

电子电路实验讲义

(二系各班级试用)

上

南京邮电学院二系专业基础实验室

一九八〇年一月

目 录

前言	1
----	---

第一章 电路元件

1-1 正确选择元件的重要性	3
1-2 电路元件的发展概况	4
1-3 电阻器	5
1-4 电容器	21
1-5 电感器	33
1-6 开关	43
1-7 电键与按键	45
1-8 塞子与塞孔	47
1-9 继电器	50

第二章 电路元件的焊接

2-1 电烙铁	66
2-2 焊锡与焊剂	68
2-3 焊接操作要注意什么	70
2-4 正确使用电烙铁	72
2-5 焊接工艺的发展	75

实验一 焊接操作练习	76
------------	----

第三章 晶体管测量

3-1 二极管的测量	78
3-2 小功率三极管的测量	81
3-3 大功率三极管的测量	89

3-4	用晶体管图示仪测量管子	92
3-5	单结晶体管的测量	99
3-6	结型场效应管的测量	102
3-7	可控硅的测量	104
实验一	用万用表测试晶体管练习	106

第四章 电子仪表

4-1	电子管(晶体管)电压(电平)表	107
4-2	振荡器	111
4-3	直流稳压电源	121
4-4	通用示波器	121
4-5	脉冲信号发生器	151
4-6	数字式频率计	16
4-7	频率特性测试仪	16

实验三	示波器、振荡器、电子管(晶体管)电压(电平)表 稳压电源的综合使用练习	17
-----	--	----

第五章 印刷电路板

5-1	印刷电路板制作工艺简介	18
5-2	业余制作印刷电路板的方法	18
5-3	小批量生产印刷板的方法	18
5-4	印刷板电路布线设计	111

实验四	1. 腐蚀演示; 2. 根据自己业余制作需要自选电路, 设计出印刷板布线图	18
-----	--	----

编 者 的 话

过去的教学实践中,《半导体电路》及《脉冲电路》两门课的实验均由任课教师列入课时授课计划中。实验活动由任课教师按教学进程适当安排。这种安排的优点是讲课内容与实验配合较好。但在实践中发现以下的一些问题:(1)有关实验方面的基本技能得不到有计划的训练,因此动手能力较差;(2)对实验中产生问题的分析能力,缺乏有意识的培养,因此联系实际的能力,分析问题的能力较差,普遍存在着不能用已学过的知识来解释实验中发生的现象,怎样更谈不上解决实际问题了;(3)有关电路元件的实际知识缺乏,没有适当的课程来介绍这方面的内容,有的学生甚至于不认识某种电阻器、电感器及电容器;(4)由于班级较多,实验时间的安排上矛盾较多,实验室的管理上也产生了不少问题。

由于以上的原因,二系自77届开始,各班级的《半导体电路》与《脉冲与数字电路》两门课程试行单独开设一门实验课,自成体系,并将实验课纳入课程表中,经这样改革后,以上两门课程将不做实验,只作课堂演示,而实验课则既有讲课又有实践活动。

单独开始实验课,在讲课内容与实验内容的配合上不如以前密切,但这个矛盾即使不单独开设实验课的话,也是存在的。由于班级多,轮流次数多,势必讲课内容与实验内容无法密切配合起来。

目前我们虽然强调要加强基础理论,但理论联系实际这一环节不能偏废。至于理论联系实际只能通过实践来解决,所以这门课程的要达到

的目的有五：即(1)加强科学实验的基本技能和方法的训练；(2)初步掌握故障寻找、分析和排除的方法；(3)介绍仪表使用知识和简单原理；(4)介绍电路元件知识；(5)通过实验培养学生对电子电路特性的测量方法，数据的读取与处理以及对实验现象观察的能力。

本课程的讲义是根据以上观点编写的，并经二系领导的同意。由于这门课是初次尝试，编者的知识有限，加以编写的时间仓促，教材中肯定会有不完善或错误的地方，只能在今后的教学实践中不断地发现、改进和提高。

