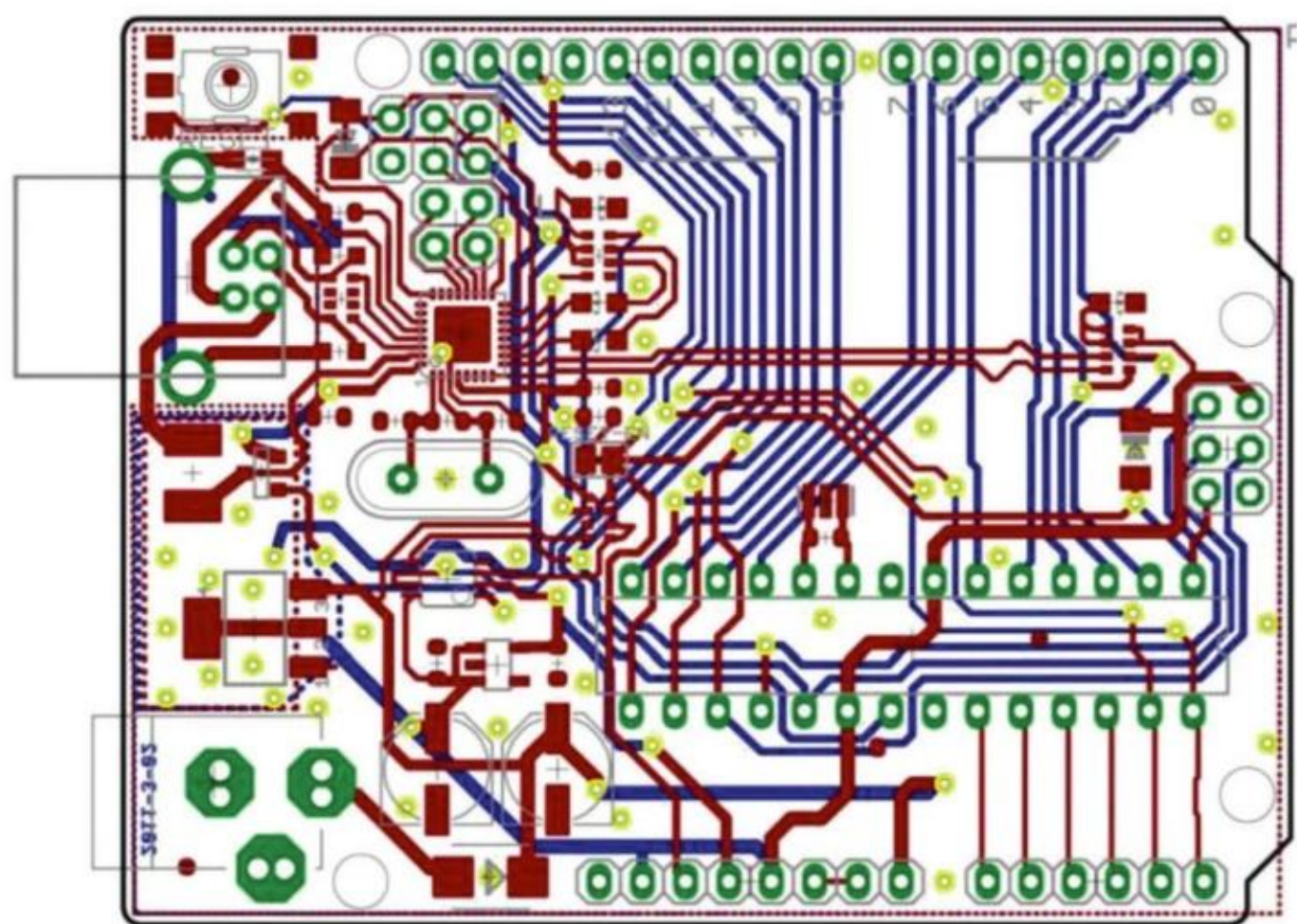


图4-19 控制部分最小系统印制电路板图

四、安装调试

简易温度报警器硬件连接安装示意图如图4-20所示。安装时需要注意以下几点：连好信号线；将LCD显示器、电阻器依次插在面包板上，注意正负极；温湿度传感器和LCD显示器正极分别连微控制器平台的5 V引脚，负极接GND端，温湿度传感器2号引脚连接微控制器平台D2引脚，LCD显示器3号引脚连接微控制器平台D5引脚；温湿度传感器1号引脚和2号引脚，需要连接电阻器，蜂鸣器同微控制器平台连接。

