

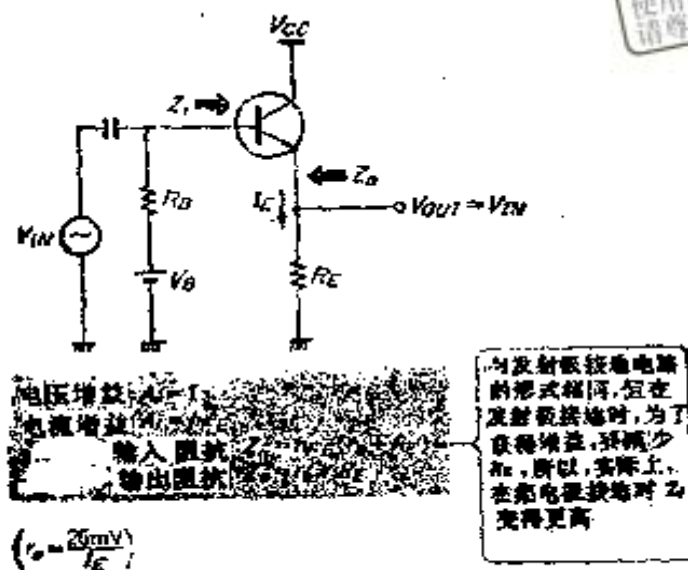


图3-6 集电极接地电路(射极跟随器)

3.3 晶体二极管的使用

(1) 基本特性

① 正向特性

为了了解二极管的基本工作情况,我们来分析图3-7所示的电路。



图3-7 研究二极管 $V-I$ 特性的电路

首先,将可变电阻器旋转到最低位置,使 $V=0\text{V}$ 。从这一状态开始,旋转可变电阻器,使 V 缓慢增大,则如图3-8所

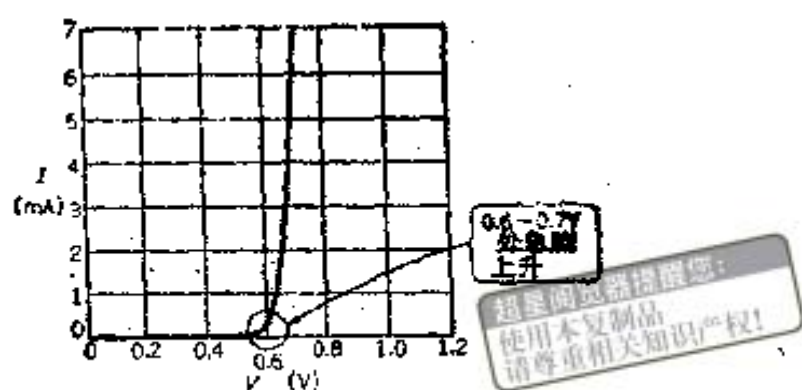


图3-8 $V-I$ 特性

示, 在 $V=0.6\text{V}$ 处, I 将急剧上升。即使再旋转可变电阻器, V 值也在 $0.6\sim 0.7\text{V}$ 左右, 而不会超过这一数值。

如果仔细地研究图3-8曲线, 注意到正是电流值多少有所差别(若减小 R_s , 也可能使电流大致相同), 但与图3-3的晶体管 $V_{BE}-I_C$ 的特性曲线几乎相同。这是因为两者都是采用硅制作的。

与晶体管的情况一样, 如果有适当的电流流过二极管, 则其两端的电压一定为 $0.6\sim 0.7\text{V}$ (此电压叫作 V_F)。如果设 $R_s=0$, 并将可变电阻调到最上端(二极管上直接加上电源电压 E), 则二极管被损坏, 所以这是绝不能允许的。

② 反向特性

将电源电压 E 更换为负电压, 如果高于 1.5V 时, 研究将会出现什么情况。

将此情况示于图3-9。二极管仅允许在一个方向上有电流流过, 但是, 实际上也会有很小的反向电流。并且, 如果在负方向上使 V 增大时, 存在着电流突然变大的时刻。如果此电流不被限制, 则二极管将被破坏。

