

高职高专规划教材

电路与电子技术

基础项目化教程



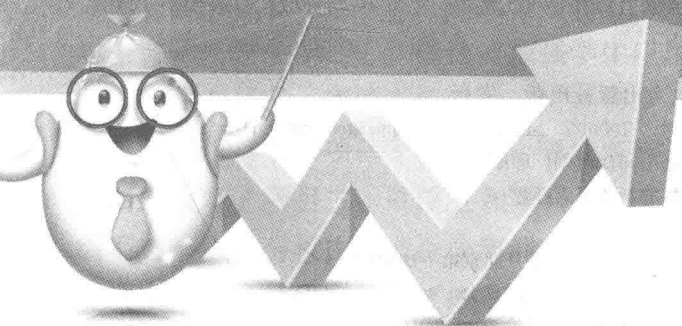
主 编 宗 云 康丽杰
副主编 贾艳梅 张丽凤
康 迪 崔爱红



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

高职高专规划教材

电路与电子技术 基础项目化教程



主 编 宗 云 康丽杰
副主编 贾艳梅 张丽凤
康 迪 崔爱红



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本教材根据高职高专教育的特点,按照高职高专人才培养目标,坚持“以就业为导向、以能力为本位、以学生为主体”的教学改革思路,以培养学生实践能力为中心,理论内容坚持“必需、够用”的原则,力求突出知识的实用性。

本教材采用项目化教学模式,基于工作过程的工学结合、任务引领与实践为导向的课程设计思想。将项目分解为若干个任务,以任务驱动的方式,由浅入深地把知识和技能渗透到项目的实施过程中。融“教、学、做”为一体,充分体现了高职课程改革的新理念。

在每个项目中包括项目要求、项目导入、工作任务、技能实训、项目实施、项目考核、知识拓展、项目小结和思考与练习等内容,在教学过程中培养学生的专业知识、专业技能和社会适应能力。

本教材可作为职业院校电子信息专业、通信技术、应用电子等专业电路与电子技术课程教学用书,也可作为从事电路与电子专业技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术基础项目化教程/宗云,康丽杰主编. —北京:中国电力出版社,2014.8

ISBN 978-7-5123-6156-0

I. ①电… II. ①宗… ②康… III. ①电路理论-高等学校-教材
②电子技术-高等学校-教材 IV. ①TM13 ②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 145602 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 8 月第一版 2014 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18 印张 442 千字

印数 0001—3000 册 定价 35.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

根据“国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定”，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，我们在深入开展以项目教学为主体的专业课程教学改革过程中，编写了本教材。

本教材的编写以电子信息技术、通信技术、应用电子等电子类专业学生的就业为导向，在编写教材的过程中，我们联合校内实习企业方圆测控技术有限公司，根据行业专家及企业技术人员对专业所涵盖的岗位群进行的工作任务和职业能力的分析，以电子信息技术专业岗位具备的能力为依据，紧密结合职业资格证书中对电子技能的要求，确定项目模块和课程内容。项目的编排采取循序渐进、由浅入深的原则，符合高职学生的认知规律。

本教材的内容包括：家庭室内照明电路制作、简易万用表的制作、日光灯照明电路的制作、直流稳压电源的制作、扩音器的制作、小型家用空调温度控制器的制作、声光控节能开关电路的制作、八路抢答器的制作、定时器电路的制作、变音警笛电路的制作共 10 个项目，每个项目又分为若干个任务。以完成工作任务为主线，链接相应的理论知识和技能实训。本教材在项目编写中设计了项目要求、项目导入、工作任务与技能实训、项目实施、项目考核、知识拓展等模块，力求突出知识的实用性。

本课程以应用为目的，将理论与技能训练相结合，采用任务驱动的项目化教学方法。教师在教学过程中，要充分考虑任务驱动，理论和实践一体，引导学生自主思维，激发学生学习的积极性，加强学生应用能力的培养。

本书由宗云、康丽杰任主编，并负责全书的组织统稿。其中宗云编写了项目三、项目四、项目七、项目十和附录；康丽杰编写了项目一、项目六和项目九；贾艳梅、张丽凤编写了项目二、项目五和项目八；此外，崔爱红也给予了大力支持。本书在编写过程中，与校内实习企业河北方圆测控技术有限公司合作，聘请行业专家和企业技术人员共同研究开发，确定了本书的编写思路。在此向所有关心、支持和帮助过本书的同行表示衷心感谢！

