

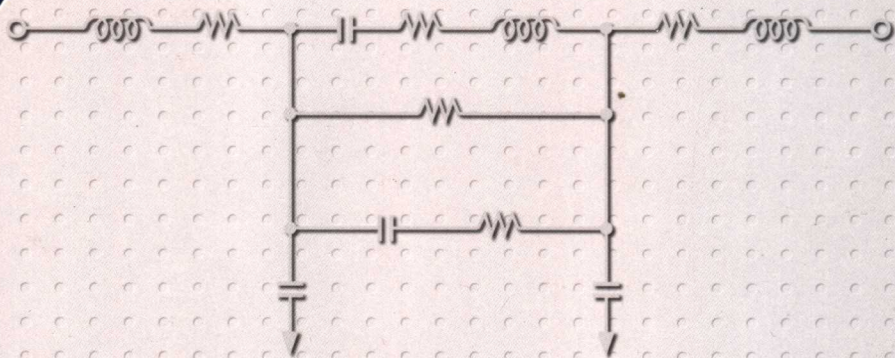
图解实用电子技术丛书

电子元器件的选择与应用

电阻器与电容器的种类、结构及性能

[日] 三宅和司 著

张秀琴 译



科学出版社

www.sciencep.com

图解实用电子技术丛书

电子元器件的选择与应用

电阻器与电容器的种类、结构及性能

〔日〕 三宅和司 著

张秀琴 译

科学出版社

北 京

图字: 01-2005-1163 号

内 容 简 介

本书是“图解实用电子技术丛书”之一。本书主要介绍有关电阻器和电容器的基本知识以及实际应用,内容包括各种类型的固定电阻器的基本知识,可变电阻器以及半固定电阻器的结构和性能,排电阻的结构和性能,以及各种类型的固定电容器的知识,可变电容器及半固定电容器的结构和性能,电阻器和电容器的选材与应用等。为了能够让读者进一步了解选择元件的重要性,作者以切身体会和经历过的失败例子,详细地介绍了失败的原因,在出现故障时所采取的措施以及解决的方法。

如果读者在认真地阅读本书过程中汲取其中的精华部分并运用到实际中来,就一定能够正确地选择元件,更好地进行电路设计,吸取教训,不再出现以往曾经出现的错误。

本书可供电路设计人员,元器件的设计及研发人员参考,也可以作为相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子元器件的选择与应用/(日)三宅和司著;张秀琴译. --北京:科学出版社,2005

(图解实用电子技术丛书)

ISBN 7-03-016506-3

I. 电… II. ①三…②张… III. ①电阻器-基本知识②电容器-基本知识 IV. ①TM54②TM53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 139121 号

责任编辑:杨 凯 崔炳哲 / 责任制作:魏 谨

责任印制:刘士平 / 封面设计:李 力

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 1 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2006 年 1 月第一次印刷 印张: 11 3/4

印数: 1—4 000 字数: 217 000

定 价: 26.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前言

日本很早以前就确立了电子立国的方针,而在 21 世纪的今天,技术的内容正朝着新的方向迈进。

以收音机为例,今天许多学生仍在课堂上把成套收音机元件组装起来收听,这种授课方式无论是现在还是以前,都是给学生创造接触电子电路的机会。现在很少有人考虑“如何进一步提高收音机的灵敏度,如果改变元件常数,将会怎么样”等。

收音机的基本功能只是收听,与现代的游戏机等相比,收音机缺乏库存管理程序和控制技术。对此,教材用的成套收音机元件也追加了 FM 波段以及定时器等功能。但考虑到该部分难度的增大,将有失败危险的高频部分进行集成或采用 IC 技术进行黑盒子化(black box)。这很容易让人联想到个人计算机的 DIY,不焊接就可以组装。

目前收音机的成品比配套元件小得多且价格便宜,出于经济方面的考虑,没有必要特意去购买其他配套元件,或者根据记事本凑齐元件。

现在,除去部分尖端技术外,元件全部委托国外生产,而我国(日本)则只是追求应用。但是,这种做法所带来的副作用是使我国的技术人员远离了基础技术,使得电子技术空洞化明显起来。当前,即便是优秀的技术人员,能够真正懂得收音机设计技术的人也不多。收音机设计需要有很强的基础技术能力。每当我到亚洲旅游,或是看到有关科学玩具衰退的文献时,这种想法就变得越发强烈起来。

