

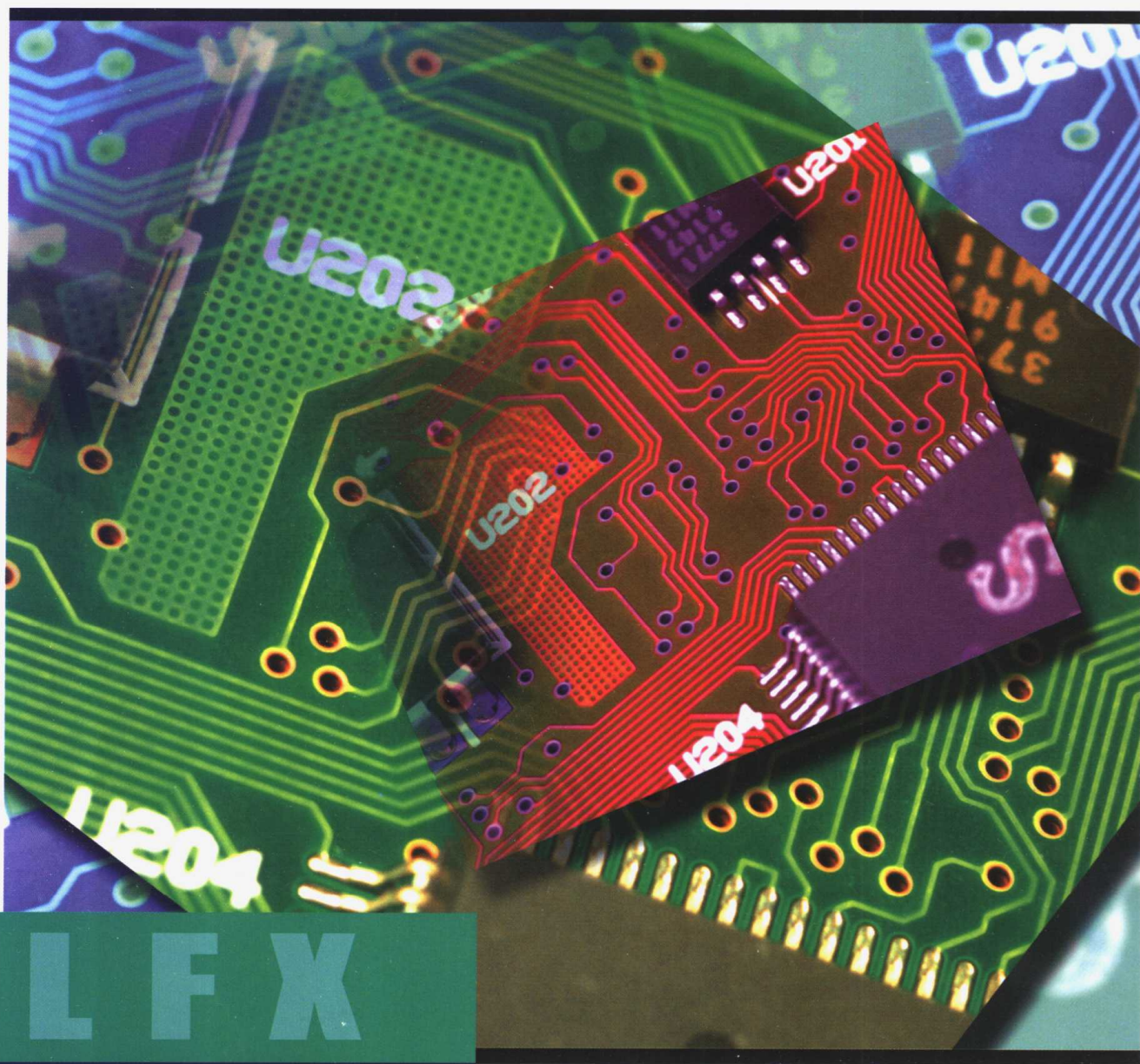


全国高职高专一体化教学(电气专业)通用教材
QUANGUO GAOZHIGAOZHUAN YITI HUA JIAOXUE DIANQIZHUANYE TONGYONGJIAOCAI

