

第1章 电路的基本定律与分析方法

1.1 基本要求

- 1) 理解电路中物理量的参考方向的概念。
- 2) 能够正确判断电路元件的电路性质，即电源和负载。
- 3) 掌握各种理想电路元件的伏安特性。
- 4) 掌握基尔霍夫定律。
- 5) 能够正确使用支路电流法列写电路的方程。
- 6) 能够使用节点电压法的标准形式列写出节点电压的方程。
- 7) 理解等效的概念，掌握电源等效变换的分析方法。
- 8) 能够正确应用叠加原理分析和计算电路。
- 9) 掌握等效电源定理，在电路分析中能熟练地应用该定理。
- 10) 理解电位的概念，掌握电位的计算方法。
- 11) 了解包含受控源电路的分析方法。

1.2 学习指导

1.2.1 主要内容综述

1. 电路的基本概念

(1) 电路的组成及作用

电路是电流的通路，是为了某种需要由电气设备或元器件按一定方式组合而成的总体。电流的方向不随时间变化，而大小可以改变，称为直流电流。例如，用干电池供电的手电筒，就构成一个直流电路。电流的大小和方向随时间做周期性变化，称为交流电流。常见的电灯、电动机等均采用交流电流，它们则构成交流电路。

电路由电源（或信号源）、负载和中间环节三部分组成。其作用主要有两种：第一，实现电能的传输和转换；第二，实现信号的传递和处理。电源或信号源的电压或电流都可称为激励，而激励在电路中产生的电流和电压称为响应。电路分析就是讨论电路中激励和响应的关系，它是本课程的核心基础。

(2) 电流和电压的参考方向

电路中电流和电压的方向是客观存在的，物理学中规定：电流的实际方向为正电荷运动的方向；电压的实际方向为从高电位（“+”极性）端指向低电位（“-”极性）端，即电位降的方向；电动势的实际方向为从低电位（“-”极性）端指向高电位（“+”极性）端，即电位升的方向。

在分析较为复杂的直流电路时，往往很难事先判断某一支路中电流和电压的实际方向；所以在分析较为复杂的电路之前，需要选择一个参考方向，根据指定的参考方向列写方程，求解电路中未知的电流和电压。

参考方向可以任意选择。参考方向确定之后，根据计算结果的正、负，就可方便地确定电压、电流的实际方向。若计算出的结果为负，则该物理量实际方向与参考方向相反；若计算出的结果为正，则该物理量实际方向与参考方向相同。只有在参考方向选定之后，它们正、负才有意义。

为分析电路方便，对某一元件或某一段电路，常指定其电流从电压的“+”极性端流向“-”极性端，这样，电流和电压取同一参考方向，称为关联参考方向。因此，分析电路时，可以在电路图中只标出某个元件或某一段电路的电压（或电流）的参考方向，其关联电流（或电压）的参考方

向默认一致，不用标明。

(3) 能量与功率

根据能量守恒定律，电路中电源所提供的电能等于负载消耗或吸收的电能的总和。功率是能量对时间的导数，单位时间内的功率为 $p = ui$ 。若电流和电压的实际方向相反，即电流从“+”端流出，则该电路元件是电源（或处于电源状态）；若电流和电压的实际方向相同，即电流从“-”端流出，则该电路元件为负载（或处于负载状态），见教材【例 1.2】。也可以根据功率的正、负判断电源或负载，当电流和电压取关联参考方向时，若 $p > 0$ ，元件实际吸收能量，则为负载；若 $p < 0$ ，元件实际发出能量，则为电源。

(4) 电源的工作状态

① 有载工作状态

如图 1.1 (a) 所示，电源端电压 $U = E - IR_0$ ，这个式子反映出电源端电压 U 随电源输出电流 I 的增大而减小的关系，它所描述的曲线称为电源的外特性曲线，见图 1.1 (b)。

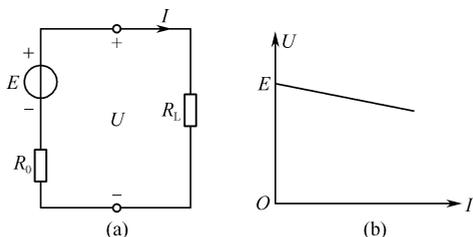


图 1.1 实际电压源及其伏安特性曲线

电路中，电源产生的功率与负载取用的功率及电源内阻和线路电阻上所损耗的功率是平衡的，即 $EI = I^2 R_0 + UI$ ，该公式称为功率平衡方程式，见教材【例 1.3】。

② 开路状态

当电源空载 ($R_L = \infty$) 时，电路中 $I = 0$ ， $U = U_{OC} = E$ ， $P = 0$ 。此现象说明了当电路处于开路状态时，由于不构成电流通路，因此，电流一定为零，而电压不一定为零（还可能是最大）。

③ 短路状态

当负载电阻被一根电阻为零的导线短接时，其电源的端电压 $U = 0$ ， $I_S = E / R_0$ ， $P_S = R_0 I_S^2$ 。这说明当电路的某一部分处于短路状态时，其短路部分的电压一定是零，而电流不一定是零（还可能是最大）。

(5) 额定值与实际值

各种电气设备在正常运行时，电压、电流和功率等所规定的允许值就是额定值。使用时必须考虑这些额定数据。但其使用时的实际值不一定等于额定值。

对于负载来说，在正常工作时，实际值与额定值非常接近。由于外界因素的影响，允许负载的实际电压、电流值与额定值有一定的误差。例如，由于电源电压的波动，允许负载电压在 $\pm 5\%$ 的范围内变化。

而对于电源（电压源）来说，其额定电压是一定的，额定功率只代表它的容量。在实际工作时，其输出电流和功率的大小取决于负载的大小，即负载需要多少功率和电流，电源就提供多少。当实际功率小于额定功率时，称电源为轻载工作；当实际功率等于额定功率时，称电源为满载工作；当实际功率大于额定功率时，称电源为超载工作，电源的超载工作是不允许的。

(6) 理想电路元件

理想电路元件就是将实际电路元件理想化，即在一定条件下突出其主要电磁性质，而忽略其次要因素抽象出来的元件。电路中常用的主要线性元件有以下几种。

① 电阻元件

电阻具有消耗电能的性质。线性电阻在任一瞬间都满足欧姆定律，其伏安特性是一条过原点的直线。当电流和电压取关联参考方向时，如图 1.2 所示， $u = iR$ ，功率为 $p = ui = i^2R = u^2 / R$ ，从 t_0 到 t 的时间内，电阻消耗的能量为

$$W = \int_{t_0}^t u i dt。$$

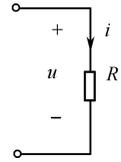


图 1.2 电阻元件

② 电感元件

电感具有通过电流产生磁场而储存磁场能量的性质。根据电磁感应定律，当线性电感上的电流和电压取关联参考方向时，如图 1.3 所示，电感两端电压、电流关系为微积分关系，即， $u = L \frac{di}{dt}$ ， $i = \frac{1}{L} \int u dt$ 。由伏安关系可知，电感元件的电压与通过它的电流的变化率成正比。只有电流变化时，电感两端才有电压。因此，在交流电路中，电感两端有电压。而在直流电路稳定状态下，即 $\frac{di}{dt} = 0$ 时，电感两

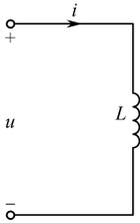


图 1.3 电感元件 端电压为零，可视为短路。电感储能 $W_L = \frac{1}{2} Li^2$ ，它只与该时刻电流的大小有关，与电感两端电压值无关。

③ 电容元件

电容具有加上电压产生电场而储存电场能量的性质。根据电流的定义，当线性电容上的电流和电压取关联参考方向时，如图 1.4 所示，电容上电压、电流关系为微积分关系，即， $i = C \frac{du}{dt}$ ，

$u = \frac{1}{C} \int i dt$ 。由伏安关系可知，电容元件的电流与其两端电压的变化率成正比。

因此，在交流电路中，电容中有电流流过。在直流电路的稳定状态下，即 $\frac{du}{dt} = 0$ 时，

电容可视为开路。电容储能 $W_C = \frac{1}{2} Cu^2$ ，它只与该时刻电压的大小有关。

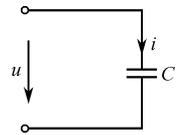


图 1.4 电容

④ 理想电压源

理想电压源两端的电压总保持为某个给定的时间函数，与通过它的电流无关。如果理想电压源电压的大小恒等于常数，则称为恒压源。

通过理想电压源电流的大小取决于外电路。

⑤ 理想电流源

理想电流源的电流总保持为某个给定的时间函数，与其两端电压无关。如果理想电流源电流的大小恒等于常数，则称为恒流源。

理想电流源两端电压的大小取决于外电路。

⑥ 理想受控源

理想受控源在电路中起电源作用，但其电压或电流受电路中其他部分电压或者电流的控制。一般分为 4 种类型：压控电压源，压控电流源，流控电压源，流控电流源。

2. 电路的基本定律

(1) 欧姆定律

欧姆定律表示的是电阻元件上电压与电流所遵循的规律。当电阻上的电压和电流采用关联参考方向时，才能表示为 $u = iR$ ；反之，表示为 $u = -iR$ 。

(2) 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律，它仅与元件的连接方式有关，适用于各种元件构成的电路在任一时刻、任何波形的节点电流关系和回路电压关系。在应用时，一定要指定各支路或元件电流和电压的参考方向，以及有关回路的绕行方向。

