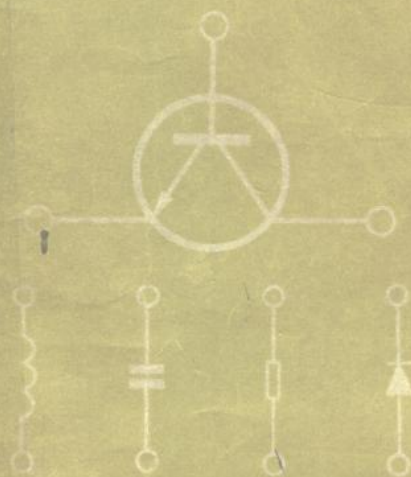


无线电电子基本知识之二

# 无线电元器件原理及选用



北京出版社

73.27  
285

无线电电子基本知识之二

# 无线电元器件原理及选用

贝 之 编著



北 京 出 版 社

1111384

无线电电子基本知识之二  
无线电元器件原理及选用  
贝 之 编著

\*

北 京 出 版 社 出 版  
(北京崇文门外东兴隆街51号)  
新华书店北京发行所发行  
北 京 印 刷 一 厂 印 刷

\*

787×1092毫米 32开本 8.25印张 178,000字  
1983年10月第1版 1983年10月第1次印刷  
印数 1-98,000  
书号: 15371·52 定价: 0.80元

## 内 容 提 要

本书包括电路的基本元件、电子管的原理及特性、半导体晶体管以及具有特殊功能的半导体器件等四章,分别介绍了常用的电子元器件的基本原理、工作特性及其典型应用。

本书适合从事无线电电子技术的工人和无线电爱好者自学或技术培训使用,也可供中专、技校学生和有关人员参考。

# 目 录

|                                                                   |        |
|-------------------------------------------------------------------|--------|
| 第一章 电路的基本元件.....                                                  | ( 1 )  |
| § 1-1 电阻器 .....                                                   | ( 1 )  |
| 一、电阻器的基本功用 (1) 二、电阻器的技术参数 (3) 三、电阻器的种类和主要特性 (11) 四、怎样选用电阻 (35)    |        |
| § 1-2 电容器 .....                                                   | ( 39 ) |
| 一、电容器的基本功能 (39) 二、几种常见电容器的主要特点 (41) 三、电容器的技术参数 (45) 四、电容器的选用 (53) |        |
| § 1-3 电感器 .....                                                   | ( 55 ) |
| 一、电感器在电路中的作用 (55) 二、电感器的种类和性能 (58)                                |        |
| 第二章 电子管原理及特性.....                                                 | ( 66 ) |
| § 2-1 什么是电子管 .....                                                | ( 66 ) |
| 一、电子管的基本构造 (66) 二、电子发射和阴极 (67)                                    |        |
| § 2-2 二极管 .....                                                   | ( 69 ) |
| 一、二极管的工作原理 (70) 二、二极管的特性参数 (73) 三、二极管的用途 (77)                     |        |
| § 2-3 三极管 .....                                                   | ( 77 ) |
| 一、三极管的工作原理 (77) 二、三极管的特性曲线 (79) 三、三极管的主要参数 (82) 四、三极管的极限参数(86)    |        |

