

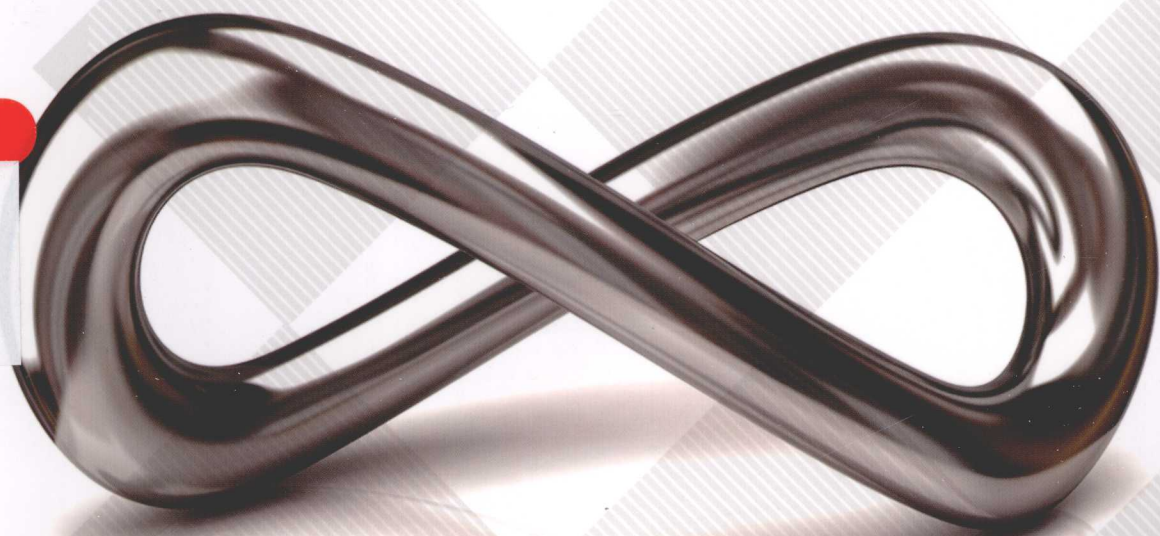
电子电路 从零到无穷大

逐步深入 **电子电路**

轻松构建 **知识框架**

快速探明 **前行道路**

◎ 夏志飞 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

014024939

TN710
384

从0到 ∞

电子电路从零到无穷大

夏志飞 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING



北航

C1711791

TN710
384

内 容 简 介

本书分为五篇，讲述了电子元器件、晶体管电路、模拟电路、数字电路，以及当前电子电路的发展趋势。内容翔实规范，插图明了实用，理论联系实际，具有较高的可读性、参考性与实用性，既可供工科院校相关专业师生阅读，也可供电子技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

电子电路从零到无穷大 / 夏志飞编著. —北京: 电子工业出版社, 2014.1

(从 0 到 ∞)

ISBN 978-7-121-22231-3

I. ①电… II. ①夏… III. ①电子电路—基本知识 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 311960 号

策划编辑: 王敬栋

责任编辑: 周宏敏 文字编辑: 张 迪

印 刷: 北京京师印务有限公司

装 订: 北京京师印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 17 字数: 435.2 千字

印 次: 2014 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 48.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

岁月如梭，逝者如斯，快到了而立之年，立点什么呢，写本书算是立言吧，还能够系统地整理一下所学所思，也希望借助本书和大家分享些感悟。

全书分为五篇，逐步地、系统地介绍了当前电子电路中常用的一些内容，力求从基础出发，并注重当前工程实际的需求，结合了笔者七八年来在航空电子领域积累的经验，选取了一些典型的开发实例。为了便于理解，本书尽量避免通过公式和定量讲解，而是通过精心绘制的近四百幅图表，以图形化的方式定性描述。

