



包含有源器件的网络统称为电子线路；由电气设备和元器件按一定方式联接，为电流流通提供路径的总体称为电子网络，简称网络、电路，如电阻、电容、电感、二极管、三极管和开关等构成的网络。电路的大小可以相差很大，小到硅片上纳米级的集成电路，大到覆盖全球的电力输电网。电子线路设计在满足技术要求的前提下，将各种电路和器件、软硬件加以综合，以实现系统所规定的功能和指标。电子线路设计虽有规律可循，但并非一成不变，与设计者的经验、兴趣有关。本章的目的是帮助初次从事电子线路设计的读者，对电子线路设计的一般方法和准则有所了解。

1.1 电子线路的组成

一般来说，将若干单元电路或功能模块组合成的规模较大的、能够完成特定功能的完整的电子装置称为电子线路。根据所处理信号的不同，电路可分为模拟电路和数字电路。电路按照不同划分方式，可以有很多不同的类型，如数字电路和模拟电路所在的总电路中，依照功能可划分为开关电路、处理电路、输入电路、输出电路等。电子线路有大有小，有非常简单的，也有异常复杂的。通常电子线路由如图 1-1 所示的几部分组成，各部分的功能描述如下。

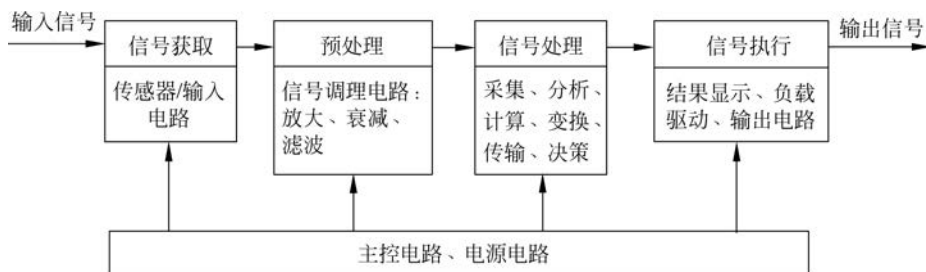


图 1-1 电子线路组成

信号获取：主要是通过传感器/输入电路,将外界输入信号即物理量变换为电信号,或实现电子线路与信号源间的耦合输入。

预处理：进行信号的放大、衰减、滤波等,也就是通常所说的“信号调理”电路。经预处理后的信号,在信号幅值、信噪比等方面更适合进行后续进一步的分析和处理。

信号处理：主要完成信号采集、分析、计算、变换、传输和决策等。

信号执行：主要包括信号处理结果的显示、负载的驱动以及输出电路等。

主控电路：主要完成对各单元电子线路的控制,使各单元模块协调、有序工作。

电源电路：这是每个电子线路中必不可少的部分。目前电源基本上采用标准化电路,有许多成品可供选择。

电子线路的分类方法很多,主要依据工作频率、流通的信号形式、集成度的高低、所含元器件性质等 5 种方法。

分类方法 1: 按照工作频率可分为低频电子线路、高频电子线路和微波电子线路。低频通常指频率低于 300kHz 的范围,例如语音、生物电、地震、机械振动等电信号均为该范围。此频率范围电信号的产生、放大、变换、处理都属于低频电子线路范畴。高频通常指频率在 300kHz~300MHz 的范围,广播、电视、短波通信、移动通信等无线电设备都工作在这个频率范围内。微波泛指频率高于 300MHz 的范围,如卫星电视、微波中继通信、雷达、导航等设备。工作频率不同,对有源器件电性能要求、电子线路工艺结构都不尽相同。

分类方法 2: 按照流通的信号形式,电子线路又可分为模拟电子线路和数字电子线路。模拟信号产生、放大、变换、处理和传输的电子线路统称为模拟电子线路。所有完成数字信号产生、放大、变换、处理和传输的电子线路统称为数字电子线路。模拟电子线路传送的信号直观形象,但电路的抗干扰性能差,不便与计算机直接配合。数字电子线路传送的信号是时间和幅值上均离散的信号。

