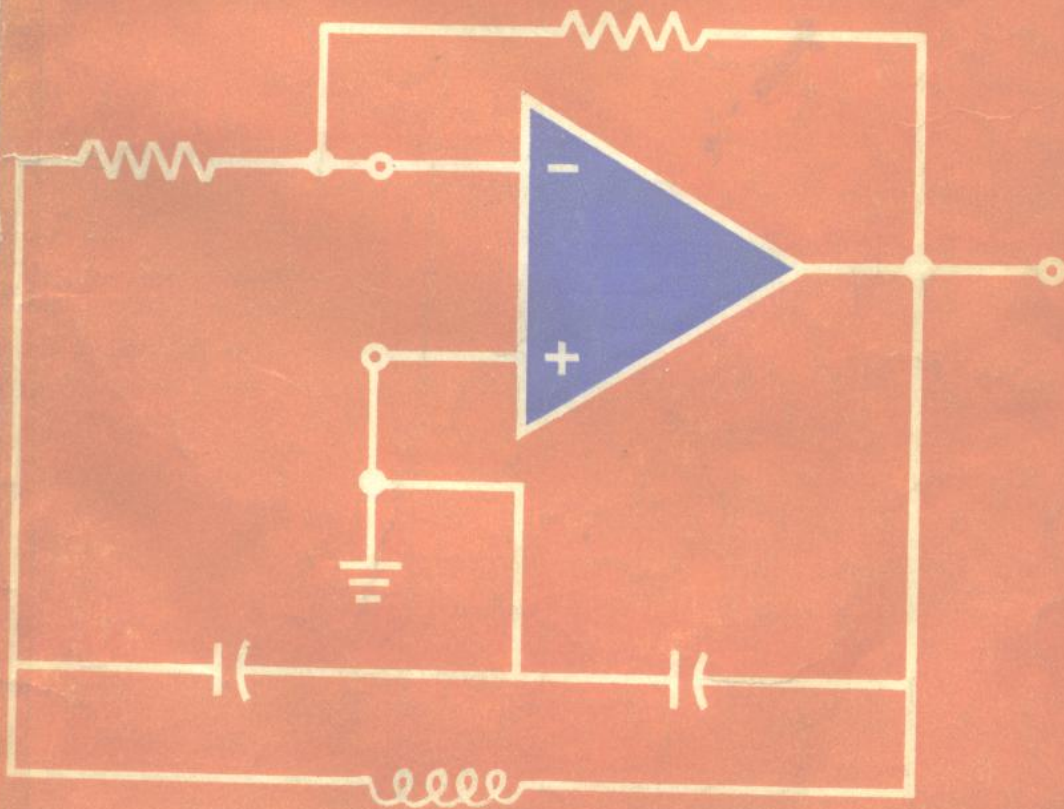


基础电子学

[美] 迈克尔·M·西罗维克 著

林敬熙 张玉纲 译



人民教育出版社

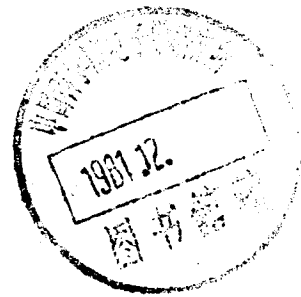
73.611
187

基础电子学

器件、电路和系统

[美] 迈克尔·M·西罗维克 著

林敬熙 张玉纲 译



人民教育出版社

1103741

本书是美国的一本电子学简明教材。它介绍了电子技术的基本理论和具体应用,内容非常广泛而叙述深入浅出。全书共分三部分:第一部分介绍的电子器件达四十多种;第二部分深入地讨论放大器的基本原理,振荡器、运算放大器、数字电路等基本概念;第三部分介绍电源系统、通讯系统、数字系统以及模-数和数-模转换等有代表性的电子系统作为已学过电路的推广。

本书作者是美国加利福尼亚州州立多科性工业大学(设于 San Luis Obispo)电子学和电气工程教授。1971年和1976年他被美国电气和电子工程师学会(IEEE)命名为最富于启发性的导师(Inspiring Instructor)。

此书译自1979年第二版。译者对原书中的错误作了尽可能的修正。

此书可供高等工科院校和中等专业学校学生以及工程技术人员参考。

Basic Electronics: Devices, Circuits and Systems

Second Edition (1979)

Michael M. Cirovic

Reston Publishing Company, Inc.

A Prentice-Hall Company

DL14/19

基础电子学

器件、电路和系统

[美] 迈克尔·M·西罗维克 著

林敬熙 张玉纲 译

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

肇源印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 22.5 字数 510,000

1980年9月第1版 1981年7月第1次印刷

印数 00,001—13,500

书号 15012·0275 定价 1.90 元

序 言

我们生活的时代被称为“技术时代”。电子学在这个时代起着重要的作用。它为我们提供装备使通讯得到改进；使我们得以探索宇宙；使医生能更好地保护我们的健康；使我们能处理大量的资料和数据(通过数字电子计算机)；把我们从繁琐的工作中解放出来。电子学已有的及未来可能完成的业绩，可以列成一份非常之长的清单。然而，情况常常是这样，技术革命的装备所带来的难题恰恰与它所解决的同样多。有鉴于此，未来的技术专家必须比他们的前人更加了解并且关注电子学对于人类及其环境产生的重大影响。

