

第2章 常用电子元器件

电子元器件是构成电子电路的基础，如计算机、通信设备、家用电器、电子测量仪器，以及其他智能电子系统等，无一不是由电子元器件组成的。因此，熟悉各类元器件的性能、特点及用途，对设计、调试和维修电子电路是非常重要的。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，以便使读者在设计电子系统时能够正确选用。

2.1 电 阻 器

2.1.1 电阻器的作用

在电路中，电阻器主要用来控制电压、电流，即起降压、分压、限流、分流、隔离、匹配和信号幅度调节等作用。

2.1.2 电阻器的分类

电阻器的种类很多，通常可分为固定电阻器、可变电阻器和排电阻器等。

按电阻器用途可分为：普通电阻器、高压电阻器、高频无感电阻器、敏感电阻器、熔断电阻器和精密电阻器等。

按电阻器材料可分为：线绕电阻器和非线绕电阻器。其中，线绕电阻器又分为普通型、被釉型和陶瓷绝缘功率型；非线绕电阻器又分为合成式和薄膜式。

2.1.3 电阻器的主要技术指标

1. 标称阻值

标称阻值通常是指电阻器上标注的电阻值。其基本单位是欧姆(简称欧)，用 Ω 表示。实际中，还常用千欧(k Ω)和兆欧(M Ω)来表示。

标称阻值是电阻器的主要参数之一，不同类型的电阻器，阻值范围不同，不同精度的电阻器其阻值系列是不同的，根据部标，常用的标称电阻值(E24, E12 和 E6 系列也适用于电位器和电容器)系列列于表 2.1.1 中。此外，精度为 $\pm 1\%$ 的 E96 系列电阻也进入常用范围。

表 2.1.1 标称值系列

标称值系列	精 度	电阻器、电位器和电容器标称值 ^①								
E24	$\pm 5\%$	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	
		2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3	
		4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1	
E12	$\pm 10\%$	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7			
		3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2			
E6	$\pm 20\%$	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8			

注：①标称数值等于表中数值 $\times 10^n$ ， n 为整数。例如，1.2 这个标称值就有 1.2 Ω ，12 Ω ，120 Ω ，1.2k Ω ……

在设计电路时，计算出的阻值要尽量选择标称值系列，这样在市场才能选购到所需要的电阻器。如果标称值系列中找不到实际需要的数值(电路要求比较严格时会有这种情况)，可在相邻的两个标称值之间进行挑选，需要量少时，如果允许，可采用串并联的方法加以解决。

2. 精度

由于工艺条件等诸多方面的限制，电阻器的实际阻值与标称阻值不可能绝对相等，两者之间存在一定的偏差。把两者的相对误差(即两者的偏差除以标称值所得的百分数)称为电阻精度。常用电阻器的精度等级如表 2.1.2 所示。

表 2.1.2 常用电阻器的精度等级

允许误差	±0.5%	±1%	±2%	±5%	±10%	±20%
级别	005	01	02	I	II	III
类型	精密型			普通型		

电阻器的精度越高，其稳定性也越好，但相应的价格也越高。所以，在电子系统设计中，要根据电路的不同要求选用不同精度的电阻器，以期获得最佳的性价比。

3. 额定功率

额定功率是指电阻器在交流或直流电路中，在特定条件下(在一定大气压和产品标准所规定的温度下)长期工作时所能承受的最大功率。其基本单位是瓦特(W)。不同类型的电阻器有不同系列的额定功率，具体如表 2.1.3 所示。

表 2.1.3 电阻器的功率等级

名称	额定功率/W					
实心电阻器	0.25	0.5	1	2	5	
线绕电阻器	0.5	1	2	6	10	15
	25	35	50	75	100	150
薄膜电阻器	0.025	0.05	0.125	0.25	0.5	1
	2	5	10	25	50	100

其中，以 0.125W(即 1/8W)，0.25W(即 1/4W)，0.5W(即 1/2W)电阻器较为常用。

为了防止电阻器烧毁，选用电阻器时，应使其功率高于电路实际需求的 1.5~2 倍以上。

4. 温度系数

电阻器的温度系数是指电阻值随温度的变化率，单位是 $\Omega/^\circ\text{C}$ 。金属膜、合成膜电阻器具有较小的正温度系数(即随温度升高，阻值增大)，碳素膜电阻器具有较大的负温度系数(即随温度升高，阻值减小)。

5. 非线性

当流过电阻器的电流与加在电阻器两端的电压不成比例变化时，称为非线性电阻器。一般来说，金属型电阻器的线性度很好，非金属型电阻器的线性度较差。

6. 噪声

噪声包括热噪声和电流噪声两种。为了降低热噪声，可降低电阻器的工作温度；电流噪声与电阻器内的微观结构有关，合金型没有电流噪声，薄膜型电流噪声较小，合成型电流噪声较大。

7. 极限电压

电阻器能承受而不会损坏的最高电压称为电阻器的极限电压。当加在电阻器两端的电压超过极限电压时，会发生烧毁现象，使电阻器损坏。一般常用电阻器的功率与极限电压如下：0.25W，250V；0.5W，500V；1~2W，750V。更高电压时，应选用高压型电阻器。

2.1.4 电阻器的合理选用与质量判别

1. 电阻器的合理选用

电阻器的种类很多，性能差异也很大，其应用范围有很大区别。因此全面了解各类电阻器的性能和应用范围，是合理选用电阻器的前提。各类电阻器的性能比较和应用范围如表 2.1.4

和表 2.1.5 所示。

表 2.1.4 各类电阻器的性能比较

品种 性能	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 2.1.5 各类电阻器的应用范围

品种 应用范围	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					√	√	√	√
高精度							√	√
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	√				√	√	√	

选用电阻器一般从性能、可靠性、价格和是否容易买到考虑，首先，应根据电路的不同用途和要求，选择不同种类、不同性能的电容器。例如，高频电路应选用分布电感和分布电容小的非线性绕电阻器，如碳膜电阻器、金属膜电阻器和金属氧化膜电阻器等。其次，应正确选择标称值和精度。所选电阻器的阻值要接近应用电路中计算值的一个标称值，应优先选用标准系列的电阻器；精度的选择只要满足要求即可。一般电路使用的电阻器精度为 $\pm 5\% \sim \pm 10\%$ 。精密仪器及特殊电路中使用的电阻器，可选用精密电阻器。

所选电阻器的额定功率，要符合应用电路对电阻器功率容量的要求，一般不应随意加大或减小电阻器的功率。若电路要求是功率型电阻器，则其额定功率可高于实际应用电路要求功率的 1~2 倍。

2. 电阻器的质量判别

电阻器的质量判别通常采用以下方法：

(1) 看电阻器的引线有无折断或外壳烧焦现象。

(2) 用万用表的欧姆挡测量阻值，测量时，应选择合适的量程（例如，测量 50Ω 以下的电阻器用 $R \times 1$ 挡；测 $50\Omega \sim 1k\Omega$ 的电阻器用 $R \times 10$ 挡或 $R \times 100$ 挡；测 $1 \sim 200k\Omega$ 的电阻器用 $R \times 1k$

