

## 第二章

### 简单直流电路的分析

#### § 2-1 全电路欧姆定律



##### 学习目标

1. 掌握全电路欧姆定律。
2. 能用全电路欧姆定律分析电路的三种工作状态。
3. 掌握测量电源电动势和内阻的方法。

##### 一、部分电路欧姆定律

在初中，我们曾学习过欧姆定律，其内容是：导体中的电流与导体两端的电压成正比，与导体的电阻成反比，其公式为：

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

实际上，以上定律中所涉及的这段电路并不包括电源。这种只含有负载而不包含电源的一段电路称为部分电路，如图 2-1a 虚线框中所示。因此，更准确地说，这一定律应称为部分电路欧姆定律。

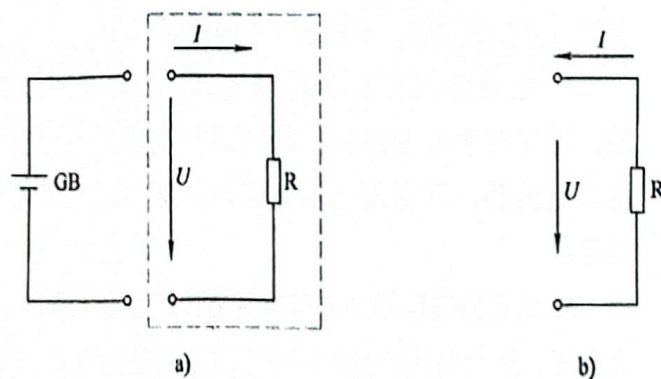


图 2-1 部分电路参考方向的选取

a) 电压和电流方向相同 b) 电压和电流方向相反



部分电路欧姆定律的计算公式还与参考方向的选取有关。在图 2-1b 所示电路中, 电压  $U$  与电流  $I$  选为非关联参考方向, 则部分电路欧姆定律的表达式也应相应改为:

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

如果以电压为横坐标, 电流为纵坐标, 可画出电阻的  $UI$  关系曲线, 称为伏安特性曲线。伏安特性曲线是直线的电阻元件, 称为线性电阻 (图 2-2), 其电阻值可认为是不变的常数; 不是直线的, 则称为非线性电阻 (图 2-3)。

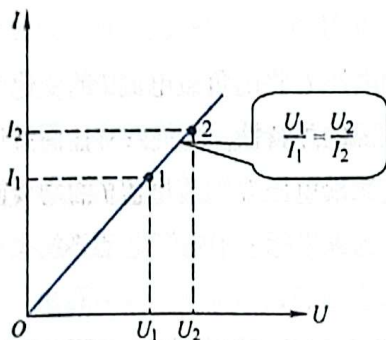


图 2-2 线性电阻的伏安特性曲线

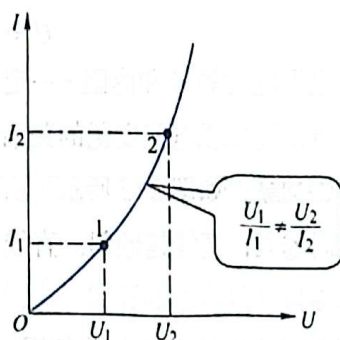


图 2-3 非线性电阻的伏安特性曲线

## 二、全电路欧姆定律

与部分电路相对应, 含有电源的闭合电路称为全电路, 如图 2-4 所示。电源内部的电路称为内电路, 如发电机的线圈、电池内的溶液等。电源内部的电阻称为内电阻, 简称内阻。电源外部的电路称为外电路, 外电路中的电阻称为外电阻。

图 2-4 中, 为了便于表达, 将电源内部电阻等效为一个独立的电阻  $r$  来表示, 如无特殊说明, 本书中均采用此种表达方式, 即电源符号  $\frac{E}{r}$  仅表示电源的电动势。

全电路欧姆定律的内容是: 闭合电路中的电流与电源的电动势成正比, 与电路的总电阻 (内电阻与外电阻之和) 成反比, 公式为:

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

由上式可得:

$$E = IR + Ir = U_{\text{外}} + U_{\text{内}}$$

式中,  $U_{\text{内}}$  为内电路的电压降,  $U_{\text{外}}$  为外电路的电压降, 也是电源两端的电压。这样, 全电路欧姆定律又可表述为: 在一个闭合回路中, 电源电动势等于外电路电压降与内电路电压降之和。

