

Electrician



主 编 齐俊平 谷立新
副主编 董会锦 劳胜领 连红运

电工电子技术



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

电工电子技术

主 编 齐俊平 谷立新

副主编 董会锦 劳胜领 连红运

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是以国务院《关于深化教育改革，全面推进素质教育的决定》和教育部《关于高职高专教育基础课程教学基本要求》为依据编写的，体现了以培养技术应用型人才为根本任务，以基础知识、基本概念、基本定律为主的编写原则；并按照高职高专教育基础课程为专业课程服务的要求，以“必须”和“够用”为原则来选择和编写内容。全书共14章，内容包括电路部分：介绍了直流电路和正弦交流电路等相关内容；电机与控制部分：介绍了磁路与变压器、交流异步电动机、电机控制等内容；模拟电子技术部分：主要介绍了半导体器件、放大器基础、集成运算放大器和直流稳压电源等相关内容；数字电子技术部分：主要介绍了门电路及组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路等相关内容；实践教学主要包含各章节教学的验证性基础实验和设计实验。

本书可作为高职高专院校理工科各专业的电工电子技术课程的教材，也可供有关专业师生和工程技术人员参考。

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

电工电子技术 / 齐俊平, 谷立新主编. —北京: 电子工业出版社, 2010.7
ISBN 978-7-121-11143-3

I. ①电… II. ①齐… ②谷… 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(2010)第113760号

策划编辑: 祁玉芹

责任编辑: 鄂卫华

印刷: 北京市天竺颖华印刷厂

装订: 三河市鑫金马印装有限公司

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: 787×1092 1/16 印张: 20 字数: 487千字

印次: 2010年9月第2次印刷

定价: 38.00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。

前 言

本书是以国务院《关于深化教育改革，全面推进素质教育的决定》和教育部关于《高职高专教育基础课程教学基本要求》为依据编写的。体现了以培养技术应用型人才为根本任务，以基础知识、基本概念、基本定律为主的编写原则；并按照高职高专教育基础课程为专业课程服务的要求，以“必须”和“够用”为准则来选择和编写教材内容。

本书注重实用性、先进性、适用性、通用性。对典型电路进行分析时，不做繁杂的理论推导，只介绍工程估算方法，有时只给出定性的或定量的结论。在提高学生分析问题、解决问题能力培养的同时，尤其注重学生动手能力的培养。概念清楚、重点突出、语言通俗易懂，既注重实际应用，又具有较强的可读性。并与国家职业技能鉴定和电子行业特殊工种的“维修电工”、“无线电调试工”等职业技能鉴定高、中级工对电工电子技术的要求紧密相结合。对学生考取国家职业技能鉴定等级证书，毕业就业实现‘零距离’尤为适用。

本书以培养应用性工程技术人才为目标，实用性强，适合高职教育的特点。学生经过本门课的系统学习、训练，毕业后达到拿起笔来会设计，拿起工具能安装、调试，碰到问题会分析处理的要求。在理论与实践相结合，职业技能培训，动手能力提高，培养应用型人才方面作了创新的探索。注重将理论讲授与实践训练相结合，理论讲授贯穿其应用性，实践中有理念、有方法，以基本技能和应用为主，易学易懂易上手，

本书在内容安排上按照循序渐进的原则，在知识程度上由浅入深，由易到难。全书共14章，内容包括电路部分：介绍了直流电路和正弦交流电路等相关内容；电机与控制部分：介绍了磁路与变压器、交流异步电动机、电机控制等内容；模拟电子技术部分：主要介绍了半导体器件、放大器基础、集成运算放大器和直流稳压电源等相关内容；数字电子技术部分：主要介绍了门电路及组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路等相关内容。实践教学主要包含各章节教学的验证性基础实验和设计实验，主要是为了培养学生综合运用所学知识分析问题和解决问题的能力，培养学生的创新思维和创新能力。