① 基尔霍夫电流定律 (KCL)

任一瞬间，任一节点，所有流入、流出该节点的支路电流的代数和恒等于零，即 $\sum I = 0$ 。就参考方向而言，如果规定流出节点的电流在式中取正号，则流入节点的电流取负号。基尔霍夫电流定律是电流连续性和电荷守恒定律在电路中的体现。它可以推广应用于电路中包含几个节点的闭合面，见教材【例 1.7】和习题 1-9。

② 基尔霍夫电压定律 (KVL)

任一瞬间，沿任一回路，所有支路电压的代数和恒等于零，有 $\sum U = 0$ 。一般规定，当电压的参考方向与回路绕行方向相同时，该电压在式中取正号，否则取负号。基尔霍夫电压定律是电位单值性和能量守恒定律在电路中的体现。它可推广应用于假想的回路中，即开口电路中，见教材【例 1.8】。

3. 电路的分析方法

(1) 支路电流法

用支路电流法分析有 n 个节点， b 条支路的电路，以各支路电流为未知量，首先在电路图上标出各支路电流的参考方向，然后，根据基尔霍夫电流定律对节点列出 $(n-1)$ 个独立的 KCL 方程，再根据基尔霍夫电压定律对网孔列出其余 $(b-n+1)$ 个独立的 KVL 方程，最后联立求解出支路电流。

(2) 节点电压法 (弥尔曼定理)

对于仅包含两个节点的电路，先选取其中任一节点作为参考节点，则电路中的节点电压为另一个节点到参考节点之间的电压，其大小为

$$U = \frac{\sum \frac{E}{R} + \sum I_s}{\sum \frac{1}{R}}$$

式中，分母部分 $\sum \frac{1}{R}$ 是与节点相连的所有电阻支路的电阻的倒数之和，分母中的各项总为正值。

分子中的各项可正可负，当电动势的方向与节点电压的参考方向相反时取正，相同时取负；当电流源电流流入节点时为正，流出节点时为负。注意：弥尔曼定理仅适用于两个节点的电路。

(3) 电源等效变换法

任何一个实际电源都可以等效为电压源或电流源这两种电路模型。由于两者对外电路是等效的，即两者外特性是相同的，因此，这两种模型对外可以等效变换，等效的条件是 $E = I_s R_0$ 。同时，必须保证变换前后方向一致，即 I_s 的方向从 E 的“-”端指向“+”端。等效变换的电路如图 1.5 所示。

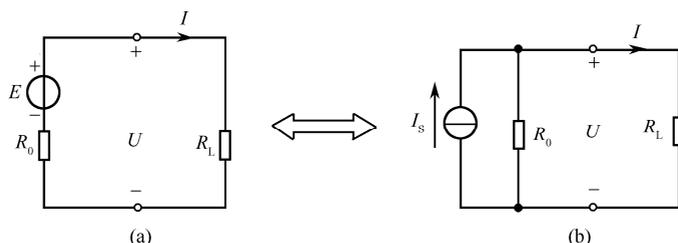


图 1.5 电压源与电流源的等效变换

根据基尔霍夫定律，串联的恒压源可以合并，并联的恒流源可以合并，所以当电路中存在多个电源时，可以将电源进行变换、合并，简化电路。需要强调的是，电源等效是对外等效，对内并不等效，所以待求支路不得参与变换。

(4) 叠加原理

在多个电源共同作用的线性电路中，任一支路的电流（或电压）都可以看成各电源单独作用于电路时，在该支路上产生的电流（或电压）的代数和。在叠加过程中，当理想电压源不作用时，将其短路，电动势为零；当理想电流源不作用时，将其开路，电流值为零；但电源内阻和受控源一定要保留。

(5) 电源等效定理

在电路分析计算中，往往只需要研究某一支路的电压、电流及功率。对所研究支路而言，电路的其余部分便成为一个有源二端网络（或有源一端口网络）。为了化简电路，方便计算，可以把有源二端网络等效为一个电压源模型或者电流源模型，由此得出戴维南定理和诺顿定理。

① 戴维南定理

任何一个线性有源二端网络，对外电路来说，总可以用一个电压源和电阻的串联组合来等效替代，此电压源的电压等于该二端网络的开路电压 U_{oc} ；电阻等于该二端网络的全部独立电源置零后的输入电阻 R_0 。

② 诺顿定理

任何一个线性有源二端网络，对外电路来说，总可以用一个电流源和电阻的并联组合来等效替代，此电流源的电流等于该二端网络的短路电流 I_s ；而电阻等于该二端网络的全部独立电源置零后的输入电阻 R_0 ，该输入电阻也可以利用开路电压和短路电流来求解，即 $R_0 = U_{oc} / I_s$ 。

值得一提的是，电源等效定理从宏观上将一个二端网络进行直接等效，电源等效变换法则从微观上将某条支路或几条支路进行等效，两者都利用了电源的外特性，要注意两者的区别。

(6) 电位的计算

电位指某点到参考点的电压降，参考点是零电位点。参考点可根据需要任意选择，但常选在电路的公共节点处。电位的大小是相对的，与参考点有关；而电压的大小是绝对的，与参考点无关。

1.2.2 重点难点解析

1. 本章重点

(1) 各种理想电路元件的伏安特性

① 电阻元件

电阻是耗能元件，线性电阻的阻值 R 是一个常数，不随两端电压和通过它的电流的变化而变化，在任一瞬间都满足欧姆定律，其 $u-i$ 伏安特性是一条过原点的直线，见图 1.6。

② 电感元件

电感是储能元件，为磁场储能。线性电感元件的电感量 L 是一个常数，它不随磁通和电流的变化而变化，其 $\Phi-i$ 韦安特性是一条过原点的直线。当电流和电压取关联参考方向时，电感两端电压 $u = L \frac{di}{dt}$ 。

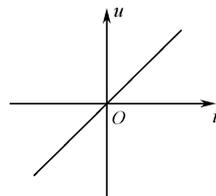


图 1.6 电阻元件的伏安特性

当 $t_0 = 0$ ，电感中的初始电流 $i_0 = 0$ 时， $i = \frac{1}{L} \int_0^t u dt$ 。

③ 电容

电容是储能元件，为电场储能。线性电容的电容量 C 是一个常数，它不随电容上的电压和极板上所带电荷的变化而变化，其 $q-u$ 库伏特性是一条过原点的直线。当电流和电压取关联参考方向时，电容上的电流为 $i = C \frac{du}{dt}$ 。当 $t_0 = 0$ ，电容两端初始电压 $u_0 = 0$ 时， $u = \frac{1}{C} \int_0^t i dt$ 。其伏安特性是，当电容电压 u 随时间 t 变化而变化时，其电流 i 与电压 u 随时间 t 变化的变化率成正比。因此，在直流电路达到稳定后，电容可视为开路。电容具有隔直流通交流的作用。

④ 恒压源

恒压源两端电压由电源本身决定，与外电路无关，与流经它的电流大小、方向无关。流经恒压源电流的大小和方向都是未知的，由电压源和外电路共同决定。恒压源及其伏安特性如图 1.7 所示。

实际电压源可以用恒压源和电阻串联的组合表示，实际电压源及其伏安特性（或外特性）如图 1.8 所示。电源端电压 $U = E - IR_0$ ， U 随着 I 的增大而逐渐减小。实际电压源的端电压波动越小越好，也就是说，只有内阻 R_0 非常小时，这样内阻上的分压小，才能使得端电压 U 在电流 I 变化的情况下波动小。因此，电压源一旦短路，其短路电流 $I_S = E / R_0$ 将很大，如果没有保护电路，可能烧毁电压源。

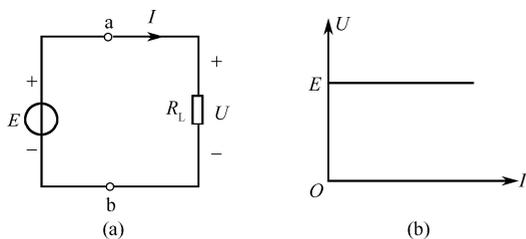


图 1.7 恒压源及其伏安特性

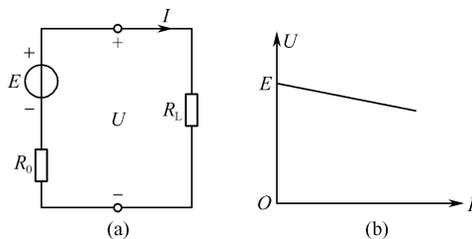


图 1.8 实际电压源及其伏安特性

⑤ 恒流源

恒流源的输出电流由电流源本身决定，与外电路无关，与它两端电压大小、方向无关。恒流源两端电压的大小和方向是未知的，由电流源及外部电路共同决定。恒流源及其伏安特性如图 1.9 所示。