以上基本情况对所有二极管都是适用的(也有部分二极管例外)。在何种情况下二极管工作呢? 这将随二极管的种类

和用途而异。

超星阅读器提醒您：
使用本复制品
请尊重相关知识产权！

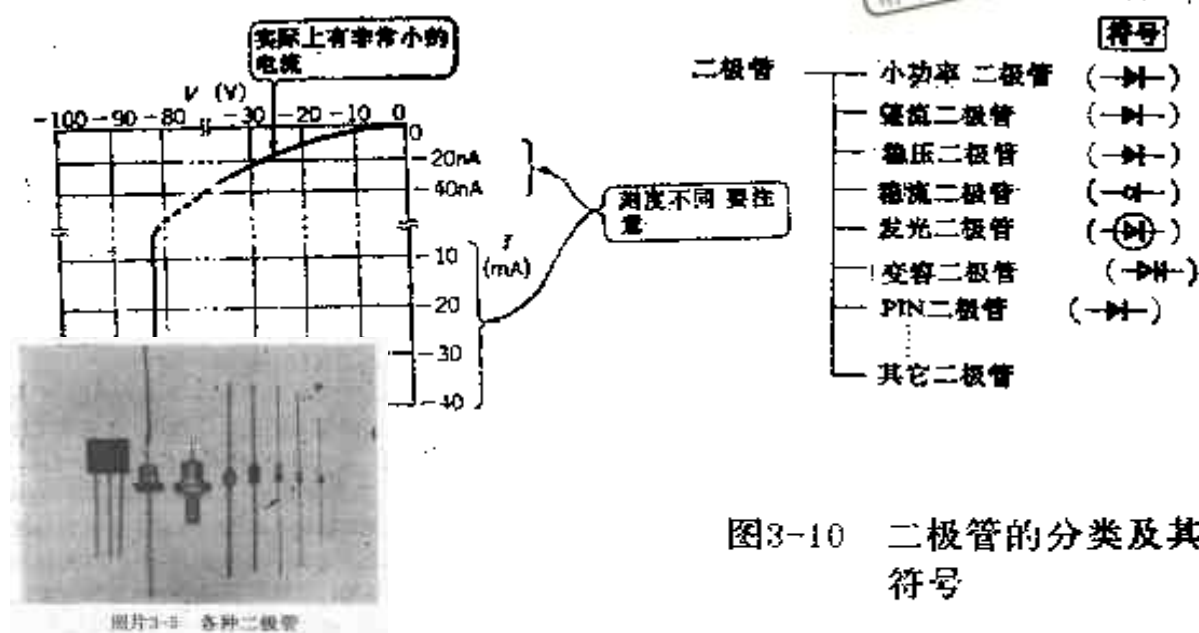


图3-10 二极管的分类及其符号

(2) 二极管的种类及其基本使用方法

如图3-10所示，与晶体管相比，二极管按功能用途的分类是能很清楚地区分的，并且，其种类也很多。照片3-5为各种二极管的外观情况。

① 小功率二极管：小功率二极管是用于小信号检波、开关或产生偏压等的品种，是二极管中最基本的品种。利用

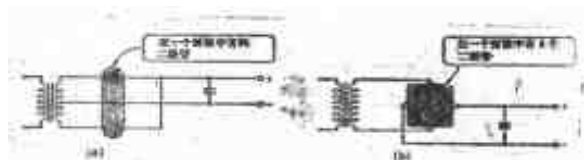


图3-11 全波整流电路

超星阅读器提醒您：
使用本复制品
须尊重相关知识产权！

其单向导通的性质，或利用正向电流流过时产生的 V_F 。

② 整流二极管：整流二极管与小功率二极管相比，其电流容量将大幅度增加。它利用电流单向导通的性质，对交流电源进行整流。有的品种将两个或四个器件制作在一个封装之内，这类器件便于用在全波整流⑦的中心抽头式(图3-11(a))和桥式整流(图3-11(b))电路中。

③ 恒压(齐纳)二极管：恒压二极管是一种能使图3-9中的电流急剧增加时的电压保持恒定的二极管。这种二极管具有即使电流发生变化，电压也保持恒定这一特性。此时的电压叫做齐纳电压，一般为5~24V。

使用方法如图3-12所示，与图3-7相比，二极管的极性是反向使用的。根据上述可知，这种二极管应工作在 $V-I$ 特性的恒压区域。即使因 E 变化而使流经ZD的电流 I_Z (称谓齐纳电流)变化，一般情况下，ZD两端的电压 V_Z 也保持恒定。

④ 恒流二极管：恒流二极管正是因其电流恒定而得名。而实际上，如图3-13所示，由于FET的作用而使之成为恒压电路。当然，二极管两端所加电压即使发生变化，其电流也不会变化。此电流值常为100 μ A至几毫安。

