

电 子 学

电 路 与 器 件

(美) R. J. 史密斯 著

王淑华 王惠功 编译

人 民 邮 电 出 版 社

Electronics Circuits and Devices 1980

Ralph J. Smith

内 容 提 要

本书是一本电子学中电路与器件方面的入门书。在简要地讲述电路定律和器件基本物理概念的基础上，着重介绍数字电子学和线性电子学方面的基本知识及一些新成就。它的特点是没有繁琐的数学推导，也不需要高深的数学理论，而是注重于概念的阐述。因此，通俗易懂、便于自学。此外，书中还有大量的插图、例题，每章后面附有提要、复习题、练习题、问题等，读者对书中内容的理解。

本书可供从事电子工程工作的科技人员、大专院校有关考。也可作为具有大学一年级文化水平人员的自学读物。

电 子 学 电 路 与 器 件

[美] R. J. 史密斯 著

王淑华 王惠功 编译

责任编辑：李光铃

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：850×1168 1/32 1984年8月第一版
印张：18 24/32 页数：300 1984年8月河北第一次印刷
字数：495 千字 印数：1—12,500册

统一书号：15045·总2863—有5355

定价：2.90元

目 录

原序	(1)
第一章 电的物理量	(1)
第一节 引言	(2)
第二节 定义和定律	(5)
第三节 电路元件	(17)
提要	(24)
复习题	(25)
练习题	(26)
问题	(30)
第二章 电路原理	(32)
第一节 电路定律	(32)
第二节 网络定理	(47)
第三节 非线性网络	(57)
提要	(63)
复习题	(64)
练习题	(65)
问题	(70)
第三章 信号处理电路	(72)
第一节 信号波形	(72)
第二节 理想放大器	(86)
第三节 理想二极管	(92)
第四节 波形形成电路	(98)
提要	(104)
复习题	(106)
练习题	(107)

问题	(113)
第四章 阴极射线管.....	(115)
第一节 电子运动.....	(115)
第二节 阴极射线管.....	(121)
第三节 示波器.....	(127)
提要	(134)
复习题	(135)
练习题	(136)
问题	(138)
第五章 半导体二极管.....	(140)
第一节 固体中的导电.....	(140)
第二节 掺杂半导体.....	(146)
第三节 结型二极管.....	(151)
第四节 特殊用途的二极管.....	(163)
提要	(165)
复习题	(167)
练习题	(168)
问题...	(173)
第六章 晶体管和集成电路.....	(175)
第一节 场效应晶体管.....	(175)
第二节 双极结型晶体管(BJT).....	(181)
第三节 集成电路.....	(191)
第四节 闸流晶体管.....	(197)
提要	(203)
复习题	(204)
练习题	(204)
问题	(208)
第七章 逻辑元件.....	(210)
第一节 开关逻辑.....	(210)

第二节	电子开关	(217)
第三节	晶体管逻辑门	(220)
第四节	存储元件	(230)
第五节	数字集成电路	(238)
	提要	(240)
	复习题	(241)
	练习题	(242)
	问题	(248)
第八章	数字器件	(250)
第一节	二进制数	(250)
第二节	布尔代数	(258)
第三节	逻辑电路分析	(261)
第四节	逻辑电路综合	(262)
第五节	用图解法求最简化电路	(267)
第六节	寄存器	(271)
第七节	计数器	(275)
第八节	读-写存储器	(281)
第九节	只读存储器	(287)
第十节	信息处理	(290)
	提要	(296)
	复习题	(297)
	练习题	(298)
	问题	(307)
第九章	微处理机	(310)
第一节	四位信息处理机	(311)
第二节	储存程序计算机	(319)
第三节	微处理机程序设计	(325)
第四节	实际微处理机	(334)
第五节	最小计算机系统	(346)

提要	(349)
复习题	(350)
练习题	(351)
第十章 交流电路	(357)
第一节 相量	(357)
第二节 正弦响应	(363)
第三节 频率响应	(372)
提要	(386)
复习题	(388)
练习题	(389)
问题	(396)
第十一章 大信号放大器	(398)
第一节 实际放大器	(398)
第二节 偏置电路	(403)
第三节 功率放大器	(414)
第四节 其它类型的放大器	(423)
提要	(427)
复习题	(429)
练习题	(430)
问题	(434)
第十二章 小信号模型	(437)
第一节 大信号和小信号	(437)
第二节 二极管的电路模型	(441)
第三节 场效应晶体管的电路模型	(443)
第四节 双极结型晶体管的电路模型	(449)
提要	(459)
复习题	(461)
练习题	(461)
问题	(465)

