

单元2 直流电路

知识与技能

一、基础知识

1. 电路——电流经过的路径

电路的组成	基本要素	作用	实例
	电源	是向电路提供能量的设备(将其他形式的能量转换为电能)	干电池、蓄电池、光电池、发电机等
	负载	各种用电设备的总称, 又称用电器。其作用是将电能转换为其他形式的能量	电灯、电热器、电风扇、空调器、电动机等
	导线	用于输送及分配电能	铜线、铝线、金属片、弹簧等
	控制器	用于控制电路的通断或保护电路	开关、熔断器、继电器等
电路工作状态	状态	特点	备注
	通路	电源与负载接通, 构成闭合回路, 电路中有电流	通路又称闭路
	开路	电源与负载没有接通, 电路中没有电流	开路又称断路
	短路	电路中某两点间短接称为这两点间短路	短路又称捷路
电路模型	由理想元件组成的与实际元件相对应的电路		
电路图	用国家标准统一规定的电路图形符号代表实物绘制出表示电路结构的图形		

2. 电池

电池	是一种电源（化学电源俗称电池），是将物质化学反应所释放出来的能量直接转化为电能的装置		
电池组	类别	连接方法	适用情况
	串联电池组	一个电池的正极与另一个电池的负极相连接	用于负载需要的电压大于单个电池能够提供的电压时
	并联电池组	各电池的正极接在一起，负极接在一起	用于负载需要的电流大于单个电池的额定放电电流时
	混联电池组	电池连接中既有串联，又有并联	用于负载同时需要较高电压和较大电流时

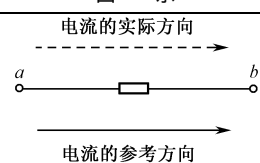
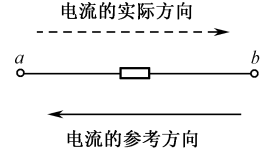
3. 电路的基本物理量

量	概念或物理意义	定义式	单位	方向
电流	电荷的定向移动形成电流。电流的大小用电流强度来衡量，电流强度简称电流，数值上等于单位时间内通过导体某横截面的电量	$I = \frac{Q}{t}$	安培（A） 1kA = 1000A 1A = 1000mA 1mA = 1000μA	正电荷定向移动的方向

续表

量	概念或物理意义	定义式	单位	方向
电压	a 与 b 两点间的电压在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功, 衡量电场力做功的能力	$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q}$	伏特 (V) 1kV = 1000V 1V = 1000mV 1mV = 1000μV	电位降低的方向
电位	电路中某点相对于参考点的电压称为该点电位 (比参考点高的电位为正, 比参考点低电位为负)	$V_a = U_{a0}$ ($U_{ab} = V_a - V_b$)	伏特 (V)	—
电动势	非电场力把正电荷从负极移到正极所做的功与该电荷电量的比值。表示非电场力做功 (能量转化) 的本领	$E = \frac{W}{Q}$	伏特 (V)	从电源的负极经内部指向正极的方向
电能	电流可以做功, 电流有能量——电能。电流做多少功, 就有多少电能转化为其他形式的能	$W = UIt$	焦耳 (J) 1 度 = 1kW·h = 3.6×10 ⁶ (J)	—
电功率	单位时间内电流所做的功, 表示电能转换的速度	$P = \frac{W}{t}$ $P = UI$	瓦特 (W) 1kW = 1000W 1W = 1000mW	—

4. 参考方向——对电量任意假定的方向, 是为分析与计算电路所设定的参考

若	则	I 值	图 示
电流的实际方向与参考方向相同	电流取正值	$I > 0$	
由相关电量计算出的电流值为正	说明电流实际方向与参考方向相同		
电流的实际方向与参考方向相反	电流取负值	$I < 0$	
由相关电量计算出的电流值为负	说明电流实际方向与参考方向相反		

5. 电阻

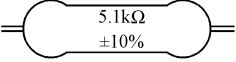
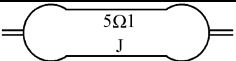
概念	导体对电流的阻碍作用, 用 R 表示
单位	伏特 (V) = 欧姆 (Ω) 1kΩ = 1000Ω 1MΩ = 1000kΩ 安培 (A)
大小	电阻定律: 同一材料的导体, 在温度不变时, 其电阻与导体的长度成正比, 与导体的横截面积成反比 $R = \rho \frac{L}{S}$, ρ 是导体材料的电阻率, 反映该材料的导电特性, 单位为欧·米 (Ω·m)
与温度的关系	随温度升高阻值增大的电阻称为正温度系数电阻 (电阻率增大) 随温度升高阻值减小的电阻称为负温度系数电阻 (电阻率减小)
超导现象	物质在低温下电阻突然消失的现象 (零电阻性) 导体超导态的基本性质: 零电阻效应 (没有电能损耗) 抗磁性 (内部磁感应强度为零)



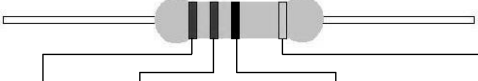
续表

特性及应用	线性电阻	电阻两端的电压与通过它的电流成正比，其伏安特性曲线为直线，其电阻值为常数。在电子产品中主要用于分流、分压、限流和降压等
	非线性电阻	电阻两端的电压与通过它的电流不是正比关系，其伏安特性曲线不是直线，其电阻值不是常数（多由半导体材料制成，也称半导体电阻） 光敏电阻主要用于各种光电控制系统、光电自动开关门、声光控照明系统和报警器等。正温度系数热敏电阻（PTC）一般用于电冰箱压缩机启动电路、彩色显像管消磁电路、电动机过压过流过热保护电路、限流电路和恒温加热电路等方面；负温度系数热敏电阻（NTC）一般用于各种电子产品温度补偿、温度控制和稳压电路等方面

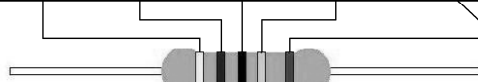
6. 电阻器的主要参数

主要参数	参数	含 义	说 明
	标称阻值	标在电阻器上的电阻值	这是国家制定的标准系列标注，不是所有阻值的电阻器产品都有
	允许误差	实际阻值对于标称值的最大允许偏差范围	主要有 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 等级别，代码分别为 F、G、J、K、M 等
	额定功率	假设周围空气不流通，在规定的环境温度和长期连续工作而不损坏或基本不改变电阻器性能的情况下，电阻器上允许消耗的最大功率	常见的有 1/16W、1/8W、1/4W、1/2W、1W、2W、5W、10W 等
标注方法	名称	方 法	实例图示
	直接标注法	在电阻器表面用数字、单位符号和百分数直接标出电阻器的阻值和允许误差	
	文字符号标注法	用数字、单位符号按一定的组合方式表示电阻器的阻值，遇小数时，常以 Ω 、k、M 取代小数点	
	色环标注法	用标在电阻器上不同颜色的色环来标注电阻值和允许误差	

四色环和五色环表示法的色码含义如下。



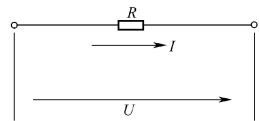
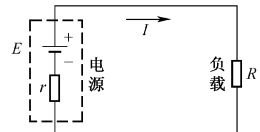
颜色	第一位有效数字	第二位有效数字	第三位有效数字	倍率（乘数）	允许误差	
黑	0	0	0	10^0		
棕	1	1	1	10^1	$\pm 1\%$	F
红	2	2	2	10^2	$\pm 2\%$	G
橙	3	3	3	10^3		
黄	4	4	4	10^4		
绿	5	5	5	10^5	$\pm 0.5\%$	D
蓝	6	6	6	10^6	$\pm 0.25\%$	C
紫	7	7	7	10^7	$\pm 0.10\%$	B
灰	8	8	8		$\pm 0.05\%$	A
白	9	9	9			
金				10^{-1}	$\pm 5\%$	J
银				10^{-2}	$\pm 10\%$	K
无					$\pm 20\%$	M



