

21世纪高职高专规划教材 电子信息基础系列

黄 东 主 编
刘昌亮 何 琳 副主编

电工应用技术



清华大学出版社

21世纪高职高专规划教材·电子信息基础系列

电路分析

电路实验

模拟电子技术基础

数字电子技术基础

电路与电机控制

电子技术实训指导

维修电工实训技术

电工与电子技术基础技能实训

机电专业英语

电工基础

电工基础学习指导

电工应用技术

ISBN 978-7-302-26567-2



9 787302 265672 >

定价：24.00元

21世纪高职高专规划教材 电子信息基础系列

电工应用技术

黄东 主编

刘昌亮 何琳 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书根据高职高专教育的特点,以毕业生职业岗位的能力为依据,对理论知识以必需、够用为度,强调对学生应用能力的培养,重点突出职业特色。

本书依据《电工应用技术》教学大纲的要求,在编排上,将教学内容按模块编写,主要包括八个模块:直流电路、单相正弦交流电路、三相交流电路、动态电路的过渡过程、变压器、电动机的测试、低压电器及三相异步电动机控制电路的安装、供电与用电。

本书可作为高职高专院校电类专业教材,也可供从事相应工作的技术人员参考使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电工应用技术/黄东主编. —北京:清华大学出版社,2011.9

(21世纪高职高专规划教材.电子信息基础系列)

ISBN 978-7-302-26567-2

I. ①电… II. ①黄… III. ①电工—高等职业教育—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 174679 号

责任编辑:贺志洪

责任校对:李 梅

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:11.25 字 数:255 千字

版 次:2011 年 9 月第 1 版 印 次:2011 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:24.00 元

产品编号:043340-01

本书根据教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高【2006】16号文)精神,本着“以服务为宗旨、以就业为导向、以能力为本位”的指导思想,通过到工厂企业的生产一线进行广泛的调研,根据行业专家及企业技术人员对电类专业所涵盖的岗位群进行的工作任务和职业能力的分析,紧密结合职业资格证书中对电工知识的要求,确定课程模块和内容。

本书共分为八个模块:模块1为直流电路,模块2为单相正弦交流电,模块3为三相正弦交流电,模块4为动态电路的过渡过程,模块5为变压器,模块6为电动机的测试,模块7为低压电器及三相异步电动机电路的安装,模块8为供电与用电。

本书由广西工业职业技术学院黄东任主编,广西工业职业技术学院刘昌亮和何琳担任副主编。模块1、模块3由广西工业职业技术学院孔宁编写,模块2由广西工业职业技术学院何琳编写,模块4、模块8由广西工业职业技术学院黄东编写,模块5由广西工业职业技术学院李仕游编写,模块6、模块7由广西工业职业技术学院刘昌亮编写。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏及不妥之处,殷切希望使用本书的师生和读者批评指正。

编者

2011年4月

模块1 直流电路的测试、分析	1
1.1 直流电路	1
1.1.1 电路和电路模型	1
1.1.2 电流、电压、参考方向及功率	2
1.1.3 电位的计算	5
1.1.4 电路的工作状态	6
1.2 电路的基本元件	7
1.2.1 电阻元件	7
1.2.2 电感元件	8
1.2.3 电容元件	8
1.2.4 电流源与电压源	9
1.3 电路的分析、计算	12
1.3.1 基尔霍夫定律	12
1.3.2 支路电流法	13
1.3.3 节点电压法	14
1.3.4 叠加原理	16
1.3.5 戴维南定理	17
模块小结	19
思考与练习	20
模块2 正弦交流电流	22
2.1 单一参数的交流电路	22
2.1.1 交流电概述	23
2.1.2 单一参数的交流电路	27
2.2 RLC 串联和并联电路	33
2.2.1 交流电路分析	34
2.2.2 交流电路中的谐振	36
2.2.3 功率因数的提高	38
模块小结	41

