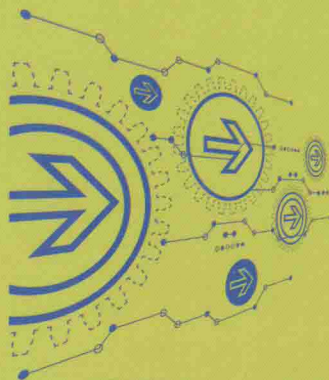


Diangong Dianzi Jishu

电工电子技术

主编◎杜润宏



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

电工电子技术

主 编 杜润宏
副主编 晋会杰 冯彦炜
主 审 冉 文



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/杜润宏主编. —北京:北京理工大学出版社,2015.4

ISBN 978-7-5640-9273-3

I. ①电… II. ①杜… III. ①电工技术②电子技术 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第110476号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/<http://www.bitpress.com.cn>

经 销/全国各地新华书店

印 刷/三河市天利华印刷装订有限公司

开 本/787毫米×960毫米 1/16

印 张/26.25

字 数/537千字

版 次/2015年4月第1版 2015年4月第1次印刷

责任校对/陈玉梅

定 价/56.00元

责任印制/边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

本书在内容编排上重视理论教学，更重视实践环节，主要任务是通过各个教学环节，使学生在电路、电子技术及电气控制技术方面获得知识和技能，并为以后学习各专业课程和接受更高层次的技能培训打下良好的基础。

本教材在编写时按照高等学校的培养目标和人才规格，对工科非电类各专业知识的结构，以及企业相关专业对本课程的知识需求作了深入调研，并对当前教师的教学思路及学生的学习特点进行了考查，使教材内容更具科学性、实用性和可读性，以满足当前教学的需要。理论知识以“必需、够用”为度，以应用为目的。在编写过程中，根据应用型人才培养的基本要求，充分考虑了适用范围、内容深度、应用性以及能力培养等方面，力求做到保证基础、降低深度、扩大信息、加强应用，以便于教师讲授和学生自学。

全书分上下两篇：上篇为电工电子技术部分，下篇为电气控制技术部分。电工电子技术部分是本教材的理论基础，着重对电路的基本概念、工作原理和电路分析方法作了较为深入地探讨，主要内容包括：电路理论基础及分析方法、正弦交流电路、半导体器件、基本放大电路、直流稳压电源、数字电路基础、组合逻辑电路和时序逻辑电路等。电气控制技术部分是以电机理论为基础，突出电气控制技术在工业中的应用，主要内容包括：常用低压电器、直流电机、交流异步电机、控制电机和变压器等。每章都有“本章小结”、思考与练习题。本教材以 70~110 学时为参考，其中理论教学 90 学时，实践教学 24 学时。凡带“*”的章节可根据专业需要进行灵活取舍，不影响知识的系统性。

本书由杜润宏副教授担任主编，由晋会杰和冯彦炜担任副主编。杜润宏编写第 1、10 章，邢菲编写第 2 章，崔保记编写第 3、4 章，晋会杰编写第 5、6 章，崔红编写第 7、8、9 章，张会锋编写第 11、12 章，冯彦炜编写第 13 章，王全清编写第 14、15 章。全书由杜润宏负责统稿。