7. 常用电阻传感器——能将非电量（非电量）转换成电阻值的器件

种类	电阻应变式传感器	压阻式传感器	热电阻传感器
外形			
应用实例	 称重	 医学	 汽车

8. 欧姆定律

定律	内 容	表达式及单位	电 路 图
部分电路 欧姆定律	电路中的电流 I 与其两端的电压 U 成正比，与其电阻 R 成反比	$I = \frac{U}{R}$ ，安(A) = $\frac{\text{伏(V)}}{\text{欧(}\Omega\text{)}}$	
全电路 欧姆定律	闭合电路中，电流与电源的电动势成正比，与电路中的电源内电阻和外电阻之和成反比	$I = \frac{E}{R + r}$ ，安(A) = $\frac{\text{伏(V)}}{\text{欧(}\Omega\text{)}}$	

9. 电阻的串联、并联及混联

电阻串联电路特点	电阻并联电路特点
流过各串联电阻的电流相等 $I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots$	电路的总电流等于各支路的电流之和 $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$
电路两端的总电压等于各电阻上的电压和 $U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$	各并联电阻两端的电压相等 $U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots$
电路的等效电阻（总电阻）等于各电阻之和 $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$ $R = nR_0$ （ n 个相同的电阻 R_0 串联）	电路的等效电阻（总电阻）的倒数等于各电阻的倒数和 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$ $R = \frac{R_0}{n}$ （ n 个相同的电阻 R_0 并联）
各电阻上的电压分配与各电阻值成正比 $\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_3}{R_3} = \dots$ 两只电阻串联的分压公式 $U_1 = U \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ ， $U_2 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2}$	各电阻上的电流分配与各电阻值成反比 $I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3 = \dots$ 两只电阻并联的分流公式 $I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ ， $I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$
总功率等于各电阻消耗的功率之和 $P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$ 各电阻消耗的功率与各电阻值成正比 $\frac{P_1}{R_1} = \frac{P_2}{R_2} = \frac{P_3}{R_3} = \dots$	总功率等于各电阻消耗的功率之和 $P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$ 各电阻消耗的功率与各电阻值成反比 $P_1 R_1 = P_2 R_2 = P_3 R_3 = \dots$



电阻混联电路的图形整理	支路同向排列：从总干路的一端开始，把总干路下的各分支电路按同一方向排列，一直整理到总干路的另一端
	连线缩为一点：导线可以缩短或汇集为一点。如果电阻两端被导线短接，或电阻两端电位相等，则该电阻可用导线替代
电阻混联电路的计算方法	用等效电阻代替串联或并联的多个电阻，求出简化后无分支电路的等效电阻
	利用欧姆定律求出总电流
	运用分压公式求各段电路的电压，运用分流公式求各支路的电流

10. 基尔霍夫定律

	要 点		示例图示或符号规则
复杂电路的概念	支路：由一个或几个元件组成的无分支电路 含有电源的支路为有源支路，否则为无源支路		
	节点：三条或三条以上支路的汇合点		
	回路：电路中的任何一个闭合路径		
	网孔：中间无支路穿过的回路		
基尔霍夫定律的内容	节点	电路中，任一瞬间流入节点的电流之和等于流出该节点的电流之和，即 $\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$ (节点电流定律可推广用于广义节点，即闭合面)	流入电流和流出电流分别带自身正负号相加
	电流定律	另一种表述：对于电路某一节点，在任一瞬间，通过节点的电流的代数和为零，即 $\sum I = 0$	设流入节点的电流为正，流出节点的电流为负
基尔霍夫定律的内容	回路电压定律	对于电路的任一闭合回路，沿回路的绕行方向上，各电动势的代数和等于各电阻电压降的代数和，即 $\sum E = \sum IR$ (回路电压定律可推广用于不闭合回路)	电动势：方向与回路绕行方向一致时取正，反之取负 电阻电压：电阻中电流参考方向与回路绕行方向一致时取正，反之取负
	电压定律	另一种表述：对于电路中的任一闭合回路，沿回路绕行方向上，所有元件（电源和电阻）的电压降代数和为零，即 $\sum U = 0$	电动势：方向与回路绕行方向相反时取正，反之取负 电阻电压：电阻中电流参考方向与回路绕行方向一致时取正，反之取负
基尔霍夫定律的应用	对于一个复杂电路，可以利用节点电流定律与回路电压定律列出多个电路方程，构成多元一次方程组，再解方程组，即可求出未知量 首先设定各支路电流参考方向和回路绕行方向 对于有 m 条支路 n 个节点的电路，可以列出 $n-1$ 个独立的节点电流方程和 $m-(n-1)$ 个（即网孔数）独立的回路电压方程 求解联立方程组，并确定电流实际方向		计算得出的某支路电流是正值，表明该电流的实际方向与参考方向相同，否则实际方向与参考方向相反

11. 戴维宁定理

内容	任何一个有源二端网络都可以等效为一个电源。其电源电动势 E_0 等于原网络引出端的开路电压；其内阻 R_0 等于网络中所有电源不起作用时，从网络引出端开路时向网络看进去的等效电阻，即网络中各电动势短接时，两出线端间的等效电阻
----	--



续表

示例图示	 $E_0 = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} R_2 + E_2, \quad R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
应用	戴维宁定理的本质就是一种求解任一复杂有源单端口网络（二端网络）等效电路的方法，即把待求支路以外的电路看成有源单端口网络，或者说把待求支路以外的电路用一个有源单端口网络（等效电源）替换，再进行分析计算

12. 负载获得最大功率的条件（电源最大输出功率定理）

内容	当负载电阻等于信号源（或电源）内阻时，负载可从信号源（或电源）获取最大功率，即当 $R_L = R_0$ 时， P 有最大值： $P_{\max} = \frac{E_0^2}{4R_0}$ 或 $P_{\max} = \frac{E_0^2}{4R_L}$
应用	当负载获得最大功率时，由于 $R_L = R_0$ ，因而内阻上消耗的功率和负载消耗的功率相等，这时效率只有 50%。在电子技术应用中，主要矛盾是使负载获得最大功率，效率已属次要问题，因而电路总是尽可能工作在 $R_L = R_0$ 附近，这种工作状态，在电子技术中称为阻抗匹配；在电力系统中，主要矛盾是输电效率，则要 $R_0 \ll R_L$ 。

二、基本技能

1. 识读简单电路图

要领：熟知常用的国家标准统一规定的电路图形符号，理清电路的各组成部分间的连接关系。

2. 识别常用电池

识别蓄电池、层叠电池、干电池、镍氢充电电池、扣式电池、摄像机电池、数码相机电池、手机电池、笔记本电脑电池等。

3. 识别常用、新型电阻器

识别碳膜电阻、金属膜电阻、金属氧化膜电阻、线绕电阻、有机实心电阻、贴片电阻、熔断电阻、水泥电阻、零欧姆电阻、功率型线绕无感电阻、电力铝壳电阻、排阻、热敏电阻、光敏电阻、压敏电阻、塑封电阻、晶圆无脚电阻、厚膜电阻、可调电阻、薄膜式电阻、块状电阻等。