⑦ 全波整流：利用交流的正半周和负半周的整流方式，叫作全波整流。与此对应，仅利用半周的整流叫做半波整流。

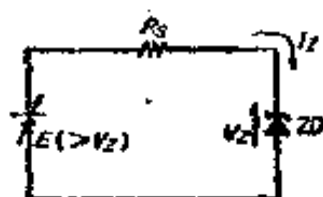


图3-12 恒压二极管的使用方法



图3-13 恒流二极管的等效电路

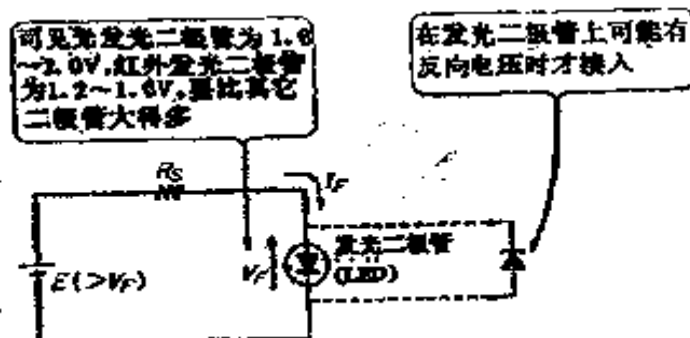


图3-14 发光二极管的使用方法

⑤ **发光二极管**：发光二极管(LED)顾名思义，是能发光的二极管，具有可发红、绿、黄、橙各种颜色以及红外光的各类品种。

使用方法如图3-14所示，只有正向电流流过^④，使用时应注意两点：其一是与通常的二极管 $V_F=0.7V$ 相对应，发光二极管的 V_F 有的高达 $1.2\sim 2.0V$ (可见光发光二极管： $1.6\sim 2.0V$ ；红外光发光二极管： $1.2\sim 1.6V$)，这是因为制作发光二极管的材料不是硅，而是GaP、GaAsP、GaAlAs等。其二是，这种管子的反向耐压非常低，只有几伏。因此，在加上反偏压时，应在其上反向并联一只小功率二极管，这就能将最高反向电压控制在 $0.7V$ 。

⑥ **变容二极管**：变容二极管(Varicap)是通过改变反

④ 正向电流(Forward Current)：由正向负极流动的电流(A $\rightarrow$ K)。

偏压来控制两端之间电容量的一种二极管。可应用于电子调谐和AFC^①中。用于调频场合，其容量最大为几十微微法；若用于调幅场合，最大为几百微微法。

使用方法如图3-15所示。由于等效电路中 R_g 与C并联，所以 R_g 值必须十分大。

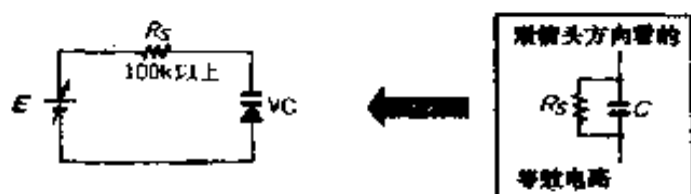


图3-15 变容二极管的使用方法

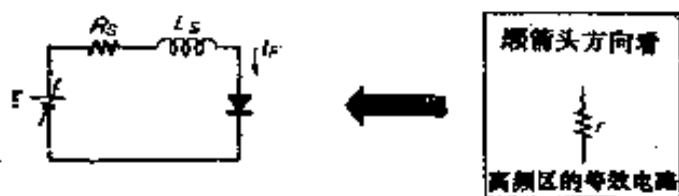


图3-16 PIN二极管的使用方法

⑦ PIN二极管：PIN二极管是一种随着正向电流值的变化，高频电阻发生变化的二极管，可用于高频信号的转换和衰减。

使用方法见图3-16。当 $I_F = 10\text{mA}$ 时， r 可变为 10Ω 。如设 $I_F = 0$ ，则 $r = \infty$ 。实际上，由于在高频条件下，两端子之间的电容量不能忽略不计，受到一定的限制。

① 自动频率控制 (AFC)：自动频率调整的意思，能防止因漂移等原因造成的频率偏离。

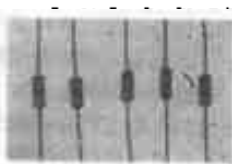
第四章 电阻器和电容器的使用方法

超星阅读器提醒您：
使用本复制品
请尊重知识产权！

在设计电路时，要着眼于集成电路和晶体管等有源器件，而电阻器和电容器之类的无源元件往往被忽略。电路中，对功能和性能起支配作用的是有源器件，然而，如果不正确选择元件，有源器件10%的有用性能也发挥不出来。总性能能够充分发挥出来，无源元件则用。