第一篇，分为图示电子电路、初识元器件和了解线性电路三个部分，了解了它们，便踏进了电子电路。

第二篇，分为初识晶体管、晶体管的身影和晶体管的舞台三个部分，了解了它们，便能够走进晶体管。

第三篇，分为认识放大器、了解数据转换器、熟悉稳压电源三个部分，了解了它们，便能够深入到模拟世界。

第四篇，分为初识数字电路、电路的沟通和掌中的天地三个部分，了解了它们，便能够跨进数字时代。

第五篇，分为电路设计方法、查漏与补缺和前行的道路三个部分，即便路很远，只要不停止脚步，一直走着，必能达到目标。

为了便于读者对照实际电路进行学习，本书未对电子元器件做标准化处理，特此说明。

在本书的写作过程中，笔者得到了凌云科技集团领导和同事的支持、中航工业第一飞行设计院何坤老师的指点、电子工业出版社王敬栋老师的指导。同时，本书参考了大量文献，书末也许未能一一提及，在此对这些参考文献的作者一并表示衷心的感谢。

此书的背后，也离不开家人的支持。父亲给我树立了榜样，母亲将家中收拾得一尘不染，还烧得一手好菜，而妻子不断地给予我鼓励，他们也是我最大的精神支柱。

最后，希望读者能从该书获取所需的知识，对电子电路的认识更上一层楼。鉴于笔者的思想和业务能力有限，加之时间仓促，本书可能存在很多不妥之处，恳请广大读者批评指正。

夏志飞

2013年9月于武汉

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为，歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036



CONTENTS

目录

第一篇 踏进电子电路

第 1 章 图示电子电路	(2)
1.1 电路的基础	(2)
1.1.1 基本术语	(2)
1.1.2 基本原理	(5)
1.2 电路图的类型	(7)
1.2.1 方框图	(7)
1.2.2 原理图	(10)
1.2.3 PCB 图	(10)
1.2.4 安装图	(11)
1.3 电路的读图	(12)
1.3.1 读图的层次	(12)
1.3.2 读图的方法	(13)
1.4 小结	(14)
第 2 章 初识元器件	(15)
2.1 电阻器	(15)
2.1.1 认识电阻	(15)
2.1.2 看懂电阻	(16)
2.1.3 用好电阻	(19)
2.2 电容器	(20)
2.2.1 认识电容	(20)
2.2.2 看懂电容	(22)
2.2.3 用好电容	(23)
2.3 电感器	(25)
2.3.1 认识电感	(25)
2.3.2 看懂电感	(26)
2.3.3 用好电感	(27)
2.4 变压器	(28)

2.4.1	认识变压器	(28)
2.4.2	看懂变压器	(29)
2.4.3	用好变压器	(30)
2.5	其他常见元器件	(31)
2.5.1	导线	(31)
2.5.2	开关	(32)
2.5.3	继电器	(33)
2.5.4	连接器	(34)
2.6	小结	(35)
第3章	了解线性电路	(36)
3.1	组合电路	(36)
3.1.1	纯电阻组合	(36)
3.1.2	纯电容组合	(38)
3.1.3	混合元器件组合	(39)
3.2	动态电路	(41)
3.2.1	电路的过渡	(41)
3.2.2	RC 微积分电路	(44)
3.2.3	LC 谐振电路	(45)
3.3	小结	(47)
第二篇 走进晶体管天空		
第4章	初识晶体管	(50)
4.1	二极管	(50)
4.1.1	认识二极管	(50)
4.1.2	看懂二极管	(51)
4.1.3	用好二极管	(54)
4.2	三极管	(56)
4.2.1	认识三极管	(56)
4.2.2	看懂三极管	(57)
4.2.3	用好三极管	(60)
4.3	场效应管	(63)
4.3.1	认识场效应管	(63)
4.3.2	看懂场效应管	(64)
4.3.3	用好场效应管	(67)
4.4	小结	(69)
第5章	晶体管的身影	(70)
5.1	二极管电路	(70)
5.1.1	限幅	(70)
5.1.2	整流	(72)