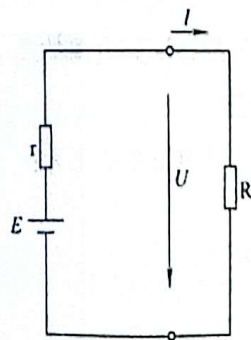


图 2-4 简单的全电路



将公式  $E = IR + Ir$  两边同乘以  $I$ , 可得:

$$IE = I^2 R + I^2 r$$

即:

$$P_{\text{电源}} = P_{\text{负载}} + P_{\text{内阻}}$$

上式表明, 在一个闭合回路中, 电源电动势发出的功率, 等于负载电阻消耗的功率和电源内阻消耗的功率之和。这种关系称为电路中的功率平衡。

### 三、电路的三种状态

由全电路欧姆定律可知, 电源端电压  $U$  与电源电动势  $E$  的关系为:

$$U = E - Ir$$

可见, 当电源电动势  $E$  和内阻  $r$  一定时, 电源端电压  $U$  将随负载电流  $I$  的变化而变化。电源端电压随负载电流变化的关系特性称为电源的外特性, 其关系特性曲线称为电源的外特性曲线, 如图 2-5 所示。由图可见, 电源端电压  $U$  随着电流  $I$  的增大而减小。电源内阻越大, 直线越倾斜。直线与纵轴交点的纵坐标表示电源电动势的大小 ( $I=0$  时,  $U=E$ )。

下面应用全电路欧姆定律, 分析图 2-6 所示电路在三种不同状态下, 电源端电压与输出电流之间的关系。

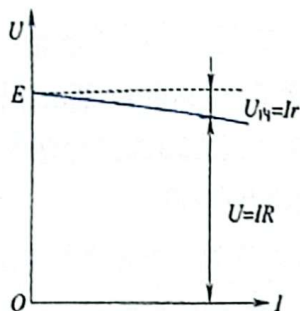


图 2-5 电源的外特性曲线

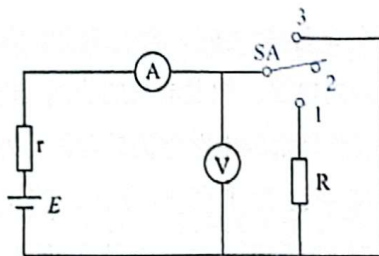


图 2-6 电路的三种状态

#### 1. 通路

开关 SA 接到位置 1 时, 电路处于通路状态。电流从电源的正极沿着导线经过负载最终回到电源的负极, 电流形成闭合路径, 所以也称通路。这是电路的正常工作状态。

电路中电流为:

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

端电压与输出电流的关系为:

$$U_{\text{外}} = E - U_{\text{内}} = E - Ir$$

可见, 当电源电动势和内阻一定时, 端电压随输出电流的增大而下降。通常把





通过大电流的负载称为大负载,把通过小电流的负载称为小负载。也就是说,当电源的内阻一定时,电路接大负载,端电压下降较多;电路接小负载,端电压下降较少。

## 2. 开路(断路)

开关SA接到位置2时,电路处于开路状态,相当于负载电阻 $R \rightarrow \infty$ 或电路中某处连接导线断开。此时电路中电流为零,内阻电压降也为零, $U_{\text{开}} = E - Ir = E$ ,即电源的开路电压等于电源的电动势。

实际电路中,导体因接触面有氧化层、脏污、接触面过小、接触压力不足等,会出现电阻过大的现象,严重时也会造成开路。

## 3. 短路

开关SA接到位置3时,相当于电源两极被导线直接相连,电路处于短路状态。电路中短路电流 $I_{\text{短}} = E/r$ 。由于电源内阻一般都很小,所以短路电流极大。此时电源对外输出电压 $U = E - I_{\text{短}}r = 0$ 。

电源短路是严重的故障状态,必须避免发生。但有时在调试和维修电气设备的过程中,有意将电路中某一部分短路,这是为了让与调试过程无关的部分暂时不通电流,或是为了便于发现故障而采用的一种特殊方法,这种方法只有在确保电路安全的情况下才能采用。

【例2-1】在图2-7所示电路中,设电阻 $R_1 = 14 \Omega$ ,  $R_2 = 9 \Omega$ 。当开关SA接到位置1时,由电流表测得 $I_1 = 0.2 \text{ A}$ ;接到位置2时,测得 $I_2 = 0.3 \text{ A}$ 。求电源电动势 $E$ 和内电阻 $r$ 。

解:根据全电路欧姆定律,可列出联立方程:

$$\begin{cases} E = I_1 R_1 + I_1 r \\ E = I_2 R_2 + I_2 r \end{cases}$$

消去 $E$ ,解得

$$r = \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 - I_1} = \frac{0.2 \times 14 - 0.3 \times 9}{0.3 - 0.2} \Omega = 1 \Omega$$

把 $r$ 的值代入 $E = I_1 R_1 + I_1 r$ 或 $E = I_2 R_2 + I_2 r$ ,可得

$$E = 3 \text{ V}$$

实验室中通常就采用上述方法来测量电源的电动势和内阻。

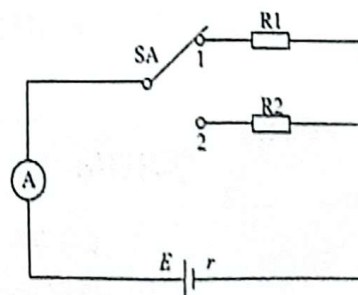


图2-7

## 巩固练习

1. 图2-8给出了三个电阻的电流随电阻两端电压变化的曲线,由曲线可知,电阻\_\_\_\_\_的阻值最大,\_\_\_\_\_的阻值最小。