|                                                                                            |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| § 2-4 多极管 .....                                                                            | ( 87 ) |
| 一、四极管 (87) 二、五极管 (89) 三、束射四极管 (94) 四、复合管和孪生管(96)                                           |        |
| § 2-5 电子管的选用 .....                                                                         | ( 98 ) |
| 一、电子管类型的选择 (98) 二、电子管质量的检查 (99) 三、不同型号电子管的代用问题(103)                                        |        |
| 第三章 半导体晶体管.....                                                                            | (104)  |
| § 3-1 半导体的基本知识 .....                                                                       | (104)  |
| 一、半导体材料锗和硅 (104) 二、本征半导体的导电性能 (107) 三、杂质半导体 (110)                                          |        |
| § 3-2 PN结和晶体二极管.....                                                                       | (114)  |
| 一、PN结的形成 (114) 二、晶体二极管 (116) 三、二极管特性参数 (118) 四、稳压二极管 (123) 五、二极管极性的判别方法 (124)              |        |
| § 3-3 晶体三极管的工作原理 .....                                                                     | (128)  |
| 一、晶体三极管 (128) 二、三极管的电流 (129) 三、三极管的基本用途 (134)                                              |        |
| § 3-4 晶体三极管的特性曲线 .....                                                                     | (136)  |
| 一、共射输入特性曲线 (137) 二、共射输出特性曲线 (138)                                                          |        |
| § 3-5 晶体三极管的主要参数 .....                                                                     | (142)  |
| 一、一般应用参数 (142) 二、极限参数 (146) 三、晶体管的散热 (150) 四、频率参数 (156) 五、开关参数 (159) 六、三极管的简易检查方法和识别 (162) |        |
| § 3-6 场效应晶体管 .....                                                                         | (165)  |
| 一、结型场效应晶体管 (177) 二、绝缘栅型场效应晶体管 (182) 三、场效应晶体管的主要参数 (187) 四、与使用有关的场效应管特点 (188)               |        |
| § 3-7 单结晶体管.....                                                                           | (189)  |

|                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| 一、单结晶体管的工作原理 (189)    | 二、单结晶体管的应用 (194)     |
| § 3-8 集成电路简介.....     | (197)                |
| 一、数字集成电路 (200)        | 二、模拟集成电路 (204)       |
| 第四章 具有特殊功能的半导体器件..... | (210)                |
| § 4-1 光电器件.....       | (210)                |
| 一、光敏电阻 (210)          | 二、光电池 (213)          |
| 三、发光二极管 (217)         | 四、光电二极管 (220)        |
| 五、光电三极管 (223)         | 六、光电耦合器 (226)        |
| 七、数码显示管 (232)         |                      |
| § 4-2 半导体热敏电阻 .....   | (234)                |
| 一、热敏电阻的工作原理(234)      | 二、热敏电阻的基本特性和参数 (236) |
| 三、热敏电阻的应用 (237)       |                      |
| § 4-3 气敏半导体器件.....    | (241)                |
| 一、气敏半导体器件的作用原理 (241)  | 二、气敏半导体器件的性能参数 (242) |
| 三、气敏半导体器件的应用 (243)    |                      |
| § 4-4 磁敏半导体器件 .....   | (244)                |
| 一、磁敏二极管 (245)         | 二、磁敏三极管 (250)        |

# 第一章 电路的基本元件

## § 1-1 电阻器

### 一、电阻器的基本功用

电流在导体中流通总要遇到一定阻力，阻碍电流的流通，这种作用称为电阻。但电路中所用的电阻，不是指一般导体中的电阻，而是专门设计制造的电阻器，简称电阻。这类电阻可以看成是一种具有特定条件和性能的导体。

电阻在电路中的作用，遵循欧姆定律的原则。如图 1-1(1)的闭合回路，其回路内的电流与电源电势成正比，而与电阻值成反比。即

$$I = \frac{E}{R}$$

如果回路内有多个电势，则  $E$  为总电势；回路内有多个电阻时，则  $R$  为总电阻值。在图 1-1(2) 中，当通过电阻的电流为  $I$  时，电阻两端必出现电压降，其值由

$$V_R = IR$$

确定。这两种情况，本质上是一回事。就电阻电路而言，不

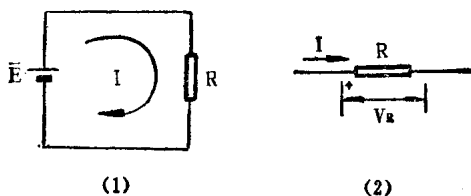


图 1-1

论是直流工作情况还是交流工作情况，这些关系一般地都是正确的。从这里，我们看到了电阻的降压和限流这两种现象，即电流通过电阻要产生电压降；电阻两端如果存在电势，必定要在电阻中产生电流。这正是电阻的基本作用。