实际电流源可以用恒流源和电阻并联的组合表示，实际电流源其伏安特性（或外特性）如图 1.10 所示。负载电流 $I = I_S - \frac{U}{R_0}$ ， U 随着 I 的增大而逐渐减小。实际电流源的输出电流波动越小越好，

也就是说，只有内阻 R_0 非常大时，这样内阻上的分流小，才能使得输出电流 I 在电压 U 变化的情况下波动小。因此，电流源一旦开路，其开路电压 $U_{OC} = I_S R_0$ 将很大，如果没有保护电路，可能烧毁电流源。

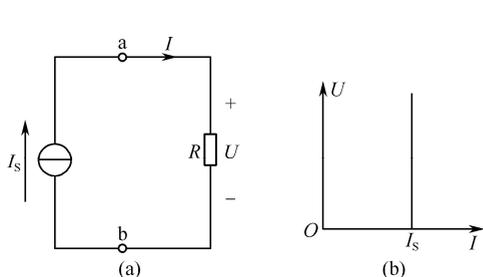


图 1.9 恒流源及其伏安特性

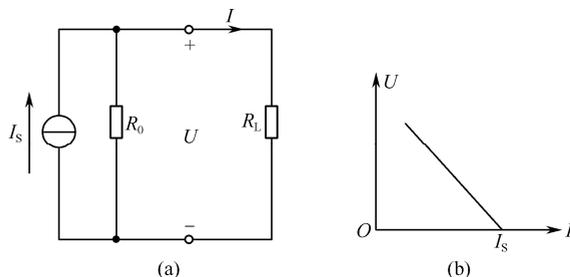


图 1.10 实际电流源及其外特性曲线

(2) 基尔霍夫定律

基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律，反映电路中所有支路电流和电压所遵循的基本规律，具有普遍适用性。应用基尔霍夫定律分析电路时，一定要先指定各支路或元件电流和电压的参考方

向，以及有关回路的绕行方向。对于 KCL， $\sum I = 0$ ；对于 KVL， $\sum U = 0$ 。

(3) 支路电流法

支路电流法是电路分析中最基本的方法之一。它以支路电流作为电路的未知变量，对有 n 个节点， b 条支路的电路，需列出 b 个方程。利用支路电流法分析电路的一般步骤如下。

- ① 选定各支路电流的参考方向。
- ② 根据 KCL 对 $(n-1)$ 个独立节点列写节点电流方程。
- ③ 选取 $b - (n-1)$ 个独立回路，指定回路绕行方向，根据 KVL 列写回路电压方程。
- ④ 联立求解 b 元一次方程组，即得各支路电流。

(4) 叠加原理

叠加原理对线性电路具有普遍适用性，经常用来简化处理复杂电路，推导其他定理。应用叠加原理分析电路的一般步骤如下。

- ① 选定待求量的参考方向。
- ② 画出各电源单独作用时的电路图。当电压源不作用时，用短路线代替；当电流源不作用时，将其开路；保留电源内阻，并标明各分量的参考方向。
- ③ 分别计算各分量。
- ④ 求各分量的代数和，若分量的参考方向和总量一致，则取正，若相反则取负。

对于电源个数不是很多的电路，叠加原理非常好用，但经常容易出错，需要特别注意以下三个问题。

- ① 叠加原理只适用于线性电路中电压、电流的计算。功率是电压和电流的乘积，不是线性函数，不能用叠加原理计算。
- ② 应用叠加原理求电压和电流是代数量的叠加，要特别注意各代数量的符号，即注意在各电源单独作用时计算的电压、电流参考方向是否一致，一致时相加，反之相减。
- ③ 叠加的方式是任意的，可以一次使一个独立电源单独作用，也可以一次使几个独立电源同时作用，方式的选择取决于实际问题的分析情况。

(5) 戴维南定理

戴维南定理在电路故障诊断中应用较多。利用戴维南定理分析线性电路的一般步骤如下。

- ① 确定待求量的参考方向，根据待求支路确定有源二端网络，并画出去掉待求支路后的电路图。
- ② 求解有源二端网络的开路电压 U_{OC} ，注意标明开路电压的参考方向。
- ③ 画出该二端网络全部独立电源置零后的电路图，求解二端网络的输入电阻 R_0 。
- ④ 画出戴维南等效电路图，电动势的极性根据 U_{OC} 的极性确定。
- ⑤ 接上待求支路，求解未知量。

2. 本章难点

(1) 电流和电压的参考方向的应用

实际方向是客观存在的，物理学中有定义。而复杂电路中很难直接确定某一支路电流或某一部分电压的实际方向。通常，在分析和计算电路时，必须首先确定电压和电流的参考方向（通常取电压、电流的参考方向一致，即电流从电压的“+”极性端流向“-”极性端，称之为关联参考方向），再根据参考方向列写 KCL 或 KVL 方程求解。

根据参考方向和计算结果的正、负才能确定电压或电流的实际方向。若事先没有选定参考方向，则所得数值的正、负没有任何意义！

(2) 戴维南定理的应用

用戴维南定理分析线性电路，方法简单，思路清晰，尤其对于求解复杂电路中某一元件或某一

支路的电流，非常方便。利用戴维南定理分析电路一定要掌握如下步骤。

① 首先确定待求量的参考方向，根据该参考方向确定二端网络的 a 与 b。将待求支路划出，其余部分就是一个有源二端网络。

② 求有源二端网络的开路电压（注意二端网络开路电压的方向）。

③ 求有源二端网络的除源等效内阻。

④ 画出有源二端网络的戴维南等效电路，电动势的极性根据 U_0 的极性确定。

⑤ 将划出的支路接在 a、b 两端，由此电路计算待求量。

(3) 理想电压源和理想电流源的概念

理想电压源输出的电压为定值，与流过它的电流大小、方向无关，而流过理想电压源中的电流是由理想电压源的端电压与外电路共同决定的。当一个理想电压源 E 与一个元件（或部分电路）并联时，对外电路来讲可以等效为一个理想电压源。这种等效不影响外电路元件上的电压和电流，只是改变了理想电压源中的电流。所以与理想电压源并联的元件（电路）对外电路不起作用。

理想电流源输出的电流为定值，与其端电压的大小、方向无关，而理想电流源的端电压是由理想电流源的电流与外电路共同决定的。当一个理想电流源 I 与一个元件（或部分电路）串联时，对外电路来讲可以等效为一个理想电流源。这种等效不影响外电路元件上的电压和电流，只是改变了理想电流源两端的电压。所以与理想电流源串联的元件（电路）对外电路不起作用。

(4) 含受控源电路的分析

当电路中含有受控源时，首先要能从受控源的电路符号中准确区分受控源的类型，是受控电流源，还是受控电压源。受控源的输出特性与独立电源相似，但它们有本质上的区别。独立电源在电路中起激励的作用，其电压或电流不受其他支路的电压或电流控制。而受控源自身不能产生激励的作用，当电路中只有受控源而没有独立电源时，电路中将没有电流、电压。受控源是对半导体器件建模必不可少的电路元件，它表示电路中支路电压、支路电流之间的一种控制关系，当控制量为零时，受控源的输出电压或电流也将为零。在分析含有受控源的电路时，要注意受控源的控制量，进行等效变换时不要把控制量变换掉，计算电路等效电阻时要记住受控源具有电阻性而不能简单地将被受控源去掉，只能采用外加电压法或开路电压短路电流法来计算含有受控源电路的等效电阻。

1.3 思考与练习解答

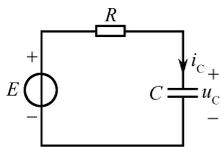


图 1.11 思考与练习 1-1-1 的电路

1-1-1 在图 1.11 所示电路中，求：通过电容元件的电流 $i_C = ?$ 电容元件两端的电压 $u_C = ?$ 电容的储能是否为零？为什么？

答：在直流电路中，电容元件视为开路，所以

$$i_C = 0\text{A}, \quad u_C = E$$

电容的储能 $W_C = \frac{1}{2}Cu^2 \neq 0\text{J}$ 。因为 $u_C \neq 0\text{V}$ ，所以 $W_C \neq 0\text{J}$ 。

1-1-2 在图 1.12 所示电路中，求：通过电感的电流 $i_L = ?$ 电感两端的电压 $u_L = ?$ 电感的储能是否为零？为什么？

答：在直流电路中，电感元件视为短路，所以

$$u_L = 0\text{V}, \quad i_L = \frac{E}{R}$$

电感的储能 $W_L = \frac{1}{2}Li^2 \neq 0\text{J}$ 。

因为 $i_L \neq 0\text{A}$ ，所以 $W_L \neq 0\text{J}$ 。

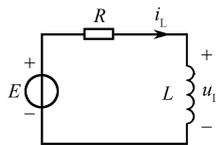


图 1.12 思考与练习 1-1-2 的电路

1-1-3 额定值为220V, 100W的电灯, 当其正常工作时, 流过的电流为多大? 电阻为多大?

