

第1章 基本元器件

电子元器件是组成电子产品的基础部分，常用的电子元器件有电阻、电容、电感、二极管、晶体管和运算放大器等。了解常用电子元器件的参数，并能够正确选型是学习和掌握电子技术的基本要求。本章将学习常用电子元器件的选型参数和用途，完成本章学习后，读者将能够掌握它们的用途、选型和在电路设计中的应用。

1.1 电 阻

1.1.1 电阻选型参数

电阻在选型过程中要根据电阻的参数选择，必须考虑的参数有阻值、封装和精度，有时还需考虑品牌、价格、销量和库存等因素。

1. 阻值

电阻上所标示的阻值为标称阻值。

2. 封装

选择合适的封装需要考虑电路板空间。例如，手机电路板的空间有限，工作电压低，就可以选用 0402 的封装。在空间充足的情况下，优先选择 0603 和 0805 封装。封装大的元器件会比较便宜，封装小的元器件加工精度高，有可能价格会高一些。另外，封装小的元器件对电路板贴装的要求高，比如要考虑电路板贴装机器的精度，且小封装元器件也不便于电路板维修和手工焊接。

电阻的封装大小和功率有关，功率越大，电阻的体积越大。额定功率是指在某个温度下最大允许使用的功率，通常指环境温度为 70℃时的功率。当电流通过电阻的时候，电阻因消耗功率而发热，电阻所能承受的发热是有限度的，如果电阻上所加的电功率大于所能承受的最大电功率，电阻就会烧坏。

表 1-1 列举了常用电阻封装与功率、电压的关系。最高工作电压是指允许加载在电阻两端的最高电压。

表 1-1 电阻封装与功率、电压关系

封 装	功率/W	最高工作电压/V
0402	1/16	50
0603	1/10	50
0805	1/8	150

3. 精度

一个电阻的实际阻值不可能与标称阻值绝对相等，两者之间会存在一定的偏差，阻值偏差代表电阻的精度。阻值偏差越小，精度越高，稳定性也越好，但生产成本相对较高，价格也贵。通常，普通电阻的允许偏差为±5%、±10%、±20%，高精度电阻的允许偏差为±1%、±0.5%、±0.001%。

在电路设计中，不要盲目追求精度，要根据实际情况选择。常规使用中优先选择精度为 $\pm 1\%$ 的电阻，除非有特殊需求。例如，在本书第 5 章体温测量电路中起参考作用的 $14.7\text{k}\Omega \pm 0.1\%$ 贴片电阻，就要使用精度值为 $\pm 0.1\%$ 的高精度电阻，而且精度越高，参考值越精确。

除了以上三点，有时候还需要根据实际应用考虑电阻的噪声、温漂、工作温度范围和材质类别等参数。除技术参数外，还需考虑品牌、供货商、成本等因素。电阻的品牌可选择厚声、风华和国巨；另外，货源需保证正规、稳定和充足；在性能参数合适的情况下，选择性价比高的元器件。

1.1.2 电阻的用途

1. 上拉、下拉电阻

定义：上拉就是将不确定的信号通过一个电阻固定在高电平，下拉就是将不确定的信号通过一个电阻固定在低电平，电阻同时起限流作用。上拉是对元器件输入电流，下拉是输出电流。

作用：

(1) 一般作为单键触发使用，如果芯片本身没有内接电阻，为了使单键维持在不被触发的状态或触发后回到原状态，必须在芯片外部接一个电阻，即保持芯片引脚高电平（或低电平）输入，这样单击按键，就会给引脚一个低电平（或高电平）触发。

(2) 数字电路有三种状态（高电平、低电平和高阻状态），有些应用场合不希望出现高阻状态，可以通过上拉电阻或下拉电阻的方式使其处于稳定状态。

(3) 接上拉或下拉电阻可以防止引脚悬空，使引脚有确定的电平状态。上拉、下拉电阻可以提高总线的抗电磁干扰能力，因为引脚悬空比较容易受到外界的电磁干扰。在 CMOS 芯片上，为了防止静电造成损坏，不使用的引脚不能悬空，一般接上拉电阻，降低输入阻抗，提供泄荷通路。

(4) 通过上拉或下拉来增大或减小驱动电流。当总线驱动能力不足时，上拉电阻可以为其提供电流；下拉电阻是用来吸收电流的，也就是通常所说的灌电流，减弱外部电流对芯片产生的干扰。

(5) 上拉电阻常用在 TTL-CMOS 匹配中，可以改变电平的电位。当 TTL 电路驱动 CMOS 电路时，如果 TTL 电路输出的高电平低于 CMOS 电路的最低高电平（一般为 3.5V ），这时就需要在 TTL 的输出端接上拉电阻，以提高输出高电平值。注：此时上拉电阻连接的电压值应不低于 CMOS 电路的最低高电压，同时又要考虑 TTL 电路电流（如某端口最大输入或输出电流）的影响。