5.1.3	极性保护	(74)
5.1.4	稳压	(75)
5.1.5	检波	(75)
5.1.6	钳位	(76)
5.1.7	逻辑电路	(77)
5.1.8	指示	(78)
5.2	三极管电路	(78)
5.2.1	共射极电路	(78)
5.2.2	共集电极电路	(81)
5.2.3	共基极电路	(84)
5.3	场效应管电路	(86)
5.3.1	共源极电路	(86)
5.3.2	共漏极电路	(88)
5.3.3	共栅极电路	(90)
5.4	组合电路	(91)
5.4.1	渥尔曼电路	(91)
5.4.2	达林顿电路	(93)
5.5	小结	(94)
第6章	晶体管的舞台	(95)
6.1	放大电路	(95)
6.1.1	基本概念	(95)
6.1.2	常见的放大电路	(98)
6.1.3	放大电路的设计	(105)
6.2	开关电路	(106)
6.2.1	三极管开关电路	(106)
6.2.2	二极管开关电路	(107)
6.2.3	场效应管开关电路	(108)
6.2.4	开关电路的应用	(108)
6.3	小结	(109)

第三篇 深入模拟世界

第7章	认识放大器	(112)
7.1	运算放大器	(112)
7.1.1	运放概述	(112)
7.1.2	运放应用	(113)
7.2	特殊放大器	(117)
7.2.1	仪表放大器	(117)
7.2.2	差分放大器	(118)
7.2.3	程控增益放大器	(118)

7.2.4	隔离放大器	(119)
7.2.5	其他放大器	(120)
7.3	放大器的选用	(120)
7.3.1	有源滤波电路	(120)
7.3.2	信号发生电路	(122)
7.3.3	信号调理电路	(124)
7.3.4	其他应用	(125)
7.3.5	实例解析	(126)
7.4	小结	(129)
第 8 章	了解数据转换器	(130)
8.1	数模转换电路	(130)
8.1.1	电路概述	(130)
8.1.2	DAC 的选用	(132)
8.2	模数转换电路	(136)
8.2.1	电路概述	(136)
8.2.2	ADC 的选用	(139)
8.3	小结	(143)
第 9 章	熟悉稳压电源	(144)
9.1	线性稳压电源	(144)
9.1.1	线性稳压电源概述	(144)
9.1.2	晶体管稳压电路	(146)
9.1.3	线性集成稳压器	(148)
9.1.4	线性稳压电源的选用	(149)
9.2	开关稳压电源	(151)
9.2.1	开关稳压电源概述	(151)
9.2.2	开关稳压电源的选用	(155)
9.3	其他电源简介	(159)
9.3.1	逆变电源	(160)
9.3.2	不间断电源 (UPS)	(161)
9.4	小结	(161)
第四篇 跨进数字时代		
第 10 章	初识数字电路	(164)
10.1	从模拟到数字	(164)
10.1.1	模拟与数字	(164)
10.1.2	数字编码	(166)
10.2	组合逻辑电路	(171)
10.2.1	逻辑代数	(171)
10.2.2	逻辑器件	(174)

10.3	时序逻辑电路	(177)
10.3.1	时序逻辑	(177)
10.3.2	逻辑器件	(180)
10.4	小结	(181)
第 11 章	电路的沟通	(182)
11.1	数字接口原理	(182)
11.1.1	数字接口基础	(182)
11.1.2	数据传输基础	(183)
11.2	总线接口简介	(185)
11.2.1	局部总线	(186)
11.2.2	系统总线	(187)
11.2.3	通信总线	(190)
11.3	接口电路技术	(193)
11.3.1	信号调理	(193)
11.3.2	数据帧的收发	(196)
11.4	小结	(198)
第 12 章	掌中的天地	(199)
12.1	存储电路	(199)
12.1.1	SRAM	(199)
12.1.2	DRAM	(201)
12.1.3	FLASH	(203)
12.2	嵌入式微处理器	(205)
12.2.1	ARM	(205)
12.2.2	DSP	(206)
12.2.3	FPGA 可编程逻辑器件	(206)
12.3	嵌入式系统外设	(207)
12.3.1	通信接口类	(207)
12.3.2	传感作动类	(208)
12.3.3	人机交互类	(209)
12.4	软件概述	(210)
12.4.1	嵌入式操作系统	(210)
12.4.2	嵌入式应用软件及编程	(211)
12.5	小结	(212)
第五篇 走在路上		
第 13 章	电路设计方法	(214)
13.1	电路项目设计	(214)
13.1.1	项目分析	(214)
13.1.2	项目定义	(215)