本书有三个目的：第一，介绍各种电子器件的基本工作原理和特性；第二，阐述这些器件在简单电子电路中的应用以及这些电路的分析和设计；第三，介绍一些复合的电子系统，作为器件和简单电路应用的简单推广和范例。

要完全理解本书的内容需预先具备高等数学课程和电路初级课程的知识。

绪论是对基本电路原理的复习。它是从实际“如何应用”的角度叙述的。这是为了使本书较易于理解，同时也为了阐明在整个电子学中原理的一致性——即，支配并说明最简单电路的功能的基本规律和关系同样适用于最复杂的系统。另外，在绪论中还介绍了电阻器、电容器和电感元件的工作特性。

第一部分介绍了基本的物理现象和物理原理，以便于理解电子器件的工作情况。这只是简要的叙述，没有作导出器件端特性的数学讨论。端特性是直接导出的，接着提出了偏置电路。这一部分还介绍了器件在正确偏置时，在加信号状态下的端特性，在对包含器件的电路作系统分析时导出了模型和等效电路的应用。

第二部分阐述了第一部分中介绍的器件在简单电路中的应用。所采用的分析方法着重于近似法和实用，同时还说明了若干设计问题。

第三部分叙述的是较复杂的电子电路和系统。讨论时有时采用实际电路；有时采用方框图。

本书采用积木式的方法对电子学进行探讨：从简单的基本概念出发，使复杂的系统变得易于理解。读者可以看到，即使是最复杂的电子系统也是最简单电路的逻辑推广。

我应该感谢谢里·戈德贝克为使本书更加易懂所作的努力；同时要感谢我的学生哈里·班克斯就绪论部分的插图所给予的帮助；并向提供了许多有用资料的各制造厂商致谢。

迈克尔·M·西罗维克

目 录

序言

绪论	1
第一部分 器件	13
第一章 半导体物理	14
§ 1.1 物质的分类	14
§ 1.2 半导体	16
§ 1.3 掺杂半导体	19
§ 1.4 半导体的导电原理	20
复习题	21
第二章 半导体二极管	23
§ 2.1 耗尽区和接触电位	24
§ 2.2 二极管的偏置	25
§ 2.3 二极管的特性	26
§ 2.4 二极管等效电路	28
§ 2.5 特殊用途的二极管	30
复习题	31
练习	32
第三章 晶体管	31
§ 3.1 晶体管中的电流	35
§ 3.2 晶体管的静态特性	38
§ 3.3 晶体管的额定值	42
复习题	43
练习	44
第四章 晶体管偏置、偏置的稳定性和小信号模型	45
§ 4.1 偏置	45
§ 4.2 晶体管的低频模型	52
§ 4.3 晶体管的高频模型	60
复习题	63
练习	63
第五章 场效应管的工作原理、偏置和模型	65
§ 5.1 结型场效应管	65
§ 5.2 结型场效应管的偏置	68
§ 5.3 绝缘栅型场效应管	71
§ 5.4 金属氧化物半导体场效应管的偏置	74
§ 5.5 场效应管的小信号模型	75
§ 5.6 场效应管的高频模型	77

复习题	78
练习	78
第六章 晶体闸流管与有关器件	80
§ 6.1 单结晶体管	80
§ 6.2 多层二极管	82
§ 6.3 晶体闸流管	85
复习题	90
第七章 光电器件	91
§ 7.1 光电导管	91
§ 7.2 光伏电池	93
§ 7.3 光电二极管	94
§ 7.4 光电晶体管	94
§ 7.5 光激 PNP 器件	95
§ 7.6 发光二极管	96
复习题	97
第二部分 电路	98
第八章 整流器和滤波器	99
§ 8.1 半波整流器	99
§ 8.2 全波整流器	102
§ 8.3 整流滤波器	104
复习题	106
练习	107
第九章 放大器原理	108
§ 9.1 增益计算——系统分析	108
§ 9.2 单级晶体管放大器	110
§ 9.3 单级场效应管放大器	112
§ 9.4 频率响应	114
复习题	118
练习	118
第十章 实际放大器	120
§ 10.1 输入和输出阻抗	120
§ 10.2 实际增益和视在增益	120
§ 10.3 放大器负载	122
§ 10.4 阻抗匹配	123
§ 10.5 放大器的级联	124
复习题	127
练习	128
第十一章 调谐放大器	129
§ 11.1 单调谐放大器	129
§ 11.2 调谐放大器的耦合	134

§ 11.3 双调谐放大器	135
复习题	138
练习	139
第十二章 功率放大器	141
§ 12.1 功率放大器的分类	141
§ 12.2 串联反馈A类放大器	142
§ 12.3 功率及耗散	144
§ 12.4 谐波失真	147
§ 12.5 单端A类放大器	149
§ 12.6 变压器耦合推挽放大器	150
§ 12.7 其他推挽放大器	155
§ 12.8 互补对称放大器	156
§ 12.9 小结	157
复习题	158
练习	158
第十三章 负反馈放大器	160
§ 13.1 反馈的一般概念	160
§ 13.2 电压反馈放大器	161
§ 13.3 电流反馈放大器	163
§ 13.4 反馈对频率响应的影响	166
§ 13.5 串联和并联反馈放大器	167
§ 13.6 反馈对非线性失真和噪声的影响	170
复习题	170
练习	171
第十四章 差动放大器和运算放大器	172
§ 14.1 射极跟随器	172
§ 14.2 差动放大器	174
§ 14.3 集成电路差动放大器	179
§ 14.4 运算放大器	180
复习题	184
练习	184
第十五章 正弦振荡器	185
§ 15.1 振荡条件	185
§ 15.2 哈脱莱(Hartley)振荡器	186
§ 15.3 考毕兹(Colpitts)振荡器	187
§ 15.4 RC相移振荡器	189
§ 15.5 调谐输出振荡器	190
§ 15.6 双T振荡器	191
§ 15.7 文氏电桥振荡器	192
§ 15.8 稳幅振荡器	192
§ 15.9 晶体振荡器	193