本书由冉文副教授主审，并提出了许多宝贵的修改建议，在此表示衷心地感谢。本书编写过程中还参考了大量的文献资料，在此对其作者一并表示感谢。

由于编者水平有限，加之时间比较仓促，书中难免存在错误和不妥之处，恳切希望广大师生和读者批评指正，我们将不断改进和提高。

编 者

目 录

第 1 章 电路基础及分析方法	(1)
1.1 电路与电路模型	(1)
1.2 电路的基本物理量	(4)
1.3 欧姆定律	(9)
1.4 电路的三种状态	(11)
1.5 基尔霍夫定律	(14)
1.6 电压源与电流源及其等效变换	(17)
1.7 支路电流法	(23)
1.8 节点电压法	(27)
1.9 回路分析法	(29)
1.10 叠加定理	(31)
1.11 戴维南定理	(32)
本章小结	(35)
思考与练习	(36)
第 2 章 正弦交流电路	(44)
2.1 正弦量的三要素	(44)
2.2 正弦量的相量表示法	(49)
2.3 电阻、电感、电容元件的特性	(53)
2.4 正弦交流电路中元件的串并联	(62)
2.5 正弦交流电路的功率	(66)
2.6 谐振电路	(70)
2.7 非正弦周期电流电路	(73)
2.8 三相电路	(76)
2.9 动态电路的时域分析	(86)
本章小结	(98)

思考与练习	(100)
第3章 半导体器件	(108)
3.1 半导体及PN结	(108)
3.2 二极管的特性及主要参数	(112)
3.3 二极管的等效模型	(115)
3.4 特殊二极管	(116)
3.5 半导体三极管	(118)
3.6 晶体三极管电路分析方法	(123)
本章小结	(128)
思考与练习	(128)
第4章 放大电路基础	(131)
4.1 放大电路的基础知识	(131)
4.2 基本组态放大电路	(134)
4.3 功率放大器	(138)
4.4 多级放大电路	(142)
本章小结	(143)
思考与练习	(144)
第5章 集成运算放大电路	(145)
5.1 概述	(145)
5.2 集成运算放大器的线性应用	(151)
5.3 正弦波振荡器	(156)
5.4 集成运算放大器的非线性应用	(163)
本章小结	(166)
思考与练习	(167)
第6章 直流稳压电源	(169)
6.1 单相半波整流电路	(170)
6.2 桥式整流电路	(171)
6.3 滤波电路	(173)
6.4 稳压电路	(176)
6.5 开关电源简介	(183)

本章小结	(185)
思考与练习	(186)
第7章 数字逻辑电路	(189)
7.1 概述	(189)
7.2 基本逻辑关系	(192)
7.3 门电路	(195)
7.4 组合逻辑电路	(200)
7.5 编码器与译码器	(213)
本章小结	(221)
思考与练习	(222)
第8章 时序逻辑电路	(224)
8.1 集成触发器	(224)
8.2 计数器和寄存器	(232)
8.3 555 定时器	(244)
8.4 应用举例	(248)
本章小结	(252)
思考与练习	(253)
第9章 数模和模数转换器	(255)
9.1 数—模转换器	(255)
9.2 模数转换器	(260)
本章小结	(265)
思考与练习	(266)
第10章 常用低压电器	(267)
10.1 低压电器概述	(267)
10.2 开关与熔断器	(271)
10.3 接触器	(280)
10.4 继电器	(285)
10.5 主令电器	(290)
本章小结	(293)
思考与练习	(294)

第 11 章 直流电机	(295)
11.1 直流电动机概述	(295)
11.2 直流电动机结构与工作原理	(298)
11.3 直流电动机的运行特性	(302)
11.4 他励直流电动机的控制	(306)
本章小结	(315)
思考与练习	(316)
第 12 章 交流异步电动机	(318)
12.1 交流异步电动机的概述	(318)
12.2 三相异步电动机的结构与工作原理	(321)
12.3 三相异步电动机的运行特性	(326)
12.4 三相异步电动机的启动	(331)
12.5 三相异步电动机的调速	(335)
12.6 三相异步电动机的制动	(337)
12.7 常用电动机控制电路	(339)
12.8 单相异步电动机	(347)
本章小结	(351)
思考与练习	(352)
第 13 章 变 压 器	(354)
13.1 变压器的用途和基本结构	(354)
13.2 变压器的工作原理	(358)
13.3 三相变压器	(361)
13.4 特殊变压器	(364)
13.5 变压器的使用知识	(368)
本章小结	(368)
思考与练习	(369)
第 14 章 控制电机	(370)
14.1 控制电机概述	(370)
14.2 伺服电动机	(373)
14.3 测速发动机	(379)