电路分析

DIANLU FENXI

主编 黄振轩 宋卫海



DLFX



山东科学技术出版社
www.lkj.com.cn

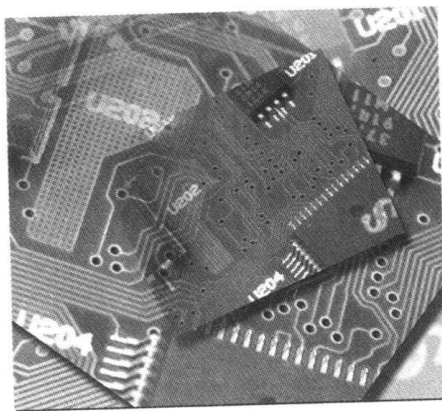


全国高职高专一体化教学(电气专业)通用教材
QUANGUO GAOZHIGAOZHUAN YITIHUAJIAOXUE DIANQIZHUANYE TONGYONGJIAOCAI

电路分析

DIANLU FENXI

主编 黄振轩 宋卫海



山东科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

电路分析/黄振轩,宋卫海编著. — 济南:山东科学技术出版社,2005.6
全国高职高专一体化教学(电气专业)通用教材
ISBN 7-5331-4094-X

I. 电... II. ①黄... ②宋... III. 电路分析—高等学校:技术学校—教材 IV. TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 053004 号

全国高职高专一体化教学(电气专业)通用教材

电 路 分 析

主编 黄振轩 宋卫海

出版者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号
邮编:250002 电话:(0531)82098088
网址:www.lkj.com.cn
电子邮件:sdkj@sdpress.com.cn

发行者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号
邮编:250002 电话:(0531)82098071

印刷者:济南丰利彩印有限公司

地址:济南市天桥区北园路 292 号
邮编:250013 电话:(0531)86799897

开本:787mm × 1092mm 1/16

印张:14.5

版次:2005 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 7-5331-4094-X

TU·49

定价:23.80 元

BIANXIESHUOMING

近年来,我国职业教育蓬勃发展。国家教育部多次在全国教育系统会议上强调:“高职教育必须以就业为导向”。这就要求高职教育要培养适合市场需要的应用型技术人才,即高职教育培养的学生应具备扎实的理论水平和熟练的操作技能。

理论与实践相结合的“一体化教学”模式是高职教育在教学改革中探讨出的新方式。目前“双师型”教师在职业院校的比重不断增加,而教材的一体化建设却远远没有做到。目前,各职业院校中使用的教材大多还是理论与实践分开的,编写一套适合高职教育的一体化教学模式的规范教材成为当前一项紧迫的课题。

为了贯彻“一体化教学”在高职教育中实施的指导思想,山东科学技术出版社在充分调研的基础上,组织省内外 10 多家职业院校共同研讨,决定编写一套适合一体化教学特色的教材,并聘请了有丰富经验的专家和工程师负责,组织在职业教育一线教学的“双师型”教师参加编写工作。

这套教材的主要特色有以下几个方面:

1. 吸收和借鉴各地职业院校教学改革的成功经验,保证理论与实践的紧密结合。在每章节中都穿插典型实例,章节后有典型、实用的实训项目及必要的训练要求,从而真正体现了“一体化教学”模式的特点。

2. 在一些重要课程中编写了课题设计及工程实践内容,力求贴近工业现场,体现了技能训练向工业现场的自然过渡。

3. 教材编写时力求简练实用,贯彻国家关于职业资格证书制度与就业制度相衔接的有关精神,实训项目的选取参考了该专业相关国家职业技能鉴定(高级)标准。

4. 本套教材层次清楚,内容详实,易学易教,方便自学,在内容选取上体现了知识的代表性和技术的前瞻性。

本套教材可作为高职高专相关专业的“一体化教学”的通用教材,也可结合国家教育部两年制高职教育的试点推行使用,还可在各类职业院校、相关职业培训学校中使用;另外也可作为工程技术人员学习的参考读物。希望读者提出宝贵意见,使本套教材得到不断的充实与完善,为职业教育一体化教学的改革发挥助推作用。

山东科学技术出版社

QIANYAN

本书是高职高专机电一体化专业一体化专用教材,是编者在多年教学改革与实践的基础上,依据教育部最新制定的《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》编写而成,可作为高职高专机电一体化、电子、通信等专业的电工技术课程的专业基础课教材,也可供从事电工技术的工程技术人员参考。

根据高职高专培养目标的要求以及现代科学技术发展的需要,本书在内容取舍上以现代电路分析的基本知识、基本理论为主线,使电路分析的基本理论与各种新技术结合在一起,以实际应用为目的,在保证科学性的前提下,从工程学观点考虑,删繁就简,使理论分析重点突出、概念清楚、实用性强,做到了高职高专“理论够用,加强实践”的要求。全书在内容安排上,以培养学生的自学和工作能力为目的,将理论知识的讲授、作业与技能训练有机结合,融为一体,把能力培养贯穿于整个教学过程。在实验方面,每章都引入了计算机仿真技术 EWB(Electronic workbench⁽¹⁾) 的验证性实验,大大加强了学生的动手和创新能力。

