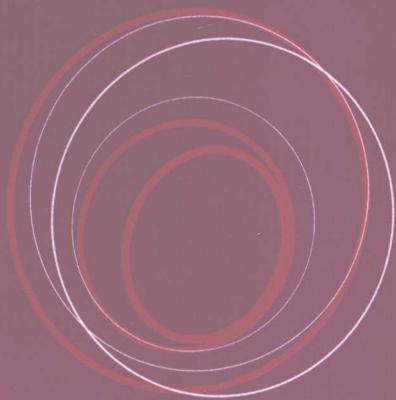


工业维修电工

通用培训教材

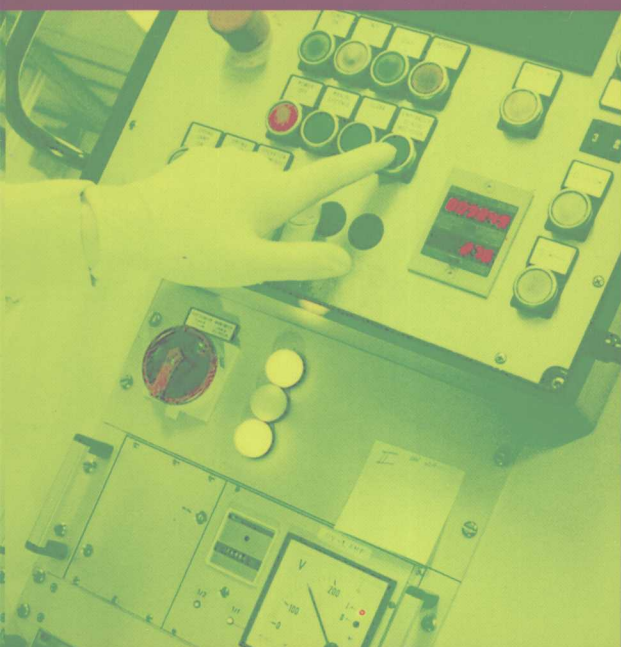
曹祥 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn





工业维修电工

通用培训教材

上架建议：电工技术

ISBN 978-7-5083-7020-0



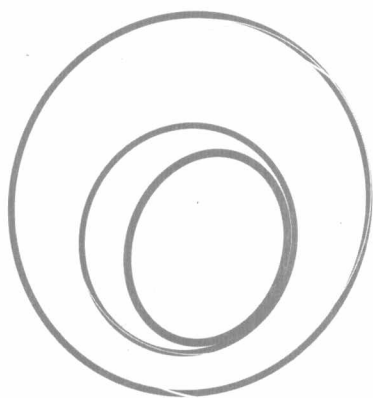
9 787508 370200 >

定价：29.00元

工业维修电工

通用培训教材

曹祥 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

随着工业企业中的现代化设备的机电一体化、自动化水平越来越高,它们的故障诊断和维修也越来越繁杂和困难,为使维修电工提高对设备故障诊断和维修的技术水平,我们特编写本书。

本书详细介绍了常用电气设备在实际应用中的工作特性、使用和维修要点,全书共11章,主要包括电学基础知识、电子元器件基础与检测、电子电路详解与应用、低压电器及其修理、变压器与电动机、常用电气控制电路、可编程控制器应用技术、变频器应用技术、传感器应用技术、典型电气控制电路分析与维修实例、维修电工常用工具与仪表。

本书内容丰富、通俗易懂,可作为工业维修电工的通用培训教材,也可供高职高专电工电子、电气类专业做教材使用,也适用于各行业的一线维修电工自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

工业维修电工通用培训教材/曹祥主编. —北京:中国电力出版社,2008

ISBN 978-7-5083-7020-0

I. 工… II. 曹… III. 电工-维修-技术培训-教材
IV. TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 052907 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

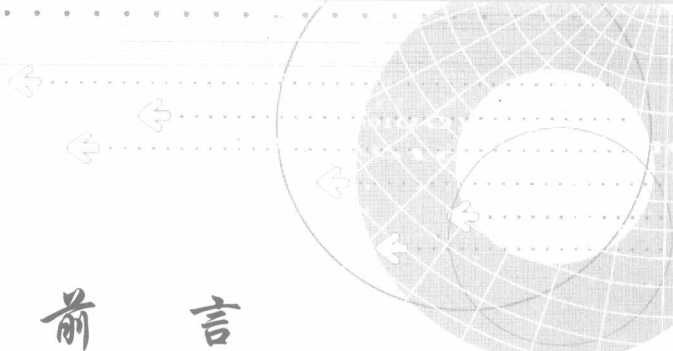
*

2008年8月第一版 2008年8月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 17.75印张 429千字
印数0001—3000册 定价29.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
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

工业维修电工通用培训教材

随着科学技术的发展,工业企业中的现代化设备越来越多,电器设备已经不再是简单的开关或闸刀电路,而是从简单的控制电路发展到传感器控制电路,从简单的位式控制电路发展到节能控制的变频器电路,从简单的按钮控制电路发展到微机控制电路。也就是新型电器设备,已经集强电控制与弱电电子控制技术于一体,它们的故障诊断和维修就显得较为繁杂和困难,从而对维修电工的技能要求也越来越高。

