



高职高专电子类 “十二五” 规划 教材
精品课程教程

GAOZHIGAOZHUANDIANZILEIGUIHUAJIAOCAI

电路基础

—— 基于项目导向

主编 谭立新



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



高职高专电子类 “十二五” 规划
精品课程教程 教材

GAOZHIGAOZHUANDIANZILEIGUIHUAJIAOCAI

电路基础

—— 基于项目导向

主 编 谭立新

副主编 (按姓氏笔画排序)

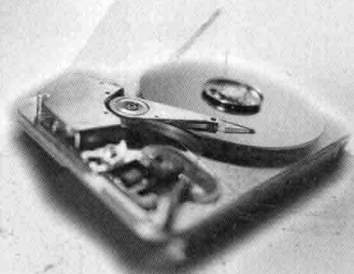
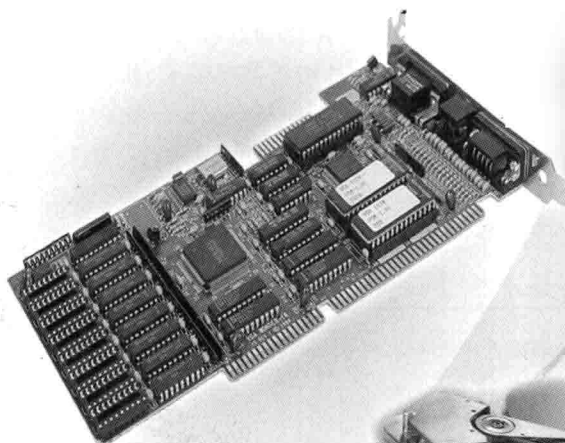
万少华 邓知辉 龙 剑

何美生 李 琼 彭宏娟

撰稿人 万少华 邓知辉 龙 剑

刘国华 何美生 李 琼

彭宏娟



中南大学出版社

www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

电路基础:基于项目导向/谭立新主编. —修订本. —长沙:
中南大学出版社,2011.9

ISBN 978 - 7 - 5487 - 0388 - 4

I. 电... II. 谭... III. 电路理论 - 高等学校 - 教材
IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 184992 号

电 路 基 础

——基于项目导向

(修订本)

谭立新 主编

-
- 责任编辑 陈应征
 责任印制 文桂武
 出版发行 中南大学出版社
社址:长沙市麓山南路 邮编:410083
发行科电话:0731-88876770 传真:0731-88710482
 印 装 长沙市宏发印刷厂

-
- 开 本 787 × 1092 1/16 印张 12 字数 301 千字 插页
 版 次 2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷
 书 号 ISBN 978 - 7 - 5487 - 0388 - 4
 定 价 26.00 元
-

图书出现印装问题,请与经销商调换

前 言

电路基础是高等学校电类专业一门核心基础课程,但现有高等院校的教材几乎全部都是按照知识体系编写,重理论、轻实践,重原理、轻应用或者根本与实践无关。学生学习了一个学期,不知道这个知识在实践中有什么作用,为什么要学习,与今后的工作有什么联系,如何应用等。

《电路基础(基于项目导向)》探索了回归工程教学的教材编写思路,按照项目设计制作或者工作过程展开,将各科知识融入到项目或者产品的制作过程中,回归到人类认识自然的本原方式。典型工程案例的实践过程按照任务驱动的模式组织,通过“实践→归纳→推理→再实践”这一螺旋式上升的方法获取系统的科学知识和实践技能,回归到科学知识和实践技能获取的自然过程,并将企业的6S考核体系融入到教学考核评价中。本书内容包括三个实践项目:MF-47型机械万用表的组装与调试;HX108-2型调幅收音机装配与调试;电风扇装配与调试为典型的工程案例。培养学生的职业能力,是本书探索的主要内容,亦是本书的主要特色。教材每个项目主要包括以下几个:

①项目描述。介绍该项目的工程实践应用与技术要求及其实现的主要技术关键;介绍案例与课程的联系和技术要点及职业要求;并从知识、能力、态度等方面介绍各项目的教学目标,包括方法能力、专业能力、社会能力、团队合作等。

②知识准备。实现项目设计制作所必需的知识,不求知识的完整性与全面性,以“必须够用”为度,使学生明确要学会哪些专业知识,学会哪些操作技能,掌握哪些工作过程知识,明确“学什么”和“怎么学”。