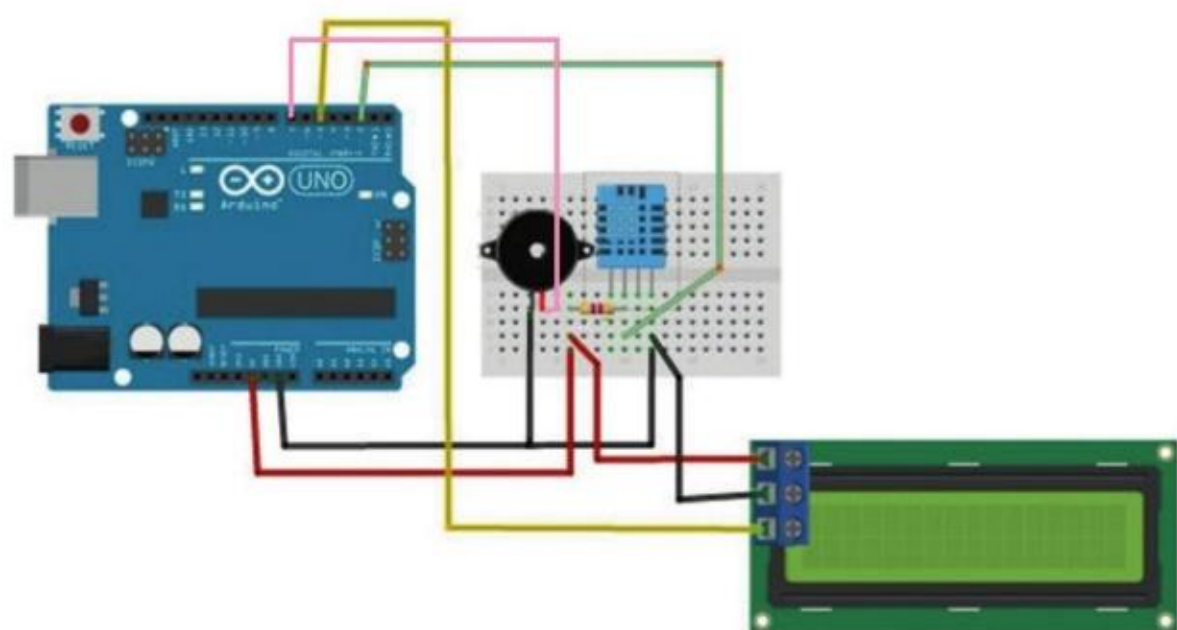


图4-20 连接安装示意图

安装调试后，观察输入量、控制量、被控量。将热源靠近温湿度传感器，观察显示器参数是否有变化；如果有变化，观察变化的幅度；当温度达到所设置的阈值范围内，观察蜂鸣器是否报警。