分类方法 3: 根据集成度的高低分为分立电路和集成电路。随着微电子技术的发展,电子线路的集成电路已成为电子线路的方向。集成电路与分立电路相比,集成电路具有体积小、性能稳定、可靠性高、维修使用方便等优点。但是,由于频率响应和功率容量的限制,目前高频、大功率电子线路还是以分立件为主。

分类方法 4: 以电子线路中所包含元件的线性、非线性性质来分类分为线性电子线路和非线性电子线路。线性电路采用线性的代数方程、微分方程或差分方程描述。非线性电路采用非线性的代数方程、分方程、差分方程描述。

分类方法 5: 以电子线路中所包含元件参数的恒定、时变性质来分类分为恒定参数电子线路和时变电路。描述恒定参数电路的方程式中的各项系数是恒定不变的,描述参变电路的方程式中的系数是变化的。

1.2 电子线路的设计方法

电子线路设计时,首先要明确设计任务和要求,然后进行方案的比较、选择,再对方案中各部分进行单元电路的设计、参数计算和元器件的选择,再利用 EDA 技术对设计的单元电路进行仿真,最后将各单元电路进行整体连接,绘制出符合设计要求的完整电子线路图。

(1) 设计要求——明确设计任务和需求。设计者要对设计任务及工作条件进行深入且具体的分析,充分了解设计的性能、指标、内容及要求,明确应完成的设计任务及设计过程中必须注意及考虑解决的一些问题。

(2) 方案设计——方案比较与选择。在充分了解设计要求的基础上,实现任务分解,即把要完成的任务分配给若干单元电路,并画出能表示各单元功能的原理框图。设计任务的实现方案并不是唯一的,可设计多种方案供比较。方案选择的重要任务是基于掌握的知识、资料和经验,针对设计提出的任务、要求和条件完成系统的功能设计。对系统方案不断进行可行性和优缺点分析,最终确立电子线路系统方案,设计出完整的系统框图。

(3) 电路设计——单元电路设计、参数计算和器件选择。根据系统指标和功能框图,明确各单元电路的任务,进行单元电路的设计、参数计算和器件选择。①单元电路的设计。单元电路是电子线路的一部分,设计时仅考虑单元电路本身设计的合理性是不够的,须考虑相邻单元电路之间的配合,注意各部分的输入信号、输出信号和控制信号的关系。②参数计算。计算电路参数时应注意:元器件的工作电流、电压、频率和功耗等参数应能满足电路指标的要求;元器件的极限参数必须留有足够的裕量,一般应大于额定值的1.5倍;电阻器、电容的参数应选择计算值附近的标称值。③器件选择。注意电阻、电容的选择:电阻、电容的种类很多,不同的电路对电阻、电容漏电、容量或耐压要求不相同,选择性能和参数合适的电阻、电容元件,并注意精度、功耗、容量、频率和耐压范围是否满足要求;半导体分立元件的选择包括二极管、晶体三极管、场效应管、晶闸管等。

(4) 设计验证——电路功能的模拟仿真。在电子技术高速发展的今天,新电路、新器件不断涌现,电子产品的开发周期也越来越短。按传统的设计研发方法,已无法及时满足各种电路的设计和调试要求。运用EDA软件对设计的单元电路进行实物模拟和调试,以分析检查所设计电路是否满足技术指标要求,可通过改变电路中元器件的参数,使整个单元电路的性能达到最佳。最后将仿真通过的单元电路进行连接后,再一次对系统进行仿真,直至得到最佳方案。

