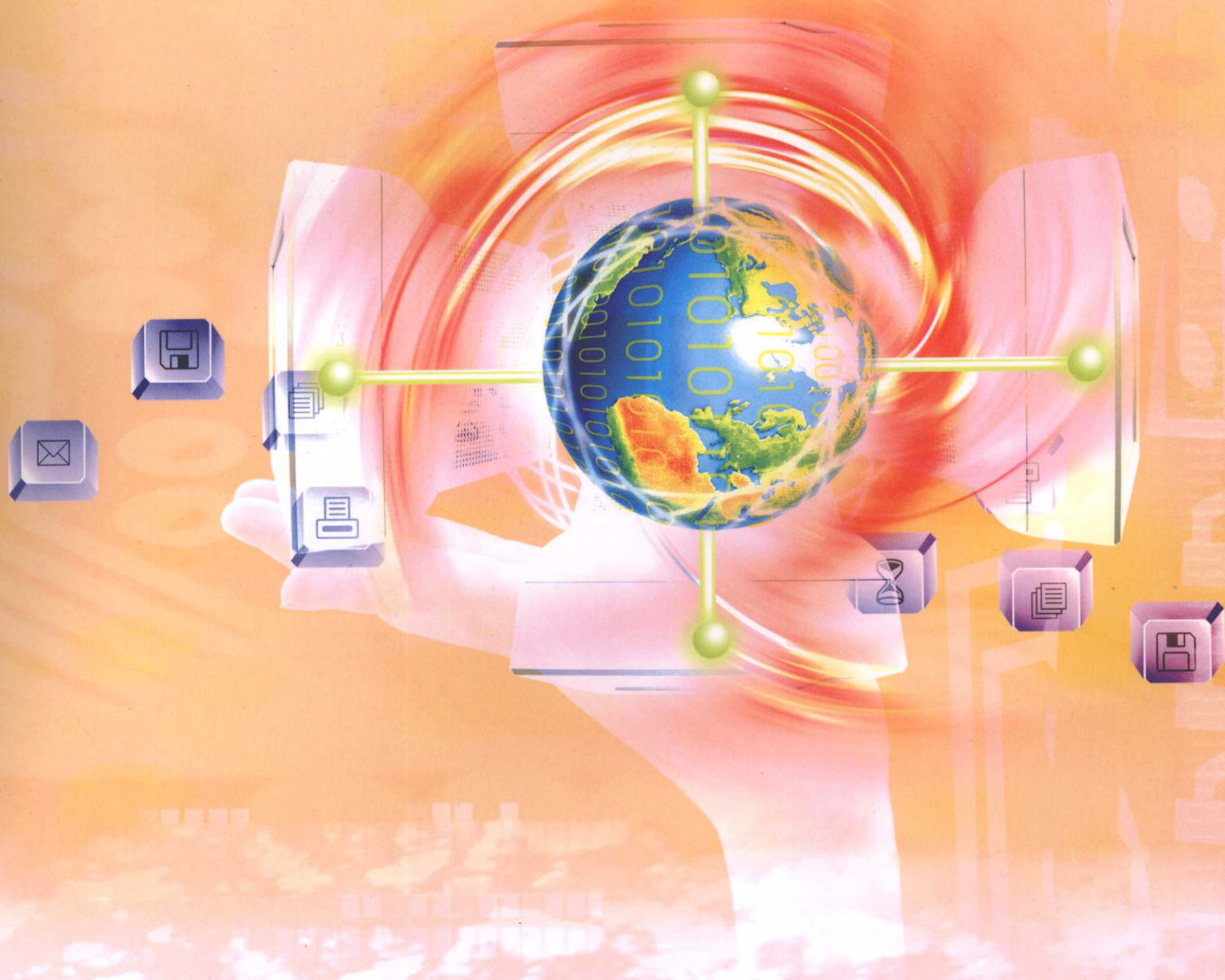


电工电子及电气控制基础

贵州省机械工业学校 编



贵州人民出版社

电工电子及电气控制基础

贵州省机械工业学校 编

贵州人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工电子及电气控制基础/贵州省机械工业学校编.

贵阳:贵州人民出版社,2009.8

ISBN 978-7-221-08639-6

I.电… II.贵… III.①电工技术-职业教育-教材
②电子技术-职业教育-教材③电气控制-职业教育-教材 IV.TM TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第147950号

书 名	电工电子及电气控制基础
作 者	贵州省机械工业学校 编
责任编辑	姚必强
封面设计	王世仪
出版设计	郑 一
出版发行	贵州人民出版社
印 刷	贵阳经纬印刷厂
规 格	889mm×1194mm 1/16 13.75 印张 480 千字
版 次	2009 年 8 月第 1 版
印 次	2009 年 8 月第 1 次印刷
印 数	1-6500 册
书 号	ISBN 978-7-221-08639-6/TM·1
定 价	18.00 元

《电工电子及电气控制基础》教材审稿委员会

主任委员:冯其毅(高级讲师)

副主任委员:汪小荣(高级讲师)

成 员:周维强(高级讲师) 徐国庆(高级讲师)

袁中华(高级讲师) 管素秋(高级讲师)

陈建龙(高级讲师) 张黔成(高级讲师)