③任务实现。要完成的工作任务所必需的材料准备、场地准备、技术资料的准备、实现的步骤、相关的技术要求、现场要求、工艺与技术文件的撰写等,采用实际工作中使用的工程图、原理图、元件布置图、接线图、照片和文字等创设工作情景说明操作方法、操作步骤、操作要领、操作注意事项等工作过程知识,使学生明确“怎样做”和“怎样做得更好”。

④考核评价。陈述作品的质量评价、技术评价、职业素养评价、完成过程评价的评价标准。使学生独立完成工作任务后,能检查工作任务完成的质量和水平,明白自己“做得怎样”和“学到了什么”。

⑤拓展提高。例举工程实践应用中相类似的案例,使学生学会触类旁通、举一反三,解决学生知识的迁移,技能的强化,职业能力的拓展等,以及“升华与后劲”问题。

本书由工业和信息产业职业教育教学指导委员会副主任委员、湖南省高等学校教学名师、湖南信息职业技术学院信息工程系主任谭立新教授担任主编,并提出了本书编写的基本思路与编写体例。湖南信息职业技术学院彭宏娟副教授、湖南信息职业技术学院谭立新教授撰写了项目一;衡阳财经工业职业技术学院万少华副教授、湖南高速铁路职业技术学院龙剑副教授撰写了项目二;湖南机电职业技术学院李琼讲师、湖南科技经贸职业学院何

美生副教授撰写了项目三；湖南信息职业技术学院邓知辉讲师协助主编进行了统稿工作，并提出了宝贵意见。

本书可以作为电子信息类及电气自动化类等专业的教材。

本书得到了以下基金项目的资助：湖南省职业教育“十一五”重点建设项目——应用电子技术精品专业（湘教发〔2007〕41号）；湖南省职业院校教育教学改革研究项目（重点）——基于系列产品驱动的专业教育教学研究与实践（项目编号：ZJDA2009004）；工业和信息产业职业教育教学指导委员会教学项目——基于智能电子产品的系列教材开发与实践（项目编号：HZW2010-108）。

本书的出版得到了工业和信息产业职业教育教学指导委员会、中南大学出版社的指导与大力支持，同时也凝聚了湖南省众多兄弟院校的支持与帮助，在此一并表示感谢！

编者
于湘江之滨
2011年7月

目 录

项目一 机械式万用表的组装与调试	(1)
(一)项目描述	(1)
(二)知识准备	(1)
1 电路和电路模型	(1)
1.1 电路的组成	(1)
1.2 电路模型	(2)
1.3 电路的基本物理量	(2)
1.4 电路中的功率和能量	(3)
1.5 理想电源	(4)
2 基尔霍夫定律	(6)
2.1 基尔霍夫第一定律	(6)
2.2 基尔霍夫第二定律(回路电压定律)	(7)
2.3 利用回路电压定律解题的步骤	(8)
3 电路基本变换	(8)
3.1 电阻串联及其等效电路	(8)
3.2 电阻并联及其等效电路	(9)
3.3 电阻混联电路	(9)
3.4 实际电源的等效变换	(9)
4 支路电流法	(11)
5 电路基本定理	(12)
5.1 叠加定理	(12)
5.2 置换定理	(13)
5.3 戴维宁定理	(14)
5.4 诺顿定理	(16)
5.5 最大功率传输定理	(17)
6 常用基本电子元器件	(19)
6.1 常用电子元器件及其检测	(19)
6.2 电阻器	(19)
6.3 电容器	(26)
6.4 电感器和变压器	(31)
6.5 半导体器件	(33)
6.6 焊接的基本知识	(40)
6.7 焊接的质量分析	(47)