(5) 实物设计——电路图的绘制及PCB的设计。电子线路的电路原理图和PCB板图是设计者提供的重要文档。①电路图的绘制应注意:布局合理、排列均匀、图面清晰、有利于对图的理解和阅读;注意信号流向;图形符号标准,图中应加适当的标注;连线应尽可能为直线,相互连通的交叉线,交叉处用圆点表示;运用设计检验ERC(电气法则检查)对设计的原理图进行检查,以防止各种物理/逻辑冲突。②PCB的设计应借助绘图软件,不仅可以使底图更整洁、标准,而且很好地解决了手工布线印制导线不能过细和较窄间隙不易布线等问题,同时也彻底解决了双面板和多层板布线的问题。实现了PCB板面和布线的优化,并通过在线式DRC(设计规则检查)自动指出违反设计规则的错误。

1.3 电子线路的总体设计

电子线路的总体设计即顶层设计,通常符合设计要求的系统方案不止一种,必须逐一分析对比各方案优缺点及可行性,经过充分比较,选择技术先进、合理可行、性价比高的最佳方案。电子线路设计结构最简洁、最明确的描述莫过于总体系统方框图,一般采取自顶而下的

设计模式。总体方框图将系统划分为若干子系统或功能模块,建立各功能模块的数学模型,进行分析计算。总体设计如图 1-2 所示。

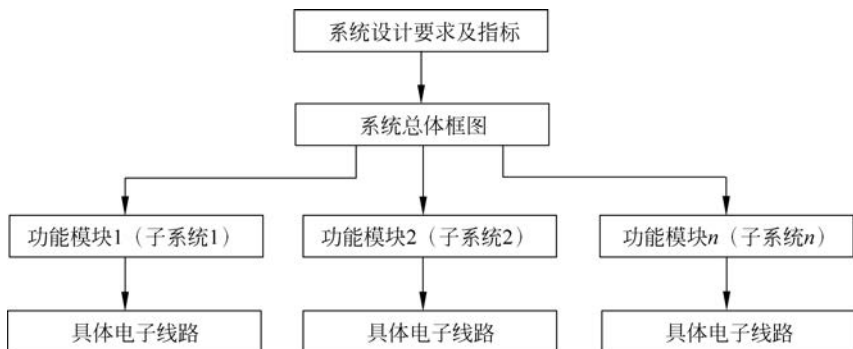


图 1-2 电子线路总体设计

1.4 电子线路的实现

系统方案确定后,绘制各功能模块的方框图,设计各功能模块电路。根据方案要求,明确对模块功能和技术指标的要求。此外,要特别注意各功能模块之间接口通信即输入、输出电路的连接和匹配,尽量避免电平转换之类的接口电路。

1. 技术路线和设计理念

适应当前三大技术的重点转移:分立元件转向集成电路、模拟技术转向数字技术、固定器件转向可编程器件。

2. 设计方法

必须充分利用各种 EDA 工具,采取先仿真后实验、先虚拟后硬件的方法。当前电子线路多是软硬件结合的系统。电子线路硬件设计软件化是当前设计的趋势之一。设计要求许可内,应充分利用软件解决问题,尽量减少硬件电路。

1.5 电子线路制作与调试

一个性能优良、可靠性高的电子线路,除了先进合理的设计之外,高质量的组装与调试也是非常关键的环节,这里简要地介绍电子线路的组装与调试方法。

1. 电子线路制作

1) 合理布局

根据原理图、系统性能要求、各元器件特殊要求、对周围电路影响等,合理布局。

(1) 合理布局输入端、输出端、电源及各可调元件位置。确保安全合理、调节、使用和测试方便。

(2) 输入与输出尽可能远离,避免产生干扰或寄生耦合,影响电子线路正常工作。

2) 合理布线

(1) 布线时,一般先连电源线和地线,然后再连其他线。采用不同颜色的连线加以区分,便于查线。

(2) 导线长度尽量短;强输入,弱电线分开,大、小号线分开,输入、输出线分开,交、直流线分开及数据、控制线分开,可以减少信号的相互干扰。

3) 电子线路焊接

要求焊接牢固、无虚焊,注意焊点的大小、形状和表面粗糙度等。焊接前,要确认是否需要焊件的表面净化,并做相应的处理。

2. 电子线路的调试

调试方法 1: 边安装边调试。按系统方框图上的功能模块进行安装调试,在完成功能模块调试的基础上逐步扩大安装和调试范围,最后完成整个系统调试。一般用于新设计电路,便于及时发现和解决问题。