审 稿 小 组

组 长:汪小荣

成 员:陈建龙 张黔成 梅玉龙

编 写 小 组

主 编:李 旭

编写成员:童 玲 陈一凡 胡培全

前 言

为了贯彻落实《国务院关于大力发展职业教育的决定》精神,适应新形势下中职教育各专业对基础专业课程教学的需要,并配合我校专业建设和课程综合化改革方案的实施,由教编办与机电科申报并组织编写本教材。

本教材以学校课程综合化改革方案制定的教学大纲、教学计划、培养目标及教学模式为依据,将电工电子、电气控制和可编程控制器等课程内容进行整合,以基础知识和基本理论为根本,以必需和够用为原则进行编写。着重培养学生的实际操作能力,突出职业能力的培养,使学生看得懂、找得到、学得会、用得着。本教材作为中等职业教育的非电类专业基础课教材,较好地体现了中职教育的特色,即实用性强、精讲多练、突出技能培养。教材的主要编写原则与特点:

一、将电工、电子、电气控制及可编程控制器等课程进行整合,采用模块化的方式进行编写,教师在教学过程中可根据学生所学专业及教学效果进行取舍。

二、注重各教学内容的前后衔接、连贯,避免以往教材各内容之间重复、缺失情况。并结合学生电工职业资格考试的获取安排教学内容。

三、基础知识和基本理论以“必需、够用”为度,所有理论知识介绍均以实际应用中是否需要和结合学生的基础为取舍原则,以能够达到以应用目标为技术深度来掌握。

四、教材中安排有以提高学生操作技能为目的的操作实训,重点为职业岗位上必须的基本操作技能和掌握常用工具的使用,促进学生对知识的理解,掌握解决实际问题的基本能力,提高学习兴趣。

本教材由李旭老师担任主编,参加编写有:陈一凡老师(第一、二、三章)、李旭老师(第四、五、六章)、胡培全老师(第七章)、童玲老师(第八章)。本教材在编写过程中得到学校校领导、有关科室负责人和很多老师的大力支持,审稿小组及成员在教材编写中提出诸多宝贵意见,特此鸣谢!

因编者经验、水平有限,教材当中难免有不妥和不足之处,殷切期望广大师生和读者不吝批评指正,以便在以后的修订工作中进一步加以改进。

编者

2009年6月

目 录

前 言	(1)
第一章 电 路	(1)
第一节 直流电路	(1)
第二节 交流电路	(18)
第二章 整流滤波电路	(40)
第一节 晶体二极管	(40)
第二节 整流滤波电路	(45)
第三章 放大电路	(53)
第一节 晶体三极管	(53)
第二节 放大电路	(60)
第三节 集成运算放大电路*	(71)
第四章 电动机	(77)
第一节 交流电动机	(77)
第二节 直流电动机	(86)
第三节 其他类型电动机	(90)
第五章 常用低压电器	(91)
第一节 接触器	(91)
第二节 继电器	(94)
第三节 熔断器	(100)
第四节 手控电器与主令电器	(101)
第五节 断路器	(105)
第六章 继电器 - 接触器控制电路	(108)

第一节 设备电气控制系统图的识读与绘制	(108)
第二节 三相笼型异步电机直接启动控制	(111)
第三节 三相笼型异步电机减压启动控制	(116)
第四节 三相笼型异步电动机电气制动控制	(120)
第五节 其他典型控制电路和电动机保护环节	(124)
第六节 直流电动机的启动控制电路	(129)
第七节 电气设备控制电路应用——CA6140 车床的电气控制电路	(131)
第七章 电工基本知识与基本操作	(134)
第一节 电工入门知识	(134)
第二节 电工基本操作	(138)
第三节 机床控制线路的故障和维修*	(153)
第八章 可编程控制器	(166)
第一节 可编程控制器概况	(166)
第二节 PLC 的结构及基本工作原理	(169)
第三节 PLC 的指令系统和编程方法	(172)
第四节 PLC 编程应用实例	(184)
附录	
一、手持编程器和编程软件应用	(193)
二、常用电气图形符号、文字符号新旧对照表	(202)
参考文献	(211)

第一章 电 路

学习目标

电路是电工电子学的主要研究对象,电路理论是学习电工技术和电子技术的基础。本章首先学习电路的基本概念,其中包括电路的组成与作用、电路模型、电路中电压和电流的参考方向、电路的工作状态;其次了解基尔霍夫两个定律以及电路中电位的概念和计算;最后简要阐述电路的基本连接方式。

本章所介绍的基本概念和定律,虽然是从直流电路角度出发的,但只要加以适当扩展,也适用于后面将要讨论的交流电路及其他电路。

第一节 直流电路

相关知识点

- ◇ 了解电路的基本概念
- ◇ 掌握电阻的串、并联及简单的混联电路。
- ◇ 掌握电路的基本定律和应用
- ◇ 掌握万用表的使用

一、电路的概念及分类

(一) 概念

电路是电流所通过的路径,是由各种电气元件或设备按一定方式连接而成的系统,用于实现某种功能。电路的功能可分为两大类:第一类主要用于电能量的传送、分配和转换,如输电线路就属于这类电路;第二类主要用于电信号的传递和处理。例如收音机、电视机等,它们将接收的电信号经过传递、变换和处理后,还原为声音和图像等信息。