简易温度报警器采用查询方式来更新当前温度，其工作流程如图4-21所示。

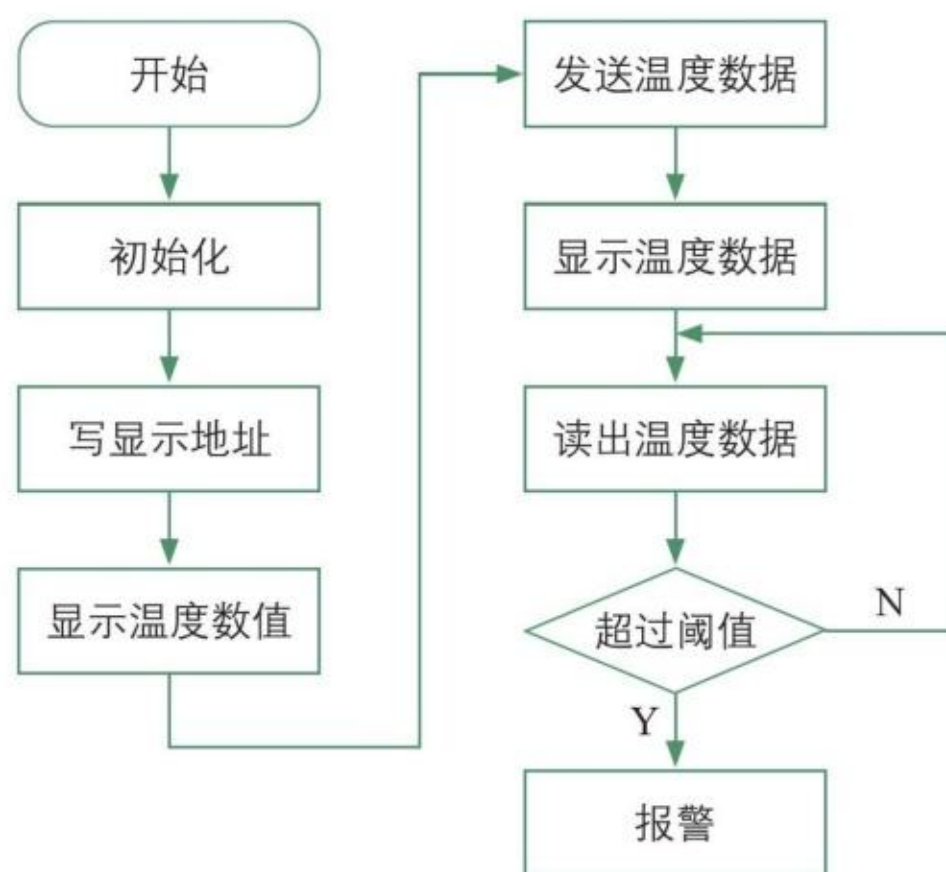


图4-21 工作流程图

? 思考 & 练习

本节选用DHT11设计了简易温度报警器，显示屏显示数字精确到个位。如何设计能够使简易温度报警器显示数字更加精确？如果想要远程得知温度信息，如何将温度信息传递至手机或者网络，以便随时随地知道当前的温度？

🔍 课外实践

优化简易温度报警器显示信息，思考如何将时间信息、环境信息与温度信息同时显示在显示屏上。请画出设计的流程图，并思考如何让控制系统更加稳定。

第3节 闭环电子控制系统设计



学习目标

1. 了解微控制器平台的功能。
2. 应用功能电路设计闭环电子控制系统。
3. 掌握简单闭环电子控制系统的安装、调试和改进的方法。

在本节中，我们将继续学习搭载电路所需要的实操技巧，设计闭环电子控制系统电路；根据所设计的闭环电子控制系统，搭建电路，实现功能；对比开环电子控制系统电路的特征，进一步了解闭环电子控制系统电路的特征特点。

3.1 开源微控制器平台介绍

微控制器平台，广泛应用于电子控制的各个领域，如工业中的PLC控制等。开源微控制器平台，其语言和开发环境都很简单，使用它可以快速实现开发者的想法。

微控制器可以搭配各种传感器使用：连接红外传感器、超声波传感器，可以对前方障碍物进行检测，典型的应用有寻线避障平台、超声波移动侦测平台等；连接人体热传感器，可以对前方接近的热源进行检测，典型的应用有人体热感应灯的自动开关等；连接烟雾传感器，可以进行环境烟雾的检测，典型的应用有烟雾报警器等；连接微伺服舵机，可以控制电机的转动。



思考 & 练习

搜集资料，了解开源微控制器平台的信息，了解不同微控制器平台的特征和优势。

3.2 闭环电子控制系统示例

本小节我们将通过迷你恒温大棚项目，学习闭环电子控制系统的设计方法。

一、预备知识

我们知道，电磁继电器的主要组成部分是含有铁芯的线圈和触点。当线圈中有电流通过使铁芯被磁化时，触点的状态将会发生改变。根据连接情况，连接的设备将处于开启或关闭状态。

在本项目中，电磁继电器可用于打开和关闭交流加热器，同时在运行于5 V的微控制器和运行在220 V的交流电设备之间起到隔离作用。如图4-22所示，它有公共（COM）、常闭（NC）和常开（NO）端子。利用电磁继电器，微控制器可以通过温度监控反馈来实现对加热器的控制。



