 高等职业教育“十二五”电类基础课规划教材

电工技术及实训

Gaodeng zhiye jiaoyu shierwu dianlei jichuke guihuayiaocai

 李军 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠电子课件、习题解答、模拟试卷

高等职业教育“十二五”电类基础课规划教材

电工技术及实训

主 编 李 军

副主编 李金霞 张 虹

参 编 王 涛 朱金峰 苏 燕

主 审 李佩禹



机械工业出版社

本书讲述的主要内容有电路基础、电路的分析方法、单相交流电路的分析与计算、三相交流电路的分析与计算、磁路和变压器、交流电动机及继电器-接触器控制。

为了拓展学生的知识面,本书设置了知识链接环节,主要讲述了万用表的使用、导线的连接和绝缘层恢复、照明灯具、三相交流电源相序指示器、功率的测量、电磁铁、绝缘电阻表的使用及电气控制电路的安装与故障检修等问题;同时配有相应的实训练习,用以增强学生的实践动手能力;每章后还配有习题。

本书可作为高职高专制造类专业相关课程的教材,也可作为相关工程技术人员参考书。

为方便教学,本书备有免费电子课件、习题解答、模拟试卷及答案等,凡选用本书作为授课教材的老师,均可来电索取。咨询电话:010-88379375; Email: cmpgaozhi@sina.com。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术及实训/李军主编. —北京:机械工业出版社,2012.8

高等职业教育“十二五”电类基础课规划教材

ISBN 978-7-111-38888-3

I. ①电… II. ①李… III. ①电工技术-高等职业教育-教材
IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第163176号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:于宁 责任编辑:于宁 苑文环

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

封面设计:赵颖喆 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2012年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·9.5印张·229千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-38888-3

定价:20.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书按照教育部高职高专教学改革方案的要求,根据高职高专的教学特点进行编写。

在编写中体现以能力为本位的指导思想,强调知识的实用性,以“必须”和“够用”为尺度,以基础能力作为教材主线,降低了理论分析的难度和深度,同时增加了知识链接内容,拓展学生的知识面。

在基本理论和知识链接内容之后,配有相应的实训练习,增强学生的实践动手能力,从而将知识讲授和技能训练有机地结合在一起。

本书在内容编排上注意由浅入深、循序渐进,使学生逐步掌握一定的专业知识和技能。

本书全部由山东商业职业技术学院教师编写,其中第一、七章由王涛编写,第二、三章由李金霞编写,第四~六章由张虹编写,知识链接和实训练习由李军编写,附录由朱金峰、苏燕编写。本书由李军任主编,并统编全稿;李金霞、张虹任副主编;由山东省教学名师李佩禹教授任主审。