由于编者水平有限，时间仓促，书中难免有不妥和疏漏之处，敬请各位读者提出宝贵意见。

前言

项目一 家庭室内照明电路制作	1
任务 1 电路与电路模型	1
任务 2 电路的基本物理量	3
【技能实训 1】 电位、电压的测定及电路电位图的绘制	6
任务 3 常用的电路元器件	8
任务 4 理想电源	12
【技能实训 2】 电路元件伏安特性的测绘	13
项目二 简易万用表的制作	20
任务 1 电阻的串并联	21
任务 2 基尔霍夫定律	24
【技能实训 1】 基尔霍夫定律的验证	27
任务 3 线性网络的分析方法	28
【技能实训 2】 叠加定理的验证	35
【技能实训 3】 戴维南定理的验证——有源二端网络等效参数的测定	38
【技能实训 4】 最大功率传输条件测定	41
项目三 日光灯照明电路的制作	51
任务 1 正弦交流电的基本概念	52
任务 2 正弦量的相量表示	55
任务 3 单一参数正弦交流电路的分析	58
任务 4 RLC 串并联电路的分析	63
任务 5 谐振电路的分析	68
【技能实训 1】 R、L、C 串联谐振电路的研究	72
项目四 直流稳压电源的制作	82
任务 1 半导体二极管	83
【技能实训 1】 二极管的识别与检测	89
任务 2 二极管整流电路	90
任务 3 滤波电路	94
任务 4 稳压电路	97
【技能实训 2】 串联型稳压电源电路的制作与检测	104
项目五 扩音器的制作	114
任务 1 三极管	115
【技能实训 1】 三极管的识别与检测	120
任务 2 基本放大电路	122

【技能实训 2】 共射极单管放大器的制作与调试	130
任务 3 多级放大电路	133
任务 4 放大电路中的负反馈	134
【技能实训 3】 两级负反馈放大器的制作与调试	139
任务 5 功率放大电路	141
【技能实训 4】 功率放大器的制作与调试	149
项目六 小型家用空调温度控制器的制作	159
任务 1 集成运算放大器概述	160
任务 2 集成运算放大电路的线性应用	161
任务 3 集成运放非线性应用——电压比较器	167
【技能实训 1】 集成基本运算放大器的制作与检测	169
任务 4 正弦波振荡电路	171
【技能实训 2】 LC 正弦波振荡器电路的检测	178
项目七 声光控节能开关电路的制作	186
任务 1 认识数字电路	186
任务 2 逻辑代数的基础知识	191
【技能实训 1】 常用集成门电路逻辑功能测试及其应用	202
项目八 八路抢答器的制作	212
任务 1 组合逻辑电路	213
任务 2 编码器	217
任务 3 译码器	220
【技能实训 1】 译码器及其应用	225
项目九 定时器电路的制作	235
任务 1 各种触发器	236
【技能实训 1】 触发器及其应用	245
任务 2 计数器	247
任务 3 寄存器	255
【技能实训 2】 计数器及其应用	258
项目十 变音警笛电路的制作	268
任务 1 555 定时器内部结构及工作原理	269
任务 2 555 定时器的应用电路	270
【技能实训 1】 555 时基电路及其应用	272
附录 项目实施报告书	281

项目一 家庭室内照明电路制作



在日常生活中，电随处可见，手机、计算机、家用电器等都是用电设备，这些电器都是通过它们的电路来发挥作用的。可见电在我们的生活和工作中是必不可少的。电的一个最普遍的用途就是家庭照明，本项目通过家庭照明电路的设计与制作，了解电路的一些基本知识，激发学生的学习兴趣。



项目要求

知识要求

- 了解电路及电路模型的概念；
- 理解电压、电流参考方向的意义；
- 熟悉电路常用的元器件的符号、特性及其相关公式；
- 能根据要求设计家庭室内照明电路。

技能要求

- 能测量电路中的电压、电流等物理量；
- 会计算电路中的电流、电压及功率；
- 能用元器件制作家庭室内照明电路。



项目导入

图 1-1 所示为家庭照明电路模型，家庭入户电压为 220V 交流电，用小灯泡分别代替客厅、卧室、厨房和厕所的照明灯。

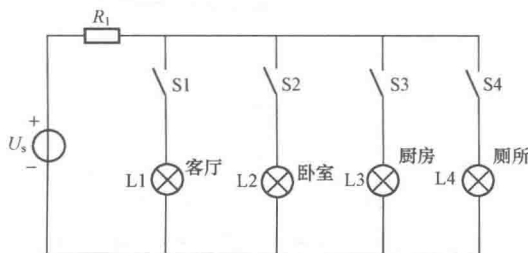


图 1-1 家庭室内照明电路图



工作任务及技能实训

任务 1 电路与电路模型

一、电路

在科技发达的今天，无论是人们的日常生活还是各种生产实践，都广泛地应用着种类繁多的

电路，如照明电路、通信电路、放大电路、自动控制电路等。

电路是电流的流通通路，是为实现某种功能，由各种电器元器件按照一定方式连接而成的。

现代工程技术领域中存在着许多种类繁多、形式和结构不同的电路，但就其作用来看，有两种：一种是进行能量的转换、传输和分配，如电力系统电路，发电机组将其他形式的能量转换成电能，经变压器、输电线传输到各用电部门，在那里又把电能转换成其他形式的能加以利用；另一种是对电信号的处理和传递，如电视机就是把电信号经过调谐、滤波、放大等环节的处理，转换成人们所需要的其他信号。电路的这种作用也广泛应用在自动控制、通信、计算机技术等领域。