照片4-1 碳膜电阻器



照片4-2 实芯电阻器

4.1 电阻器的使用方法

(1) 电阻器的种类及其使用方法

按电阻体的材料种类不同，可分为以下5类：

- ① 碳膜电阻器
- ② 实芯电阻器
- ③ 金属膜电阻器
- ④ 金属氧化膜电阻器



电阻器

照片4-4 金属氧化膜电阻器

⑤ 线绕电阻器

这些电阻器的外形见照片4-1~4-5；而其特点见表4-1。

照片4-5 线绕电阻器

当前使用得最多的是碳膜电阻器。这种电阻器价廉，易获得，而且性能也适用。在本书的制作篇中，除特殊场合之外，均使用这种碳膜电阻器。

一般来讲，这种碳膜电阻器不能用于高精度场合，所以象滤波器的时间常数电路之类，必须具有高精度，应该使用金属膜电阻器。另外，在所处理的信号是十分微弱的电路里，虽然它对精度没有特殊要求，但由于金属膜电阻器的电流噪声小，因此也应使用金属膜电阻器。

碳膜和金属膜电阻器有允许功耗不可能大的缺点。若使用金属氧化膜电阻器或线绕电阻器，就能承受更大的功率。其中，金属氧化膜电阻器主要用于中功率，而线绕电阻器则主要用于大功率的场合。在高频电路或环境条件恶劣的场合，

表4-1 电阻器的种类及其特点

种 类	阻 值 (Ω)		功 耗 (W)		精 度 (%)		温 度 系 数 (ppm/ $^{\circ}\text{C}$)		特 点		征 点
	最低	最高	最低	最高	最低	最高	最低	最高	优 点	缺 点	
碳膜电阻器	1	10M	1/8	2	± 1	± 5		(± 1000)	价廉 易获得	不能获得高精度 不阻燃 不耐浪△电压	
实芯电阻器	2.2	22M	1/8	2	± 5	± 20		(± 1000)	价廉 可得高阻值 耐浪△电压	不能获得高精度 电流噪声大	
金属膜电阻器	0.2	10M	1/8	2	± 0.05	± 5	± 5	± 350	高精度 温度特性好 稳定性好 电流噪声小	价高 不耐浪△电压	
金属氧化膜电阻	0.2	500k	1/4	10	± 2	± 10		(± 350)	耐环境变化	不耐浪△电压 不能获得高阻值	
线绕电阻器	0.01	250k	1/2	600	± 0.05	± 10	± 50	± 350	电流噪声最小 耐浪△电压	高频特性差 (有电感) 不能获得高阻值	

应该用金属氧化膜电阻器。在电流噪声要求严格的电路及需要处理冲击电压和要求低电阻值的地方,应使用线绕电阻器。

除了表4-1中所列举的电阻器之外,还有电阻器陈列。这种产品是将多只电阻器组装在一个封装之中,其外形有单封装(SIP)和双列式封装(DIP)。其特点是阻值的相对误差非常小,而且电阻温度系数几乎是一致的。

(2) 色码的读法

目前出品的电阻器,其阻值几乎均以色码方式表示。如果不会阅读色码,就不可能知道其阻值,不能选择元件。

图4-1为色码表,可供初学者查阅。

在电阻体上标有4条色带,而其中只有一条色带与其余的色带之间的间隔宽。以这条色带为右侧,然后从左边开始读取颜色。

左边第一条颜色(第一行)为1~9;从左边数起第2条颜色(第二行)为0~9。第3条颜色(第3行)为指数部分,根据这些颜色码确定是几十欧还是几百欧,右边第一条色带表示误差。

颜色	第1行	第2行	第3行	第4行
黑	--	0	00Ω	--
棕	1	1	000Ω	±1%
红	2	2	0.0kΩ	±2%
橙	3	3	00kΩ	--
黄	4	4	000kΩ	--
绿	5	5	0.0MΩ	--
蓝	6	6	--	--
紫	7	7	--	--
灰	8	8	--	--
白	9	9	--	--
金	--	--	--	±5%
银	--	--	--	±10%

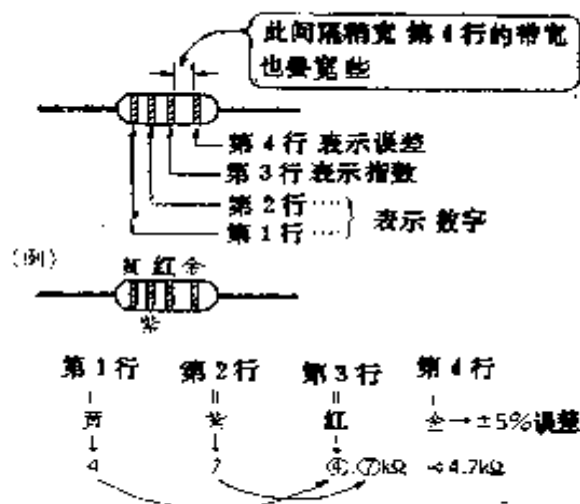


图4-1 电阻器色码的阅读方法

现举一例来说明，有一只从左开始的色带为“黄紫红金”的电阻器。首先，第一行色带为黄色，即表示“4”。由于第2行为紫色，则说明是“7”。第3行为红色，则为 $0.0\text{k}\Omega$ 。