图 1-2 是简单的晶体管放大电路。电路中的基极电流  $I_B$ ，从电源  $E_c$  正端通过电阻  $R_b$ 、晶体管基极  $b$  和发射极  $e$  流入电源负端；另外，集电极的电流  $I_c$ ，从电源  $E_c$  正端通过电阻  $R_c$ 、晶体管集电极  $c$  和发射极  $e$  也流入电源的负端。由于电流  $I_B$  流过电阻  $R_b$  产生了电压降  $V_{Rb}(=I_B R_b)$ ，所以晶体管  $b \sim e$  间的电压肯定要低于  $E_c$ 。这就是  $R_b$  的降压作用。根据同样的道理，由于  $R_c$  的降压作用，晶体管  $c \sim e$  间的电压必然也低于  $E_c$ 。另一方面，由于接入了这两个电阻，基极电流和集电极电流分别为

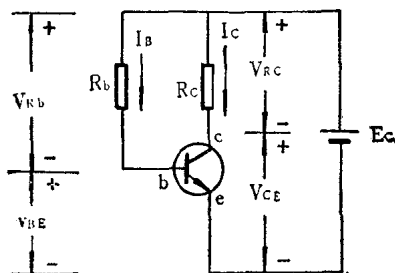


图 1-2

$$I_B = \frac{E_c - V_{BE}}{R_b} \quad (V_{BE} \text{ 为 } b \sim e \text{ 间的电压})$$

$$I_c = \frac{E_c - V_{CE}}{R_c} \quad (V_{CE} \text{ 为 } c \sim e \text{ 间的电压})$$

可以肯定，在任何情况下，基极电流  $I_B$  不会超过  $E_c/R_b$ ，集电极电流  $I_c$  不会超过  $E_c/R_c$ 。这就是电阻的限流作用。

## 二、电阻器的技术参数

### 1. 阻值与误差

电阻阻值的大小，基本上决定于导电材料和它的几何尺寸，它们之间有如下关系：

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

式中  $R$  为阻值，单位是欧姆； $\rho$  为导电材料的电阻系数（材料为导体时，单位取欧姆·平方毫米/米；材料为半导体或绝缘体时，单位取欧姆·厘米）； $l$  为材料长度，单位为米（导体）或厘米（半导体或绝缘体）； $s$  为截面积，单位是平方毫米（导体）或平方厘米（半导体或绝缘体）。上式表明，电阻的阻值与材料的电阻系数和它的长度成正比，而与它的横截面积成反比。

大量生产的电阻器，其额定阻值是根据国家主管部门颁发的标准制造的。同时，对不可避免的阻值误差，也作了相应的规定。电阻的制造精度，一般分为三级，即Ⅰ级（误差 $\pm 5\%$ ）、Ⅱ级（误差 $\pm 10\%$ ）、Ⅲ级（误差 $\pm 20\%$ ）。此外，还有误差 $\pm 2\%$ ， $\pm 1\%$ ， $\pm 0.5\%$ 等几种精密度较高的电阻等级。我国现行标准系列见表 1-1 和 1-2。

一般常用的电阻器有炭质、薄膜和线绕等几种。采用不同材料制作的电阻，可能达到的精度等级也不一样。其中合成碳阻由于不易精确地控制成分，只能作成Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级；薄膜电阻可以准确到 1~2%，必要时可达 0.1%；线绕电阻的准确度最高，可以作到 0.1% 以上。

### 2. 额定功率

电阻器在长时间工作下不致损坏的最大负载功率，称为电阻器的额定功率。电阻器所消耗的功率，基本上是转换成

表 1-1 电阻器标称阻值系列(部标NEO.010,000摘录)

电阻器的标称阻值应符合表中所列数值之一(或表列数值再乘以 $10^n$ ,其中 $n$ 为正整数或负整数)。

| 允许偏差 $\pm 5\%$ | 允许偏差 $\pm 10\%$ | 允许偏差 $\pm 20\%$ |
|----------------|-----------------|-----------------|
| E 24           | E 12            | E 6             |
| 1.0            | 1.0             | 1.0             |
| 1.1            |                 |                 |
| 1.2            | 1.2             |                 |
| 1.3            |                 |                 |
| 1.5            | 1.5             | 1.5             |
| 1.6            |                 |                 |
| 1.8            | 1.8             |                 |
| 2.0            |                 |                 |
| 2.2            | 2.2             | 2.2             |
| 2.4            |                 |                 |
| 2.7            | 2.7             |                 |
| 3.0            |                 |                 |
| 3.3            | 3.3             | 3.3             |
| 3.6            |                 |                 |
| 3.9            | 3.9             |                 |
| 4.3            |                 |                 |
| 4.7            | 4.7             | 4.7             |
| 5.1            |                 |                 |
| 5.6            | 5.6             |                 |
| 6.2            |                 |                 |
| 6.8            | 6.8             | 6.8             |
| 7.5            |                 |                 |
| 8.2            | 8.2             |                 |
| 9.1            |                 |                 |