第一章 电路元件

1-1 正确选择电路元件的重要性

目前世界上出现的电子设备，种类繁多，千变万化，真使人有眼花缭乱之感。可是打开机器一看，只是由种类不多的元件所组成。这些元件不外乎是：电子器件（晶体管、电子管等），电阻、电容、电感、开关、继电器等等。任何一种电子设备的组成过程，都有以下的规律，即由电路元件组成单元电路，进而由各种单元电路组成一个系统，再由各个系统组成整机。例如我们常用的 SBT-5 示波器，它由 X 轴系统、Y 轴系统、触发系统、扫描系统、时标及比较信号系统和电源系统组成。其中时标及比较信号系统是由脉冲振荡器、微分电路、多谐振荡器、放大器、阴极输出器等等之电路组成。而其中多谐振荡器又由电子管、电阻和电容组成。以上各单元电路之间，各系统之间都有着密切的联系，协调地工作，使机器具有一定的功能。

一个电子设备的构成与人体的构成极其相似。人体中由细胞组成器官，由各种器官组成系统（如神经系统、消化系统等），再由各系统组成了人体。这样看来，电路元件相当于组成我们人体的细胞。而组成电子设备的“细胞”种类则不多，除了电子器件（不在本课介绍）外，不外乎是电阻、电容、电感、开关和继电器而已。这些元件随着新材料的出现和制造工艺上的改进也在不断地发展。因此同样是一个电阻，却有许多种类。当我们设计出一个电路后，要把纸上的东西变成现实，就得用元件搭成电路，这就产生了一个合理选择元件的问题。只有掌握了各种元件的特性才能正确使用它，不致于产生大才小用或小才大用的现象，

大才小用是一种浪费，而小才大用将损坏元件。

1 - 2 电路元件的发展概况

促使电阻、电容和电感等元件发展的因素是：(1)电路对元件的要求愈来愈高。例如要求有较高的稳定度，低噪声，较低的温度系数及小型化等；(2)制造工艺的改进；(3)新材料的出现。自出现集成电路后，电阻、电容、电感等元件的制造工艺发生了极大的变化。

电阻器发展过程，最早出现的是线绕电阻。随着电路中要求的阻值越来越高，出现了合成电阻。后来发现合成电阻稳定性差，热噪声也大，因而出现了碳膜电阻。随后又出现了金属膜电阻，比碳膜电阻性能更好。现在集成电路中电阻是用扩散法制成的。目前有这样一种趋势，由于新材料的出现，又将生产合成电阻，这种电阻的最大特点是与其它电阻比较，在相同的体积下能通过较大的电流。

电容器的发展过程，最早出现的是纸介电容器和云母电容器，后来陆续出现了瓷介电容器、金属化纸介电容器、玻璃釉电容器、薄膜电容器。可变电容器出现得最早的是空气可变电容器及云母半可变电容器，随后出现了瓷介及薄膜半可变电容器。电解电容器最早出现的是电解液电容器，后来出现了干式电解液电容器及钽电容器。集成电路中电容器制造比较困难，所以在数字集成电路中一般都不采用电容器。如需要的电容量较小，集成电路中采用了反向偏置的PN结电容和二氧化硅介质电容两种。

电感器最早出现的是铁芯电感器（用于低频电路），空心电感器（用于高频电路），由于高频与低频铁氧体的出现，有些电感器用铁氧

体代替了原有的铁芯，体积大大缩小。最近几年国外出现了印刷电感器，将线圈印在一张薄膜上，然后将薄膜重叠，并将它们串联起来就成了一个线圈。集成电路中由于体积的限制无法制造电感器，但是近来出现了半导体电感器。它不用线圈而能产生电感的效果。