(二) 分类

电路按通过电流的类型,可分为直流电路和交流电路。

1. 直流(DC)电路:大小和方向保持不变的电称为直流电,通常也简称为直流,流过直流电流的电路是直流电路。

2. 交流(AC)电路:电动势、电压和电流的方向或大小随时间改变发生变化的电称为交变电,通称交流,通过交流电流的电路是交流电路。

二、电路的组成

实际电路的种类繁多,且繁简不一,任何一个电路总是由一些电气元器件和设备组成的。从日常生活中使用的家用电器到工农业生产、科学研究中使用的各种机电设备及计算机、各种测试仪器等都包含有

电路。简单的照明电路如图 1-1a) 所示。

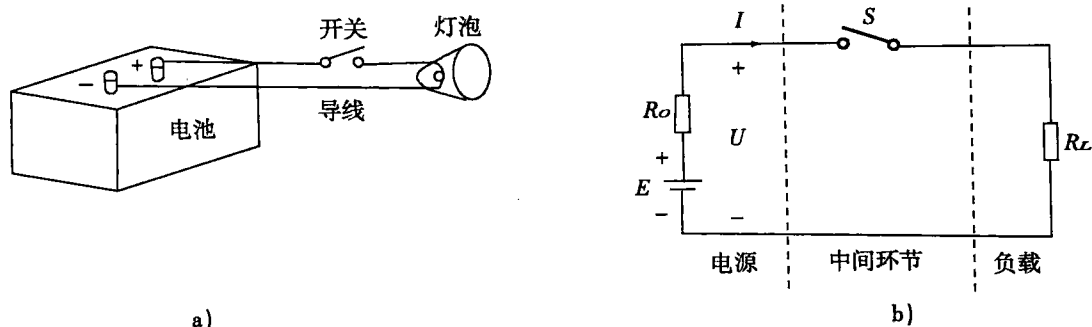


图 1-1 电路的组成及其模型

a) 照明电路示意图

b) 电路模型

在图 1-1a) 中,灯泡是取用电能的器件,称为负载,它将电能转化为光能和热能等其他形式的能量;电池是提供电能的元件,称为电源,它将非电能量转换为电能量;除了电源和负载之外,导线和开关等称为中间环节,它们用来连接电源与负载,并起着分配和控制电能的作用。因此,电路可概括为由电源、中间环节和负载 3 个部分组成。对于不同电路,最大的区别在于中间环节的复杂程度。如照明灯的中间环节仅用两条导线和开关构成,而复杂电路的中间环节可能是一个庞大的控制系统。

每种元件实际上都包含有多种参数。由于电路中的电磁现象和能量关系一般都比较复杂。为了便于分析和计算实际电路,通常是用理想的电路元件及其组合来近似地替代实际的电气元器件。理想元件是指在一定条件下,忽略了实际电气元件的次要因素并将它抽象为只含一种参数的元件模型。例如,灯泡只用单一的电阻模型表示,忽略了灯丝中微弱的电感参数。这样,照明灯可由如图 1-1b) 所示的电路模型表示。其中,电源用电动势 E 和内阻 R_0 表示;负载用电阻图形及字母 R_L 表示;中间环节的开关用字母 S 及其图形表示;因导线电阻的影响很小,可忽略不计而用(直)线段表示。

一般将电源内部(即电动势和内阻)的电路称为内电路,其余部分(包括中间环节和负载)则称为外电路。

三、电路的工作状态

了解电路的工作状态及特点,可帮助分析电路和确保安全用电。综合实际电路的各种情况,电路可能有通路、开路和短路三种工作状态。

(一) 通路(负载工作状态)

如图 1-2a) 所示,将开关 S 闭合,电源和负载接通,称为通路或有载状态。通路时,电源向负载提供电能,电源的端电压与负载端电压相等。

电气设备接入额定电压、流过额定电流的工作状态,称为额定工作状态,也称满载。满载时的电功率等于额定功率。如果由于某种原因,电流超过额定值,即实际功率超过额定功率,这种状态称为过载状态,简称过载。长时间过载是不允许的,而短时间过载往往是不可避免的。实际功率在额定值的 50% 以下时一般可称为轻载;实际功率为额定值的 80% 以上时一般可称为重载。

(二) 开路(断路)

如图 1-2b) 所示,将开关 S 打开或由于其他原因切断电源与负载间的连接,称为电路的开路状态,也称断路状态。电路开路时,电路中电流 $I = 0$,因此负载的电流、电压和得到的功率都为零。对电源来说不向负载提供电功率,此种情况称为电源空载,但其端电压(开路电压)最大即为电动势 E 。

