

2.2 电源等效变换



2.2.1 两种电源模型的等效变换

一个实际电源可以用电压源与电阻串联组合作为其电路模型,也可以用电流源与电阻并联组合作为其电路模型。两种电源模型等效变换的条件是端口的电压、电流关系完全相同,即当它们对应的端口具有相同的电压时,端口电流必须相等。

在如图 2-11 所示电路中,两种模型对应的端口电压均为 u 。等效变换的条件是端口电流相等,即均等于 i 。由 KVL 可知电压源模型的端口电压、电流关系为

$$u = u_s - iR_s$$

即

$$i = \frac{u_s}{R_s} - \frac{u}{R_s}$$

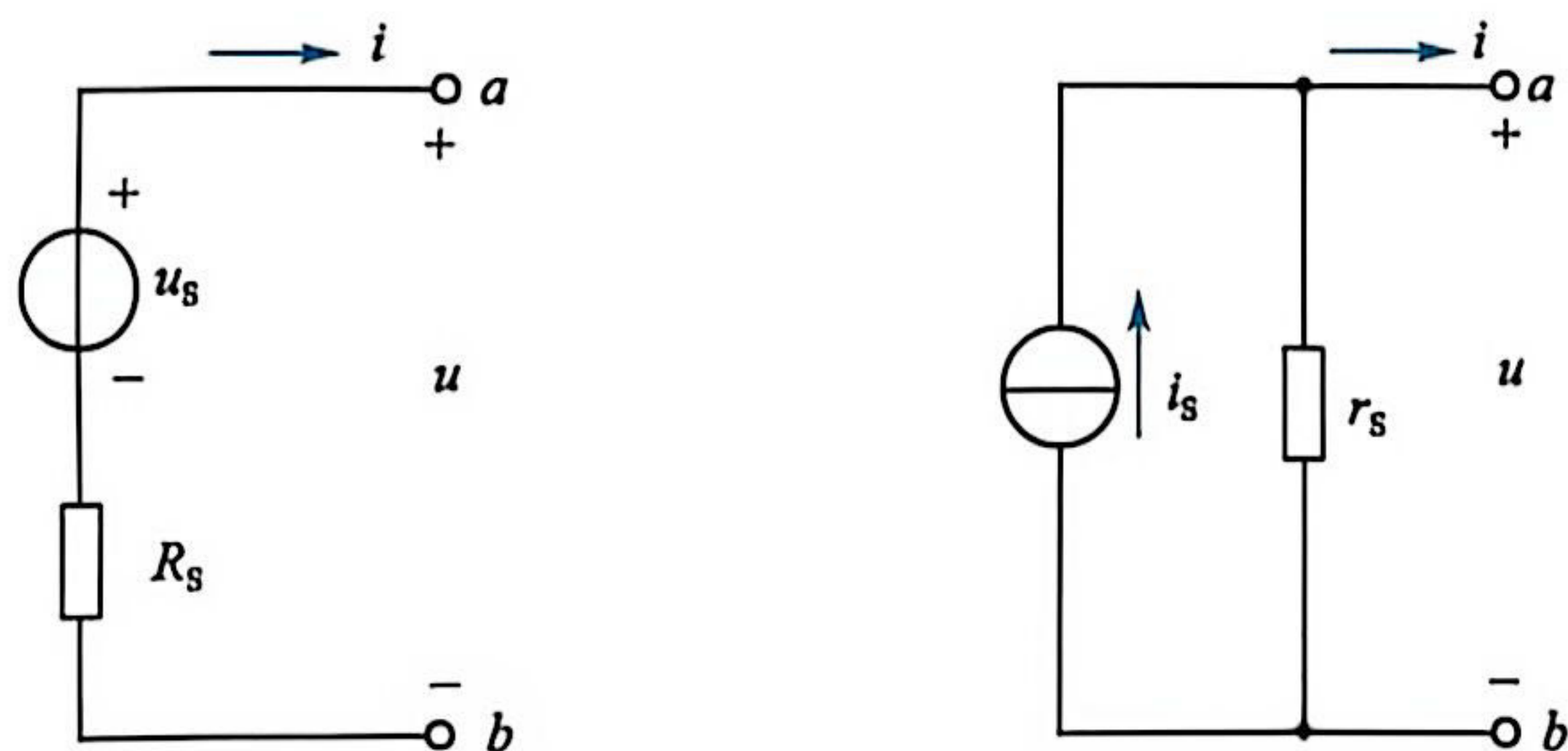
由 KCL 可知,电流源模型的端口电压、电流关系为

$$i = i_s - \frac{u}{r_s}$$

因此得到

$$i_s = \frac{u_s}{R_s}, r_s = R_s \quad (2-11)$$

式(2-11)为两种电源等效变换的条件。



理想电压源的串联



理想电流源的并联

图 2-11 两种电源等效变换

注意:应用式(2-11)时,电压源的电动势 u_s 和电流源的电流 i_s 的参考方向应满足: i_s 的参考方向由 u_s 的负极指向正极。另外,虽然两种模型中的电阻位置不同,但量值相等。

显然,对于外电路,由于两种电源可以互相等效变换,而对外电路不会产生任何影响,因此一个具有内阻的电源有两种模型可供选用。而且如果将电压源与电阻串联组合称为电压源支路,将电流源与电阻并联组合称为电流源支路,则这里的电阻就只限于电源的内阻。

一般情况下,两种电源等效模型内部功率情况不同,但对于外电路,它们吸收或提供的功率总是一样的。

没有串联电阻的电压源和没有并联电阻的电流源之间没有等效的关系。因为电压源的电压电流关系是在任何电流时,其端电压保持定值。没有一个电流源能具有这样的特性,因此找不到与之等效的电流源。对于电流源也是如此。