(6) 为 OC 门提供电流，OC 门电路必须加上拉电阻才能使用。

(7) 长线传输中电阻不匹配容易引起反射波干扰，加上、下拉电阻使电阻匹配，可以有效地抑制反射波干扰。

2. 分压电阻

用电器上通常都有额定的电压值，如果电源电压比用电器的额定电压高，则会损坏用电器。在这种情况下，可以给用电器串联一个合适阻值的电阻，让它分担一部分电压。

3. 分流电阻

当电路的干路上需同时接入几个额定电流不同的用电器时，可以在额定电流较小的用电器两端并联接入一个电阻，这个电阻的作用是分流。

4. 限流电阻

通过用电器的电流应不超过额定值或实际工作需要的规定值，可以将用电器与一个可变电阻串联，以保证用电器的正常工作。当改变可变电阻阻值大小时，电流的大小也随之改变。这种可以限制电流大小的电阻称为限流电阻。

5. 阻抗匹配

在信号传输过程中，为了得到最大功率输出，会在线路中加入电阻改变阻抗，使得负载阻抗与激励源内部阻抗相互适配。在这种情况下，电阻起到的是阻抗匹配作用。

6. 偏置作用

偏置电阻可以使晶体三极管有一个基本的工作电流，并工作在线性放大区，以避免放大信号失真。

7. 滤波

电阻一般与电容组成 RC 滤波电路，可分为低通、高通和带通滤波电路。

8. 将电能转化为内能

电流通过电阻时，会把电能转化为内能。把电能转化为内能的用电器称为电热器，如电烙铁、电炉、电饭煲、取暖器等。

9. 0Ω 电阻

电路设计中常见到 0Ω 电阻（即为导线），为何要专门设计呢？其实 0Ω 电阻在电路中的作用很大，主要表现为以下几点：

- （1）在电路中没有任何功能，只是在电路板上为了调试方便或兼容设计而使用。
- （2）可以用作跳线，如果某段线路不使用，直接不焊接该电阻即可将该段线路隔离（不影响电路板外观）。
- （3）匹配电路参数不确定的时候，以 0Ω 代替，实际调试的时候，确定参数后再以具体数值的元器件代替。
- （4）测量某部分电路的耗电流时，可以去掉 0Ω 电阻，接上电流表，这样方便测量耗电流。
- （5）在高频信号下充当电感或电容。用作电感，主要是解决 EMC 问题，如地与地、电源与芯片引脚之间。
- （6）单点接地（指保护接地、工作接地、直流接地在设备上相互分开，各自成为独立系统）。
- （7）跨接时用于电流回路。当分割地平面后，造成信号最短回流路径断裂，此时，信号回路不得不绕道，形成很大的环路面积，电场和磁场的影响就变强了，容易干扰或被干扰。在分割区上跨接 0Ω 电阻，可以提供较短的回流路径，减小干扰。
- （8）不同封装 0Ω 电阻允许通过的电流不同，通常 0603 封装可通过 1A 电流，0805 封装可通过 2A 电流，所以不同电流会选用不同封装的 0Ω 电阻。

1.2 电 容

1.2.1 电容选型参数

电容的选型参数与电阻类似，除此之外，电容选型还需考虑耐压值和介质材料。

1. 容值

电容上所标示的容值为标称容值。

2. 封装

电容封装优先选择 0603 封装和 0805 封装，若是铝电解电容或钽电容等其他电容，要根据实际情况选择。

3. 精度

精度与电容的介质材料及容值大小有关，容值越小，精度越高。电容精度常用的是 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 和 $\pm 20\%$ 。

4. 耐压值

额定电压也称为电容的耐压值，是指电容在规定的温度范围内，能够连续正常工作时所能承受的最高电压。在实际应用中，电容的工作电压应低于电容上标注的额定电压值，否则会造成电容因过压而击穿损坏。例如，3.3V 和 5V 工作电压系统电容取 10V 额定电压、12V 工作电压系统电容取 25V 额定电压、24V 工作电压系统电容取 50V 额定电压、48V 工作电压系统电容取 100V 额定电压。在实际电路中，可以用高额定电压替代低额定电压，如电路中需要一个 10V 的 $1\mu\text{F}$ 电容，可以用 16V 的 $1\mu\text{F}$ 电容替代。

5. 介质材料

介质材料按容量的温度稳定性可以分为两类：I 类陶瓷电容器和 II 类陶瓷电容器。NPO 属于 I 类陶瓷电容器，而其他的 X7R、Y5V 等都属于 II 类陶瓷电容器。NPO、X7R 和 Y5V 等类型电容的主要区别是它们的填充介质不同。在相同体积下，由于填充介质不同，容量就不同，介质损耗、容量稳定性等也不同。

NPO 型电容的填充介质是铱、钯和一些其他稀有氧化物。NPO 型电容是电容量和介质损耗最稳定的电容之一。

X7R 的稳定性比 NPO 差，但容量比 NPO 大，其主要特点是在相同体积下，容量可以做得比较大，容量精度在 10% 左右。X7R 型电容主要应用于要求不高的工业应用。

Y5V 型电容的稳定性较差，容量偏差在 20% 左右，对温度变化较敏感，适用于温度变化不大的电路中。

除了以上几点，电容的品牌选择推荐村田、风华、国巨和三星。在电路设计中还应根据实际需求，考虑电容寿命、极性、电容类型、交流阻抗（ESR）和交流感抗（ESL）等其他参数。