4. 电流、电压的测量

量	使用仪表	测量方法	注意问题
直流电流	直流电流表或万用表的直流电流挡	选择好电流表的量程（测量范围），使其大于实际电流的数值；将电流表串接在被测的电路中；保证电流从直流电流表的“+”端流入，从“-”端流出	在不能预先估计电流和电压大小的情况下，可先从最大量程开始，用电路开关迅速试触，看指针的偏转是否在最大量程之内，如果超过最大量程，就要改用具有更大量程的电流表和电压表；如果指针的偏转较小，就要改用较小的量程，让指针尽量接近满刻度，这样测量结果更准确
直流电压	直流电压表或万用表的直流电压挡	选择好电压表的量程（测量范围），使其大于实际电压的数值；将电压表并接在被测电路的两端；保证电流从直流电压表的“+”端流入，从“-”端流出	



5. 电阻的测量

测量要求	使用仪表	测量方法	注意问题
中阻值电阻的一般测量	万用表	接入表笔；机械调零，欧姆调零；选择测量挡；表笔跨接电阻两引线，被测电阻值 $R = \text{面板读数} \times \text{倍率}$	对待测电阻必须在不带电的情况下进行测量；万用表选择开关置于任一欧姆挡时，应先进行欧姆调零，若无法调零，则应更换电池后再试；为了使测量更准确，应选择合适的量程，使指针指在中央刻度线（欧姆中心值）左右 $1/3$ 范围内
中阻值电阻的精密测量	单臂电桥	接入待测电阻；指针调零；选好倍率；按下按钮，调节比较臂旋钮，直到检流计电流等于零，被测电阻值 $R = \text{比较臂的读数} \times \text{倍率}$	尽量减小被测电阻与电桥的连接电阻；恰当选择倍率，使比较臂的四挡都被利用（待测电阻若为几 Ω 倍率选 10^{-3} ，若为几十 Ω 倍率选 10^{-2} ，……）；正确操作按钮开关顺序（测时先按电源再按检流计，测毕先断检流计再断电源） 测量结束，锁上检流计锁扣，各比较臂置零，连接片从“外接”换到“内接”
高阻值电阻（绝缘电阻）的测量	兆欧表	测量时，将兆欧表的“L”与被测导体相连，“E”和另一被测导体、地或设备外壳相连，摇动手柄，由慢渐快增加到 120r/min ，匀速摇动 1min 以后指针稳定时，读取数据	兆欧表使用前检查：空载检查：摇动手柄达 120r/min ，指针应指在“ ∞ ”处；短接检查：将端钮 L 和 E 短接，缓慢摇动手柄，指针应指在“0”处。

6. 认识常用电工材料

大类	特点或作用	常用材料	用途
导电材料	主要特点：导电性能好，有一定的机械强度，不易氧化和腐蚀，容易加工和焊接，资源丰富，价格便宜	铜	用于要求较高的动力电路、电气设备的控制电路和电动机、电器的线圈等
		铝	用于架空电路、照明电路。由于铝导线的焊接工艺较复杂，使用受到一定限制
		钢	用于要求机械强度好，能承受较大拉力的导电路线
		金属合金	熔点低，是熔断器中熔体的制作材料
绝缘材料	主要作用：封闭带电体或将不同电位的导体隔离，以保证电气电路和电气设备正常工作，防止触电；还可用于电气设备的机械支撑、固定、灭弧、防潮、防化学腐蚀等	橡胶橡皮	天然橡胶主要用做电线电缆的绝缘层和护套；合成橡胶主要用做电机电器中绝缘结构材料和保护材料，如引出线套管、绝缘衬垫等
		云母	用于电动机的槽绝缘、匝间绝缘，电器线圈及连接线的绝缘，换向器的片间绝缘，电机、电器的绝缘衬垫等
		陶瓷	用于制成绝缘端子（卡子），支持固定导线等
		塑料	用于做各种构件，如电动工具的外壳、出线板、支架及绝缘套、插座、接线板等
		绝缘带	主要用做包缠电线和电缆的接头
		绝缘漆	主要用于制作电磁线（漆包线）
		绝缘胶	主要用于密封电器及零部件等
		绝缘油	用于电力变压器、开关、电容器、电缆中做灭弧绝缘

7. 导线的连接

（1）绝缘层的剥削。



线类	操作要领	注意事项及质量要求
塑料硬线	芯线 4mm^2 及以下：左手捏住电线，根据线头所需长度，用钢丝钳或偏口钳刀口切破绝缘层；然后右手握住钢丝钳或偏口钳头部，用力向外勒去绝缘层。还可用剥线钳，剥削更方便	剥削出的芯线应保持完整无损，若损伤较大，应重新剥削；使用电工刀剥削时，刀口应向外，避免伤人或伤手
	芯线大于 4mm^2 ：根据所需长度，用电工刀以 45° 角斜切入塑料绝缘层；接着刀面与芯线保持 25° 左右角向线端推削（不可切入芯线），削去上面一层塑料绝缘层；最后将下面塑料绝缘层向后扳翻，用电工刀齐根切去	
塑料软线	用剥线钳或钢丝钳，剥削方法同上。不可用电工刀，否则易伤及线芯	
塑料护套线	公共护套层：按线头所需长度，用电工刀刀尖对准芯线缝隙间划开护套层；然后将护套层向后扳翻，再用电工刀齐根切去 每根芯线绝缘层：用剥削塑料硬线绝缘层的方法分别剥削，剥削切口离护套层 $5\sim 10\text{mm}$	

（2）线头的连接。

线类	方式	操作要领	注意事项及质量要求
单股铜芯导线	直线连接	两线头芯线成 X 相交；芯线互相缠绕 $2\sim 3$ 圈；把两余线头扳起，分别在芯线上紧密缠绕 $5\sim 6$ 圈，用钢丝钳切去余下芯线头，并钳平芯线末端	芯线互相缠绕时要压紧，以保证电接触良好，有足够的机械强度；缠绕完的芯线末端要钳平，以免刺穿恢复导线绝缘的绝缘带（或布），造成芯线裸露
	T 字连接	①将分支芯线的线头与干线芯线十字相交，在支路芯线根部留出 $3\sim 5\text{cm}$ 裸线；按顺时针方向缠绕支路芯线，缠绕 $6\sim 8$ 圈，切去多余线头，并钳平芯线末端	
七股铜芯导线	直线连接	①剥削绝缘层长度为芯线直径的 21 倍左右，把靠近根部 $1/3$ 段的芯线绞紧，再把余下的 $2/3$ 芯线头分散成伞形并拉直；把两个伞形芯线头隔根对插，并拉平两端芯线；把一端七股芯线按 $2、2、3$ 根分成三组，接着把第一组两根芯线扳起，垂直于芯线按顺时针方向缠绕；缠绕两圈后，余下的芯线向右扳直，再把下边第二组的两根芯线向上扳直，按顺时针方向紧紧压着前两根扳直的芯线缠绕；缠绕两圈后，将余下的芯线向右扳直，再把下边第三组的 3 根芯线向上扳直，按顺时针方向紧紧压着前 4 根扳直的芯线缠；缠绕 3 圈后，切去每组多余的芯线，钳平线端。用同样的方法再缠绕另一端芯线	
	T 字连接	①干线接线处剖削一段绝缘层，然后用旋具把干线芯线撬分成两组；支线芯线剥削长度为 L 的绝缘层散开钳直，把近绝缘层 $L/8$ 的芯线绞紧，余下的 $7L/8$ 的线头分成 4 根和 3 根两组，再把支线成排插入缝隙间，插入缝隙间的两组支线线头（ 3 根和 4 根）分别按顺时针方向和逆时针方向缠绕 $3\sim 4$ 圈；钳平线端导线头	