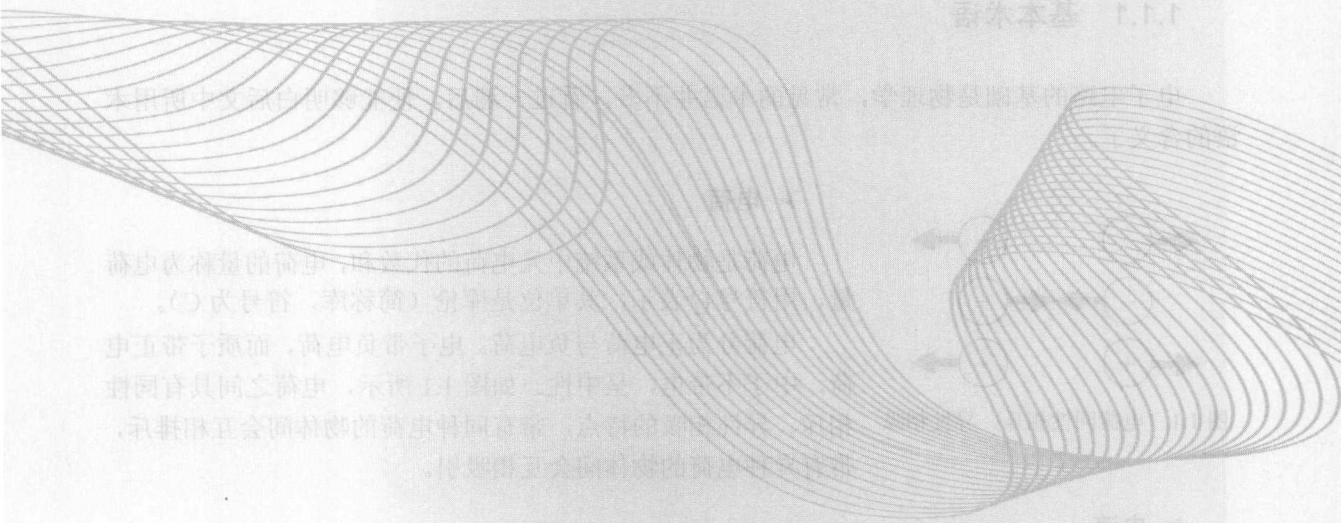
13.1.3	电路设计	(216)
13.1.4	样机验证	(218)
13.1.5	实例分析	(218)
13.2	基于 Protel 的设计	(219)
13.2.1	原理图设计	(219)
13.2.2	PCB 设计	(224)
13.3	基于 Multisim 的设计	(229)
13.3.1	原理图设计	(229)
13.3.2	电路分析	(230)
13.4	小结	(232)
第 14 章	查漏与补缺	(233)
14.1	电路测量	(233)
14.1.1	测量概述	(233)
14.1.2	常用仪器	(234)
14.1.3	虚拟仪器	(237)
14.2	元器件焊接	(238)
14.2.1	焊接工具	(238)
14.2.2	焊接	(240)
14.2.3	拆焊	(242)
14.3	设备布线	(242)
14.3.1	机箱与机柜	(243)
14.3.2	布线基础	(245)
14.4	小结	(247)
第 15 章	前行的道路	(248)
15.1	前行的方向	(248)
15.1.1	回顾历史	(248)
15.1.2	应用与展望	(250)
15.2	信息的整合	(254)
15.2.1	搜索引擎	(254)
15.2.2	电子厂商简介	(256)
15.3	小结	(259)
参考文献		(260)

第一章
电子电路

第一篇

踏进电子电路

- ◎ 第 1 章 图示电子电路
- ◎ 第 2 章 初识元器件
- ◎ 第 3 章 了解线性电路



第 1 章

图示电子电路

电路图是电子电路中的通用语言，一张好的电路图胜过千言万语。本章首先介绍电子电路的基础，包括基本术语和基本原理；然后分类阐述了一些常见的电路图类型；最后介绍了读图的层次和方法。由此，看到电路图后便不会陌生了。