(三) 短路

由于工作不慎或负载的绝缘破损等原因,致使电源未经负载,直接由电阻值近似为零的导体连通,称

为短路。如图 1-2c) 所示。

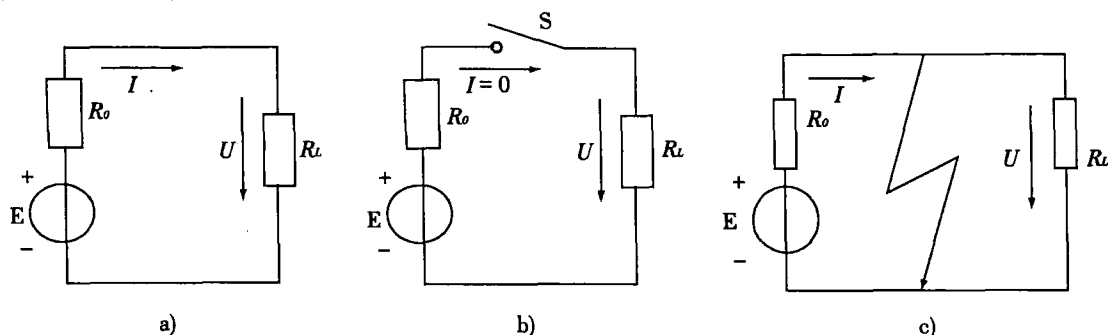


图 1-2 电路的工作状态

a) 通路 b) 开路 c) 短路

电路短路时,电源的端电压,即负载的电压 $U = 0$,负载的电流与消耗的功率也为零。此时,电路中的电阻只存在电源的内电阻,由于电源电路的内阻很小,故这时的电流是相当大,称为短路电流。若不采取防范措施,将会使电源设备烧毁,可能导致火灾事故的发生。因此,短路一般是一种事故,要尽量避免。通常在电路中接入熔断器等设备进行短路保护。

注意,在某些情况下是需要电路短路的,如测量变压器的铜损,则是通过对变压器作短路试验完成的,但必须给变压器施加很小的电压。有时,为了某种需要,也常将电路中的某一部分短路,这种情况常称为“短接”以示区别。

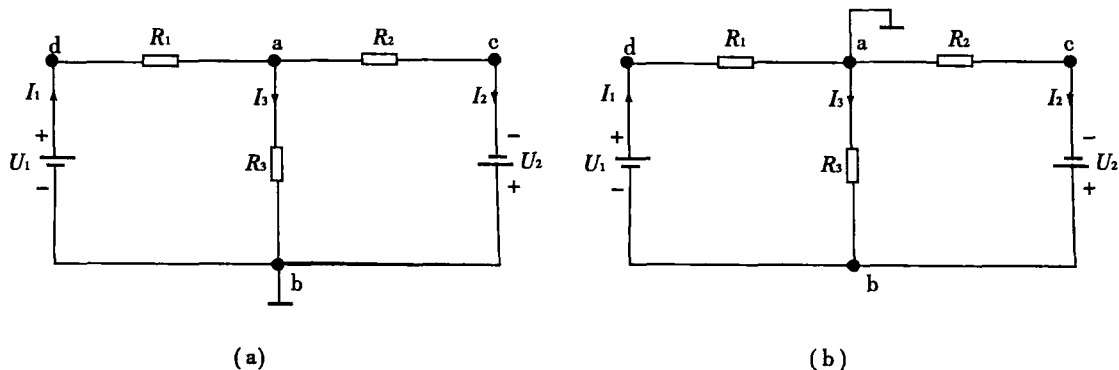
四、电位

在电子技术中,常用电位的概念来分析和计算电路。应用电位概念,不仅可以简化电路的分析和计算,还可以简化电路图的画法。在线性电路中,电位与电流有着确定的关系,只要知道各点的电位值,各支路电流就很容易得到求解;在实际工作中,通过测量电路中各点的电位,可以很方便地判断电路的工作状况。例如,对二极管来讲,只要阳极电位高于阴极电位时,管子就导通,否则就截止。对晶体管工作状态的讨论,也可通过分析各电极的电位高低来确定。

电位是指电路中任一点相对于参考点之间的电压,通常用 V 表示,与用 U 表示的电压相区别。在分析和计算电路的电位之前,应首先选定电路中的某一点作为参考点,用符号“ $\perp$ ”表示,并规定参考点的电位为零。

例 1-1 在图 1-3a)、b) 所示的电路中,已知 $U_1 = 28\text{V}$, $U_2 = 14\text{V}$, $R_1 = 3\Omega$, $R_2 = 6\Omega$, $R_3 = 5\Omega$, $I_1 = 6\text{A}$, $I_2 = 4\text{A}$, $I_3 = 2\text{A}$ 。试求图中各点电位和电压 U_{ac} 。