由于编者水平有限,书中难免有错漏和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 电路基础 1

第一节 直流电路 1

一、电路的组成 1

二、电路的基本物理量 2

第二节 电路的工作状态 5

一、有载工作状态 6

二、空载状态 6

三、短路状态 6

第三节 电路元件 7

一、电阻 7

二、电感 9

三、电容 9

四、电压源与电流源 10

【知识链接】万用表的使用 12

【实训练习】电位与电压的测定 14

习题一 15

第二章 电路的分析方法 18

第一节 支路电流法 18

一、基尔霍夫定律 18

二、支路电流法的应用 19

第二节 叠加定理 21

第三节 戴维南定理 22

【知识链接】导线的连接和绝缘层恢复 26

习题二 32

第三章 单相交流电路的分析与计算 36

第一节 正弦交流电 36

一、正弦交流电的三要素 37

二、相位差 37

三、有效值 38

第二节 正弦量的相量表示法 39

一、正弦函数与有向线段 39

二、相量表示法 40

三、相量图和相量的运算 41

第三节 单一参数元件的交流电路分析 43

一、电阻元件的交流电路 43

二、电感元件的交流电路 44

三、电容元件的交流电路 46

第四节 交流电路分析 47

一、RLC 串联电路中电压、电流之间的 关系 47

二、电路性质分析 49

三、电路功率分析 50

第五节 功率因数的提高 51

一、提高功率因数的意义 51

二、提高功率因数的方法 51

【知识链接】照明灯具 52

【实训练习一】单控照明电路的安装 54

【实训练习二】双控照明电路的安装 55

习题三 56

第四章 三相交流电路的分析与计算 59

第一节 三相电源 59

一、三相对称电源 59

二、三相电源的星形联结 60

三、三相电源的三角形联结 61

第二节 三相负载的连接 62

一、三相负载的星形联结 62

二、三相负载的三角形联结 64

第三节 三相电路的功率 65

【知识链接一】三相交流电源相序指示 器 66

【知识链接二】功率的测量 67

【实训练习】三相交流电源相序的判别 68

习题四 68

第五章 磁路和变压器 70

第一节 磁路的基本知识 70

一、磁路的基本物理量 70

二、磁路的欧姆定律	71	一、刀开关	103
三、铁磁材料的磁性能	71	二、组合开关	104
第二节 变压器概述	72	三、按钮	105
一、交流铁心线圈电路	72	四、熔断器	106
二、变压器的工作原理	73	五、交流接触器	106
三、变压器的外特性和额定值	76	六、中间继电器	108
四、变压器绕组的同极性端	77	七、热继电器	108
第三节 特殊变压器	77	八、行程开关	109
一、自耦变压器	77	九、时间继电器	110
二、仪用互感器	78	十、低压断路器	111
【知识链接】电磁铁	79	第二节 电气原理图	112
习题五	81	一、电气原理图的绘制原则	112
第六章 交流电动机	82	二、电气原理图的分析方法	113
第一节 三相异步电动机的结构与工作 原理	82	第三节 三相异步电动机的基本控制电 路	113
一、三相异步电动机的结构	82	一、直接起动控制	113
二、旋转磁场	84	二、异地控制	115
三、三相异步电动机的工作原理	86	三、正反转控制	115
第二节 三相异步电动机的机械特性	87	四、行程控制	118
一、电磁转矩	87	五、顺序控制	119
二、机械特性曲线	87	六、时间控制	120
三、电动机的工作特性	88	【知识链接】电气控制电路的安装与故 障检修	121
四、电动机的负载能力自适应分析	89	【实训练习一】三相异步电动机直接起 动的控制电路	123
第三节 三相异步电动机的起动、调速与 制动	90	【实训练习二】三相异步电动机正反转 控制电路	127
一、三相异步电动机的起动	90	【实训练习三】三相异步电动机异地控 制电路	129
二、三相异步电动机的调速	92	【实训练习四】三相异步电动机行程控 制电路	131
三、三相异步电动机的制动	93	【实训练习五】三相异步电动机顺序起 动控制电路	132
第四节 三相异步电动机的铭牌	94	【实训练习六】三相异步电动机时间控 制电路	134
第五节 单相异步电动机	97	习题七	135
一、单相异步电动机的工作原理	98	附录 安全用电	138
二、单相异步电动机的起动	98	参考文献	144
【知识链接】绝缘电阻表的使用	99		
【实训练习】三相异步电动机三相绕组首 尾端的测试	101		
习题六	102		
第七章 继电器-接触器控制	103		
第一节 常用低压电器	103		

第一章 电路基础

知识目标：

- 了解电路概念、电路模型和电路的基本物理量。
- 理解关联参考方向。
- 了解电路的三种工作状态。
- 熟悉电源的两种等效电路及其等效变换。

技能目标：

- 了解万用表的原理并会使用万用表。

本章主要讨论电路的组成及基本物理量、单一参数元件的基本特性、电压源与电流源的电路模型及两种电源之间的等效变换。

第一节 直流电路

一、电路的组成

电路是由电气设备和元器件按照某种方式连接在一起所组成的。电路是指电流所流经的路径。

电路的分类 $\left\{ \begin{array}{l} \text{电力电路：传输和转化能量，如电力拖动电路、照明电路等。} \\ \text{电子电路：传递和处理信号，如扩音机电路等。} \end{array} \right.$

本书所介绍的是电力电路。实际电路的组成方式多种多样，但通常由电源（或信号源）、负载和中间环节三个基本部分组成。

电路中各部分的作用如下：

1) 电源是电路中提供电能的设备，它的作用是将其他形式的能量转换为电能，如蓄电池将化学能转换为电能，发电机将机械能转换为电能等。在电子电路中，将能够输出电信号的装置称为信号源，它相当于电源。

2) 负载是指在电路中取用电能的各种用电设备，如白炽灯、电炉和电动机等。它的作用是将电能转换为其他形式的能量。例如，白炽灯将电能转换为光能，电炉将电能转换为热能，电动机将电能转换为机械能。

3) 中间环节是指连接电源和负载的设备，最简单的中间环节是导线和开关。

电路可分为内电路和外电路。对于整个电路来说，电源内部的电路称为内电路，负载和中间环节称为外电路。

在研究电路时，为了便于对电路进行分析和计算，通常把实际的元件进行理想化处理，即在一定的条件下突出元件的主要性质，忽略其次要性质，并用规定的图形符号表示实际的元件，从而构成与实际电路相对应的电路模型。生活中常用的手电筒实际电路及其电路模型

如图 1-1 所示。

二、电路的基本物理量

1. 电流

电荷的定向移动形成了电流。

表示电流强弱的物理量称为电流强度，简称电流，用 i 表示。电流的大小是指单位时间内通过导体某一横截面的电荷量，一般定义为

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

若 dq/dt 为常数，即电流的大小和方向都不随时间而变化，则称之为稳恒电流，又称直流电流；若 dq/dt 为变量，即电流的大小和方向随时间而变化，则称之为交变电流，又称交流电流。直流电流用大写字母 I 表示，交流电流用小写字母 i 表示。