（3）绝缘恢复。

操作要领	注意事项及质量要求
将黄蜡带从导线连接处一端的绝缘层上开始，包扎两圈带宽后进入无绝缘层的芯线部分；黄蜡带与导线保持约 55° 的倾斜角，每圈压叠带宽的 $1/2$；包扎一层黄蜡带后，将黑胶布接在黄蜡带的尾端，按另一斜叠方向包扎一层黑胶布，每圈也压叠带宽 $1/2$ 380V 线路：先包扎 $1\sim 2$ 层黄蜡带，再包扎 1 层黑胶布 220V 线路：先包扎 $1\sim 2$ 层黄蜡带，再包扎 1 层黑胶布，或者只包扎 2 层黑胶布	绝缘带包扎时，各包层之间应紧密相接，不能稀疏，更不能裸露芯线



8. 电阻性电路故障的检查

方法		操作要点
观察法		通过观察电路中原有的仪表、指示灯等可观物的状况来判断电路的故障性质及范围。例如，新连接的电路或新安装的电气设备不能正常工作，可对照原理图或接线图检查电路、电气设备的连接是否正确；当电路的电流表读数为零时，则电路处于断路状态，此时检查电路的电源是否正常、电路接线是否接触良好、所用元器件是否完好（例如，电阻好坏可由其表面是否有黑色烧迹来判别）
测量法	电阻法	利用欧姆表（万用表的电阻挡），在断电状态下（不接入电源）对电路进行检测，测量出各段电路的电阻值，把检测值与正常值对比，从而找出故障点
	电位法	利用电压表或万用表电压挡，在带电情况下（接入电源）直接对电路进行检测，测量出各点的电位或两点间的电压值，把检测值与正常值对比，从而找出故障点

解 题 示 例

例 2-1 . 用横截面积是 0.1mm^2 的康铜电阻丝绕制一个电阻，若将它接在 220V 的电源上，电阻上通过的电流为 5A ，求绕制这个电阻的电阻丝长度是多少？（康铜的电阻率 $\rho=5\times 10^{-7}\Omega\cdot\text{m}$ ）

分析：要求电阻丝长度 L ，需知道电阻丝的电阻 R 、横截面积 S 和电阻率 ρ ，其中 S 和 ρ 题中给出， R 虽未知，但题中给出了电阻丝两端的电压和通过的电流，所以可先利用欧姆定律求出该电阻丝的电阻值，再由电阻定律求电阻丝的长度。

$$\text{解：由 } I = \frac{U}{R}$$

$$\text{得 } R = \frac{U}{I} = \frac{220}{5} = 44(\Omega)$$

$$\text{由 } R = \rho \frac{L}{S}$$

$$\text{得 } L = \frac{RS}{\rho} = 44 \times 0.1 \times 10^{-6} / 5 \times 10^{-7} = 8.8(\text{m})$$

例 2-2 . 如图 2-1 所示为一电源外特性曲线，求该电源的电动势和内电阻。

分析：从图上得知，电源的路端电压的最大值为 1.5V ，此时电路中电流为零；电路中的电流最大值为 2.5A ，此时电源路端电压为零。根据断路时路端电压等于电源电动势且电流为零，短路时路端电压为零且电流最大为 $I_m = \frac{E}{r}$ ，即可分别求出 E 和 r 。

$$\text{解：} E = U = 1.5(\text{V}), r = \frac{E}{I_m} = \frac{1.5}{2.5} = 0.6(\Omega)$$

例 2-3 . 如图 2-2 所示电路，试分析当外电路变阻器 R 的动点右移时， R 两端电压将如何？

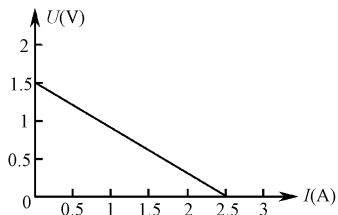


图 2-1

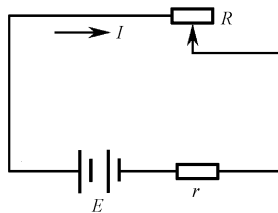


图 2-2



分析：这是一个全电路。当 R 的动点右移时， R 值增大。因为 E 、 r 可视为常量，据全电路欧姆定律 $I = \frac{E}{R+r}$ ， R 增大时 I 将减小，又因为电源内阻 r 两端电压（即内电路电压） $U_r = I \cdot r$ ，由于 I 减小，所以 U_r 将减小，又据负载 R 两端电压（即外电路电压） $U_R = E - U_r$ ，由于 E 不变， U_r 减小，所以 U_R 将增大。

上述分析可概括为： $R \uparrow \rightarrow I \downarrow (I = \frac{E}{R+r}) \rightarrow U_r \downarrow (U_r = Ir) \rightarrow U_R \uparrow (U_R = E - U_r)$ 。

注意：最后结果 U_R 将增大，不能简单的分析为：因为 $U_R = IR$ ，由于 R 增大，所以 U_R 增大，因为这时电流 I 也是变化的。

例 2-4. 图 2-3 所示电路中， $R_1 = 14\Omega$ ， $R_2 = 9\Omega$ ，当单刀双掷开关 S 扳到位置 1 时，电流表读数 $I_1 = 0.2A$ ，当 S 扳到位置 2 时，电流表读数 $I_2 = 0.3A$ ，求电源电动势和内电阻。

分析：这是一种测量电源电动势及内阻的实验电路。开关 S 扳到位置 1 和 2，分别组成两个闭合电路，可以列出两个全电路欧姆定律方程，联立方程组即可解出电源电动势 E 和电源内阻 r 。

解：由 $I = \frac{E}{R+r}$ ， $E = I(R+r)$ ， $E = I_1(R_1+r)$ ， $E = I_2(R_2+r)$

$$E = 0.2 \times (14+r), E = 0.3 \times (9+r)$$

$$\text{得 } r = 1.0(\Omega), E = 3.0(V)$$

注意：测量电源电动势及内阻，有很多方法，但依据的都是全电路欧姆定律。

例 2-5. 如图 2-4 所示，发电机的内电阻 $r = 1.5\Omega$ ，负载电阻 $R = 42.5\Omega$ ，电路中的电流 $I = 4A$ 。求：（1）负载两端的电压 U_R ；（2）发电机的电动势 E ；（3）外电路消耗的电功率 $P_{\text{外}}$ ；（4）发电机内部消耗的电功率 $P_{\text{内}}$ ；（5）发电机的电功率 $P_{\text{电源}}$ 。

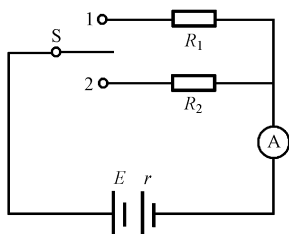


图 2-3

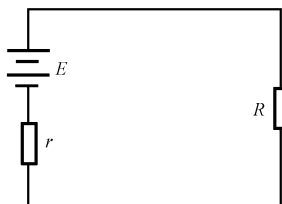


图 2-4

分析：这是一个基本计算问题。负载两端的电压和发电机的电动势可分别利用部分电路欧姆定律和全电路欧姆定律求出；各功率可直接由不同表达形式的功率公式求出，但应注意各部分的电功率要使用各自的相关量来计算。