1 - 3 电阻器

1 - 3 - 1 电阻器在电路中的作用

电阻器在电路中的作用有下列几种：(1)限制电路中的电流；(2)分压，(3)阻抗匹配；(4)作为放大器的负载。

1 - 3 - 2 固定电阻器

固定电阻器的种类很多，按材料可分为线绕和非线绕两大类。非线绕电阻又因材料的不同有合成（实芯）电阻，碳膜电阻，金属膜电阻，氧化膜电阻，合成膜电阻等。

1. 合成电阻（实芯炭质电阻，型号RS）

这是一种比较老的电阻，但它的制作简单，成本低，要求不高的场合使用。合成电阻的导电材料一般用碳黑或石墨，粘合材料采用树脂。用这两种成分，再加入滑石粉或云母粉等填料，经过磨细，并按一定比例配合，加上引线在钢模内压制电阻外形放在窑内烧固，涂漆后制成。也有将合成电阻物质（导电材料与粘合胶和填料）设法加在基体上做成薄膜合成电阻。合成电阻的阻值大小随配料内导电成分的多少而定。这种电阻的阻值，一般用色码来表示，色码的顺序是：黑（0），棕（1），红（2），橙（3），黄（4），绿（5），兰（6），紫（7），灰（8），白（9）。另外代表误差的色码是金（ $\pm 5\%$ ）银（ $\pm 10\%$ ），无色（ $\pm 20\%$ ）

一个电阻的一端漆有三道或四道色环，见图1-3-1。它的阻值识别法已注明在图中。

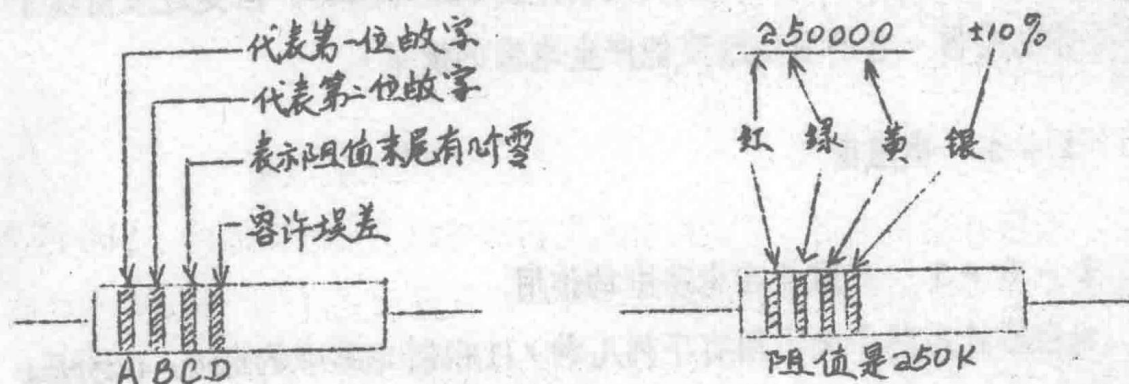


图1-3-1 电阻上的色环及阻值识别法

目前常见的电阻都直接印上电阻数值，不过用色环表示阻值也有好处，装在机内任何位置都可读出电阻值。印上数值的电阻焊接时必须考虑有数字的一面放在易于察觉的位置，否则无法知道电阻值，维修很不方便。另外色码在晶体管上也采用，以表示管子的 β 值范围。最好能熟练的掌握识别阻值的方法。

2. 炭膜电阻 (型号RT)

炭膜电阻又分普通炭膜电阻(RT)，测量用炭膜电阻(RTL)及小型炭膜电阻(RTX)等数种。这种电阻性能稳定，不仅可作为一般用途的电阻使用，也适合在精密电子设备里应用。它的制造方法是把碳氢化合物的蒸气在高热和高真空下分解成碳分子并沉积和结晶在瓷棒(瓷管)的周围表面上，形成一个圆筒形的碳膜，此碳膜就作为电阻的导电部分。它的阻值大小由蒸气压力温度和沉积时间的长短来决定。圆筒形碳膜制成后，沿瓷管外围刻一螺旋形沟槽，等于把原来的圆筒形碳膜层切成绕在瓷管上的一条螺旋形碳膜带，见图1-3-2。刻槽的作用一方面使碳膜

有效长度增加，宽度减小。

用来获得较高的阻值，另一方面也是用刻槽的方法得到不同的阻值。刻好槽纹的电阻外面涂有一层保护漆。

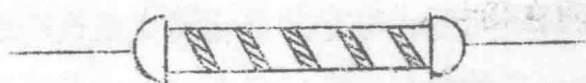


图 1-3-2

碳膜电阻的碳膜带

高阻合成膜电阻。它是在合成电阻的基础上发展而成的，制造时将环氧树脂、清漆和碳黑及有机溶剂按一定配方制成浆料，然后涂复在陶瓷基体上，经过一定时间的聚合即制成合成膜电阻。它是一种高阻值电阻器，阻值范围在10兆欧至1000兆欧间。它的特点是可以承受高电压。它使用在具有较高工作电压的交流、直流和脉冲电路中，作为负载或泄放电阻用。我们常称它高压电阻。