在国际单位制 (SI) 中，电流的单位为安培，简称安 (A)，即单位时间内通过导体截面的电量为 1C 时，则电流为 1A。对于大电流常以千安 (kA) 为单位；在计量较小的电流时，常用的单位是毫安 (mA) 和微安 (μA)。它们的关系为

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}$$

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

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

通常规定正电荷定向移动的方向为电流的实际方向。在金属导体中，移动的是自由电子，而不是正电荷，自由电子在电场中的移动方向与正电荷的移动方向相反。

电流的方向可用箭头表示，也可用双下标表示，如 i_{ab} 表示电流由 a 点流向 b 点。

2. 电位

若要确定正电荷在电路中某一点所具有的能量大小，就必须选择一个参考点作为基准点。如图 1-2 所示，选择 c 点作为参考点 (用符号 $\perp$ 表示)，则正电荷在 a 点所具有的电位能就等于电场力把正电荷从 a 点移动到 c 点所做的功。

电路中 a 点的电位是指将正电荷从 a 点沿任意路径移动到参考点所做的功 W_a 与被移动电荷量 Q 的比值，即

$$V_a = \frac{W_a}{Q} \quad (1-2)$$

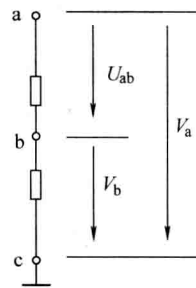


图 1-2 电位与电压

通常将参考点的电位规定为零，故参考点又称为零电位点。参考点可以任意选择。参考点一经选定，电路中各点的电位值就是唯一的。改变参考点，各点电位值随之改变，即电路中各点电位的高低是相对于参考点而言的。因此，在电路分析中不确定参考点而讨论电位是没有任何意义的。

3. 电压及参考方向

(1) 电压 电路中某两点间的电位差称为这两点间的电压，用字母 U (交流时用 u) 表示。在图 1-2 中，a、b 两点间的电压为

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-3)$$

U_{ab} 就是将正电荷从 a 点沿任意路径移到 b 点所做的功 W_{ab} 与被移动电荷量 q 的比值, 即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-4)$$

电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点, 即在电压的方向上电位是逐点降低的, 所以电压又称为电压降。电压的方向可以用双下标表示, 如 U_{ab} 表示电压方向由 a 点指向 b 点; 也可以用箭头表示, 箭头的方向为电位逐点降低的方向; 还可以用正 (+)、负 (-) 极性来表示。

在国际单位制 (SI) 中, 电位、电压的单位是伏特, 简称伏 (V)。常用单位还有 μV 、mV 和 kV。它们之间的关系为

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

(2) 电压与电流的参考方向 在简单电路中, 电压、电流的实际方向可由电源的极性确定, 但在一些复杂电路的分析中, 电压、电流的方向不容易事先确定, 因此, 为了便于分析电路, 引入了电压、电流参考方向的概念。

任意假定某一方向为电流或电压的参考方向, 通常用箭头或极性标注在电路上, 如图 1-3 所示。

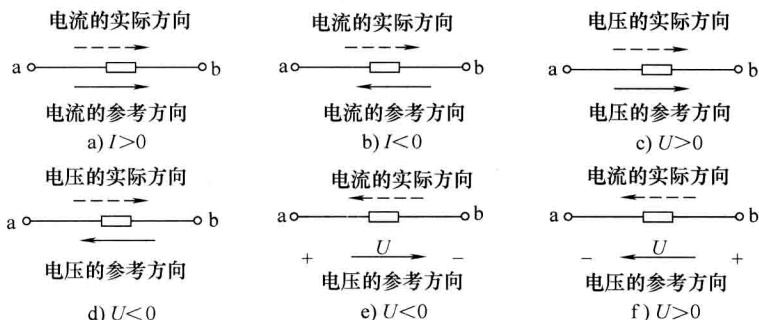


图 1-3 电流、电压的实际方向与参考方向

在选定参考方向的前提下, 经过对电路进行分析与计算, 若求得的电流或电压为正值, 则说明参考方向与实际方向一致; 若为负值, 则说明参考方向与实际方向相反。

电流参考方向的选定与电压参考方向的选定是没有关系的, 但为了方便分析, 通常选定电流参考方向与电压参考方向一致, 即流过元件的电流方向就是元件上电压降的方向, 将其称为关联参考方向, 如图 1-4a 所示。如果选定电流参考方向与电压参考方向相反, 则称为非关联参考方向, 如图 1-4b 所示。