不管是简单的还是复杂的电路，通常都可以分为三部分：一是提供电能的部分称为电源；二是消耗或转换电能的部分，称为负载；三是连接及控制电路的部分，如开关、导线等，称为中间环节。

二、电路模型

组成实际电路的元器件种类繁多，电路元器件在工作时的电磁性质比较复杂，为了便于探讨电路的普遍规律，在这里我们将实际电路进行理想化，得到实际电路的电路模型。电路模型，实际上就是由一些理想电路元器件构成的、与实际电路相对应的电路图。

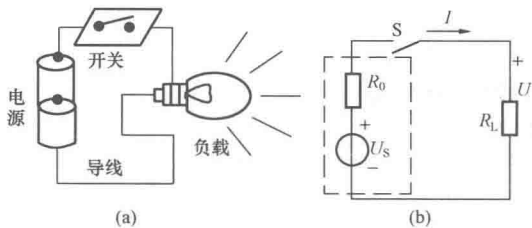


图 1-2 手电筒照明电路与电路模型
(a) 照明电路；(b) 电路模型

图 1-2 (a) 所示是一个手电筒照明电路，图 1-2 (b) 所示为手电筒照明电路的电路模型。

理想电路元件是电路中最基本的组成单元。理想电路元件是具有某种确定的电磁性能的理想元件。例如，理想电阻元件只消耗电能（既不储存电能，也不储存磁能）；理想电容元件只储存电能（既不消耗电能，也不储存磁能）；理想电感元件只储存磁能（既不消耗电能，也不储存电能）。

理想电路元件是一种理想的模型并具有精确的数学定义，在电路图模型中，各种电路元件用规定的图形符号表示，图 1-2 所示为 5 种常见的理想电路元器件。图 1-3 (a) 为电阻元件，图 1-3 (b) 为电感元件，图 1-3 (c) 为电容元件，它们都属于无源元件；而图 1-3 (d) 为电压源元件，图 1-3 (e) 为电流源元件，它们都属于有源元件。

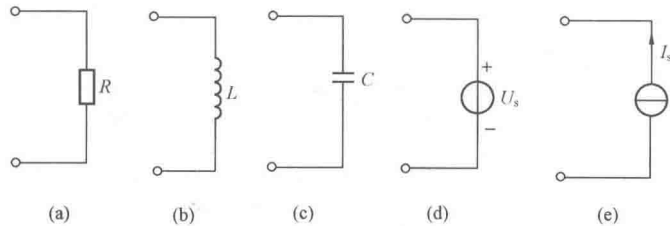


图 1-3 理想电路元件
(a) 电阻；(b) 电感；(c) 电容；(d) 电压源；(e) 电流源

本书只讨论在给定的电路模型情况下的电路分析的问题。

三、电路的三种状态

1. 开路

如图 1-4 所示，当把电路的一对端子断开时，这两个端子就叫做开路，也就是电源和负载未

构成闭合回路,使电路处于开路状态。这时外电路的电阻可视为无穷大,电路中的电流为零,因此电路中电源的输出功率和负载的吸收功率均为零。

2. 负载

如果把图 1-4 中开关闭合,电路形成闭合回路,电源就向负载电阻 R 输出电流,此时电路就处于负载状态,如图 1-5 所示。

3. 短路

如果把图 1-5 中的负载电阻用导线连接起来,即电阻的两端电压为零,那么此时电阻就处于短路状态,电压源也处于短路状态,如图 1-6 所示。要注意,电压源是不允许短路的,因为短路将导致外电路的电阻为零,这样会损坏电压源,因此,短路是一种电路故障,应该避免。

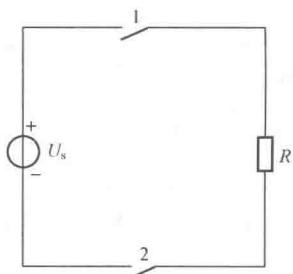


图 1-4 开路

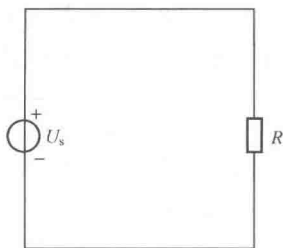


图 1-5 负载

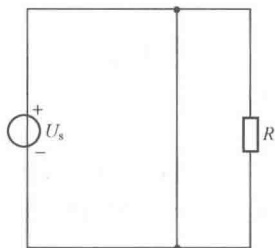


图 1-6 短路

任务2 电路的基本物理量

电流、电压和功率是电路分析中常用的物理量。虽然在中学物理已经接触过电流、电压和功率这些物理量,但在本书中,我们要从工程应用的角度重新理解电流、电压和功率的概念,在此不仅要研究这些量的大小,还要考虑它们的方向。