为使维修电工能掌握多种电气设备的工作原理及操作技能,从而能够正确地在现场进行操作,提高对设备故障诊断和维修的技术水平,减少相应的维修时间,我们特编写本书。在编写过程中特别注重通用性,降低理论难度,以实际应用为原则,使读者掌握必备的基本知识和操作技能。

本书从基础理论开始,循序渐进地讲解了电学基础知识、电子元器件基础与检测、电子电路详解与应用、低压电器及其修理、变压器与电动机、常用电气控制电路、可编程控制器应用技术、变频器应用技术、传感器应用技术,并讲解了典型电气控制电路分析与维修实例和维修电工常用工具与仪表。

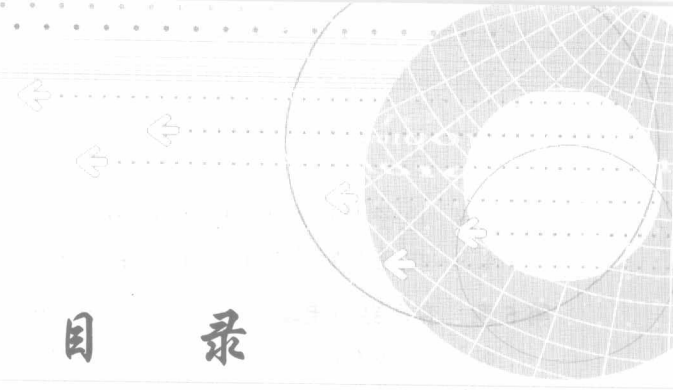
本书由曹祥主编,徐艳凤副主编,张校珩、赵维洲、张伯虎、王桂英、曹振宇、孔祥涛、赵学超、张亚坤参编。

本书内容丰富、通俗易懂,可作为工业维修电工的通用培训教材,也可供高职高专电工电子、电气类专业做教材使用,也适用于各行业的一线维修电工自学使用。

由于编者水平所限,书中难免有值得研讨的地方,殷切希望广大读者来信批评指正,Email: wang_weihua@cepp.com.cn。

编者

2008年6月



目 录

工业维修电工通用培训教材

前言

第1章 电学基础知识	1
1.1 电路的基本概念与基本定律	1
1.2 电路的分析方法	6
1.3 电气设备常用文字符号及图形符号	8
第2章 电子元器件基础与检测	13
2.1 电阻类器件	13
2.2 电容类器件	19
2.3 电感类器件	24
2.4 二极管	26
2.5 晶体三极管	31
2.6 晶闸管	35
2.7 场效应管	39
2.8 光电耦合器件	43
2.9 显示器件	45
第3章 电子电路详解与应用	50
3.1 整流电路	50
3.2 滤波电路	52
3.3 稳压电源	53
3.4 放大电路	56
3.5 集成运放电路	60
3.6 数字电路	62
第4章 低压电器及其修理	74
4.1 低压电器的分类及型号类组代号	74
4.2 熔断器	75
4.3 低压开关	79
4.4 断路器	84
4.5 接触器	86
4.6 继电器	94
4.7 常用控制电器	100

4.8	电子类开关及继电器	104
4.9	电流互感器与电压互感器	106
第5章	变压器与电动机	108
5.1	变压器	108
5.2	电动机	115
第6章	常用电气控制电路	133
6.1	电动机的制动原理	133
6.2	电动机的调速原理	135
6.3	三相异步电动机的控制电路	136
6.4	同步电动机的启动和制动	145
6.5	直流电动机的控制	147
6.6	自动控制电机调速系统	150
第7章	可编程控制器应用技术	157
7.1	可编程控制器的发展与应用	157
7.2	可编程控制器的组成和工作原理	159
7.3	三菱 FX 可编程控制器	162
7.4	PLC 的编程语言及编程器	167
7.5	PLC 基本指令及应用	168
7.6	梯形图程序设计	177
7.7	需注意的问题及减少 I/O 点的方法	181
第8章	变频器应用技术	186
8.1	通用变频器	186
8.2	通用变频器的种类	193
8.3	通用变频器的维护保养	196
第9章	传感器应用技术	205
9.1	分类及测量电路	205
9.2	气体传感器	205
9.3	磁性传感器	208
9.4	力敏传感器	213
9.5	温度传感器	214
9.6	光电式传感器	217
第10章	典型电气控制电路分析与维修实例	219
10.1	钻床电气控制电路	219
10.2	磨床电气控制电路	224
10.3	车床电气控制电路	228
10.4	数控机床设备	234
10.5	电梯电气控制电路	242

10.6	机床的 PLC 控制电路	251
10.7	变频器控制电路.....	260
第 11 章	维修电工常用工具与仪表	269
11.1	常用工具.....	269
11.2	常用仪表.....	270
参考文献		275

1.1 电路的基本概念与基本定律

本节从电路的基本物理量及其单位出发,介绍电路的基本定律、基本知识、电路的工作状态,电位的计算,以及电压和电流的正方向等,直流电路中介绍的这些内容都是分析与计算电路的基础,原则上也适用于正弦交流电路及其他各种线性电路。

1.1.1 基本概念

1. 电

电是能量的一种形式。一切物体都由大量的原子构成,而原子则由带正电的原子核和带负电的电子组成,在正常情况下,同一个原子中的正负电量相等。因此物体可认为是不带电的或中性的。当物体由于某种原因(如摩擦、受热、化学变化等)而失去一部分电子时,就带正电;如果获得额外电子时,就带负电。