思考与练习	42
模块3 三相正弦交流电	44
3.1 三相电源特性及连接	44
3.1.1 三相正弦交流电的产生与特性	44
3.1.2 三相电源的星形(Y)连接	46
3.1.3 电源的三角形(Δ)连接	47
3.2 三相负载的连接	48
3.2.1 三相负载的星形(Y)连接	48
3.2.2 三相负载的三角形(Δ)连接	52
3.3 三相功率的计算	54
模块小结	57
思考与练习	58
模块4 动态电路的过渡过程	60
4.1 换路定律和初始值的计算	60
4.1.1 过渡过程的概念及换路定律	60
4.1.2 初始值的计算	61
4.2 一阶电路的全响应	63
4.2.1 直流激励下 RC 电路的全响应	63
4.2.2 直流激励下 RL 电路的全响应	66
4.2.3 一阶电路的零输入响应和零状态响应	68
4.2.4 一阶电路的三要素法	69
4.3 RC 电路充、放电的应用	71
模块小结	74
思考与练习	75
模块5 变压器	78
5.1 磁路	78
5.1.1 铁磁材料	78
5.1.2 磁路	79
5.1.3 交流铁芯线圈	81
5.1.4 电磁铁	82
5.2 变压器	83
5.2.1 变压器基础知识	83
5.2.2 单相变压器	84
5.2.3 三相变压器	87
5.2.4 其他常用变压器简介	89

模块小结	93
思考与练习	94
模块6 电动机的测试	96
6.1 三相异步电动机的认识	96
6.1.1 三相异步电动机的结构和工作原理	96
6.1.2 三相异步电动机的结构	98
6.1.3 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	102
6.1.4 三相异步电动机的控制	105
6.2 三相异步电动机的测试	107
6.3 单相交流电动机和直流电动机的认识	109
6.3.1 单相交流异步电动机的结构与原理	109
6.3.2 单相外转子式吊扇电动机的拆装及维修	110
6.3.3 直流电动机	115
模块小结	118
思考与练习	118
模块7 低压电器及三相异步电动机控制电路的安装	120
7.1 点动控制电路的安装与调试	120
7.1.1 常用低压电器结构、动作原理	120
7.1.2 识读电路图	125
7.2 具有过载保护的电动机正转控制电路安装与调试	127
7.2.1 相关低压电器结构、动作原理	128
7.2.2 识读电路图和接线图	129
7.3 具有联锁保护的电动机控制电路安装与调试	131
7.3.1 电动机正反转控制线路的分析	131
7.3.2 接触器联锁的正反转控制线路分析	134
7.4 工作台自动往返控制电路的安装与调试	136
7.4.1 所用低压电器结构与动作原理	137
7.4.2 小车行程控制电路的设计	139
7.4.3 其他常用低压电器结构、动作原理	141
7.5 特种电动机	145
7.5.1 伺服电动机	145
7.5.2 步进电动机	149
模块小结	152
思考与练习	152

模块8 供电与用电	155
8.1 安全用电与节约用电	155
8.1.1 供电与配电知识	155
8.1.2 安全用电	156
8.1.3 节约用电的意义和措施	158
8.1.4 防雷技术	159
8.2 触电急救	160
8.2.1 触电种类和方式	160
8.2.2 触电急救	161
模块小结	168
思考与习题	168
参考文献	170

直流电路的测试、分析

知识目标：深刻理解电路模型的概念，电流、电压及其参考方向的概念，熟练掌握欧姆定律与基尔霍夫定律。

能力目标：能够正确使用 MF500 型万用表，熟练掌握直流线性电路的分析与计算方法，能正确应用支路电流法，电压源与电流源的等效变换，叠加原理及戴维南定理。

1.1 直流电路

1.1.1 电路和电路模型

1. 电路

电路是电流的通路，是由为某种需要将若干电气设备按照一定方式组合而构成的。电路的作用是实现电能的输送与转换，如供电系统，或信号的传递和处理，如收音机、电视机电路等。