复习题	193
练习	194
第十六章 数字逻辑电路	195
§ 16.1 二进制	195
§ 16.2 晶体管开关(或反相器)	196
§ 16.3 二极管门电路	199
§ 16.4 电阻-晶体管逻辑门(<i>RTL</i>)	200
§ 16.5 二极管-晶体管逻辑门(<i>DTL</i>)	202
§ 16.6 晶体管-晶体管逻辑门(<i>TTL</i>)	203
§ 16.7 集成 <i>TTL</i> 门电路	205
§ 16.8 互补金属氧化物半导体(<i>CMOS</i>) 门电路	208
复习题	213
练习	213
第十七章 削波、箝位和波形变换电路	215
§ 17.1 单电平削波电路	215
§ 17.2 双电平削波电路	217
§ 17.3 箝位电路	219
§ 17.4 波形变换电路	221
复习题	225
练习	226
第十八章 多谐振荡器	227
§ 18.1 双稳态多谐振荡器	227
§ 18.2 无稳态多谐振荡器	229
§ 18.3 单稳态多谐振荡器(单稳触发器)	232
§ 18.4 触发器	235
§ 18.5 集成电路单稳态触发器	241
§ 18.6 计时器	243
复习题	246
练习	247
第三部分 系统	248
第十九章 稳压电源	249
§ 19.1 稳压器	249
§ 19.2 限流电路	257
§ 19.3 集成电路稳压器	258
§ 19.4 完整的电源	261
复习题	264
练习	264
第二十章 电源控制系统	265
§ 20.1 电源控制原理	265
§ 20.2 三端双向可控硅灯光强度控制	269
§ 20.3 可控硅开关(<i>SCS</i>)报警电路	269

§ 20.4 可控硅整流器(<i>SCR</i>)对通用电动机速度和方向控制	270
§ 20.5 12伏电池充电器	271
复习题	272
第二十一章 调幅接收机	273
§ 21.1 调幅原理	273
§ 21.2 超外差调幅接收机	275
§ 21.3 调幅接收机举例	282
复习题	282
练习	283
第二十二章 调频接收机	287
§ 22.1 调频的基本原理	287
§ 22.2 调频调谐器	289
§ 22.3 完整的调频调谐器	296
复习题	300
练习	300
第二十三章 模拟系统	301
§ 23.1 模拟计算机原理	301
§ 23.2 各种模拟电路	307
§ 23.3 模拟系统的应用	308
复习题	311
第二十四章 数字系统	312
§ 24.1 二进制加法器	312
§ 24.2 译码器	316
§ 24.3 计数器(分频器)	318
§ 24.4 移位寄存器和锁存器	322
§ 24.5 复用器	323
§ 24.6 数字系统举例	324
复习题	327
练习	328
第二十五章 数字-模拟转换和模拟-数字转换	329
§ 25.1 数字-模拟转换	329
§ 25.2 模拟-数字转换	333
§ 25.3 小结	339
复习题	340
练习	340
第四部分 附录	342
附录一 晶体管 h 参数测量	342
附录二 真空管	344
A2.1 真空二极管	344
A2.2 真空三极管	346
A2.3 五极管	348

绪 论

绪论部分将简要地介绍最基本的概念、命题和定理, 以便于理解它们为何成立; 如何应用。这里不用数学方法作严格的理论探讨。但是, 工程技术人员必须深入领会这些贯穿整个电子学的基本概念。

本书阐述的电路和系统中包含的有源电子器件将在第一部分加以讨论。但即使是最复杂的电子系统中也包含有无源元件, 即电阻器、电容器和电感元件。因此我们必须简要地讨论这三种无源元件。

电阻器 电阻器是二端元件。在它的两端间显示出的电压降与流经它的电流成正比, 如图 I-1(a) 所示。我们用欧姆(Ω)来表示电阻的大小, 它是电压与电流的比值。因此在图 I-1(b)中,