解: (1) 若设 b 为参考点(即规定 $V_b = 0$),则图 1-3a) 电路中各点的电位分别为



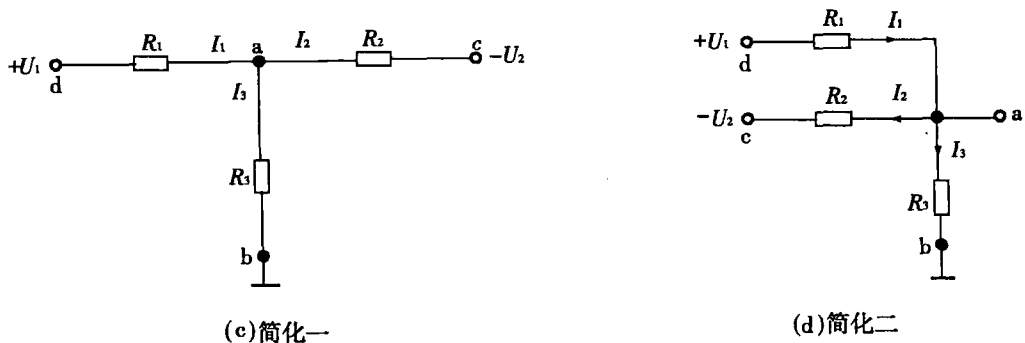


图 1-3 例 1-1 图

 a) $V_b = 0$

 b) $V_a = 0$

c) 简化一

d) 简化二

$$V_a = V_{ab} = I_3 R_3 = 2 \times 5 = 10V$$

$$V_c = V_{cb} = -U_2 = -14V$$

$$V_d = U_1 = 24V$$

由于电压等于两点之间的电位差,所以

$$U_{ac} = V_a - V_c = 10 - (-14) = 24V$$

或

$$U_{ac} = I_2 R_2 = 4 \times 6 = 24V$$

由此可知,电位与电压的计算方法一致,可由欧姆定律求解。

(2) 若设 a 点为参考点,如图 1-3b) 所示,即 $V_a = 0$,则各点的电位分别为

$$V_b = V_{ba} = -I_3 R_3 = -2 \times 5 = -10V$$

$$V_c = V_{ca} = -I_2 R_2 = -4 \times 6 = -24V$$

$$V_d = V_{da} = I_1 R_1 = 6 \times 3 = 18V$$

$$V_{ac} = V_a - V_c = 0 - (-24) = 24V$$

综上所述,可以得出以下几点结论:

1) 电路中任一点的电位都等于该点相对于参考点之间的电压。也就是说电位实质上还是两点之间的电压,只不过是将其一点规定为参考点。因此,电路中离开参考点来讨论电位是没有意义的。

2) 电路中某点电位的高低与参考点的选取有关。参考点位置不同,电路中同一点的电位就具有不同的数值,即电位值是相对量。

3) 当参考点选取之后,电路中各点电位的数值也就确定了,即各点的电位具有单值性。它同电压一样,与路径的选取无关。

4) 电压的高低与参考点的选择无关,即两点间的电压值是绝对量。

参考点也称为“地”。在实际电路中,如果电路有接地点时,则以大地为零电位点;如果没有接地点,而有金属机壳时,通常将这个机壳作为“地”,但它并不一定与大地连接。在电子测量时,常把电压表的“-”端接机壳,而“+”端依次接触各节点,所测量的电压表读数分别是各节点的电位值。

电路分析时,一般是选择多条导线的汇集点作为“地”,并用符号“ $\perp$ ”表示。如在图 1-3a) 中,常选取 b 作为参考点。这样,电路可画成如图 1-3c)、d) 所示的简化形式。图中不再画出整个电源,而代之为

电源的电位值(如 $+U_1$ 或 $-U_2$),可正可负,其他端标注的分别是各点的电位。注意,图 1-3d) 中的 a 点处是断路的,表示的是电位端,而不是电源端。

五、电阻的串联与并联

(一) 电阻串联分压

将若干个电阻元件,顺序地连接成一条无分支的电路,称为串联电阻电路。如图 1-4 所示。

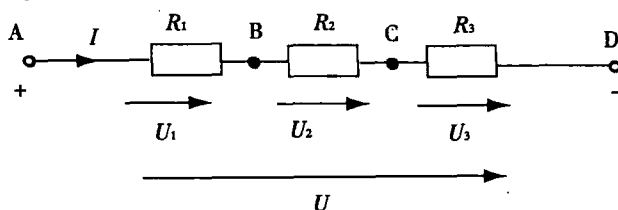


图 1-4 电阻的串联

串联电路的基本特点是:

1. 串联电路中流过各电阻的是同一电流 I , 即 $I = I_1 = I_2 = I_3$
2. 串联各元件的电压降之和, 等于串联电路总的电压降 U , 即 $U = U_1 + U_2 + U_3$
3. 串联电路的等效电阻(总电阻) 等于各串联电阻之和, 即 $R = R_1 + R_2 + R_3$
4. 串联电路中各个电阻两端的电压跟它的阻值成正比, 即 $U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$
5. 串联电路中各个电阻消耗的功率跟它的阻值成正比, 即 $P_1 : P_2 : P_3 = R_1 : R_2 : R_3$

在实际工作中,电阻串联应用的十分广泛。例如:将电阻串联后可获得较大的阻值;利用串联电阻构成分压器后可使一个电源供应几种不同的电压或从信号源中取出一定数值的电压;利用串联电阻的分压作用,可将额定电压较低的用电器接到高电压的电路中工作;在电工测量中,利用串联电阻的方法可以扩大电压表的量程等。

(二) 电阻并联分流

若将几个电阻元件都接在两个共同端点之间,这种连接方式称为并联。如图 1-5 所示的电路是由三个电阻并联组成。

并联的基本特点是:

1. 并联电路中各个电阻上的电压都相等,且等于电路两端的总电压,即 $U = U_1 = U_2 = U_3$
2. 并联电路中的总电流等于各个电阻中电流之和,即 $I = I_1 + I_2 + I_3$
3. 并联电路的等效电阻(总电阻) 的倒数等于各并联电阻倒数之和,若有三个电阻并联,即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \text{或} \quad R = R_1 // R_2 // R_3$$