全书共分为七章,第一章为电路的基本概念和定律,第二章为电路的分析方法,第三章为正弦稳态电路的分析,第四章为耦合电感和理想变压器,第五章为电路的暂态分析,第六章为二端口网络,第七章为磁路与变压器。全书共包含九个 EWB 仿真实验,供读者对所学电路理论进行验证性仿真,这是本书的特色。关于 EWB 仿真软件的操作方法在附录中有详细的介绍。

本书由黄振轩、宋卫海主编并负责全书的总体策划与统稿、定稿工作,吴晓晴、刘成刚副主编,李鹏、房元勋参编,在编

(1)见附录 EWB 简介



写的过程中李仁杰同志仔细审阅,提出了许多十分宝贵的意见。各章编写分工如下:第一章由黄振轩编写,第二章、第六章、第七章由宋卫海编写,第五章由吴晓晴编写,第三章、第四章由刘成刚编写,实验部分由李鹏编写,图形及习题部分由房元勋编写。

在本书的编写出版过程中,得到了山东科学技术出版社的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥和错误之处,还请广大读者批评指正。

编 者

目 录

MULU

第一章 电路的基本概念和定律	1
第一节 电路和电路模型	1
第二节 电路变量	3
第三节 电路元件模型	9
第四节 基尔霍夫定律	15
实验 1-1 直流电路的电位、电压测量	19
实验 1-2 基尔霍夫定律的验证	21
习题一	22
第二章 电路的分析方法	26
第一节 等效电路分析法	26
第二节 电阻电路的一般分析法	37
第三节 电阻电路的性质	45
实验 2-1 用 EWB 仿真软件仿真实际电压源和实际电流源 的等效变换	56
实验 2-2 用 EWB 仿真软件验证叠加定理	58
实验 2-3 用 EWB 仿真软件验证戴维南定理和诺顿定理	60
习题二	62
第三章 正弦稳态电路的分析	65
第一节 正弦量的基本概念	65
第二节 正弦量的表示法	69
第三节 基本元件的伏安关系的相量形式	71
第四节 复阻抗与复导纳	75
第五节 正弦稳态电路的分析	81
第六节 正弦稳态电路的功率	82
第七节 谐振电路	89
第八节 三相电路	92
第九节 交流电路的频率分析	103
实验 3-1 用 EWB 仿真软件仿真正弦交流电路	104
实验 3-2 用 EWB 仿真软件提高功率因数	108
实验 3-3 用 EWB 仿真软件验证三相交流电路中电压与 电流的关系	110

习题三	113
第四章 耦合电感和理想变压器	116
第一节 互感及互感电压	116
第二节 互感线圈的连接及去耦等效电路	120
第三节 互感电路的计算	123
第四节 空心变压器	124
第五节 理想变压器	125
实验 4-1 用 EWB 仿真软件仿真互感电路	126
习题四	128
第五章 电路的暂态分析	131
第一节 换路定理及初始值确定	132
第二节 一阶电路零输入响应	134
第三节 一阶电路零状态响应	139
第四节 一阶电路全响应和三要素法求解	143
实验 5-1 一阶 RC 电路特性的 EWB 仿真	148
习题五	150
第六章 二端口网络	154
第一节 二端口网络的方程与参数	155
第二节 二端口网络的等效电路	168
第三节 二端口的连接	170
第四节 二端口网络的特性阻抗	174
实验 6-1 用 EWB 仿真软件实现二端口参数的测量	176
习题六	178
第七章 磁路与变压器	182
第一节 磁路分析	182
第二节 交流铁心线圈电路	188
第三节 变压器原理	191
第四节 电磁铁	201
实验 7-1 用 EWB 仿真软件实现变压器变压比的测定和阻 抗匹配变换	203
习题七	205
附录 EWB 简介	208
参考文献	222



第一章 电路的基本概念和定律

本章介绍电路的基本概念和基本定律,这些内容是全书的基础。本章先给出了电路和电路模型的概念,又对电路的几个变量和电路元件进行了介绍,最后讨论电路的基本定律——基尔霍夫定律

第一节 电路和电路模型

一、电路

电路(electrical circuit)是由电路元器件按一定方式联接成的整体。在电路理论中,电路是由实际元器件的模型组成的。例如,变压器、电动机等是实际元器件(或设备),它们的等效电路则是它们的模型。电路有简单的,如串联电路、并联电路等;也有复杂的如图1-1-1所示的电力系统(power system),由发电、变电、输电、配电和用电等环节组成的电能生产与消费系统。它的功能是将自然界的一次能源通过发电动力装置(主要包括锅炉、汽轮机、发电机及电厂辅助生产系统等)转化成电能,再经输、变电系统及配电系统将电能供应到各负荷中心。