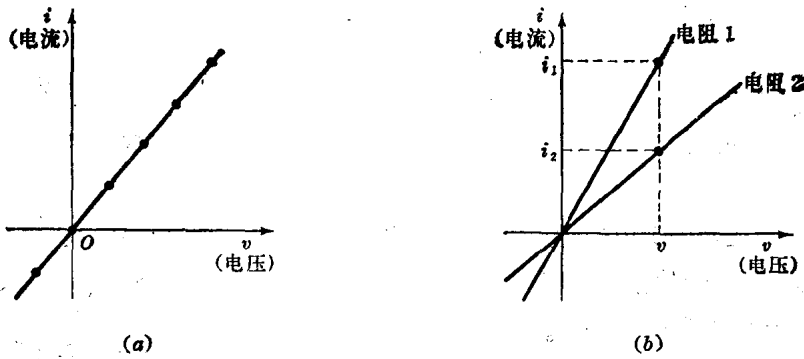


图 I-1. 电阻器中的电压-电流关系。

电阻器 1 的电阻值比电阻器 2 小。虽然两个电阻器上的电压同为 v , 但它在电阻器 1 中产生较大的电流 i_1 ; 而在电阻器 2 中产生较小的电流 i_2 。电压与电流之间的这种关系称为欧姆定律, 可以用下式表示:

$$v = iR \quad (\text{I-1})$$

这样的描述适用于理想电阻器。在实际的电子电路中, 电阻器是工厂生产的, 它只是近似地满足刚才叙述的电压-电流关系。

制造电阻器有许多种方法。一种电阻器叫做线绕电阻。在这种电阻中, 对电流的阻力是由一段绕在一个绝缘管内的线圈提供的。绝缘管外还包有绝缘釉。电阻值的大小和额定值通常标在电阻器上。这种电阻器的样品如图 1-2 所示。

另一种电阻器, 大概是最常用的, 是炭素或炭质电阻器。这种电阻器中, 电阻元件是炭质棒*, 两端接有金属引出线, 炭质棒则包在电木或塑料中。这种电阻器的阻值大小和规格用途在

* 其成分是由制造厂商掌握的商业秘密。

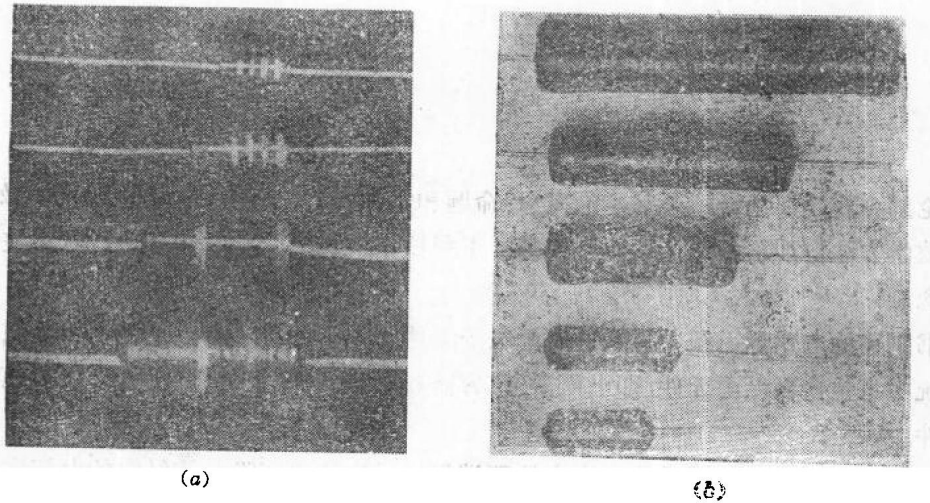
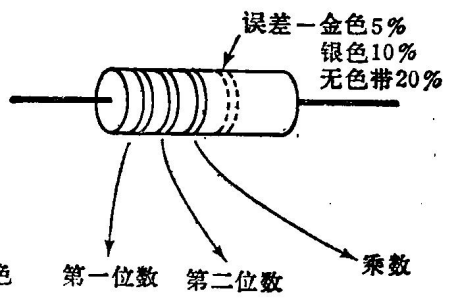


图 I-2. 各种电阻器: (a) 炭质电阻——1/4 瓦、1/2 瓦、1 瓦、2 瓦(自上至下), (b) 线绕电阻。

靠电阻器一端的色带来表示。电子工业协会 (EIA) 的色标如图 I-3 所示, 例如, 褐-绿-橙-银色标表示该电阻器的阻值为 15000 欧 $\pm 10\%$ (或 15 千欧 $\pm 10\%$)。

刚开始选用列在表 I-1 中的常用标准电阻值 (EIA) 时会觉得很 不习惯, 要正确地选择就必须懂得一点关于电阻器制造的知识。譬如, 首先从图 I-2 可以看出所有电阻值不同的 $\frac{1}{2}$ 瓦 (瓦特——功率单位) 电阻器大小相同。要做到这一点只有略微改变成分以得到不同的电阻值。成分和实际生产过程是不可能控制得非常精确的。因此, 可以想见, 我们无法精确地得到电阻器的标称值。稍微夸张一点, 可以假设在试制一批 50 欧的电阻器时, 所得的电阻值可能为 10 欧至 100 欧之间的任一数值。但作为制造厂商来说, 希望能把所有电阻器都销售出去。因此, 我们在选择



黑	0	0	1
褐	1	1	10
红	2	2	10^2 (100)
橙	3	3	10^3 (1000)
黄	4	4	10^4
绿	5	5	10^5
蓝	6	6	10^6
紫	7	7	10^7
灰	8	8	10^8
白	9	9	10^9
金	-	-	0.1
银	-	-	0.01

图 I-3. 电子工业协会 (EIA) 色标。

误差极限的同时, 要巧妙地选择标称电阻值。图 I-4 说明误差为 20% 时怎样进行选择。由此可见, 标称电阻值实际上包括将误差考虑在内的整个区间; 因此, 一个标称电阻值为 33 欧, 误差为 20% 的电阻器, 其阻值可能为 26.4 欧至 39.6 欧之间的任一值, 其下限与 22 欧、20% 误差的电阻器的上限相重叠而其上限与 47 欧、20% 误差的电阻器的下限相重叠。