答: 电流 $I = \frac{P}{U} = \frac{100}{220} = 0.455\text{A}$, 电阻 $R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.455} = 484\Omega$ 。

1-1-4 额定值为1W, 1000Ω的电阻, 使用时, 电流和电压不得超过多大数值?

答: 额定电流 $I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{1}{1000}} = 0.032\text{A}$

额定电压 $U = IR = 0.032 \times 1000 = 32\text{V}$

因此, 使用时电流不能超过0.032A, 电压不能超过32V。

1-1-5 如何根据 U, I 的实际方向判断电路中元件是电源还是负载? 如何根据 P 的正、负判断电路中元件是电源还是负载?

答: 当电流和电压的实际方向相反时, 即电流从“+”端流出, 该电路元件是电源; 若电流和电压的实际方向相同时, 即电流从“-”端流出, 该电路元件为负载。

当电流和电压取关联参考方向时, 若 P 为正, 则元件吸收能量, 是负载; 若 P 为负, 则元件发出能量, 是电源。

1-1-6 直流发电机的额定值为: 40kW, 230V, 174A。问何为发电机的空载、轻载、满载、过载运行? 若给发电机接上一个额定功率为60W的负载, 则此时发电机发出的功率是多少?

答: 空载是指发电机开路, 没接负载, 或者说负载功率为零; 轻载表示发电机所接负载功率小于40kW; 满载表示负载功率等于40kW; 过载表示负载功率大于40kW。若发电机所接负载功率为60W, 则此时发电机的实际输出功率为60W。

1-1-7 在图1.13所示电路中, 求:

(1) 开关闭合前后的电流 I_1, I_2, I 是否发生变化? 为什么?

(2) 若由于接线不慎, 100W电灯被短路, 则后果如何? 100W电灯的灯丝是否被烧断?

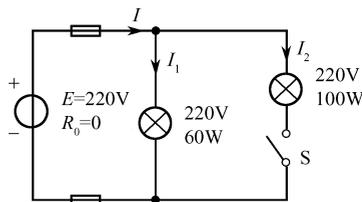


图1.13 思考与练习1-1-7的电路

答: (1) 因为电源内阻为零, 所以开关闭合前后, 60W电灯两端电压不变, 则 I_1 不变; 100W电灯的两端电压从0变为220V, 则 I_2 增大; 负载所需电流增大, 所以总电流 I 增大。

开关S闭合前, $I = I_1 = \frac{P}{U} = \frac{60}{220} = 0.273\text{A}, I_2 = 0\text{A}$

开关S闭合后, $I'_1 = \frac{P}{U} = \frac{60}{220} = 0.273\text{A}, I'_2 = \frac{P}{U} = \frac{100}{220} = 0.455\text{A},$

$$I' = I'_1 + I'_2 = 0.273 + 0.455 = 0.728\text{A}$$

(2) 100W电灯被短路后, 其所在支路与电压源构成短路回路, $R \approx 0\Omega$, 因此电流无穷大。保险丝立刻被烧断, 60W与100W电灯均不亮。100W电灯两端电压为零, 无电流流过, 所以灯丝不会被烧毁。

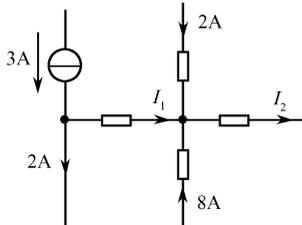


图1.14 思考与练习1-2-1的电路

1-2-1 求图1.14电路中的未知电流 I_1 和 I_2 。

答: 参考方向如图1.14所示, 设电流流入为正, 流出为负。

$$I_1 = 3 - 2 = 1\text{A}, I_2 = 2 + 1 + 8 = 11\text{A}$$

1-2-2 求图1.15电路中的未知电流 I 及电压 U_{ab} 。

答: 根据扩展的KCL, 有 $I = 0\text{A}$ 。

参考方向如图1.15所示, 设回路绕行方向为顺时针方向, 若电压参考方向与回路绕行方向一致则取正, 否则取负。注意 U_{ab} 的参考方向为由a指向b。

$$U_{ab} = -10 + 2 = -8\text{V}$$

1-3-1 电路如图 1.16 所示, 已知 $E = 100\text{V}$, $R_0 = 1\Omega$ 。

(1) 计算负载电阻 R_L 为 1Ω , 10Ω , 100Ω 时的 U , I 各为多少?

(2) 若内阻为 0, 再进行上述计算。

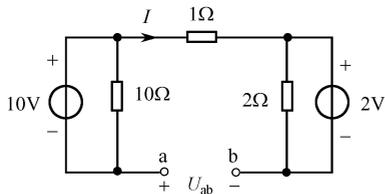


图 1.15 思考与练习 1-2-2 的电路

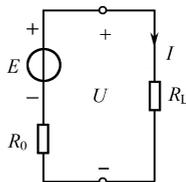


图 1.16 思考与练习 1-3-1 的电路

答: 参考方向如图所示。

$$(1) \text{ 当 } R_L = 1\Omega \text{ 时, } U_1 = E \cdot \frac{R_L}{R_0 + R_L} = 100 \times \frac{1}{1+1} = 50\text{V}, I = \frac{U_1}{R_{L1}} = \frac{50}{1} = 50\text{A}$$

$$\text{当 } R_L = 10\Omega \text{ 时, } U_2 = \frac{ER_L}{R_0 + R_L} = \frac{100 \times 10}{1+10} = 91\text{V}, I = \frac{U_2}{R_{L2}} = \frac{91}{10} = 9.1\text{A}$$

$$\text{当 } R_L = 100\Omega \text{ 时, } U_3 = \frac{ER_L}{R_0 + R_L} = \frac{100 \times 100}{1+100} = 99\text{V}, I = \frac{U_3}{R_{L3}} = \frac{99}{100} = 0.99\text{A}$$

(2) 若内阻为 0, 则负载两端电压恒等于 E , 有

$$I = \frac{E}{R_L} = \frac{100}{1} = 100\text{A}$$

$$I = \frac{E}{R_L} = \frac{100}{10} = 10\text{A}$$

$$I = \frac{E}{R_L} = \frac{100}{100} = 1\text{A}$$

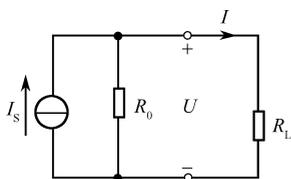


图 1.17 思考与练习
1-3-2 的电路

1-3-2 电路如图 1.17 所示, 已知 $I_s = 100\text{A}$, $R_0 = 1000\Omega$ 。

(1) 计算负载电阻 R_L 为 1Ω , 10Ω , 100Ω 时的 U , I 各为多少?

(2) 若内阻为 0, 再进行上述计算。

答: 参考方向如图 1.17 所示。

$$(1) \text{ 当 } R_L = 1\Omega \text{ 时, } I = I_s \cdot \frac{R_0}{R_0 + R_L} = 100 \times \frac{1000}{1000+1} = 99.9\text{A} \quad (\text{电阻并联分流公式}),$$

$$U = IR_L = 99.9 \times 1 = 99.9\text{V}$$

$$\text{当 } R_L = 10\Omega \text{ 时, } I = \frac{I_s R_0}{R_0 + R_L} = \frac{100 \times 1000}{1000+10} = 99\text{A}, U = IR_L = 99 \times 10 = 990\text{V}$$

$$\text{当 } R_L = 100\Omega \text{ 时, } I = \frac{I_s R_0}{R_0 + R_L} = \frac{100 \times 1000}{1000+100} = 90.9\text{A}, U = IR_L = 90.9 \times 100 = 9090\text{V}$$