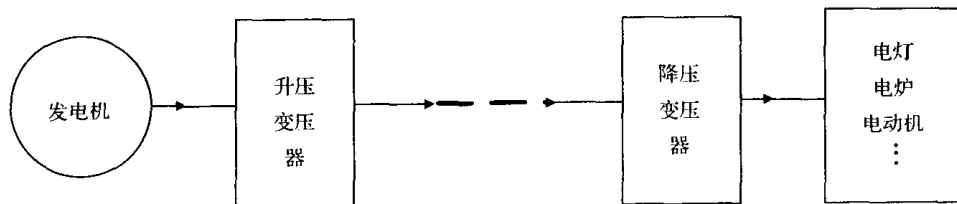


图1-1-1 电力系统

电路按所加电源可分为单相电路、三相交流电路和多相电路等；按用途可分为测量电路、控制电路、滤波电路、整流电路、逆变电路等。半导体技术的发展，使电工中出现了电力电子电路。电子电路又可分为模拟电子电路和数字电子电路。前者以电压、电流为研究对象，后者以电平的高低为研究对象。模拟电子电路中，按元件的性质可分为时变电路和时不变电路（元件的特性或参数不随时间变化），线性电路（电路元件的输入与输出在量值上保持线性关系）和非线性电路，稳态电路和动态电路（含有电感器、电容器等动态元件），集总参数电路（由电阻器、电感器等集总参数元件组成）和分布参数电路（本教材只介绍集总参数电路），直流电路和交流电路等。电路理论是研究电路元器件的电路造型、电路分析、电路综合等方面问题的理论。其中电路分析是研究如何根据已知的电路结构和电路元件，计算电路的响应，即计算电压、电流等，以确定电路的特性。常用的方法有支路电流法、节点电压法、回路电流法等。计算机技术应用于电工理论之后，使电路计算有了大的进展。

二、实际电路的组成

图 1-1-2(a) 为手电筒电路的原理图，其手电筒的实际电路如图 1-1-2(b) 所示，它是由若干个电气设备或器件按照一定方式组合起来，构成电流的通路电路。其中电源是产生电能和电信号的装置；负载是取用电能并将电能转换成其他形式能的装置；负载性质可分为电阻性质、电感性质和电容性质三种。中间环节是连接电源与负载，传输、控制和分配电能。

实际电路种类：电力电路、通讯及信息电路、计算机电路。

实际电路作用：电力传输和分配，信号的控制和处理，信息的发送和存储。

三、电路模型

在研究电路特性时，可以用测量仪器对实际电路直接进行测量。另一种更重要的方法是将实际电路抽象为电路模型，用电路理论的方法分析计算出电路的电气特性。在一定条件下能准确地反映电气设备或电器件的主要电气特性，从中抽象出来的一种元件，称为理想化的电路元件，例如定义电阻元件是一种只吸收电能（它可以转换为热能或其他形式的能量）的元件，电容元件是一种只存储电场能量的元件，电感元件是一种只存储磁场能量的元件。用这些电阻、电容和电感等理想化的电路元件近似模拟实际电路中每个电气器件和设备，再根据这些器件的连接方式，用理想导线将这些电路元件连接起来，就得到该电路的电路模型。如图 1-1-2(c) 为手电筒的电路模型。