关联参考方向情况下的欧姆定律可表示为

$$U = IR \quad (1-5)$$

非关联参考方向情况下的欧姆定律可表示为

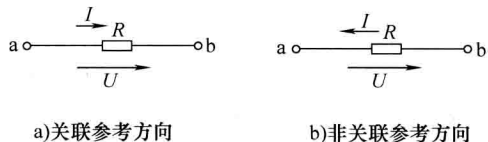


图 1-4 关联参考方向与非关联参考方向

$$U = -IR \quad (1-6)$$

式中，“-”为电压、电流选取非关联参考方向的体现，与电压、电流数值的正负无关。

4. 电动势

电源的作用和水泵相似，水泵的作用是不断地把低处的水抽到高处，使供水系统始终保持一定的水压。从电源的外电路看，正电荷在电场力的作用下从高电位端向低电位端移动形成了电流，即电场力使电荷移动做功。为了使电流维持下去，电源必须依靠其他非电场力把正电荷从电源的负极移到电源的正极。将单位正电荷从电源的负极移动到正极所做的功，称为电源的电动势，用符号 E （表示交流时，用 e ）表示，有

$$E = \frac{W}{Q} \quad (1-7)$$

电动势是衡量电源力（非电场力）做功能力的物理量，电压是衡量电场力做功能力的物理量。它们的区别在于：电场力能够在外电路中把正电荷从高电位端移向低电位端，电压的实际方向规定为自高电位端指向低电位端，是电位逐点降低的方向；而电源力能把电源内部的正电荷从低电位端移向高电位端，电动势的实际方向规定为在电源内部自低电位端指向高电位端，也就是电位逐点升高的方向。直流电源的两种表示形式如图 1-5 所示，在没有连接外电路时，电动势与电源两端的电压大小相等、方向相反，有

$$E = U \quad (1-8)$$

【例 1-1】如图 1-6a 所示，已知 $E_1 = 140\text{V}$ ， $E_2 = 90\text{V}$ ， $I_1 = 4\text{A}$ ， $I_2 = 6\text{A}$ ， $I_3 = 10\text{A}$ ， $R_1 = 20\Omega$ ， $R_2 = 5\Omega$ ， $R_3 = 6\Omega$ ，分别选择 b 点和 d 点作为参考点，求电路中其他各点电位及电压 U_{cd} 的大小。

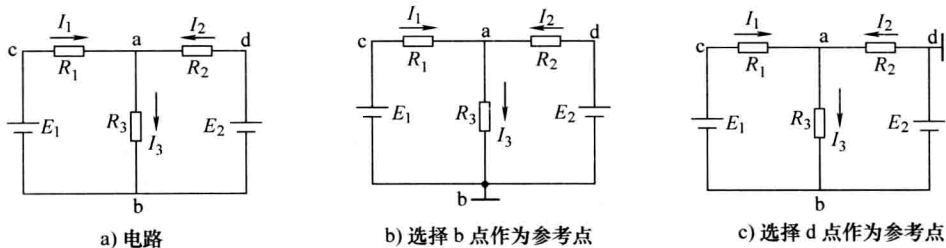


图 1-6 电位与电压的计算

解：选择 b 点作为参考点的电路如图 1-6b 所示，则

$$V_b = 0\text{V}$$

$$V_a = U_{ab} = I_3 R_3 = 10 \times 6\text{V} = 60\text{V}$$

$$V_c = U_{cb} = E_1 = 140\text{V}$$

$$V_d = U_{db} = E_2 = 90\text{V}$$

$$U_{cd} = V_c - V_d = 140\text{V} - 90\text{V} = 50\text{V}$$

选择 d 点作为参考点的电路如图 1-6c 所示，则

$$V_d = 0V$$

$$V_a = U_{ad} = -I_2 R_2 = -6 \times 5V = -30V$$

$$V_b = U_{bd} = -E_2 = -90V$$

$$V_c = U_{cb} + U_{bd} = E_1 - E_2 = 140V - 90V = 50V$$

$$U_{cd} = V_c - V_d = 50V - 0 = 50V$$

综上所述, 选用不同的参考点, 各点电位的数值不同, 但任意两点之间的电压不随参考点的改变而变化, 即各点的电位是相对的, 而两点间的电压是绝对的。

5. 电能与电功率

(1) 电能 电路中有电流时, 电路内部发生了能量的转换。正电荷在电源内部获得了能量, 把非电能转换成电能; 在外电路中, 正电荷放出能量, 把电能转化为其他形式的能量。

设导体两端的电压为 U , 通过导体横截面的电荷量为 Q , 则电场力做功为

$$W = UQ = UIt \quad (1-9)$$

在国际单位制中, 电能的单位是焦耳 (J); 在实际生活当中, 常用的单位是千瓦时 ($kW \cdot h$), 习惯上称为度。

$$1kW \cdot h = 3.6 \times 10^6 J$$

1 度等于功率为 $1kW$ 的用电器在 $1h$ 内所消耗的电能。例如, $1000W$ 的空调工作 $1h$ 、 $200W$ 的灯泡照明 $5h$ 等都消耗 1 度电。