1.2.2 电容的用途

在电路中，电容用来通过交流，阻隔直流，也用来存储和释放电荷以充当滤波器，平滑输出信号。小容量的电容，通常在高频电路中使用，如收音机、发射机和振荡器；大容

量的电容，往往用作滤波和存储电荷。

电容极板间建立电压，积蓄电能，这个过程称为充电，充好电的电容两端有一定的电压。电容存储的电荷向电路释放的过程，称为放电。电路中，只有在电容充电过程中才有直流电流流过，充电结束后，电容是不能通过直流电的，起到“隔直流”的作用。电容在电路中常被用于耦合、旁路、滤波等功能，都是利用它“通交流，隔直流”的特性。

下面介绍电容的几种常见的作用。

1. 滤波

滤波是电容非常重要的一个功能，几乎所有的电源电路中都会用到。电容把电压的变化转化为电流的变化，频率越高，峰值电流就越大，从而缓冲了电压。滤波实质上就是充电、放电的过程。理论上电容越大，阻抗越小，通过的频率也越高。但实际上超过 $1\mu\text{F}$ 的电容大多为电解电容，有很大的电感成分，所以频率提高后反而阻抗会增大。在防止高频干扰的电源滤波电路中，常设计一个大电容并联一个小电容，这样就有了很好的高频通过性能。

2. 旁路

旁路电容一般接在信号端引脚与地引脚之间，主要功能是产生一个交流分路，从而消除那些进入易感区的不需要的能量。旁路电容一般作为高频旁路元器件来减小对电源模块的瞬态电流需求。通常铝电解电容和钽电容比较适合用作旁路电容，其电容值取决于电路板上的瞬态电流需求，一般在 $10\sim 470\mu\text{F}$ 范围内。如果电路板上有很多集成电路、高速开关电路和具有长引线的电源，则应选择大容量的电容。旁路电容是可以提供能量的储能元器件，它能使稳压器的输出均匀化，降低负载需求。就像小型可充电电池那样，旁路电容能够被充电，也能向元器件放电。

为尽量减小阻抗，电路板元器件布局时，旁路电容要尽量靠近负载元器件的供电电源引脚和地引脚。这样能很好地防止输入电流过大而导致地电位抬高的现象，也可以减小噪声。

3. 去耦

去耦电容是根据电容使用的实际效果来命名的，一般接在电源线和地线之间，其作用主要有两方面：滤波和蓄能。

(1) 当电源引进电路时，电源电压不是恒定的，而是处在一个相对稳定的状态，其中带有很多噪声，如果这些噪声进入电路中，就会对电路造成影响，特别是对电压敏感的元器件，这些元器件对电路电压的稳定性要求更高，还有作为参考电压的电源，噪声会影响其精确性。解决这个问题可以加去耦电容，从而保证电路的线性关系。简单理解就是电压高时，去耦电容充电，电压低时，去耦电容放电，使电压保持在一个平衡稳定的状态。

(2) 有源器件在开、关时会产生高频开关噪声，且沿着电源线传播，此时电容会提供一个局部的直流电源给有源器件，以减少开关噪声在电源线上的传播，并将噪声接引到地。

(3) 空间中存在着非常多的电磁波干扰芯片工作的稳定性，芯片周围的去耦电容可以有效地滤除这些干扰。另外，在高频电路中，导线产生的电感效应对电流的阻碍作用非常大，会导致电流不足，当芯片需要足够电流驱动时，就不能及时供给。这时，去耦电容释放储存的能量及时补给，可以保证芯片的正常工作。

在电路中，去耦电容和旁路电容都起到抗干扰的作用，电容所处位置不同，称呼也不同，本质区别是旁路是把输入信号中的干扰作为滤除对象，去耦是把输出信号中的干扰作为滤除对象，防止干扰信号返回电源。

4. 储能

储能型电容通过整流器收集电荷，并将存储的能量通过变换器引线传送至电源的输出端。

1.3 电 感

1.3.1 电感选型参数

电感的重要参数有电感值、精度、额定电流和自谐振频率。在电路中电感的选型要根据参数选择：工作电流比较大的电路中，主要关心电感的额定电流，因为选择的电感额定电流小了会造成电感因过电流而损坏；振荡器电路中的电感主要关心电感精度，因为电感值的偏差将影响振荡器的振荡频率。

1. 电感值

电感值的大小与主线圈的圈数（匝数）、绕制方式、有无磁芯及磁芯的材料等有关。通常，线圈圈数越多、绕制的线圈越密集，电感值就越大。有磁芯的线圈比无磁芯的线圈电感值大；磁芯磁导率越大的线圈，电感值也越大。

2. 精度

精度（又称允许偏差）是指电感上标称的电感值与实际电感值的误差。用于振荡或滤波电路中的电感对精度要求较高，允许偏差为 $\pm 0.2\% \sim \pm 0.5\%$ ；用于耦合、高频阻流等线圈的精度要求不高，允许偏差为 $\pm 10\% \sim 15\%$ 。

3. 额定电流

额定电流是指电感在正常工作时允许通过的最大电流值。若工作电流超过额定电流，则电感会因发热而使性能参数发生改变，甚至还会因过流而烧毁。在电源电路中的滤波电感因为工作电流比较大，加上电源电路的故障发生率比较高，所以滤波电感容易烧坏。