3. 金属膜电阻 (型号RJ)

金属膜电阻的外型和碳膜电阻一样。它也是一种薄膜式电阻，但耐热、防潮、耐磨和温度系数等方面的性能。比碳膜电阻更好。在相同功率条件下，体积比碳膜电阻小，它具有独特的优点，就是杂音小，受电压和频率变化的影响不大。这种电阻是用真空蒸发沉积法，将金属和金属氧化物涂在陶瓷或玻璃、塑料等基体上制成。阻值大小主要由金属膜的材料（合金粉）决定。合金粉有高阻、中阻、低阻三种。配制合金粉的原料有镍、铬、铁、铜等。

金属氧化膜电阻 (型号RY)，外型与RJ相同。在制造时将 SnCl_4 、 SbCl_3 等几种氧化物和无水乙醇、冰乙酸按一定配方溶解于稀盐酸中制成喷膜用溶液，然后将此溶液喷在加热至 900°C 的炽红陶瓷基体上，溶液经高温分解并生成金属氧化膜均匀地敷着在陶瓷基体上，它的特点

是性能可靠，耐过负荷能力较强，能制造阻值小的电阻。目前工厂生产的大功率电阻大部分是氧化膜电阻。改变薄膜的厚度和成分能很好地控制这种电阻的电气性能，但它的缺点是不能用刻槽法来精密调整阻值，在制造工艺上薄膜不易均匀，对基体要求高，必须极平滑。

金属沉积膜电阻（型号RC）。外型与RJ相同。在制造时，将 NiSO_4 、 NH_4Cl 等几种溶液按一定的比例配制沉积膜溶液，将处理过的电阻基体放在沉积膜溶液中，边加热边搅拌，直至在电阻基体上生成导电膜层，再经过热处理即成为沉积膜电阻器。由于它的成膜工艺特殊，可以制成相当厚的膜层，故宜制造阻值小（1欧至几百欧）的电阻器。

正温度系数薄膜电阻，也是一种金属膜电阻。它的特点是具有正温度系数（在 20°C — 85°C 范围内，温度系数为 $+0.3$ — $0.5\%/^\circ\text{C}$ ）它适用于某些具有负温度系数元件的电路中，以补偿由于温度变所引起的阻值变动。

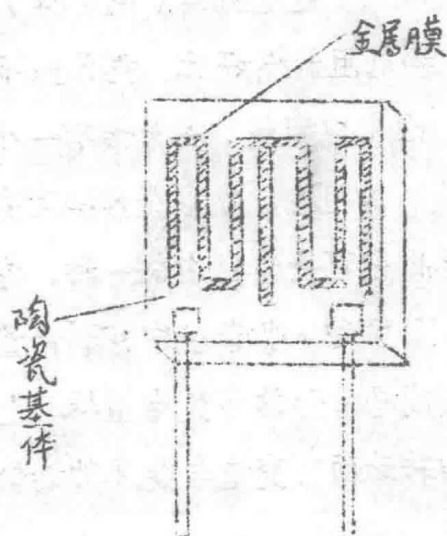


图1-3-3 板形电阻器

板形金属膜电阻是将电阻器做成板形，见图1-3-3，在制造时先通过计算可以得知什么样的图形具有多大的电阻值，然后将图形刻成模板复盖在陶瓷基体上，用夹具固定好它们的位置，然后用真空蒸发工艺在陶瓷基体上蒸发一层金属膜，最后用刻槽法修正阻值。这种电阻很适合安装在印制电路板上。

4 线绕电阻

线绕电阻适用于较大功率的场合，它的功率大都在2瓦以上。线绕电阻是用电阻线绕在瓷管上制成，常用的电阻线有镍铬合金线和铜镍合金线两种，前者的电阻率较大。线阻绕成后，在瓷管外面涂一层陶土质、绝缘漆或釉质等作保护层，以防损坏。功率较小但阻值较大的线绕电阻，因用线过细，容易霉断。线阻工作时发热较多，附近必须留有空隙，以便散热，并防止烧坏其它元件，线阻的阻值一般都不超过10千欧，因阻值太大了，电阻线太细容易断。