本书可作为高职高专理工科相关专业的基础课教材，参考学时为108学时，标有*符号的部分，是为学生深入学习而编入的，可不作为讲授学时内的的必学内容。

本书由齐俊平、谷立新任主编，董会锦、劳胜领、连红运任副主编。此外参加本书编写

的还有高士忠、陈俊华、陈伯俊、冯春丽、张海霞、张伟敏、周艳丽、王爱花、谢海良和何立军等。由于作者水平有限，书中不足之处，敬请专家和读者批评指正。

本书虽经作者协同努力，并且大部分章节在我们的教学过程中已使用多年，但由于我们水平有限，疏漏和不妥之处在所难免，真诚欢迎广大读者指正。

编 者

2010年5月

目 录

第 1 章 直流电路.....	1
1.1 电路和电路模型.....	1
1.1.1 电路.....	1
1.1.2 理想电路元件.....	1
1.1.3 电路模型.....	2
1.2 电路的基本物理量及其参考方向.....	2
1.2.1 电流及其参考方向.....	2
1.2.2 电压与电动势.....	3
1.2.3 电位.....	4
1.3 电功率和电能.....	4
1.3.1 电功率.....	4
1.3.2 电能.....	5
1.4 电路的基本元件.....	6
1.4.1 无源元件.....	6
1.4.2 电源.....	9
1.4.3 受控源.....	11
1.5 基尔霍夫定律.....	12
1.5.1 基尔霍夫电流定律.....	12
1.5.2 基尔霍夫电压定律.....	12
1.6 电阻的串联与并联.....	14
1.6.1 等效网络的定义.....	14
1.6.2 电阻的串联.....	14
1.6.3 电阻并联.....	15
1.6.4 电阻的串、并联.....	16
1.7 两种实际电源模型的等效变换.....	17
1.8 支路电流法.....	19
1.9 叠加定理.....	21
1.10 戴维南定理.....	22
习题.....	23

第 2 章 正弦交流电路	29
2.1 正弦量的基本概念	29
2.1.1 正弦交流电的三要素	29
2.1.2 相位差	31
2.2 正弦量的相量表示法	32
2.2.1 复数及四则运算	32
2.2.2 正弦量的相量表示法	34
2.3 单元件正弦交流电路特性	35
2.3.1 电阻元件的正弦交流电路	36
2.3.2 正弦电路中的电感元件	38
2.3.3 正弦电路中的电容元件	40
2.4 正弦交流电路的分析	43
2.4.1 RLC 串联交流电路	46
2.4.2 阻抗的串并联电路	49
2.4.3 正弦交流电路的功率	51
2.5 谐振	55
2.5.1 串联谐振	55
2.5.2 并联谐振	57
2.6 非正弦周期电流电路的概念	58
习题	60
第 3 章 三相电路	65
3.1 三相电源	65
3.2 三相电源的连接	66
3.2.1 三相电源的星形 (Y) 连接	66
3.2.2 三相电源的三角形 (Δ) 连接	68
3.3 三相负载的连接	69
3.3.1 三相负载的星形 (Y) 连接	69
3.3.2 负载的三角形 (Δ) 连接	72
3.4 三相电路的功率	74
3.4.1 三相负载的有功功率	74
3.4.2 三相负载的无功功率	74
3.4.3 三相负载的视在功率	75
3.4.4 三相负载的功率因数	75
3.4.5 对称三相电路的瞬时功率	76

3.5	工厂供电与安全用电.....	77
3.5.1	工厂供电.....	77
3.5.2	工厂供电系统组成.....	77
3.5.3	安全用电.....	79
	习题.....	83
第 4 章	变压器和异步电动机.....	91
4.1	磁路及变压器.....	91
4.1.1	磁路的基本概念.....	91
4.1.2	变压器.....	93
4.2	异步电动机的基本结构及转动原理.....	99
4.2.1	三相异步电动机的基本结构.....	99
4.2.2	三相异步电动机的转动原理.....	101
4.3	三相电动机的启动、调速与制动.....	103
4.3.1	三相异步电动机的启动.....	103
4.3.2	三相异步电动机的调速.....	105
4.4	三相电动机的铭牌数据.....	108
4.4.1	三相异步电动机的技术参数.....	108
4.4.2	三相异步电动机铭牌数据.....	108
4.5	三相电动机的选择.....	111
4.5.1	功率的选择.....	111
4.5.2	种类和形式的选择.....	112
4.5.3	电压和转速的选择.....	113
	习题.....	113
第 5 章	半导体器件.....	117
5.1	半导体的基础知识.....	117
5.1.1	本征半导体.....	117
5.1.2	杂质半导体.....	118
5.1.3	PN 结及其单向导电性.....	119
5.2	半导体二极管.....	121
5.2.1	二极管的基本结构、种类与符号.....	121
5.2.2	二极管的伏安特性.....	122
5.2.3	二极管的简易测试.....	122
5.2.4	二极管的主要参数.....	123
5.2.5	二极管的主要应用.....	123