也可以使用误差较小的精密电阻, 但价格也适当地增高。

表 I-1 美国电子工业协会(EIA)[无线电电子设备、电视设备制造业联合会(Retma)]电阻值及误差标准

误差	5%	10%	20%
	10	10	10
	11		
	12	12	
	13		
	15	15	15
	16		
	18	18	
	20		
	22	22	22
	24		
	27	27	
	30		
标称电阻值(单位: 欧*)	33	33	33
	36		
	39	39	
	43		
	47	47	47
	51		
	56	56	
	62		
	63	63	68
	75		
	82	82	
	91		
	100	100	100

* 该表所列为 10 到 100 欧范围。但是, 可以乘以十进倍数得到所有值。如, 62 千欧电阻适用 5% 误差, 但不能用 10% 和 20% 误差。

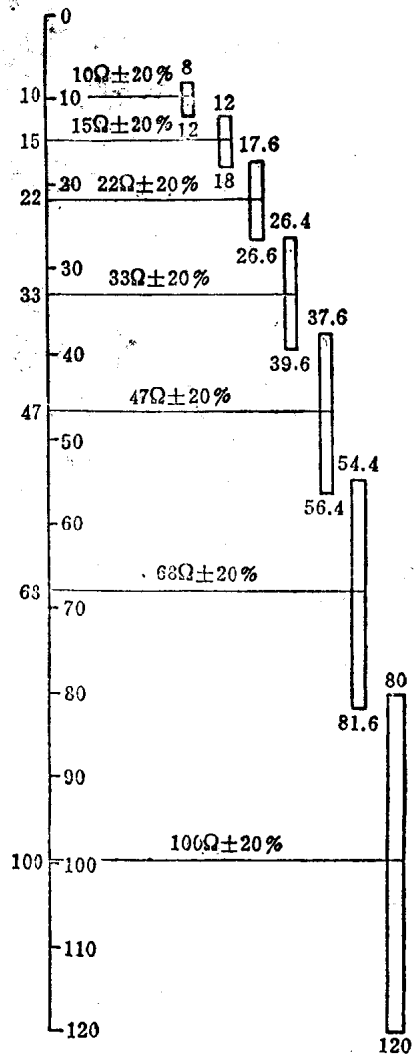


图 I-4. 在 20% 误差范围内的标准电阻值。

可变电阻或电位器的种类与固定电阻相同, 即可分为线绕型和炭质型两种。可变电阻尚未标准化, 但常用的有: 10 欧、20 欧、50 欧、100 欧、200 欧、500 欧、1 千欧、2 千欧、5 千欧、10 千欧、20 千欧、100 千欧、200 千欧、500 千欧和 1 兆欧(1, 000, 000 欧)。电位器两引出端之间为一固定电阻(这是它的标称电阻), 另外还有滑触头或滑臂的第三根引出线。滑触头引出端与另外两个引出端中的任意一个之间的电阻几乎可以连续变化。变化范围通常为由零到电位器的标称电阻值。标称电阻值通常包含 $\pm 10\%$ 或 $\pm 20\%$ 的误差。可用滑触头改变电阻值, 滑触头可转将近一圈(约 320°)。对于某些专用电位器则需要转十圈甚至更多。

在电位器中, 除了这些区别之外, 电阻值的变化还可以是线性的, 供一般使用需要; 或者是对数形式的, 供特殊用途需要(例如, 音频电路)。电位器是用途极广的电路元件, 它那形形色色的型号和外形尺寸表明了这一点。图 I-5 所示为几种电位器。

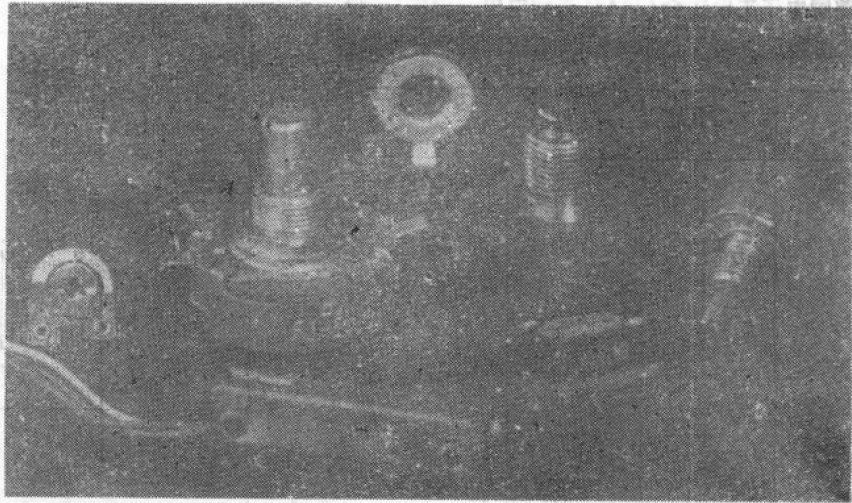


图 I-5. 几种电位器。

至此，我们只描述了理想电阻器和实际电阻器的构造和种类。实际电阻器的电路性质是怎样的呢？首先，实际电阻器的 $V-I$ 特性只是近似线性的。其次，对于实际电阻器，我们不能无限制地加大电流并希望在电阻器两端间产生相应较大的电压降。这些功率以热的形式在周围环境中耗散。当供给电阻器的功率(电压和电流的乘积)超过该电阻器可能以热的形式耗散的数值时，就会发生故障(通常是开路，在特殊场合也可能是短路)。这时 $V-I$ 特性的线性规律便不复存在了。换句话说，也就是电阻烧坏了。因此对于实际电阻，必须注意其功率的额定值。