1-3-3 可变电阻器（电位器）

有些线绕电阻器绕好后，并不全部涂满绝缘保护层，在瓷管上留有一条沟槽，露出电阻线，另外装有一个园形卡子，可以在上面移动位置，以便得到不同的阻值。这就是线绕可变电阻器，见图1-3-4。

电位器也是可变电阻中的一种，它又分线绕电位器，碳膜电位器和实芯电位器等数种。收音机中控制音量的大小就要用到电位器。构造上它是一个做成马蹄形的可变电阻器，上面有一个接触刷，见图1-3-5随着转轴的转动而改变它与碳膜的接触位置。

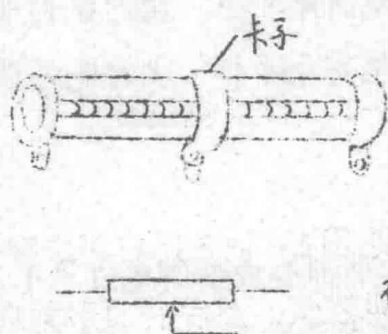


图1-3-4

可变线绕电阻

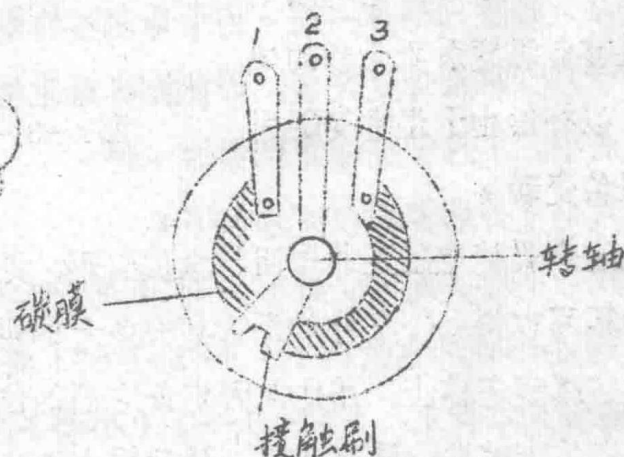


图1-3-5 碳膜电位器

电位器在旋转时阻值的变化规律有三种。我们用手指顺时针方向转动旋柄时，图1-3-5中可看出转轴使接触刷按逆时针方向旋转。接触刷和始端1之间的阻值变化和旋转角度之间的关系如成线性关系就称作直线式电位器，如果旋转角度与阻值变化之间成对数成正比，则称对数曲线式电位器。如果旋转角度与阻值变化之间成指数关系，则称指数曲线式电位器。一般在中放兼来复的外差式收音机中用直线式电位器作音量控制，仪表中的电位调节也用这种电位器。对数式电位器用在收音机中的音调控制电路中，指数式电位器用在收音机中的音量控制电路中，这是因为人耳对很微小的声音稍有增加，感觉很灵敏，但当音量达到一定程度后再继续增加时人耳的反应就比较迟钝。而指数式电位器等速旋转时，阻值的变化开始较慢逐渐变快，刚与人耳的感觉相反，这样，电位器等速旋转时，听起来音量是均匀变化的。

实芯电位器的结构稍复杂些，它的体积比一般电位器小，耐热性能较好。另有一种螺旋电位器，特点是阻值较大（例如10K）但旋转时阻值变化缓慢。它的滑动接点装在螺杆上，旋钮必须旋转很多圈才能将滑动接点从一端移动到另一端。由于电阻丝的电阻率较小，而缠绕长度加大，滑动接点移动速度又慢，因此旋转时阻值变化缓慢。这种电位器都用在仪表中。它属于线绕电位器的一种。

常用电位器的类别及型号如下：

WTH（合成碳膜电位器），WHQ、WTH（小型合成碳膜电位器），WH7（超小型微调电位器），WS1、WS2（实芯电位器），WX1、WX3（线绕电位器），WX1.5—1（小型多圈式线绕电位器），在产品标志上，型号后面有“-K”字者表示带开关，标称阻值后面有“-X”字者表示直线式，有“-D”字者表示对数式，有“-Z”字者表示指