解：（1）负载两端的电压 $U_R = IR = 4 \times 42.5 = 170(V)$

（2）发电机的电动势 $E = I(R+r) = 4 \times (42.5 + 1.5) = 176(V)$

（3）外电路消耗的电功率 $P_{\text{外}} = U_R I = 170 \times 4 = 680(W)$ 或 $P_{\text{外}} = I^2 R = 4^2 \times 42.5 = 680(W)$

（4）发电机内部消耗的电功率 $P_{\text{内}} = I^2 r = 4^2 \times 1.5 = 24(W)$

（5）发电机的电功率 $P_{\text{电源}} = EI = 176 \times 4 = 704(W)$

结论：从结果上可以看出，电源（这里是发电机）的电功率等于内、外电路总共消耗的电功率；电源的输出功率（即外电路消耗的电功率）等于电源的电功率减去内电路消耗的电功率。

例 2-6. 一个标有“220V 60W”字样的灯泡，正常发光时通过灯丝的电流是多少？把它接



到 180V 的电路上使用,灯泡的实际功率是多少?在灯泡正常工作的情况下,电流通过灯丝 5min 产生多少热量?若平均每天使用 4h,那么一个月(按 30 天计)应付多少电费?(设电价为 0.50 元/度)

分析:灯泡上标的“220V 60W”字样,表示的是它的额定数值,即灯泡的额定电压(灯泡正常工作时的电压)是 220V,灯泡的额定功率(灯泡在额定电压下工作所消耗的电功率)是 60W。灯泡正常发光表明它两端的实际电压等于额定电压,消耗的实际功率等于额定功率,此时通过灯丝的电流称为额定电流,额定电流可以由额定电压和额定功率求得;灯泡两端的实际电压不等于额定电压时,消耗的实际功率也不等于额定功率,但此时灯丝的电阻是不变的(可认为温度不变,灯丝的电阻与电压及电流的变化无关),先利用功率公式求出灯丝电阻(此时电压应代入额定电压值),再次利用功率公式便可求出灯泡的实际功率(此时灯丝电阻已知,电压应代入实际电压值);电流通过灯丝产生的热量,据 $W_{\text{热}}=W_{\text{电}}$ 计算(灯丝视为纯电阻);电流做的功——电功为消耗的电能,再乘以单位电价便是应付电费。

解:由 $P=UI$

$$\text{灯泡正常发光时灯丝电流 } I_{\text{额}} = \frac{P_{\text{额}}}{U_{\text{额}}} = \frac{60}{220} = 0.273(\text{A})$$

$$\text{由 } P = \frac{U^2}{R}, R = \frac{U_{\text{额}}^2}{P_{\text{额}}} = \frac{220^2}{60} = 806.7(\Omega)$$

$$\text{当 } U_{\text{实}} = 180\text{V} \text{ 时, 灯泡的实际功率 } P_{\text{实}} = \frac{U_{\text{实}}^2}{R} = \frac{180^2}{806.7} = 40.2(\text{W})$$

$$\text{灯泡正常工作 5min 产生的热量 } Q = W = Pt = 60 \times (5 \times 60) = 1.80 \times 10^4(\text{J}) \text{ 或 } W = U_{\text{额}} I_{\text{额}} t$$

$$\text{一个月消耗的电能 } W = UI t = Pt = 60 \times 10^{-3}(\text{kW}) \times (4 \times 30)(\text{h}) = 7.20 \text{ kW} \cdot \text{h}(\text{度})$$

$$\text{应付电费为 } 0.50 \text{ 元/度} \times 7.20 \text{ 度} = 3.6 \text{ 元}$$

注意:

(1) 灯泡两端的实际电压等于额定电压时,实际功率才等于额定功率;灯泡两端的实际电压不等于额定电压时,实际功率不等于额定功率,即消耗的实际功率与实际电压的平方成正比。

(2) 用 $W=Pt$ 计算电功时,注意单位的组合:瓦特·秒→焦耳,千瓦·小时→度。

例 2-7.有一灵敏度为 $50\mu\text{A}$, 内阻为 $2\text{k}\Omega$ 的表头。请按图 2-5 所示电路,分别设计:(1) 具有 10V 和 50V 两个量程的电压表;(2) 具有 10mA 和 50mA 两个量程的电流表。

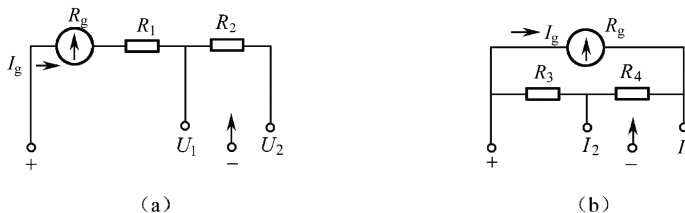


图 2-5

分析:这是表头扩大量程问题,其原理是串联电阻可以起到分压作用,并联电阻可以起到分流作用。所以,根据欧姆定律和电阻串、并联特点列出等式(串联电路总电压等于各段电压之和,并联电路各支路电压都相等),即可分别求出各量程的分压电阻和分流电阻。需要注意的是:



(1) 量程 U_1 的分压电阻是 R_1 , 此时 R_2 不起作用; 量程 U_2 的分压电阻是 (R_1+R_2) , 或将 R_1 视为表头内阻的一部分, 分压电阻就是 R_2 。

(2) 量程 I_2 的分流电阻是 R_3 , 此时 R_4 是表头内阻的一部分; 量程 I_1 的分流电阻是 (R_3+R_4) 。

解: (1) 图 2-5 (a), 由 $U_1=I_g(R_g+R_1)$, $10=50\times 10^{-6}\times (2\times 10^3+R_1)$

得 $R_1=1.98\times 10^5(\Omega)=198(\text{k}\Omega)$

由 $U_2=I_g(R_g+R_1+R_2)$, $50=50\times 10^{-6}\times (2\times 10^3+198\times 10^3+R_2)$

得 $R_2=8.0\times 10^5(\Omega)=800(\text{k}\Omega)$

(2) 图 2-5 (b), 由 $I_g(R_g+R_4)=(I_2-I_g)R_3$, $I_gR_g+I_gR_4=I_2R_3-I_gR_3\cdots\cdots\cdots$

$$I_gR_g=(I_1-I_g)(R_3+R_4), I_gR_g=I_1R_3+I_1R_4-I_gR_3-I_gR_4\cdots\cdots\cdots$$

$$- : I_1R_3+I_1R_4-I_2R_3=0, I_1R_4=(I_2-I_1)R_3, \frac{R_3}{R_4}=\frac{I_1}{I_2-I_1}=\frac{10}{50-10}=\frac{1}{4}$$

得 $R_4=4R_3\cdots\cdots\cdots$

代入 : $I_gR_g+4I_gR_3=I_2R_3-I_gR_3$

$$I_gR_g=(I_2-5I_g)R_3, 50\times 10^{-6}\times 2\times 10^3=(50\times 10^{-3}-5\times 50\times 10^{-6})R_3$$

得 $R_3=2(\Omega)$

代入 : $R_4=4R_3=4\times 2=8(\Omega)$

例 2-8. 如图 2-6 (a) 所示, 已知: $E=120\text{V}$, $r=10\Omega$, $R_1=30\Omega$, $R_2=40\Omega$, $R_3=60\Omega$ 。求:

(1) 开关 S_1 和 S_2 全打开时, (2) 开关 S_1 和 S_2 全闭合时, R_1 、 R_2 、 R_3 中的电流各是多少? 其两端电压各是多少?