2. 电荷

物体处于带电状态时,则称物体带有电荷,电荷有正电荷和负电荷两大类。正、负电荷具有相互吸引的性质,物体带有电荷多少的物理量称为电荷量或电量。电荷的物理量符号为 Q 或 q , 其在国际单位制(SI)中,电荷的单位为库仑(C)。

3. 电场

电场指传递电荷与电荷相互作用的一种物理量。电荷周围存在电场,同时电场对处于其中的其他电荷又有力的作用。静止电荷周围的电场,称为静电场。运动电荷周围除了存在电场外,还出现磁场。实际上,电场和磁场是相互依存的统一电磁场的两个方面。

4. 电流

电荷在电场作用下作有规则的定向运动,称为电流。电流在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量。如果电流用 I 表示,电荷量用 q 表示,时间用 T 表示,则得 $I = q/T$, 式中 q 为时间 T 内通过导体横截面 S 的电荷量。

金属体中的电流方向如图 1-1 所示,对于随时间变化的电流来说,则电流为 $i = dq/dT$, 式中表示电流是随时间而变化的,是时间的函数,称为变化电流,用小写字母 i 表示。当电流的大小和方向都不随时间变化时,称为直流电流,用大写字母 I 表示。

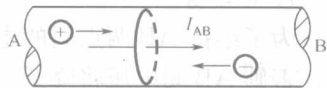


图 1-1 金属导体中的电流方向

在国际单位制(SI)中,电流的单位为安培,用大写字母 A 表示。当 1 秒(s)内通过导体横截面的电荷量为 1 库仑(C)时,则电流为 1 安培(A)。在电子技术中经常遇到较小的电流,是以毫安(mA)或微安(μA)为单位来计算的。它们之间的关系是 $1kA = 10^3 A$, $1mA = 10^{-3} A$, $1\mu A = 10^{-3} mA = 10^{-6} A$ 。

5. 电流的正方向

通常规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的实际方向。在交流电路中, 电流的实际方向随时间不断地反复改变, 在电路图上也无法用一个箭标来表示它的实际方向。为此, 为了分析电路方便, 我们可任意选定某一方向作为电流的正方向, 或称为参考方向。

电路说明: 当电流的正方向与其实际方向一致时, 则电流为正值, 如图 1-2(a)所示; 当电流的正方向与其实际方向相反时, 则电流为负值, 如图 1-2(b)所示。因此, 在正方向选定之后, 电流值的正与负, 就决定了电流的实际方向。本书中电路图上所标的电流方向都是正方向(参考方向)。

6. 电压

在导体内电荷的定向运动形成电流, 它是在电场力的作用下实现的。为了衡量电场力对电荷做功的能力, 引入电压这一物理量。如图 1-3 所示电路中, A、B 两点间的电压 U_{AB} 在数值上等于电场力把单位正电荷从 A 点移动到 B 点所做的功。在电场内两点间的电压也常称为两点间的电位差, 即电压 $U_{AB} = U_A - U_B$ 式中 U_A 为 A 点的电位, U_B 为 B 点的电位。可见, 电场中某点的电位就是该点到参考点间的电压。

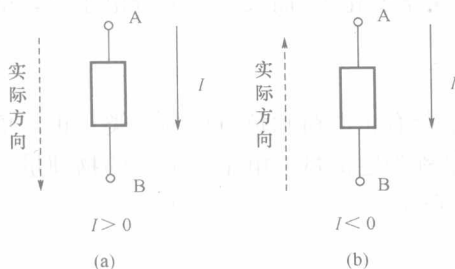


图 1-2 电流的正方向

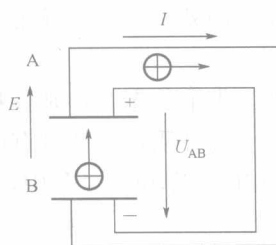


图 1-3 电荷的运动回路

正电荷在电场力推动下, 从高电位向低电位移动。则图 1-3 中 A 点称为高电位, 用“+”号表示。而 B 点称为低电位, 用“-”号表示。电压的方向是从高电位端指向低电位端, 即为电位降低的方向。和电流一样, 在电路图上所标的电压的方向也都是正方向。也用箭标或双下标表示, 还可用“+”、“-”表示。在直流电路中, 当电压的实际方向已知时, 为了简便, 常以电压的实际方向作为正方向。在国际单位制(SI)中, 电压的单位为伏特, 简称为伏, 用字母 V 表示。在测量中也可用千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μ V)表示, 它们之间的关系是 $1\text{kV} = 10^3\text{V}$, $1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$, $1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$ 。

7. 电动势

为了维持 AB 两点间的电压保持恒定, 则必须使 B 端增加的正电荷经过中一路流向 A 端, 否则 AB 间电压将降低。但由于电场力的作用, 电极 B 端上的正电荷不能逆电场而上到达 A 端。电源力将单位正电荷流入电源负极端 B 经过电源内部移至正极端 A, 克服电场力所做的功称为电源的电动势, 用字母 E 表示。