本书是以日本月刊《半导体技术》杂志的 1997 年 6 月特集“电阻器和电容器的选材与应用”为基础编写的。在执笔过程中,作为不是这方面的专家,而仅仅是一个元件的使用者的我感到了不安。但根据读者的要求,重新进行了思考,注意到很多人都想重新了解电路和元件之间的关系。

本书第 1 章~第 5 章详细介绍电阻器和电容器的种类,以及选择元件的标准。第 1 章介绍了固定电阻器的 11 种选择标准,以

及根据结构所产生的差异,易于读者从种类繁多的电阻器中挑选符合要求的电阻器。此外,还以普通碳膜电阻为出发点,介绍了应用性能不足时应如何选择电阻器。以这种知识为基础,在第2章归纳了可变/半固定电阻器特有的选择标准和种类。第3章以节省劳动力和高精度化为目的,分别归纳了排电阻的种类。电容器种类比电阻器种类更多,第4章中固定电阻器的选择标准有13个重点,为了便于选择,整理了与性能关系较大的介质和物理结构。第5章以此为基础,介绍了可变/半固定电阻器的特点以及注意事项。

第6章和第7章以实际例子说明了电阻器和电容器的选材与应用。电阻器列举了6个从LED亮灯电路到微小光用放大器例子;电容器列举了7个从旁路电容器到晶体振荡电路例子。每个例子都依次进行了从电路设计方针开始到选择元件的说明。如果能够汲取这些精华,就可以应用到数十倍的电路中。

最后,在第8章中举例说明了错误选择电阻器和电容器所发生的失败例子。虽然感觉不好意思,但是,作为了解选择元件重要性的真实感受,我还是决定将失败的例子写出来供大家参考。

元件的选材应用与事故及灾害有着密切的关系。如果本书能够为进行电路设计、试作各种电路的人们所参考,将感到无比荣幸。

最后,衷心感谢在数次修改中给予帮助的CQ出版社相关人员、尤其是负责此项工作的猪之鼻氏,并感谢在写作中给予理解、帮助、并经常鼓励我写作的家人。

目 录

绪 论	1
0.1 电路图和元件知识	1
0.2 振荡激光驱动器	1
0.2.1 APC 电路的功能和动作	1
0.2.2 故障发生	2
0.2.3 意外原因	2
0.2.4 水泥电阻的电感成分	3
0.3 技术人员所需的元件知识	3
 第 1 章 固定电阻器的知识	5
1.1 表示固定电阻器性能的 11 种参数	5
1.1.1 电阻值和精度	5
【专栏】 整数值电阻	8
1.1.2 最大额定和破坏方法	9
1.1.3 与理想电阻的差别	10
1.1.4 其他原因	11
1.2 固定电阻器的结构和参数	12
1.2.1 电阻器的材质	13
1.2.2 电阻器的结构	15
1.2.3 包装处理	18
1.3 了解碳膜电阻的实际作用	21
1.3.1 什么是碳膜电阻	22
1.3.2 在碳膜电阻作用不足时	23
【专栏】 关于电阻值的表示	26
【专栏】 什么是正确的电阻破坏方法	27
 第 2 章 可变电阻器及半固定电阻器的结构和性能 ...	29
2.1 可变电阻器和半固定电阻器性能的 15 个选择点 ...	30

2.1.1 固定电阻器和类似参数	30
【专栏】 可变电阻和半固定电阻的端子号	30
2.1.2 可变电阻器及半固定电阻器的特有参数 ...	33
2.2 可变电阻器及半固定电阻器的分类和特点	36
2.2.1 电阻的分类	36
2.2.2 单旋转或多旋转	38
附录 电阻比方式与绝对值方式	41
第3章 排电阻的结构和性能	43
3.1 节省面积,节省人力的排电阻	43
3.1.1 厚膜排电阻概况:最普通的排电阻	43
3.1.2 厚膜排电阻电路和组件	44
3.2 用于提高精度的排电阻	47
3.2.1 薄膜排电阻概要:双子电阻	47
3.2.2 薄膜排电阻的电路和组件	47
【专栏】 基板内的终端	48
第4章 固定电容器的知识	51
4.1 表示固定电容器性能的14种参数	51
4.1.1 静电容量和精度	51
4.1.2 最大额定和极性	53
4.1.3 与理想电容器之间的差别	55
4.1.4 其 他	59
4.2 固定电容器的结构和参数	59
4.2.1 基于电介质种类的电容器的分类及其特点 ...	60
【专栏】 关于静电容量的表示	62
4.2.2 基于电容器结构的分类和特点	67
第5章 可变电容器及半固定电容器的结构和性能 ...	75
5.1 可变电容器及半固定电容器的特有参数	75
5.1.1 最大容量和最小容量	75
5.1.2 静电容量比	76
5.1.3 极 性	77
5.1.4 静电容量曲线	77
5.2 可变电容器及半固定电容器的种类和特点	78