表 1-2

精密电阻器标称阻值系列

精密电阻器的标称阻值应符合表中所列数值之一（或表列数值再乘以  $10^n$ ，其中  $n$  为正整数或负整数）。

允许偏差为  $\pm 2\%$  的产品优先采用 E 48 系列，允许偏差为  $\pm 0.5\%$  和精度更高的产品优先采用 E 192 系列。

| E 192 | E 96 | E 48 | E 192 | E 96 | E 48 | E 192 | E 96 | E 48 |
|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|
| 100   | 100  | 100  | 132   |      |      | 174   | 174  |      |
| 101   |      |      | 133   | 133  | 133  | 176   |      |      |
| 102   | 102  |      | 135   |      |      | 178   | 178  | 178  |
| 104   |      |      | 137   | 137  |      | 180   |      |      |
| 105   | 105  | 105  | 138   |      |      | 182   | 182  |      |
| 106   |      |      | 140   | 140  | 140  | 184   |      |      |
| 107   | 107  |      | 142   |      |      | 187   | 187  | 187  |
| 109   |      |      | 143   | 143  |      | 189   |      |      |
| 110   | 110  | 110  | 145   |      |      | 191   | 191  |      |
| 111   |      |      | 147   | 147  | 147  | 193   |      |      |
| 113   | 113  |      | 149   |      |      | 196   | 196  | 196  |
| 114   |      |      | 150   | 150  |      | 198   |      |      |
| 115   | 115  | 115  | 152   |      |      | 200   | 200  |      |
| 117   |      |      | 154   | 154  | 154  | 203   |      |      |
| 118   | 118  |      | 156   |      |      | 205   | 205  | 205  |
| 120   |      |      | 158   | 158  |      | 208   |      |      |
| 121   | 121  | 121  | 160   |      |      | 210   | 210  |      |
| 123   |      |      | 162   | 162  | 162  | 213   |      |      |
| 124   | 124  |      | 164   |      |      | 215   | 215  | 215  |
| 126   |      |      | 165   | 165  |      | 218   |      |      |
| 127   | 127  | 127  | 167   |      |      | 221   | 221  |      |
| 129   |      |      | 169   | 169  | 169  | 223   |      |      |
| 130   | 130  |      | 172   |      |      | 226   | 226  | 226  |

续表

| E 192 | E 96 | E 48 | E 192 | E 96 | E 48 | E 192 | E 96 | E 48 |
|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|
| 229   |      |      | 316   | 316  | 316  | 437   |      |      |
| 232   | 232  |      | 320   |      |      | 442   | 442  | 442  |
| 234   |      |      | 324   | 324  |      | 448   |      |      |
| 237   | 237  | 237  | 328   |      |      | 453   | 453  |      |
| 240   |      |      | 332   | 332  | 332  | 459   |      |      |
| 243   | 243  |      | 336   |      |      | 464   | 464  | 464  |
| 246   |      |      | 340   | 340  |      | 470   |      |      |
| 249   | 249  | 249  | 344   |      |      | 475   | 475  |      |
| 252   |      |      | 348   | 348  | 348  | 481   |      |      |
| 255   | 255  |      | 352   |      |      | 487   | 487  | 487  |
| 258   |      |      | 357   | 357  |      | 493   |      |      |
| 261   | 261  | 261  | 361   |      |      | 499   | 499  |      |
| 264   |      |      | 365   | 365  | 365  | 505   |      |      |
| 267   | 267  |      | 370   |      |      | 511   | 511  | 511  |
| 271   |      |      | 374   | 374  |      | 517   |      |      |
| 274   | 274  | 274  | 379   |      |      | 523   | 523  |      |
| 277   |      |      | 383   | 383  | 383  | 530   |      |      |
| 280   | 280  |      | 388   |      |      | 536   | 536  | 536  |
| 284   |      |      | 392   | 392  |      | 542   |      |      |
| 287   | 287  | 287  | 397   |      |      | 549   | 549  |      |
| 291   |      |      | 402   | 402  | 402  | 556   |      |      |
| 294   | 294  |      | 407   |      |      | 562   | 562  | 562  |
| 298   |      |      | 412   | 412  |      | 569   |      |      |
| 301   | 301  | 301  | 417   |      |      | 576   | 576  |      |
| 305   |      |      | 422   | 422  | 422  | 583   |      |      |
| 309   | 309  |      | 427   |      |      | 590   | 590  | 590  |
| 312   |      |      | 432   | 432  |      | 597   |      |      |