按照电动势的定义, 其单位也是伏特(V)。必须注意, 电动势的实际方向由负极指向正极。因此, 电动势的实际方向与电压的实际方向相反。电动势与电压是两个不同的概念。它们既可以用正负极之间的电动势表示, 也可以用其间的电压表示, 但要注意两者之间的区

别。在图 1-3 中电动势 E 与电压 U_{AB} 表示同一电源, 即 $E=U_{AB}$ 。在以后的叙述中, 常用一个与电源的电动势大小相等、方向相反的是电压等效表示电动势对外电路的作用效果。

8. 功和功率

如果在电场中某两点 A 和 B 之间的电压为 U , 当电荷 q 受到电场力的作用, 在时间 T 内从 A 点移到 B 点, 那么电场力做的功为 $W=Uq$ 即 $W=UIT$ 。电场做功的结果是消耗了电能。单位时间内消耗的电能称为电功率(或称功率), $P=W/T=UI$ 。

在国际单位制(SI)中, 功率的单位是瓦特, 简称瓦, 用 W 表示。如果电压的单位为伏(V), 电流的单位为安(A), 则功率的单位为瓦(W) $1W=1V \cdot 1A$ 。工程上, 较大的功率常用千瓦(kW)和兆瓦(MW)作单位, 较小的功率也用毫瓦(mW)和微瓦(μW)表示。它们之间的换算关系为 $1MW=10^3kW=10^6W$; $1W=10^3mW=10^6\mu W$ 功的单位是焦耳, 用 J 表示 $1J=1W \cdot 1s$ 。电功有时也用千瓦时($kW \cdot h$)作为单位, 1 千瓦时俗称 1 度电, $1kW \cdot h=1kW \times 1h=3.6 \times 10^6J$, 我们常说用了多少“度”电, 就是指消耗了多少千瓦小时的电能。

1.1.2 电路的组成和作用

1. 电路的组成

某些电气设备或器件按一定方式连接起来, 构成电流的通路, 称为电路。由下列三部分组成: 电源、中间环节和负载。基本构成如图 1-4 所示。

2. 电路各部分的作用

电路总的作用是实现电能的传输和转换、传递和处理电信号。

在电力系统中, 发电机组把热能、水能、原子能转换成电能, 通过变压器、输电线路输送和分配到用户, 用户则根据实际需要又把电能转换成机械能、光能和热能等。电路各部分的作用如下:

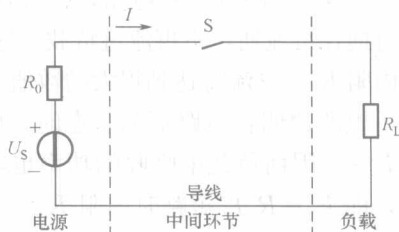


图 1-4 电路的基本构成

(1) 电源。电源是一种将非电能转换成电能的装置。常用的电源有干电池、蓄电池和发电机等。

(2) 中间环节。中间环节起传输、分配和控制电能的作用。中间环节的基本构成为开关和导线。

由于连接导线的电阻很小, 所以电路分析中常把连接导线的电阻视为零。中间环节一般还有保护和测量设备。对于一个实际电路来说, 中间环节可能是相当复杂的, 它可能是由各种元器件或设备组成的网络系统。

(3) 负载。负载是取用电能的设备, 可将电能转换成其他形式的能量。

电路说明: 常见的负载有电灯、电动机、电炉、扬声器等。电源、中间环节和负载是组成一个完整电路的三个最基本的部分。

1.1.3 电路的三种工作状态和电位

1. 有载工作状态

定义: 图 1-4 所示电路, 当开关 S 闭合时, 电路接通, 有电流通过负载 R_L , 这种状态称为有载工作状态, 电流为 $I=U_s/(R_0+R_L)$, 负载两端电压为 $U=R_L I$, 整理可得: $U=U_s-R_0 I$, 则 $U_s=U+R_0 I$, 两边同乘以 I , 则得功率平衡方程式: $U_s I=UI+I^2 R_0$ 或 $P_s=P+P_0$ 。

电路说明: 电路在有载工作状态下, 电压源 U_s 产生功率等于电源内阻 R_0 上损耗的功

率与负载 R_L 消耗的功率之和, 在图 1-4 中, 当负载电阻减小时, 负载电流将随之增加, 电源输出功率也将增加, 若不能加以限制, 则电源将因电流过大而被烧毁。对于电气设备或电路元件也同样存在类似情况。所以在使用时, 都要明确规定使用数据, 这些数据就是该设备或元件的额定值。电气设备工作在额定情况下叫做额定工作状态。

为了便于用户使用, 生产厂家在电气设备和元器件的铭牌或外壳上均明确标出了其额定数据——额定电压、额定电流和额定功率, 分别用 U_N 、 I_N 和 P_N 表示。例如, 一台直流发电机的铭牌上标有 28V、160A、4.5kW。这些数据就是它的额定值。在额定电压下工作, 负载电流小于额定值时称为欠载; 负载电流等于额定值时为满载; 负载电流大于额定值时, 称为过载。一般情况下, 应按照规定值来使用各种电气设备。

2. 开路状态

定义: 图 1-4 所示电路, 开关 S 未闭合, 或未接负载 R_L 时, 电路断开, 此时电路中输出电流为零, 电路的这种状态叫做开路状态。

电路说明: 这时电源的端电压 U_L 在数值上等于电压源的电压 U_S , 这个电压叫做开路电压, 用 U_{oc} 表示。开路状态电路的主要特点为 $I=0$, $U_L=U_{oc}=U_S$, $P=IR_L=0$ 。