(2) 电功率 单位时间内电场力所做的功称为电功率, 简称功率, 用字母 P (表示瞬时值时用 p) 表示。设在 dt 时间内电场力所做的功为 dW , 则有

$$P = \frac{dW}{dt} \quad (1-10)$$

在国际单位制 (SI) 中, 功率的单位是瓦特, 简称瓦 (W)。较小的单位有毫瓦 (mW), 较大的单位有千瓦 (kW)、兆瓦 (MW) 等。

在关联参考方向情况下, 元件功率的计算公式为 $P = UI$; 在非关联参考方向情况下, 元件的功率计算公式为 $P = -UI$ 。

若 $P > 0$, 说明元件吸收功率, 是一个负载; 若 $P < 0$, 说明元件发出功率, 是一个电源。对任何一个电路元件而言, 当流经元件的电流实际方向与元件两端电压的实际方向一致时, 元件吸收功率; 电流实际方向与元件两端电压的实际方向相反时, 元件发出功率。

第二节 电路的工作状态

为了使电气设备在工作中的温度不超过最高工作温度而限定的通过电气设备的最大允许电流称为该电气设备的额定电流。为了限制通过电气设备的电流以及绝缘材料所承受的电压, 允许加在电气设备上的电压限定值称为该电气设备的额定电压。

各种电气设备都有其额定电压与额定电流。在使用电气设备前, 必须看清铭牌上所标注的额定值是否与电源值一致, 以便合理地使用电气设备。

电路的状态一般有空载 (开路)、短路和有载 (通路) 三种。下面以直流电路为例介绍这三种工作状态下的电流、电压和功率方面的特征。电路如图 1-7 所示。

一、有载工作状态

在图 1-7 中, 当开关闭合时, 电流流过负载电阻, 电路处于有载工作状态。此时电路中的电流为

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R}$$

负载电阻两端的电压 (忽略线路压降) 为

$$U = IR$$

或

$$U = U_s - IR_0$$

电源输出的功率为

$$P = UI = I^2 R$$

电源输出电流的大小取决于外电路中通电使用的并联用电器。当使用的并联用电器增多时, 电源输出的电流和功率随之增大, 称为电路的负载增大; 当使用的并联用电器减少时, 电源输出的电流和功率随之减少, 称为电路的负载减小。

当电源输出的电压与电流达到额定值时, 电源的工作状态称为额定工作状态, 或满载状态。工作在额定状态可以保证电气设备的使用寿命, 电气设备使用时安全可靠、经济合理。若电源输出的电流超过额定值, 则电源的工作状态称为过载工作状态。短时少量地过载不会对电气设备的使用造成较大伤害, 但长时间地过载, 则会因为电流的热效应使电气设备的高温超过其最高工作温度, 从而缩短电气设备的使用寿命, 严重时甚至会烧毁电气设备。

二、空载状态

在图 1-7 中, 当开关 S 断开时, 外电路与电源断开, 电路处于空载 (开路) 状态。电路的电流为零, 电源的内阻压降 IR_0 也等于零, 这时电源的端电压 U (亦称空载电压) 等于电源电压 U_s , 负载电阻 R 不消耗功率。

三、短路状态

电路中任意两端被电阻接近于零的导体接通时, 称为这两端被短路。短路有电源短路和负载短路两种情况。在图 1-8 所示电路中, 电源被短路, 外电路电阻为零, 电源端电压 U 为零, 电源电动势全部加在电源的内阻 R_0 上。一般电源内阻 R_0 很小, 因此短路电流 $I_s = U_s / R_0$ 很大, 容易烧毁电源。通常在电路中接入熔断器作为短路保护设备, 熔断器应该安装在开关靠近负载的一侧。短路保护电路如图 1-9 所示。

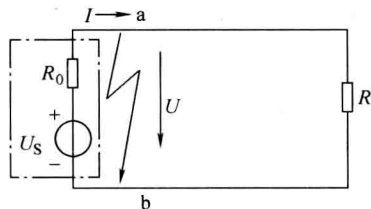


图 1-8 电源短路

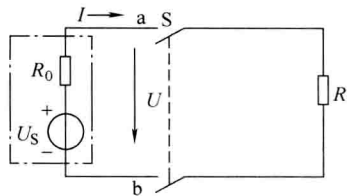


图 1-7 电路的工作状态

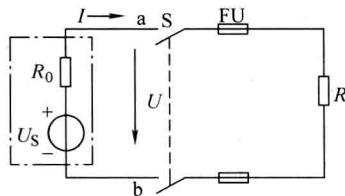


图 1-9 短路保护电路

第三节 电路元件

在电路分析中,实际的电路元件是用理想化的电路元件的组合来表示的。理想化的电路元件按外部连接的端子数目的不同可分为二端和多端元件;按是否给电路提供能量可分为有源元件和无源元件。

一、电阻

电阻器、白炽灯及电炉等元件在电路中主要表现为耗能的电特性,可以用电阻元件来表示这些实际电路中的耗能元件。

在关联参考方向的情况下, $R = U/I$ 。若元件两端的电压与通过它的电流成正比,即电压 U 与电流 I 的伏安特性曲线为一直线,如图 1-10 所示,则该元件称为线性元件,对应的电阻 R 称为线性电阻。一般金属导体的电阻都为线性电阻。