功耗超过 1 瓦的电阻器容易发热(功率越高电阻器越热)。切勿用裸露的手去触摸工作电路中的电阻，因为除了有电击的危险外，还可能烧伤手指。

理想电阻器在所有电压和电流电平上都表现出同样的 $V-I$ 特性，实际电阻器就不是这样。理想电阻在所有温度上都显示出相同的电阻值，而实际电阻的阻值随温度而变化(有时是急剧的变化)。

理想电阻器与实际电阻器之间的另一显著区别在观察高频特性时显示出来。可以想见，在频率极高时，实际电阻器的性能会更接近于电容器或电感元件，而理想电阻器仍然是纯电阻。

电容器 各种类型的电容器都是依照同样的原则设计的，它们都是由被电介质*分隔开的两个导体表面组成的。然而，这一基本方案甚至无法使人联想起所使用的许多不同类型的电容器。

我们首先阐述在理想电容器中电流与电压之间的基本关系。由于电介质的存在，不可能有净电流从电容器的一端流向其另一端。如果将直流电压加于未经充电的电容器上，起初可以观察到有电流流动，随后就停止了。在此期间，电子积聚在两导体表面之一，不能通过电介质。与此同时，从导体另一表面上移走了等量的电子。这一过程称为电容器的充电。当外加电压给定时，决定电容器充电中止时刻(充电和电流的流动同时中止)的因素有：(1)导体表面积，(2)所用电

* 电介质是不导电但能被电极化的物质。

介质的种类以及(3)两表面间的距离。电容(C)就是这些因素的综合量度。它的单位为法拉(F)。它由实验确定为:

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (I-2)$$

式中 ϵ 为两块导电板间介质的介电常数; A 为极板面积; d 是极板间距。

实验证明, 电容也可以用电容器极板积聚的电量 Q 与充电所需的电压 V 的比值来确定。即

$$C = \frac{Q}{V} \quad (I-3)$$

考察电容器的 $V-I$ 关系时我们发现, 当外加电压固定时, 产生的电流是变化的(即, 电流最终将停止流动)。因此, 电容器的 $V-I$ 关系肯定不是电阻器那样的比例关系。而且, 电容器的 $V-I$ 关系与取值的瞬间有关。或者换句话说, 它是时间的函数。

由式(I-3)可知, 如果使电量和电压随时间变化(将这两个随时间变化的量用小写字母表示), 则可以写成

$$q(t) = Cv(t) \quad (I-4)$$

考虑到电流是电荷的流动, 即 $i = dq/dt$, 于是可最终得出电容器 $V-I$ 特性的表示式:

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = C \frac{dv(t)}{dt} \quad (I-5)$$

这一方程表明, 在任一瞬间供给电容器的电流与电容器电压的变化率成正比。另外, 供给负电流等效于电流由电容器流出。因此, 如果用负号乘以式(I-5), 它就可以读作: 由电容器移走的电量(负电流)使电容器的电压下降(负的电压变化率)。图 I-6 给出了这些 $V-I$ 特性曲线。

上面的讨论也可以说明在现象的数学表述——方程式和我们对物质世界的认识之间的一一对应关系。数学表达式不过是描述和概括我们的观察结果以及对于物质世界的推测的速记方法。

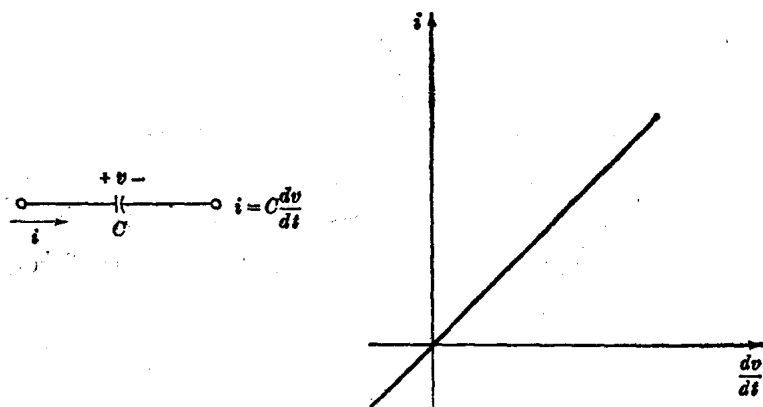


图 I-6. 理想电容器的符号和 $v-i$ 特性。

* 译者注: 原文误为 $i = \frac{dQ}{dt}$ 。

由式(I-5)总结的电压和电流相互关系得出的直接结论是,电容器两端的电压不能突变。其推理过程如下:如果电压突变(时间间隔为零),则 dv/dt 将变为无穷大,因而需要电流为无穷大。这是完全不可能的。因为电量虽然可以储存,但是它既不能创造也不能消灭。在所有包含电容器的电路中,我们都可以应用这一事实:电容器可以避免其两端的电压产生突变。