14.4 步进电动机	(383)
本章小结	(388)
思考与练习	(389)
第 15 章 工厂供电与安全用电	(390)
15.1 工厂供电	(390)
15.2 安全用电	(393)
15.3 节约电能	(401)
本章小结	(408)
思考与练习	(409)
参考文献	(410)

第 1 章

电路基础及分析方法

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路的组成与功能

1. 电路的组成

电路是为满足某种需要由若干电气元件按一定方式连接构成的电流通路。如图 1-1 所示是最简单的一种实际照明电路。

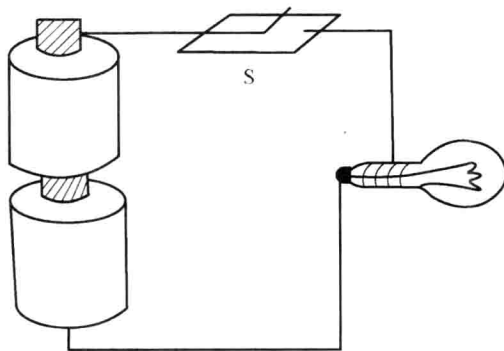


图 1-1 手电筒电路

如图 1-1 所示的电路中，干电池为电路提供电能，称为电源；灯泡将电能转化为光能，称为负载，也称为用电器；导线和开关起到传输和控制电能的作用，称为电路的中间环节。

电路是由电源、负载和中间环节三个最基本部分组成的。

(1) 电源

电源是提供电能的设备，在电源内部进行从非电能到电能的转换。

常见的电源有干电池、蓄电池、发电机等，其中干电池是将化学能转换成电能，发电机是将机械能转换成电能。

(2) 负载

负载就是指用电设备，是将电能转换成其他形式能量的装置。

常见的负载有电灯、电动机、空调、冰箱等，其中灯泡是将电能转换成光能和热能，电动机将电能转换成机械能。

(3) 中间环节

中间环节用作电源与负载相连接，通常是一些连接导线、开关、接触器等辅助设备。

2. 电路的功能

实际电路种类繁多，用途各异，但其基本功能可概括为两个方面。

(1) 进行能量的传输、分配与转换

典型的例子是电力系统中的输电电路，如图 1-2 所示。发电厂的发电机组将其他形式的能量（包括风能、热能、水的势能和原子能等）转换成电能，通过变压器和输电线等输送给各用户负载，用电设备又把电能转换成机械能（如负载是电动机）、光能（如负载是灯泡）、热能（如负载是电炉等），为人们的生产、生活服务。

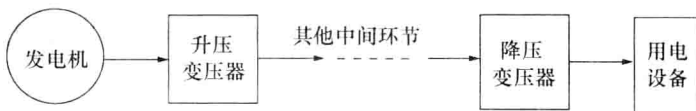


图 1-2 电力系统

(2) 实现信号的传递与处理

典型的例子有电话、收音机、电视机电路。如图 1-3 所示为电视机实现信号传递与处理的电路框图。接收天线把载有语言、音乐、图像信息的电磁波接收后，通过电路把输入信号（又称激励）变换或处理为人们所需要的输出信号（又称响应），输送到扬声器或显像管，再还原为语言、音乐或图像。

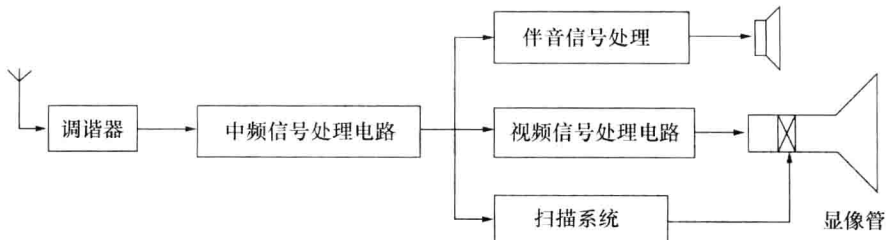


图 1-3 电视机电路框图

无论是在电能的传输和转换电路中,还是在信号的传递和变换电路中,电源或信号源的电压、电流输入都称为激励,它推动电路工作;激励在电路各部分所产生的电压和电流输出称为响应。分析电路,实际上就是分析激励和响应之间的关系。