由此，将“4”、“7”按顺序代入“ $0.0\text{k}\Omega$ ”的位置，即成为 $4.7\text{k}\Omega$ 。由于第4条的金色，即表示电阻器的误差为 $\pm 5\%$ 。即这只电阻器为 $4.7\text{k}\Omega$ 的产品，误差为 $\pm 5\%$ 。假如第3行颜色为橙色，则电阻值为 $47\text{k}\Omega$ ；如若为茶色，则阻值为 $470\text{k}\Omega$ 。

通常，我们在组装电路时所使用的电阻器的阻值精度大多为 $\pm 5\%$ ，只在特殊部分才使用 $\pm 1\%$ 或 $\pm 2\%$ 的，以及更高精度的电阻。

对于高精度电阻器而言，有的产品的色带不是4条，而是5条。此时，表示数字部分的色带为1~3行，第4行为指数部分，第5条为误差。其阅读方法与4条色带的产品基本相同，而表示指数部分的颜色只有一条。例如，“ $4.7\text{k}\Omega \pm 1\%$ ”时，即为“黄紫黑茶黑”。若为 $47\text{k}\Omega$ ，则第4行为红色，若为 470Ω 时，则为黑色。若为“茶黑黑黑”颜色时，即成为“ $100\Omega \pm 1\%$ ”。

(3) 电阻值

在进行电路设计时，往往需要使用各种各样阻值的电阻器，但实际能弄到手的，则可能是有限的几种阻值的电阻器。

一般容易到手的阻值如表4-2所示。该表所列的阻值为同一数量级的电阻器中的电阻器品种，实际的阻值应为该表中数值的 10^N 倍($N=0, 1, 2, 3, 4$ 等)。

例如，若为 $0\text{k}\Omega$ 范围，对E24系列来讲，具有从 $1\sim 9.1\text{k}\Omega$ 的阻值；对于E12系列来讲，具有从 $1\sim 8.2\text{k}\Omega$ ，每隔一个数值去掉一个E24系列所示数值的阻值。爱好者所采用的阻值，不

表4-2 E24系列和E12系列的阻值表

电阻值 ($\times 10^3 \Omega$)	E24 系列	E12 系列	电阻值 ($\times 10^3 \Omega$)	E24 系列	E12 系列
1.0	○	○	3.3	○	○
1.1	○		3.6	○	
1.2	○	○	3.9	○	○
1.5	○		4.3	○	
1.6	○	○	4.7	○	○
1.8	○		5.1	○	
2.0	○	○	5.6	○	○
2.2	○		6.2	○	
2.4	○	○	6.8	○	○
2.7	○		7.5	○	
3.0	○	○	8.2	○	○
			9.1	○	

论是对E24系列，还是对E12系列均没有特别的意义。因此，可采用E24系列所示的阻值。

E24系列之外的阻值较难买到，因此应根据E24系列中的阻值来组成电路。但是，在 10Ω 以下或 $100k\Omega$ 以上时，E12系列阻值的产品是容易获得的。

对于专业厂家来讲，4倍于E24系列的E96系列和其他特殊的电阻器，也都有可能被使用。但从成本和交货期的角度来考虑，则是可能避免使用这些系列的产品的。希望只采用E12系列的产品就能组成所需的电路。

例如，如图4-2所示，打算用运算放大器制作增益为5倍的非倒相放大器，于是必须设 $R_f:R_i=4:1$ 。

此时，由于上述比例为4:1，不能简单地理解为 $4k\Omega:1k\Omega$ 。这是因为，在E24系列中没有 $4k\Omega$ 的电阻值。如果采用最靠近的阻值，则应选 $3.9k\Omega$ ，于是增益为4.9倍，稍微有一些误差。

此时，只要能正确地选择 R_f 与 R_i 之比即可。若选 $R_f=12k\Omega$ ， $R_i=3k\Omega$ ，或者选 $R_f=3k\Omega$ ， $R_i=750\Omega$ ，则增益正好为5倍。

另外, 若为5:1的比例, 则可有7.5kΩ/1.5kΩ、10kΩ/2kΩ、11kΩ/2.2kΩ、12kΩ/2.4kΩ、15kΩ/3kΩ、18kΩ/3.6kΩ等不同阻值的组合方式; 若为7:1时, 可选9.1kΩ/1.3kΩ; 若为8:1时, 可选16kΩ/2kΩ、24kΩ/3kΩ; 若为9:1时, 可选18kΩ/2kΩ、27kΩ/3kΩ的组合方式。