调试方法 2: 整个电路安装完毕,实行一次性调试。方法适合于定型产品或需要配合才能运行的产品。

电子线路调试步骤如下:

(1) 通电前检查。电路安装完毕,检查电路各部分接线是否正确,检查电源、地线、信号线、元器件引脚间有无短路,器件有无接错,确认连接正确。

(2) 通电检查。确认电源电压是否符合要求,然后关断电源,将电源接入电子线路后再打开电源开关,观察各部分元器件有无异常现象,如果有异常,立即断电,故障排除后方可重新上电。

(3) 分模块调试。明确模块调试要求,调试顺序按信号流向进行,前一级调试过的输出信号作为后一级的输入,为整体联调做准备。

(4) 系统联调。电子线路联调时应观察各功能模块连接后,各级之间的信号关系,联调只需观察动态结果,检查性能参数,分析测量的数据和波形是否符合设计要求,对发现的故障和问题及时采取相应处理措施。

1.6 电子线路的电磁兼容

电子线路的抗干扰技术是电磁环境兼容性(Electro Magnetic Compatibility, EMC)的一个重要组成部分。研究电子线路的抗干扰技术是电子线路设计的重要内容。电子线路常见的干扰有电源干扰、电磁场干扰和通道干扰等。电磁兼容的解决措施一般使用在耦合通道的末端或中间,用来消除或者减弱干扰源的辐射或系统对噪声的灵敏度。究竟将抑制干扰的措施加在干扰源、受干扰电路还是耦合通道上,主要取决于工程技术上的限制和成本。

1. 在干扰源处采取措施

一个单独的干扰源可能会影响多台邻近设备。一般把抑制干扰设备加到干扰源或邻近干扰源位置,对于固定或可控噪声源而言有效,应为首选方法。按上述原则,首要条件是找

到干扰源,其次分析是否有抑制噪声的可能性和采取相应的措施。电流和电压发生突变的地方多为电子线路干扰源。电流变化大或大电流工作场合是产生电感性耦合噪声的根源;电压变化大或大电压工作场合是产生电容性耦合噪声的根源。公共阻抗耦合的噪声也是由于变化剧烈的电流在公共阻抗上所产生的压降造成的。实际中,有时电子线路必须工作在噪声环境中,而这些噪声源(如无线电台、静电放电、闪电等)不可控,应将抑制干扰措施用在接收端或耦合通道上。

2. 在耦合通道上采取措施

耦合噪声传播通道有导线传导、公共阻抗和电磁场。电磁场的耦合噪声按距离辐射源远近分为近场感应噪声和远场辐射噪声。近场感应噪声分为电容性和电感性两类。电容性耦合噪声主要由电力线相互间电容耦合;电感性耦合噪声主要由磁力线相互间电感耦合;远场辐射噪声以电磁波方式耦合。

(1) 抑制导线传导耦合噪声的措施:常用方法是串接 LC 滤波器、利用 RC 积分电路等。利用积分电路滤除高频噪声时,要使 RC 时间常数大于噪声周期,小于信号周期。

(2) 抑制公共阻抗耦合噪声的措施:一种方法是采取一点接地;另一种方法是尽可能降低公共阻抗。布线 and 设计 PCB 时,地线要尽可能做短做粗,必要时可用大面积的铜箔作为地线来降低其阻抗等。