第十三章 小信号放大器	(468)
第一节 RC耦合放大器	(468)
第二节 频率响应	(472)
第三节 多级放大器	(487)
提要	(493)
复习题	(494)
练习题	(495)
问题	(501)
第十四章 反馈放大器	(502)
第一节 反馈系统	(503)
第二节 正反馈的应用	(507)
第三节 负反馈的应用	(511)
第四节 跟随器	(517)
提要	(521)
复习题	(522)
练习题	(524)
问题	(527)
第十五章 运算放大器	(529)
第一节 反相电路的应用	(530)
第二节 同相电路的应用	(536)
第三节 非线性应用	(541)
第四节 实际应用	(548)
第五节 模拟计算机	(554)
提要	(560)
复习题	(561)
练习题	(562)
问题	(566)
附录	(568)
附录一 物理常数	(568)

附录二	换算因子.....	(568)
附录三	复代数.....	(568)
附录四	典型的TTL集成电路单元.....	(574)
附录五	器件特性.....	(575)
符号表	(582)

第一章 电的物理量

电子学的历史开始于阴极射线的发现并仍在继续发展着。它是一部记载着数学家、物理学家、工程师和发明家卓越贡献的历史，也是一部辛勤建立起来的完整的工艺学的历史。

当希托夫和克鲁克斯在1869年研究阴极射线时，马克斯威尔正在推导他的电磁辐射的数学理论。以后不久，于1883年爱迪生观察到了真空中的电子导电现象。1888年，赫兹证实了马克斯威尔关于无线电波存在的预言。1897年，J.J.汤姆森测定出 e/m （荷质比），与此同时，马可尼致力于无线电的研究，并于1901年首先实现了跨越大西洋的无线电通信。当爱因斯坦正在总结光电效应理论的时候，1904年弗来明发明了第一只电子管，它是一只利用爱迪生效应的灵敏的二极管检波器。直到1906年德福雷斯特发明了三极管，才使放大电信号成为可能，并导致1912年阿姆斯特朗的灵敏再生检波器的出现和有重要意义的振荡器的问世。

兹沃金于1924年发明显象管，1939年发明了光电倍增器，这就开辟了电子学的新领域。沃森一瓦特提出的关于无线电探测设备——也就是雷达的设想，在第二次世界大战中，促使它得到迅速的发展。战后生产上的需要和半导体物理学的知识越来越丰富，导致了肖特基、巴迪因、布拉顿于1947年发明了晶体三极管和1954年皮尔逊发明了硅太阳能电池。1958年基尔比的集成电路把含有多个半导体器件的完整网络制作在一个单块的小片上。爱因斯坦早在1917年就指出了辐射激发发射的可能性，1953年汤斯运用这一概念实现了微波激射器。1958年汤斯和肖洛阐述了关于把微波激射器的原理应用到光学范围的设想，1960年梅曼根据这一设想成功地制成了脉冲红宝石激光器。

埃克特和莫及利1946年制造了一台含有18000只真空管的电子数字计算机，从而开始了计算机的革命；霍夫于1969年研制了一台集成在极小硅片上的微型计算机，它的运算能力不亚于上述的真空管电子数字计算机。

第一节 引 言

一个电气工程师主要是和有关电荷的现象特别是与电荷间的力和电荷间的能量交换的现象打交道。电子学是电气工程的一个分支，在电子学中器件的性能是用电子在电场和磁场中的性能来确定或解释。在某些情况下，能量是一个重要的物理量，而在另一些情况中，能量只是运载信息的一种手段。

例如，在侦察卫星中，太阳能电池的有用输出是电能，它变换成不同的形式供给控制和通信系统。但在上述侦察卫星的子系统，则将测试数据转换成数字信号，并进行初步的计算，然后把这些结果送回地面，这时能量只用来处理信息。

一、力和场

电荷是由与其它电荷相互间的作用力确定的。实验表明，作用力取决于电荷的数量、它们的相对位置及其速度。取决于电荷位置的力叫做电场力，而取决于电荷速度的力叫做磁场力。所有与电气工程有关的电和磁的现象，都可以用电荷间的力来解释。