对电路来讲, 大多数情况下, 电阻值之比要比其绝对值更为重要, 因此, 只要头脑中有此概念, 只采用E24系列已能基本满足需要了。迫不得已时, 可将几只电阻器进行串并联处理, 就能获得所希望的阻值。

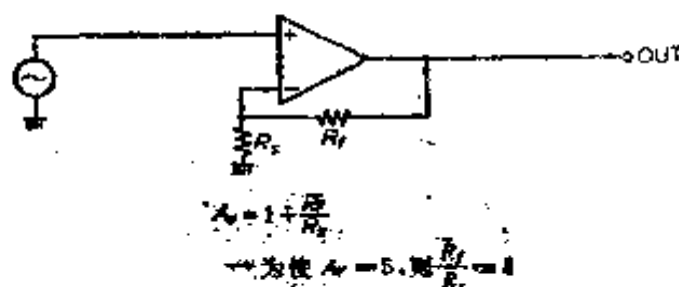


图4-2 非倒相放大电路

(4) 额定功率

若在电阻器的两端加上电压, 或电阻器上有电流流过时, 此电阻器上必然会有功率消耗。电阻器上的功率 P 为:

$$P = \frac{E^2}{R} = I^2 R \quad (\text{W})$$

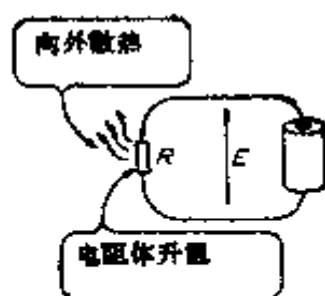
其中, E : 电阻器两端的电压(V)

I : 流过电阻器的电流(A)

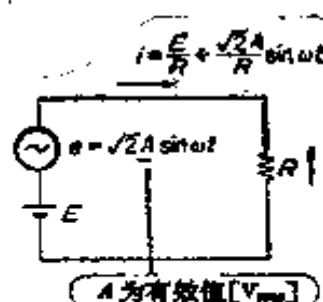
R : 电阻值(Ω)

此功率将完全转变成为热量, 散发到大气之中(图4-3)。

而且, 即使直流电压为0V(电流为0A), 而其上若加有交流信号, 则其上也有功耗。此时, 上式中的 E 的单位应变



电阻器消耗的功率
 $P = \frac{E^2}{R} \text{ [W]}$



功耗: $P = \frac{E^2}{R} + \frac{A^2}{R} \text{ (W)}$

超星浏览器提醒您:
使用本复制品
请尊重相关知识产权!

图4-3 电阻器的功耗

图4-4 在电阻器上有交流电流通过时

为有效值 $[V_{rms}]$ 或 I 的单位变为有效值 $[A_{rms}]$, 其计算方法不变。下面, 我们分析电阻器上同时加有直流和交流(脉动电流)时的情况。如图4-4所示, 假设在电阻器上加有直流电压 E 和交流电压 $e = \sqrt{2} A \sin \omega t$ 形成的脉动电流。此时, 电阻器上的功耗 P 为:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T e i dt = \frac{E^2}{R} + \frac{A^2}{R}$$

即为直流电压产生的功耗与交流电压产生的功耗之和。这些功耗将使电阻器在此过程中发热。其温升将由功耗与电阻器所具有的热阻的乘积值决定。此热阻与电阻器的额定功率值密切相关, 额定功率值越大, 其热阻值越小。即对于同样的功耗来讲, 额定功率值越大, 则温升也就越小。

若分析功耗与额定功率值的关系, 绝对不能允许功耗超过额定功率值。进而若再考虑到电阻器的发热问题, 则必须将其功耗控制在额定功率值的1/2以下。其理由在于, 如果功耗与额定功率值相同时, 温升将变高(用手触摸时, 将烫手), 电阻器的寿命和可靠性将下降, 并且对周围环境也将造成十分不良的影响。

(5) 可变电阻器与半可变电阻器

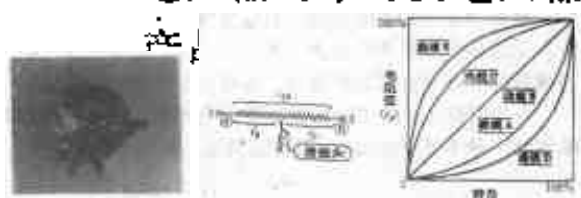


照片4-6 可变电阻器

照片4-7 半可变电阻器(碳膜型)

照片4-8 半可变电阻器(金属陶瓷型)

还是半可变电阻器，均是指其阻值可定值的电阻器。照片4-6~4-9为可变的照片。除此之外，还有各种类型的



照片4-9 半可变电阻器(线绕型)