10

数式。

近年来，在一些收音机和电视机中采用了推拉式和直滑式电位器。推拉式带开关电位器，它的开关部分和电位器部分各自独立。开关是采用轴向“推”或“拉”方式来控制通与断，而电位器仍用旋转法调节。这种电位器与普通带开关电位器相比，有下列特点：(1)使用方便。推拉式电位器的开关部分需要“接通”时，只要向外一拉，需“断开”时，向里一推。(2)使用寿命长。普通的带开关电位器要使开关“断开”时，必须把电位器的阻值旋到最小，每切断一次开关，电位器的滑动刷就要在碳膜层上滑动一次，磨损大，如果把推拉式电位器作为收音机的音量控制时第一次把音量调合适后，关机时只要把转轴往里一推就行，因为电位器的滑动刷位置未变。第二次再打开收音机，音量仍就合适不需再作调节。由于电位器旋转次数大大减小，因此能延长使用寿命；(3)噪声小，它的滑动接点采用碳刷接点，它能减少碳膜的磨损，并能降低动态噪声。推拉式带开关电位器的型号：WH111-1（单联带双刀单掷开关电位器），WH111-2（单联带双刀双掷开关电位器）。

直滑式炭膜电位器是不带开关的，它的外形为长方体，它采用直线滑动方式来改变电阻值。型号为WH20A。

1-3-4 衡量电阻质量的几个标准

衡量电阻的质量，大致有以下几个标准：

1. 稳定度：稳定度是指阻值本身是否经常在变化，以及它的变化范围有多大。一般说合成电阻稳定性较差，炭膜电阻好一些，金属膜电阻更好一些。

2. 噪声电动势

各种电阻具有一个共同的缺点，就是当有电流流过时，能产生热激

杂音，使机器设备的杂音加大。这种杂音是由炭质本身的粒状结构所引起的，当电流通过时，导电颗粒之间的接触面积有了不规则的改变而产生杂音，这种杂音电动势以合成电阻最大，炭膜电阻较小，金属膜电阻更小，因此要减少杂音用炭膜电阻或金属膜电阻较合适。

3. 温度系数

任何一个电阻随着温度的变化，它的阻值也随着改变，温度一变，阻值变化的欧数和阻值本身欧数的比值叫这个电阻的温度系数，炭质电阻的温度系数可能是正的，也可能是负的，随着配料和制造工艺的不同而有些差别，金属膜电阻，线绕电阻的温度系数一般都是正的，这个值愈小愈好。合成电阻的值大约在 -3% —— $+2\%$ 范围内。

1-3-5 电阻值在电路图中的表示法

电阻阻值的大小用欧 (Ω)，千欧 ($K\Omega$)，兆欧 ($M\Omega$) 做单位。在电路图上，为了简便起见，凡电阻值在 1000 欧以下，都用欧作单位，但电路图上不注明单位，例如 300 欧用 300 表示，凡阻值在 1000 欧以上 1 兆欧以下，都用千欧作单位，用 K 表示，例如 250K，1 兆欧以上用兆欧做单位，用 M 表示，例如 2M。

1-3-6 电阻的功率在电路图中的表示法

电阻器在使用中要消耗一定的功率，这部分功率变成热量使电阻的温度升高，为了保证电阻正常使用时不致烧坏，它所消耗的功率不能超过规定的限度，这个最大限度就称为电阻器的额定功率，常见的有

$\frac{1}{16}$ 、 $\frac{1}{8}$ 、 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{2}$ 、1、2、5、10 瓦等。一般说来，电阻功率愈大，体积也愈大，在相同的消耗功率下，金属膜电阻的体积比炭膜电阻要小。

由于 $P = I^2 R$ ，因此如果功率相同的电阻，允许通过的最大电流为

$I = \sqrt{\frac{P}{R}}$, 可以看出, 阻值愈小, 允许通过的电流愈大。我们确定在电路中使用电阻的功率大小, 由电阻值和实际通过的电流来决定。例如 100K 电阻, 流过 2mA 的电流, 它的消耗功率 $P = (2 \times 10^{-3})^2 \times 100 \times 10^3 = 0.4$ 瓦。