(3) 抑制电容性耦合噪声的措施:最基本的方法是减小与噪声源的分布电容。最直接的做法是拉大两根导线的距离,使分布电容减小,以减弱耦合噪声。

(4) 抑制电感性耦合噪声的措施:采用电磁屏蔽。导线屏蔽也是一种常见的电磁屏蔽。运用时,要十分注意屏蔽体的接地方法。当频率低于屏蔽体截止频率时,屏蔽体要采用一端接地的方法;而在高频(高于 1MHz)时,屏蔽体要采用两端接地的方法。

3. 在传输通道上采取措施

在电子信号的长线传输过程中,由于发送端和接收端之间存在接地的电位差,因此会产生共模噪声干扰。为了保证长线传输的可靠性,常采用绝缘隔离的传输方式,如光电耦合等隔离措施。两个电路之间采用光电耦合隔离传输,可以有效地切断地环路电流的干扰,使两个电路的地电位完全隔离,这样,即使两个电路的地电位不同也不会产生共模噪声干扰。光电耦合器的主要优点是能抑制尖峰脉冲及各种噪声干扰,有很强的抗干扰能力。

思考与习题

- 1.1 电子线路组成由哪几部分组成?各部分功能是什么?
- 1.2 电子线路设计时有哪些过程?
- 1.3 电子线路调试的步骤是什么?
- 1.4 采用抑制干扰措施时,主要采取的措施有哪些?

常用电子元器件及电参数测量方法



电子元器件是构成电子线路的基础,因此,掌握常用各类元器件的性能、特点、用途,以及电参数测量方法,对设计、调试和维修电子线路非常重要。本章将对常用的电子元器件的类别、性能及选用原则进行介绍,以便设计电子线路时能够正确选用。

2.1 电阻、电感、电容元器件

1. 电阻

电阻用于控制电压、电流,具有降压、分压、限流、分流、隔离、匹配和信号幅度调节等作用。电阻通常分为固定电阻、可变电阻和排阻等;按用途分为普通电阻、高压电阻、高频无感电阻、敏感电阻、熔断电阻和精密电阻等;按材料分为线绕电阻和非线绕电阻。其中,线绕电阻又分为普通型、被釉型和陶瓷绝缘功率型;非线绕电阻又分为合成式和膜式。电阻性能比较和应用范围如表 2-1 和表 2-2 所示。

表 2-1 各类电阻的性能比较

性能品种	合成碳膜	合成碳实心	碳膜	金属氧化膜	金属膜	金属玻璃釉	块金属膜	电阻合金线
阻值范围	中~很高	中~高	中~高	低~中	低~高	中~很高	低~中	低~高
温度系数	尚可	尚可	中	良	优	良~优	极优	优~极优
非线性、噪声	尚可	尚可	良	良~优	优	中	极优	极优
高频、快速响应	良	尚可	优	优	极优	良	极优	差~尚可
功率比	低	中	中	中~高	中~高	高	中	中~高
脉冲负荷	良	优	良	优	中	良	良	良~优
储存稳定性	中	中	良	良	良~优	良~优	优	优
工作稳定性	中	良	良	良	优	良~优	极优	极优
耐潮性	中	中	良	良	良~优	良~优	良~优	良~优
可靠性		优	中	良~优	良~优	良~优	良~优	

表 2-2 各类电阻的应用范围

应用范围品种	合成碳膜	合成碳 实心	碳膜	金属 氧化膜	金属膜	金属 玻璃釉	块金属 膜	电阻 合金线
通用		✓	✓	✓				✓
高可靠		✓		✓	✓	✓	✓	
半精密			✓	✓	✓	✓		
精密					✓	✓	✓	✓
高精密							✓	✓
中功率				✓		✓		✓
大功率				✓				✓
高频、快速响应			✓	✓	✓		✓	
高频大功率			✓	✓				
高压、高阻	✓					✓		
小片式					✓	✓		
电阻网络	✓				✓	✓	✓	