图4-22 电磁继电器

如图4-23所示，我们可以通过晶体管电路驱动继电器。NPN型三极管BC548用作开关，通过给它的基极发出一个高电平信号使其导通并激励继电器线圈，完成从COM-NC到COM-NO的连接转变。此时，连接到COM-NO端子的负载通电。

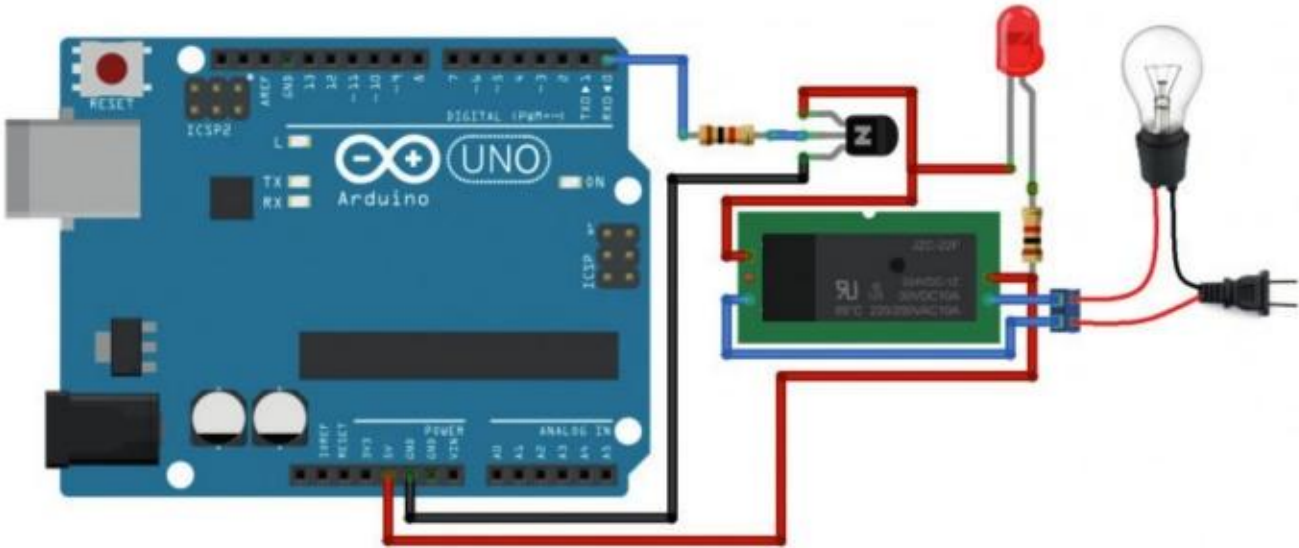


图4-23 继电器控制加热器

二、设计分析

在前面的学习中，我们已经搭建了开环的温度报警系统。本小节我们将结合前面学习的内容，设计闭环电子控制系统。

迷你恒温大棚的控制系统方框图如图4-24所示，这是一个闭环电子控制系统。

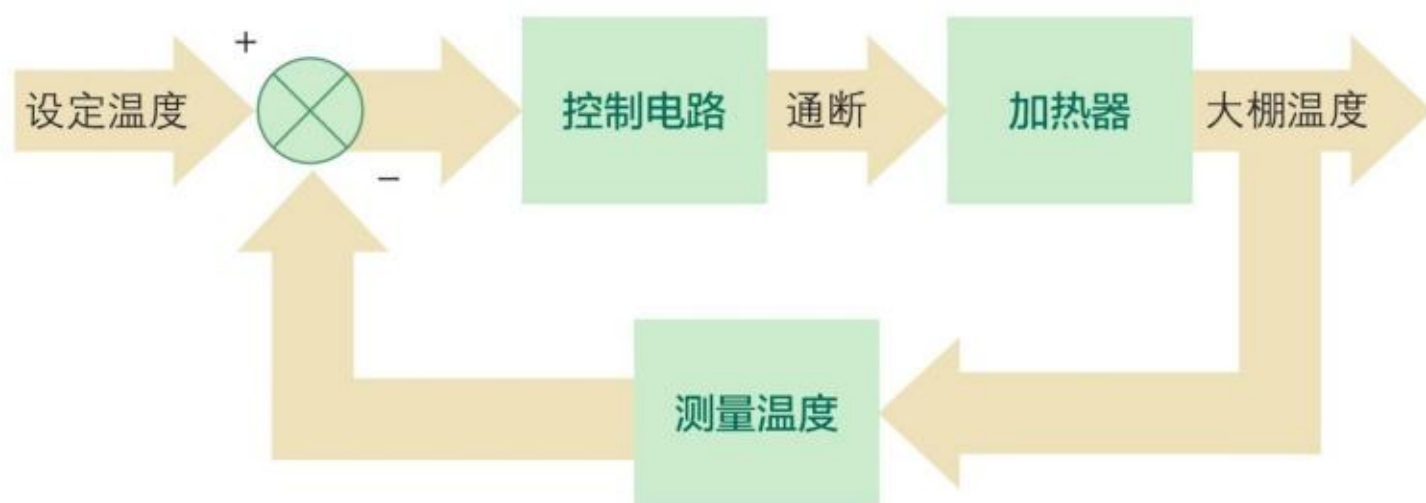


图4-24 迷你恒温大棚控制系统方框图

三、材料准备

表4-3 为迷你恒温大棚的材料表。

表4-3 迷你恒温大棚材料表

序号	名称	数量
1	电阻器	3
2	导线	7
3	DHT11 数字温湿度传感器	1
4	微控制器平台	1
5	计算机	1
6	LCD 显示器	1
7	蜂鸣器	1
8	继电器	1
9	加热器	1
10	三极管	1
11	LED 灯	1

四、安装调试

硬件连接安装示意图如图4-25所示。安装时需要注意以下几点：取出继电器模块，连好信号线；将继电器模块、电阻器依次连接，注意NPN型三极管的正负极连接；取出与颜色相同的导线接在继电器和电阻器的正极上。确定电路连接无误后，通电观察。

安装调试后，观察输入量、控制量、被控量。将热源靠近温度传感器，观察显示器参数是否有变化，如果有变化，观察变化的幅度。

当温度低于设定阈值的最低值时，继电器连通。此时加热器工作，加热使温度升高。当温度高于设定阈值的最高值时，蜂鸣器报警，继电器断电。此时加热器断电，加热停止，温度降低。