1.1 电路的基础

学习电子电路，就如同学习语言一般，基本术语好比单词，基本原理好比语法。掌握语言中的单词和语法，这是说话交流的前提；理解电子电路的基本术语和原理，这是学习电子电路的基础。

1.1.1 基本术语

电子电路的基础是物理学，常见的术语并不多，看过一遍后，便能够明白后文中所用术语的含义了。

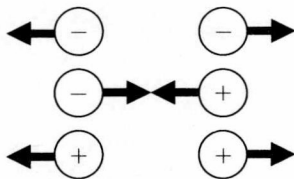


图 1.1 电荷同性相斥、异性相吸

► 电荷

电荷是物体或系统中元电荷的代数和，电荷的量称为电荷量，用符号 Q 表示，其单位是库伦（简称库，符号为 C）。

电荷分为正电荷与负电荷。电子带负电荷，而质子带正电荷，中子不带电，呈中性。如图 1.1 所示，电荷之间具有同性相斥、异性相吸的特点，带有同种电荷的物体间会互相排斥，带有异种电荷的物体间会互相吸引。

► 电流

电流是单位时间内通过导体横截面的电荷量，用以表示电荷在媒质中的运动，用符号 i （或 I ）表示，其单位是安培（简称安，符号为 A）。

电流的方向是正电荷定向移动的方向，也是负电荷定向移动的反方向，定义为 $i = \frac{Q}{t}$ ，其中 t 为时间，当然，这只是定义而已，实际上一般是不会通过测量电荷量和时间来算得电流的，

而是通过后文中提到的欧姆定律等方式来测量电流。表 1.1 是常见事物的电流大小，跨度很大，从微安级到千安级，本质都是电荷的流动。

表 1.1 常见事物的电流大小

物 体	大 小
电子表的电流	5 μ A
日光灯的电流	0.2A
电饭煲的电流	3~4A
柜式空调的电流	5~10A
雷电的电流	1kA

➤ 电压

电压也称电势差或电位差，是衡量单位电荷在静电场中由于电势不同所产生能量差的物理量，用符号 U 、 u 或 V 表示，其单位是伏特（简称伏，符号为 V）。

电压的大小是单位正电荷受电场力作用而产生移动所做的功，方向从高电位指向低电位。当然，电压的测量也不是直接去测量做功和距离，而是利用其他方法进行的。表 1.2 是常见事物的电压大小，其跨度比电流的还大。

表 1.2 常见事物的电压大小

物 体	大 小
电视信号在天线上感应的电压	0.1mV
维持人体生物电流的电压	1mV
干电池两极间的电压	1.5V
移动电话电池两极间的电压	3.6V
人体安全电压	36V 以下
家庭电路的电压	220V
动力电路电压	380V
无轨电车电源的电压	550~600V
列车上方电网电压	1500V
电视机显像管的工作电压	10kV 以上
发生闪电的云层间电压	1000kV

➤ 频率

频率描述了单位时间内某事件重复发生的次数，与周期成倒数关系，用符号 f 表示，其单位为赫兹（简称赫，符号为 Hz）。电子电路中，1 赫兹表示某周期性的电信号规律性地每秒

变化一次。

交流照明用电的频率是 50Hz，人耳能感知的音频信号的频率是 20Hz~20kHz，收音机接收的广播电台信号的频率可达兆赫兹（MHz）的级别，而手机接收的基站信号的频率则高达吉赫兹（GHz）的级别。

从频率的角度上分析电路，称为频域分析。换一个角度看电路，便看到了不一样的世界。同样的电路，频率不同，特性也会不一样，比如一个电感，对于直流电，就如同导线，但对于交流电，就如同电阻，频率越高，阻碍的作用也就越大。

► 直流电和交流电

直流电的电流方向不随时间而改变，换言之就是电压总是正的或总是负的，用 DC 表示。图 1.2 (a) 是直流电的一种，虽然电压的大小发生了变化，但只要为正，那就是直流电。