可见, 随着负载电阻的增大, 电源端电压逐渐增大, 输出电流逐渐减小。

(2) 若内阻为 0, 则负载两端电压等于零, $I_1 = I_2 = I_3 = 0$ 。可见, 内阻为零的电流源端短路了。

若电压源内阻为 0, 则相当于恒压源, 其端电压不随负载阻值的变化而变化; 若电流源内阻无穷大, 则相当于恒流源, 其输出电流不随负载阻值的变化而变化。

1-3-3 应用戴维南定理将如图 1.18 所示电路化为等效电压源。

答：参考方向如图 1.18 所示，设回路绕行方向为顺时针方向，电压参考方向与回路绕行方向一致取正，否则取负。

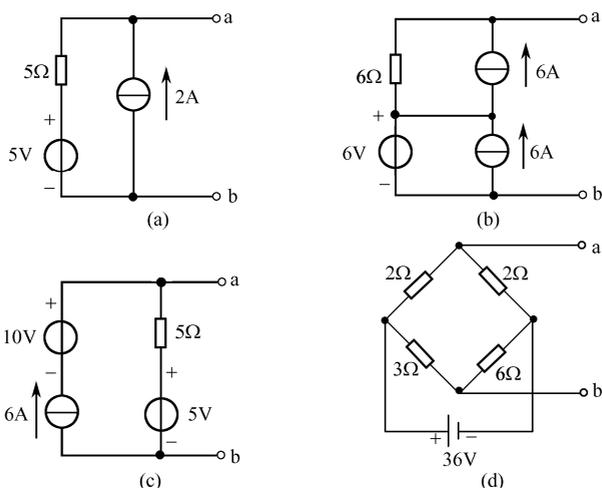


图 1.18 思考与练习 1-3-3 的电路

(a) 开路电压 $U_{ab} = 2 \times 5 + 5 = 15\text{V}$ ，输入电阻 $R_0 = 5\Omega$ ，戴维南等效电路图见图 1.19 (a)。

(b) 开路电压 $U_{ab} = 6 \times 6 + 6 = 42\text{V}$ ，输入电阻 $R_0 = 6\Omega$ ，戴维南等效电路图见图 1.19 (b)。

(c) 开路电压 $U_{ab} = 6 \times 5 + 5 = 35\text{V}$ ，输入电阻 $R_0 = 5\Omega$ ，戴维南等效电路图见图 1.19 (c)。

(d) 开路电压 $U_{ab} = 36 \times \frac{2}{2+2} - 36 \times \frac{6}{3+6} = -6\text{V}$ ，输入电阻 $R_0 = 2//2 + 3//6 = 3\Omega$ ，戴维南等效电路

路图见图 1.19 (d)。

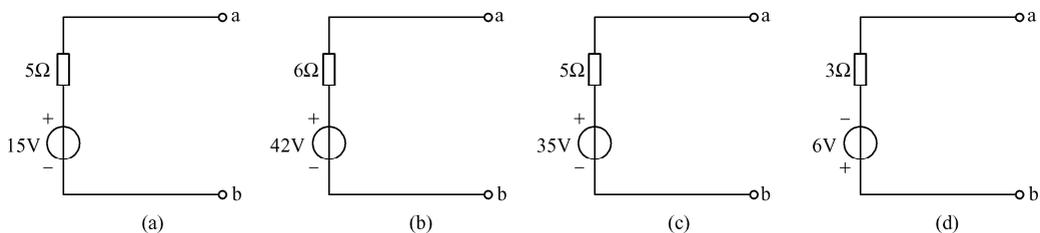


图 1.19 思考与练习 1-3-3 解图

1-3-4 一个有源二端网络可以等效为一个含有内阻的电压源，能否等效为一个含有内阻的电流源？若可以，它们是什么关系？

答：一个有源二端网络可以等效为一个含有内阻的电压源，也可以根据诺顿定理等效为一个含有内阻的电流源，等效电压源和等效电流源符合电源的等效变换。

1-3-5 用电位表示的电路如图 1.20 所示。

(1) 参考点在什么位置？

(2) 将其还原为习惯画法的电路。

答：(1) 参考点在电源的接地端。

(2) 还原电路图，如图 1.21 所示。

1-3-6 计算如图 1.22 所示电路中 b 点的电位。

答：还原电路图，参考点、参考方向如图 1.23 所示。设回路绕行方向为逆时针方向，若电压参考方向与回路绕行方向一致则取正，否则取负。

方法 1: 支路电流法

$$I = \frac{-9 - 6}{100 \times 10^3 + 50 \times 10^3} = -0.1 \text{ mA}$$

$$V_b = 6 - 0.1 \times 10^{-3} \times 50 \times 10^3 = 1 \text{ V}$$

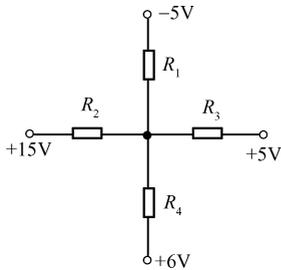


图 1.20 思考与练习 1-3-5 的电路

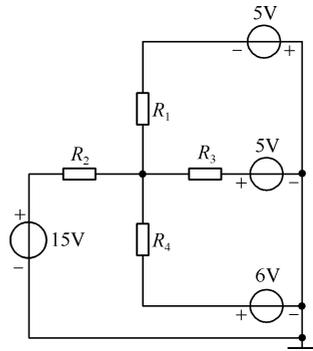


图 1.21 思考与练习 1-3-5 解图

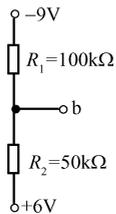


图 1.22 思考与练习 1-3-6 的电路

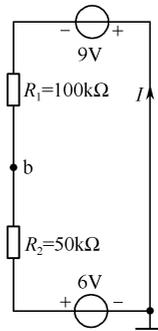


图 1.23 思考与练习 1-3-6 解图

方法 2: 节点电压法

$$V_b = \frac{\frac{-9}{100 \times 10^3} + \frac{6}{50 \times 10^3}}{\frac{1}{100 \times 10^3} + \frac{1}{50 \times 10^3}} = 1 \text{ V}$$

1.4 习题解答

1-1 在图 1.24 中, 方框代表电源或负载。已知: $U = 100 \text{ V}$, $I = -2 \text{ A}$ 。试问: 哪些方框是电源? 哪些是负载?

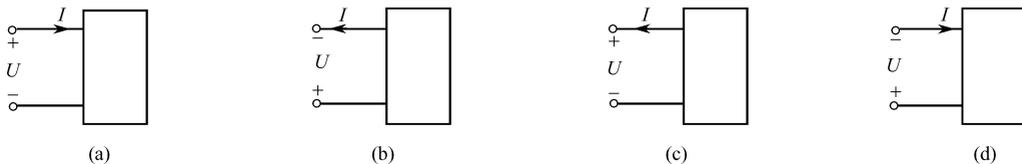


图 1.24 习题 1-1 的电路

解: 因为电流为负值, 所以电流的实际方向与参考方向相反。

图 (a) 中, 若用实际方向来判断, 则电流从方框电压的 “+” 端流出, 两者实际方向相反, 为电源; 若用功率来判断, 图中电流和电压采用关联参考方向, $P = 100 \times (-2) = -200 \text{ W} < 0$, 所以

为电源。

图 (b) 中, 电流从方框电压的 “+” 端流出, 两者实际方向相反, 为电源; 图中电压和电流采用关联参考方向, $P = 100 \times (-2) = -200\text{W} < 0$, 所以为电源。

图 (c) 中, 电流从方框电压的 “-” 端流出, 两者实际方向相同, 所以为负载。

图 (d) 中, 电流从方框电压的 “-” 端流出, 两者实际方向相同, 所以为负载。

1-2 已知蓄电池充电电路如图 1.25 所示, 电动势 $E = 20\text{V}$, 设 $R = 2\Omega$, 当端电压 $U = 12\text{V}$ 时, 求: 电路中的充电电流 I 及各元件的功率, 并验证功率平衡的关系。

解: 参考方向如图 1.25 所示, 设回路绕行方向为顺时针方向。

根据基尔霍夫电压定律列写回路电压方程: $RI + U = E$, 所以

$$I = \frac{E - U}{R} = \frac{20 - 12}{2} = 4\text{A}$$

图 1.25 中电压源电压和电流实际方向相反, 为电源。

电源发出功率为 $P_E = EI = 20 \times 4 = 80\text{W}$

电阻和蓄电池电压和电流实际方向相同, 均为负载。

负载消耗功率为 $P_R = I^2 R = 4^2 \times 2 = 32\text{W}$, $P_V = UI = 12 \times 4 = 48\text{W}$, $P_E = P_R + P_V = 80\text{W}$, 电路中电源发出的功率等于负载消耗的功率, 因此功率是平衡的。

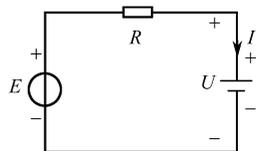


图 1.25 习题 1-2 的电路

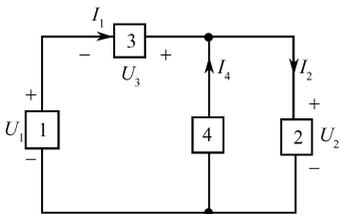


图 1.26 习题 1-3 的电路

1-3 图 1.26 所示电路中, 已知: $U_1 = 14\text{V}$, $I_1 = 2\text{A}$, $U_2 = 10\text{V}$, $I_2 = 1\text{A}$, $U_3 = -4\text{V}$, $I_4 = -1\text{A}$ 。试求: 各元件的功率, 说明是吸收还是发出, 并验证功率平衡的关系。