例2-7

如图 2-12(a)所示电路,利用电源等效变换求支路电流。

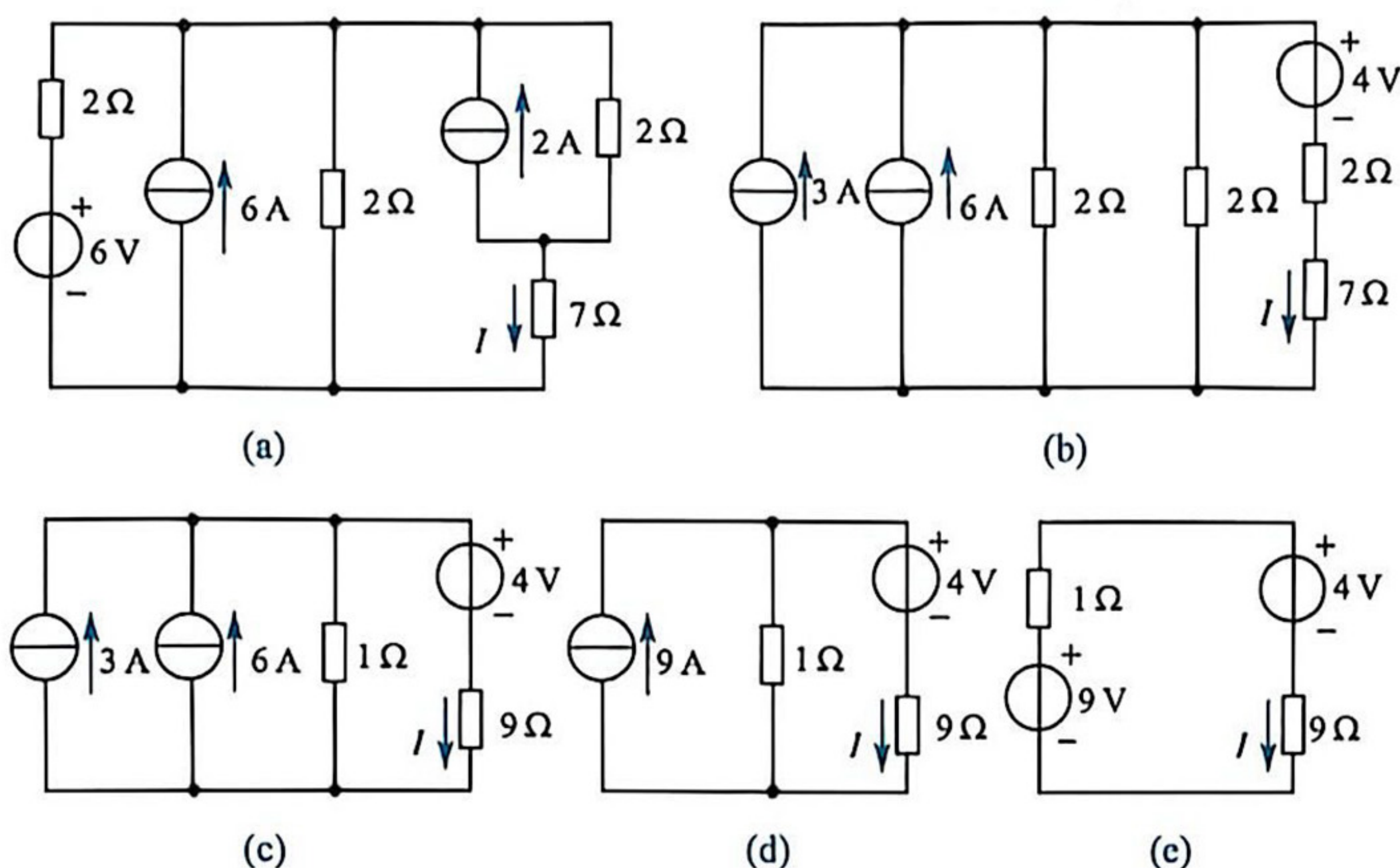


图 2-12 例 2-7 电路

解 首先将电路左端的电压源和电阻串联支路等效变换为电流源和电阻并联的电路,将右端电流源和电阻并联部分等效变换为电压源和电阻串联的电路,等效电路如图 2-12(b)所示。

利用电阻串并联等效变换化简电路,如图 2-12(c)所示。

由 KCL 合并两个电流源,如图 2-12(d)所示。

将电流源和电阻并联部分等效变换为电压源和电阻串联的电路,等效电路如图 2-12(e)所示。

由 KVL 列方程得

$$-9 + I + 4 + 9I = 0$$

因此求得

$$I = 0.5 \text{ A}$$

2.2.2 电压源与二端元件并联的等效电路

由于电压源在电流为任何值时,其端电压保持定值,因此电压源和电阻并联或与电流源并联时的二端电路,就其对于外电路的作用而言,等效于一个电压源。该电压源的电压等于原电路中电压源的电压。