电路通常由电源(或信号源)、负载和中间环节三部分组成。

电源是为电路提供电能的装置，可以将化学能、机械能转换为电能或者把电能转换为另一种形式的电能或者电信号，如干电池、发电机、信号源等。

负载是用电设备，它吸收电能并将其转换成其他形式的能量，例如灯泡吸收电能并将电能转换成光能。

中间环节是连接电源与负载进行的部分，它起到传输、分配和控制电路的作用，如变压器、输电线、放大器、开关等。

四驱车模型图如图 1-1 所示。图 1-2 所示是四驱车模型电路，也是最简单的电路。其中，干电池是电源，微型电动机是负载，开关和导线(金属片)是中间环节。

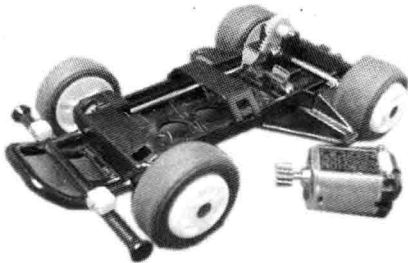


图 1-1 四驱车模型图

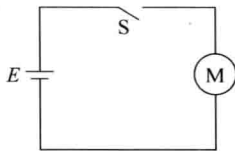
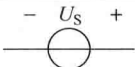
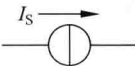


图 1-2 四驱车模型电路图

2. 电路模型

为了便于研究各类具体的电路,在电工技术中,在一定条件下对实际元器件加以理想化,只考虑其中对电性能起主要作用的元器件,这种电路元件简称理想电路元件。由一些理想电路元件组成的电路,就是实际电路的电路模型,它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。表 1-1 列出了常用的几种电路元件及其图形符号。

表 1-1 常用的几种电路元件及其图形符号

元件名称	图形符号	元件名称	图形符号
电阻		理想电压源	
电感		理想电流源	
电容		开关的一般符号	
电池		灯的一般符号	

1.1.2 电流、电压、参考方向及功率

研究电路的基本规律,首先应掌握电路的基本物理量:电流、电压和功率。

1. 电流

电流是电荷(带电粒子)有规则的定向运动形成的,在单位时间内通过某一导体横截面的电荷量,定义为电流强度,简称电流,即

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

式中, dq 为微小的电荷量, dt 表示微小的时间。式(1-1)表示电流为时间的函数,是随时间变化的,用小写字母 i 表示,若 $i = \frac{dq}{dt}$ 等于常数,则该电流称为恒定电流,简称直流(DC),用大写字母 I 表示。电流的单位是安培(A)。

习惯上把正电荷移动的方向,规定为电流的实际方向。

在分析计算电路时,对复杂电路由于无法确定电流的实际方向,或者是电流的实际方向在不断变化,所以引入“参考方向”的概念。

参考方向是一个假想的电流方向,在分析计算电路前,可先任意选定某一方向作为电流的参考方向(又称正方向)。图 1-3 中所示箭头方向,表示选定的电流正方向是从 a 端流向 b 端,可用符号 i_{ab} 来表示该电流的正方向, $i_{ab} = -i_{ba}$ 。