4. 自谐振频率

当应用频率大于电感的自谐振频率时，电感感抗开始减小，电感的应用效果不佳，因此，应用频率应小于电感的自谐振频率。

电感品牌可选择村田、TDK 和 SUMIDA。除以上参数外，电感的品质因数 Q 越大越好，线圈的直流阻抗（DCR）越小越好，交流阻抗（ESR）越小越好。

1.3.2 电感的用途

电感在电路中的主要作用是通直流，隔交流，起到滤波、振荡、延迟、陷波等作用。在电路中，电感线圈对交流有限流作用，它与电阻或电容能组成高通或低通滤波器、移相电路及谐振电路等。

1. 滤波

在直流电路中，当有电流流过电感时，瞬间会在线圈内产生感应磁场，而磁场又会感

应出电流，感应的电流和流过的电流方向相反，会阻碍外部的电流流过，一旦流过的电流稳定下来，感应磁场就不会再发生变化，从而可以让直流电流顺利通过。从这一过程中可以看出来，电感其实是阻碍电流的变化，而当通过交流电时，由于交流电的电流在时刻变化，因此电感总是不停地抵抗变化，阻碍交流电流的通过。

电感对交流的阻碍作用称为感抗，它和交流电的频率及电感量有关，交流频率越高，电感越大，感抗就越大。利用这一特性，我们在电源滤波中经常用到它。电感能够阻碍电流的变化，抑制小波动，从而输出更加纯正的直流电。

2. 振荡

电感与电容串联便构成了 LC 振荡电路。LC 振荡电路用于产生高频正弦波信号，常见的 LC 正弦波振荡电路有变压器反馈式 LC 振荡电路、电感三点式 LC 振荡电路和电容三点式 LC 振荡电路。LC 振荡电路的辐射功率是和振荡频率的 4 次方成正比的，要让 LC 振荡电路向外辐射足够强的电磁波，就必须提高振荡频率。

LC 振荡电路运用了电容和电感的储能特性，让电、磁两种能量交替转化，即电能和磁能都会有一个最大/最小值，因此就有了振荡。不过这只是理想情况，实际上所有的电子元器件都会有损耗，能量在电容和电感之间相互转化的过程中要么被损耗，要么被泄漏至外部，会不断减少，所以实际中的 LC 振荡电路都需要一个元器件进行放大，要么是晶体三极管，要么是集成运算放大器等芯片。利用元器件放大，可以通过信号反馈方法使得不断被消耗的振荡信号被反馈放大，从而最终输出一个幅值和频率比较稳定的信号。

3. 延时

根据楞次定律：当电流增大时感应电流的方向与电流方向相反，电感线圈刚通电时，电流变化很快，感应电流很大，它与原电流相叠加，使得线圈中的电流只能从 0 开始增大，直到电流变化趋于 0，这时线圈中的电流才能达到最大。所以说，电感线圈有延时作用。

4. 陷波

陷波滤波器指的是一种可以在某一个频率点迅速衰减输入信号，以达到阻碍此频率信号通过的滤波效果。从通过信号的频率范围的角度讲，陷波滤波器属于带阻滤波器的一种，只是它的阻带非常狭窄。既然陷波滤波器属于带阻滤波器，那么它的阶数必须是二阶（含二阶）以上。最简单的（二阶）陷波滤波器是 RLC 串联电路。

1.4 二 极 管

1.4.1 二极管选型参数

二极管的主要参数有 4 个：最大整流电流 I_m 、最高反向工作电压 U_m 、最大反向电流 I_{co} 和最高工作频率 f_m 。二极管在不同应用场合下，对各项参数的要求是不同的。对于整流电路的整流二极管，重点关注它的最大整流电流和最大反向工作电压参数；对于开关电路的开关二极管，重点关注它的开关速度；对于高频电路中的二极管，重点关注它的最高工作频率和结电容等参数。

1. 最大整流电流 I_m

最大整流电流是指二极管长时间正常工作下，允许通过二极管的最大正向电流值。各

种用途的二极管对这一参数的要求不同,当二极管用来作为检波二极管时,由于工作电流很小,所以对这一参数的要求不高;当二极管用来作为整流二极管时,由于整流时流过二极管的电流比较大,此时,最大整流电流 I_m 是一个非常重要的参数。当正向电流通过二极管时,二极管会发热,电流越大,温度越高,当二极管发热温度达到一定程度时二极管会被烧坏,所以最大整流电流 I_m 限制了二极管的正向工作电流,在使用时不能让二极管中流过的电流超过最大整流电流。在一些大电流的整流电路中,为了帮助整流二极管散热,会给予其加上散热片。

2. 最高反向工作电压 U_m

最高反向工作电压 U_m 是指二极管正常工作时所能承受的最大反向电压值,约等于反向击穿电压的一半,在应用中 U_m 应大于正常工作电压。反向击穿电压是指给二极管加反向电压,使二极管击穿时的电压值。二极管在使用中,为了保证二极管安全工作,实际的反向电压不能大于最高反向工作电压。