5.3	特殊二极管	125
5.3.1	稳压二极管	125
5.3.2	发光二极管	126
5.3.3	光电二极管	126
5.4	半导体三极管	126
5.4.1	三极管的结构与符号	126
5.4.2	三极管的电流放大原理	127
5.4.3	三极管的特性曲线	129
5.4.4	三极管的主要参数	131
5.5	其他半导体器件	132
5.5.1	场效应管	132
5.5.2	光电三极管	132
5.5.3	光电耦合器	132
	习题	132
第 6 章	基本放大电路	135
6.1	基本放大电路的概述	135
6.1.1	放大概念	135
6.1.2	放大电路的组成	135
6.1.3	放大电路中电压、电流符号的规定	136
6.1.4	直流通路和交流通路	136
6.2	放大电路的工作状态分析	137
6.2.1	静态 ($u_i=0$) 工作情况	137
6.2.2	动态 ($u_i \neq 0$) 工作情况	139
6.3	多级放大电路	144
6.3.1	阻容耦合多级放大电路	144
6.3.2	直接耦合多级放大电路	145
6.3.3	变压器耦合多级放大电路	146
6.4	互补对称功率放大电路	147
6.4.1	功率放大电路的特点和分类	147
6.4.2	OCL 功率放大电路	148
6.4.3	OTL 功率放大电路	149
	习题	150
第 7 章	集成运算放大器	157
7.1	集成运算放大器的概述	157

7.1.1	集成运算放大器的基本组成	157
7.1.2	集成运算放大器的符号	158
7.1.3	集成运算放大器的主要参数	158
7.1.4	理想集成运算放大器的特性	160
7.2	运算放大电路的反馈分析	160
7.2.1	反馈的基本概念	160
7.2.2	反馈极性和类型	161
7.2.3	负反馈对放大电路性能的影响	163
7.3	集成运算放大器的应用	164
7.3.1	集成运放线性和非线性特点	164
7.3.2	集成运放的线性应用	166
7.3.3	集成运放的非线性应用	172
7.4	正弦波振荡电路	178
7.4.1	自激振荡	178
7.4.2	RC 正弦波振荡电路	180
	习题	182
第 8 章	直流稳压电源	189
8.1	概述	189
8.2	整流电路	189
8.2.1	单相半波整流电路	189
8.2.2	单相桥式整流电路	191
8.3	滤波电路	193
8.4	稳压电路	195
8.4.1	并联型稳压电路	196
8.4.2	串联型稳压电路	196
8.4.3	三端集成稳压器	197
8.5	开关稳压电源	200
8.5.1	开关稳压电源结构框图	200
8.5.2	开关型电路的工作原理	201
	习题	202
第 9 章	逻辑代数基础	207
9.1	数字电路概述	207
9.1.1	数字信号和模拟信号	207
9.1.2	数字技术和数字系统	207

9.1.3 数字电路的特点.....	208
9.2 数制与码制.....	208
9.2.1 数制.....	208
9.2.2 数制转换.....	209
9.2.3 代码.....	211
9.3 逻辑代数.....	214
9.3.1 基本逻辑运算.....	214
9.3.2 其他常用逻辑运算.....	216
9.3.3 逻辑代数的基本公式.....	218
9.3.4 逻辑代数的基本规则.....	219
9.4 逻辑函数.....	220
9.4.1 逻辑函数的建立.....	220
9.4.2 逻辑函数的表示方法.....	221
9.4.3 逻辑函数式的代数变换与化简.....	223
9.5 逻辑函数的卡诺图化简法.....	225
9.5.1 最小项的定义与性质.....	225
9.5.2 逻辑函数的最小项表达式.....	226
9.5.3 卡诺图.....	227
9.5.4 用卡诺图表示逻辑函数.....	228
9.5.5 逻辑函数的卡诺图化简法.....	230
9.5.6 具有无关项的逻辑函数的化简.....	233
习题.....	234
第 10 章 逻辑门电路.....	237
10.1 基本逻辑门电路.....	237
10.1.1 二极管与门和或门电路.....	237
10.1.2 三极管非门电路.....	239
10.2 TTL 集成门电路.....	240
10.2.1 TTL 与非门的工作原理.....	240
10.2.2 TTL 与非门的外特性与参数.....	241
10.2.3 TTL 与非门产品介绍.....	243
10.3 CMOS 集成门电路.....	245
10.3.1 CMOS 门电路.....	245
10.3.2 CMOS 门电路系列及型号简要介绍.....	246
10.3.3 TTL 与 CMOS 器件之间的接口问题.....	247
10.3.4 TTL 和 CMOS 电路带负载时的接口问题.....	248