若计算结果(或已知) $i > 0$,则表示电流的实际方向与参考方向相同;若 $i < 0$ 为负值,则表示实际方向与参考方向相反。

图 1-3 中的方框,表示一个二端元件或二端网络(与外部只有二个端子(接点)相连的元件或网络称为二端元件或二端网络)。

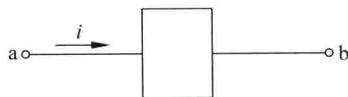


图 1-3 电流的参考方向

2. 电压

电压也是电路中既有大小又有方向(极性)的基本物理量。直流电压用大写字母 U 表示,交流电压用小写字母 u 表示。

电场力将单位正电荷从 a 点沿任意路径移动到 b 点所做的功定义为 a 、 b 两点之间的电压,即

$$u_{ab} = \frac{d\omega}{dq} \quad (1-2)$$

式中, $d\omega$ 是电场力在时间 dt 内将电荷 dq 从 a 点移动到 b 点所做的功。

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(极性)为由高电位指向低电位。

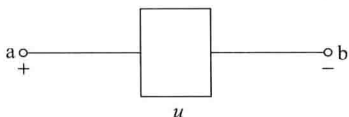


图 1-4 电压的参考方向

同样,在分析计算电路中的电压前,先任意选定电路中两点间电压的参考方向(极性),用“+”代表高电位,“-”代表低电位。图 1-4 中,电压 u 的参考方向(极性)是 a 点为高电位端 b 点为低电位端,也可用双下标 u_{ab} 来表示该参考方向,且 $u_{ab} = -u_{ba}$ 。

例 1-1 在如图 1-5 所示的电路中,方框泛指电路中的一般元件,试分别指出图中各电压的实际极性。

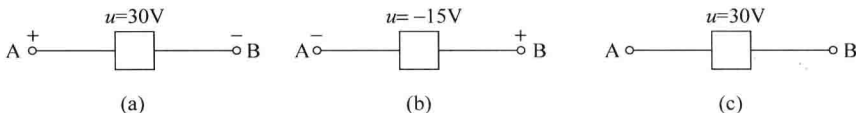


图 1-5 例 1-1 图

解：各电压的实际极性为：

- (1) 图 1-5(a)中, A 点为高电位,因 $u=30V>0$,故所标参考极性与实际极性相同。
- (2) 图 1-5(b)中, B 点为高电位,因 $u=-15V<0$,故所标参考极性与实际极性相反。
- (3) 图 1-5(c)中,不能确定电压实际极性,因为虽然 $u=30V>0$,但图中没有标注参考方向,故无法确定。