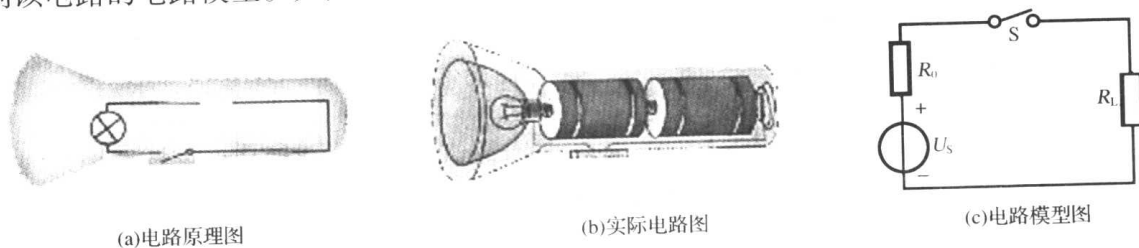


图 1-1-2 手电筒电路



运用现代电路理论,借助于计算机,可以模拟各种实际电路的特性和设计出电气性能良好的大规模集成电路。

第二节 电路变量

电路的特性是由电流、电压和功率等物理量来描述的。电路分析的基本任务就是计算电路中的电流、电压和功率,所以这些概念的建立和理解对我们解决电路问题是非常重要的。

一、电流

1. 定义

带电粒子(电子和离子)定向移动形成电流。电子和负离子带负电荷,正离子带正电荷。电荷用符号 q 或 Q 表示,它的 SI 单位为库仑(C)。单位时间内通过导体横截面的电荷定义为电流,用符号 i 或 I 表示,其数学表达式为式(1-1),电流的 SI 单位是安培(A),另 $1\text{kA} = 10^3\text{A}$; $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$; $1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$ 。量值和方向

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

均不随时间变化的电流,称为恒定电流,简称为直流(dc 或 DC),一般用符号 I 表示。量值和方向随时间变化的电流,称为时变电流,一般用符号 i 表示。量值和方向作周期性变化且平均值为零的时变电流,称为交流(ac 或 AC)。

2. 电流的方向

习惯上把正电荷移动的方向规定为电流方向(实际方向)。在分析电路时,往往不能事先确定电流的实际方向,而且时变电流的实际方向又随时间不断变动,不能够在电路图上标出适合于任何时刻的电流实际方向。为了电路分析和计算的需要,我们任意规定一个电流参考方向,用箭头标在电路图上。若电流实际方向与参考方向相同,电流取正值;若电流实际方向与参考方向相反,电流取负值。根据电流的参考方向以及电流量值的正负,就能确定电流的实际方向。

如图 1-2-1 所示电路中电流的表示方法

- (a) 电流符号与箭头表示;
- (b) 电流符号及其双下标表示;
- (c) 箭头与数值表示;

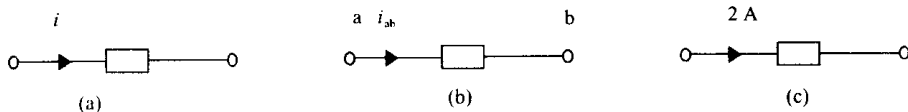


图 1-2-1 电路中电流表示法



若规定电流参考方向由 b 点指向 a 点时,则电流 $i = -2\text{A}$,如图 1-2-1(b)。若采用双下标表示电流参考方向,则写为 $i_{ab} = 2\text{A}$ 或 $i_{ba} = -2\text{A}$ 。电路中任一电流有两种可能的参考方向,当对同一电流规定相反的参考方向时,相应的电流表达式相差一个负号,即

$$i_{ab} = -i_{ba} \quad (1-2)$$

今后,在分析电路时,必须事先规定电流变量的参考方向。所计算出的电流 $i(t) > 0$,表明该时刻电流的实际方向与参考方向相同;若电流 $i(t) < 0$,则表明该时刻电流的实际方向与参考方向相反。

二、电压

1. 定义

单位正电荷由电路中 a 点移动到 b 点所获得或失去的能量,称为 ab 两点的电压,即

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1-3)$$

其中 dq 为由 a 点移动到 b 点的电荷量,单位为库仑(C); dW 为电荷移动过程中所获得或失去的能量,单位为焦耳(J),电压的单位为伏特(V),另 $1\text{kV} = 10^3\text{V}$; $1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$; $1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$ 。

将电路中任一点作为参考点,把 a 点到参考点的电压称为 a 点的电位,用符号 v_a 、 u_a 或 V_a 、 U_a 表示。元件端钮间的电压与路径无关,而仅与起点与终点的位置有关。电路中 a 点到 b 点的电压,就是 a 点电位与 b 点电位之差,即

$$u_{ab} = v_a - v_b$$

量值和方向均不随时间变化的电压,称为恒定电压或直流电压,一般用符号 U 表示。量值和方向随时间变化的电压,称为时变电压,一般用符号 u 表示。

$$u_{ab} = -u_{ba}$$

2. 电压的极性(方向)

习惯上认为电压的实际方向是从高电位指向低电位。将高电位称为正极,低电位称为负极。与电流类似,电路中各电压的实际方向或极性往往不能事先确定,在分析电路时,必须规定电压的参考方向或参考极性,用“+”号和“-”号分别标注在电路图的 a 点和 b 点附近。若计算出的电压 $u_{ab}(t) > 0$,表明该时刻 a 点的电位比 b 点电位高;若电压 $u_{ab}(t) < 0$,表明该时刻 a 点的电位比 b 点电位低。如图 1-2-2 所示电路中电压的表示方法(a)用电压符号与“+”、“-”表示;(b)用电压数值与“+”、“-”表示;(c)用电压符号及其双下标表示;(d)有些教材也有用电压符号与箭头表示。