对于晶体管而言,过压(指工作电压大于规定电压值)比过流(工作电流大于规定电流值)更容易损坏晶体管,因为电压稍增大一些,往往电流就会增大许多。

3. 最大反向电流 I_{co}

反向电流是指给二极管加上规定的反向电压时,通过二极管的反向电流值,最大反向电流 I_{co} 的大小反映了二极管单向导电的性能。给二极管加上反向电压后,没有电流流过二极管,这是二极管的理想情况,实际上二极管在加上反向电压后或多或少都会有一些反向电流,反向电流是从二极管负极流向正极的电流。正常情况下,二极管的反向电流很小,而且是越小越好。这一参数是二极管的一个重要参数,因为当二极管的反向电流太大后,二极管失去了单向导电特性,也就失去了它在电路中的功能。

在二极管反向击穿之前,总是要存在一些反向电流,对于不同材料的二极管这一反向电流的大小不同。对于硅二极管,它的反向电流比较小,通常为 $1\mu A$ 甚至更小;对于锗二极管,反向电流比较大,有几百微安。所以,现在一般情况下不使用锗二极管,而广泛使用硅二极管。在二极管反向击穿前反向电流 I_{co} 的大小基本不变,即反向电压只要不大于反向击穿电压值,反向电流就几乎不变,所以反向电流又称为反向饱和电流。

4. 最高工作频率 f_m

二极管可以用于直流电路中,也可以用于交流电路中。在交流电路中,交流信号的频率高低对二极管的正常工作有影响,信号频率高时要求二极管的工作频率也要高,否则二极管就不能很好地起作用,这就对二极管提出了工作频率的要求。由于二极管受材料、结构和制造工艺的影响,所以当工作频率超过一定值后,二极管将失去良好的工作特性。二极管保持良好工作特性的最高频率,称为二极管的最高工作频率。在一般的电路和低频电路(如整流电路)中,对二极管的最高工作频率是没有要求的,主要是在高频电路中对这一参数有要求。

1.4.2 二极管的用途

1. 检波二极管

检波二极管具有结电容低、工作频率高和反向电流小等特点,传统上用于调幅信号检波。其工作原理如下。

调幅信号是一个高频信号承载一个低频信号，调幅信号的包络即为基带低频信号。如果在每个信号周期取平均值，其恒为零。如果将调幅信号通过检波二极管，由于检波二极管的单向导电特性，调幅信号的负向部分被截去，仅留下正向部分，此时若在每个信号周期取平均值（低通滤波），所得为调幅信号的波包即为基带低频信号，实现解调（检波）功能。

广义的检波通常称为解调，是调制的逆过程，即从已调波提取调制信号的过程。狭义的检波是指从调幅波的包络提取调制信号的过程，有时把这种检波称为包络检波或幅度检波。

2. 整流二极管

整流二极管是一种用于将交流电转变为直流电的半导体器件，其结构如图 1-1 所示。P 区的载流子是空穴，N 区的载流子是电子，在 P 区和 N 区之间形成一定的位垒。外加电压使 P 区相对 N 区为正的电压时，位垒降低，位垒两侧附近产生储存载流子，能通过大电流，具有低的电压降（典型值为 0.7V），称为正向导通状态；若加相反的电压，使位垒增加，则可承受高的反向电压，流过很小的反向电流（称反向漏电流），称为反向阻断状态。整流二极管具有明显的单向导电性。

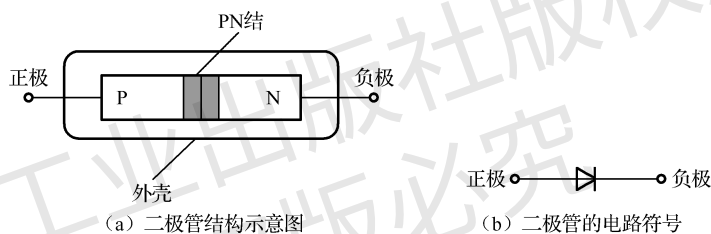


图 1-1 整流二极管结构

开关电源整流、脉冲整流用工作频率较高、反向恢复时间较短的整流二极管。选用整流二极管时，主要应考虑其最大整流电流、最大反向工作电流、截止频率及反向恢复时间等参数。

3. 稳压二极管

稳压二极管具有 PN 结在反向击穿状态，其电流可在很大范围内变化而电压基本不变的特点。稳压二极管的伏安特性曲线的正向特性和普通二极管差不多，反向特性是在反向电压低于反向击穿电压时，反向电阻很大，反向漏电流极小。但是，当反向电压临近反向电压的临界值时，反向电流骤然增大，称为击穿，在这一临界击穿点上，反向电阻骤然降至很小值。尽管电流在很大的范围内变化，但二极管两端的电压却基本上稳定在击穿电压附近，从而实现了二极管的稳压功能。

选择稳压二极管时，稳定电压值应与应用电路的基准电压值相同，最大稳定电流要高于应用电路的最大负载电流 50% 左右，稳压二极管工作时的实际功率应小于额定功率的一半。

4. 开关二极管

二极管导通时相当于开关闭合，截止时相当于开关打开，所以二极管可用作开关，常用型号为 1N4148。由于二极管具有单向导电的特性，在正偏压下 PN 结导通，在导通状态