一、电流

1. 电流的定义

电荷在电场力作用下的定向移动形成电流。单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度,并用它来衡量电流的大小。电流强度简称电流,用 i 表示,根据定义有

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

式中: dq 为导体横截面在 dt 时间内通过的电荷量。在国际单位制中,电荷量的单位为库仑(C);时间的单位为秒(s);电流的单位为安培(A),简称安。常用的还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μA)。它们之间的转换关系为

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

当电流 i 的大小和方向均不变时,称为直流电流,简称直流(DC)。常用大写的 I 表示,相应地有

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

2. 电流的方向

电流不但有大小,而且有方向,习惯规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。但在电路分

析中，某段电路的实际方向往往不能确定，特别是电流随时间变化时，电流的实际方向便无法确定，因此引入参考方向的概念。在电路图中，任意选定一个方向作为某支路电流的参考方向，用

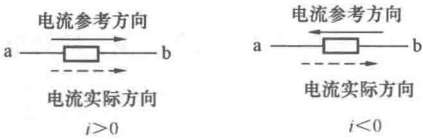


图 1-7 电流的参考方向和实际方向的关系

箭头表示。参考方向为任意假定的方向，若计算结果中电流为正值，则说明参考方向与实际方向一致；若电流为负值，则说明参考方向 and 实际方向相反。根据电流的参考方向和电流计算值的正负，就能确定电路电流的实际方向。电流实际方向和参考方向的关系如图 1-7 所示。

二、电压与电位

1. 电压

(1) 电压的定义。电荷在电场力的作用下移动，电场力要做功。在电路中，电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功称为 ab 两点的电压，用 u_{ab} 或 U_{ab} 表示

$$u_{ab} = \frac{d\omega}{dq} \tag{1-3}$$

式中： $d\omega$ 为电场力对 dq 电荷从 a 点移动到 b 点所做的功，单位是焦耳 (J)；电荷量 dq 的单位是库仑 (C)，电压的单位是伏特 (V)，简称伏。常用的单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV)，它们之间的转换关系为

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

当电压大小和方向均不变化时，称为直流电压，用大写的 U 表示，则电压公式写为

$$U_{ab} = \frac{W}{Q} \tag{1-4}$$

(2) 电压的方向。和电流一样，电压不仅有大小，还有方向。电压的实际方向规定为正电荷在电场中受电场力作用而移动的方向。在不能确定电压实际方向时，可以假定一个参考方向。

在电路中，任意选定电压的参考方向，一般用实线箭头表示，箭头方向即为电压的参考方向，也可以用双下标表示，如 u_{ab} ，其参考方向表示由 a 指向 b。除此以外，电压参考方向还可以用“+”“−”符号表示，“+”号表示假设的高电位端，“−”号表示假设的低电位端。由“+”指向“−”的方向就是电压的参考方向。在选定参考方向后，若计算出的电压 $u_{ab} > 0$ ，表明电压的实际方向与参考方向一致；若 $u_{ab} < 0$ ，则表示电压的实际方向与参考方向相反，如图 1-8 所示。同电流一样，两点间电压数值的正负在设定参考方向的前提下才有意义。

(3) 关联参考方向。电流与电压的参考方向是任意假定的，二者彼此独立、相互无关。但为了分析电路的方便，习惯上总是把某段电路电压参考方向和电流参考方向选得一致，即电流参考方向与电压“+”极到“−”极的参考方向一致，并称为关联参考方向。为简单明了，一般情况下，只需标出电压或电流中某一个的参考方向，这就意味着另一个选定的是与之相关联的参考方向，如图 1-9 所示。

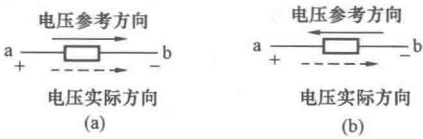


图 1-8 电压的参考方向和实际方向的关系
(a) $u > 0$; (b) $u < 0$

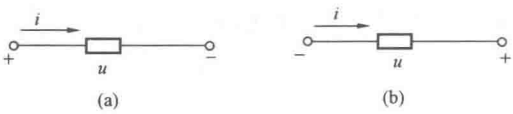


图 1-9 电压、电流的参考方向
(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向

2. 电位

在电路分析中,经常会用到“电位”这个物理量,那么“电位”是什么呢?在电路中任选一点为参考点,则从电路中某点 a 到参考点之间的电压称为 a 点的电位,用 V_a 或 φ_a 表示。电位的参考点可以任意选取,通常规定参考点电位为零。电位的单位也是伏特 (V)。