1.1.2 电路模型

1. 理想电路元件

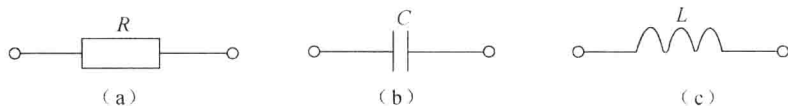
实际电路是由电工设备和器件等组成的,它们的电磁性质较为复杂,难以数学化描述。因此,对实际电路的分析和计算,须将实际电路元件理想化(或模型化),即在一定条件下突出其主要的电磁性质,忽略次要因素,将其近似的看作理想元件。

常见的理想化元件(器件模型)有以下几种。

理想电阻元件:只消耗电能(既不贮藏电能,也不贮藏磁能),如:电阻器、灯泡、电炉等,可以用理想电阻来反映其消耗电能的特征。理想电阻元件图形文字符号如图1-4(a)所示。

理想电容元件:只储存电能(既不消耗电能,也不贮藏磁能),如:各种电容器,可以用理想电容来反映其储存电能的特征。理想电容元件图形文字符号如图1-4(b)所示。

理想电感元件:只储存磁能(既不消耗电能,也不贮藏电能),如:各种电感线圈,可以用理想电感来反映其储存磁能的特征。理想电感元件图形文字符号如图1-4(c)所示。



(a) 理想电阻元件; (b) 理想电容元件; (c) 理想电感元件

图1-4 常见的理想化元件符号

2. 电路模型

用理想化元件表示实际元件,并按实际电路的连接方式连接起来的电路图称为电路模型,常简称为电路图。如图1-5所示为手电筒的电路图。

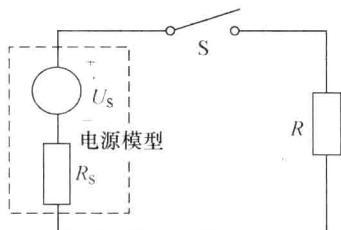


图1-5 手电筒的电路图

1.2 电路的基本物理量

为了定量地描述电路的性能,电路中引入一些物理量作为电路变量,通常分为两类:基本变量和复合变量。电流、电压由于易测量而常被选为基本变量。复合变量包括功率和能量等。它们一般都是时间 t 的函数。本节重点介绍电流、电压、功率等电路变量。

1.2.1 电流

1. 电流的概念

电荷有规则地定向运动,形成传导电流。例如一段金属导体内含有大量的带负电荷的自由电子,通常情况下,这些自由电子在其内部作无规则的热运动,金属导体内虽有电荷运动,但电荷运动杂乱无规则,因而不形成传导电流。如果在金属导体的两端连接上电源,那么带负电荷的自由电子就要逆电场方向运动,就会形成传导电流。还有,电解溶液中的带电离子作规则定向运动也会形成传导电流。

2. 电流强度

在电场力作用下,电荷有规则地定向移动形成电流,为了从量的方面量度电流的大小,引入电流强度的概念。

单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度,简称电流,用 $i(t)$ 表示,即

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \quad (1.1)$$

其中: dq 为通过导体横截面的电荷量,电荷的单位:库[仑](C)。

若 dq/dt 即单位时间内通过导体横截面的电荷量为常数,这种电流叫做恒定电流,简称直流电流,常用大写字母 I 表示。

电流强度的单位是安培(A),简称“安”。电力系统中嫌安培单位小,有时取千安(kA)为电流强度的单位。而无线电系统中(如晶体管电路中)又嫌安培这个单位太大,常用毫安(mA)、微安(μA)作为电流强度的单位。它们之间的换算关系是

$$\begin{aligned} 1\text{kA} &= 10^3\text{A}, \\ 1\text{mA} &= 10^{-3}\text{A}, \\ 1\mu\text{A} &= 10^{-6}\text{A}. \end{aligned}$$