挡；测大于 200k Ω 的电阻器用 R \times 10k 挡)。合格的电阻器应稳定在允许的误差范围内，否则不能选用。

2.2 电位器

2.2.1 电位器的作用

电位器的主要作用是调节电压和电流。

2.2.2 电位器的分类

电位器的种类很多，用途各不相同，分类方法也不相同。

按电阻体的材料划分，可分为线绕电位器和非线绕电位器两大类。线绕电位器又可分为通用线绕电位器、大功率线绕电位器和预调式线绕电位器。非线绕电位器又可分为实心电位器和薄膜式电位器两种类型。其中，实心电位器进而分为有机合成实心电位器、无机合成实心电位器和导电塑料电位器；薄膜式电位器进而分为碳膜电位器和金属膜电位器等。

按调节方式划分，可分为旋转式电位器、推拉式电位器和直滑式电位器等。

按结构特点划分，可分为单圈电位器、多圈电位器、单联电位器、双联电位器、带开关电位器、锁紧型电位器、非锁紧型电位器和贴片式电位器等。

按电阻值的变化规律划分，可分为直线式电位器、指数式电位器和对数式电位器。

按用途划分，可分为普通电位器、磁敏电位器、光敏电位器、电子电位器和步进电位器等。

按驱动方式划分，可分为手动调节电位器和电动调节电位器。

2.2.3 电位器的主要技术指标

电位器的主要参数有标称值、额定功率、阻值变化规律、分辨率和动噪声等。

1. 标称值

电位器的标称值是指电位器上标注的电阻值，等于电阻体两个固定端之间的电阻。其标称系列与电阻器的系列相同。精度等级有 $\pm 20\%$ ， $\pm 10\%$ ， $\pm 5\%$ ， $\pm 2\%$ ， $\pm 1\%$ 等，精密电位器的精度可达 $\pm 0.1\%$ 。

2. 额定功率

电位器的额定功率是指两个固定端之间允许耗散的最大功率，滑动端与固定端之间所承受的功率要小于额定功率。线绕电位器额定功率系列为：0.5，0.75，1，1.6，3，5，10，16，25，40，63，100 (W)，非线绕电位器额定功率系列为：0.025，0.05，0.1，0.25，0.5，1，2，3 (W) 等。

3. 阻值变化规律

电位器的阻值变化规律是指其电阻值随滑动接触点旋转角度或滑动行程之间的变化关系。常用的电位器有直线式 (X型)、对数式 (D型) 和指数式 (Z型)。

直线式 (X型) 电位器，其电阻值的变化与电位器的旋转角度成直线关系，多用于分压和偏流调整等电路。

对数式 (D型) 电位器，其电阻体上导电物质分布不均匀，电位器开始旋转时，阻值变化很大；当电位器转动角度增大时，阻值变化较小，适用于音量控制电路。

指数式 (Z型) 电位器，其阻值变化与对数式电位器相反，电位器开始旋转时，阻值变化较小；当电位器转动角度增大时，阻值变化较大，适用于音调控制电路。

4. 分辨率

分辨率是指电位器的阻值连续变化时，其阻值变化量与输出电压的比值。它反映了电位器可实现的最精细的调节能力。

5. 动噪声

动噪声是指电位器动触点在电阻体上滑动时产生的电噪声。

2.2.4 几种常用的电位器

1. 线绕电位器 (型号 WX)

这类电位器常用做精密电位器和大功率电位器。国内精密线绕电位器的精度可达 0.1%，大功率线绕电位器的功率可达 100W。

2. 合成碳膜电位器 (型号 WH)

这类电位器的优点是分辨率高、变化连续、范围宽 (100Ω~5MΩ)，功率一般有 0.125W, 0.5W, 1W, 2W 等。缺点是精度较差 (一般为±20%)，耐湿、耐温性差，使用寿命较短。但由于其成本低，因而广泛应用于家用电器 (如收音机、电视机等) 中。阻值变化规律分线性和非线性两种，这类电位器分带锁紧和不带锁紧两种。

3. 有机实心电位器 (型号 WS)

这类电位器的优点是结构简单、体积小、寿命长及可靠性高，因此多用于对可靠性要求较高的电子系统中。缺点是噪声大，气动力矩大。这类电位器有带锁紧和不带锁紧两种。

4. 多圈电位器

这是一种精密电位器，阻值调整精度高，最多可达 40 圈。当阻值需要在大范围内进行微量调整时，可选用这种电位器。

除上述各种接触式电位器以外，还有非接触式电位器，如磁敏、光敏电位器等。此类电位器具有阻值稳定，无动噪声等突出优点。

2.2.5 电位器的合理选用与质量判别

1. 电位器的合理选用

电位器的规格、品种很多，各有特点。全面了解各类电位器的性能，对合理选用电位器非常重要。各类电位器的性能比较如表 2.2.1 所示。

表 2.2.1 各类电位器的性能比较

品种 性能	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	0.5~100	0.5	0.25~2	0.25~2		0.25~2	0.5~2
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	优	优
负荷寿命	优良	优良	良	良	优	优良	良

(1) **根据使用要求选用电位器**:选用电位器时,应根据应用电路的具体要求选择电位器的材料、结构、类型、规格和调节方式。例如,普通电子系统选用碳膜或合成实心电位器;精密仪器等电路中应选用高精度的线绕电位器、导电塑料电位器、精密合成碳膜电位器、精密多圈电位器或金属玻璃釉电位器;大功率、高温电路应选用功率型线绕电位器或金属玻璃釉电位器;高频、高稳定电路应选用薄膜电位器;音量调节兼电源开关可选用小形带旋转式开关的碳膜电位器;立体声音频放大器的音量控制可选用双联同轴电位器;音响系统的音调控制可选用直滑式电位器;电源电路的基准电压调节可选用微调线性电位器;通信设备和计算机中使用的电位器可选用贴片式多圈电位器或单圈电位器。

(2) **合理选择电位器的电参数**:选定电位器的类型和规格后,还要根据电路要求合理选择电位器的电参数,包括标称阻值、额定功率、精度、分辨率和动噪声等。

(3) **根据阻值变化规律选用电位器**:各种电源电路中的电源调节、放大电路的工作点调节、副亮度调节及行、场扫描信号调节电位器,均应选用直线式电位器。音响设备中的音调控制用电位器应选用指数式(也称反转对数式)电位器;音量控制用电位器应选用对数式电位器。