续表

| E 192 | E 96 | E 48 | E 192 | E 96 | E 48 | E 192 | E 96 | E 48 |
|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|
| 604   | 604  |      | 715   | 715  | 715  | 845   | 845  |      |
| 612   |      |      | 723   |      |      | 856   |      |      |
| 619   | 619  | 619  | 732   | 732  |      | 866   | 866  | 866  |
| 626   |      |      | 741   |      |      | 876   |      |      |
| 634   | 634  |      | 750   | 750  | 750  | 887   | 887  |      |
| 642   |      |      | 759   |      |      | 898   |      |      |
| 649   | 649  | 649  | 768   | 768  |      | 909   | 909  | 909  |
| 657   |      |      | 777   |      |      | 920   |      |      |
| 665   | 665  |      | 787   | 787  | 787  | 931   | 931  |      |
| 673   |      |      | 796   |      |      | 942   |      |      |
| 681   | 681  | 681  | 806   | 806  |      | 953   | 953  | 953  |
| 690   |      |      | 816   |      |      | 965   |      |      |
| 698   | 698  |      | 825   | 825  | 825  | 976   | 976  |      |
| 706   |      |      | 835   |      |      | 988   |      |      |

热能而使其产生温度升高。如果消耗功率超过额定值，由于温升过高，电阻器的参数就可能发生很大改变，甚至导致电阻器损坏。电阻器的额定功率，由电阻的散热面积、导电材料和骨架材料的耐热性能，以及整个电阻的最大允许温升等因素决定。由于各种电阻的材料和结构不同，允许的最高工作温度也不一样，如合成碳阻只能工作在  $100^{\circ}\text{C}$  以下，薄膜电阻的工作温度可以高一些，有的可达几百度，线绕电阻的情况也差不多。

显然，电阻的负载情况与环境温度的关系很大。例如，电阻在某一温度下（如室温）以额定功率工作，它所产生的温升并不超过允许值。但当环境温度升高后，负载功率则必

须低于额定功率，否则电阻器的温升就将超过允许值。在电阻器的技术指标中，通常以负载功率与环境温度的关系曲线表示。不同材料制成的电阻器，其负载—温度特性也不完全相同。

### 3. 抗电强度

这是指电阻器的最高工作电压，即电阻器在长时间内工作而不超过正常负荷时的最大电压。尤其是高阻值电阻，如果超过这个电压，就可能引起击穿而使电阻损坏。在脉冲负荷工作时的情况可能好一些，但过高的脉冲电压也会使电阻器内部产生火花或两端发生电晕，因此要受到一定限制。

### 4. 稳定性

影响电阻器阻值稳定性的因素很多，但主要的是温度、湿度和时间等几个方面。

电阻器的温度稳定性以温度系数表示，即

$$\alpha_R = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta t}$$

式中  $\alpha_R$  为电阻的温度系数； $R$  为电阻的标称值； $\Delta t$  为温度的绝对变化量； $\Delta R$  为在  $\Delta t$  温度变化下电阻阻值的绝对变化量。由上式可知，温度系数表示为温度每变化一度时，电阻阻值的相对变化量。对于金属及其合金的导电体，阻值与温度是线性关系，它们的温度系数多数是正值。具有半导体特性的导电体，阻值与温度的关系是曲线，其温度系数多数是负值。合成碳阻的温度系数较大，约为  $\pm 1000 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ；碳膜电阻的温度系数较小，可以作到  $-20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ；线绕电阻的温度系数约是  $20 \sim 200 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ；金属膜电阻的温度系数最小，可以作到接近于零。