可变电阻又称电位器，主要作用是调节电压和电流。电位器的种类很多，用途各不相同，分类方法也不相同。按阻体的材料划分为线绕和非线绕电位器两类。线绕电位器有通用线绕、大功率线绕和预调式线绕。非线绕电位器有实心 and 膜式两类。实心电位器又包含有机合成实心、无机合成实心 and 导电塑料电位器；膜式电位器包含碳膜和金属膜电位器等。电位器按调节方式分为旋转式、推拉式和直滑式电位器等；按结构特点分为单圈、多圈、单联、双联、带开关、锁紧型、非锁紧型和贴片式电位器等；按电阻值的变化规律分为直线式、指数式 and 对数式电位器；按用途分为普通、磁敏、光敏、电子 and 步进电位器等；按驱动方式分为手动调节 and 电动调节电位器。各类电位器的性能比较如表 2-3 所示。

表 2-3 各类电位器的性能比较

性能	品 种						
	线绕	块金属膜	合成实心	合成碳膜	金属膜	金属玻璃釉	导电塑料
阻值范围	4.7Ω～56kΩ	2Ω～5kΩ	100Ω～4.7MΩ	470Ω～4.7MΩ	100Ω～100kΩ	100Ω～100MΩ	50Ω～100MΩ
线性精度	≥±0.1%			≥±0.2%		≤±10%	≥±0.05%
额定功率	0.5～100W	0.5W	0.25～2W	0.25～2W		0.25～2W	0.5～2W
分辨率	中～良	极优	良	优	优	优	极优
动噪声	—	—	中	低～中	中	中	低
零位电阻	低	低	中	中	中	中	中
耐潮性	良	良	差	差	优	优	差
耐磨寿命	良	良	优良	良	良	优	良
负荷寿命	优良	优良	良	良	优	优良	良

2. 电容

电容广泛应用于各种高、低频电路和电源电路中，具有耦合、旁路、滤波、退耦、谐振、倍压、定时等作用。电容按结构及电容量是否可调分为固定电容 and 可变电容（包括微调电容）；按介质材料分为有机介质电容（包括漆膜电容、混合介质电容、纸介电容、有机薄膜介质电

容、纸膜复合介质电容等)、无机介质电容(包括陶瓷电容、云母电容、玻璃膜电容、玻璃釉电容等)、电解电容(包括铝电解电容、钽电解电容、铌电解电容、钛电解电容及合金电解电容等)和气体介质电容(包括空气电容、真空电容和充气电容等);按有无极性分为有极性电容和无极性电容;按封装外形分为圆柱形电容、圆片形电容、管形电容、叠片形电容、长方形电容、珠状电容、方块状电容器和异形电容等;按引出线分为轴向引线电容、径向引线电容、同向引线电容和贴片(无引线)电容等。

3. 电感

电感是用绝缘导线(如漆包线、纱包线等)绕制而成的电磁感应元件,主要作用是对交流信号进行隔离、滤波或与电容、电阻一起构成谐振电路或频率补偿,也是电路中常用的元器件之一。电感又称电感线圈,是一种储能元件,它具有通直流、阻交流的特性。电感的种类很多,按结构分为空心、磁心和铁心电感;按工作参数分为固定、可变、微调电感器;按功能分为振荡、耦合、扼流、校正和偏转电感器等。一般低频电感器大多采用铁心(铁氧体心)或磁心,而中、高频电感器则采用空心或高频磁心。

2.2 变压器、继电器

1. 变压器

变压器是利用电感器的电磁感应原理制成的元件。利用初级和次级绕组之间的匝比不同来改变电流比和电压比,实现电能或信号的传输与分配。变压器在电路中的作用主要有交流电压变换(升压或降压)、信号耦合、阻抗变换、隔离等。变压器的种类很多,按用途分类,可分为电源变压器、隔离变压器、耦合变压器、自耦变压器、输入/输出变压器、脉冲变压器等;按工作频率分类,可分为低频变压器、中频变压器和高频变压器等。图 2-1 所示为变压器分类。