2. 电位器的质量判别

(1) **判别标称阻值及变阻值**:选用万用表欧姆挡的适当量程,先测量电位器两个固定端的电阻值,核对其是否与标称值相符。若测得阻值为无穷大或较标称阻值大,则说明电位器已开路或变质损坏。然后再检测滑动端与任一固定端之间的阻值变化情况,慢慢移动滑动端,使其从一个极端位置到另一个极端位置,正常的电位器,万用表读得的电阻值应从标称阻值(或 0Ω)连续平稳地变化到 0Ω (或标称阻值)。如果测量过程中读数有跳动现象,则说明该电位器接触不良。

(2) **判别电位器开关**:对带开关的电位器,除判别标称阻值及变阻值外,还必须检测开关是否正常。

用万用表 $R\times 1$ 挡,两表笔分别接到电位器开关的两个外接焊片上,若开关打开,万用表读数应为 0Ω ;若开关断开,万用表读数应为无穷大。否则说明该电位器的开关已损坏。

2.3 电 容 器

电容器是组成电子电路的主要元件之一。它是一种储能元件,具有充、放电及通交流、隔直流的特性。其基本单位是F(法拉),辅助单位有 μF (微法, 10^{-6}F), nF (纳法, 10^{-9}F)和 pF (皮法, 10^{-12}F),常用的单位为 μF 和 pF 。

2.3.1 电容器的作用

电容器广泛应用于各种高、低频电路和电源电路中,起耦合、旁路、滤波、退耦、谐振、倍压、定时等作用。

2.3.2 电容器的分类

电容器的种类很多,分类方法也有多种。按结构及电容量是否可调划分,可分为固定电容器和可变电容器(包括微调电容器);按介质材料划分,可分为有机介质电容器(包括漆膜电容器、混合介质电容器、纸介电容器、有机薄膜介质电容器、纸膜复合介质电容器等)、无机介质电容器(包括陶瓷电容器、云母电容器、玻璃膜电容器、玻璃釉电容器等)、电解电容器(包括铝电解电容器、钽电解电容器、铌电解电容器、钛电解电容器及合金电解电容器等)和气体介质电容器(包括空气电容器、真空电容器和充气电容器等);按有无极性划分,可分为有极性电容器和无极性电容器;

按封装外形划分,可分为圆柱形、圆片形、管形、叠片形、长方形、珠状、方块状和异形等;按引出线划分,可分为轴向引线、径向引线、同向引线和贴片(无引线)等。

2.3.3 电容器的主要技术参数

电容器的主要技术参数有标称容量、精度、额定工作电压、绝缘电阻、温度系数、频率特性等。

1. 标称容量及精度

标称容量是指电容器表面所标注的电容量,其数值也采用 E24, E12, E6 标准系列。E24~E6 标准系列固定电容器标称容量及精度如表 2.3.1 所示。

表 2.3.1 E24~E6 标准系列固定电容器标称容量及精度

系列	精度	标称容量值												
		1.0	1.1 1.2	1.3 1.5	1.6 1.8	2.0 2.2	2.4 2.7	3.0 3.3	3.6 3.9	4.3 4.7	5.1 5.6	6.2 6.8	7.5 8.2	9.1
E24	±5%	1.0	1.1 1.2	1.3 1.5	1.6 1.8	2.0 2.2	2.4 2.7	3.0 3.3	3.6 3.9	4.3 4.7	5.1 5.6	6.2 6.8	7.5 8.2	9.1
E12	±10%	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2	
E6	±20%	1.0		1.5		2.2		3.3		4.7		6.8		

2. 额定工作电压

额定工作电压也称耐压值,是指电容器在规定的温度范围内,能连续正常工作时所能承受的最高电压有效值。

常用固定式电容器的额定电压系列值(单位:V)有:1.6, 4, 6.3, 10, 16, 25, 32*, 40, 50*, 63, 100, 125*, 160, 250, 100, 400, 450*, 500, 630, 1000。(注:*仅限于电解电容器。)

实际应用时,电容器的工作电压应低于额定电压值,否则会被击穿损坏。

3. 绝缘电阻及漏电流

电容器的绝缘电阻是指电容器两极之间的电阻,也称漏电阻。由于电容器中的介质不是理想的绝缘体,所以在一定的温度、电压条件下,会产生漏电流。显然,漏电流越小,绝缘电阻越大,电容器的质量越好。若漏电流过大,电容器就会发热损坏,严重时会造成外壳爆裂。电容器的绝缘电阻和漏电流是重要的性能参数,电子设备的故障有不少都是因为某个电容器的漏电流过大,击穿而造成的。

4. 损耗因数(tanδ)

损耗因数也称电容器的损耗角正切值,用来表示电容器能量损耗的大小。该值越小,电容器质量就越好。

5. 温度系数

温度系数是指在一定温度范围内,温度每变化1℃时,电容器容量的相对变化值。温度系数越小,电容器性能就越好。

6. 频率特性

频率特性是指电容器电参数随电路工作频率变化的特性。不同介质的电容器,其最高工作频率也不同。例如,电解电容只能在低频下工作,而高频瓷介电容和云母电容则可在高频下工作。

2.3.4 几种常用的电容器

1. 有机薄膜介质电容器

有机薄膜介质电容器也称塑料薄膜电容器,按其所使用的介质材料可分为聚苯乙烯电容器、

涤纶电容器、聚丙烯电容器、漆膜电容器、聚四氟乙烯电容器等多种。各种有机薄膜介质电容器的性能比较如表 2.3.2 所示。

表 2.3.2 各种有机薄膜介质电容器的性能比较

种类	型号	容量范围	额定电压	损耗因数/%	工作温度/°C	工作系数/ ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	应用
涤纶	CL	510pF~5μF	35~1kV	0.3~0.7	-55~+125	+200~+600	低频直流
聚碳酸酯	CS	510pF~5μF	50~250V	0.08~0.15	-55~+125	±200	低压交直流
金属化 聚碳酸酯	CSJ	0.01~10μF	50~500V	0.1~0.2	-55~+125	±200	低压交直流
聚丙烯	CBB*	1nF~1μF	50~1kV	0.01~0.1	-55~+85	-100~-300	高压电路
聚苯乙烯	CB	10pF~1μF	50~1kV	0.01~0.05	-10~+80	-100~-200	高频、高精度
聚四氟 乙烯	CF	510pF~0.1μF	250~1kV	0.002~0.005	-55~+200	-100~-200	高温环境

注：*为非部标。

2. 无机介质电容器

(1) 瓷介电容器 (型号 CC)：瓷介电容器分为低压小功率 (低于 1kV) 和高压大功率 (高于 1kV) 两种，低压小功率电容器常见的有瓷片、瓷管和瓷介独石等类型。这种电容器体积小、重量轻、价格低廉，在普通电子产品中应用广泛。其容量范围较窄，一般在几皮法 (pF) 到 0.1μF 之间。