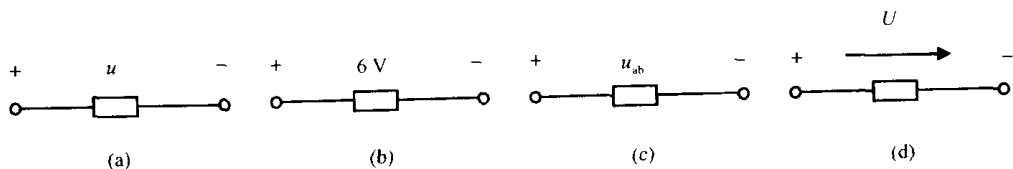


图 1-2-2 电压的表示法

综上所述,在分析电路时,必须对电流变量规定电流参考方向,对电压变量规定参考

极性。如图 1-2-3 所示对于二端元件电压和电流参考方向的选择有四种可能的方式。为了电路分析和计算的方便,常采用电压电流的关联参考方向,也就是说,当电压的参考极性已经规定时,电流参考方向从“+”指向“-”;当电流参考方向已经规定时,电压参考极性的“+”号标在电流参考方向的进入端,如图 1-2-3(a)和(b)所示。

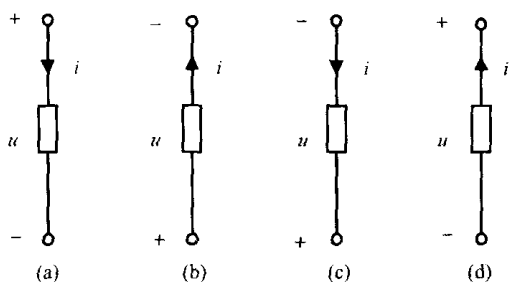


图 1-2-3 电压电流的关联与非关联

在二端元件的电压电流采用关联参考方向的条件 下,在电路图上可以只标明电流参考方向,或只标明电压的参考极性。图 1-2-3(c)和(d)表示电压电流的非关联的参考方向。

三、电位与电位的计算

单位正电荷从电路中某一点移至参考点电场力所做的功称作电位。电位的高低是相对于参考点而言的,参考点位置不同,特定点电位值也不同。参考点是可以任意选定的,但一经选定之后,各点电位的计算即以该点为准。如果换一个参考点,则其他各点电位也随参考点的选择而异。因此,在电路分析中不指明参考点而讨论电位是没有意义的。电路中任意两点间的电压等于两点的电位差,所以电位与电压之间有相同点也有不同点,相同之处都是电场力对单位正电荷所做的功,单位都是伏特。不同的是,在电位概念中,电场力将单位正电荷从电路上某一点移到参考点;而在电压概念中,电场力做功的起始点是任意的,可以含参考点,也可不含参考点。电路中的每一点都有一定的电位,电位的高低可以直接反映电路的工作状态。

参考点(零电位点):在电路中任选一个基准点。约定正电荷在该点的电位能为零(电场作用力为零),其他各点电位能的大小都以该点为参照。电位能与物体在某一高度具有的势能相似,不同处在于做功的是电场力而不是重力。在电气工程中常选大地作为参考点,即认为大地电位为零。在电子线路中,线路并不一定接地,常选一条特定的公共线(在电路图中可视作一点)作为参考点,这条公共线是很多元件汇集之处,且常与底座相连,称做“地线”。参考点在电路图中用符号“⊥”表示,一个电路只能有一个参考点。电路中任一点与零电位的电位差(电压)就是该点的电位。

在分析计算电路中某点电位的问题,都可以转化为分析计算某点与参考点之间的电压问题来处理。下面通过例题的分析,阐述电路中各点电位的计算方法和步骤。

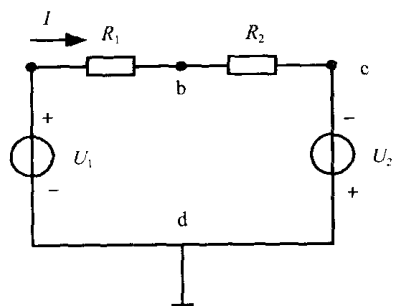


图 1-2-4 例 1 电路图

【例 1】图 1-2-4 所示电路图中,已知 $R_1 = 1\Omega$ 、 $R_2 = 2\Omega$ 、 $U_1 = 2V$ 、 $U_2 = 10V$,求以 d 点为参考点时 V_a 、 V_b 、 V_c 、 U_{ab} 、 U_{bc} 各为多少?