在电视显象管中，一些电极的设置是用来产生加速电场和偏转电场，以控制电子运动的路径而形成图象。在计算机的存储器中，小磁环被电流脉冲所磁化，然后以磁场的形式“记忆”信息。由于场具有分布在空间的特性，所以必须用二维或三维来确定。

二、电路

与场形成对照，电路却完全可以用一维空间来描述，也就是沿

着路径的部位构成电路。在一个电路中，有关的变量是沿着电路上不同点的电压和电流。如果电路中的电压电流是恒定的（不随时间而变化），电流就受到电阻的限制。在用发电机对电池充电的情况下，10米长的铜线就可以有一定的电阻限制电流的流动。也可以用1米电阻线、1厘米电阻碳棒或者1毫米的半导体来得到相同的效果。

当元件的尺寸与其工作波长相比非常小而且总的效果可以认为是集中在一点时（或者叫做“集总的”），那么元件就可以用集总参数来表示。对比之下，作为天线用的10米铜线的性能则决定于铜线的尺寸和它上面电压电流的分布状况，所以天线必须用分布参数来表示。在本书中，我们只研究集总参数电路。

三、器件

对于在器件内部以及由组成系统的器件向外部或由外部向器件传送能量来说，电路都是重要的。电子器件起着信号的产生、放大、调制和检波的作用。例如，在无线电广播电台里，调制器按照音乐符号改变发射波的幅度，产生幅度调制。换能器是把能量或信息由一种形式变成另一种形式的器件；微音器也是一种换能器件，它把输入声波的声能转换为输出电流的电能。

四、系统

系统是将电路和器件组合起来以完成预定任务的整体。通信系统包括：微音器、能供出足够发射功率的高频载频振荡器、将声频信号加到载频上的调制器、把电磁波辐射到空间的发射天线，接收天线、从高频已调波中分离出所需信号的检波器、各类放大器和电源、把电信号恢复为原来声信号的扬声器。宇宙航行器的导航系统包括：把控制飞行方向的参数变成电信号的变换器、用来把实际导航参数与要求的导航参数进行比较的误差检测器、放大误差信号的放大器、推动调节控制喷咀的激励器、决定实际航向的传感器以及

允许进行必要比较的反馈环。

五、模型

还有一个理由说明电路是重要的，那就是用电路模型来代表一个器件或一个完整的系统往往是有利的，假设把前面提到的10米铜线绕成一个多匝的线圈，并在线圈两端加上频率可变的电压。如果把所加电压 V 和由其所引起的电流 I 之比作为频率的函数进行测量的话，结果将如图1.1所示。在区域A，线圈可以用一个单一的集总参数（电阻 R ）来表示，换句话说，从图1.1a的电路所得到的结果与实际的导线线圈所产生的结果几乎是一样的。与此类似，区域B内线圈的性能可用图1.1b的电路来表示，这个电路包含着另一集总参数（电感 L ）。在整个频率范围内，还需再加一个参数（电容 C ），并用图1.1c的电路模型来表示。