(2) 云母电容器 (型号 CY)：云母电容器具有损耗小、绝缘电阻大、可靠性高、性能稳定、容量精度高等优点，被广泛应用于高频和要求稳定度高的电路中。云母电容器容量范围一般为 4.7~51000pF，最高精度可达±0.01%，直流耐压通常为 50V~7kV，最高可达 40kV。温度系数小，一般不大于 $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，长期存放后容量变化小于 0.01%。可在高温下工作，其最高环境温度可达 460°C。

(3) 玻璃釉电容器：玻璃釉电容器具有体积小、损耗小、稳定性好、漏电流小、电感量低、温度特性好等优点，其性能可以与云母电容相媲美。它主要应用于高频电路。

3. 电解电容器

(1) 铝电解电容器 (型号 CD)：铝电解电容器分为有极性和无极性两种，广泛应用于家用电器和各种电子产品中。额定电压一般为 6.3~500V，容量为 1~10000μF。

(2) 钽电解电容器 (型号 CA)：钽电解电容器也分为有极性和无极性两种。具有损耗小、频率特性好、耐高温、漏电流小等优点，其缺点是生产成本低、耐压低。钽电解电容器广泛应用于通信、航天、军工及家用电器上各种中、低频电路和时间常数设置电路中。

4. 可变电容器

(1) 可变电容器：可变电容器是一种电容量可以在一定范围内调节的电容器，按介质材料分为空气介质电容器和固体介质电容器两种。空气介质电容器一般用在收音机、电子仪器、高频信号发生器、通信设备及有关电子设备中；固体介质电容器以云母或塑料为介质，具有体积小、重量轻等优点，常应用在无线电接收系统和有关电子仪器中。

(2) 半可变电容器：半可变电容器也称微调电容器，分为云母微调电容器、瓷介微调电容器、薄膜微调电容器和拉线微调电容器等。它主要在各种调谐和振荡电路中作为补偿电容器或校正电容器。

2.3.5 电容器的合理选用与质量判别

1. 电容器的合理选用

电容器种类繁多，性能各异，选用时应考虑如下因素：

(1) **选择合适的介质:** 电容器的介质不同, 性能差异较大, 用途也不完全相同。设计时, 应根据电容器在电路中的作用及实际电路的要求合理选用。

(2) **额定电压:** 不同类型的电容器有其不同的电压系列, 所选的电容器必须在其系列之内。此外, 所选的电容器的额定电压一般高于电容器实际承受电压的 1~2 倍, 但选用电解电容器例外, 特别是液体电解质电容器, 限于自身结构特点, 一般应使电路中实际承受电压为被选电容器额定电压的 50%~70%, 这样才能充分发挥电解电容器的作用, 不论选用何种电容器, 都不得使电容器耐压低于电路中的实际电压, 否则电容器将会被击穿。

(3) **标称容量及精度等级:** 在确定容量时, 要根据设计电路计算的容量值, 选定一个靠近的系列容量值。在确定精度时, 要考虑电路对精度的要求, 不要盲目地追求电容器的精度等级, 因为电容器精度越高价格越昂贵。

(4) **对损耗因数 $\tan\delta$ 的选择:** $\tan\delta$ 对电路性能 (特别是高频电路) 影响很大, 直接影响整机的技术指标, 因此在高频电路或对信号相位要求严格的电路中, 应考虑 $\tan\delta$ 值的大小。

(5) **体积:** 在产品设计中, 特别是在印制电路中, 在满足电路要求的前提下, 应尽量选择体积小的电容器。

(6) **成本:** 在满足技术指标条件下, 尽量使用价格低廉的电容器, 以降低系统成本。

表 2.3.3 列出了根据用途选择合适介质电容器的参考表。

表 2.3.3 根据用途选择合适介质电容器参考表

用 途	介 质	电 容 量	工作电压/V	损耗因数 ($\tan\delta$)
高频旁路	陶瓷 (I 型)	8.2~1000pF	500	15×10^{-4}
	云母	51~4700pF	500	10×10^{-4}
	玻璃釉	100~3300pF	500	12×10^{-4}
	涤纶	100~3300pF	400	0.015
	玻璃釉	10~3300pF	100	15×10^{-4}
低频旁路	纸介	0.001~0.5F	500	
	陶瓷 (II 型)	0.001~0.047F	<500	0.04
	铝电解	10~1000 μ F	25~450	0.2
	涤纶	0.001~0.047 μ F	400	0.015
电源输入 抗高频干扰	纸介	0.001~0.22 μ F	<1000	0.015
	陶瓷 (II 型)	0.001~0.047 μ F	<500	0.04
	云母	0.001~0.047 μ F	<500	0.001
	涤纶	0.001~0.1 μ F	<1000	<0.015
调谐	陶瓷 (I 型)	1~1000pF	500	15×10^{-4}
	云母	51~1000pF	500	13×10^{-4}
	玻璃膜	51~1000pF	500	12×10^{-4}
	聚苯乙烯	51~1000pF	<1600	0.001
滤波	纸介	0.01~10 μ F	1000	0.015
	铝电解	10~3300 μ F	25~450	<0.2
	复合纸介	0.01~10 μ F	2000	0.015
	液体钽	220~3300 μ F	16~125	0.2~0.5

(续表)

用途	介质	电容量	工作电压/V	损耗因数 ($\tan\delta$)
滤波器	陶瓷	100~4700pF	500	15×10^{-4}
	聚苯乙烯	100~4700pF	500	15×10^{-4}
	云母	51~4700pF	500	15×10^{-4}
储能	纸介	10~50 μ F	1~30kV	0.015
	复合纸介	10~50 μ F	1~30kV	0.015
	铝电解	100~3300 μ F	1~5kV	0.15
高频耦合	云母	470~6800pF	500	0.001
	聚苯乙烯	470~6800pF	400	0.001
	陶瓷 (I 型)	10~6800pF	500	15×10^{-4}
低频耦合	纸介	0.001~0.1 μ F	<630	0.015
	铝电解	1~47 μ F	450	0.15
	陶瓷 (II 型)	0.001~0.047 μ F	<500	0.04
	涤纶	0.001~0.1 μ F	<400	<0.015
	固体钽电解	0.33~470 μ F	<62	<0.15
计算机电源	铝电解	1000~100 000 μ F	25~100	>0.3
高频电压	陶瓷 (I 型)	470~6800pF	<12kV	10×10^{-4}
	聚苯乙烯	180~4000pF	<30kV	10×10^{-4}
	云母	330~2000pF	<10kV	10×10^{-4}
晶体管电路 小型电容器	金属化纸介	0.001~10 μ F	<160	<0.01
	陶瓷 (I 型)	1~500pF	<160	15×10^{-4}
晶体管电路 小型电容器	陶瓷 (II 型)	680pF~0.047 μ F	63	<0.04
	云母	4.7~1000pF	100	<0.001
	铝电解	1~3300 μ F	6.3~50	<0.2
	钽电解	1~3300 μ F	6.3~63	<0.15
	聚苯乙烯	0.0047~0.47 μ F	<50~100	<0.001
	玻璃釉	10~3300pF	<63	15×10^{-4}
	金属化涤纶	0.1~1 μ F	63	15×10^{-4}
	聚丙烯	0.01~0.47 μ F	63~160	1×10^{-3}