3. 短路状态

定义: 图 1-4 所示电路, 当负载电阻 R_L 逐渐减小到零时, 或者负载两端发生短路时, 电流有捷径可流通, 不再流过负载, 这种状态称为短路状态。在此状态下, 电路中电流只流过电源内阻 R_0 , 电流将达到很大的数值, 这个电流叫做短路电流, 用 I_{sc} 表示, 即 $I_{sc}=U_S/R_0$ 。

电路说明: 电路短路状态时, 电源内阻的电压 $U_0=R_0 I_{sc}=U_S$ 负载上的端电压 $U=U_S-R_0 I_{sc}=0$ 因而负载上吸收的功率也等于零, 即 $P=0$ 。所以电源产生的功率全部消耗在内阻上, 即 $P_0=R_0 I_{sc}^2$ 短路时内阻 R_0 一般很小, 可知 I_{sc} 将很大。如果这种状态不能迅速排除, 短路电流经过内阻产生的热量会烧坏电源。电源短路是一种严重事故, 应尽量避免。为了防止短路引起大电流损坏电源的事故出现, 通常在电路中安装熔断器或自动保护装置。一旦发生短路故障时, 能迅速切断电路, 使之处于开路状态, 以保护电气设备和供电线路。

4. 电路中的电位

定义: 在电子线路分析中, 为了方便而又准确地判断晶体管的工作状态, 普遍使用电位的概念来讨论问题, 而较少使用电压。为了求得电路中各点的电位值, 必须在电路中选择一个参考点, 而且规定参考点的电位为零, 这个参考点常称为零电位点。

电路说明: 原则上零电位是可以任意指定的, 在实际工程中, 通常指定大地为零电位参考点。但是, 许多电子仪器设备的外壳一般是不与大地连接的。为了分析方便, 我们把电路中很多元件汇集在一起的一个公共点假设为参考点。用符号 “ $\perp$ ” 表示。而接地点则用符号

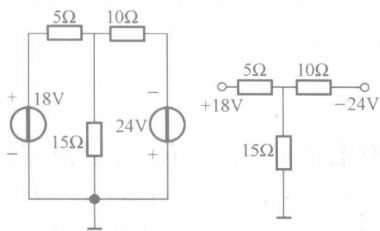


图 1-5 具有参考点的电路图

“ $\equiv$ ” 表示。电路中的参考点选定以后, 电路中某点的电位高于参考点的电位为正; 低于参考点的电位为负。电路中各点的电位一旦确定以后, 就可以求得任意两点之间的电压, 在电子技术中, 引入电位概念以后, 习惯上常常将图 1-5 左侧所示的电路图画为图 1-5 右侧所示的电路, 不画电源, 各端标以电位值。

由上面的分析可知:

(1) 电路中某一点的电位等于该点与参考点之间的

电压。

(2) 对于同一参考点, 电路中任一点的电位为一定值, 而与所选路径无关。

(3) 电路中各点的电位随着参考点的改变而改变, 但电路中任意两点间的电压是不会变化的。

(4) 在计算电路中各点电位时, 参考点的选择是任意的, 但在一个电路中只能选择一个参考点。

1.1.4 电路的基本定律

1. 支路

电路中含有电路元件的分支称为支路, 同一条支路中通过的电流为同一电流。在图 1-10 中有三条支路, 如 acb 支路、adb 支路和 R_L 支路。在支路 acb 和支路 adb 中含有电源, 这些支路称为有源支路, 而电阻 R_L 支路称为无源支路。

2. 节点

在电路中, 三条或三条以上支路的连接点称为节点。在图 1-6 中有两个节点 a 和 b, 而 c 和 d 则不被看做节点。

3. 回路

电路中任一闭合路径称为回路。在图 1-6 电路中共有三个回路, 即 acbda、adb R_L a、acb R_L a。

4. 欧姆定律

流过电阻 R 的电流与电阻两端的电压成正比, 与电阻 R 成反比, 这就是欧姆定律。它是分析计算电路的基本定律之一, 欧姆定律可表示为: $I=U/R$ 。

当电路两端电压为 1 伏(V), 流过的电流为 1 安(A)时, 则这条支路的电阻为 1 欧(Ω)。在实际工作中还常用到千欧(k Ω)或兆欧(M Ω), 它们之间的关系为: $1\text{k}\Omega=10^3\Omega$, $1\text{M}\Omega=10^3\text{k}\Omega=10^6\Omega$, 在电压电流参考方向一致时, 电阻吸收或消耗的功率为 $P=UI=RI^2=U^2/R$ 。

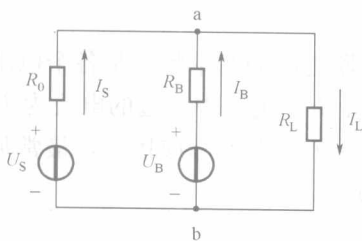


图 1-7 常用电路

5. 基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律是用来确定一个节点上各支路电流之间关系的。由于电流的连续性, 在电路任何点(包括节点在内)的截面上, 均不能堆积电荷。因此, 基尔霍夫电流定律的具体内容如下: 在任一瞬间流入某节点的电流和等于从该节点流出的电流之和, 即 $\sum I_{\text{in}} = \sum I_{\text{out}}$ 。