电阻功率在电路中的表示法见图 1-3-6。

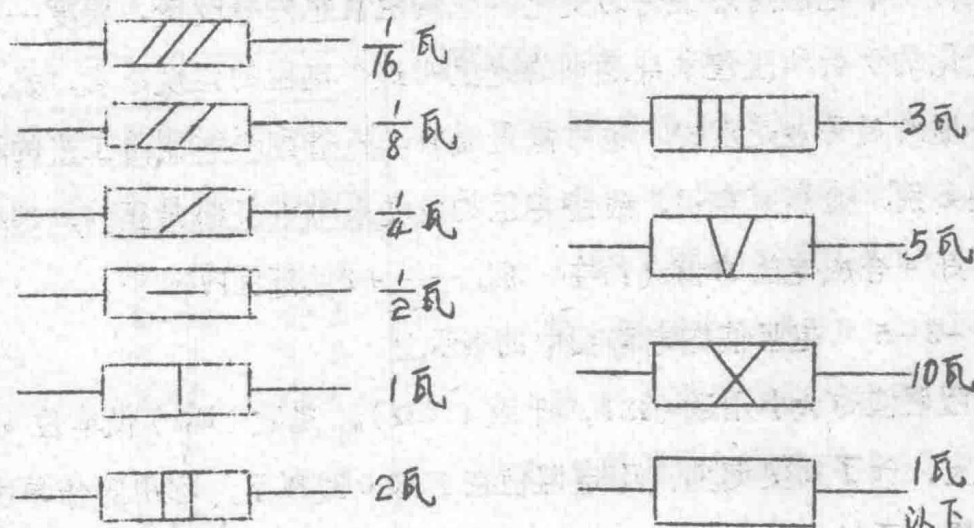


图 1-3-6 电阻的功率表示法

1-3-7 电阻(电容)的标称值系列

也许同学们会产生这样的疑问：“为什么市场上出售的电阻器的阻值都是一些“奇怪的”数值呢？它们大部分不是整数值。”

原来, 无线电元件工业生产的通用电阻器采用了一个如表 1 所示的标准化了的标称值系列。E₆ 有六个基数, E₁₂ 有十二个基数, E₂₄ 有二十四个基点, 我们实际上遇到的电阻器和电容器数值, 就是由附表中的基数乘以 1、10、100、1000……组成的。

E_6 系列是由 $X = \sqrt[n]{10^n}$ 的公式令 $n = 1, 2, 3 \dots$ 计算而得, 同理 E_{12} 由公式 $X = \sqrt[12]{10^n}$ 计算而得, E_{24} 由公式 $X = \sqrt[24]{10^n}$ 计算而得。在计算中实际上作了一定的修正。

这些系列值的特点是某一个数值的正误差极限正好和下一个数值的负误差极限基本上衔接起来 (实际上可能略有重叠或间隙) 例如, 在

表1 标称值系列

E_{24} 系列中, 数值 2.0 的负误差极限为 $2.0(1-5\%)=1.9$, 与上一个数 1.8 的正误差极限 $1.8(1+5\%)=1.89$ 基本上衔接, 又数值 2.0 的正误差极限值 2.1 与下一个数 2.2 的负误差极限值 2.1 相衔接。

为什么要采用这样的系列值作为电阻或电容器的标称值呢? 你一定会同意这个事实, 不论多么高明的师付, 都做不出两个或更多个一模一样丝毫没有差别的产品。在工业生产上, 按照某种一定的规格生产大量产品时, 所有成品总会或多或少地偏离规定的规格。这种偏离并不是生产工人有意地造成, 而是由许多偶然因素引起的。虽然这些

E_6	E_{12}	E_{24}
$\pm 20\%$	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$
系列值	系列值	系列值
1.0	1.0	1.0
1.5	1.2	1.1
2.2	1.5	1.2
3.3	1.8	1.3
4.7	2.2	1.5
6.8	2.7	1.6
	3.3	1.8
	3.9	2.0
	4.7	2.2
	5.6	2.4
	6.8	2.7
	8.2	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