2. 电容器的质量判别

准确检测电容器的性能，需要专用的检测仪表，通常可用模拟万用表的电阻挡，检测电容器的性能。

(1) 用万用表的电阻挡检测电容器的性能，要选择合适的挡位：检测大容量的电容器，应选用小电流挡；检测小容量的电容器，应选用大电流挡。一般 50 μ F 以上的电容器宜选用 R \times 100 或更小的电阻挡；1~50 μ F 之间的电容器宜选用 R \times 1k 挡；1 μ F 以下的电容器宜选用 R \times 10k 挡。

(2) 检测电容器漏电电阻的方法：用万用表的表笔与电容器的两根引线接触，随着充电过程的结束，指针应回到接近无穷大处，此时的电阻值即为电容器的漏电电阻值。一般电容器的漏电电阻为几百欧姆至几千欧姆。测量时，若表针指到或接近欧姆零点，表明电容器内部短路；若指针不动，始终指在无穷大处，则说明电容器内部开路或失效。对于容量在 0.1 μ F 以下的电容器，由于漏电电阻接近无穷大，难以分辨，因此，在这种情况下，不能用上述方法检测电容器内部是否开路。

2.4 电感器和变压器

电感器和变压器都是用绝缘导线(如漆包线、纱包线等)绕制而成的电磁感应元件,也是电子电路中常用的元器件之一。

2.4.1 电感器

电感器又称电感线圈,是一种储能元件,具有通直流、阻交流的特性。

1. 电感器的作用

电感器的主要作用是对交流信号进行隔离、滤波或与电容器、电阻器一起构成谐振电路。还可用作频率补偿。

2. 电感器的分类

电感器的种类很多。按结构划分,可分为空心电感器、磁心电感器和铁心电感器;按工作参数划分,可分为固定电感器、可变电感器、微调电感器;按功能划分,可分为振荡电感器、耦合电感器、扼流电感器、校正电感器(如电视机行线性校正线圈)和偏转电感器(如电视机行、场偏转线圈)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。

3. 电感器的主要参数

电感器的主要参数有电感量、品质因数、额定电流和分布电容等。

(1) **电感量**: 电感量也称自感系数。其单位为 H(亨),常用辅助单位有 mH(毫亨), μH (微亨),它们之间的关系为 $1\text{H} = 10^3\text{mH} = 10^6\mu\text{H}$ 。

同电阻器、电容器一样,电感器的标称电感量也有允许偏差,高精度电感的允许偏差为 $\pm 0.2\% \sim \pm 0.5\%$,常用于振荡、滤波等电路中;而一般精度的电感允许偏差为 $\pm 5\% \sim \pm 15\%$,常用于耦合、高频扼流等电路中。

(2) **品质因数**: 品质因数也称 Q 值,是衡量电感器质量的重要参数。电感器的 Q 值越高,损耗越小,效率越高,选择性越好。

(3) **额定电流**: 额定电流是指电感器正常工作时所允许通过的最大电流值。对于高频扼流圈、大功率谐振线圈,这一参数尤为重要。

(4) **分布电容**: 分布电容是指线圈匝与匝之间、线圈与磁心之间存在的电容。为了保证线圈有效电感量的稳定,在使用电感线圈时,应使其工作频率尽量远低于线圈的固有频率 f_0 ($f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC_0}$),也就是说,只有尽量减小分布电容,才能增大 Q 值。

4. 几种常用的电感器

(1) **小型固定电感器**: 小型固定电感器(色码电感),主要用于滤波、振荡、陷波及延迟电路中。有立式和卧式两种外形结构。国产立式小型固定电感器有 LG 和 LG2 系列,电感量一般为 $0.1 \sim 22000\mu\text{H}$,额定工作电流为 $0.05 \sim 1.6\text{A}$,误差范围为 $\pm 5\% \sim \pm 10\%$ 。国产卧式小型固定电感器有 LG1, LGA 和 LGX 系列, LG1 型电感量一般为 $0.1 \sim 22000\mu\text{H}$,额定工作电流为 $0.05 \sim 1.6\text{A}$,误差范围为 $\pm 5\% \sim \pm 10\%$; LGA 为超小型结构,外形与 $1/2\text{W}$ 色环电阻器相似,其电感量为 $0.22 \sim 100\mu\text{H}$,额定工作电流为 $0.09 \sim 0.4\text{A}$; LGX 也为超小型结构,电感量范围为 $0.1 \sim 10000\mu\text{H}$,额定工作电流分为 50mA 、 150mA 、 300mA 、 1.6A 四种规格。

(2) **罐形磁心线圈**: 采用罐形磁心制作的电感器,具有较高的磁导率和电感量,通常用于 LC 滤波器和谐振电路中。

(3) **平面电感器**: 平面电感器是在陶瓷或玻璃基片上沉积金属导线而成的,其稳定性、精度和可靠性都比较好。通常应用于频率范围在几十兆赫兹到几百兆赫兹的电路中。

(4) **可调电感器**：常用的可调电感器有半导体收音机用振荡线圈、电视机用行振荡线圈、行线性线圈、中频陷波线圈、音响用频率补偿线圈和阻波线圈等。

5. 电感器的合理选用与质量判别

(1) **电感器的合理选用**：选用电感器时，主要考虑其性能参数(如电感量、额定电流、品质因数等)及外形尺寸是否满足要求。例如，若小型固定电感器和色码电感器的电感量、额定电流相同，外形尺寸相近，则两者可以互相代用。

(2) **电感器的质量判别**：判别电感量通常要靠电感电容表或具有电感测量功能的专用万用表来测量；判别电感器是否有开路或短路现象可用万用表的 $R \times 1$ 挡测量其电阻值，若电感器的电阻值为 0，则说明电感器短路；若电感器的电阻值为无穷大，则说明电感器开路。

2.4.2 变压器

变压器是利用电感器的电磁感应原理制成的元件。它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。

1. 变压器的作用

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。

2. 变压器的分类

变压器的种类很多，按用途划分，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；按工作频率划分，可分为低频变压器、中频变压器和高频变压器等。

3. 变压器的主要参数

(1) **变压比(或变阻比)**：变压器的变压比(或变阻比)是指初级电压(或阻抗)与次级电压(或阻抗)的比值。通常变压比直接标出电压变换值，如 220V/16V；电阻比则以阻抗比值表示，如 3:1 表示初级与次级阻抗比值为 3:1。

(2) **额定功率**：额定功率是指变压器在指定频率和电压下能连续工作而不超过规定温度的输出功率，用伏安表示，单位为 W(瓦)或 kW(千瓦)。

(3) **效率**：效率是指在额定负载条件下，变压器输出功率与输入功率的比值，反映了变压器自身的损耗。变压器自身的损耗越小，效率越高。变压器的效率一般为 60%~100%。