如图 1-7 所示, 由节点 a 可以得到 $I_S + I_B = I_L$, 如果规定流入节点的电流为正,

而流出节点的电流为负, 这样基尔霍夫电流定律可写成一般表示式 $\sum I = 0$, 在任一瞬间, 流入或流出节点的电流代数和恒为零。

基尔霍夫电流定律还适用于电路中的任一封闭面。如图 1-8 所示电路, 封闭面围的是一个三角形电路, 它有 A、B、C 三个节点, 应用基尔霍夫电流定律可列出 $I_A = I_{AB} - I_{CA}$, $I_B = I_{BC} - I_{AB}$, $I_C = I_{CA} - I_{BC}$, 三式相加, 便得 $I_A +$

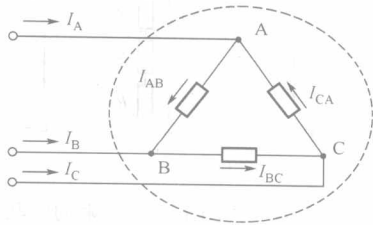


图 1-8 KCL 的推广应用

$$I_B + I_C = 0 \text{ 或 } \Sigma I = 0。$$

6. 基尔霍夫电压定律(KVL)

在任一瞬间, 对于电路中任一回路, 沿任一指定(顺时针或逆时针)方向绕行一周, 各部分电压的代数和恒等于零, 即 $\Sigma U = 0$ 。正负号的确定方法如下: 首先任意规定绕行方向, 各部分电压参考方向与绕行方向一致者取正号, 不一致者取负号。

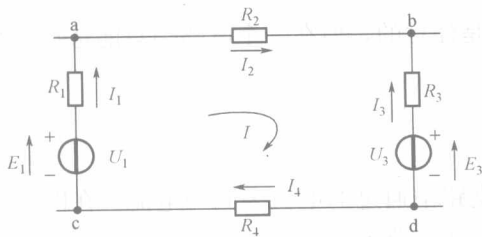


图 1-9 电路中的一个闭合回路

基尔霍夫电压定律常与欧姆定律配合使用。如图 1-9 所示, 当沿回路 abdca 所示的顺时针方向绕行时, 列写 KVL 方程, 因为有 $U_{ab} + U_{bd} + U_{dc} + U_{ca} = 0$, 其中 $U_{ab} = R_2 I_2$, $U_{bd} = -R_3 I_3 + U_3$, $U_{dc} = R_4 I_4$, $U_{ca} = R_1 I_1 - U_1$, 所以 $U_{ab} +$

$$U_{bd} + U_{dc} + U_{ca} = R_2 I_2 - R_3 I_3 + U_3 + R_4 I_4 + R_1 I_1 - U_1 = 0。$$



1.2 电路的分析方法

1.2.1 电阻的串联与并联

1. 电阻的串联

图 1-10(a) 电路中电阻电压分别为 U_1 、 U_2 和 U_3 。那么 AB 端的电压为 $U = U_1 + U_2 + U_3$, 由欧姆定律可知 $U_1 = IR_1$, $U_2 = IR_2$, $U_3 = IR_3$, 所以 $U = I(R_1 + R_2 + R_3) = IR$, 式中 $R = R_1 + R_2 + R_3$ 。

若干个电阻串联时, 它们的等效电阻 R 等于各个串联电阻之和。各个电阻上的电压为 $U_1 = IR_1 = (R_1/R)U$, $U_2 = IR_2 = (R_2/R)U$, $U_3 = IR_3 = (R_3/R)U$, 上式为串联的分压公式。它表明串联电阻上电压的分配与电阻大小成正比。

2. 电阻的并联

图 1-11 是三个电阻的并联电路。由图 1-11 可以看出, 并联电路的基本特点是各个电阻两端的电压相同, 设 R_1 、 R_2 、 R_3 中通过的电流分别为 I_1 、 I_2 、 I_3 , 电路中通过的电流为 I , 其参考方向如图 1-11 所示, 根据基尔霍夫电流定律 $I = I_1 + I_2 + I_3$, 在实际应用中, 最常见的是两个电阻的并联, 它们的等效电阻为 $R = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$ 。

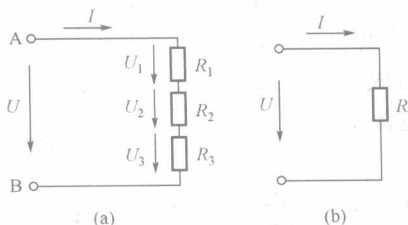


图 1-10 电阻的串联

(a) 串联; (b) 等效电路

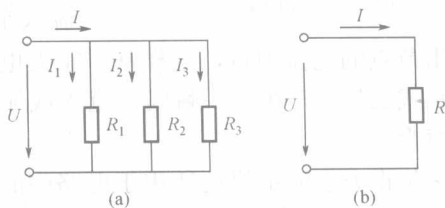


图 1-11 电阻的并联

(a) 并联; (b) 等效电路

由欧姆定律可知 $I_1 = U/R_1$, $I_2 = U/R_2$, $I_3 = U/R_3$, 因此, $I = (1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3)U = U/R$, 其中 $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$, 即并联电路等效电阻 R 的倒数等于各个电阻的倒数之和。电阻并联越多, 等效 R 越小。通过两个并联电阻的电流分别为 $I_1 = U/R_1 = IR/R_1 = IR_2/(R_1 + R_2)$, $I_2 = U/R_2 = IR/R_2 = IR_1/(R_1 + R_2)$ 。