5.2.1 可变电容器	78
5.2.2 半固定电容器(微调电容器)	79

第 6 章 电阻器的选材与应用 83

6.1 LED 的限流电阻	83
6.1.1 用+5V 直流电源使 LED 灯亮	83
6.1.2 LED 的特性与限流电阻	84
6.1.3 电阻值的权衡	85
6.1.4 误差不严格	85
6.1.5 碳膜电阻是否可以	85
6.1.6 小 结	86
6.2 数字电路的上拉电阻	86
6.2.1 上拉电阻的作用	86
6.2.2 电阻值的适当度	89
6.2.3 认真考虑公差	90
6.2.4 可以对接的排电阻	90
6.3 8 比特±1LSB 精度的 5 倍放大器	90
6.3.1 电阻值是否多大都可以	91
【专栏】超小型电阻	93
6.3.2 考虑 R_1 和 R_2 的组合	94
【专栏】为什么是 10k Ω ?	94
6.3.3 电阻器允许的误差	95
6.3.4 电阻器的选择	96
6.3.5 小 结	96
6.4 高精度绝对值电路	97
6.4.1 电路工作的确认	97
6.4.2 考虑电阻对	98
6.4.3 决定电阻值范围	99
6.4.4 误差计算	100
6.4.5 决定电阻的种类	100
6.4.6 小 结	103
6.5 电流检测电阻	103
6.5.1 铅蓄电池充电电路	103
6.5.2 电路的工作	104
6.5.3 电流检测电阻的电阻值	105

6.5.4	电阻误差和 4 端子电阻	105
6.5.5	用 2 端子电阻制作的 4 端子电阻	107
6.5.6	电阻器的选定	107
6.5.7	小 结	108
6.6	光放大器——使用高电阻时的注意事项	108
6.6.1	电路的工作	109
6.6.2	使用光二极管时的注意事项	110
6.6.3	光二极管灵敏度的调整	111
6.6.4	决定 R_f 的电阻值和温度系数	111
6.6.5	R_f 的种类选择	112
6.6.6	后级设计	113
6.6.7	灵活利用性能	113
6.6.8	事例 6 的归纳	115
附录	LED 亮灯的变化	115

第 7 章 电容器的选材与应用 121

7.1	电源旁路电容器	122
7.1.1	如果没有旁路电容器,将会发生什么	122
7.1.2	电源的消耗电流不固定	122
7.1.3	自己限制自己的 IC	124
7.1.4	旁路电容器如同电流的零用钱盒子	125
7.1.5	求静电容量	126
7.1.6	决定额定电压和静电容量误差	127
7.1.7	决定电容的种类	127
7.1.8	补偿低频特性	128
7.1.9	电源旁路电容器的归纳	129
7.2	3 端子调节器的电容器	130
7.2.1	3 端子调节器的工作	130
7.2.2	温度控制器的结构和电路的工作	131
7.2.3	3 端子调节器不很好地动作	133
7.2.4	3 端子调节器的输出电容器	133
7.2.5	3 端子调节器的输入滤波器	134
7.2.6	补充 3 端子调节器的电容器归纳	136
7.3	电源平滑用电容器	136
7.3.1	电路的工作	137