现在我们来研究电容器的结构。图 I-7 所示为形形色色的电容器中的几种。纸质电容器是最常用的种类之一。这种电容器的电介质(纸)夹在两片铝箔之间被卷紧。卷成的圆柱插在硬纸管里用石蜡做粘合剂填充,或者套在塑料套内。也有用其他各种电介质的,最为常用的是云母和陶瓷电容。

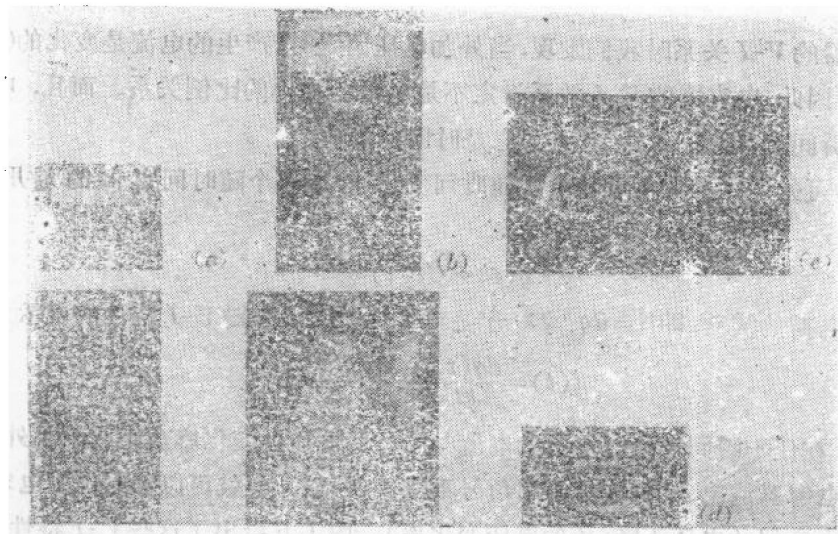


图 I-7. 各种电容器: (a) 聚苯乙烯, (b) 陶瓷, (c) 可变, (d) 电解。

电解电容器在构造上与纸质电容器相似,但在其他方面完全不同。它的一个极板是用铝箔做的,附有一薄层绝缘材料(通常是氧化物敷层)作为电介质。第二极板是由称为电解质的导电液体构成的(因此它的名称叫电解电容器)。用一条铝箔作为第二极板的电接点,将电解质液体浸入多孔的纸内以使它保存在两片铝箔之间。然后将两极板绕同一轴卷拢,卷成的圆柱插在金属护套内。电解电容器的极板间距非常小,这使它能从很小的体积提供相当高的电容值。电解电容器的主要特点是它具有极性,也就是说它只能按标明的极性(+或-)正常充电。极性相反的电压可能损坏正极上的绝缘薄层,因而破坏电容器储存电荷的能力。实际上,极性相反的电压使电容器短路(电阻基本上为零),并产生相当大的电流,从而在电容器中产生气体,电容器可能被胀破或爆裂。

有一种电解电容器(称为钽电容器)采用钽电极代替铝电极,它比外形尺寸相同的铝电容器有更大的电容值。其他一些种类的电容器使用聚苯乙烯、聚酯或聚酯树脂的合成薄膜。

通常是通过改变极板的有效面积使电容器成为可变电容。在两组半圆形的金属板之间隔有作为电介质的空气,其中一组是固定的,另一组安在轴上可以转动。转动时两组金属板重叠部分的面积增大或减小,从而使电容值增大或减小。

式(I-2*)提出了另一种改变电容的方法,这就是改变极板间距。将用云母片(电介质)隔开的金属箔安在一个带有穿过所有三层薄片的螺旋的陶瓷底座上。拧紧螺旋就使金属箔相互靠拢,从而增大电容。这种电容器通常称为微调电容器,因为它电容的变化量很小。当调节较大的电容器时它用作细调(微调)。

刚才考察了实际电容器的构造,它们与理想电容器之间有着很大的区别。理想电容器将供给其极板的所有电荷都储存起来。但实际电容器中的电介质并非绝对的绝缘体,有些(虽然极少)电荷从一个极板流向另一极板。通过实际电容器传递的电量与它所储存的电量相比是非常之小的,因而在绝大多数情况下可以略计。所以用理想电容器表示实际电容器是一种合理的近似。但是,有时我们必须考虑通过实际电容器漏泄的少量电荷。因而我们用理想电容器与理想电阻器的并联来表示实际电容器。这一等效泄漏电阻通常是非常高的(兆欧级),在绝大多数场合不会使结果产生明显的改变。

理想电容器被假设为能储存它所需要的任意多电量,或者根据式(I-3),它能承受任意外加电压。只要电压不超过电容器上标明的某个最大值,则实际电容器的性能可由式(I-3)给出。如果加上足够高的电压,任何电介质都会被击穿而导通。当电容器这样导通时,它就永久地损坏了。因此,那怕时间极短,也不应超过厂商标明的最高工作电压。

与电阻器不同,电容器并不耗散供给它的能量。反之,它将能量以建立在两极板之间的电场能的形式储存起来。因此,供给电容器的全部能量,除了漏泄过程中损耗的极少部分外,可以全部收回。