习题	249
第 11 章 组合逻辑电路	251
11.1 组合逻辑电路的分析与设计	251
11.1.1 组合逻辑电路的分析	251
11.1.2 组合逻辑电路的设计方法	252
11.2 集成组合逻辑电路	253
11.2.1 编码器	253
11.2.2 译码器	257
11.3 数据选择器	264
11.3.1 数据选择器的基本概念及工作原理	264
11.3.2 集成数据选择器	265
11.3.3 数据选择器的应用	266
11.4 加法器	267
11.4.1 加法器的基本概念及工作原理	267
11.4.2 多位数加法器	269
11.4.3 集成加法器的应用	270
习题	271
第 12 章 时序逻辑电路	275
12.1 基本触发器	275
12.1.1 基本 RS 触发器	275
12.1.2 同步 RS 触发器	277
12.1.3 D 触发器	278
12.1.4 边沿 JK 触发器	278
12.2 时序逻辑电路概述	279
12.2.1 概述	279
12.2.2 时序逻辑电路的分析方法	280
12.2.3 时序电路分析举例	281
12.3 同步计数器	282
12.3.1 同步计数器	283
12.3.2 集成同步计数器	284
12.4 异步计数器	288
12.4.1 异步计数器	288
12.4.2 集成异步计数器	289
习题	291

第 13 章 555 集成定时器	297
13.1 555 定时器的结构及其基本原理.....	297
13.2 555 定时器的应用.....	298
13.2.1 单稳态触发器.....	298
13.2.2 多谐振荡器.....	299
13.2.3 施密特触发器.....	300
习题.....	300
第 14 章 数/模转换和模/数转换	301
14.1 数/模转换电路 (DAC).....	301
14.1.1 权电阻网络 D/A 转换电路.....	302
14.1.2 D/A 转换器的主要技术参数.....	303
14.2 模/数转换电路 (ADC).....	304
14.2.1 AD 转换的基本概念.....	304
14.2.2 AD 转换器的主要技术参数.....	307
习题.....	307

第1章 直流电路

本章主要介绍电路的基本概念（电路和电路模型，电路的基本物理量，电流、电压的参考方向及各电路元件特性）和电路的基本定理——基尔霍夫定律；在此基础上，介绍直流电路的分析与计算方法。这些内容是进一步学习电路分析和电子技术的基础。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

电路是用于实现和完成人们的某种需求，由电源、导线、开关、负载等电气设备或元器件组合起来，能使电流流通的整体。简单地说，就是电流的通路。复杂的电路呈网状，又称网络。电路和网络这两个术语是通用的。

电路的一种作用是实现电能的传输和转换，各种电力系统就是典型实例。另一种作用是实现信号的传递和处理，收音机、电视机的调谐回路和放大电路就是这类实例。电路中提供电能或信号的器件，称为电源。电路中吸收电能或输出信号的器件，称为负载。在电源和负载之间引导和控制电流的导线和开关等是传输控制器件。