6.8 拆焊	(48)
(三)任务实现	(50)
任务1 MF-47型机械万用表的认识	(50)
1.1 MF-47型万用表的认识	(50)
1.2 使用万用表注意事项	(51)
任务2 MF-47型机械万用表原理分析	(51)
2.1 万用表原理与安装实习的目的与意义	(51)
2.2 指针式万用表的结构、组成与特征	(52)
2.3 MF-47型万用表的工作原理	(53)
任务3 MF-47型机械万用表装配	(55)
3.1 MF-47型机械万用表安装步骤	(55)
3.2 焊接前的准备工作	(58)
3.3 焊接练习	(60)
3.4 电池极板的焊接	(61)
3.5 机械部分的安装与调整	(62)
3.6 故障的排除	(65)
任务4 MF-47型机械万用表调试	(66)
4.1 检查方法	(66)
4.2 校试方法	(66)
(四)考核评价	(69)
1 电子元器件检测成绩评分标准	(69)
1.1 考核办法	(69)
1.2 考核要求	(69)
1.3 评分标准	(69)
2 焊接、装配工艺成绩评分标准	(69)
2.1 考核办法	(69)
2.2 考核要求	(70)
2.3 评分标准	(70)
3 整机装配与调试成绩评分标准	(70)
3.1 考核办法	(70)
3.2 考核要求	(70)
3.3 评分标准	(70)
(五)拓展提高	(71)
项目二 HX108-2型调幅收音机装调	(72)
(一)项目描述	(72)
(二)知识准备	(72)
1 概述	(72)
1.1 无线电发射的基本原理	(74)

1.2	收音机原理分析	(74)
1.3	输入电路	(74)
1.4	变频电路	(75)
1.5	中频放大检波	(75)
1.6	音频放大电路	(76)
2	电容器	(76)
2.1	学习任务	(76)
2.2	模块描述	(76)
2.3	电容器的结构和类型、参数特性	(77)
3	电感器	(81)
3.1	学习任务	(81)
3.2	模块描述	(82)
3.3	电感器的结构和类型、参数特性	(82)
4	电磁感应	(92)
4.1	学习任务	(92)
4.2	模块描述	(92)
4.3	必备知识	(93)
5	单相交流电路基本概念	(98)
5.1	学习任务	(98)
5.2	功能模块描述	(98)
5.3	必备知识	(99)
5.4	正弦量的相量表示法	(103)
5.5	电容元件和电感元件	(105)
5.6	三种元件伏安特性的相量形式	(110)
5.7	基尔霍夫定律的相量形式	(116)
5.8	RLC 串联的交流电路	(116)
5.9	RLC 并联电路	(118)
5.10	用相量法分析正弦交流电路	(121)
5.11	正弦交流电路中的功率	(125)
5.12	正弦交流电路中的最大功率	(127)
	学习重点小结	(129)
6	互感耦合电路与谐振电路	(130)
6.1	学习任务	(130)
6.2	功能模块描述	(131)
6.3	必备知识	(131)
	(三)任务实现	(147)
	(四)考核评价	(148)
	(五)拓展提高	(150)
1	实践部分	(150)

1.1	电子设备整机结构特点和装配过程	(150)
1.2	工艺文件	(150)
1.3	装配准备工艺	(151)
1.4	印制电路板部件装配工艺	(153)
1.5	SMB 部件的装配工艺	(154)
1.6	整机装配工艺(总装工艺)	(154)
1.7	电子设备组装调试	(155)
1.8	静态测试与调整	(155)
1.9	整机性能测试与调整	(156)
2	强化习题训练	(157)
项目三	电风扇装配与调试	(162)
(一)	项目描述	(162)
(二)	知识准备	(162)
1	单相异步电动机	(163)
2	三相交流电	(165)
2.1	三相电源的连接	(166)
2.2	三相负载的连接	(167)
2.3	三相电路的功率	(168)
3	低压电器的认识	(169)
3.1	低压电器的定义	(169)
3.2	低压电器的分类	(169)
3.3	刀开关	(169)
3.4	转换开关	(170)
3.5	按钮开关	(172)
3.6	低压断路器	(173)
3.7	熔断器	(174)
3.8	交流接触器	(174)
3.9	继电器	(176)
4	三相异步电动机单向旋转控制电路基本知识	(178)
4.1	单向旋转控制电路	(178)
4.2	电动机正反转连续运行直接启动控制电路	(179)
(三)	任务实现	(180)
	任务1 认识电风扇电路原理图及接线图	(180)
	任务2 电风扇电路安装	(181)
(四)	考核评价	(182)
(五)	拓展提高	(182)
	参考文献	(186)

项目一 机械式万用表的组装与调试

(一)项目描述

万用表是电工电子必备仪表之一,电子专业的学生都应该熟练掌握其工作原理及使用方法。MF-47型是设计新颖的磁电系整流式便携式多量程万用电表,可供测量直流电流、交直流电压、直流电阻等,具有26个基本量程和电平、电容、电感、晶体管直流参数等7个附加参考量程。通过MF-47机械万用表组装与调试项目训练及相关知识学习,达到如下目标:

- (1)具有色环电阻器标称值、二极管、电容的辨认能力。
- (2)能将实际的元器件和理论的元件相对应。
- (3)掌握电路的基本定理和定律,能灵活运用。
- (4)会看电路原理图和装配图,会按照工艺要求装配电路。
- (5)能分析电路原理图的工作原理,能将理论上的分析方法运用于实际电路中。
- (6)会安全使用焊接工具进行元器件焊接。
- (7)要有可靠的焊接技术,无不规范焊接。
- (8)分成各小组,以小组为单位调试每个同学的电路,要求整组同学每位成员都能说出调试的过程,解决问题的方法。
- (9)能按照现场管理要求(整理、整顿、清扫、清洁、素养、安全、环保、节能)安全文明生产。
- (10)会查找相关资料。
- (11)会撰写项目报告并答辩。
- (12)具有团队合作精神,具有一定的组织协调能力。

(二)知识准备

1 电路和电路模型

1.1 电路的组成

电路是电流所流经的路径。最简单的电路由电源、负载和导线、开关等元件组成,如图1-1所示。

电路处处连通叫做通路。只有通路,电路中才有电流通过。电路某一处断开叫做断路或者开路。电路某一部分的两端直接接通,使这部分的电压变成零,叫做短路。

电源:把其他形式的能转换成电能的装置叫做电源。发电机能把机械能转换成电能,

干电池能把化学能转换成电能。发电机、干电池等叫做电源。通过变压器和整流器,把交流电变成直流电的装置叫做整流电源。能提供信号的电子设备叫做信号源。晶体三极管能把前面送来的信号加以放大,又把放大的信号传送到后面的电路中去。晶体三极管对后面的电路来说,也可以看做是信号源。整流电源、信号源有时也叫做电源。

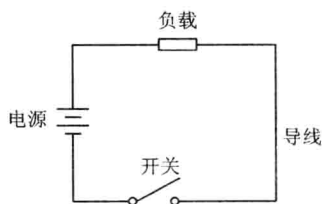


图 1-1 最简单的电路

负载:把电能转换成其他形式的能的装置叫做负载。电动机能把电能转换成机械能,电阻能把电能转换成热能,电灯泡能把电能转换成热能和光能,扬声器能把电能转换成声能。电动机、电阻、电灯泡、扬声器等都叫做负载。晶体三极管对于前面的信号源来说,也可以看做是负载。

中间环节(导线、开关):导线是连接电源和各负载传输电流的金属导线;开关是为节省电能所加的控制装置,需要照明时将开关闭合,不需要照明时将开关断开。

以上几个部分是实际电路中不可缺少的三个组成部分。

电路主要有两种作用:第一种作用是实现电能的传输和转换。第二种作用是实现信号的变换和处理。

1.2 电路模型

由理想电路元件互相连接组成的电路称为电路模型,电路模型是实际电路的抽象和近似。在一定条件下,工程上允许的近似范围内,实际电路完全可以用理想电路元件组成的电路代替,从而使电路的分析与计算得到简化。

在电路中,使用的各种电器又称为电路元件。实际中元件外形和作用千差万别,种类繁多,但在电磁方面却有许多共同之处。在分析实际电路时,由理想元件组成的足以表征实际电路物理性质的电路称电路模型。为了便于分析和安装电路,我们必须画出电路图。在电路中即用电路模型来表示。

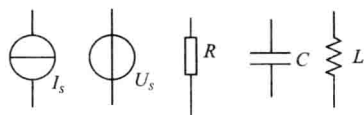


图 1-2 各种元件的表示模型

电路模型的特点:首先,每一种电路模型所能反映的物理性质可以用数学表达式精确的描述;其次,任一个实际器件中所发生的物理现象都可以用各种电路模型的适当组合来表示。各种元件的常用表示模型如图 1-2 所示。

1.3 电路的基本物理量

1.3.1 电流

电荷的定向移动叫做电流,电流常用 I 表示。如图 1-3 所示。电流分直流和交流两种。电流的大小和方向不随时间变化的叫做直流。电流的大小和方向随时间变化的叫做交流。电流的单位是安(A),也常用毫安(mA)或者微安(μA)作单位。 $1\text{ A} = 1000\text{ mA}$, $1\text{ mA} = 1000\text{ }\mu\text{A}$ 。