(4) **绝缘电阻和抗电强度**：绝缘电阻是指变压器线圈之间、线圈与铁心之间及引线之间的电阻；抗电强度是指在规定时间内变压器可承受的电压，是变压器特别是电源变压器安全工作的重要参数。

4. 几种常用的变压器

(1) **电源变压器**：电源变压器的主要作用是提升交流电压(升压)或降低交流电压(降压)，稳压电源和各种家电产品中使用的变压器均属于降压电源变压器。电源变压器有“E”形、“C”形和环形三种类型。“E”形电源变压器的铁心是用硅钢片交叠而成的，其优点是成本低廉，缺点是磁路中的气隙较大、效率较低、工作时噪声较大。“C”形电源变压器的铁心是由两块形状相同的“C”形铁心(由冷轧硅钢带制成)对插而成的，其磁路中的气隙较“E”形电源变压器小，各项性能也比“E”形电源变压器好。环形电源变压器的铁心是由冷轧硅钢带卷绕制成的，磁路中无气隙，漏磁小、效率高、工作时噪声较小。

(2) **低频变压器**：低频变压器既用来传送信号电压和信号功率，也可实现电路之间的阻抗匹配，对直流电具有隔离作用。分为级间耦合变压器、输入变压器和输出变压器。

(3) **高频变压器**：常用的高频变压器有天线阻抗变换器和半导体收音机中的天线线圈等。

(4) **中频变压器**：中频变压器简称“中周”，主要在接收机中作为选频元件，在电路中起信号耦合和选频作用。调节其磁心，改变线圈的电感量，可改变中频信号的灵敏度选择性和通频带。

(5) **脉冲变压器**：脉冲变压器用于各种脉冲电路中，其工作电压、电流均为脉冲波。常用的脉冲变压器有电视机的行输出变压器、行推动变压器、开关变压器、电子点火的脉冲变压器、臭气发生器的脉冲变压器等。

(6) **隔离变压器**：隔离变压器的主要作用是隔离电源、切断干扰源的耦合通路和传输通道，其变比等于 1。按用途，分为电源隔离变压器和干扰隔离变压器。

(7) **恒压变压器**：恒压变压器是根据铁磁谐振原理制成的一种交流电压变压器，具有稳压、抗干扰和自动短路保护等功能。当输入电压在 $-20\% \sim +10\%$ 范围内变化时，其输出电压的变化不超过 $\pm 1\%$ 。即使恒压变压器输出端出现短路故障，在 30min 内也不会出现损坏。恒压变压器在使用时，只要接上整流桥堆和滤波电容，即可构成直流稳压电源，可省去其余的稳压电路。

5. 变压器的合理选用与质量判别

(1) **变压器的合理选择**：要根据电路系统的实际需求选择不同类型的变压器。用途不同，关注的性能参数也有所区别。选择电源变压器时，要与负载电路相匹配，电源变压器的标称额定功率要大于负载电路的最大功率，其绝缘电阻和抗电强度亦应满足要求，并留有一定裕量，输出电压应与负载电路供电部分的交流输入电压相同。一般电源电路，可选择“E”形铁心电源变压器，若是高保真音频功率放大器的电源电路，则应选用“C”形电源变压器或环形电源变压器。

选择中频变压器时，要选择固有谐振频率与电路中频工作频率相同的中频变压器。

(2) **变压器的质量判别**：电源变压器的质量判别主要检查绕组的通断、输出电压及绝缘性能。检查绕组的通断，可用万用表的 $R \times 1$ 挡分别测量初级、次级绕组的电阻值。通常降压变压器初级绕组的阻值应为几十欧姆至几百欧姆，次级绕组的阻值为几欧姆至几十欧姆，若测得某绕组的阻值为 0，则说明该绕组已短路；若测得某绕组的阻值为无穷大，则说明该绕组已开路。

检查输出电压可将变压器的初级接 220V 交流电压，用万用表的交流电压挡测量次级交流输出电压是否与标称值相符（允许误差范围 $\leq +5\%$ ）。

电源变压器的绝缘性能可用万用表的 $R \times 10k$ 挡或用兆欧表来测量。若两绕组之间或铁心与绕组之间的电阻值为无穷大，则变压器是正常的，若阻值小于 $10M\Omega$ ，则说明该变压器的绝缘性能不良。

以上判别方法也适用于行推动变压器和开关变压器。

2.5 继电器

2.5.1 继电器的作用

继电器是一种控制器件，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。

2.5.2 继电器的分类

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。本节只介绍应用最为广泛的电磁式继电器。

2.5.3 电磁式继电器的主要参数

1. 线圈电源与线圈功率

线圈电源是指继电器线圈使用的工作电源是直流电还是交流电；线圈功率是指继电器线圈所消耗的额定电功率。

2. 额定工作电压和额定工作电流

额定工作电压是指继电器正常工作时线圈所需要的电压值。直流电磁式继电器的额定工作电压有 3V, 5V, 6V, 9V, 12V, 15V, 18V, 24V, 48V 等。额定电流是指继电器正常工作时线圈所需要的电流值。当线圈两端电压与额定工作电压相符时, 能可靠地将簧片吸起, 实现通、断转换。

3. 吸合电压与吸合电流

吸合电压是指继电器能产生吸合动作的最小电压；吸合电流是指继电器能产生吸合动作的最小电流。

4. 释放电压与释放电流

释放电压是指继电器能产生释放动作的最大电压；释放电流是指继电器能产生释放动作的最大电流。

5. 线圈电阻

线圈电阻是指继电器线圈的直流电阻。当继电器的额定工作电压已知后, 可由线圈电阻求出线圈的工作电流。

6. 触点负荷

触点负荷是指继电器触点能安全承受的最大电流和最高电压。当超过此电流值和电压值时, 就会影响继电器正常工作, 甚至会损坏继电器触点。

电磁式继电器除上述电参数外, 还有动作(转换)时间、接触电阻等。需要时, 可查阅产品手册。

2.5.4 电磁式继电器的合理选用与质量判别

1. 电磁式继电器的合理选用

(1) 继电器线圈电源电压的选择: 选择电磁式继电器时应首先选择继电器线圈电源电压是直流还是交流。继电器的额定工作电压一般应小于或等于其控制电路的工作电压。

(2) 线圈额定工作电流的选择: 线圈额定工作电流(一般为吸合电流的两倍)应选择在驱动电路的输出电流范围内。

(3) 触点类型和触点负荷的选择: 同一型号的电磁继电器有单组触点、双组触点、多组触点及常开触点、常闭触点等多种形式, 应根据实际需要, 选择适合电路的触点类型。