迷你恒温大棚采用查询式方式更新当前温度，其工作流程如图 4-26 所示。

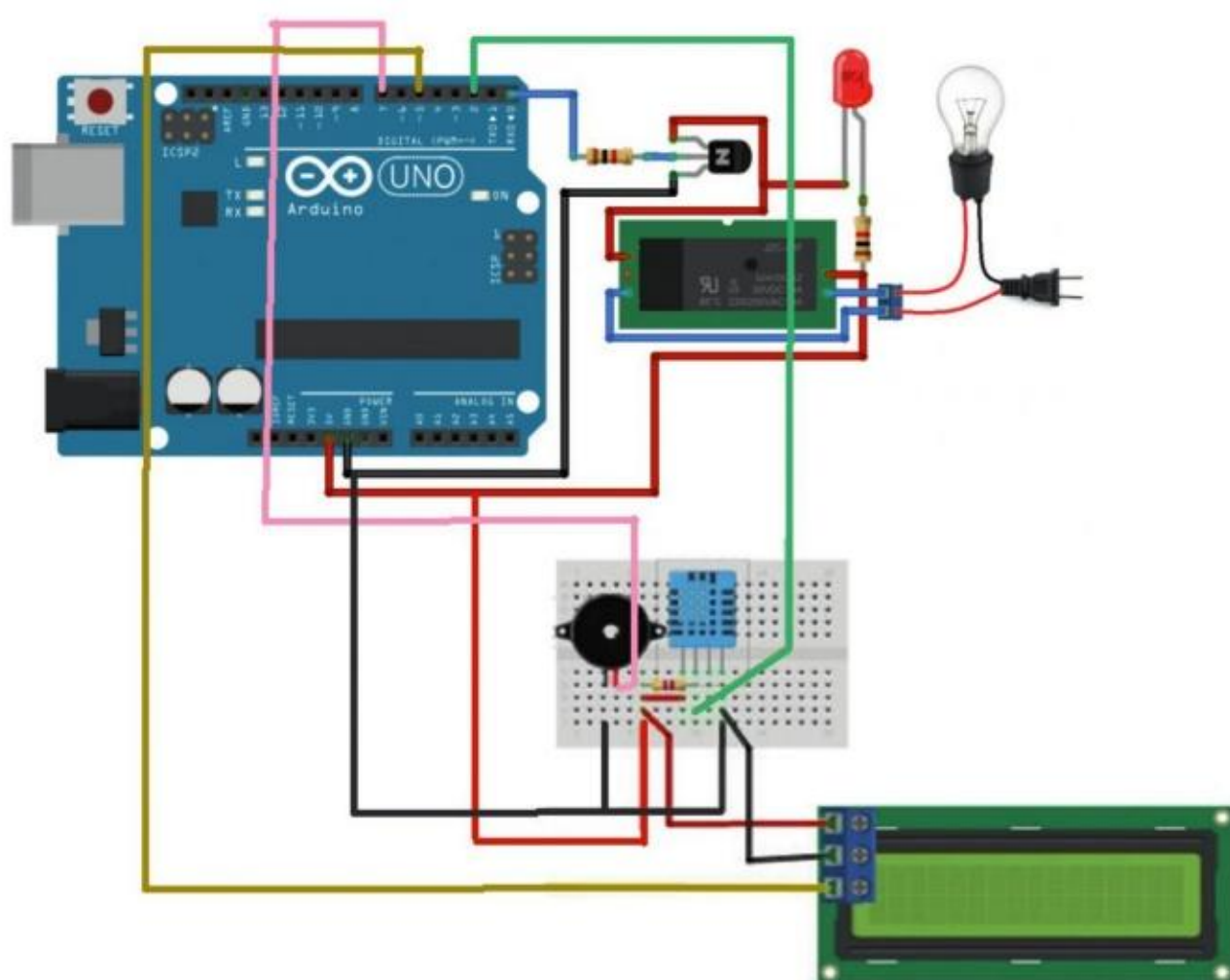


图 4-25 连接安装示意图

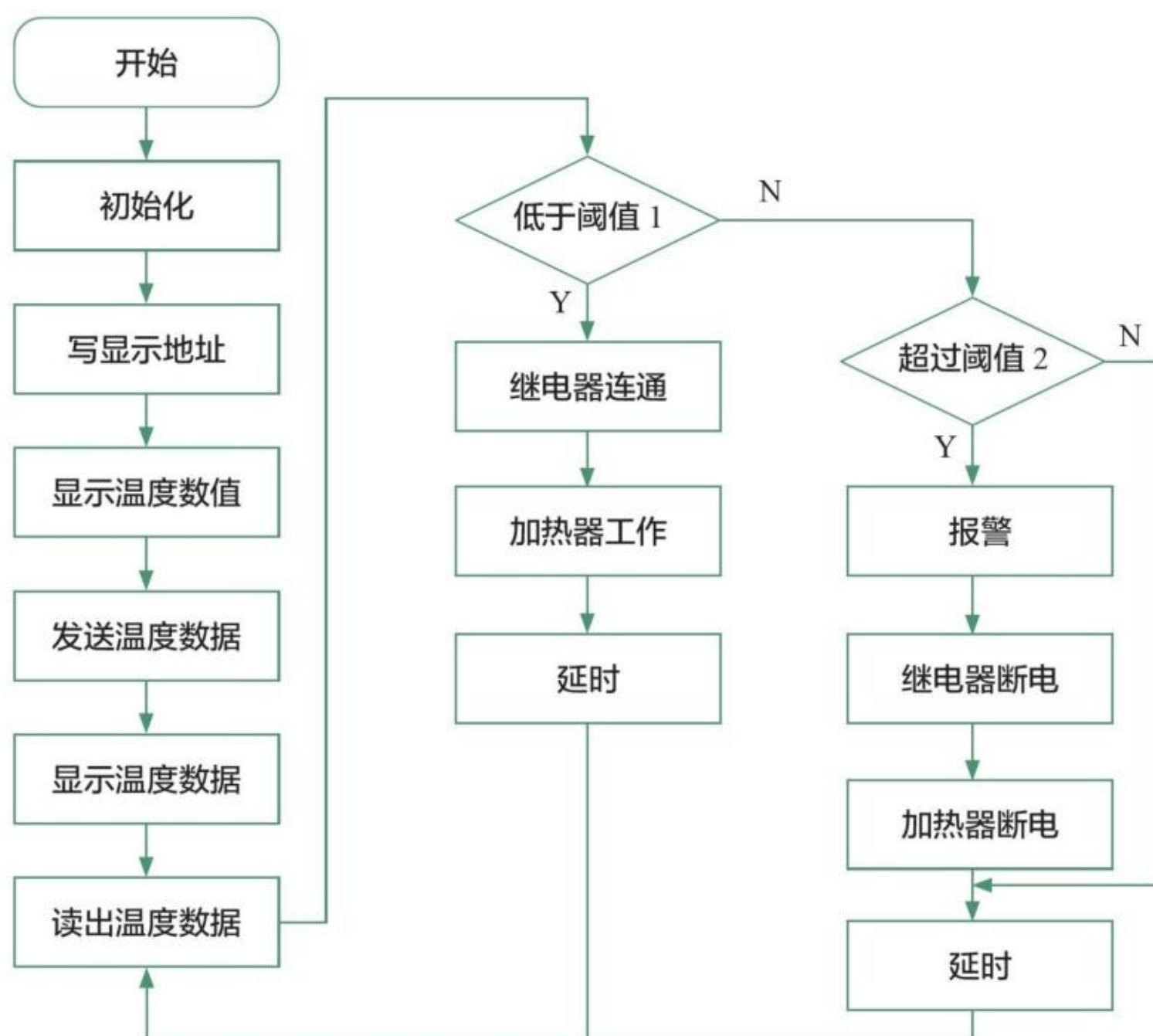


图 4-26 工作流程图

思考 & 练习

1. 同学们已经完成设计迷你恒温大棚，请思考如果是在 50 m^2 、 100 m^2 的环境中，如何将温度控制在恒定范围内。
2. 在本节所设计的闭环电子控制系统中，还有哪些因素会影响温度？请同学们列出可能的因素，并思考如何降低这些因素的影响从而保证系统的稳定。

课外实践

绿水青山就是金山银山。为了落实绿色、循环、低碳的发展理念，让我们的祖国天更蓝、山更绿、水更清，垃圾分类势在必行。同学们可以结合本节学习的内容，为社区设计恒温恒湿的环境，方便垃圾的分类管理，为城市环保贡献自己的力量。并从电子控制系统角度上，阐述你的设计理念。