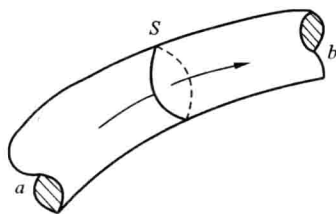


图 1-3 电流

电流强度用 $i(t)$ 表示, 即

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

$q(t)$ 为通过导体横截面的电荷量。若 $dq(t)/dt$ 为常数, 即是直流电流; 否则, 即是交流电流。

电流可以用电流表测量。测量的时候, 把电流表串联在电路中, 要选择电流表指针接近满偏转的量程。这样可以防止电流过大而损坏电流表。

规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。任意规定某一方向作为电流的参考方向, 如图 1-4 所示。在分析计算后, 如数值为正, 即电流的实际方向, 又称正方向; 如数值为负, 则参考电流方向与实际方向相反, 称为反方向。(注意: 在分析电路时, 一个电路中有且只有一个参考方向)

1.3.2 电压

河水之所以能够流动, 是因为有水位差; 电荷之所以能够流动, 是因为有电位差。电位差也就是电压。如图 1-5 所示, 电压是形成电流的原因。在电路中, 电压常用 U 表示。电压的单位是伏(V), 也常用毫伏(mV)或者微伏(μV)作单位。 $1\text{V} = 1000\text{mV}$, $1\text{mV} = 1000\mu\text{V}$ 。

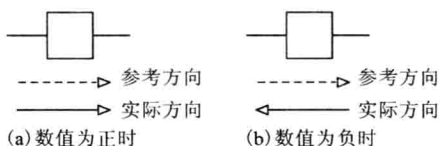


图 1-4 电流的方向

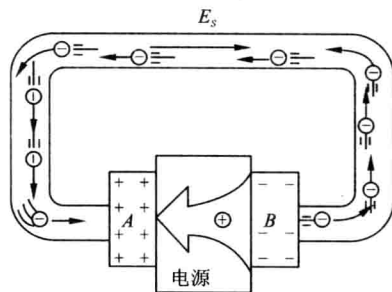


图 1-5 电压

用数学式表示, 即为

$$u(t) = \frac{dW(t)}{dq(t)}$$

式中 dq 为由 a 点移至 b 点的电荷量, dW 是为移动电荷 dq 电场力所做的功。

电压可以用电压表测量。测量的时候, 把电压表并联在电路上, 要选择电压表指针接近满偏转的量程。如果电路上的电压大小估计不出来, 要先用大的量程, 粗略测量后再用合适的量程。这样可以防止由于电压过大而损坏电压表。

规定电位真正降低的方向为电压的实际方向。同样, 为了分析计算的需要, 也会在两点之间设出参考方向, 当数值计算为正值, 则参考电流方向与实际方向相同, 称为正方向; 数值为负, 则参考电流方向与实际方向相, 称为反方向。

1.4 电路中的功率和能量

1.4.1 电功率

电流通过电路时传输或转换电能的速率称为电功率, 简称为功率, 用符号 P 表示。

即 $p(t) = \frac{dW(t)}{dt}$ 功率的单位为瓦(W)。

由 $u = \frac{dW}{dq}$, 得 $dW = udq$ 再由 $i = \frac{dq}{dt}$, 得 $dt = \frac{dq}{i}$ 代入上式得 $p(t) = ui$ 。

在这要强调一下,如电流电压方向一致,功率为正值,称为吸收功率;功率为负值,称为产生功率。

对一完整电路来说,吸收和产生的功率是相等的。

1.4.2 欧姆定律

在讲定律之前,提一下电路常用负载之一——电阻(在常用元件中将详细讲解)。它表征材料(或器件)对电流呈现阻力、损耗能量的一种参数。

电阻值不随电压或电流数值变化的电阻称为线性电阻,理论分析所说的电阻都是线性电阻,也有称为理想电阻。一般我们说的都是不变电阻,是不随时间变化的线性电阻。

欧姆定律是重要的基本定律之一,它说明流过线性的电流与该电阻两端电压之间的关系。反映了电阻元件的特性。其伏安特性如图 1-6 所示。欧姆定律的数学解析式,即 $u(t) = Ri(t)$ 。