【解】以 d 点为参考点,所以 $V_d = 0$

由图可知,电路为单回路结构,利用本章第四节所述的基尔霍夫电压定律(KVL)可求



出其中的电流,即

$$R_1 I + R_2 I - U_2 - U_1 = 0$$

$$I = \frac{U_1 + U_2}{R_1 + R_2} = \frac{2 + 10}{1 + 2} = 4\text{A}$$

a 点的电位

$$V_a = U_{ad} = U_1 = 2\text{V}$$

b 点的电位

$$V_b = U_{bd} = R_2 I - U_2 = 2 \times 4 - 10 = -2\text{V}$$

c 点的电位

$$V_c = U_{cd} = -U_2 = -10\text{V}$$

计算 U_{ab} 和 U_{bc} 时,可利用电位差的概念,也可利用欧姆定律,即:

$$U_{ab} = V_a - V_b = 2 - (-2) = 4\text{V}$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = -2 - (-10) = 8\text{V}$$

或

$$U_{ab} = IR_1 = 4 \times 1 = 4\text{V}$$

$$U_{bc} = IR_2 = 4 \times 2 = 8\text{V}$$

以上求 a、b、c 各点的电位是通过三条最简单的路径得到的,其实路径的选择是任意的,例如 a 点的电位还可沿 abcd 求得,即

$$V_a = U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} = IR_1 + IR_2 - U_2 = 4 \times 1 + 4 \times 2 - 10 = 2\text{V}$$

结果显然是一致的,但计算复杂,故计算各点的电位应尽量选取最简单的路径。

【例 2】上例若将参考点改为 a,其余条件不变(见图 1-2-5),计算 V_b 、 V_c 、 V_d 、 U_{ab} 、 U_{bc} 各为多少?

【解】因为 a 为参考点,所以 $V_a = 0$

$$V_b = U_{ba} = R_1 \times (-I) = 1 \times (-4) = -4\text{V}$$

$$V_c = U_{ca} = -U_2 - U_1 = -10 - 2 = -12\text{V}$$

$$V_d = -U_1 = -2\text{V}$$

$$U_{ab} = V_a - V_b = 0 - (-4) = 4\text{V}$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = -4 - (-12) = 8\text{V}$$

由上述例题表明:

(1) 电路中某一点的电位等于该点与参考点之间的电压。

(2) 参考点选择不同,电路中各点的电位值随着改变,但是任意两点间的电压值是不变的。各点电位的高低是相对的,两点间的电压值是绝对的。

(3) 电路中的电位取值有正有负,比参考点高的电位取正,比参考点低的位置取负,分别称为正负电位。

计算电路中各点的电位的方法和步骤如下:

(1) 确定电路中的参考点(零电位)。虽然选择参考点是任意的,但是一个电路只能有一个参考点。

(2) 计算某点的电位,即为计算此点与参考点之间的电压。只要选择从此点绕行到参考点的一条捷径(元件数最少为佳),那么此点电压即为捷径上各部分电压的代数和。

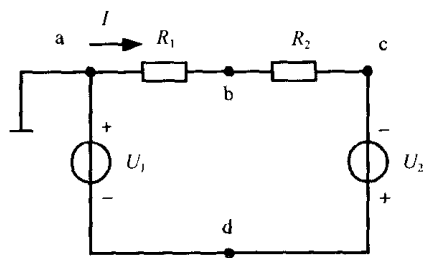


图 1-2-5 例 2 电路图



(3)列方程,确定该点的电位值,注意正负。

四、电动势

1. **定义:**表征电源性能的物理量,规定把单位正电荷从负极通过电源内部移到正极时,非静电力所做的功。电动势也分为直流电动势和交流电动势。分别用符号 E 或 e 表示,单位是伏特。

2. 电动势的极性(方向)

实际极性(方向)规定由负极性(低电位)端指向正极性(高电位)端,这表明了电源力做功的特点。负极性(低电位)端用“-”表示,正极性端(高电位)用“+”表示。

电路中电动势参考方向的定义和表示方法与电压参考方向定义及表示方向类同。

五、电功率

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq} \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-4)$$

1. **定义:**如(1-4)所示在电路中单位时间内电场为驱动电流所做的功。一般用 P 或 p 表示。

当直流电路两端的电压为 U ,通过电路的电流强度为 I 时,电功率 $P = IU$ 是恒定的,其单位是瓦特,简称瓦(W)。在交流电路中,电压 $u(t)$ 、电流 $i(t)$ 都随时间变化,相应的瞬时功率 $P(t) = u(t)i(t)$ 也随时间变化。