下的电阻很小，约为几十至几百欧；在反向偏压下呈截止状态，其电阻很大，一般硅二极管在 $10\text{M}\Omega$ 以上，锗管也有几十至几百千欧。利用这一特性，二极管将在电路中起到控制电流接通或关断的作用，成为一个理想的电子开关。以上的描述，适用于任何一只普通的二极管，或者说是二极管本身的原理。但对于开关二极管，最重要的特点是在高频条件下的表现。高频条件下，二极管的势垒电容表现出极低的阻抗，并且与二极管并联。当这个势垒电容本身的容值达到一定程度时，就会严重影响二极管的开关性能。极端条件下会将二极管短路，高频电流不再通过二极管，而是直接绕路势垒电容通过，二极管就失效了。而开关二极管的势垒电容一般极小，这就相当于堵住了势垒电容这条路，达到了在高频条件下还可以保持好的单向导电性的效果。

5. 肖特基二极管

肖特基二极管的最大特点是正向压降小，反向恢复时间短。肖特基二极管的开启电压低，电荷存储效应小，适用于高频工作。在同样的电流情况下，它的正向压降要比普通二极管小许多；它还具有损耗小、噪声低、检波灵敏度高、稳定可靠等特点。肖特基二极管的缺点是反向耐压较低，一般不会高于 60V ，最高仅为 100V ，所以它不适合用于高反向电压的电路。

肖特基二极管主要用来作为整流二极管、续流二极管、保护二极管及小信号检波等，最常见的用途是用于低电压大电流电路（如驱动器、开关电源、变频器、逆变器等）之中。按照同电流挡次的保留反向电压最高的原则选择肖特基二极管，如选择 SS14，不选 SS12。

6. TVS 二极管

TVS 二极管又称为瞬态抑制二极管，是普遍使用的一种新型高效电路保护器件，它具有极快的响应时间（亚纳秒级）和相当高的浪涌吸收能力。当 TVS 二极管两端经受瞬间的高能量冲击时，TVS 二极管能以极高的速度把两端间的阻抗值由高阻抗变为低阻抗，以吸收一个瞬间大电流，把它的两端电压钳制在一个预定的数值上，从而保护后面的电路元件不受瞬态高压尖峰脉冲的冲击。双向 TVS 二极管可在正、反两个方向吸收瞬时大脉冲功率，并把电压钳制到预定水平。双向 TVS 二极管适用于交流电路，单向 TVS 二极管一般用于直流电路。

选择 TVS 二极管时，最大反向工作电压要大于正常工作电压；最大钳位电压要小于最大安全工作电压。例如，在常规 CMOS 电路中，电源电压为 $3\sim 18\text{V}$ ，击穿电压为 22V ，则应选择最大钳位电压为 $18\sim 22\text{V}$ 的 TVS 二极管。

二极管在使用时，品牌可选择 NXP 和 ON。

1.5 晶体三极管

1.5.1 晶体三极管选型参数

常用晶体三极管的类型有 NPN 型与 PNP 型两种。NPN 型和 PNP 型晶体三极管如图 1-2 所示，b 表示基极，c 表示集电极，e 表示发射极。

晶体三极管是电流控制电流型的元器件，正常工作时基极需要一定的电流驱动。

NPN 型晶体三极管的电流从基极和集电极流向发射极, 适合发射极接地的应用。NPN 型晶体三极管需要满足条件 $U_{be} > 0.7V$, 且 $I_b > 0$ 时, NPN 导通。若 $U_{ce} > 0.2V$, 则 NPN 处于放大状态; 若 $U_{ce} < 0.2V$, 则 NPN 处于饱和状态; 若 $U_{be} < 0.7V$, 则 NPN 截止。

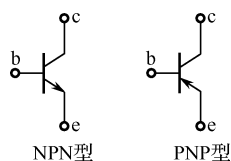


图 1-2 晶体三极管

PNP 型晶体三极管电流从发射极流向基极和集电极, 适合发射极接电源的应用。PNP 型晶体三极管需要满足条件 $U_{be} < 0.7V$, 且 $I_b > 0$ 时, PNP 导通。若 $U_{ce} > 0.2V$, 则 PNP 处于放大状态; 若 $U_{ce} < 0.2V$, 则 PNP 处于饱和状态; 若 $U_{be} > 0.7V$, 则 PNP 截止。

晶体三极管的材料有锗材料和硅材料。它们之间最大的差异是起始电压不一样。锗管 PN 结的导通电压为 $0.2V$ 左右, 而硅管 PN 结的导通电压为 $0.6 \sim 0.7V$ 。在放大电路中如果用锗管代换同类型的硅管, 或用硅管代换同类型的锗管通常是可以的, 但都要在基极偏置电压上进行必要的调整, 因为它们的起始电压不一样。但在脉冲电路和开关电路中不同材料的晶体三极管是否能互换必须具体分析, 不能盲目代换。

1. 集电极最大允许电流 I_{cm}

在应用中, 实际的集电极电流要小于集电极最大允许电流 I_{cm} 的 70%。

2. 集电极-发射极反向击穿电压 BU_{ceo}

BU_{ceo} 是晶体三极管基极开路时, 集电极-发射极反向击穿电压。如果在使用中加在集电极与发射极之间的电压超过这个数值, 将可能使晶体三极管产生很大的集电极电流, 这种现象称为击穿。晶体三极管击穿后会造成永久性损坏或性能下降。小功率晶体三极管 BU_{ceo} 的选择可以根据电路的电源电压来决定, 一般情况下只要晶体三极管 BU_{ceo} 的 70% 的值大于电路中电源的最高电压即可。