7.3.2	求容量的简单近似式	137
7.3.3	决定电容器	139
7.3.4	电源平滑用电容器的归纳	139
7.4	长时间定时器的电容器	140
7.4.1	定时器电路的工作	141
7.4.2	常数的决定和结果	141
7.4.3	关于漏电流	142
7.4.4	电路的改良	142
7.4.5	长时间定时器的归纳	143
7.5	耦合用电容器	144
7.5.1	电路的工作	144
7.5.2	电容器的静电容量计算	145
7.5.3	电容器的极性	146
7.5.4	电路的更改	147
7.5.5	耦合用电容器的归纳	148
7.6	双重积分型 A-D 变频器的电容器	148
7.6.1	双重积分型 A-D 变频器的工作原理	149
7.6.2	双重积分型 A-D 变频器的精度	150
7.6.3	积分电容器要求的条件	151
7.6.4	电介质吸收小的电容器选择	151
7.6.5	数字面板仪表实例	152
7.6.6	双重积分型 A-D 变频器	154
7.7	晶体振荡电路的电容器	154
7.7.1	晶体振子的性质	154
7.7.2	晶体振荡电路的工作	155
7.7.3	晶体振荡电路电容器	156
7.7.4	电容器的选定	157
7.7.5	晶体振荡电路用电容器的归纳	158
第 8 章	失败例的收集	161
8.1	失败例 1: 只要是刮风, 电器商店就烦恼	161
8.1.1	热电偶放大器	161
8.1.2	发生故障	161
8.1.3	只要是刮风	162
8.1.4	发现故障的原因	162

8.1.5 故障对策	163
8.2 失败例 2:注意额定电压	163
8.2.1 高压探测器	164
8.2.2 自制高压探测器	164
8.2.3 忘记了额定电压	165
8.2.4 元件还是专卖店的好	165
8.3 失败例 3:TTL 全部报废	165
8.3.1 不知道什么时候 TTL	166
8.3.2 原因是半固定电阻	166
8.3.3 经常考虑安全装置	167
8.4 失败例 4:高频的旁路电容器	167
8.4.1 前置频率倍减器	168
8.4.2 发生计数错误	168
8.4.3 计数错误的原因推测	168
8.4.4 对高频追加了高频旁路电容器	169
8.5 失败例 5:也是近接传感器的 VCO	170
8.5.1 VCO	170
8.5.2 成为近接传感器的 VCO	171
【专栏】苯乙烯电容器	171
8.5.3 陶瓷微调电容器的极性因厂家而不同	172
参考文献	173

绪 论

0.1 电路图和元件知识

在设计新的电路时,设计者应首先在大脑中描述出想像到的电路图,然后把想像的电路图画在图纸上,进行仔细地推敲。如果设计者不知道实际元件的误差和限制事项,就会形成纸上谈兵的那种电路。

相反,非设计人员在制作电路时,最大的依据就是电路图。

电路图只不过是近似表现目的电路的一种手段,要想让它百分之百地表现出设计意图是不可能的。尤其是在高频及微小信号电路图中,信息量是不够的。

在电路图中难以表现的要素是与封装技术和元件相关的项目。为了充实信息,添加了封装指示图和元件表,要想弄懂其中的含义,也需要具备足够的有关制作电路图方面的知识。

如果因为缺乏元件知识选错了元件,将会发生什么样的情况呢?要想真正地理解它,事例是极为重要的。尽管是一提到失败就不好意思,但是,为了让读者从中吸取教训,还是决定把自己的失败经历讲给大家。

0.2 振荡激光驱动器

现在,CD 及 DVD 等光盘的普及都得益于半导体激光技术。但是,在 20 年前,光电二极管的驱动用 IC 是很少见的,一般是把 OP 放大器和晶体管组合起来构成驱动电路。

0.2.1 APC 电路的功能和动作

与 LED 不同,半导体光电二极管(LD)只要是瞬间超过最大额定电流,元件就发生老化。由于半导体激光的偏差及使用温度光[量]会发生很大变化,需要自动功率控制(APC: Automatic

Power Control)电路,这种电路采用内置监视器用光电二极管(PD)。

图 0.1 是作为当时驱动高输出 LD 的 APC 电路简图。LD 的部分光进入 PD,在 U_2 的输出中呈现符合光[量]的电压。误差放大器 U_1 把标准值与其进行比较,通过 R_1 去控制 Tr_1 的基极。 R_2 和 LD 在 Tr_1 的发射极串接。 Tr_1 的整流子可以不直接与电源相连,为了防止在控制不稳定的情况下破坏 LD,连接了低限制电阻 R_3 。