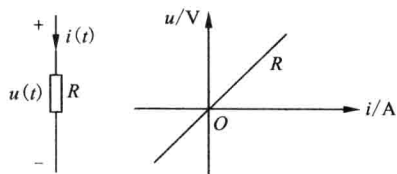


图 1-6 伏安特性

电阻的倒数称为电导,用 G 表示,即 $G = \frac{1}{R}$

单位是西门子(S)。

欧姆定律可以写成: $i(t) = Gu(t)$

说明:①欧姆定律只适用于线性电阻;

②欧姆定律前也可以用正负号,同样只表示方向。

③电阻是无记忆元件,电压与电流是同时存在、同时消失的。

1.4.3 电阻元件上消耗的功率与能量

$$p(t) = u(t)i(t) = Ri^2(t) = \frac{u^2(t)}{R}$$

或

$$p(t) = \frac{i^2(t)}{G} = u^2(t)G$$

在电阻上的功率都是正值。

1.5 理想电源

任何一种实际电路必须有电源提供能量。

1.5.1 理想电压源

定义:不管外部电路如何,其两端电压总能保持定值或一定的时间函数的电源,如图 1-7 所示。

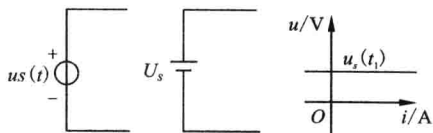


图 1-7 理想电压源及其特性

强调几点:

①对任意时刻 t_1 ,理想电压源的端电压与输出电流的关系曲线(伏安特性)是平行于 i 轴、其值为 $u_s(t_1)$ 的直线。

- ②理想电压源的端电压与流经它的电流方向、大小无关。
 ③理想电压源的端电压由自身决定,而流经它的电流由它及外电路所共同决定。
 提醒一下,实际中是不存在真正的理想电压源的。

1.5.2 理想电流源

定义: 不管外部电路如何,其输出电流总能保持定值或一定的时间函数的电源,如图 1-8 所示。强调几点:

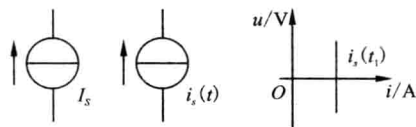


图 1-8 电流源的模型及其特性

①对任意时刻 t_1 ,理想电流源的伏安特性是平行于 u 轴、其值为 $i_s(t_1)$ 的直线。

②理想电流源发出的电流与其两端电压方向、大小无关。

③理想电流源的输出电流由自身决定,而它两端电压由它及外电路所共同决定。

1.5.3 受控源

受控源又称为非独立源。一般来说,一条支路的电压或电流受本支路以外的其他因素控制时统称为受控源。受控源由两条支路组成,其第一条支路是控制支路,呈开路或短路状态;第二条支路是受控支路,如同一个电压源或电流源,其电压或电流受第一条支路电压或电流的控制。

受控源主要用以表示电路内不同支路物理量之间的关系,它和独立源性质不同。当电路中不存在独立源时,因无控制支路提供电压和电流,控制量为零,受控源的电压和电流也为零,受控源不起作用。受控源不能作为电路独立的激励。

受控源可以分成四种类型,分别称为电流控制的电压源(CCVS)、电压控制的电流源(VCCS)、电流控制的电流源(CCCS)和电压控制的电压源(VCVS),如图 1-9 所示。

每种受控源用两个线性代数方程来描述:

$$\text{CCVS: } \begin{cases} u_1 = 0 \\ u_2 = r i_1 \end{cases}$$

r 具有电阻量纲,称为转移电阻。

$$\text{VCCS: } \begin{cases} i_1 = 0 \\ i_2 = g u_1 \end{cases}$$

g 具有电导量纲,称为转移电导。

$$\text{CCCS: } \begin{cases} u_1 = 0 \\ i_2 = \alpha i_1 \end{cases}$$

α 无量纲,称为转移电流比。

$$\text{VCVS: } \begin{cases} i_1 = 0 \\ u_2 = \mu u_1 \end{cases}$$

μ 亦无量纲,称为转移电压比。

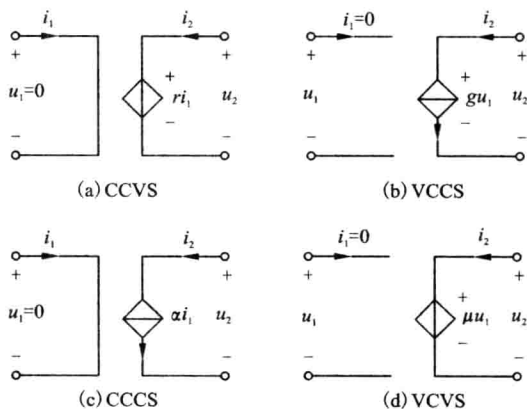


图 1-9 受控源

当受控源的控制系数 r 、 g 、 α 和 μ 为常量时,它们是时不变双口电阻元件。本书只研究线性时不变受控源,并采用菱形符号来表示受控源(不画出控制支路),以便与独立电源相区别。

受控源与独立电源的特性完全不同，它们在电路中所起的作用也完全不同。

独立电源是电路的输入或激励，它为电路提供按给定时间函数变化的电压和电流，从而在电路中产生电压和电流。

受控源则描述电路中两条支路电压和电流间的一种约束关系，它的存在可以改变电路中的电压和电流，使电路特性发生变化。

2 基尔霍夫定律

进入新内容之前，以图 1-10 为例讲解几个基本概念：

(1) 支路：由一个或几个元件首尾相接组成的无分支电路。图中共有 5 条支路，支路电流分别标于图中。

(2) 节点：三条或三条以上支路的连接点。图中共有 a 、 b 、 c 三个节点。

(3) 回路：电路中任何一个闭合路径。图中共有 6 个回路。

(4) 网孔：中间无任何支路穿过的回路。网孔是最简单的回路，或是不可再分的回路。图中最简单的回路 aR_1R_2a 、 aR_2R_4ba 、 bR_4R_5b 三个是网孔。

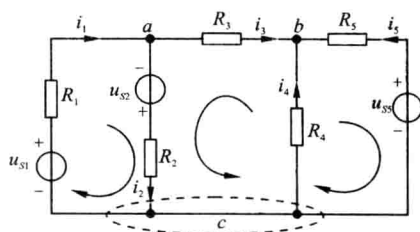


图 1-10 基尔霍夫定律示例图

2.1 基尔霍夫第一定律

第一定律又称基尔霍夫电流定律，简记为 KCL。

(1) 内容：在任一瞬间，对电路中的任一节点，流进某一节点的电流之和恒等于流出该节点的电流之和。

(2) 公式： $\sum I_{\text{进}} = \sum I_{\text{出}}$ 。

(3) 定律讨论的对象：节点电流（故基尔霍夫第一定律又称为节点电流定律）

图 1-11 的求解如下：

$$I_1 + I_3 - I_2 - I_4 - I_5 = 0$$

(4) 基尔霍夫第一定律的推广：

节点电流不仅适用于节点，还可推广于任意假设的封闭面，仍然成立。图 1-12 电路中闭合面所包围的是一个三角形电路，有三个节点。

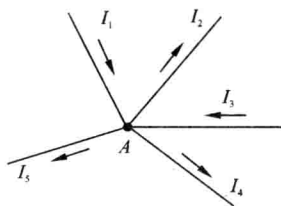


图 1-11 基尔霍夫电流定律

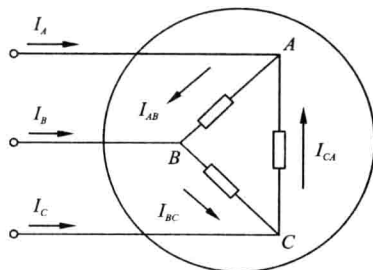


图 1-12 基尔霍夫电流定律推广

电流定律的推广应用

应用基尔霍夫第一定律可以列出:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

上面三式相加可得: $I_A + I_B + I_C = 0$ 或 $\sum I = 0$

即: 流入此闭合曲面的电流恒等于流出该曲面的电流。

2.2 基尔霍夫第二定律(回路电压定律)

(1) 内容: 在任一瞬间, 对任一闭合回路, 沿回路绕行方向上各段电压代数和恒等于零。

(2) 公式: $\sum U = 0$

(3) 定律讨论的对象: 回路上的电压(故基尔霍夫第二定律又称为回路电压定律)