3. 集电极最大允许耗散功率 P_{cm}

晶体三极管在工作时, 集电极电流在集电结上会产生热量而使晶体三极管发热。若耗散功率过大, 则晶体三极管将烧坏。在使用中如果晶体三极管在大于 P_{cm} 下长时间工作, 将会损坏晶体三极管, 通常实际耗散功率要小于集电极最大允许耗散功率的 70%。

4. 特征频率 f_T

随着工作频率的升高, 晶体三极管的放大能力将会下降, 对应于 $\beta=1$ 时的频率 f_T 称为晶体三极管的特征频率。工程设计中一般要求晶体三极管的 f_T 大于 3 倍的实际工作频率。所以可按照此要求来选择晶体三极管的特征频率 f_T 。

晶体三极管在品牌选择上, 应尽量选用大品牌的贴片封装器件, 如 NXP、DIODE、ST、TI 等。

1.5.2 晶体三极管的用途

晶体三极管主要用来控制电流的大小, 这是最基本和最重要的特性。以共发射极接法为例 (信号从基极输入, 从集电极输出, 发射极接地), 当基极电压 U_b 有一个微小的变化时, 基极电流 I_b 也会随之有小变化, 受基极电流 I_b 的控制, 集电极电流 I_c 会有一个很大的变化, 基极电流 I_b 越大, 集电极电流 I_c 也越大; 反之, 基极电流越小, 集电极电流也越小, 即基极电流控制集电极电流的变化。但是集电极电流的变化比基极电流的变化大得多, 这

就是晶体三极管的电流放大作用。晶体三极管有一个重要参数就是电流放大系数 β 。当晶体三极管的基极上加一个微小电流时，在集电极上可以得到一个微小电流 β 倍的电流，即集电极电流。根据晶体三极管的作用分析，它可以把微弱的电信号转换成一定强度的信号，当然这种转换仍然遵循能量守恒定律，它只是把电源的能量转换成信号的能量罢了。

晶体三极管的作用还有电子开关，配合其他元器件还可以构成振荡器，此外晶体三极管还有稳压的作用。

1.6 MOS 晶体管

1.6.1 MOS 晶体管选型参数

MOS 晶体管是电子电路中的基本元件。NMOS 晶体管和 PMOS 晶体管如图 1-3 所示，图中，G 表示门极（栅极），D 表示漏极，S 表示源极。

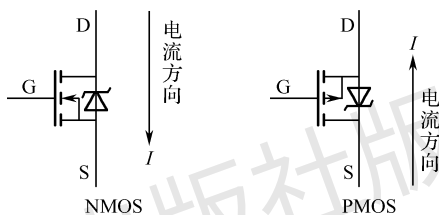


图 1-3 MOS 晶体管

正确选择 MOS 晶体管是很重要的一个环节，MOS 晶体管选择不好有可能影响整个电路的效率和成本，了解 MOS 晶体管的选型参数，选择合适的 MOS 晶体管，将会充分发挥其“螺丝钉”的作用，确保设备得到最高效、最稳定、最持久的应用效果。

1. NMOS 和 PMOS 选择

MOS 晶体管是电压控制电流型器件，必须满足 U_{GS} 的电压要求才能导通。

NMOS 晶体管的主回路电流方向为 D→S（漏极流向源极），导通条件为 U_{GS} 大于阈值电压，适合用于源极 S 接地的情况（低端驱动）。电路中常用的是 NMOS 晶体管，因为其导通电阻小，且容易制造。

PMOS 晶体管的主回路电流方向为 S→D（源极流向漏极），导通条件为 U_{GS} 小于阈值电压，适合用于源极 S 接电源的情况（高端驱动）。虽然 PMOS 可以很方便地用作高端驱动，但由于其导通电阻大，价格贵，替换种类少等原因，在高端驱动中，通常还是使用 NMOS。

2. 最大漏源电压

选择 MOS 晶体管必须确定漏极至源极间可能承受的最大电压，即最大漏源电压。MOS 晶体管在工作时，不能超过最大漏源电压，这样才能提供足够的保护，使 MOS 晶体管不会失效。基本原则为实际工作环境中的最大峰值漏源电压不大于元器件规格书中标称漏源击穿电压的 90%。

3. 最大漏极电流

最大漏极电流是指 MOS 晶体管正常工作时漏极电流允许的上限值。选择的 MOS 晶体管所能承受电流必须满足系统产生尖峰电流时的需求。电流的确定需从两个方面着手：连

续模式和脉冲尖峰。在连续导通模式下，MOS 晶体管处于稳态，此时电流连续通过 MOS 晶体管。脉冲尖峰是指有大量电涌（或尖峰电流）流过，一旦确定了这些条件下的最大电流，就要选择能承受这个最大电流的 MOS 晶体管。基本原则为实际工作环境中的最大峰值漏极电流，或漏极脉冲电流峰值不大于规格书中标称的最大漏极电流的 90%。