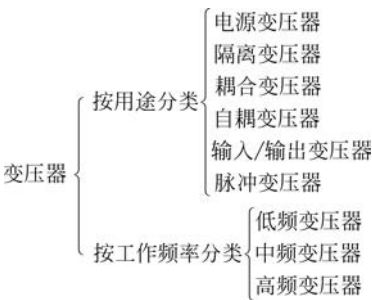


图 2-1 变压器分类

2. 继电器

继电器是一种控制器件,它实际上是一种可用低电压、小电流对高电压、大电流进行控制的电动开关,在电路中可用来实现自动操作、自动调节、自动安全保护等。继电器的种类很多,常用的继电器主要有电磁式继电器、干簧式继电器、步进式继电器和固定式继电器等。

2.3 半导体器件

随着电子技术飞速发展,集成电路应用日趋广泛,很多场合已取代了分立器件,但某些领域分立器件仍在发展,电子线路中仍不可避免地应用。

1. 晶体二极管

晶体二极管有多种类型,按材料分类,可分为锗(Ge)二极管、硅(Si)二极管、砷化镓(GaAs)二极管、磷化镓(GaP)二极管等;按结构分类,可分为点接触型二极管、面接触型二极管;按用途和功能分类,可分为普通型二极管、精密二极管、整流二极管、检波二极管、开关二极管、阻尼二极管、稳压二极管、发光二极管、激光二极管、变容二极管、隧道二极管、双向触发二极管、双向击穿二极管、恒流二极管等;按工作频率分类,可分为高频二极管和低频二极管;按电流容量分类,可分为大功率二极管(电流在 5A 以上)、中功率二极管(电流为 1~5A)、小功率二极管(电流在 1A 以下)。

2. 晶体三极管

晶体三极管种类很多,按半导体材料和极性分类,可分为硅 NPN 管、硅 PNP 管、锗 NPN 管、锗 PNP 管;按结构及制造工艺分类,可分为扩收型管、合金型管和平面型管;按功率分类,可分为小功率管、中功率管和大功率管;按工作频率分类,可分为低频管、高频管和超频管;按功能和用途分类,可分为放大管、开关管、低噪声管、高反压管、微波管等。晶体管的种类很多,电子线路设计中较为常用的晶体管主要有:①中、低频大功率、小功率晶体管;②高频小功率、大功率晶体管;③开关晶体管,广泛应用于各种脉冲电路、开关电路及功率输出电路,分为小功率开关晶体管和高压大功率开关晶体管;④互补对管,为了提高功率放大器的输出功率和效率、减小非线性失真,功率放大器一般采用互补推挽输出电路,即由两只互补晶体管分别完成正弦输入信号正、负半周信号的放大;⑤达林顿管,也称复合管,它具有较大的电流放大系数和较高的输入电阻,按功率分为普通达林顿管和大功率达林顿管。图 2-2 所示为晶体三极管分类。

3. 场效应管

场效应管(FET)是一种电压控制电流型半导体器件,它具有输入阻抗高、稳定性好、抗辐射能力强、功耗低以及便于集成等优点。场效应管的分类如图 2-3 所示。

4. 晶闸管

晶闸管俗称可控硅,是一种“以小控大”的功率开关型半导体器件。它具有硅整流器件的特性,能在高电压、大电流条件下工作,其工作过程可以控制,被广泛应用于调光、调速、压控、温控、湿控、逆变及变频等电子电路中。晶闸管的种类很多,通常按电流容量、通断及控制方式,以及关断速度等分类。晶闸管的分类如图 2-4 所示。

1) 普通晶闸管

普通晶闸管是一种 PNP 四层三端半导体器件,三个引出端分别为阳极 A、阴极 K 和门极 G。普通晶闸管的阳-阴极之间具有单向导电性,其内部可以等效为由一只 PNP 管和一只 NPN 管组成的组合管。