解: 参考方向如图 1.26 所示。

$U_1 = 14\text{V}$, $I_1 = 2\text{A}$, 两者实际方向相反, 是电源。

若取 U_1 , I_1 为关联参考方向, 则 $P_1 = -U_1 I_1 = -28\text{W}$ 。

$U_2 = 10\text{V}$, $I_2 = 1\text{A}$, 两者实际方向相同, 吸收功率, 是负载。

若取 U_2 , I_2 为关联参考方向, 则 $P_2 = U_2 I_2 = 10 \times 1 = 10\text{W}$ 。

$U_3 = -4\text{V}$, $I_3 = I_1 = 2\text{A}$, 两者实际方向相同, 吸收功率, 是负载。

若取 U_3 , I_3 为关联参考方向, 则 $P_3 = U_3 I_1 = 8\text{W}$ 。

$U_4 = U_2 = 10\text{V}$, $I_4 = -1\text{A}$ 两者实际方向相同, 吸收功率, 是负载。

若取 U_4 , I_4 为关联参考方向, 则 $P_4 = U_2 I_4 = 10\text{W}$ 。

所以 $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 0\text{W}$, 电路中电源发出的功率等于负载消耗的功率, 因此功率是平衡的。

1-4 求图 1.27 电路中电流源两端的电压及通过电压源的电流。

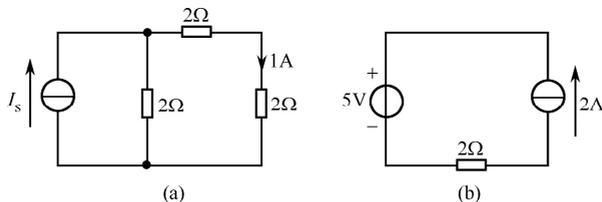


图 1.27 习题 1-4 的电路

解: 参考方向如图 1.27 所示。

图 (a) 中, 电流源电压和电流取关联参考方向, 所以

$$U_s = -1 \times (2 + 2) = -4\text{V}$$

图 (b) 中, 电流源电压和电流取关联参考方向, 所以

$$U_s = -5 - 2 \times 2 = -9\text{V}$$

通过电压源的电流与电压也取关联参考方向, 则 $I_V = 2\text{A}$, 方向与电流源电流方向一致。

1-5 一个直流电源, 其额定功率为 $P_N = 200\text{W}$, 额定电压 $U_N = 50\text{V}$, 内阻为 $R_0 = 0.5\Omega$, 负载电阻 R_L 可调。试求: (1) 额定工作状态下的电流及负载电阻; (2) 开路电压 U_{OC} ; (3) 短路电流 I_S 。

解: 参考方向见图 1.28。

$$(1) \text{ 额定工作状态下的电流 } I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{200}{50} = 4\text{A}$$

$$\text{额定工作状态下的负载电阻 } R_L = \frac{U_N}{I_N} = \frac{50}{4} = 12.5\Omega$$

$$(2) \text{ 开路电压 } U_{OC} = U_N + I_N R_0 = 50 + 4 \times 0.5 = 52\text{V}$$

$$(3) \text{ 短路电流 } I_S = \frac{U_{OC}}{R_0} = \frac{52}{0.5} = 104\text{A}$$

1-6 图 1.29 中, 已知 $U_1 = 10\text{V}$, $E_1 = 4\text{V}$, $E_2 = 2\text{V}$, $R_1 = 4\Omega$, $R_2 = 2\Omega$, $R_3 = 5\Omega$, $R_4 = 2\Omega$ 。试计算开路电压 U_2 。

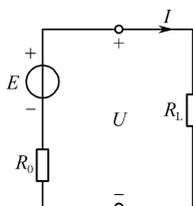


图 1.28 习题 1-5 的解图

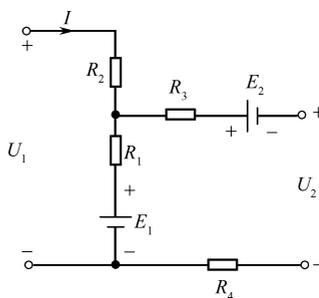


图 1.29 习题 1-6 的电路

解: 参考方向如图 1.29 所示。

对左边回路列写 KVL 方程

$$U_1 = IR_2 + IR_1 + E_1$$

支路电流

$$I = \frac{U_1 - E_1}{R_1 + R_2} = \frac{10 - 4}{4 + 2} = 1\text{A}$$

对右边回路列写 KVL 方程

$$U_2 - E_1 - IR_1 + E_2 = 0$$

开路电压

$$U_2 = E_1 + IR_1 - E_2 = 4 + 1 \times 4 - 2 = 6\text{V}$$

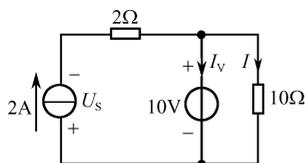


图 1.30 习题 1-7 的电路

1-7 图 1.30 电路中, 求恒流源的电压, 恒压源的电流及各自的功率。

解: 参考方向如图 1.30 所示, 各电源的电压和电流均取关联参考方向。

对左边网孔列写 KVL 方程, 则

$$U_s = -2 \times 2 - 10 = -14\text{V}$$

$$P_s = U_s I = -14 \times 2 = -28\text{W} < 0$$

是电源。

$$I = \frac{10}{10} = 1\text{A}$$

恒压源电压和电流取关联参考方向, 根据 KCL 列写方程

$$I_V = I_s - I = 2 - 1 = 1\text{A}$$

$$P_V = UI_V = 10 \times 1 = 10\text{W} > 0$$

是负载。

1-8 图 1.31 电路中，流过 8V 电压源的电流是 0，计算 R_x , I_x , U_x 。

解：参考方向如图 1.31 所示。

由于 8V 电压源所在支路无电流流过，因此列写 KVL 方程如下。

对右边网孔： $(50 + R_x)I_x = 8$

对左边网孔： $(100 + 50 + R_x)I_x = 12$

联立求解，得 $I_x = 0.04\text{A}$, $R_x = 150\Omega$, $U_x = R_x I_x = 6\text{V}$ 。

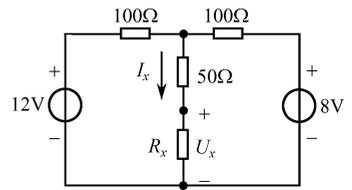


图 1.31 习题 1-8 的电路

1-9 试求图 1.32 电路中的 I 及 U_{ab} 。

解：根据 KCL， $I = 0\text{A}$ ，所以 $U_{ab} = 0\text{V}$ 。

1-10 用电压源和电流源的等效变换法求解图 1.33 电路中的 I 。

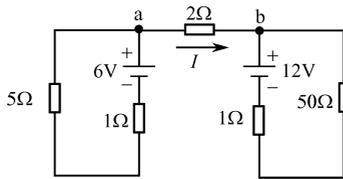


图 1.32 习题 1-9 的电路

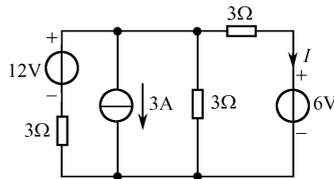


图 1.33 习题 1-10 的电路

解：参考方向如图 1.33 所示，等效变换图依次为图 1.34 (a)、(b)、(c)。

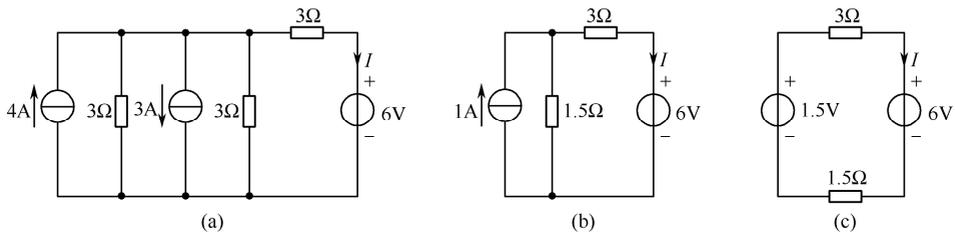


图 1.34 习题 1-10 的解图

对图 1.34 (c) 列写 KVL 方程：

所以 $6 + (1.5 + 3)I - 1.5 = 0\text{A}$

$$I = \frac{-4.5}{4.5} = -1\text{A}$$

1-11 用支路电流法求解图 1.35 电路中的各支路电流。

解：该电路共 2 个节点，3 条支路，参考方向如图 1.35 所示。

(1) 根据 KCL 列写电流方程： $I_1 + I_2 + I_3 = 0$

(2) 根据 KVL 列写回路电压方程如下。

对左边网孔： $12 - 4I_2 + 2I_1 - 8 = 0$

对右边网孔： $4I_2 - 12 - 4I_3 = 0$

(3) 联立求解 $I_1 = 0.5\text{A}$, $I_2 = 1.25\text{A}$, $I_3 = -1.75\text{A}$ 。

1-12 图 1.36 电路中，用节点电压法求解电路中的节点电压 U_{ab} 。

解：参考方向如图 1.36 所示。

$$U_{ab} = \frac{\frac{12}{3} + \frac{4}{2} - 4}{\frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{2}} = \frac{12}{7}\text{V}$$