4. 并联电路中各支路的电流同各个支路的电阻成反比。
5. 并联电路中各个电阻消耗的功率跟它的阻值成反比。

为了书写方便,常用“//”表示并联关系。例: R_1 与 R_2 并联记为 $R_1 // R_2$ 。

电阻并联相当于扩大了电阻的截面积,在实际工作中的应用十分广泛。例如:并联大电阻可获得较小的阻值;将工作电压相同的负载并联使用,可使其工作互不影响;在电工测量中,用并联电阻的方法可以扩大电流表的量程等。

在一个电路中,若既有电阻的串联,又有电阻的并联,则这种电路称为电阻的混联电路。对于电阻的混联电路,可以根据电阻串、并联的特点,通过等效概念逐步化简,最后化简为一个等效电阻电路。

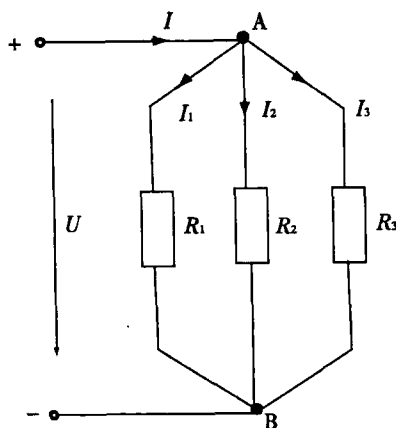


图 1-5 电阻的并联

六、电路的基本定律

(一) 复杂电路

单一回路或通过电阻的串、并联可以简化成单一回路的电路称为简单电路。前面我们讨论的电路都是简单电路。

不能用电阻串、并联的方法化简成单一回路的电路称为复杂电路,如图 1-6 所示。解复杂电路,只掌握欧姆定律是不够的,还必须掌握分析电路的其他方法。基尔霍夫定律既适用于简单电路,又适宜于复杂电路,是电路分析、计算最常用的一个定律。

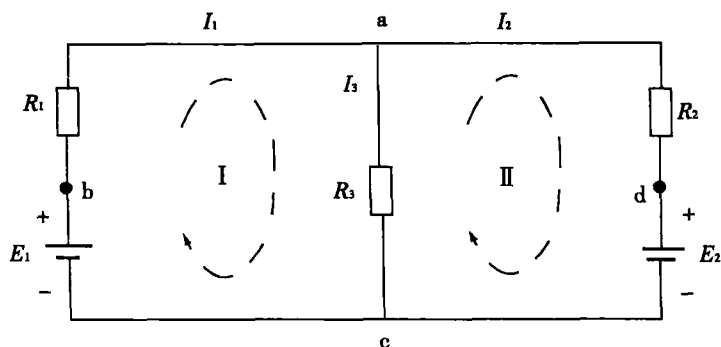


图 1-6 电路举例

电路中的常用术语及概念:

支路 由一个或多个元件串联组成的一条没有分岔的电路称为支路。含有电源元件的支路称为有源支路,不含电源元件的支路称为无源支路。一条支路流过一个电流,称为支路电流。在图 1-6 中共有 3 条支路,其中 abc 和 adc 为有源支路,支路电流分别为 I_1 和 I_2 , ac 为无源支路,支路电流为 I_3 。

节点 电路中 3 条或 3 条以上支路的连接点,称为节点。图 1-6 中共有两个节点,分别是 a 节点和 c 节点,而 b 点和 d 点都不是节点。从图 1-6 还可看出,每一条支路都是连接在两个节点之间的。两个节点之间的电压,称为节点电压。

回路 在电路中由一条或多条支路所组成的任一闭合路径,称为回路。在图 1-6 中共有 3 条回路,分别 $acba$ 、 $adca$ 和 $adcba$ 。任一回路可列出一个电压方程,但并非所有回路列出的方程都是独立的电压方程。

网孔 电路中无其他支路穿过的回路称为网孔。在图 1-6 中共有两个网孔, 分别是 $acba$ (网孔 I) 和 $adca$ (网孔 II)。若将整个电路看成是一张网, 则电路的网孔就是从这张网上直观看到的网洞。每个网孔所列出的电压方程, 均为独立方程, 故网孔也称为独立回路。

(二) 欧姆定律

在简单电路中, 电流的大小可以运用欧姆定律来计算, 即导体中的电流 I 与加在导体两端的电压 U 成正比, 与导体的电阻 R 成反比。欧姆定律通常分为以下两种形式。

1. 一段电阻电路的欧姆定律

如图 1-7a) 所示为一段电阻电路, 电路中不含电动势, 仅有电阻, 故称为一段电阻电路。设图中 U 与 I 正方向一致, 则欧姆定律可表示为

$$I = \frac{U}{R}$$

2. 全电路欧姆定律

如图 1-7b) 为简单闭合电路, 具有电动势 E 、内电阻 R_0 的电源与外电路接通后, 全电路中就有电流 I 通过; 外电路的电阻为 R , 则有全电路的欧姆定律可表示为