电压与电位的关系是:电路中 a 、 b 两点之间的电压等于这两点之间的电位之差,即

$$u_{ab} = V_a - V_b \quad (1-5)$$

参考点选得不同,各点电位会有所不同,但两点间的电位差不会改变,即两点之间的电压不变。在电路分析中,参考点一旦选定,则不再改变,电路中各点电位也随之确定。在电路中不指定参考点而谈论各点的电位是没有意义的。工程上常选大地、设备外壳或接地点作为参考点,参考点在电路图中常用符号“ $\perp$ ”表示。

三、电能与功率

1. 电能

电流通过电路元件时,电场力要做功。例如,电流通过电灯时,电能转换为光能;电流通过电风扇时,风扇电动机转动起来,电能转化为机械能。电流做功的过程,实际上就是电能转化为其他形式的能量的过程。

研究表明,电能与电流、电压和通电时间成正比。设在 dt 时间内,有正电荷 dq 从元件的高电位端移到低电位端,若元件两端的电压为 u ,则电场力移动电荷做的功为

$$dw = u dq = u i dt$$

即在 dt 时间内,元件消耗了电能 dw 。电能的单位是焦耳 (J),工程上也常用千瓦·时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$),俗称“度”。换算关系为

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

在直流电路中,电压 U 和电流 I 都是常量,则电场力做的功为

$$W = UI t$$

电场力做正功,元件消耗电能,即将电能转化为其他形式的能量;电场力做负功,元件提供电能,即将其他形式的能量转换成电能。元件是消耗电能还是提供电能,则要视电压与电流的实际方向而定,在电压和电流取关联参考方向时,若计算得 $W > 0$,说明 U 、 I 的方向一致,说明元件消耗电能;若 $W < 0$,说明 U 、 I 的实际方向相反,说明元件向外提供电能。

2. 功率

在相同的时间内,电流通过不同元件所做的功一般并不相同。为了表示元件消耗或者提供电能的快慢,引入电功率这一物理量,电流在单位时间内所做的功叫做电功率,简称功率,用字母 p 表示。计算公式为

$$p = \frac{dw}{dt} = ui \quad (1-6)$$

即电功率等于电流和电压的乘积。

在直流情况下,电流和电压是常量,则功率计算式为

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-7)$$

若电压的单位是伏 (V),电流的单位是安 (A),则功率的单位是瓦特 (W)。在实际使用中还会用到千瓦 (kW) 和毫瓦 (mW),换算关系为

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$$

$$1 \text{ W} = 1000 \text{ mW}$$

在电流和电压关联方向下, 计算功率用公式 $p=ui$, 若计算出的 $p>0$, 则表示元件实际为吸收(消耗)功率; 若计算出的 $p<0$, 则表示元件实际发出(提供)功率。

在电流和电压非关联方向下, 计算功率要采用 $p=-ui$ 。这样规定后, 若计算出 $p>0$, 仍表示元件吸收(消耗)功率; $p<0$, 表示元件发出(提供)功率。

【例 1-1】 试求图 1-10 中元件的功率。

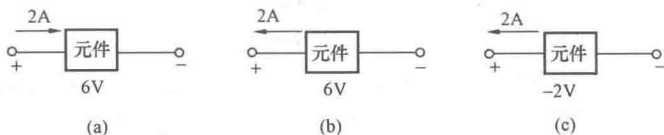


图 1-10 [例 1-1] 图

解 图 1-10 (a) 中, 电压、电流为关联参考方向, $P=UI=6V\times 2A=12W$ ($P>0$, 元件消耗电能); 该元件实际上是一个负载。

图 1-10 (b) 中, 电压、电流为非关联参考方向, $P=-UI=-6V\times 2A=-12W$ ($P<0$, 元件提供电能); 该元件实际上是一个电源。

图 1-10 (c) 中, 电压、电流为非关联参考方向, $P=-UI=-(-2)V\times 2A=4W$ ($P>0$, 元件消耗电能); 该元件实际上是一个负载。

总之, 根据电压、电流参考方向是否关联, 可选用相应的公式进行计算; 但不论是用哪一个公式, 都是按吸收功率计算, 若计算得功率为正值, 则表示实际为吸收功率, 若计算得功率为负值, 则表示实际为发出功率。

【技能实训 1】 电位、电压的测定及电路电位图的绘制

一、实验目的

- (1) 验证电路中电位的相对性、电压的绝对性。
- (2) 掌握电路电位图的绘制方法。

二、原理说明

在一个闭合电路中, 各点电位的高低视所选的电位参考点的不同而改变, 但任意两点间的电位差(即电压)是绝对的, 它不因参考点的变动而改变。

电位图是一种平面坐标一、四两象限内的折线图。其纵坐标为电位值, 横坐标为各被测点。要制作某一电路的电位图, 先以一定的顺序对电路中各被测点编号。以图 1-11 所示的电路为例, 如图中的 A~F, 并在横坐标轴上按顺序、均匀间隔标上 A、B、C、D、E、F、A。再根据测得的各点电位值, 在各点所在的垂直线上描点。用直线依次连接相邻两个电位点, 即得该电路的电位图。