一般地,当一个电压源和一个二端元件并联时,对于外电路,等效于一个电压源。如图 2-13 所示。在进行电路分析时,可将与电压源并联的元件开路,简化电路。

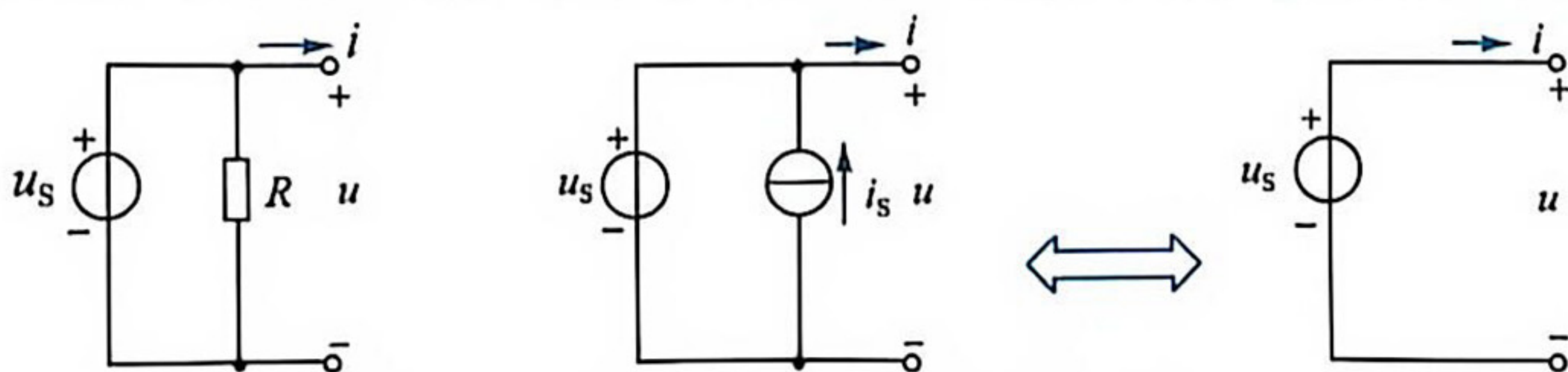


图 2-13 电压源与二端元件并联的等效电路

例 2-8

电路如图 2-14(a) 所示, 求支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 。

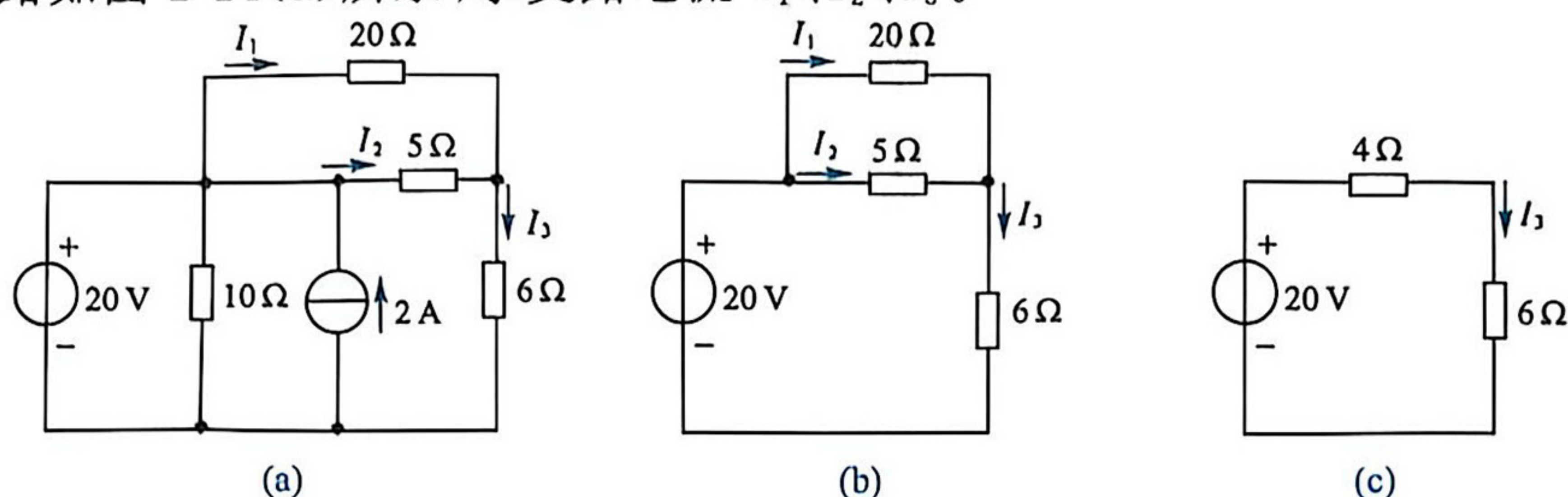


图 2-14 例 2-8 电路

解 由于 $10\ \Omega$ 电阻元件、 $2\ \text{A}$ 的电流源和 $20\ \text{V}$ 的电压源并联, 且待求量不在这两条支路上, 因此可以拿掉它们, 得到等效电路如图 2-14(b) 所示; 利用并联电阻的等效变换, 得到等效电路如图 2-14(c) 所示。