分析: 开关 S_1 和 S_2 的打开和闭合使电路的结构发生变化, 导致总电阻阻值发生变化。根据欧姆定律可知各电阻中的电流及各电阻上的电压也将随之变化。所以必须先明确开关打开和闭合时的电路结构: (1) 开关 S_1 和 S_2 全打开时, 外电路由 R_1 、 R_2 串联组成, 如图 2-6 (b) 所示; (2) 开关 S_1 和 S_2 全闭合时, 外电路由 R_1 、 R_3 并联组成, 如图 2-6 (c) 所示。然后便可据全电路欧姆定律、部分电路欧姆定律、分压公式、分流公式等求解各电流、电压。

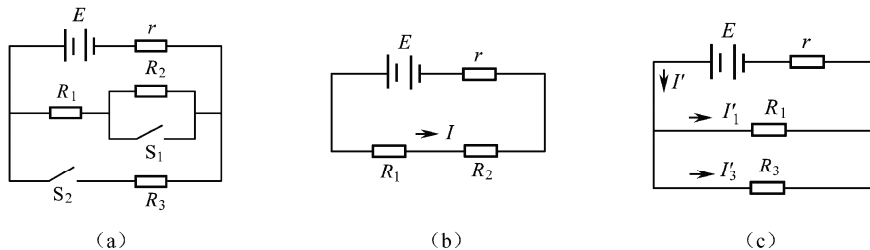


图 2-6

解: (1) 当开关 S_1 和 S_2 全打开时, 电路如图 2-6 (b) 所示。

$$I_1=I_2=I=\frac{E}{r+R_1+R_2}=\frac{120}{10+30+50}=1.5(\text{A}), I_3=0$$

$$U_1=IR_1=1.5\times 30=45(\text{V}), U_2=IR_2=1.5\times 40=60(\text{V}), U_3=0$$

或者先求电压, 后求电流:

$$U_1=E\frac{R_1}{r+R_1+R_2}=120\times\frac{30}{10+30+40}=45(\text{V})$$



$$U_2 = E \frac{R_2}{r + R_1 + R_2} = 120 \times \frac{40}{10 + 30 + 40} = 60(\text{V})$$

$$I_1 = I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{60}{40} = 1.5(\text{A}), \quad I_3 = 0, \quad U_3 = 0$$

(2) 当开关 S_1 和 S_2 全合上后, 电路如图 2-6 (c) 所示。

$$I' = \frac{E}{r + R_1 // R_3} = \frac{120}{10 + 30 \times 60 / (30 + 60)} = 4(\text{A})$$

$$I'_1 = \frac{R_3}{R_1 + R_3} I' = \frac{60}{30 + 60} \times 4 = 2.67(\text{A})$$

$$I'_2 = 0, \quad I'_3 = \frac{R_1}{R_1 + R_3} I' = \frac{30}{30 + 60} \times 4 = 1.33(\text{A})$$

或

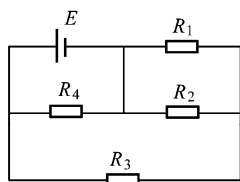
$$I'_3 = I' - I'_1 = 4 - 2.67 = 1.33(\text{A})$$

$$U'_1 = U'_3 = I'_3 R_3 = \frac{30}{30 + 60} \times 4 \times 60 = 80(\text{V}), \quad U'_2 = 0$$

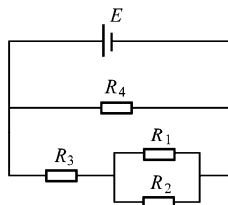
例 2-9. 如图 2-7 (a) 所示, $E=18\text{V}$, $R_1=3\Omega$, $R_2=6\Omega$, $R_3=4\Omega$, $R_4=3\Omega$ 。

求: (1) 电路总电流; (2) 各电阻上的电流; (3) 各电阻两端的电压。

分析: 此题首先要理清各电阻的连接方式。从图上可以看出, 从电源正极流出的电流分成两条支路, 一条支路由 R_4 组成, 电流经 R_4 后直接流回电源负极, 另一条支路电流经 R_3 后再分为两条支路 R_1 和 R_2 后流回电源负极, 所以根据电流的流向可画出较为直观的等效电路图, 如图 2-7 (b) 所示。从等效电路图上可以看出电阻的关系是 R_1 与 R_2 并联后与 R_3 串联, 再与 R_4 并联。只要求出总电阻再根据欧姆定律和分流公式、分压公式, 即可求出结果。



(a)



(b)

图 2-7

解: 原电路图改画为图 2-7 (b)。

等效电阻 $R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = 2(\Omega)$, $R_{123} = R_{12} + R_3 = 2 + 4 = 6(\Omega)$

$$R_{\text{总}} = R_{123} // R_4 = \frac{R_{123} R_4}{R_{123} + R_4} = \frac{6 \times 3}{6 + 3} = 2(\Omega)$$

(1) 电路总电流 $I = \frac{E}{R_{\text{总}}} = \frac{18}{2} = 9(\text{A})$

(2) 各电阻上的电流 $I_3 = I \frac{R_4}{R_{123} + R_4} = 9 \times \frac{3}{6 + 3} = 3(\text{A})$, $I_4 = I - I_3 = 9 - 3 = 6(\text{A})$

或者先求 $I_4 = \frac{E}{R_4} = \frac{18}{3} = 6(\text{A})$, 再求 $I_3 = I - I_4 = 9 - 6 = 3(\text{A})$



$$I_1 = I_3 \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 3 \times \frac{6}{3+6} = 2(\text{A}), I_2 = I_3 - I_1 = 3 - 2 = 1(\text{A})$$

(3) 各电阻两端的电压 $U_1 = I_1 R_1 = 2 \times 3 = 6(\text{V})$

$$U_2 = I_2 R_2 = 1 \times 6 = 6(\text{V}) \text{ 或 } U_2 = U_1 = 6(\text{V})$$

$$U_3 = I_3 R_3 = 3 \times 4 = 12(\text{V})$$

$$\text{或 } U_3 = E - U_1 = 18 - 6 = 12(\text{V}), \text{ 或 } U_3 = E \frac{R_3}{R_{12} + R_3} = 18 \times \frac{4}{2+4} = 12(\text{V})$$

$$U_4 = I_4 R_4 = 6 \times 3 = 18(\text{V}), \text{ 或 } U_4 = E = 18(\text{V}).$$

例 2-10. 如图 2-8 (a) 所示, 已知: $E_1 = E_2 = 12\text{V}$, $R_1 = 12\text{k}\Omega$, $R_2 = 9\text{k}\Omega$, $R_3 = 27\text{k}\Omega$, 求开关 S 断开和闭合时 a 点的电位。