若元件两端的电压与通过它的电流不成正比,即电压 U 与电流 I 的伏安特性曲线不为直线,则将这类元件称为非线性元件,具有这种性质的电阻称为非线性电阻。一般的半导体器件都属于非线性元件。

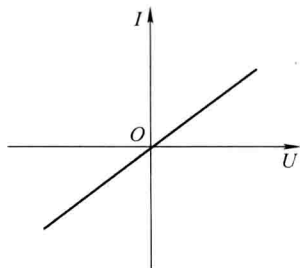


图 1-10 线性电阻的
伏安特性曲线

电阻的种类主要有碳膜电阻、金属膜电阻和线绕电阻等。电阻的主要作用是阻碍电流的通过,常应用于限流、分流电路等。

电阻的主要参数包括标称值(电阻值)、额定功率和允许偏差(误差)。额定功率是指电阻长期连续工作而不改变其性能时所允许消耗的最大功率,一般有 $(1/16) \text{ W}$ 、 $(1/8) \text{ W}$ 、 $(1/4) \text{ W}$ 、 $(1/2) \text{ W}$ 、 1 W 、 2 W 、 3 W 和 5 W 等多种,功率较大(20 W 以上)的电阻,其额定功率直接标注在电阻元件上;允许偏差是指电阻的实际阻值与其标称值之间所允许的最大相对误差范围。在国际单位制(SI)中,电阻的单位为欧姆,简称欧(Ω)。常用的电阻单位还有千欧($\text{k}\Omega$)和兆欧($\text{M}\Omega$)。电阻的主要标志方法有如下三种。

1. 直接标注法

直接标注法是指将电阻的标称值用数字和文字符号直接标在电阻体上,其允许偏差用百分数表示,未标偏差值的即为 $\pm 20\%$ 的允许偏差。如 $1.2 \text{ M}\Omega \pm 5\%$ 、 $20 \text{ k}\Omega \pm 0.1\%$ 等。

2. 文字标注法

文字标注法是指将电阻的标称值和允许偏差用数字和文字符号按一定的规律组合起来标志在电阻体上。允许偏差的标志符号见表 1-1,标称值的文字标注见表 1-2。

通常,大多数电阻的允许偏差为 J、K、M 三类。在表 1-2 中,R 表示欧姆,k 表示千欧,M 表示兆欧,G 表示吉欧,T 表示太欧。

例如:6R2J 表示该电阻阻值为 $6.2 \Omega (1 \pm 5\%)$;3k6K 表示该电阻阻值为 $3.6 \text{ k}\Omega (1 \pm 10\%)$;1M5M 则表示该电阻阻值为 $1.5 \text{ M}\Omega (1 \pm 20\%)$ 。

3. 色环标注法

色环标注法是将电阻的标称值和允许偏差用不同颜色的带环标志在电阻体上。普通的电阻为四环电阻,精密的电阻为五环电阻。

表 1-1 允许偏差的标志符号

允许偏差 (%)	标志符号	允许偏差 (%)	标志符号
± 0.001	Y	± 0.5	D
± 0.002	X	± 1	F
± 0.005	E	± 2	G
± 0.01	L	± 5	J
± 0.02	P	± 10	K
± 0.05	W	± 20	M
± 0.1	B	± 30	N
± 0.25	C	...	...

表 1-2 标称值的文字标注

标称值	文字标注	标称值	文字标注
0.1 Ω	R10	1 M Ω	1 M0
0.332 Ω	R332	3.32 M Ω	3 M32
1 Ω	1 R0	10 M Ω	10 M
3.32 Ω	3 R32	33.2 M Ω	33 M2
10 Ω	10 R	100 M Ω	100 M
33.2 Ω	33 R2	332 M Ω	332 M
100 Ω	100 R	1 G Ω	1 G0
332 Ω	332 Ω	3.32 G Ω	3 G32
1 k Ω	1 k0	10 G Ω	10 G
3.32 k Ω	3 k32	33.2 G Ω	33 G2
10 k Ω	10 k	100 G Ω	100 G
33.2 k Ω	33 k2	332 G Ω	332 G
100 k Ω	100 k	1 T Ω	1 T0
332 k Ω	332 k	3.32 T Ω	3 T32

所谓四环电阻就是指用四条色环表示阻值的电阻。从左向右数，第一、二环表示两位有效数字；第三环表示倍数，即 10 的幂；第四环表示允许偏差。紧靠电阻体一端的色环为第一环。在这四条色环中，前三条相互之间的距离离得比较近，而第四环距离稍微大一点。四环电阻的允许偏差环颜色只有金色、银色或无色三种。金色表示允许偏差为 $\pm 5\%$ ，银色为 $\pm 10\%$ ，无色为 $\pm 20\%$ 。