2. 吸收功率与发出功率

下面讨论图 1-2-6 所示二端元件和二端网络的功率。当电压电流采用关联参考方向时,二端元件或二端网络的功率 $p = ui$ 是一个代数量。当 $p(t) > 0$ 时,表明该时刻二端元件或二端口实际吸收(消耗)功率;当 $p(t) < 0$ 时,表明该时刻二端元件或二端口实际发出(产生)功率。若电压电流采用非关联参考方向时其功率 $p = -ui$ 也为代数量,当 $p(t) > 0$ 时,表明该时刻二端元件或二端口实际吸收(消耗)功率;当 $p(t) < 0$ 时,表明该时刻二端元件或二端口实际发出(产生)功率。

对于一个完整的电路来说,在任一时刻,所有元件功率的代数总和为零称为功率平衡。若电路由 b 个二端元件组成,且全部采用关联参考方向,则:

$$\sum_{k=1}^b u_k i_k = 0$$

3. 电能

二端元件或二端网络从 t_0 到 t 时间内吸收的电能为:

$$W(t_0, t) = \int_{t_0}^t p(\xi) d\xi = \int_{t_0}^t u(\xi) i(\xi) d\xi$$

功率的 SI 单位是瓦特(W)。吸收功率为 1W 的用电设备,在 1s 时间内消耗 1J 的电

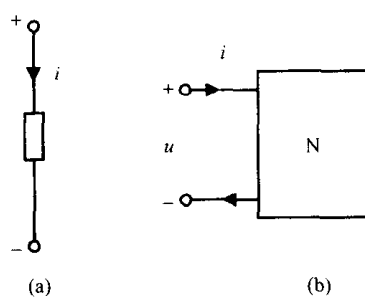


图 1-2-6 二端元件和二端口的功率



能。1000W 的用电设备,在 1 小时(h)时间内消耗 1kWh 的电能,简称为 1 度电,这是一个习惯用以计量电能的单位。

表 1-1 列出部分国际单位制的单位,称为 SI 单位。在实际应用中感到这些 SI 单位太大或太小时,可以加上表 1-2 中的国际单位制的词头,构成 SI 的十进倍数或分数单位。

表 1-1 国际单位制单位举例

量的名称	单位名词	单位符号	量的名称	单位名词	单位符号
长度	米	m	电荷[量]	库[仑]	C
时间	秒	s	电位、电压	伏[特]	V
电流	安[培]	A	电容	法[拉]	F
频率	赫[兹]	Hz	电阻	欧[姆]	Ω
能量、功	焦[耳]	J	电导	西[门子]	S
功率	瓦[特]	W	电感	亨[利]	H

表 1-2 国际单位制词头

因数	10^9	10^6	10^3	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
名称	吉	兆	千	毫	微	纳	皮
符号	G	M	k	m	μ	n	p

【例 3】在图 1-2-7 中有 5 个元件。电流和电压的参考方向如图中所示。今通过实验测量得知： $I_1 = -4\text{A}$, $I_2 = 6\text{A}$, $I_3 = 10\text{A}$, $U_1 = 140\text{V}$, $U_2 = -90\text{V}$, $U_3 = -60\text{V}$, $U_4 = 80\text{V}$, $U_5 = -30\text{V}$ 。

(1) 计算各元件的功率,判断是吸收功率还是发出功率。

(2) 分别计算吸收功率和发出功率之和。

(3) 计算总功率,判断功率是否平衡。

分析:(1) 当实际方向与参考方向一致时,其实验测定值取正号,实际方向与参考方向相反时则取负号。

(2) 计算各元件功率,用参考方向计算,并根据电压与电流关联与否代入功率公式 $p = \pm ui$,最后根据结果可判断:正值为吸收功率,负值为发出功率。

【解】

$$P_1 = -U_1 I_1 = -140 \times (-4) = 560\text{W}$$

$$P_2 = -U_2 I_2 = 90 \times 6 = 540\text{W}$$

$$P_3 = U_3 I_3 = -60 \times 10 = -600\text{W}$$

$$P_4 = U_4 I_1 = 80 \times (-4) = -320\text{W}$$

$$P_5 = U_5 I_2 = -30 \times 6 = -180\text{W}$$

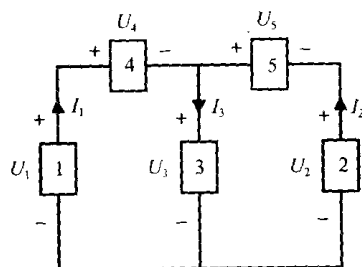


图 1-2-7 例 3 电路图