若电流和电压选取的参考方向相同则称为关联参考方向,如图 1-6(a)所示,若电流和电压的参考方向相反,则称为非关联参考方向,如图 1-6(b)所示。

当采用关联参考方向时,电路中只要标出电流或电压的一个参考方向即可。本书在分析计算电路时,如未作特殊说明,均采用关联参考方向。

要特别指出的是,欧姆定律在关联参考方向下才可写为

$$u = Ri \quad (1-3)$$

在非关联参考方向下,则写为

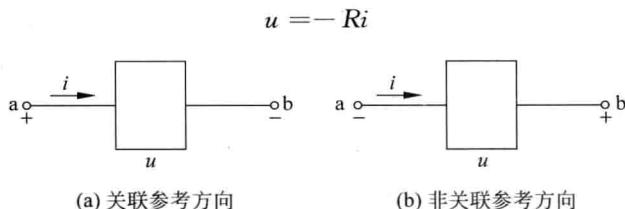


图 1-6 关联参考方向与非关联参考方向

3. 功率

在单位之内电路吸收或释放的电能定义为该电路的功率,即

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1-4)$$

一个二端元件或二端网络当电压、电流采用图 1-6(a)所示的关联参考方向时,其吸收(或消耗)的功率由式(1-1)和式(1-2)可得

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-5)$$

采用图 1-6(b)所示非关联方向,则其吸收(或消耗)的功率为

$$p = -ui \quad (1-6)$$

若 $p > 0$ 表示该二端元件(或网络)吸收功率,为负载;若 $p < 0$ 表示该二端元件(或网络)发出(或产生)功率,为电源。

例 1-2 求图 1-7(a)、(b)、(c)所示二端网络的功率,并说明是吸收功率还是发出功率。

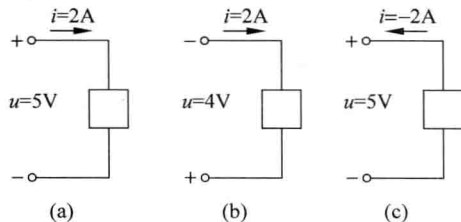


图 1-7 例 1-2 图

解: 在图 1-7(a)中, u 与 i 为关联参考方向,故

$$p = ui = 5 \times 2 = 10\text{W} > 0$$

该二端网络吸收功率。

在图 1-7(b)中, u 与 i 为非关联参考方向,故

$$p = -ui = -(4 \times 2) = -8\text{W} < 0$$

该二端网络发出功率。

在图 1-7(c)中, u 与 i 为非关联参考方向,故

$$p = -ui = -[5 \times (-2)] = 10\text{W} > 0$$

该二端网络吸收功率。

1.1.3 电位的计算

所谓电路中各点的电位就是该点到参考点之间的电压。因此,为了计算电路中各点的

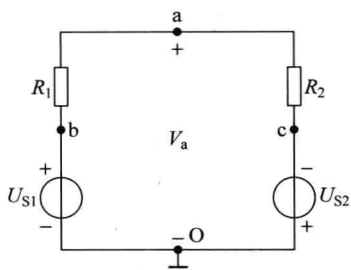
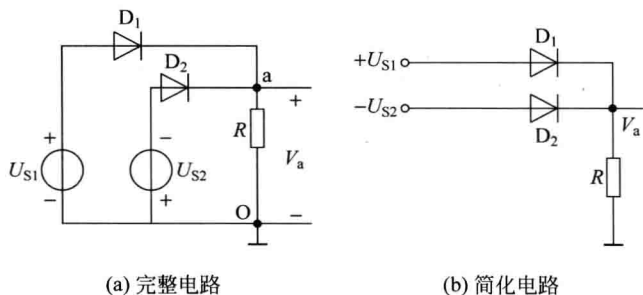


图 1-8 电路中的参考点

的电位必须选定电路中的某一点作为参考点,取该点的电位为零。通常工程上选大地为参考点,机壳需接地的设备,可选机壳做参考点;机壳不接地的设备,为分析方便,通常把元件汇集的公共端或公共线选做参考点,又称“地”,并用符号“⊥”表示。电路中的参考点如图 1-8 所示。

在电子电路中,当电源有一端接地时,为了简便,习惯上把电源的接地端省去不画,只画出电源不接地的一端,例如,图 1-9(a)所示的电路可简化为图 1-9(b)。



(a) 完整电路

(b) 简化电路

图 1-9 电子电路中的简化画法

例 1-3 在图 1-10 中,已知 $R_1=1\Omega$, $R_2=2\Omega$, $U_{S1}=6V$, $U_{S2}=3V$, 试求 a、b、c 点的电位 V_a 、 V_b 、 V_c 及 U_{ba} 。

解: 图 1-10 所示是图 1-8 所示电路的简化画法,由图可得

$$V_b = U_{S1} = 6V \quad V_c = -U_{S2} = -3V$$

$$I = \frac{U_{S1} - (-U_{S2})}{R_1 + R_2} = \frac{6 + 3}{1 + 2} = 3A$$

$$V_a = U_{S1} - IR_1 = 6 - 3 \times 1 = 3V$$

$$U_{ba} = V_b - V_a = 6 - 3 = 3V$$

必须指出的是,电路中某点的电位是指该点与参考点之间的电压,随着参考点的改变,电路中某点的电位的值也会发生改变。而两点间的电压(即两点的电位差)是不变的,与参考点无关。