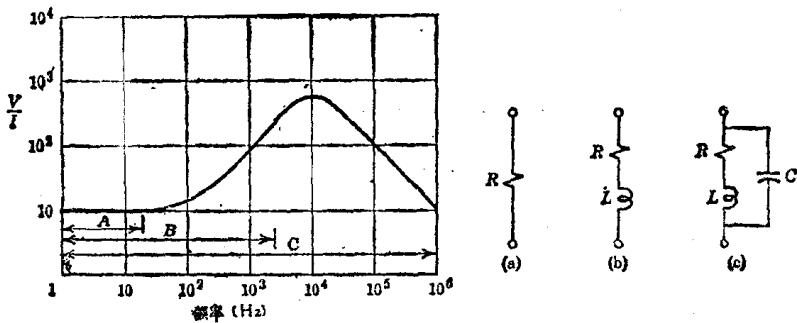


图 1.1 线圈特性和电路模型

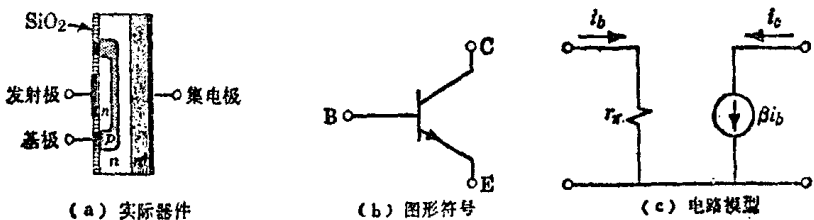


图 1.2 晶体管表示法

用比较简单的模型近似地表示一个复杂的物理器件的方法，是电气工程中的一个重要部分。在本书中，我们用电路模型来表示诸如二极管和晶体(三极)管之类的器件，如图1.2所示。这种电路模型的优点之一是它适合于数学分析。晶体管用电路模型表示以后，就可以用众所周知的电路定律来分析实际晶体管的性能。

第二节 定义和定律

在开始学习电路之前，我们必须首先给主要的电路物理量下定义，并采用一套标准的单位、符号和缩写。虽然这些材料大都是普通物理学中有关内容的复习，但它们值得给予重视，因为可用它所构成的“语言”来表达思想，形成概念和作出结论。

其次，我们再看一下早已在实验的基础上导出的电阻、电容和电感的三个定律。应用这些实验的结果和模型化的方法，我们创造了具有高度抽象性的理想化的电路元件，然后了解它们在电路中的作用以及它们是怎样转换能量的。

一、国际单位制

在工程中，为了能够使用统一的术语去定量地描述物理现象，而使每个人都按同一意义来理解它们，我们需要一个互相一致的标准单位系列，并在世界各地都可以复制。在电气工程中采用SI（国际制的缩写）制，它以米为长度的单位，公斤（千克）为质量的单位，秒为时间的单位。另一个基本量是温度，它在SI制中的单位是凯尔文（绝对温度度数）。在确定电的物理量的时候，还需要一个附加的单位——安培，把它作为电流的单位。坎德拉（新烛光）是光强度的单位。本书中遇到的所有物理量都可以由表1-1中的六个单位来确定。当数据用其他单位制给出时，首先要把它们变换成SI制单位，然后再代入到能应用的方程中去。经常需要的三个变换是：1米=39.37英寸；1公斤=2.205磅（质量）；1牛顿=

表 1-1

基 本 物 理 量

物 理 量	符 号	单 位	缩 写
长 度	l	米	m
质 量	m	公 斤	kg
时 间	t	秒	S
温 度	τ	凯 尔 文	K
电 流	i	安 培	A
光 强 度	I	坎 德 拉	cd

0.2248磅(力)。其它有用的变换关系都列在本书的附录中。

二、定义

为了对电路进行定量计算，我们把需要下定义的量列在表 1-2

表 1-2

重 要 的 导 出 物 理 量

物 理 量	符 号	定 义	单 位	缩 写	(备 考)
力	f	推 或 拉	牛 顿	N	$(kg \cdot m/s^2)$
能 量	w	作 功 的 能 力	焦 耳	J	$(N \cdot m)$
功 率	p	单 位 时 间 的 能 量	瓦 特	W	(J/S)
电 荷	q	电 的 数 量	库 伦	C	$(A \cdot S)$
电 流	i	电 荷 流 动 的 速 率	安 培	A	(C/S)
电 压	v	单 位 电 荷 的 能 量	伏 特	V	(W/A)
电 场 强 度	e	单 位 电 荷 的 力	伏/米	V/m	(N/C)
磁 通 密 度	B	单 位 电 荷 动 量 的 力	特 斯 拉	T	(Wb/m^2)
磁 通	ϕ	磁 通 密 度 的 积 分	韦 伯	Wb	$(T \cdot m^2)$

内。在过去的学习中，对这些量也许都已熟悉，然而在这里作简要的复习可能有所帮助。

1. 力

使质量为 1 公斤的物体产生 1 米/秒²的加速度所需要的力是 1 牛顿。在本书中，主要涉及的是电场力和磁场力。

2. 能量

克服重力举一物体，使其升高 1 米所需要的力为 1 牛顿（也就是说物体“重量”为 1 牛顿）时，物体所获得的位能就是 1 焦耳。质量为 1 公斤的物体以 1 米/秒的速度运动，它所具有的动能为 $1/2$ 焦耳。