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, 以免烧毁触点。

(4) 选择合适的体积: 继电器的体积大小通常与继电器的触点负荷大小有关。应根据应用电路的要求, 选择合适体积的继电器。

2. 电磁式继电器的质量判别

(1) 检测继电器触点的接触电阻: 用万用表的 $R \times 1$ 挡, 测量继电器常闭触点的电阻值, 正常值应为 0。再使继电器吸起, 用万用表的 $R \times 1$ 挡, 测量继电器常开触点的电阻值, 正常值也应为 0。若不为 0 或为无穷大, 说明触点接触不良或接触不上。

(2) 检测继电器线圈电阻: 正常的继电器线圈电阻值一般为 $25\Omega \sim 2k\Omega$ 。若线圈电阻值较正常值低很多, 说明线圈内部有短路故障; 若线圈电阻值为无穷大, 说明继电器线圈已开路。表 2.5.1 列出了常用的 JZC-21F 超小型直流继电器 (0.3W) 的主要参数, 供选用和检测时参考。

表 2.5.1 JZC-21F 超小型直流继电器的主要参数

规格代号	额定电压(DC)/V	线圈电阻/ $\Omega(\pm 10\%)$	吸合电压/V	释放电压/V	触点负荷
003	3	25	2.25	0.36	直流 28V (3A) 或交流 120V (3A), 220V (1.5A)
005	5	70	2.75	0.6	
006	6	100	4.5	0.72	
009	9	225	6.75	1.08	
012	12	400	9	1.44	
024	24	1600	18	2.88	
048	48	6400	36	5.76	

由表 2.5.1 可以看出，额定电压越高，线圈电阻值越大。

(3) 估测吸合电压和释放电压：被测继电器电磁线圈的两端接 0~35V (2A) 可调式直流稳压电源，然后将电压由低逐步上调，当听到继电器触点吸合动作声时，此时电压值即为吸合电压值。额定工作电压一般为吸合电压的 1.3~1.5 倍。

继电器吸合后，再把电压缓慢下调，直到继电器触点释放，此时的电压值即为释放电压值。它一般为吸合电压的 10%~50%。

(4) 估测吸合电流和释放电流：测试电路如图 2.5.1 所示。

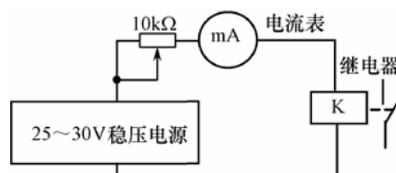


图 2.5.1 电磁式继电器测试电路

接通电源后，由大到小调节电位器值，直至继电器吸合，此时电流表读数即为继电器吸合电流。额定工作电流一般为吸合电流的两倍。然后再缓慢增大电位器阻值，当继电器触点由吸合状态突然释放时，电流表读数即为继电器的释放电流。

2.6 半导体器件

随着电子技术的飞速发展，集成电路的应用日趋广泛，在很多场合已取代了分立器件，但在某些领域（如大功率），分立器件仍在发展，电子系统中仍不可避免地应用到分立器件。本节就分立器件的选择及应用中有关问题进行介绍。

2.6.1 晶体二极管

1. 晶体二极管的分类

晶体二极管有多种类型，按材料划分，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；按结构划分，可分为点接触型二极管、面接触型二极管；按用途和功能划分，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；按工作频率划分，可分为高频二极管和低频二极管；按电流容量划分，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. 常见二极管的电路符号

常见二极管的电路符号如图 2.6.1 所示。

	半导体二极管		稳压二极管
	发光二极管		双向击穿二极管
	变容二极管		双向二极管、 交流开关二极管
	温度效应二极管		体效应二极管
	隧道二极管		磁敏二极管

图 2.6.1 二极管的电路符号

3. 晶体二极管的主要电参数

二极管的用途、功能不同，其电参数也不同。普通二极管的主要电参数有额定正向工作电流 I_F 、最高反向工作电压 U_R 、反向饱和电流 I_S 、正向电压降 U_D 、最高工作频率 f_M 等。这些在电子电路中均已学过，不再赘述。除上述电参数以外，稳压二极管还有稳定电压 U_Z 、稳定电流 I_Z 、额定功耗 P_Z 、最大稳定电流 I_{ZM} 、动态电阻 R_Z 等参数；变容二极管还有势垒电容 C_T 、效率 Q 、电容温度系数 C_{TC} 等主要参数；双向触发二极管和开关二极管还有转折电压 U_S 、维持电流 I_H 等参数；快速恢复二极管和肖特基二极管还有反向恢复时间 T_{rr} 等参数；发光二极管和激光二极管还有发光强度 I_V 、发光波长 λ_p 、光功率 P 等参数。这里只就这些参数进行介绍。

(1) 稳定电压 U_Z ：是指稳压二极管反向击穿时的稳压值。

(2) 稳定电流 I_Z ：也称稳压工作电流，是指稳压二极管正常稳压工作时的反向电流。它一般为最大稳定电流 I_{ZM} （即最大反向电流）的 1/2 左右。

(3) 额定功耗 P_Z ：是指稳压二极管正常稳压工作时的耗散功率。

(4) 动态电阻 R_Z ：是指稳压二极管两端电压变化随电流变化的比值。显然， R_Z 越小，稳压效果越好。

(5) 势垒电容 C_T ：是指变容二极管的 PN 结电容，其容量随反向偏压的变化而改变。

(6) 效率 Q ：是指在规定的频率和偏压下，变容二极管的存储能量与消耗能量之比。

(7) 电容温度系数 C_{TC} ：是指在规定的频率、偏压和温度范围内，变容二极管结电容随温度的相对变化率。

(8) 转折电压 U_S ：是指双向二极管由截止变为导通所需的正向电压。

(9) 维持电流 I_H ：是指双向触发二极管或开关二极管维持导通状态所需的最小工作电流。

(10) 反向恢复时间 T_{rr} ：是指快速恢复二极管（或肖特基二极管）处于正、负电压变换的瞬间，电流不随电压极性改变而迅速改变所产生的延迟现象或其工作电流通过零点由正向转变为反向、再从反向转变为规定低值的时间间隔。

(11) 发光强度 I_V ：是发光二极管的光学指标，表示发光强度的大小，其单位是 mcd。

(12) 发光波长 λ_p ：也称峰值波长，是指发光二极管或激光二极管在一定工作条件下，其发射光的峰值所对应的波长。

(13) 光功率 P ：是指激光二极管输出的激光功率，与半导体材料的结构有关。

4. 常用的晶体二极管

在一般电子电路中，常用的二极管有整流二极管、检波二极管、稳压二极管、变容二极管和发光二极管等。

(1) 整流二极管：整流二极管的作用是利用其单向导电性，将交流电变成直流电。整流二极管不

仅有硅管和锗管之分，还有低频和低频、大功率和中(或小)功率之别。由于硅管具有良好的温度特性和耐压特性，所以选用时多选用硅管。整流二极管的特点是：工作频率较低，允许通过的正向电流较大，反向击穿电压较高，允许的工作温度也较高。