1.6.2 MOS 晶体管的用途

MOS 晶体管有优良的开关性能，开关速度较晶体三极管更快，所以主要用于电源或驱动方面。MOS 晶体管在电路中不只起到开关的作用，还有放大、阻抗变换、振荡等作用。

1.7 运算放大器

运算放大器（简称运放）具有电压增益高、输入阻抗大、输出阻抗小、温漂小等优点，广泛应用于模拟运算、有源滤波、信号产生与变换等各种电子系统中。

1.7.1 运算放大器选型参数

1. 电源电压大小和方式选择

运算放大器的电源电压大小由运算放大器的工作电压范围和被处理信号的电压范围决定。在供电方式上有单电源和双电源两种。

电源电压决定运算放大器的工作点，工作点通常是电源的中间电压，因为运算放大器在中间电压工作时，被处理信号的输入动态范围和输出摆幅最大。例如，+10V 单电源情况下的工作点为 +5V，±5V 双电源情况下的工作点为 0V。电路中采用双电源会相对较简单，因为大多数信号源和负载以地（0V 或对称双极性电源的中间电压）为基准，在这种情况下，输入信号源、输出负载和运算放大器全都具有相同的基准点。如果使用单电源，则无法对信号的负半周放大，因此需要建立一个新的工作点。通常会在运算放大器的输入端添加偏置电压，偏置电压一般为电源电压的一半，而偏置的结果是把供电所采用的单电源相对地变成“双电源”，它与双电源供电相同，只是电压范围只有双电源的一半，输出电压幅度相应会比较小。这种方式要注意电路中隔直电容的应用，隔直电容将运算放大电路和其他电路直流隔离，防止各部分直流电位相互影响，这样才可以相对地分析信号的电位。

2. 带宽和压摆率

带宽可以衡量一个运算放大器处理信号的频率范围，带宽越高，能处理的信号频率越高，高频特性就越好，否则信号就容易失真，不过这是针对小信号来说的，在大信号时一般用压摆率（SR）来衡量。

一个运算放大器的放大倍数为 n ，但并不是对所有输入信号的放大能力都是 n 倍，当信号频率增大时，放大能力就会下降。当输出信号下降到原来输出的 0.707 倍时，这时信号的频率就称为运放的带宽。

选择运算放大器的带宽可根据以下步骤：首先确定单级放大的放大倍数（Gain），单级放大的倍数不要太大（如果需要放大的倍数比较大，可以采用多级级联放大的形式来降低单级放大倍数）；然后根据频率 f 和单级放大倍数的乘积算得理论带宽增益积（GBW）；再根据理论带宽增益积选择运算放大器，运算放大器的增益带宽积可以在数据手册中查到，

为保证不衰减, 实际选择的运算放大器的 GBW 最好是理论计算值的 2 倍以上。因为放大信号时用压摆率来衡量, 所以还需确定理论压摆率, 假设输入信号峰值为 U_m , 那么 $SR = 2\pi f \cdot U_m \cdot \text{Gain}$ 。运算放大器的压摆率也可以在数据手册中查到, 且要大于理论计算值, 该运算放大器才适用。

例如, 要将输入峰值电压为 0.1V、频率为 50kHz 的信号放大 5 倍, 理论 GBW 为 0.25MHz, SR 为 0.157V/ μ s, 那么可以选择一个 GBW 为 1MHz、压摆率为 1V/ μ s 的运算放大器。若其他条件不变, 将输入峰值电压改为 1V, 算得 GBW 还是 0.25MHz, 但是 SR 变成了 1.57V/ μ s, 再采用压摆率为 1V/ μ s 的运算放大器就不合适了, 压摆率不够会导致输出信号失真。

3. 输入失调电压和温漂

在运算放大器的应用中, 尤其对直流信号进行放大时, 由于输入失调电压的存在, 使得运算放大器的输出端总会叠加误差。举个简单的例子: 由于输入失调电压的存在, 让电子秤在没有经过调校时, 还未放东西就有重量显示。在理想情况下, 当运算放大器两个输入端的输入电压相同时, 运算放大器的输出电压应为 0V, 但实际情况是, 即使两个输入端的电压相同, 放大电路也会有一个小电压输出, 这就是输入失调电压引起的。而且随着应用环境温度的变化, 输入失调电压也会变化, 即温度漂移, 简称温漂。在模拟信号处理中有时会对精度要求较高, 如电压比较器, 往往会提出响应时间、灵敏度要求, 就要特别注意该参数, 通常输入失调电压不超过系统精度要求的 1/3 即可。

除以上参数外, 还有功耗、噪声等其他参数, 运算放大器的种类繁多, 要根据具体应用要求, 通过查询数据手册或工具软件选择符合参数要求的元器件。从性价比方面考虑, 应尽量选择通用型运放, 如 LM358、LM324 等, 尽量选择已经使用过或市面上常用的型号。品牌可以选择 TI、ADI 等。

1.7.2 运算放大器的用途

运算放大器用于对信号进行放大和运算处理, 还可与反馈电路等外围元器件组成功能模块, 常见运算放大器电路将在第 2 章详细介绍。

本章任务

查找各类元器件相关的电路, 通过 Multisim 软件搭建简单的电路, 测量它们各自的特性。

本章习题

1. 简述电阻和电容的主要参数及用途。
2. 简述二极管和晶体三极管的主要参数及用途。
3. 叙述 MOS 晶体管的种类及它们之间的区别。
4. 简述运算放大器的主要参数。