如图 1-1 (a) 所示的电路是手电筒的实际电路。它由干电池、灯泡、导线和开关组成。其中，干电池是电源，灯泡是负载，导线和开关是传输控制器件。

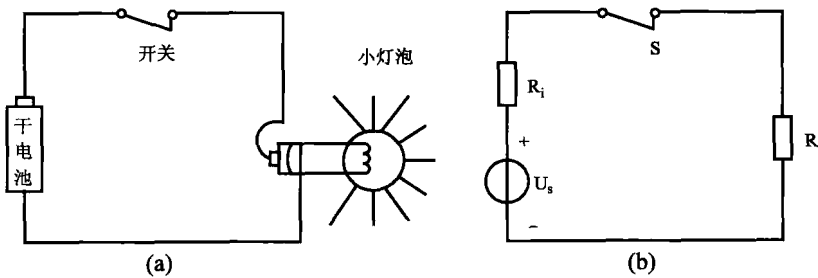


图 1-1 电路的组成

1.1.2 理想电路元件

由于实际电路元件的电磁关系比较复杂，为了便于对实际电路进行分析、计算，通常在一定条件下对实际器件加以理想化，只考虑其中起主要的某些电磁现象，忽略器件的次要现象，或将一些电磁现象分别表示。例如图 1-1 (a) 中，在电流的作用下，小灯泡不但发热消耗电能，而且在其周围还会产生一定的磁场，由于产生的磁场较弱，因此可以只考虑其消耗电能的性能而忽略其磁场效应；干电池不但对外部提供电能，而且其内部也有一定的电能损耗，可以将其提供电能的性能与内部电能损耗分别表示；对闭合的开关和导线

则只考虑导电性能而忽略其本身的电能损耗。

如上所述，在一定条件下，我们用足以反映其主要电磁性能的一些理想电路元件或它们的组合来模拟实际电路中的器件。理想电路元件是一种理想化的模型，简称为电路元件。电阻元件是一种只表示消耗电能的元件；电感元件是表示其周围空间存在着磁场且可以储存磁场能量的元件；电容元件是表示其周围空间存在着电场且可以储存电场能量的元件等。

上述这些电路元件通过引出端互相连接。对具有两个引出端的元件，称为二端元件；对具有两个以上引出端的元件，称为多端元件。

1.1.3 电路模型

实际电路可以用一个或若干个理想电路元件经理想导体连接起来模拟，这便构成了电路模型。图 1-1 (b) 是图 1-1 (a) 的电路模型。

此后所分析研究的电路都是指电路模型。理想化的电路模型也简称电路。

1.2 电路的基本物理量及其参考方向

1.2.1 电流及其参考方向

电荷的定向移动形成电流。电流的量值（大小）等于单位时间内穿过导体横截面的电荷量，用符号 i 表示，即

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

式中， Δq 为极短时间 Δt 内通过导体横截面的电荷量。

电流的实际方向为正电荷的运动方向。

大小和方向随时间变化的电流称为交流电流，用符号 i 表示。在许多电器装置上用符号“AC”或“~”表示交流。

大小和方向不随时间变化的电流称为直流电流，用符号 I 表示。在许多电器装置上用符号“DC”或“-”表示直流。

在直流电路中，式 (1-1) 可写成

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2)$$

在国际单位制中，电流的单位是安 [培]，符号为 A。常用的电流单位有千安 (kA)，毫安 (mA)，微安 (μA) 等，它们之间的换算关系是

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A} = 10^{-3}\text{kA}$$

在分析复杂电路时，往往很难事先确定某一段电路中电流的实际方向，若在交变电路中，电流的实际方向在不断变化，很难在电路中标明电流的实际方向。为此，在分析与计算电路时，常可任意规定某一方向作为电流的参考方向或正方向，并用箭头表示在电路图上。若电流的实际方向与参考方向一致（如图 1-2 (a) 所示），则电流为正值；若两者相反（如图 1-2 (b) 所示）则电流为负值。这样就可以利用电流的参考方向和正、负值来判



断电流的实际方向。应当注意，在未规定参考方向的情况下，电流的正、负号是没有意义的。

电流的参考方向可用箭头在电路图上表示，还可用双下标表示。如图 1-2 (c)、图 1-2 (d) 所示。

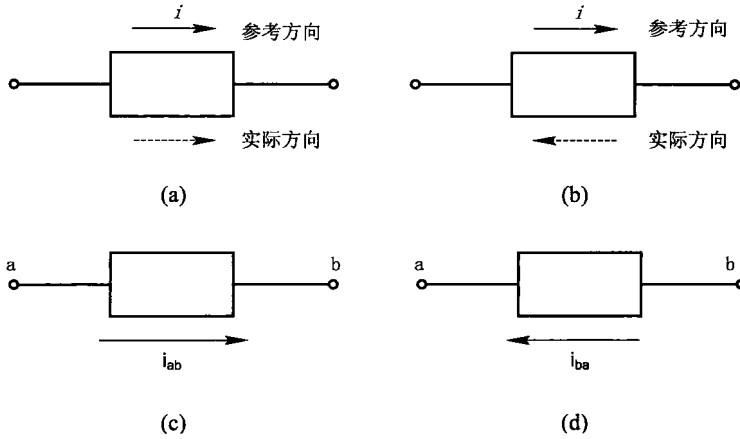


图 1-2 电流的参考方向

1.2.2 电压与电动势

(1) 电压 电路中 A、B 两点间的电压定义为单位正电荷在电场力的作用下由 A 点移至 B 点电场力所做的功，即

$$u_{AB} = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{\Delta W_{AB}}{\Delta q} = \frac{dW_{AB}}{dq} \quad (1-3)$$