图4-5 可变电阻器与半可变电阻器

图4-6 可变电阻器的特性曲线

从电路图来看，图4-5所示有三个端子，滑触头可从②移动到①。例如我们来讨论端子1与端子2之间的电阻 r_a ，则当滑触头在②处时，其阻值为0；当动臂移动到①时，端子1与端子3之间的阻值等于 r_{ab} 。

在可变电阻器中，按照滑触头的位置，即转角与阻值之

间的关系，作出了各种曲线。图4-6即为这种特性曲线。曲线B表示转角与阻值是成正比的。在图4-5中，若滑触头的位置处于③与④的中点位置，则 $r_a = r_b = 1/2 r_{ab}$ 。曲线A是按照阻值呈指数形式增长的方式设计的。曲线D的变化速度要比曲线A的更快。与曲线A、D相反，曲线C、E是按阻值呈现对数形式增长而进行设计的。以B直线为对称轴，曲线C、E与曲线A、D相互对称。并且，半可变电阻器其阻值多数按曲线B的规律变化。

半可变电阻器的种类：根据电阻体的种类不同，可分为三类：

- a. 碳膜半可变电阻器
- b. 金属陶瓷型半可变电阻器
- c. 线绕半可变电阻器

碳膜型半可变电阻器的价格最便宜，然而其性能则最差，尤其是温度系数随阻值而变化，没有一定的规律可循。与碳膜型半可变电阻器相近的，还有实芯型半可变电阻器。

金属陶瓷型半可变电阻器是使用金属陶瓷电阻膜作为电阻体的一种半可变电阻器。温度系数为 $\pm 100 \sim 300 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 。

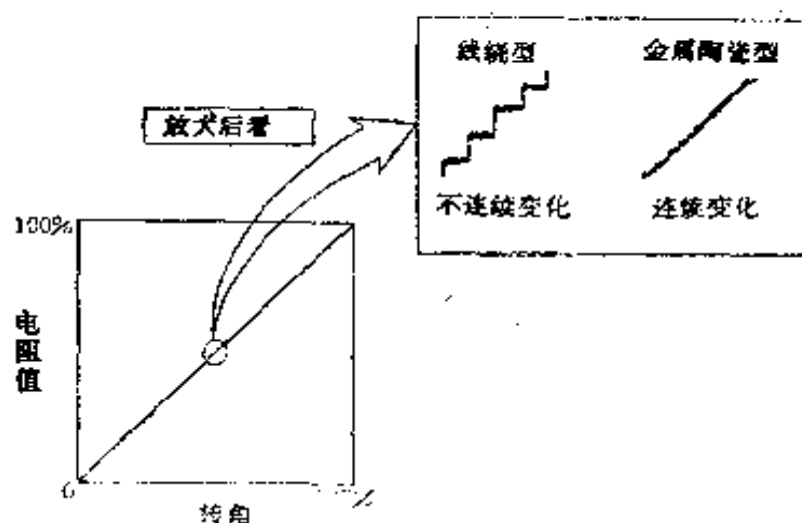


图4-7 与旋转角对应的阻值变化放大图

除了一般的单旋转型产品之外，还有10~20圈的多旋转型产品。这类产品能进行精确设计，主要用于模拟电路的微调部分。

线绕型半可变电阻器的价格最贵，但温度特性最好(可达到 $\pm 20\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 以下)，因此，最适合用于高精度场合。然而，如图4-7所示，其分辨率不良，不能进行精确设计。



照片4-10 铝电解电容器



照片4-11 钽电解电容器



照片4-12 有机薄膜电容器

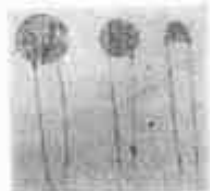
容器的使用方法

类与用途

容器也有各种各样的类型。与电阻器按照不同用途进行分类。照片4-10~

照片4-14所示，为几种典型的电容器。

电容器大致可以分为：



超星阅读器提醒您：
使用本复制品
请尊重相关知识产权！

照片4-13 金属化有机薄膜电容器

照片4-14 陶瓷电容器

- ① 铝电解电容器
- ② 钽电解电容器
- ③ 有机薄膜电容器
- ④ 金属化有机薄膜电容器
- ⑤ 陶瓷电容器
- ⑥ 其他

① 铝电解电容器(照片4-10)：简称为电解电容器的，就是指的这种铝电解电容器。其特点可以归纳为小型、大容量。但是频率特性和温度特性不良，漏电流和 $\text{tg } \delta$ 、介质损耗大等，作为电容器性能不如其他种类的电容器良好。