在电位图中, 任意两个被测点的纵坐标值之差即为该两点之间的电压值。

在电路中电位参考点可任意选定。对于不同的参考点, 所绘出的电位图形是不同的, 但其各点电位变化的规律却是一样的。

三、实验设备

实验设备见表 1-1。

表 1-1 实验设备明细表

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	直流可调稳压电源	0~30V	两路	DG04
2	万用表		1	自备
3	直流数字电压表	0~200V	1	D31
4	电位、电压测定实验电路板		1	DG05

四、实验内容

利用 DG05 实验挂箱上的“基尔霍夫定律/叠加定理”线路，按图 1-11 接线。

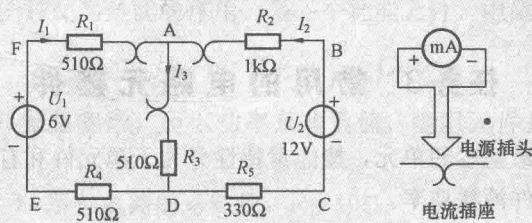


图 1-11 接线图

- (1) 分别将两路直流稳压电源接入电路，令 $U_1=6V$ ， $U_2=12V$ （先调准输出电压，再接入实验线路中）。
- (2) 以图 1-11 中的 A 点作为电位的参考点，分别测量 B、C、D、E、F 各点的电位值 φ 及相邻两点之间的电压值 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CD} 、 U_{DE} 、 U_{EF} 及 U_{FA} ，数据列于表中。
- (3) 以 D 点作为参考点，重复实验内容 (2) 的测量，测得数据列于表 1-2 中。

表 1-2 以 D 为参考点各点实测数据表

电位参考点	φ 与 U	φ_A	φ_B	φ_C	φ_D	φ_E	φ_F	U_{AB}	U_{BC}	U_{CD}	U_{DE}	U_{EF}	U_{FA}
A	计算值												
	测量值												
	相对误差												
D	计算值												
	测量值												
	相对误差												

五、实验注意事项

- (1) 本实验线路板系多个实验通用，本次实验中不使用电流插头。DG05 上的 K3 应拨向 330 Ω 侧，三个故障按键均不得按下。
- (2) 测量电位时，用指针式万用表的直流电压挡或用数字直流电压表测量时，用黑表笔接参考电位点，用红表笔接被测各点。若指针正向偏转或数显表显示正值，则表明该点电位为正（即高于参考点电位）；若指针反向偏转或数显表显示负值，此时应调换万用表的表笔，然后读出数值，此时在电位值之前应加一负号（表明该点电位低于参考点电位）。数显表也可不调换表笔，直接读出负值。

六、思考题

若以 F 点为参考电位点, 实验测得各点的电位值; 现令 E 点作为参考电位点, 试问此时各点的电位值应有何变化?

七、实验报告

- (1) 根据实验数据, 绘制两个电位图形, 并对照观察各对应两点间的电压情况。两个电位图的参考点不同, 但各点的相对顺序应一致, 以便对照。
- (2) 完成数据表格中的计算, 对误差做必要的分析。
- (3) 总结电位相对性和电压绝对性的结论。
- (4) 心得体会及其他。

任务3 常用的电路元器件

电路元件是组成电路最基本的单元, 按能量特性分为无源元件和有源元件。有源元件在电路中外提供能量, 无源元件消耗功率。

电路元件按其端钮还可以分为二端元件和多端元件。二端元件具有两个端钮, 如电阻、电容、电感和电源等。多端元件具有三个或三个以上端钮, 如三极管、变压器和运算放大器等。

本节主要介绍电路中常用的基本模型元件。

一、电阻元件

1. 电阻的欧姆定律及伏安特性

电流通过导体时会受到一种阻碍作用, 这种阻碍作用最明显的特征是导体要消耗电能而发热。我们把物体对电流的阻碍作用称为电阻。电阻元件是最常见的电路元件之一, 它是从实际电阻器抽象出来的理想化电路元件。实际电阻器由电阻材料制成, 如碳膜电阻、金属膜电阻等。电阻用符号 R 表示, 其电路符号如图 1-12 所示。

欧姆定律是电路分析中重要的基本定律之一, 在电压和电流取关联参考方向时, 任何时刻电阻两端的电压和电流都满足欧姆定律, 即

$$u = Ri \quad (1-8)$$

若电压和电流取非关联参考方向, 则欧姆定律应写为

$$u = -Ri \quad (1-9)$$

如果取电流为横坐标, 电压为纵坐标, 可绘出 $u-i$ 平面上的一条曲线, 称为电阻的伏安特性曲线。若伏安特性曲线是过原点的一条直线, 则称电阻为线性电阻, 其伏安特性曲线如图 1-13 所示。