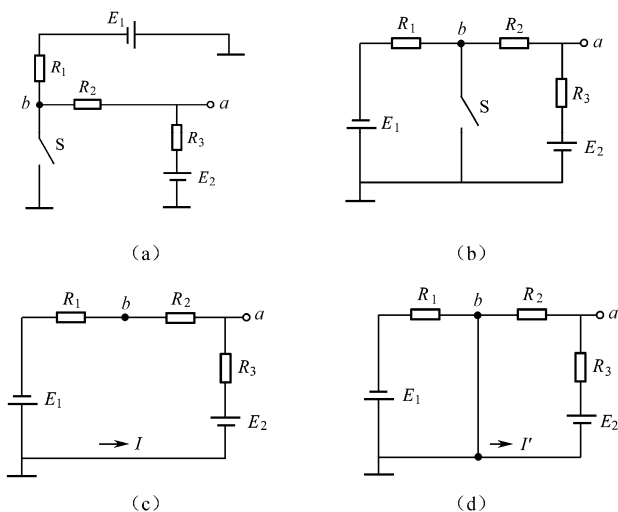


图 2-8

分析: 此题关键是画出较为直观的等效电路图, 如图 2-8 (b) 所示, 在画图时要注意: 电路中的接地符号代表零电位点, 这些点实际上是互相连接的; 电源的极性要与原图保持一致。

(1) 当开关 S 断开时, 从等效图中看出, 电路中只有一个回路, 如图 2-8 (c) 所示, 可以先求出电流再用电位计算方法求 a 点电位。

(2) 当开关 S 闭合时, 从等效图中看出, 因为 b 点接地, 所以两个电源分别属于两个彼此无关的电路, 如图 2-8 (d) 所示, 这样 a 点电位只与右边回路中的电流有关。

解: (1) 开关 S 断开时, 原电路图简化为图 2-8 (c)。

$$I = \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{12 + 12}{12 + 9 + 27} = 0.5(\text{mA})$$

$$V_a = -IR_3 + E_2 = -0.5 \times 27 + 12 = -1.5(\text{V})$$

或者 $V_a = I(R_1 + R_2) - E_1 = 0.5 \times (12 + 9) - 12 = -1.5(\text{V})$

(2) 开关 S 闭合时, 原电路图简化为图 2-9 (d)。

$$I' = \frac{E_2}{R_2 + R_3} = \frac{12}{9 + 27} = \frac{1}{3}(\text{mA})$$



$$V'_a = I'R_2 = \frac{1}{3} \times 9 = 3 \text{ (V)} \text{ 或者 } V'_a = -I'R_3 + E_2 = -\frac{1}{3} \times 27 + 12 = 3 \text{ (V)}$$

注意：从上述计算看出，某点的电位大小与绕行路径无关，但为了便于计算，应选择简捷路径，即经过电动势和电阻少的路径。

例 2-11 . 电路如图 2-9 (a) 所示，已知：\$E_1=35\text{V}\$，\$E_2=50\text{V}\$，\$R_1=5\Omega\$，\$R_2=R_3=10\Omega\$，求各支路电流。

分析：此题利用基尔霍夫定律求解。电路有三条支路 \$m=3\$，有两个节点 \$n=2\$，要求三个支路电流，须列出三个方程。利用基尔霍夫第一定律可列出 \$n-1=2-1=1\$ 个独立的节点电流方程，利用基尔霍夫第二定律可列出两个独立的回路电压方程（一般可选择网孔，同时设定回路绕行方向），组成联立方程组求解。

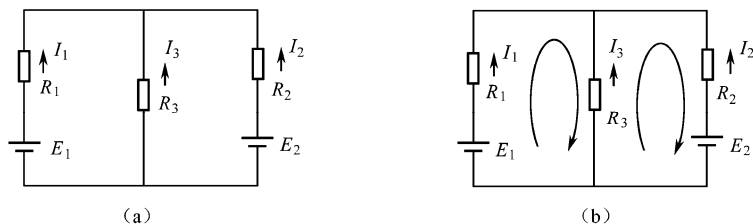


图 2-9

解：设回路绕行方向为顺时针方向如图 2-9 (b) 所示。

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 \dots\dots$$

$$I_1 R_1 - I_3 R_3 = E_1$$

$$5I_1 - 10I_3 = 35 \dots\dots$$

$$-I_2 R_2 + I_3 R_3 = -E_2$$

$$-10I_2 + 10I_3 = -50 \dots$$

由：\$I_1 = -I_2 - I_3\$

代入：\$-5I_2 - 5I_3 - 10I_3 = 35\$，\$-5I_2 - 15I_3 = 35 \dots\$

\$\times 1.5 +\$：\$-20I_2 = -40\$，\$I_2 = 2 \text{ (A)}\$

代入：\$I_3 = -3 \text{ (A)}\$

代入：\$I_1 = 1 \text{ (A)}\$

得原方程组的解为：\$I_1=1 \text{ (A)}\$，\$I_2=2 \text{ (A)}\$，\$I_3=-3 \text{ (A)}\$

\$I_1\$、\$I_2\$ 值为正，表示它们的实际方向与参考方向相同；\$I_3\$ 值为负，表示它的实际方向与参考方向相反。

注意：(1) 此题给出了支路电流的参考方向，若题中未给出电流参考方向，要自行假设并在图上标出。解得结果为正时，表示电流实际方向与参考方向相同；为负时，表示电流实际方向与参考方向相反。

(2) 解得的结果是否正确，可以验算。一般验算的方法有如下两种：

选用求解时未用过的回路，应用基尔霍夫第二定律进行验算。

如本题中，可以对外围回路列出方程：\$I_1 R_1 - I_2 R_2 = E_1 - E_2\$

等式左边=\$1 \times 5 - 2 \times 10 = -15 \text{ (V)}\$，等式右边=\$35 - 50 = -15 \text{ (V)}\$，新方程成立。

通过功率平衡关系进行验算。电路消耗功率（电阻上的以及电动势方向与电流实际方向相反的电源的功率）= 电源发出功率（电动势方向与电流实际方向相同的电源的功率）。

如本题中：

$$\text{消耗功率} = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 = 1^2 \times 5 + 2^2 \times 10 + (-3)^2 \times 10 = 135 \text{ (W)}$$



发出功率 $=P_{E1}+P_{E2}=E_1I_1+E_2I_2=35\times 1+50\times 2=135(\text{W})$ ，功率平衡。

例 2-12 . 如图 2-10 (a) 所示, 已知: $R_1=3\Omega$, $R_2=6\Omega$, $R_3=R_4=1\Omega$, $E_1=9\text{V}$, $E_2=2\text{V}$, 求 R_4 上的电流和 R_4 两端的电压。

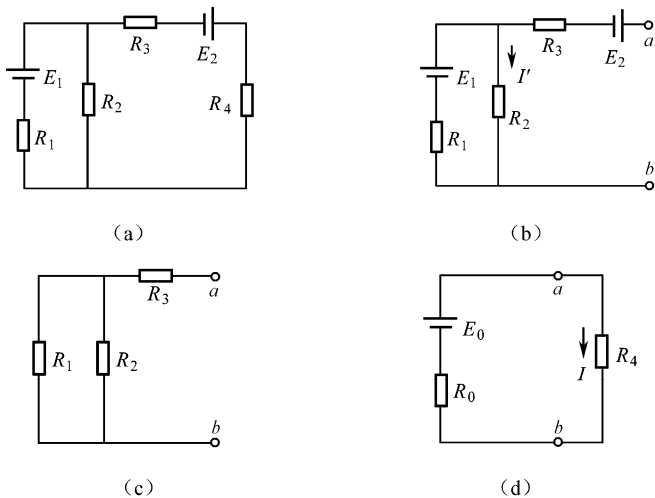


图 2-10

分析：此题只求 R_4 支路的电流和电压，用戴维宁定理求解较为简便。

(1) 先将待求支路 R_4 移去，得一有源二端网络，并据戴维宁定理将其等效为一电压源。具体步骤是：①求出有源二端网络的开路电压 U_0 ，即等效电源的电动势 E_0 ；②将网络中的所有电动势用短路线代替，求出二端网络的等效电阻，即等效电源的内电阻 R_0 ；③作出等效电路图。