交流电与直流电相反，电流的方向随时间变化，故而也称为交变电流，用 AC 表示，最常见的就是 220VAC 的交流照明用电，如图 1.2 (b) 所示，虽然电信号在一个周期内的平均值为零，但电压和电流的方向都发生了周期性的变化。

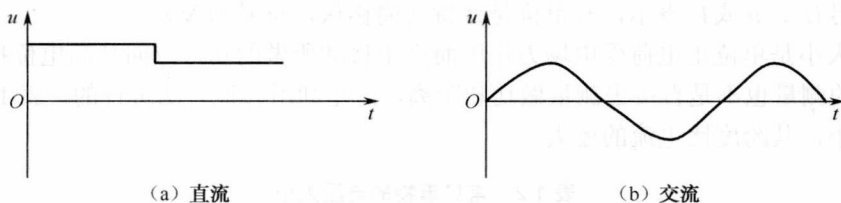


图 1.2 直流和交流

直流电与交流电并不以电信号的波形划分，而是以极性是否变化来判定，脉冲波、三角波、正弦波等既可能是直流电，也可能是交流电。

交流电的电压一般是指有效值，其等效于同一时间内具有相同能量的直流电的电压，因而交流电的峰值电压一般比有效值要高，如 220VAC 的照明用电，其峰值电压约为 311VDC。

► 阻抗

阻抗是电路对电流阻碍作用的统称，用符号 Z 表示。电路中如果只有电阻，其阻抗是一个实数，但不少电路中还具有电容、电感这样的感抗元器件，此时阻抗则是一个复数，阻抗的大小即阻抗绝对值的大小，表示电压相对于电流的振幅，阻抗的角度则表示电压相对于电流的相位差。

元器件类型不同，阻抗的定义也不同。电阻的阻抗是 $Z_R = R$ ；电容的阻抗是 $Z_C = \frac{1}{j\omega C}$ ，

其中 $\omega = 2\pi f$ ，跟频率相关，阻抗的大小为 $|Z_C| = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$ ；电感的阻抗是 $Z_L = j\omega L$ ，阻抗

的大小为 $|Z_L| = \omega L = 2\pi f L$ 。元器件可以组合，阻抗也可以组合，多个元器件组合成的电路，其总阻抗是各元器件阻抗的有机组合。

► 电路与电子电路

电路也叫电子线路，或称电气回路，由电气设备和电子元器件按一定方式连接而成，为电荷的流通提供了路径，其中由电子元器件形成的电路称为电子电路。

电路的类型非常多，相互间的差异也非常大。图 1.3 (a) 是一个芯片电路，不足硬币大，这还不是最小的电路；图 1.3 (b) 是高低压输电网，占地上百亩，这也只是整个电网电路中的一部分而已。

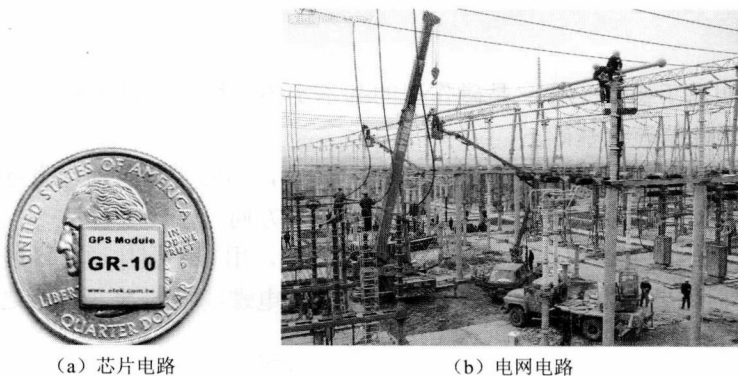


图 1.3 电路

► 模拟电路与数字电路

自然界中，大部分的物理量都是连续的，对应的电信号也是连续的，当然也有一些物理量及其信号是离散的。模拟电路既能够处理连续的电信号，也能处理离散的电信号，而数字电路只能处理离散的电信号，两者之间密不可分，各有各的作用，其都无法取代对方。