节点电压

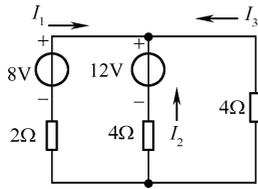


图 1.35 习题 1-11 电路

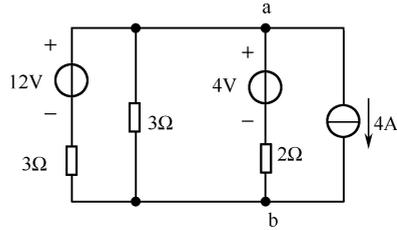


图 1.36 习题 1-12 的电路

1-13 用叠加原理计算图 1.37 电路中的 I_3 。

解：参考方向如图 1.37 所示，利用叠加原理可分解为图 1.38。

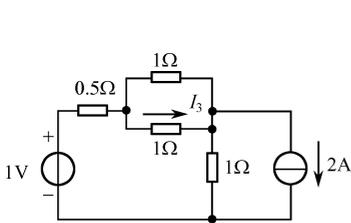


图 1.37 习题 1-13 的电路

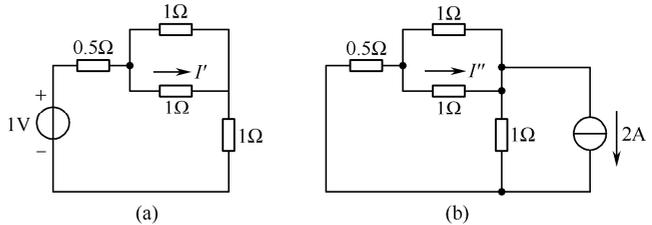


图 1.38 习题 1-13 的解图

对图 1.38 (a):

$$I' = \frac{1}{0.5 + 1//1 + 1} \times \frac{1}{1+1} = 0.25\text{A}$$

对图 1.38 (b):

$$I'' = 2 \times \frac{1}{0.5 + 1//1 + 1} \times \frac{1}{1+1} = 0.5\text{A}$$

I' , I'' 与 I_3 方向一致，所以 $I_3 = I' + I'' = 0.25 + 0.5 = 0.75\text{A}$

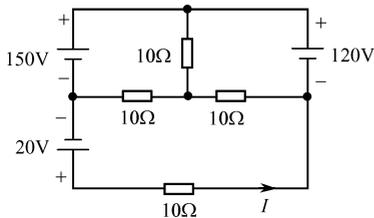


图 1.39 习题 1-14 的电路

1-14 用戴维南定理计算图 1.39 电路中的电流 I 。

解：参考方向如图 1.39 所示。

(1) 找到待求支路，裁剪电路得到图 1.40 (a) 电路，求等效电路开路电压， $U_{oc} = 20 - 150 + 120 = -10\text{V}$ 。

(2) 求等效电路输入电阻，将图 1.40 (a) 中的电压源用短路线代替，得到图 1.40 (b) 电路，则 $R_0 = 0\Omega$ 。

(3) 戴维南等效电路为图 1.40 (c) 电路。

(4) 根据图 1.40 (c) 电路求得 $I = \frac{-10}{10} = -1\text{A}$ 。

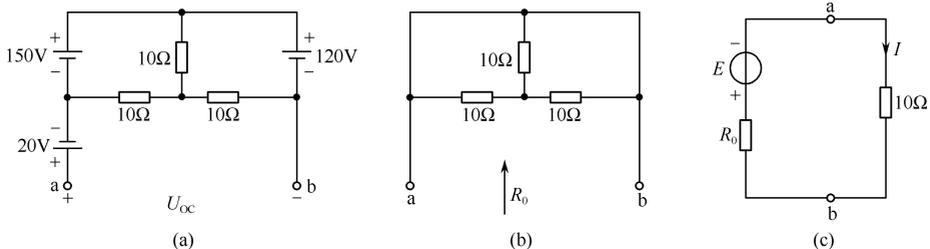


图 1.40 习题 1-14 的解图

1-15 用戴维南定理计算图 1.41 电路中 R_1 上的电流 I 。

解：参考方向如图 1.41 所示。

(1) 根据图 1.42(a) 电路求等效电路开路电压， $U_{oc} = 10 - 2 \times 4 = 2V$ 。

(2) 根据图 1.42 (b) 电路求等效电路输入电阻， $R_0 = 4\Omega$ 。

(3) 戴维南等效电路为图 1.42 (c) 电路。

(4) 根据图 1.42 (c) 电路求得 $I = \frac{2}{4+9} = 0.154A$ 。

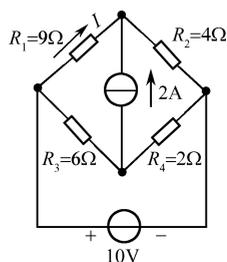


图 1.41 习题 1-15 的电路

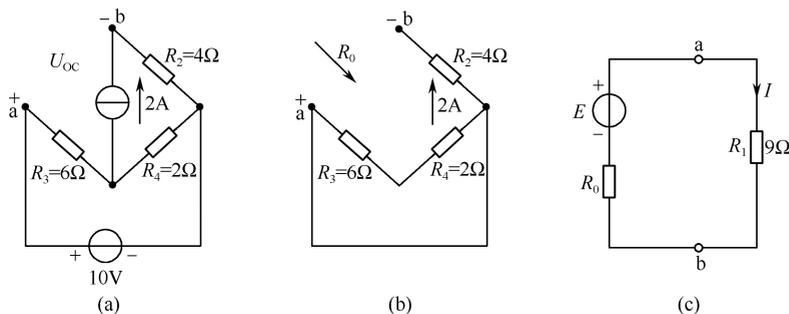


图 1.42 习题 1-15 的解图

1-16 分别求出图 1.43 电路的戴维南和诺顿等效电路。

解：参考方向如图 1.43 所示。

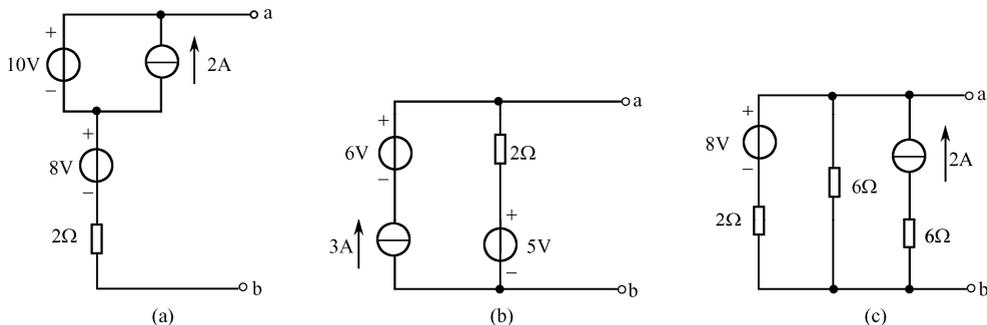


图 1.43 习题 1-16 的电路

(a) 等效电路开路电压 $U_{ab} = 10 + 8 = 18V$ 等效电路输入电阻 $R_0 = 2\Omega$ ；等效电路短路电流 $I_s = \frac{U_{ab}}{R_0} = \frac{18}{2} = 9A$ ，方向由 a 指向 b；戴维南等效电路和诺顿等效电路分别如图 1.44 (a)、(b) 所示。

(b) 等效电路开路电压 $U_{ab} = 3 \times 2 + 5 = 11V$ ；等效电路输入电阻 $R_0 = 2\Omega$ ；等效电路短路电流 $I_s = \frac{U_{ab}}{R_0} = \frac{11}{2} = 5.5A$ ，方向由 a 指向 b；戴维南等效电路和诺顿等效电路分别如图 1.45 (a)、(b) 所示。

(c) 等效电路开路电压 $U_{ab} = \frac{\frac{8}{2} + 2}{\frac{1}{2} + \frac{1}{6}} = 9V$ ；等效电路输入电阻 $R_0 = 6 // 2 = 1.5\Omega$ ；等效电路短路电

流 $I_s = \frac{U_0}{R_0} = \frac{9}{1.5} = 6\text{A}$, 方向由 a 指向 b; 戴维南等效电路和诺顿等效电路分别如图 1.46 (a)、(b) 所示。