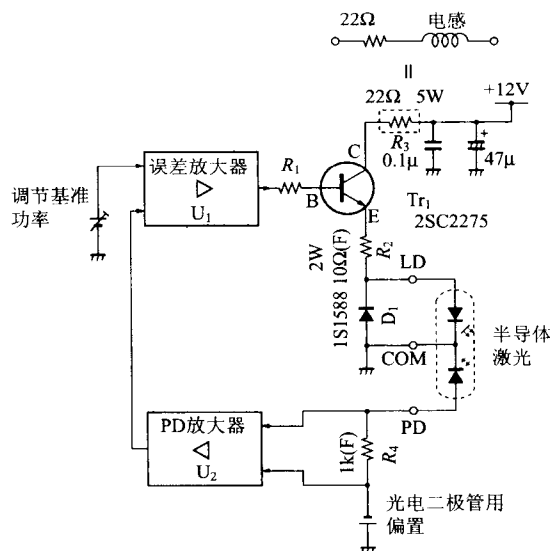


图 0.1 激光驱动电路

0.2.2 故障发生

采用通用基板的试制比较顺利,但对印制电路板的基板进行快速测试时,在接受激光照射的其他装置中观测到了数 MHz 噪声。如果遮蔽装置的受光部位或者利用其他的激光,噪声就可以消失。这种现象是由于基板的激光本身受到了污染所致。

令人吃惊的是,如果用示波器观测 Tr_1 发射极的波形,仍然可以看到振幅较大的振荡波形。振荡的电路比不工作的电路质量还要差,激光就这样因峰值光而产生老化。

0.2.3 意外原因

在 APC 电路中同时处理 PD 的微小电流和 LD 的大电流时,

最初是怀疑基板模式和放大器的相位[失真]补偿。但如果进行观测,就会发现波形在输出 U_1 之前稳定,只是在 Tr_1 和外围部分发生寄生振荡。

如果与通用基板试制品进行比较,就会找出错误所在。在自言自语“即便是这样,基板模式在形成切口形状以前相同,而且晶体管也是同一批……”的时候,注意到了两者的不同。

由于库存的关系,实际上在试制品的 R_3 中使用了 2W 氧化金属膜电阻。在成品中考虑了迟延和异常情况,指定了相同种类的 5W 型。为什么在产品基板上安装了 5W 型的水泥电阻呢?

如果把 R_3 恢复到氧化金属膜电阻,振荡就会令人难以置信地停止了。

0.2.4 水泥电阻的电感成分

水泥电阻的电阻体不是水泥……,一般低电阻值使用绕线式,高电阻值使用氧化金属膜电阻。结果是电阻值低的水泥电阻 R_3 的内部单元采用绕线式,无意间把大的寄生电感插入到了 Tr_1 的连接器。

这种电感通过与 Tr_1 的寄生电容等的组合,形成数 MHz 的谐振电路,并且 Tr_1 使用频率特性好的晶体管,从而达到了振荡。寄生振荡也在电感进入到发射极 R_2 时发生。

0.3 技术人员所需的元件知识

为什么发生激光驱动失败呢?

笔者在设计中研究一些老的基板模式时注意到了电感。由于注意到发热,所以只是在元件表上填写了氧化金属膜电阻型号,忘记了标明禁止绕线式,设计者本人认为是理所当然的。可是,制作基板的人好像并不知道电路的意图,根据对发热的报警,巧妙地采用了耐热性好的水泥电阻,但却不知道水泥电阻的内容。

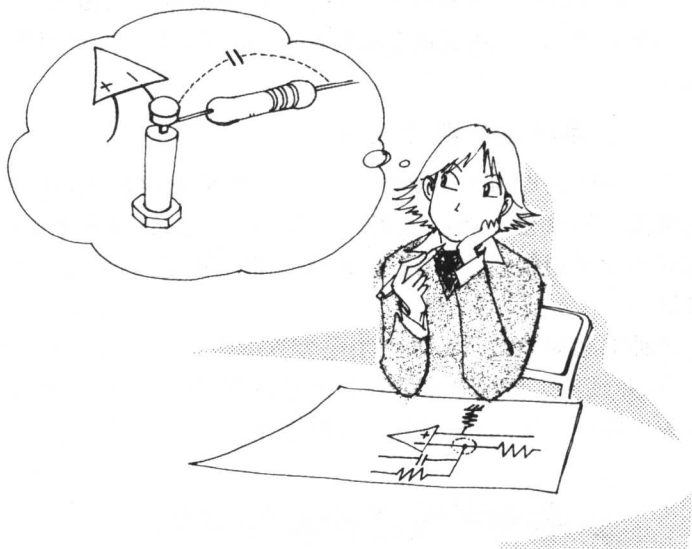
此故障例是因缺乏有关元件知识一致性所致,也有因设计者缺乏元件知识,而采用了精度不高的基板。