图 1.4 是 iPhone 4 的电路，既包含模拟电路，如语音、天线收发部分等，也包含数字电路，如处理器、存储器等，各自发挥其作用，缺一不可。

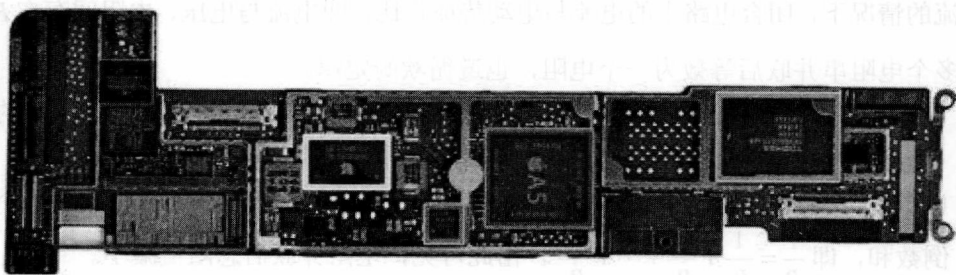


图 1.4 iPhone 4 中的电路

1.1.2 基本原理

看懂电路，即看明白电路的原理。无论是电路还是原理，都能够分解成基本电路和基本原理。九层之台，起于累土，认识了基本电路，掌握了基本原理，看懂电路，便有了基础。

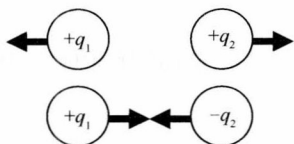


图 1.5 库仑定律

► 库仑定律

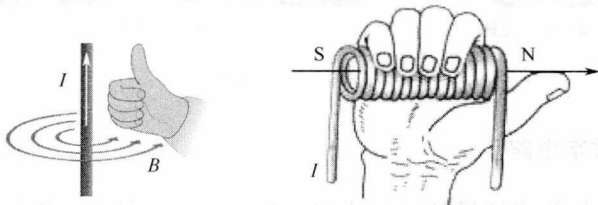
库仑定律是电磁场理论的基本定律之一，也是电荷的基本定律之一。如图 1.5 所示，真空中两个静止的点电荷，异性相吸、同性相斥，其作用力与所带电量的乘积成正比，与距离的平方成反比，

作用力的方向是这两个点电荷的连线，用公式 $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ 表示。

► 安培定律

安培定律也叫右手螺旋定律，是磁作用的基本实验定律，也是电感、变压器、电磁继电器等电磁感应元器件的理论基础。

- 通电直导线中的安培定律：如图 1.6 (a) 所示，用右手握住通电直导线，大拇指指向电流的方向，则四指的方向就是磁感线的环绕方向。
- 通电螺线管中的安培定律：如图 1.6 (b) 所示，用右手握住通电螺线管，使四指弯曲与电流方向一致，则大拇指所指的那一端是通电螺线管的 N 极，反之则是 S 极。



(a) 通电直导线中的安培定律

(b) 通电螺线管中的安培定律

图 1.6 安培定律

► 欧姆定律

直流的情况下，闭合电路中的电流与电动势成正比，即电流与电压、电阻间存在 $R = \frac{u}{i}$ 的关系。多个电阻串并联后等效为一个电阻，也遵循欧姆定律。

- 电阻的串联，如图 1.7 (a) 所示，串联等效总电阻等于串联电路中每个电阻的和，即 $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ ，由此可见，电阻串联后总阻值增大。

- 电阻的并联，如图 1.7 (b) 所示，并联等效总电阻的倒数等于并联电路中每个电阻的倒数和，即 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$ ，由此可见，电阻并联后总阻值减小。

欧姆定律可以部分扩展到以阻抗为单位的电路中，假设图 1.7 (c) 的输入信号 u_{in} 是电压有效值为 10V、频率为 1kHz 的正弦波，则在利用欧姆定律计算电流时，等效总电阻为 $1 + \frac{1}{2\pi \times 1k \times 100p} = 2.59\Omega$ ，可算得的电流为 $i = \frac{10V}{2.59\Omega} = 3.86A$ 。