1.2.2 电压源与电流源及其等效变换

1. 电压源

通常一个有源元件的电路模型可用一电压 U_S 和内阻 R_0 的串联组合表示。如图 1-12(a) 虚线框内所示, 源电压 U_S 在数值上等于实际有源元件的开路电压 U_{oc} 。若电源两端接有负载电阻 R_L , 输出的电流为 I , 则电源的端电压为 $U = U_S - IR_0$ 。

当电压源的源电压 U_S 和内阻 R_0 为定值时, 电压源的端电压 U 与负载电流 I 成线性关系, 可以用图 1-12(b) 中的直线表示, 这条直线称为外特性, 也就是电源端电压 U 随输出电流 I 变化的伏安特性曲线。可以看出, 当负载电流 I 增大时, 电压源内阻压降 $\Delta U = U_S - U = IR_0$ 也增大, 电压 U 则随之下降。

如果 $R_0 = 0$, 这时电源的端电压为定值, 即 $U = U_S$, 与负载 R_L 无关, 这样的电源我们称为理想电压源, 又称恒压源, 如图 1-13 所示。

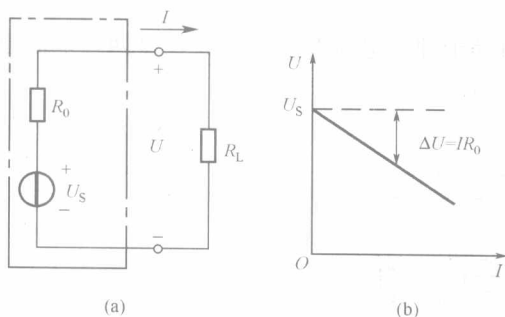


图 1-12 电压源

(a) 电路; (b) 外特性曲线

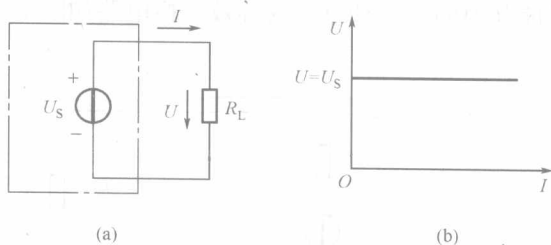


图 1-13 理想电压源

(a) 电路; (b) 外特性曲线

图 1-13(a) 中虚线框内所示为理想电压源的符号, 其外特性是一条平行于 I 轴的直线, 如图 1-13(b) 所示。大功率供电网、干电池、蓄电池、直流稳压电源等, 其内阻一般都很小, 可把它们作为理想的电压源。

2. 电流源

实际电源还可以用图 1-14(a) 所示的另一种电源模型来表示, 由图可得关系式 $I = I_S - U/R_0$, 式中, I_S 为电源的短路电流; I 仍为负载电流; 而 U/R_0 是电源内阻 R_0 中流过的电流。

图 1-14(a) 虚线框是由电流源 I_S 和内阻 R_0 相并联的电源模型。称为电流源。其中电流源的源电流 I_S 在数值上等于电源端口短路电流 I_{sc} 。电流源的电流 I_S 和内阻 R_0 为定值时, 电流源的输出电流 I 与负载端电压 U 成线性关系, 可以用图 1-14(b) 中的直线表示。这条直线称为电流源的外特性曲线。

如果电流源的内阻 $R_0 = \infty$, 这时电源供给负载的电流 I 为恒定值, 即 $I = I_S$, 与负载的大小无关, 这种电流源称为理想电流源, 又称恒流源, 如图 1-15 所示。图 1-15(a) 中虚线框