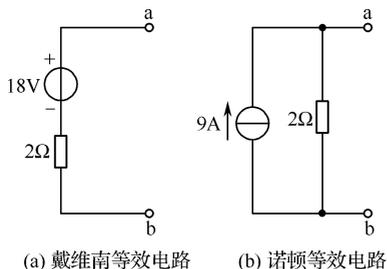


图 1.44 习题 1-16 (a) 的解图

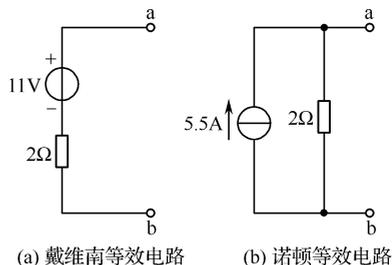


图 1.45 习题 1-16 (b) 的解图

1-17 分别用支路电流法、叠加原理、戴维南定理计算图 1.47 电路中的电流 I 。

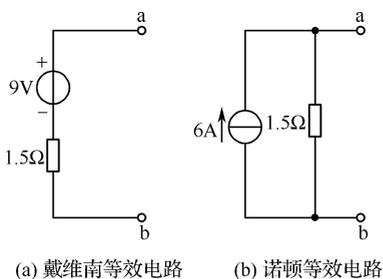


图 1.46 习题 1-16 (c) 的解图

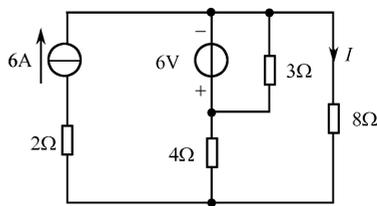


图 1.47 习题 1-17 的电路

解: 与恒压源并联的 3Ω 电阻, 以及与恒流源串联的 2Ω 电阻对外电路不起作用, 所以可简化为图 1.48 (a), 参考方向如图所示。

方法 1: 支路电流法

对于图 1.48 (a) 电路, 参考方向如图所示, 共 2 个节点, 3 条支路, 一条恒流源支路电流为已知。

根据 KCL 列写电流方程: $6 - I_1 - I = 0$

根据 KVL 列写右边网孔的回路方程: $8I - 4I_1 + 6 = 0$

两个方程式, 两个未知量, 联立求解即可得 $I = 1.5\text{A}$ 。

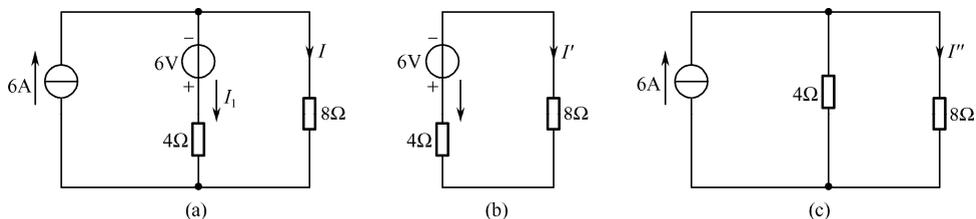


图 1.48 习题 1-17 的解图 1

方法 2: 叠加原理

将图 1.48 (a) 电路分解为图 1.48 (b) 和 (c), 参考方向如图所示。

$$I' = \frac{-6}{4+8} = -0.5\text{A}$$

$$I'' = 6 \times \frac{4}{4+8} = 2\text{A}$$

I' , I'' 与 I 方向一致, 所以 $I = I' + I'' = -0.5 + 2\text{A} = 1.5\text{A}$ 。

方法 3: 戴维南定理

(1) 将负载开路, 如图 1.49 (a) 所示。开路电压为

$$U_{ab} = -6 + 6 \times 4 = 18\text{V}$$

将图中的恒流源开路, 恒压源短路, 得等效电阻 $R_0 = 4\Omega$ 。

(2) 画出戴维南等效电路如图 1.49 (b) 所示, 得

$$I = \frac{18}{4+8} = 1.5\text{A}$$

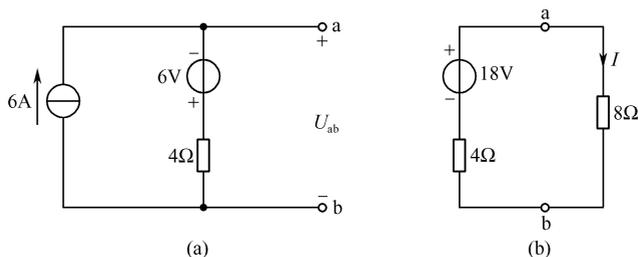


图 1.49 习题 1-17 的解图 2

1-18 图 1.50 电路中, 求开关 S 断开和闭合两种状态下 a 点的电位。

解: 原电路及参考点、参考方向如图 1.51 所示。

开关 S 断开时, 电路如图 1.51 (a) 所示。可看作两条支路, 两个节点的电路, 用节点电压法计算:

$$V_a = \frac{\frac{12}{(3+3) \times 10^3} - \frac{20}{3 \times 10^3}}{\frac{1}{(3+3) \times 10^3} + \frac{1}{3 \times 10^3}} = -17.3\text{V}$$

开关 S 闭合时, 电路如图 1.51 (b) 所示, 左、右回路彼此独立,

所以 $V_a = \frac{-20 \times 3 \times 10^3}{3 \times 10^3 + 3 \times 10^3} = -10\text{V}$ 。

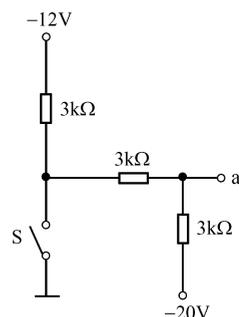


图 1.50 习题 1-18 的电路

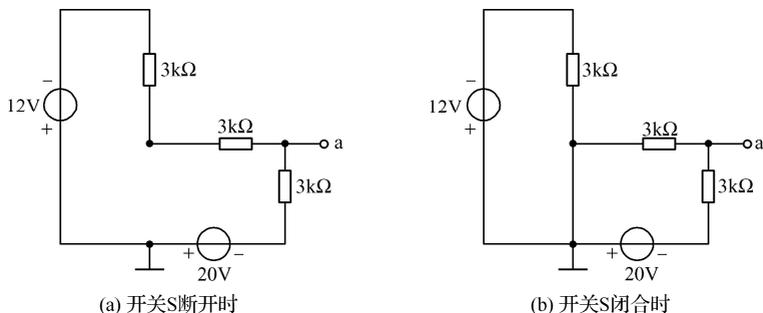


图 1.51 习题 1-18 的解图

1-19 求图 1.52 电路中 a 点的电位。

解: 参考方向如图 1.52 所示。

根据 KVL 列写回路方程, 求得: $I = \frac{3}{1+2} = 1\text{A}$
 $V_a = 1 \times 1 + 6 = 7\text{V}$

1-20 求图 1.53 电路的戴维南等效电路。

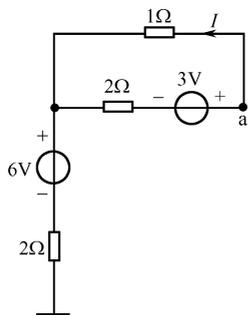


图 1.52 习题 1-19 的电路

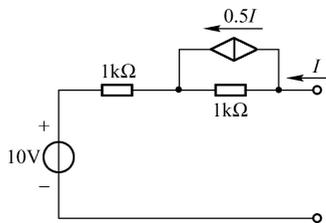


图 1.53 习题 1-20 的电路

解: 图 1.54 (a) 电路中, 开路电压 $U_{OC} = 10\text{V}$ 。

图 1.54 (b) 电路中, 对电路列写 KVL 方程为:

$$1 \times (I - 0.5I) + 1 \times I + 10 = 0\text{V}$$

$$I = -I_s = -\frac{20}{3} \text{mA}$$

因此

$$R_0 = \frac{U_{OC}}{I_s} = 1.5\text{k}\Omega$$

戴维南等效电路如图 1.55 所示。

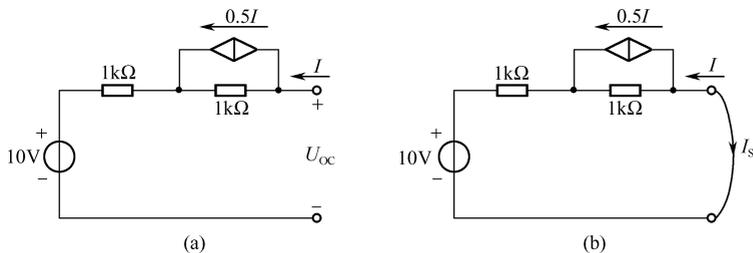


图 1.54 习题 1-20 的解图

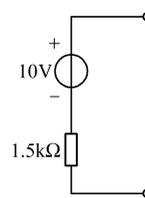


图 1.55 习题 1-20 的戴维南等效电路