电阻器对湿度的稳定性以潮湿系数  $K$ ，表示，即

$$K_r = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \times 100\%$$

式中  $R_1$  为正常环境下的阻值； $R_2$  为处在潮湿环境中（长期处于相对湿度大于 85% 的环境下）受潮后的阻值。一般说来，电阻受潮之后，由于材料膨胀，导电微粒接触变形，因而造成阻值变大。这种影响以合成碳阻最为严重。同时还可能在其表面附有水珠薄膜，形成对阻值的分路作用，这一现象就更增大了阻值的不稳定性。表面涂复优良、密封性能好的电阻，可以减小这一方面的影响。

电阻的阻值还会随贮存时间而改变。一般贮存一年以后，合成碳阻的阻值约改变 5%；碳膜电阻与线绕电阻改变 0.5%；金属膜电阻的改变可以小至 0.1% 以下。电阻器在长期工作之后，阻值也会发生改变。

上述结果，是由于电阻材料及其结构随时间而自然产生的各种物理的、化学的变化所造成的，这是一个复杂的老化过程。环境条件变化愈剧烈，长期满负荷工作，都会加速这个过程，而增大其不稳定性。

### 5. 电阻器的噪声

在实际应用中，电阻的两端会出现噪声电势而叠加在有用信号上。如电阻通以恒定的直流电流时，在电阻两端并非只是一个恒定的直流电压，而是叠加了一个不规则的交变分量。这个交变分量，就是电阻所产生的噪声电势。

电阻的噪声电势来源于热噪声和电流噪声。热噪声是电阻内部物质的热运动所产生的，其值由电阻阻值、温度和工作频带等因素决定。电阻的阻值愈大、工作温度愈高、工作频带愈宽，则噪声电势愈大。电流噪声是由于电流通过电阻时，导电微粒之间的非正常运动引起阻值的不稳定所造成

的，因此这部分噪声电势取决于材料及其结构。

电阻器的噪声，通常以外加一伏直流电压所产生的噪声电势来衡量，称为噪声比，即

$$E_z = \frac{e_z}{V}$$

式中  $E_z$  代表噪声比（微伏/伏）； $e_z$  是总噪声电势（微伏）； $V$  是外加直流电压（伏）。

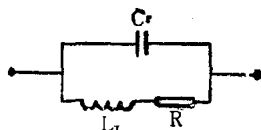


图 1-3

#### 6. 电阻器的附加参数

任何电阻，不论导电材料和结构形式如何，由于两端存在电位差，因而都有电容效应。而且电阻器通以电流之后，在其周围要产生电磁场，故也存在电感效应。所以，实际上的电阻器则是电阻、电容和电感的组合，如图 1-3 所示。图中电容  $C_r$  和电感  $L_r$  是附加量。

一般说来，由于附加量很微小，所以在直流或工作频率很低时， $C_r$  可视为开路， $L_r$  可视为短路，整个电阻是一纯电阻  $R$ 。只有当工作频率极高时， $C_r$  和  $L_r$  的作用才逐渐明显起来，此时  $C_r$  所形成的容抗已降低到可予比拟的程度；由于集肤效应的存在（随着工作频率升高，电流沿导体截面的分布出现不均匀，表面密度较大，中心最小，相当于导体的有效面积减小）， $R$  数值变大； $L_r$  的感抗大大上升。在这种情况下，电阻器的阻值不再简单地由它的标称值决定。但对于高阻值电阻和低阻值电阻的影响，可能有所不同。当阻值高时，如果  $\omega L_r$  仍比  $R$  小得多，则可将  $L_r$  忽略，只需考虑  $C_r$  的并联影响。如果是低阻值电阻， $C_r$  的容抗可能仍比  $R$  大得多，此时则可将  $C_r$  忽略，而需要注意  $L_r$  的串联影响。由此可见，高值电阻的实际阻值将随工作