例如，四条色环的颜色为：黄橙红金。

前三条色环对应的数字（见表 1-3）为 432，金为 $\pm 5\%$ ，则阻值为 $43 \times 10^2 \Omega$ ($1 \pm 5\%$) = $4.3 \text{ k}\Omega$ ($1 \pm 5\%$)。

五环电阻的读数与四环电阻相似，第一、二、三环表示三位有效数字，第四环表示倍数，第五环表示允许偏差。表示允许偏差的色环颜色有棕、红、绿、蓝、紫、金、银。色环对应的有效数值和允许偏差见表 1-3。

表 1-3 色环对应的有效数值和允许偏差

颜色	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑
有效数值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
允许偏差 (%)	±1	±2	—	—	±0.5	±0.25	±0.1	±0.05	—	—

二、电感

实际的电感通常是在一个骨架上用漆包线绕制而成的。在交流电路中,电感的主要电磁特性表现为储存磁场能量(用电感元件表示),其耗能因素(用电阻元件表示)可以作为次要因素忽略不计。因此实际电感线圈的电路模型是电阻与电感的串联电路,而理想电感线圈的电路模型就是纯电感电路,如图 1-11 所示。

当交变电流通过理想空心电感线圈后,线圈中产生感应电动势来抵制电流的变化,即

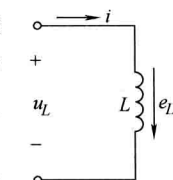


图 1-11 电感电路

$$e_L = -L \frac{di}{dt}$$

这种由于线圈本身电流发生变化而产生的电磁感应现象称为自感现象,简称自感。字母 L 既用来表示自感系数(简称电感),也用来表示电感线圈。

线圈的电感是由线圈本身的特性所决定的,它与线圈的尺寸、匝数和介质的磁导率有关,与线圈中有无电流及电流的大小无关。由于铁心线圈的磁导率 μ 不是常数,而是随电流变化的,因此铁心线圈的电感不是一个固定值,将这种电感称为非线性电感。

在国际单位制(SI)中,电感的单位是亨利,简称亨(H)。常用单位还有毫亨(mH)和微亨(μH)。

在图 1-11 中,电感元件两端的电压 u_L 与电流 i 的关系为

$$u_L = -e_L = L \frac{di}{dt} \quad (1-11)$$

当电感量一定时,电感元件两端的电压与电流的变化率成正比。当电流为直流电流时,电感元件两端的电压为零,电感元件相当于短路。

用感抗 X_L 来表示电感线圈对电流的阻碍作用,其单位和电阻一样。

$$X_L = 2\pi fL \quad (1-12)$$

凡是能产生电感作用的元件统称为电感元件,常用的电感元件有固定电感器、阻流圈及偏转线圈等。电感元件是电路中比较常用的元件,通常用在高频电路、滤波电路及电压变换电路中。

三、电容

最简单的电容是由两块极板和中间的绝缘介质构成的。在交流电路中,因为电流的方向是随时间不断变化的,因而在电容两极板间形成了不断变化的电场。

充电和放电是电容的基本功能。使电容带上电荷的过程称为充电,在充电过程中,电容把从电源获得的电能储存在两极板间的电场中;使电容失去电荷的过程称为放电,在放电过程中,电容把储存的电场能转换为电能还给电源。电容电路如图 1-12 所示。

在图 1-12 中, 电容极板上聚集的电荷 q 与其两端电压 u_c 之间的关系为

$$q = Cu_c$$

或

$$C = \frac{q}{u_c}$$

则电流为

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_c}{dt} \quad (1-13)$$

当电容量一定时, 电流与电容两端电压的变化率成正比, 当电压为直流电压时, 电流为零, 电容相当于开路。

用容抗 X_c 来表示电容对电流的阻碍作用, 单位和电阻一样。

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} \quad (1-14)$$

在一般的电子电路中, 常用电容来实现旁路、耦合、滤波、振荡、移相及波形变换等。电容用 C 来表示, 常用的有铝电解电容、涤纶电容、瓷介 (高频、低频) 电容、独石电容、纸介电容、空气可变电容器和金属化纸介电容器等。

在国际单位制 (SI) 中, 电容的单位是法拉, 简称法 (F)。常用单位还有毫法 (mF)、微法 (μF)、纳法 (nF) 和皮法 (pF) 等, 它们之间的换算关系是

$$1\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}$$

$$1\text{nF} = 10^{-9}\text{F}$$

$$1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$$

四、电压源与电流源

一个电源可以用两种不同的电源模型来表示, 一种是以输出电压的形式来表示, 称为电压源等效电路, 简称电压源; 另一种是以输出电流的形式来表示, 称为电流源等效电路, 简称电流源。