3. 功率

功率是衡量能量转换率的。1 秒钟内转换 1 焦耳的能量表示平均功率为 1 瓦特。通常，瞬时功率定义为

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1-1)$$

4. 电荷

电量就是电荷，在解释物理现象中，这是一个有用的概念。所谓电荷是“守恒”的，就是说它既不能创造，也不能消灭。它之所以被称为“量子化”，是因为 1 个电子的电荷 (1.602×10^{-19} 库) 是能够存在的最小电荷量。库伦可以定义为 6.24×10^{18} 个电子的电荷，或者定义为在电场强度为 1 伏特/米电场中承受 1 牛顿的力的电荷，或者定义为以 1 安培的电流在 1 秒钟内所传送的电荷。

5. 电流

电场效应是由于电荷的存在而引起的，而磁场效应是由于电荷的运动而引起的。通过截面 A 的电流，其定义为在单位时间内通过该截面的电荷。通常，电荷可以是正的，也可以是负的，可从两个方向通过截面。电流是正电荷流动的净速率，它是标量。在正电荷向右运动而负电荷向左运动时，这两种运动的总效果是正电荷向右运动，在这种特定情况下，流向右边的电流由下方列程式确定：

$$i = + \frac{dq^+}{dt} + \frac{dq^-}{dt} \quad (1-2)$$

例如在霓虹灯里，向右运动的正离子和向左运动的负电子形成流向右边的电流。1安培的电流就是电荷以每秒钟1库伦的速率移动。

6. 电压

电荷移动时能量转换的能力决定于驱使电荷运动的电位差或电压。在1伏特电压的驱使下，运动着的1库伦电荷获得或失去1焦耳的能量，或通常表示为

$$v = \frac{dw}{dq} \quad (1-3)$$

能源的功用，例如汽车电池其作用是产生电流并由其携带能量；12-V电池加给每单位电荷的能量是6-V电池的两倍。

7. 电场强度

在电场力和磁场力的计算中，应用“场”这个概念是很方便的。我们设想在电荷周围有一个受其影响的区域，这个区域称为“电场”。电场强度 ϵ 由在电场中单位正电荷上所受作用力 f 的大小和方向来定义，它是矢量。用矢量表示的定义方程式是

$$f = q\epsilon \quad (1-4)$$

式中 ϵ 的单位是牛顿/库伦，然而，根据能量和电压的定义，我们就会注意到

$$\frac{\text{力}}{\text{电荷}} = \frac{\text{力} \times \text{距离}}{\text{电荷} \times \text{距离}} = \frac{\text{能量}}{\text{电荷} \times \text{距离}} = \frac{\text{电压}}{\text{距离}}$$

所以，以牛顿/库伦为单位的电场强度正好与电压梯度的大小相等而方向相反，即

$$\epsilon = - \frac{dv}{dl} \quad \text{伏/米} \quad (1-5)$$

8. 磁通密度

我们设想在运动电荷或电流的周围有一个受其影响的区域，这个区域称为“磁场”。在条形磁铁中，电流是由铁原子中的旋转着的电子所形成，这种电流对另一没有磁化过的铁片的旋转电子作用的结果，产生了吸力。磁效应的强度取决于磁通密度 \mathbf{B} ， \mathbf{B} 是一个矢量，它由在磁场中以速度 u 运动的电荷 q 上所受作用力 \mathbf{f} 的大小和方向来定义。用矢量表示的定义方程式是

$$\mathbf{f} = qu \times \mathbf{B} \quad (1-6)$$

可见，1 库伦的电荷以每秒 1 米的速度，在垂直于数值为 1 特斯拉的磁通密度的方向上运动时，所受到的力为 1 牛顿。

9. 磁通

历史上，磁场先是用磁力线或通量线来描述的。通量线（这样叫是因为它和运动着的流体中的流线相似）是一种有用的抽象概念，这种抽象能用铁屑图形来形象化。以韦伯为单位的磁通 ϕ 是磁通密度在整个面积 A 上积分得到的总量，其定义方程为

$$\phi = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} \quad (1-7)$$

由于这个原因，磁通密度经常被当作导出单位并用韦伯/平方米表示。然而，在本书中，我们考虑把特斯拉作为 \mathbf{B} 的基本单位。

三、电功率和能量

在电路中，一个常见的问题是用已知的电流和电压去计算功率和能量的转换。因为根据定义， $v = dw/dq$ 和 $i = dq/dt$ ，瞬时功率为

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = vi \quad (1-8)$$

因此，总能量为