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

上式也可写成如下形式: $U = E - R_0 I$

式中 $U = RI$, 是外电路的端电压, 简称路端电压。若忽略连接导线的电阻, R 只是负载的电阻, 则 U 就是负载的端电压。

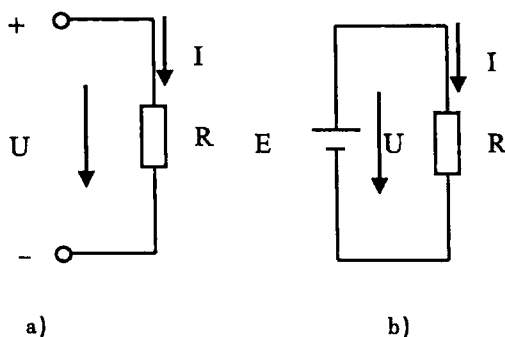


图 1-7 简单电路

a) 一段电阻电路 b) 简单闭合电路

(三) 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是研究电路节点电流和回路电压的约束关系的普遍规律, 包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。

1. 基尔霍夫电流定律 (KCL): 电路中任一节点, 流入该节点的电流和等于流出该节点的电流和。

即

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$$

基尔霍夫电流定律是由电流的连续性原理推出的, 即在电路的任一节点上, 不可能发生电荷的积累和间断。

根据基尔霍夫电流定律, 可列出任意一个节点的电流方程。在列节点电流方程时, 首先要标定电流方向, 其原则是: 对已知电流, 按实际方向在图中标定, 对未知电流可任意标定。标好各支路电流方向后, 根

据基尔霍夫电流定律列节点电流方程,计算出电流值。若电流值为正,表示该电流的实际方向与标定方向相同;若电流值为负,表示该电流的实际方向与假定方向相反。

例 1-2 在图 1-8 所示电桥电路中,已知 $I_1 = 25\text{mA}$, $I_3 = 15\text{mA}$, $I_4 = 12\text{mA}$,求其余各电阻中的电流。

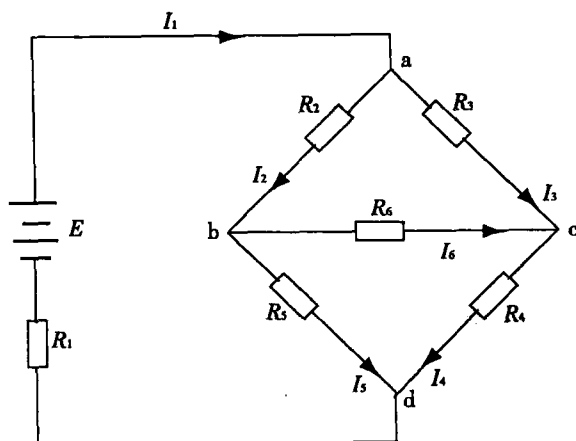


图 1-8 例 1-2 图

解:设未知电流, I_2 、 I_5 和 I_6 的方向如图 1-8 所示。根据基尔霍夫定律列节点电流方程。

$$\text{节点 } a: \quad I_1 = I_2 + I_3$$

$$\text{节点 } c: \quad I_4 = I_5 + I_6$$

$$\text{节点 } b: \quad I_2 = I_5 + I_6$$

$$I_2 = I_1 - I_3 = 25 - 16 = 9(\text{mA})$$

$$\text{求得:} \quad I_6 = I_4 - I_3 = 12 - 16 = -4(\text{mA})$$

$$I_5 = I_2 - I_6 = 9 - (-4) = 13(\text{mA})$$

其中 I_6 的值是负的,表示 I_6 的实际方向与假设的方向相反。

2. 基尔霍夫电压定律(KVL):

基尔霍夫第二定律又称回路电压定律。它的内容是:在任意回路中,电动势的代数和恒等于各电阻上电压降的代数和,即

$$\sum E = \sum U$$

根据这一定律所列的方程式叫回路电压方程式。在列方程前首先要确定电动势及电压降的正负号。一般方法是:先在图中选择回路的绕行方向(顺时针或逆时针),然后根据回路绕行方向确定电动势和电压降的正负方向。其原则是:当电动势的方向与回路的绕行方向一致时,该电动势为正号,反之取负号;当电阻中电流的方向与回路的绕行方向一致时其电阻的电压降为正号,反之取负号。

例 1-3 在图 1-9 的电路中,已知 $R_1 = 20\Omega$, $R_2 = 5\Omega$, $R_3 = 6\Omega$, $E_1 = 140\text{V}$, $E_2 = 90\text{V}$,求各支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 ,并验证电源输出的电功率等于各电阻上消耗的电功率之和。

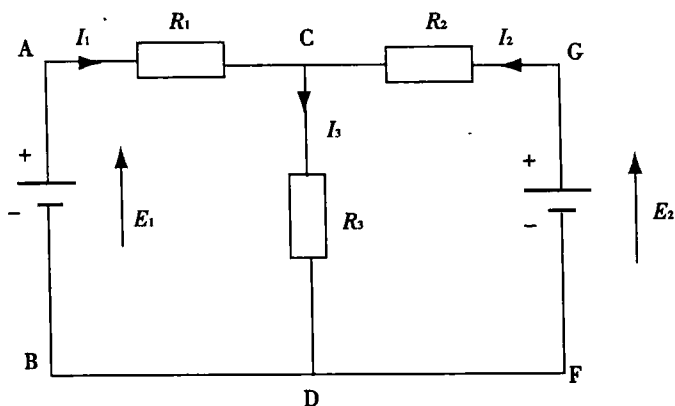


图 1-9 复杂电路

解:在图 1-9 电路中有三条支路和两个节点。

(1) 先假定各支路电流的正方向如图所示。

(2) 根据 KCL 列出节点电流方程,由节点 C 得出

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

(3) 根据 KVL 可列出两个回路的电压方程,

$$\text{沿回路 ACDBA 得出} \quad E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3$$