3. 电流的方向

都说“水往低处流”,因此水流是有方向的,同样电流也是有方向的,通常规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。但是,在电路分析中,电流的实际方向很难预先判断出来,而且有时实际方向是不断变化的,因此很难在电路中标明电流的实际方向。为了解决这个问

题, 在电路中引入假定的电流方向, 称为电流的“参考方向”。

电流是个既有大小又有方向的代数量。在没有设定参考方向的情况下, 讨论电流的正负毫无意义。参考方向原则上可任意设定, 但一经设定就不得改变。若实际方向与参考方向一致, 则电流为正值 ($I > 0$), 反之, 电流为负值 ($I < 0$), 电流的参考方向与实际方向的关系如图 1-6 所示。电路中电流的参考方向一般用箭头来表示, 也可以用双下标表示, 如 I_{ab} 表示电流参考方向是由“a”指向“b”。

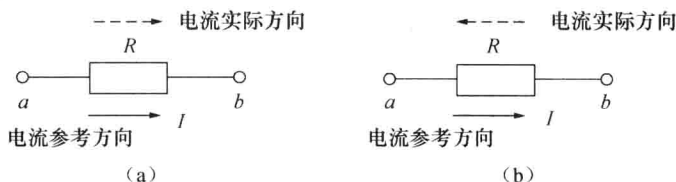


图 1-6 电流的参考方向与实际方向的关系

1.2.2 电压

1. 电压的概念

从电场力做功概念定义, 电压就是将单位正电荷从电路中一点 (a 点) 移至电路中另一点 (b 点) 电场力做功的大小, 如图 1-6 所示。用数学式表示, 即为

$$u(t) = \frac{dw(t)}{dq(t)} \quad (1.2)$$

其中: dq 为由 a 点移至 b 点的电荷量, 单位为库仑 (C); dw 是为移动电荷 dq 电场力所做的功, 单位为焦耳 (J)。电压的单位都是伏特 (V), 1V 电压相当于为移动 1C 正电荷电场力所做的功为 1J。在电力系统中嫌伏特单位小, 有时用千伏 (kV) 作为电压的单位。在无线电电路中嫌伏特单位太大, 常用毫伏 (mV)、微伏 (μV) 作为电压的单位。它们之间的换算关系是

$$\begin{aligned} 1\text{kV} &= 10^3\text{V}, \\ 1\text{mV} &= 10^{-3}\text{V}, \\ 1\mu\text{V} &= 10^{-6}\text{V}. \end{aligned}$$

2. 电位

在电路中某点与参考点的之间的电压差称为该点的电位。并规定参考点 (也可称为基准点) 的电位为零, 通常用字母“O”或符号“ $\perp$ ”表示。则电路中 A 的电位表示为 V_A , 其单位与电压相同, 用伏 (V) 表示。

为了确定电路中各点的电位, 必须在电路中选择一个参考点。它们之间有下列几种关系。

(1) 参考点的电位为零, 即 $V_O = 0$, 比该点高的电位为正, 比该点低电位为负。如图

1-7 (a) 所示的电路中, 选取 O 点为参考电位点, 则 A 点的电位为正, B 点的电位为负。

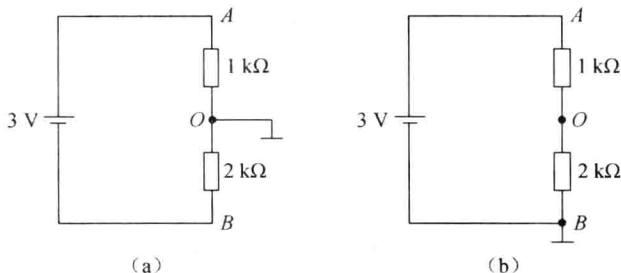
(2) 其他各点的电位为该点与参考点之间的电位差。如图 1-7 (a) 中 A 、 B 两点的电位分别为

$$\begin{aligned} V_A &= V_A - V_O = U_{AO} = 1\text{V}, \\ V_B &= V_B - V_O = U_{BO} = -2\text{V}. \end{aligned}$$