(2) 然后将 R_4 移回，利用欧姆定律计算待求的电流和电压。

解：求等效电源电动势，如图 2-10 (b) 所示。

$$I' = \frac{E_1}{R_1 + R_2} = \frac{9}{3+6} = 1(\text{A}), U_0 = U_{ab} = E_2 + I' R_2 = 2 + 1 \times 6 = 8(\text{V})$$

得 $E_0=8(\text{V})$

求等效电源内电阻，如图 2-10 (c) 所示。

$$R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 = \frac{3 \times 6}{3+6} + 1 = 3(\Omega)$$

原电路等效电路如图 2-10 (d) 所示。

$$I_{R4} = I = \frac{E_0}{R_0 + R_4} = \frac{8}{3+1} = 2(\text{A}), U_{R4} = IR_4 = 2 \times 1 = 2(\text{V})$$

注意：(1) 此类问题，准确画出各电路图是关键。作等效电路图时， E_0 的方向应与 U_0 的方向相符合，即 E_0 的高电位应是 U_0 的高电位。

(2) 从计算结果可看出待求支路两端的电压与开路电压 U_0 不相等，这是因为开路电压 U_0 是等效电源的电动势，接回 R_4 后，等效电源的内阻 (R_1, R_2, R_3) 要有电压降。

例 2-13 . 如图 2-11 (a) 所示, 已知电源电动势 $E=4\text{V}$, 内阻 $r=10\Omega$, 电阻 $R_1=5\Omega$, $R_2=10\Omega$ 。

求: (1) R_x 为何值时, 电源输出功率最大? 电源输出最大功率为多少?

(2) R_x 为何值时, R_x 消耗的功率最大? R_x 消耗的最大功率为多少?

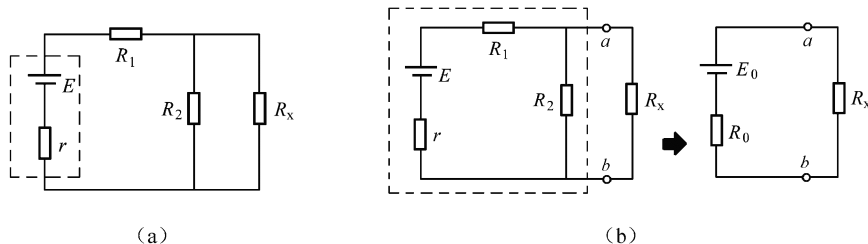


图 2-11

分析：电源输出最大功率即负载获得最大功率的条件是负载电阻等于电源内电阻。电源及负载的各自组成要视问题而定。

(1) 此时，电源是 E 、 r ，电路的负载是 R_2 与 R_x 并联后与 R_1 串联的组合。据电源输出功率最大时总电阻 R 等于内电阻 r ，可求出 R_x 的值，再据 $P_{\max} = \frac{E^2}{4r}$ 求出最大功率值。

(2) 此时，电路的负载是 R_x ，而 R_1 和 R_2 应视为电源内阻的组成部分。先据戴维宁定理求出 R_x 以外的含源二端网络的等效电源，再用上述方法求解 R_x 和最大功率。

解：(1) 此时， R_x 是负载的一部分。据电源输出最大功率时 $R=r$ ，即 $R_2 // R_x + R_1 = r$ ，

$$\frac{R_2 R_x}{R_2 + R_x} + R_1 = r, \quad \frac{10 R_x}{10 + R_x} + 5 = 10$$

得 $R_x = 10(\Omega)$

$$P_{\max} = \frac{E^2}{4r} = \frac{4^2}{4 \times 10} = 0.4(\text{W})$$

(2) 此时， r 、 R_1 、 R_2 视为电源内阻。将该电源化为戴维宁等效电路如图 2-11 (b) 所示。

$$E_0 = \frac{E}{r + R_1 + R_2} R_2 = \frac{4}{10 + 5 + 10} \times 10 = 1.6(\text{V})$$

$$R_0 = (r + R_1) // R_2 = \frac{(r + R_1) R_2}{(r + R_1) + R_2} = \frac{(10 + 5) \times 10}{(10 + 5) + 10} = 6(\Omega)$$

所以 $R'_x = R_0 = 6(\Omega)$ 时， R'_x 消耗功率最大， $P'_{\max} = \frac{E_0^2}{4R_0} = \frac{1.6^2}{4 \times 6} = 0.107(\text{W})$

注意：(1) 求电源输出最大功率时，电源以外的所有电阻的等效电阻为负载。

(2) 求某电阻获得的最大功率时，该电阻以外的电阻要视为电源内阻的组成部分。

练 习 题

练习一（电路与电路模型）

一、填空题

1. 电路就是_____经过的路径。一般，电路由_____、_____、_____和_____等组成。电路通常有_____（又称_____）、_____（又称_____）和_____（又称_____）三种状态。

2. 工程技术中，用_____代表_____绘制出表示_____



的图形,称为_____。

3. 由_____组成的与实际元件相对应的电路,就是_____,称为_____。

4. 电池是一种_____,是将_____直接转化为_____的装置。

5. 单个电池不能满足负载要求时,可由多个电池连接成_____给负载供电。当负载需要的电压大于单个电池能够提供的电压时,可由_____供电;当负载需要的电流大于单个电池的额定放电电流时,可由_____供电;当负载同时需要较高电压和较大电流时,可由_____供电,首先根据负载对_____的要求,将几个电池_____联,再根据负载对_____的要求,将上述电池组_____联。

二、判断题

6. 建立电路模型的意义在于简化电路,便于分析。()

7. 电池组里新旧电池可以混用,这样新旧电池的电能可以互相均衡,充分利用。()

三、选择题

8. 负载是将电能转换为哪种能的设备或器件:()

A. 热能 B. 光能 C. 电能以外的其他形式能

9. 如图 2-12 所示,电路的工作状态是:()

A. 短路 B. 开路 C. 通路

四、问答题

10. 识读如图 2-13 所示的电路图,说一说它的组成。

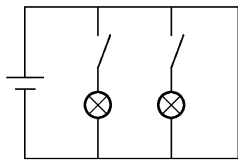


图 2-12

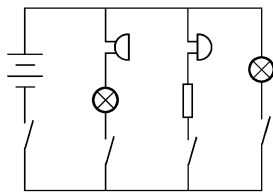


图 2-13

11. 电路中允许出现短路状态吗?请加以分析。

练习二(电路的基本物理量及其测量)

一、填空题

1. _____形成电流。规定电流的方向是_____的方向。

2. 电流的大小用_____来衡量,定义式是_____,单位是_____。

3. 单位换算: $0.02\text{A} = \underline{\hspace{1cm}}\text{mA} = \underline{\hspace{1cm}}\mu\text{A}$, $800\mu\text{A} = \underline{\hspace{1cm}}\text{mA} = \underline{\hspace{1cm}}\text{A}$, $420\text{mA} = \underline{\hspace{1cm}}\mu\text{A} = \underline{\hspace{1cm}}\text{A}$ 。

4. 测量电流时,要将电流表_____联在被测电路中,要让电流从电流表的_____端流入,_____端流出,同时要选择好表的量程,使其_____实际电流的数值。

5. 参考方向是_____的方向,是为_____所设定的参考。电流的实际方向与参考方向相同,则电流取_____值,反之,电流取_____值;由相关电量计算出的电流值,