元件知识对于所有电子技术者都是非常重要的。第 1 章到第 5 章所介绍的电阻和电容器的基础知识,也许读者乍一看时不感兴趣。但是,笔者在写作此部分时,花费了大量时间整理了迄今为止概念较为模糊,但又是很深层的知识点。希望初学者及非初学

者都能够阅读此书。

在学习元件基础知识的时候,请看第 6 章和第 7 章的电阻电容的选材与应用。在这些章节中,从设计者角度介绍了元件的选择过程,并列举了实际电路。相信读者可以从中得到许多电路和元件选择意图的启发,有助于保持元件知识的一致性。

在第 8 章中,如同前面所述的 APC 电路一样,讲述了 6 例错误选择元件的结果。为了防止类似事件的发生,希望大家能够有效地利用此书,选择最佳元件,提高电路的性能。



第 1 章

固定电阻器的知识

本章从三个方面介绍选择最基本元件——固定电阻器时所需的基础知识。

首先介绍选择固定电阻器的 11 种参数。这些参数与电阻器的结构有着密切关系,如果有一方的特性好,就会对其他特性带来影响。接着介绍选择参数和固定电阻器结构之间的关系。最后给出一般称为“碳膜电阻”的普通固定电阻器的参数表,在体会具体性能的同时,归纳碳膜电阻性能不足时的选择准则。

1.1 表示固定电阻器性能的 11 种参数

不是买到与电路图标记相同(公称)电阻值的产品就可以了,而是要得到固定电阻器的电阻值。包括上述的电阻值在内,把表示电阻器性能的参数归纳为 11 种。

也许有人认为“种类过多”,不过请放心,笔者不是让人们经常考虑过全部的参数后才进行选择,因为也有一般电路中不需要重新计算的项目。必须记住,要在真正理解“电路中不能忽视”判断标准之后才可以省略,如果随便忽视,就会出现决定性的错误。

1.1.1 电阻值和精度

► 电阻值范围——可对每个种类规定电阻值的上限和下限

由表 1.1 看出,每一种电阻器所采用的电阻值范围都不相同。表中覆盖 $10\Omega \sim 1M\Omega$ 范围的种类较多。在与普通半导体组合时,此范围也有精度及稳定性等之间平衡好的电阻。

当然,根据电路还需要规定范围以外的电阻值。在选择自由度大幅度下降时,即便是在 0.1Ω 以下, $100M\Omega$ 以上的区域也会失去其他特性,不得不采用特殊种类。

表 1.1 各种电阻值范围

10m	100m	1	10	100	1k	10k	100k	1M	10 M	100 M	1G 10G(Ω)
			容易得到的电阻值范围								
			碳膜电阻(碳质电阻)								
			实心(合成)电阻								
			厚膜金属膜电阻								
			薄膜金属膜电阻								
		低电阻型金属膜电阻					高电阻型金属膜电阻				
		低电阻绕线型电阻									
			绕线型电阻								
			珐琅电阻								
			水泥电阻(绕线型)								
			水泥电阻(氧化金属膜)								
			氧化金属膜电阻								
			金属铠装电阻								
		功率用金属箔电阻									
			金属箔电阻								
	金属板电阻								玻璃电阻		

注:电阻种类过多,表中只是给出有代表性的电阻值范围。例如,属于表中金属膜系列的电阻器所覆盖的电阻值范围基本上是 11 位数,此表的电阻值范围非常广。

► 电阻值挡(E 系列)——电阻值的设定方法(详细程度)

由于采用表 1.2 中记载的等比数组的 E 系列,大部分电阻器的电阻值调整不是用整数来设定,而是像 4.7Ω 那样用小数进行设定。

电阻值经常使用 E3, E6, E12, E24, E96 系列, E 数目越大越能够具备精密的电阻值。E3 系列包含在 E6 系列; E6 系列包含在 E12 系列; E12 系列包含在 E24 系列。有效数字 3 位数的 E96 系列是独立系列。

一般支持高的 E 数的种类有公差和温度系数误差好的倾向, 相反也未必正确。

当然, 未用该种类支持的电阻值为特别订货处理, 是很难买到的。在这种情况下, 最好是在填写特别订货电阻器订购单之前, 根据容易得到的电阻值, 再一次研究能否改变电路设计(第 8 页专栏)。

► 公差——电阻表示值与实阻值之间的误差

公差一般称为“误差”。本书为了与下一项的温度系数区别, 使用这种表现方法。