1. 电压源

一个实际电源的电压源模型是用电源电压 U_s 和内阻 R_0 串联的等效电路来表示的, 如图 1-13a 所示。

当电压源向外电路输出电流时, 其端电压 U 与输出电流 I 的关系为

$$U = U_s - IR_0 \quad (1-15)$$

电压源的输出电压 U 与电流 I 的

关系, 即 $U = f(I)$, 称为电源的外特性, 如图 1-13b 所示。电压源的外特性是一条向下倾斜的直线, 端电压 U 随输出电流 I 的增大而减小, 且内阻 R_0 越大, 直线向下倾斜的角度越大, 说明电压源的外特性越差。

当电压源开路时, $I = 0$, 开路电压 $U_0 = U_s$; 当电压源短路时, $U = 0$, 短路电流 $I_s =$

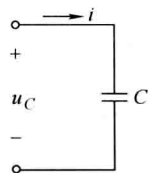
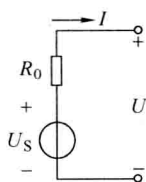
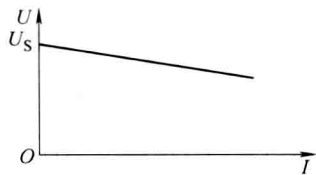


图 1-12 电容电路



a) 电压源等效电路



b) 电压源外特性

图 1-13 电压源及其外特性

U_s/R_0 ，因为电压源的内阻很小，所以短路电流 I_s 很大。

当电压源内阻 $R_0 = 0$ 时，不论输出电流如何变化，内阻上的压降始终为零，端电压 U 恒等于电压源电压 U_s ，这样的电压源称为理想电压源或恒压源。理想电压源及其外特性如图 1-14 所示。理想电压源在实际工程中是不存在的，它输出的电流大小由外电路决定。

如果一个电源的内阻远远小于负载电阻，通常忽略内阻压降，将其看做是一个理想电压源，如稳压电源就可以看做是理想电压源。

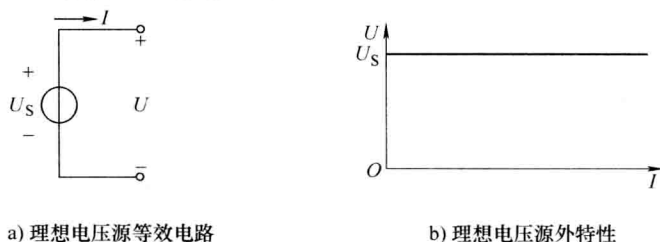


图 1-14 理想电压源及其外特性

2. 电流源

一个实际的电流源也可以用一个理想电流源 I_s 和一个电源内阻 R_0 并联的等效电路来表示，如图 1-15a 所示。

当电流源向外电路输出电流时，其输出电流 I 与端电压 U 的关系为

$$I = I_s - \frac{U}{R_0} \quad (1-16)$$

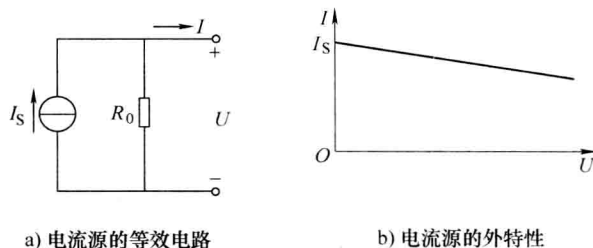


图 1-15 电流源及其外特性

电流源的外特性如图 1-15b 所示，也是一条向下倾斜的直线，输出电流 I 随端电压 U 的增大而减小，且内阻 R_0 越小，直线向下倾斜的角度越大，说明电流源的外特性越差。

当电流源开路时， $I = 0$ ，开路电压 $U_0 = I_s R_0$ ；当电流源短路时， $U = 0$ ，短路电流 $I = I_s$ 。

当电流源内阻 $R_0 \rightarrow \infty$ 时，内阻上不分流，输出电流 I 恒等于电流源电流 I_s ，这样的电流源称为理想电流源或恒流源。理想电流源及其外特性如图 1-16 所示。理想电流源在实际工程中是不存在的，它输出的端电压大小由外电路决定。

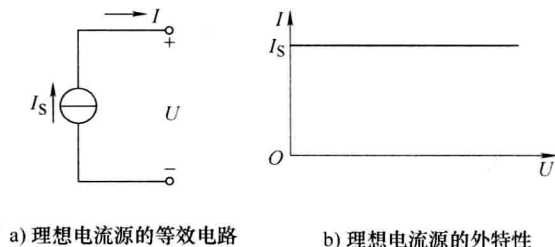


图 1-16 理想电流源及其外特性

如果一个电源的内阻远远大于负载电阻，通常忽略内阻的分流作用，将其看做是一个理想电流源。

3. 电压源与电流源的等效变换

一个实际的电源既可用电压源表示，又可用电流源表示，因此实际电压源与实际电流源之间可以进行等效变换。**注意：**两者之间的等效变换只是对外电路等效，对内电路不等效。

如图 1-17 所示，若电压源与电流源的外特性相同，即输出电流 I 与端电压 U 都一样，