(3) 选取不同参考点, 电路中各点的电位也不同, 但任意两点间的电位差 (电压) 不变。如选取 B 点为参考点, 如图 1-7 (b) 所示, 则

$$\begin{aligned} V_B &= 0, \\ V_A &= V_A - V_B = U_{AB} = 3\text{V}. \end{aligned}$$

但 A 、 B 两点间的电压不变, 仍然为 $U_{AB} = 3\text{V}$ 。



(a) 以 O 为参考点; (b) 以 B 为参考点

图 1-7 电位的计算示例

3. 电压的极性 (方向)

电压的实际极性 (方向) 规定为从两点间高电位端指向低电位端。与电流一样, 为了便于电路分析, 选定一个电压参考方向。若电压参考极性与实际极性一致, 电压为正值 ($U > 0$), 反之, 电压为负值 ($U < 0$)。同电流一样, 两点间电压数值的正与负, 在设定参考方向的前提条件下才有意义。

所谓电压参考方向, 就是所假设的电位降低的方向, 在电路中电压的参考方向一般用箭头来表示或用 “+” “-” 号标出, 也可以用双下标表示, 如 U_{ab} 中角标中第一个字母 a 表示假设电压参考方向的正极性端, 第二个字母 b 表示假设电压参考方向的负极性端。如图 1-8 所示。

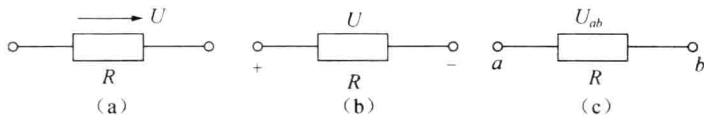
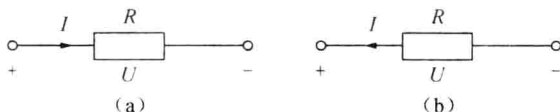


图 1-8 电压的参考方向

4. 关联参考方向

一段电路或一个电路元件的电流和电压的参考方向可以独立任意假定。若电流参考方向与电压的参考方向一致，则称之为关联参考方向，如图 1-9 (a) 所示的 I 与 U 。否则，称之为非关联参考方向，如图 1-9 (b) 所示的 I 与 U 。

一般来说，对负载采用关联参考方向，对电源采用非关联参考方向。



(a) 关联参考方向；(b) 非关联参考方向。

图 1-9 电压、电流的参考方向

1.2.3 电能与电功率

1. 电功率

单位时间做功的大小称作功率，或者说做功的速率称为功率。在电路中涉及的电功率即是电场力做功的速率，以符号 $p(t)$ 表示。功率的数学定义式可写为

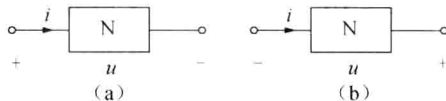
$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} \quad (1.3)$$

其中： dw 为 dt 时间内电场力所做的功。功率的单位为瓦 (W)。1 瓦功率就是每秒做功 1 焦耳，即 $1W = 1J/s$ 。

2. 功率与电压 u 、电流 i 的关系

如图 1-10 (a) 所示，电路 N 中 u 和 i 取关联参考方向，由于 $i = dq/dt$ ， $u = dw/dq$ ，故电路 N 消耗的功率为

$$p(t) = u(t)i(t) \quad (1.4)$$



(a) 关联参考方向；(b) 非关联参考方向

图 1-10 功率与电压、电流的参考方向

如图 1-10 (b) 所示，电路 N 中 u 和 i 取非关联参考方向，则电路 N 消耗的功率为

$$p(t) = -u(t)i(t) \quad (1.5)$$

3. 功率的计算

利用式 (1.4)、(1.5) 计算电路 N 消耗的功率时，

(1) 若 $p > 0$ ，则表示电路 N 确实消耗 (吸收) 功率，为负载性质；