内所示为理想电流源的符号,其外特性是一条平行于 U 轴的直线,如图 1-15(b)所示。光电池和工作在线性区的三极管都可近似看成理想电流源。

3. 电压源与电流源的等效变换

电压源与电流源的等效变换条件为 $I_S = U_S / R_0$ 或 $U_S = I_S R_0$ 。

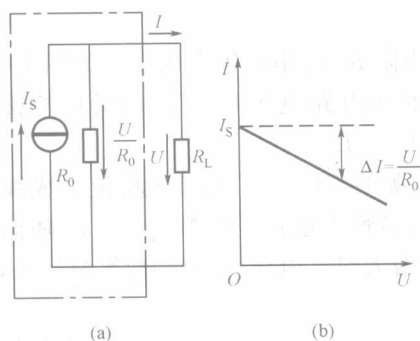


图 1-14 电流源

(a) 电路; (b) 外特性曲线

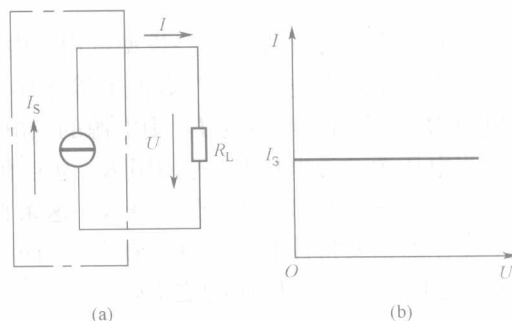


图 1-15 理想电流源

(a) 电路; (b) 外特性曲线

当两者满足等效变换条件,并且电压源的内阻等于理想电流源的内阻时,这两种电源是可能互换的,两种电源的等效互换电路如图 1-16 所示。

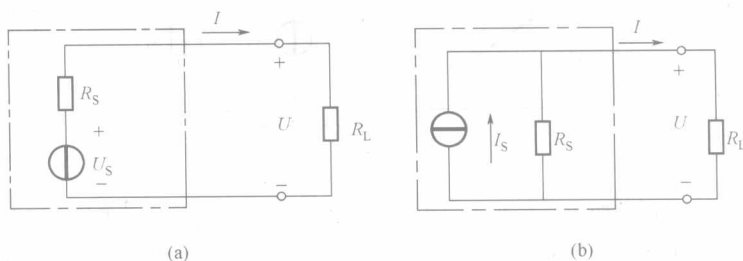


图 1-16 两种电源的等效互换电路

1.3 电气设备常用文字符号及图形符号

1.3.1 电气设备常用文字符号

电气设备文字符号是用于标明电气元件、电气装置和电气设备的名称、状态、功能和特征的一种专门文字。

电气设备文字符号由基本文字符号和辅助文字符号组成。

1. 基本文字符号

基本文字符号分为单字母文字符号和双字母文字符号。

(1) 单字母符号。单字母符号是将各种电气元器件、电气装置和电气设备进行分类并以其英文的第一个字母而命名。例如电阻类用“R”(resistance)表示,变压器类用“T”(transformer)表示等。单字母文字表示电气项目类别表见表 1-1。

表 1-1

单字母文字表示电气项目类别表

字母	电气项目种类	例 如
B	变换器(从非电量到电量或相反)	送话器、拾音器、扬声器、耳机、磁头
C	电容器	可变电容器、预调电容器、极性电容器等
D	二进制逻辑单元、延迟器件、存储器件	数字集成电路和器件、延迟线、双稳态元件、单稳态元件、寄存器
E	杂项、其他元件	发光器件、发热器件
F	保护器件	熔断器、避雷器等
G	电源、发电机、信号源	电池、电源设备、振荡器、石英晶体振荡器
H	信号器件	光指示器、声指示器
K	接触器、继电器	
L	电感器、电抗器	感应线圈、线路陷波器、电抗器等
M	电动机	
N	模拟集成电路	运算放大器、混合模拟/数字器件
P	测量设备、试验设备	指示器件、记录器件、积算测量器件、信号发生器、时钟
Q	电力电路的开关	断路器、隔离开关
R	电阻器	可变电阻器、电位器、变阻器、分流器、热敏电阻等
S	控制电路的开关、选择器	控制开关、按钮、限位开关、选择开关、选择器等
T	变压器	电压、电流互感器
U	调制器、变换器	鉴频器、解调器、变频器、编码器等
V	电真空器件	电子管、晶体管、二极管、显像管等
W	传输通道、波导、天线	导线、电缆、波导偶极天线、拉杆天线等
X	端子、插头、插座	插头和插座、测试塞孔、端子板、焊接端子片、连接片
Y	电气操作的机械装置	制动器、离合器、气阀等

(2) 双字母符号是由两个字母表示的, 第一个字母表示种类, 第二个字母表示其种类的具体细分。例如: 电阻器用“R”表示, 细分到电位器用“RP”表示; 变压器用“T”表示, 细分到控制变压器用“TC”表示等。电气设备常用文字符号见表 1-2。

表 1-2

电气设备常用文字符号

名 称	新 符 号		旧符号	名 称	新 符 号		旧符号	名 称	新 符 号		旧符号
	单字母	双字母			单字母	双字母			单字母	双字母	
发电机	G		F	绕组	W		Q	互感器	T		H
直流发电机	G	GD	ZF	电枢绕组	W	WA	SQ	电流互感器	T	TA	LH
交流发电机	G	GA	JF	定子绕组	W	WS	DQ	电压互感器	T	TV	YH
同步发电机	G	GS	TF	转子绕组	W	WR	ZQ	整流器	U		ZL
异步发电机	G	GA	YF	励磁绕组	W	WE	LQ	变频器	U		BP
永磁发电机	G	GP	YCF	控制绕组	W	WC	KQ	断路器	Q	QF	DL
励磁机	G	GE	L	变压器	T		B	隔离开关	Q	QS	GK
电动机	M		D	电力变压器	T	TM	LB	转换开关	S	SC	HK
直流电动机	M	MD	ZD	控制变压器	T	TC	KB	刀开关	Q	QK	DK
交流电动机	M	MA	JD	升压变压器	T	TU	SB	控制开关	S	SA	KK
同步电动机	M	MS	TD	降压变压器	T	TD	JB	行程开关	S	ST	CK
异步电动机	M	MA	YD	自耦变压器	T	TA	OB	限位开关	S	SQ	XK
笼型电动机	M	MC	LD	整流变压器	T	TR	ZB	终端开关	S	SQ	ZDK