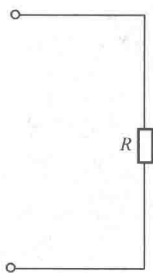


图 1-12 电阻的电路符号

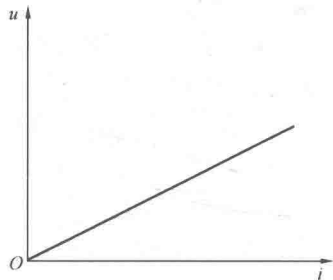


图 1-13 电阻的伏安特性曲线

若电压单位为伏特 (V), 电流的单位为安培 (A), 则电阻的单位为欧姆 (Ω)。常用的还有单位千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$)。

电阻的倒数叫电导, 用符号 G 表示, 即

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-10)$$

电导的单位为西门子 (S)。

用电导表示电压和电流关系时, 欧姆定律写为

$$i = Gu \quad (u, i \text{ 为关联参考方向}) \quad (1-11)$$

$$i = -Gu \quad (u, i \text{ 为非关联参考方向}) \quad (1-12)$$

2. 电阻元件吸收的功率

电阻元件具有把电能转化为热能的作用, 是一个耗能元件。电阻上消耗的功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} = Gu^2 \quad (1-13)$$

由公式可以看出, R 是正实数, 所以功率是非负值, 电阻元件是耗能元件, 也是一种无源元件。

【例 1-2】 试求图 1-14 所示电路的未知量, $R = 10\Omega$ 。

解 在图 1-14 (a) 中, 电压和电流为非关联参考方向, 所以

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10V}{10\Omega} = 1A$$

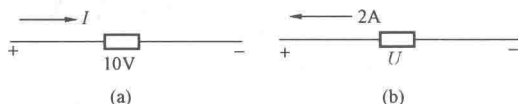


图 1-14 [例 1-2] 图

在图 1-14 (b) 中, 电压和电流为关联参考方向, 所以

$$U = -IR = -2A \times 10\Omega = -20V$$

二、电容元件

1. 电容元件

电容器是电气设备中的一种重要元件, 在两个平行金属板中间夹上一层绝缘物质 (也称介质), 就组成一个最简单的电容器, 叫平行板电容器。这两个金属板叫做电容器的两个极。

如果将电容器的两极板与一直流电压源接通, 由于介质是不导电的, 最后电容器的两个极板将分别聚集起等量的异种电荷, 这个过程叫做充电。电容器一个极板上所带电量的绝对值, 叫做电容器所带的电量。充了电的电容器的两极板之间有电场。将充了电的电容器从电源上拆下, 电荷仍然保持在极板上, 极板之间的电场能量也将继续存在, 所以电容器是一种能够储存电荷 (或电场能量) 的实际电路元件。

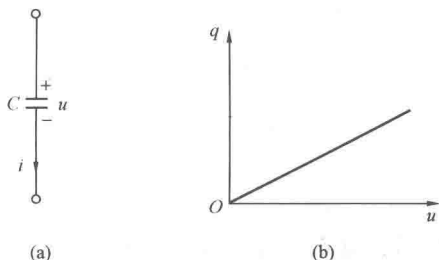


图 1-15 电容的电路符号及其库伏特性

(a) 电容电路符号; (b) 电容库伏特性

如果用一根导线将充了电的电容器的两极接通, 两极上的电荷互相中和, 电容器不再带电, 两极之间也不再存在电场, 这个过程叫电容器的放电。

实际电容器在使用时会有少量的漏电流和损耗, 如果忽略不计, 只考虑电容器具有电场能量的特性, 就可抽象出一种理想的电路元件——电容元件, 它是所有实际电容器的理想化模型。电容元件的电路符号及其库伏特性如图 1-15 所示。

电容器带电时, 它的两极之间产生电压, 那么电

容两端的电压和电容电极上储存的电荷有什么关系呢？经过试验证明，其极间的电压 u 越大，极板上携带的电荷量 q 越多，我们把 q 与 u 的比值称为电容元件的电容量（简称电容），用符号 C 表示，即

$$C = \frac{q}{u} \tag{1-14}$$

电容 C 是元件本身的一个固有参数，其大小取决于极板间的相对面积、距离以及中间的介材料。如果元件 C 是一个常数，则称其为线性电容元件，否则称为非线性元件。电容 C 是一个表示电容元件储存电荷能力大小的物理量。