请用基尔霍夫第二定律列出图 1-13 回路电压方程。

列回路电压方程的方法:

①任意选定未知电流的参考方向(如图 1-13 所示);

②任意选定回路的绕行方向;

③确定电阻电压正负(若绕行方向与电流参考方向相同, 电阻电压取正值; 反之取负值);

④确定电源电动势正负(若绕行方向与电动势方向相反, 电动势取正值; 反之取负值)。

综上所述, 按标注方向循环一周, 根据电压与电流的参考方向可得:

$$U_{ca} + U_{ad} + U_{db} + U_{bc} = 0$$

即: $GB_1 - I_1 R_1 + I_2 R_2 - GB_2 = 0$

或: $GB_1 - GB_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2$

由此, 得出基尔霍夫第二定律的另一种表达形式:

$\sum GB = \sum IR$

亦即: $\sum E = \sum IR$

上式表明: 在任一回路循环方向中, 回路中各电动势的代数和恒等于各电阻上电压降的代数和。

(4) 基尔霍夫第二定律的推广应用:

基尔霍夫第二定律也可以推广应用于不完全由实际元件构成的假想回路, 如图 1-14 所示。

由图 1-14 可得: $\sum U = U_A - U_B - U_{AB} = 0$

或: $U_{AB} = U_A - U_B$

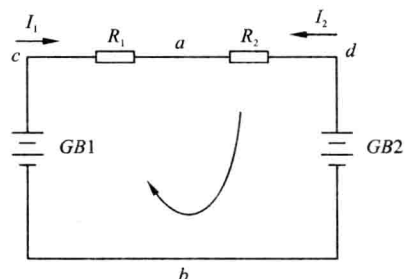


图 1-13

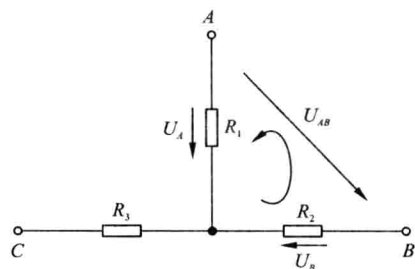


图 1-14

2.3 利用回路电压定律解题的步骤

①先标定各支路电流的参考方向和回路的绕行方向，原则上可任意标定；一般取电动势或较大的电动势的方向作为支路电流的参考方向和回路的绕行方向。

②根据回路电压定律列出回路电压方程式。

③求解方程，并根据计算结果确定电压和电流的实际方向。

例 1-1 图 1-15 所示是两个电源并联对负载供电的电路。 $I_1 = 4 \text{ A}$, $I_3 = -1 \text{ A}$, $R_1 = 12 \Omega$, $R_2 = 3 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$ 。求各支路电流 I_2 和电源电动势 E_1 、 E_2 。

解：据节点电流定律可得

$$I_3 = I_1 + I_2$$

可求出 $I_2 = I_3 - I_1 = -5 \text{ A}$

在回路 $E_2 - R_3 - R_2 - E_2$ 中，据回路电压定律可得

$$E_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3$$

可求出

$$E_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3 = 5 \times 3 + (-1) \times 6 = 9 \text{ V}$$

在回路 $E_1 - R_1 - R_3 - E_1$ 中，据回路电压定律可得

$$E_1 = I_1 R_1 + I_2 R_2$$

可求出

$$E_1 = I_1 R_1 + I_2 R_2 = 4 \times 3 + (-5) \times 3 = -3 \text{ V}$$

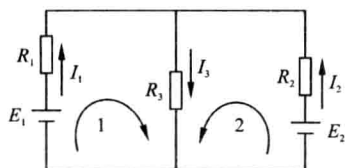


图 1-15

3 电路基本变换

3.1 电阻串联及其等效电路

特点：

$$i_1 = i_2 = \cdots = i_n = i$$

总电压：

$$u = u_1 + u_2 + \cdots + u_n = \sum_{k=1}^n u_k \text{ (KVL)}$$

等效电阻：

$$R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 + \cdots + R_n = \sum_{k=1}^n R_k \text{ (KVL, VCR)}$$

$$i = \frac{u}{R_{\text{eq}}}$$

分压公式：

$$u_K = \frac{u}{R_{\text{eq}}} R_k \quad (K=1, 2, \cdots, n)$$

总功率：