例如,图 1-10 中选 c 点为参考点,则

$$V_c = 0$$

$$V_a = V_c + IR_2 = 3 \times 2 = 6V,$$

$$V_b = U_{S2} + U_{S1} = 9V$$

$$U_{ba} = V_b - V_a = 9 - 6 = 3V$$

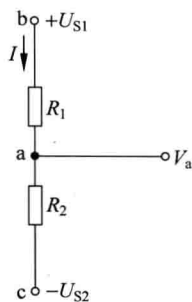


图 1-10 例 1-3 图

1.1.4 电路的工作状态

电源有开路、有载和短路三种工作状态,现以直流电路为例进行讨论,如图 1-11 所示。

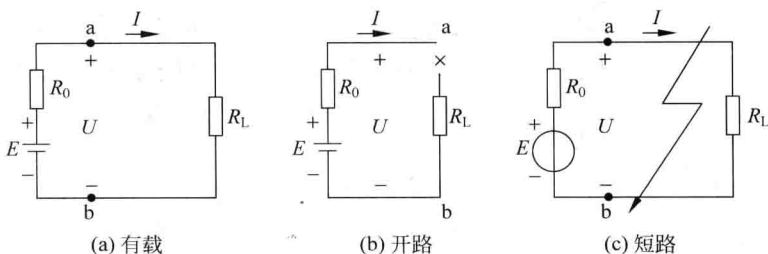


图 1-11 电源的三种工作状态

如图 1-11(a)所示, E 为电源的电动势, R_0 为电源的内阻,当电源与负载 R_L 接通时,由全电路的欧姆定律可得

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L}$$

$$U = IR_L = E - IR_0$$

电源输出功率,即负载获得功率为

$$P = UI$$

1. 电源有载工作状态

如图 1-11(a)所示,电路中电源和负载接通,即电源有载工作。若电源额定输出功率 $P_N = U_N I_N$,当电源输出功率 $P = P_N$ 时称满载,当 $P < P_N$ 时称为轻载,当 $P > P_N$ 时称为过载。过载会导致电气设备的损害,应注意防止。

2. 电源开路

如图 1-11(b)所示,开路的特点是开路处电流为零,故图 1-11(b)中电源电流 $I = 0$,其端电压(称开路电压 U_0) $U = U_0 = E$,电源输出功率 $P = 0$ 。

3. 电源短路

如图 1-11(c)所示 a, b 两点间由于某种原因被短接($R_L = 0$)时,电源处于短路状态。短路的特点是,短路处电压为零。故图 1-11(c)中电源的端电压 $U = 0$,此时电源的电流(称为短路电流 I_s) $I = I_s = \frac{E}{R_0}$ 很大,电源的输出功率 $P = 0$,电源产生的功率全部消耗在内阻上,而造成电源过热而损伤或毁坏,故应尽力防止或采用保护措施。

开路和短路也可以发生在电路的任意两点之间,其特点是开路处电流为零,短路处电压为零。

1.2 电路的基本元件

二端元件是只有两个端子和外电路连接的元件,如图 1-12 所示,本节讨论的是电阻元件、电感元件、电容元件、电压源和电流源等二端元件。



图 1-12 各元件实物图

1.2.1 电阻元件

电流在导体中流动通常要受到阻碍作用,反映这种阻碍作用的物理量称为电阻。在电路图中常用理想电阻元件来表示物质对电流的这种阻碍作用。电阻的符号是 R ,如图 1-13 所示,单位是欧姆(Ω)。

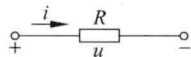


图 1-13 电阻元件图形符号

电阻元件是对电流呈现阻碍作用的耗能元件的总称,如电炉、白炽灯、电阻器等。

1827 年德国科学家欧姆总结出:施加在电阻元件上的电压与通过它的电流成正比。在图 1-13 所示电路中, u 、 i 为关联参考方向,其伏安特性为

$$u = iR$$

1. 线性电阻

在温度一定的条件下,一般金属电阻的阻值不随所加电压和通过的电流而改变,即在一定的温度下其阻值是常数,这种电阻的伏安特性是一条经过原点的直线,如图 1-14 所示。这种电阻称为线性电阻。

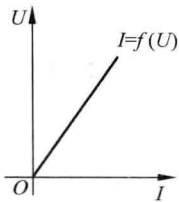


图 1-14 线性电阻伏安特性

2. 非线性电阻

电阻其电阻值随电压和电流的变化而变化,其电压与电流的比值不是常数,这类电阻称之为非线性电阻。例如,半导体二极管的正向电阻就是非线性的,它的伏安特性如图 1-15 所示。

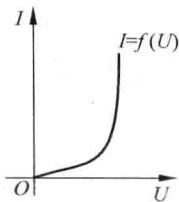


图 1-15 二极管正向伏安特性