电感元件 将导线在合适的模子上绕成线圈就构成了电感元件。当产生的电流通过线圈时,线圈内部及其周围就建立起一个与电流成比例的磁场。带电粒子——这种情况下是电子——的运动是产生磁场的原因。实验已经证明,如果有随时间变化的磁场作用于线圈,在线圈上就会感应出电压降。这一电压降与磁场变化率成比例。现在我们再来看看随时间变化的电流通过线圈时会产生什么现象。随时间变化的电子运动(即随时间而变化的电流)在线圈内部和周围建立起磁场,这个磁场同样是随时间变化的。这一变化的磁场作用于线圈并在线圈上感应出电压降。

我们可以推断,在电感元件中,电压正比于电流随时间的变化率。比例常数称为电感(L),它用亨利(H)来量度。因此:

$$v = L \frac{di}{dt} \quad (I-6)$$

恒定电流(即不随时间而变化的电流)建立起一个恒定磁场,或者说静磁场。因此,直流电不能在电感元件中产生感应电压。式(I-6)的V-I关系绘于图 I-8 中。

理想线圈的电感是匝数(N)、线圈截面积(A)、线圈长度(l)以及线圈内部介质的导磁率的函数,列成等式为:**

* 译者注:原文误为式 I-3。

** 这是简单的单层线圈的关系式。在许多参考书中列有其它样式线圈的关系式。

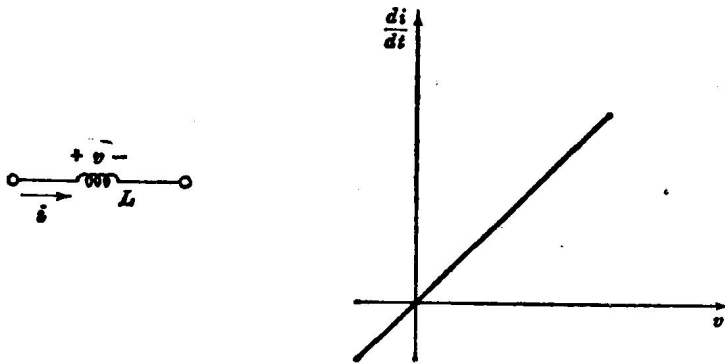


图 I-8. 理想电感元件的符号和 $v-i$ 特性。

$$L = \mu \frac{N^2 A}{l} \quad (\text{I-7})$$

由这个关系式可知,线圈的电感可以通过将某种导磁率与空气不同的材料插入线圈内而改变。最常用的办法是插入一个铁芯,或者如果需要更大的电感的话,可以将线圈绕在叠片铁芯上。图I-9所示为空心、铁芯以及较大的叠片铁芯电感元件的样品。

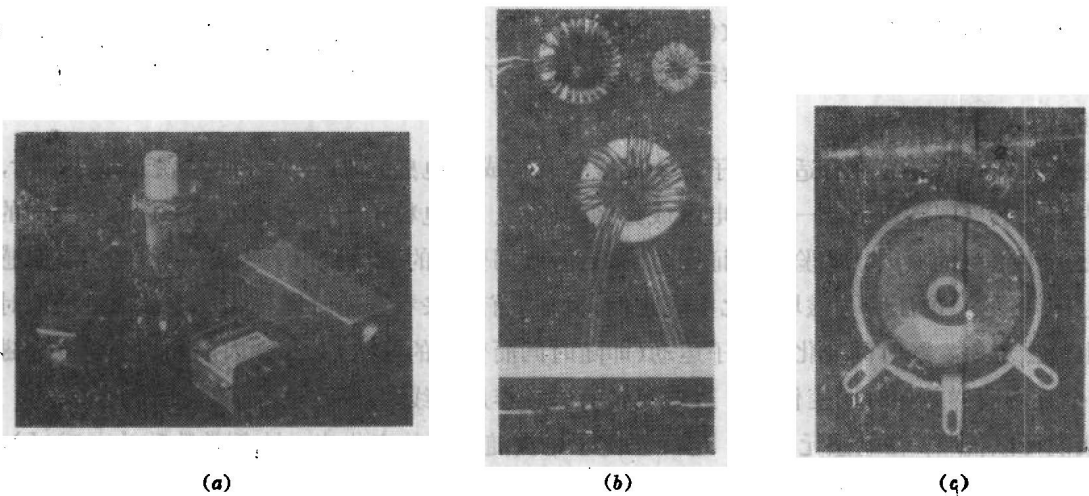


图 I-9. 各种电感元件: (a) 可变, (b) 固定, (c) 中心抽头。

实际电感元件有时称为扼流圈。它在许多方面与理想电感元件不同。首先,实际电感元件由绕在合适芯子上的若干英尺导线构成,它有一定的直流电阻,这是理想电感器所没有的。这一直流电阻就是绕线圈所用导线的欧姆电阻。它可能小至十分之一欧姆或者大至几百欧姆,视线圈而定。为计及这一直流电阻,实际电感元件在电路图中用理想电阻器与理想电感元件的串联来表示。另一个重要区别是,在实际电感元件中可以观察到在绕线之间存在着极小的电容。这种电容只在高频时才变得显著。在大多数场合可以略计。

电感元件与电容器相似,它也把供给它的能量储存起来。但它储能的形式是磁场能而不是电场能。在实际电感元件中,一部分(通常很小)能量损失在串联电阻中。