这种电容器的用途，主要是利用其大容量特性，用于电源滤波。此外，也可用于需要大中容量的场合。作为一个大概的界限，通常在 $0.1 \sim 1 \mu\text{F}$ 以上的电容器，可使用电解电容器；而在此容量以下者，可使用其他类型的电容器。

由于这种电容器的频率特性不良，所以不宜用于信号频率超过 100kHz 的场合。而且，由于漏电流大，因此也不宜用于 S/H ①电路、时间常数电路和积分电路②。

① S/H (Sample & Hold) 电路：通过控制电路的作用，按照输入信号原封不动地输出(采样期间)、或维持恒定(保持期间)的电路。

② 积分电路：使信号产生积分的电路，频率特性为低于 -6dB/oct 的直线。

如在耐压为50V或100V的电解电容器上，加上1V或2V电压使用的情况那样，若耐压与实际工作电压相差甚远时，会对电容器带来不良影响，所以应当加以避免。

② **钽电解电容器**(照片4-11)：也可简称钽电容器，但不能简单地看成是铝电解电容器的高性能化。这种电容器的价格高，而且不可能获得几百微法以上的大容量。

在容量于上述范围之内，又由于铝电解电容器的性能不良，而不能使用的时候，才使用这种钽电解电容器。例如，三端稳压器的输入输出旁路电容器、微弱信号电路的耦合及时间常数电路等。

即使称为高性能，也是相对于铝电解电容器而言的。由于性能不如有机薄膜电容器，所以能够使用有机薄膜电容器的场合，还是使用这种电容器为好。

③ **有机薄膜电容器**(照片4-12)：在有机绝缘薄膜的两面贴上电极箔，然后卷绕成圆筒状即可制成这种有机薄膜电容器。按照绝缘膜的种类，可分别称为聚酯电容器(涤纶电容器)、聚苯乙烯电容器、聚丙烯(PP)电容器、聚碳酸酯电容器等。

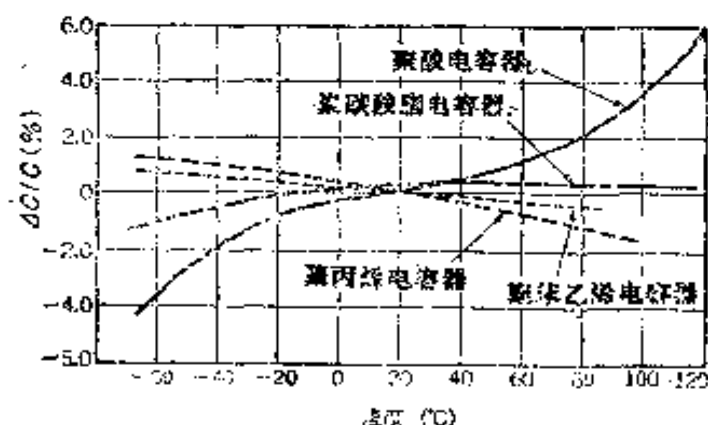


图4-6 各种有机薄膜电容器的容量温度特性

这种电容器的特点是 $\lg \delta$ 和介电吸收^④小,绝缘电阻高,只要是容量符合要求,就能使用在一般的模拟电路中。图4-8给出了各种有机薄膜电容器的温度特性,由此图可知,聚苯乙烯电容器的温度特性最好,所以在精度要求高的场合,可使用这种聚苯乙烯电容器。

④ 金属化有机薄膜电容器(照片4-13):有机薄膜电容器绝缘膜的两面有电极箔,而这种金属化有机薄膜电容器则是在薄膜上,蒸发上铝等金属,以取代上述电极箔,做成电极。由于此结构特点,较之有机薄膜电容器更加可以实现大容量和小型化。

在性能方面,除绝缘电阻之外,与有机薄膜电容器基本相同,而最大的差别就在于金属化薄膜电容器具有自愈功能。所谓自愈功能,是指电容器电极中的某部分发生短路时,电极金属会熔化蒸发掉,电容器的性能从而恢复。

这种金属化薄膜电容器的用途与有机薄膜电容器相同,常用于希望获得更加大容量或小型化的场合。但是,这种电容器在其两端所加电压极低,串联有高电阻,流过大交流电流时,或在调谐电路^⑤中使用,受到限制。

⑤ 陶瓷电容器(照片4-14):陶瓷电容器是一种介质为陶瓷材料的电容器,其频率特性十分优良。而且,具有耐热性好、性能稳定等特点。

按照介质的种类可分为:

(a) 低介电常数型(温度补偿用)

(b) 高介电常数型

④ 介电吸收:即使将带电电容器短路,如果一旦开路,又将出现电压的现象。

⑤ 调谐电路:根据 L 、 C 的串并联谐振原理,实现特定频率选择的电路。