本书所讨论的电容元件均为线性电容元件。

当电压和电荷的单位分别用伏特（V）和库仑（C）表示时，电容的单位是法拉（F）。常用的单位还有微法（ μF ）、皮法（pF），它们的换算关系为

$$1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{pF}$$

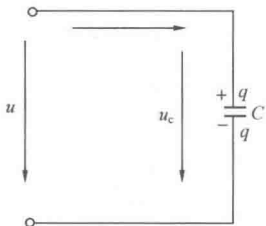


图 1-16 电容元件上的电压和电流

2. 电容元件的伏安特性

当电容两端的电压 u 发生变化时，聚集在极板上的电荷 q 也将发生变化，电容所在的电路就会形成电流。选定 u 和 i 为关联参考方向（图 1-16），设在极短的时间 dt 内，电容 C 的极板上的电压变化了 du ，相应的电量变化了 dq ，则

$$dq = Cdu$$

此时电容所在电路的电流为

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt}$$

此式即为电容元件的伏安特性。如果 $i > 0$ ，表示电容在充电，电压升高，电流的实际方向与参考方向一致；如果 $i < 0$ ，表示电容在放电，电压降低，电流的实际方向和参考方向不一致。

由公式可知，电容上的电流与电容上的电压变化率成正比，而与该时刻电压值的大小无关。电压变化率为零（即电压无变化，相当于直流的情况），电路中就无电流，所以电容元件有“隔直通交”的作用。

3. 电容元件的储能

在电压和电流取关联参考方向时，任一时刻电容元件吸收的瞬时功率为

$$p = ui = cu \frac{du}{dt} \tag{1-15}$$

可见，电容上电压、电流的实际方向可能相同，也可能不同，因此瞬时功率可正可负。当 $p > 0$ 时，表明电容实际为吸收功率，即电容充电； $p < 0$ 时，表明电容实际为发出功率，即电容放电。

在 $0 \sim t$ 时间内，电容元件吸收的能量（推导过程从略）为

$$w_c(t) = \frac{1}{2} Cu^2(t) \tag{1-16}$$

由上式可知，电容在某一时刻 t 的储能仅取决于该时刻的电压，而与电流无关，且储能 $w_c(t) \geq 0$ 。电容在充电时吸收的能量全部转换为电场能量，放电时又将储存的电场能量释放回电路，它本身不消耗能量，也不会释放多于它吸收的能量，所以电容是储能元件。

三、电感元件

1. 电感元件

电感元件是理想化的电路元件。把金属导体绕在一骨架上,就构成一个实际的电感器。如果线圈通以电流,线圈周围就建立了磁场,并储存了磁场能量。若忽略电感器的导线电阻,电感器就称为理想化的电感元件,简称电感。电感用符号 L 来表示,在电路中的符号如图 1-17 所示。

通过电感元件的电流 i 发生变化,则由该电流引起的磁场也要相应地发生变化,这个变化会在元件内产生一个感应电动势。由于感应电动势的存在,使电感元件两端具有电压 u 。如选择 u 和 i 参考方向关联,则它们的关系可写成(推导过程从略)

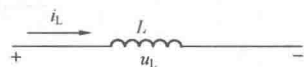


图 1-17 电感的电路符号

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1-17)$$

电感 L 是元件本身的一个固有参数,其大小取决于线圈的几何形状、匝数及其中间的磁介质。如果 L 是一个常数,则称电感元件为线性电感元件,否则称为非线性电感元件。

本书讨论的电感元件均为线性电感元件。

当电流和时间的单位分别取 A 和 s 时,电感的单位就是 H (亨)。常用的单位还有毫亨 (mH) 和微亨 (μH)。它们的换算关系为

$$\begin{aligned} 1\text{H} &= 10^3\text{mH} \\ 1\text{mH} &= 10^3\mu\text{H} \end{aligned}$$

2. 电感的伏安特性

电感元件的电压、电流取关联参考方向时,其伏安关系为

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (1-18)$$

由式 (1-18) 可知:

(1) 电感元件上任一时刻的电压与该时刻电感电流的变化率成正比,而与该时刻电流值的大小无关,电流变化越快 ($\frac{di}{dt}$ 越大),电压 u 也越大,即使某时刻 $i=0$,也可能有电压。

(2) 对于直流电,电流不随时间变化,则 $u=0$,电感相当于短路,所以电感元件具有“通直”的作用。

(3) 如果某一时刻电感电压为有限值,则 $\frac{di}{dt}$ 为有限值,电感上的电流不能发生跃变。

3. 电感元件的储能

在电感元件电压、电流的关联参考方向下,任一时刻电感元件吸收的瞬时功率为

$$p(t) = u(t)i(t) = Li(t) \frac{di(t)}{dt} \quad (1-19)$$

在 $0 \sim t$ 时间内,电感元件吸收的能量(推导过程从略)为

$$w_L(t) = \frac{1}{2} Li^2(t) \quad (1-20)$$

由上式可知,电感在任一时刻的储能仅与该时刻的电流值有关,只要电流存在,电感就储存磁场能,并且 $w_L \geq 0$ 。