式中， Δq 为由 A 点移动到 B 点的电荷量， ΔW_{AB} 为移动过程中电场力所做的功。

大小和方向都不随时间变化的直流电压，用大写字母 U 表示。交流电压用小写字母 u 表示。对于直流，式 (1-3) 可写成

$$U = \frac{W}{q} \quad (1-4)$$

电压的 SI 单位是伏 [特]，符号为 V。常用的电压单位有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV) 等。

电场力对正电荷做功的方向，就是电位降低的方向，故规定电压的实际方向是由高电位指向低电位。

与电流方向的处理方法类似，可任选一方向为电压的参考方向。通常用三种方式表示：采用正 (+)、负 (-) 极性表示，称为参考极性，如图 1-3 (a) 所示。这时，从正极性端指向负极性端的方向就是电压的参考方向。

采用实线箭头表示，如图 1-3 (b) 所示。

采用双下标表示，如 u_{AB} 表示电压的参考方向由 A 指向 B。

若电压的实际方向与参考方向一致，则电压为正值；若两者相反，则电压为负值。这样就可以利用电压的参考方向和正、负值来判断电压的实际方向。

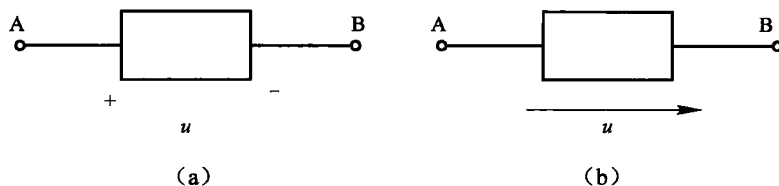


图 1-3 电压的参考方向

对一个元件，电流参考方向和电压参考方向可以相互独立地任意确定，但为了方便起见，常常将其取为一致，称关联方向，如图 1-4 所示；如不一致，称非关联方向。

(2) 电动势 电动势是衡量电源内部非静电力做功本领的物理量。在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的负极移到正极所做的功。用公式表示为：

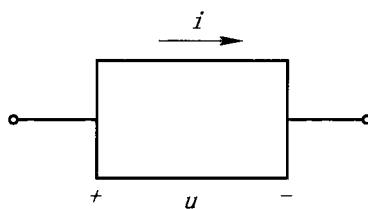


图 1-4 电流和电压的关联参考方向

$$e = \frac{dW}{dq} \quad (1-5)$$

电动势的单位与电压一样，也为伏特 (V)。

电动势的实际方向与电压实际方向相反，规定在电源内部由负极指向正极。

1.2.3 电位

分析电子电路时常用到电位这一物理量。在电路中任选一点作为参考点，则某点的电位就是由该点到参考点的电压。也就是说，如果参考点为 O，A 点的电位就是由该点到参考点 O 的电压。显然，参考点本身的电位为零，所以参考点又叫零电位点。则 A 点的电位为

$$V_A = U_{AO}$$

电路中 A、B 两点间的电压等于 A、B 两点的电位差。如果已知 A、B 两点的电位各为 V_A 、 V_B ，则此两点间的电压

$$U_{AB} = U_{AO} + U_{OB} = U_{AO} - U_{BO} = V_A - V_B \quad (1-6)$$

即两点间的电压等于这两点的电位的差，所以电压又叫电位差。

参考点不同，同一点电位不同；但电压与参考点的选择无关。电子电路中常选各有关部分的公共线作为参考点，常用符号“ \perp ”表示。

1.3 电功率和电能

1.3.1 电功率

电功率是电路分析中常用到的一个物理量。传递转换电能的速率叫电功率，简称功率，用 p 或 P 表示。习惯上，把发出或接收电能说成发出或接收功率。