本章小结

本章首先学习电子控制系统的基本组成部分，了解如何根据电子控制系统的特征运用方框图进行分析。

本章接着学习开环电子控制系统与闭环电子控制系统，了解两种系统中信号输入和输出的特征，并针对开环、闭环系统的不同特征，设计适用的电子控制系统。

本章最后结合本册学习的内容，带领同学们通过实例进行综合应用，分析原理图，设计电路，绘制印制电路板图，焊接和调试电路，完成开环、闭环电子控制系统的设计。

本章知识结构如图4-27所示。

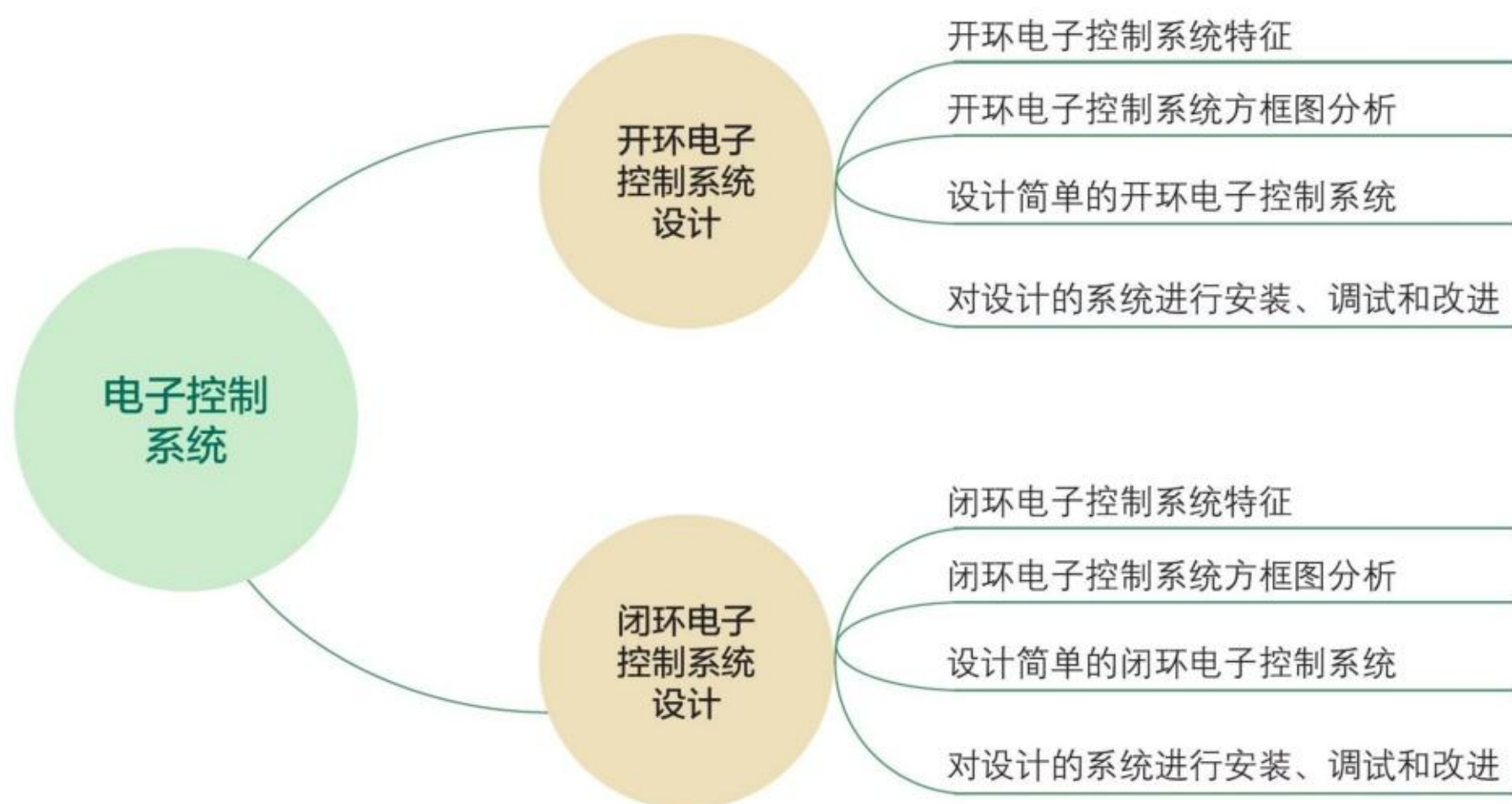


图4-27 本章知识结构

本章学习评价表

课程目标/ 实践项目	评价指标	评价方式		
		自评	互评	师评
电子控制系统	了解电子控制系统的基本原理			
	能进行电子控制系统方框图分析			
开环电子控制系统设计	了解开环电子控制系统特征			
	能应用功能电路设计简单的开环电子控制系统			
	能对所设计开环电子控制系统进行安装、调试和改进			
闭环电子控制系统设计	了解闭环电子控制系统特征			
	能应用功能电路设计简单的闭环电子控制系统			
	能对所设计闭环电子控制系统进行安装、调试和改进			

等级标准：A 优秀、B 良好、C 合格、D 待改进。

后 记

本册教科书根据教育部颁布的《普通高中通用技术课程标准（2017年版）》编写，2020年经国家教材委员会专家委员会审核通过。

编写过程中，上海市通用技术教学研究基地（上海高校“立德树人”人文社会科学重点研究基地）及基地所在单位华东师范大学等单位给予了大力支持。胡亚琴、郭皓明等人参与了本书的编写与讨论。

在此感谢所有为本册教科书编写提出修改意见，提供过帮助与支持的单位以及专家、学者、教师和社会各界朋友！

本册教科书投入使用后，我们根据各方意见作了修订，真诚希望广大师生和家长继续提出宝贵意见！

联系方式

电 话：010-58758997

电子邮箱：jcfk@pep.com.cn

编者



PUTONG GAOZHONG JIAOKESHU
TONGYONG JISHU



绿色印刷产品

ISBN 978-7-107-36698-7



9 787107 366987 >