整流二极管的应用电路如图 2.6.2 所示。图中的电容 C 起滤波作用，目的是滤除整流输出中的交流成分，该电容的容量越大，滤波效果越好，其值一般在几百微法至几千微法。

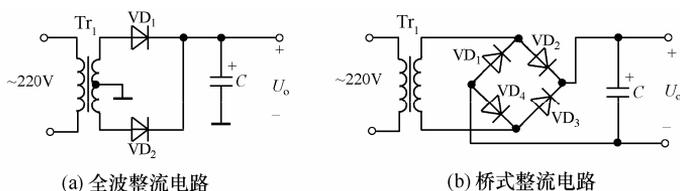


图 2.6.2 整流二极管的应用电路

(2) 检波二极管：检波二极管的作用是利用其单向导电性将调制在高频或中频无线电信号中的低频信号或音频信号取(解调)出来，被广泛应用于收音机、电视机、收录机及通信设备的小信号电路中，其工作频率较高、处理信号较弱，因此多采用点接触型锗管。

检波二极管的典型应用电路如图 2.6.3 所示。

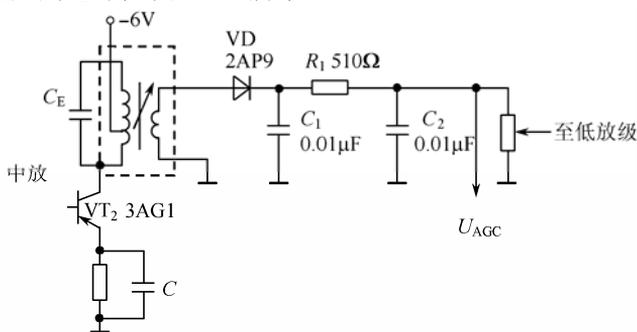


图 2.6.3 检波二极管的典型应用电路

(3) 稳压二极管：稳压二极管又称齐纳二极管，在电路中起稳压作用。只要适当控制反向电流，稳压管就不会损坏。稳压管的封装形式有金属外壳、玻璃外壳和塑料外壳三种，其中以金属外壳封装最为常见；按其电流大小可分为大功率稳压二极管(2A 以上)和小功率稳压二极管(1.5A 以下)；按其内部结构可分为单稳压二极管和双稳压二极管(三电极稳压二极管)，双稳压二极管的外形与三极管的外形相同，电路符号如图 2.6.4 所示。



图 2.6.4 三电极稳压二极管的电路符号

稳压二极管的典型应用电路如图 2.6.5 所示。

(4) 变容二极管：变容二极管是利用 PN 结势垒电容随反向偏压变化特性制成的半导体器件，在电视机、录像机和收录机中多用于高频调谐和自动频率微调电路中做可变电容器使用，如在调谐器 UHF 和 VHF 频段中做调谐用。变容二极管按封装形式可分为金属外壳、玻璃外壳、塑料外壳等多种，通常功率较大的变容二极管采用金属外壳封装，而功率较小的变容二极管多采用玻璃外壳封装、塑料外壳封装或无引线表面封装。

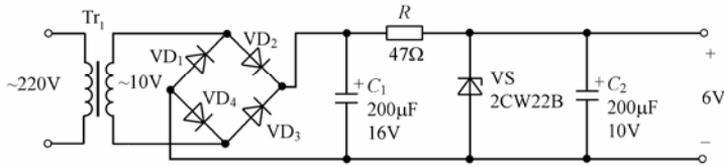


图 2.6.5 稳压二极管的典型应用电路

(5) **发光二极管**：发光二极管也具有单向导电性，广泛应用于各种电子电路、照明、家用电器和仪器仪表等设备中，用做灯光照明、LED 显示屏、电源指示或电平指示。发光二极管按其外形可分为圆形、方形、矩形、三角形和组合型等多种形状；按发光颜色可分为红色、琥珀色、黄色、橙色、浅蓝色、绿色、黑色、白色和透明无色等多种颜色。另外，发光二极管还可分为普通单色发光二极管、高亮度发光二极管、超高亮度发光二极管、变色发光二极管、闪烁发光二极管、电压控制发光二极管和红外发光二极管等。

① **普通单色发光二极管**：普通单色发光二极管具有体积小、工作电压低、工作电流小、发光均匀稳定、响应速度快、寿命长等优点。可用各种直流、交流、脉冲等电源驱动发光。它属于电流控制型半导体器件，使用时需要串接合适的限流电阻。普通单色发光二极管的典型应用电路如图 2.6.6 所示。

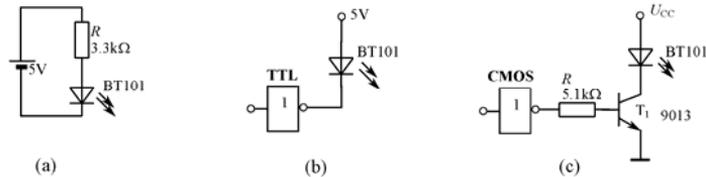


图 2.6.6 普通单色发光二极管的典型应用电路

常用的国产普通单色发光二极管有 BT 系列、FG 系列和 2EF 系列。常用的进口普通单色发光二极管有 SLR 系列和 SLC 系列等。

② **高亮度单色发光二极管和超高亮度单色发光二极管**：高亮度单色发光二极管和超高亮度单色发光二极管使用的半导体材料与普通发光二极管不同，所以发光强度也不同。通常，高亮度单色发光二极管使用砷铝化镓 (GaAlAs) 等材料，超高亮度单色发光二极管使用磷铟砷化镓 (GaAsInP) 等材料，而普通单色发光二极管使用磷化镓 (GaP) 或磷砷化镓 (GaAsP) 等材料。

③ **变色发光二极管**：变色发光二极管是能够变换发光颜色的发光二极管。按发光颜色的种类，分为双色发光二极管、三色发光二极管和多色 (有红、蓝、绿、白四种颜色) 发光二极管。

常用的双色发光二极管有 BT 系列和 2EF 系列，常用的三色发光二极管有 2EF302, 2EF312, 2EF322 等型号。

④ **闪烁发光二极管 (BTS)**：闪烁发光二极管是一种由 CMOS 集成电路和发光二极管组成的特殊发光器件，一般应用于报警指示及欠压、过压指示。其内部电路框图如图 2.6.7 所示。

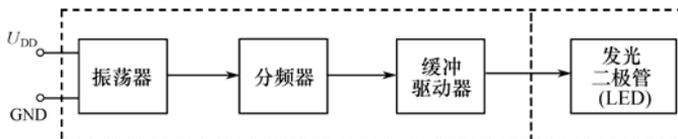


图 2.6.7 闪烁发光二极管内部电路框图

闪烁发光二极管在使用时，无须外接其他元件，只要在其引脚间加上适当的直流工作电压 (5V)，即可闪烁发光。