$$\text{沿回路 GCDFG 得出} \quad E_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3$$

$$(4) \text{解方程组得} \quad I_1 = 4A, I_2 = 6A, I_3 = 10A$$

(5) 为了验证结果正确与否,可根据 KVL 列出以前尚未列过的回路方程,将计算结果代入这个新的回路方程;若方程式满足,则说明计算结果无误。现本例题中取新回路 ACGFDBA,

$$\text{即} \quad E_1 - E_2 = 20I_1 - 5I_2$$

$$\text{将计算结果代入} \quad 140 - 90 = 20 \times 4 - 5 \times 6$$

$$50(V) = 50(V)$$

验证结果无误。

(6) 验证功率平衡:

$$\text{电源 } E_1 \text{ 输出的功率为} \quad P_1 = E_1 I_1 = 140 \times 4 = 560W$$

$$\text{电源 } E_2 \text{ 输出的功率为} \quad P_2 = E_2 I_2 = 90 \times 6 = 540W$$

$$\text{电源输出的总功率为} \quad P_s = P_1 + P_2 = 560 + 540 = 1100W$$

$$R_1 \text{ 消耗的功率为} \quad P_{R1} = R_1 I_1^2 = 20 \times 4^2 = 320W$$

$$R_2 \text{ 消耗的功率为} \quad P_{R2} = R_2 I_2^2 = 5 \times 6^2 = 180W$$

$$R_3 \text{ 消耗的功率为} \quad P_{R3} = R_3 I_3^2 = 6 \times 10^2 = 600W$$

$$\text{三个电阻消耗的总功率为} \quad P = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = 320 + 180 + 600 = 1100W$$

计算结果表明电源输出的总功率等于所有电阻上消耗的总功率。

(四) 基尔霍夫定律的应用

基尔霍夫定律是电路分析和计算的重要依据。前面所介绍的各种电路电压及电流关系,都可以应用 KCL 和 KVL 加以求解;就是我们所熟悉的欧姆定律,实际上也是 KVL 的一种典型应用。基尔霍夫定律不仅

适用于求解简单电路,也可用于分析和计算复杂电路。下面介绍由基尔霍夫定律演变出来的电路基本分析方法——支路电流法。

1. 支路电流法

在复杂电路中,应用 KCL 和 KVL 分别对节点电流和回路电压列出所需要的方程组,并求解出各支路电流的方法,称为支路电流法。具体步骤如下:

- (1) 在电路图中标出各支路电流及电压(电动势)的参考方向。
- (2) 根据 KCL 列出节点电流方程组。若电路有 n 个节点,可建立 $(n-1)$ 个独立方程式。
- (3) 根据 KVL 列出回路的电压方程组。若电路有 b 个网孔,则可建立 b 个独立方程式。
- (4) 独立 $(n-1)$ 个电流方程式和 b 个电压方程式,就可以求解各支路电流。
- (5) 根据欧姆定律或功率计算公式,可求解各支路电压和电路功率。

例 1-4 在图 1-10 电路中,已知 $E_1 = 90V, E_2 = 40V, R_1 = 10\Omega, R_2 = 20\Omega, R_3 = 30\Omega$ 。试求(1) 支路电流 I_1, I_2 和 I_3 ; (2) 检验电路中的功率平衡关系。

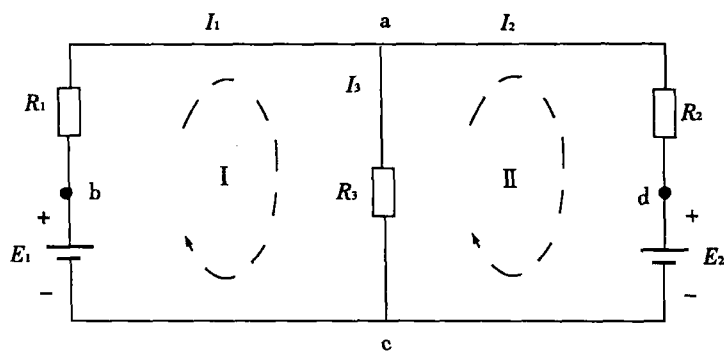


图 1-10 例 1-4 图

解:(1) 先求解各支路电流

由 KCL 和 KVL 可列出 a 节点的电流方程和 I, II 网孔的电压方程,并联立成方程组为

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ I_1 R_1 + I_3 R_3 = E_1 \\ I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_2 \end{cases}$$

将已知数据代入上述方程组,则为

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ 10I_1 + 30I_3 = 90 \\ 20I_2 + 30I_3 = 40 \end{cases}$$

解之可得

$$I_1 = 3A, I_2 = -1A, I_3 = 2A$$

(2) 再求解电路的功率

各电阻消耗的功率为

$$\begin{aligned} \sum P_R &= P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 \\ &= 3^2 \times 10 + (-1)^2 \times 20 + 2^2 \times 30 = 230W \end{aligned}$$