对于如图 2-14(c) 所示电路, 由全电路欧姆定律求得

$$I_3 = \frac{20\ \text{V}}{4\ \Omega + 6\ \Omega} = 2\ \text{A}$$

根据并联电阻的分流公式得

$$I_1 = \frac{5\ \Omega}{20\ \Omega + 5\ \Omega} \times 2\ \text{A} = 0.4\ \text{A}$$

$$I_2 = \frac{20\ \Omega}{20\ \Omega + 5\ \Omega} \times 2\ \text{A} = 1.6\ \text{A}$$



2.2.3 电流源与二端元件串联的等效电路

由于电流源在电压为任何值时, 其端口电流不随端口电压变化而保持定值, 因此电流源与电阻串联或与电压源等二端元件串联时, 就其对外电路作用而言, 等效于一个电流源。该电流源的电流等于原电路中电流源的电流。

一般地, 当一个电流源和一个二端元件串联时, 对于外电路, 等效于一个电流源。如图 2-15 所示。在进行电路分析时, 可将与电流源串联的元件短路, 简化电路。

注意: 理想电压源和理想电流源之间没有等效关系。

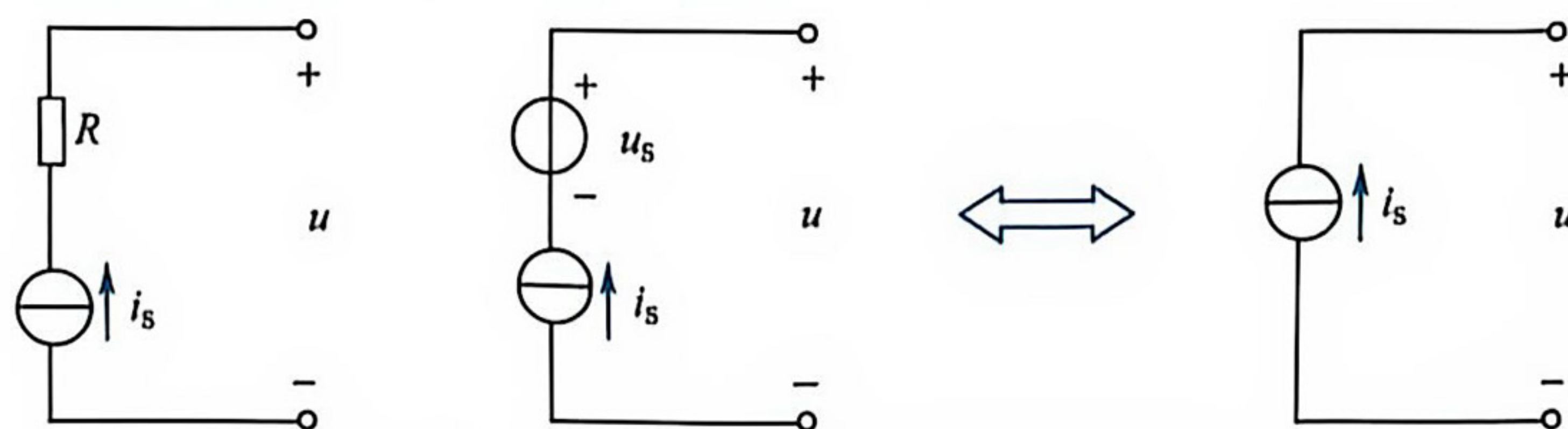


图 2-15 电流源与二端元件串联的等效电路

例2-9

电路如图 2-16(a) 所示, 求电压 U_{ab} 。

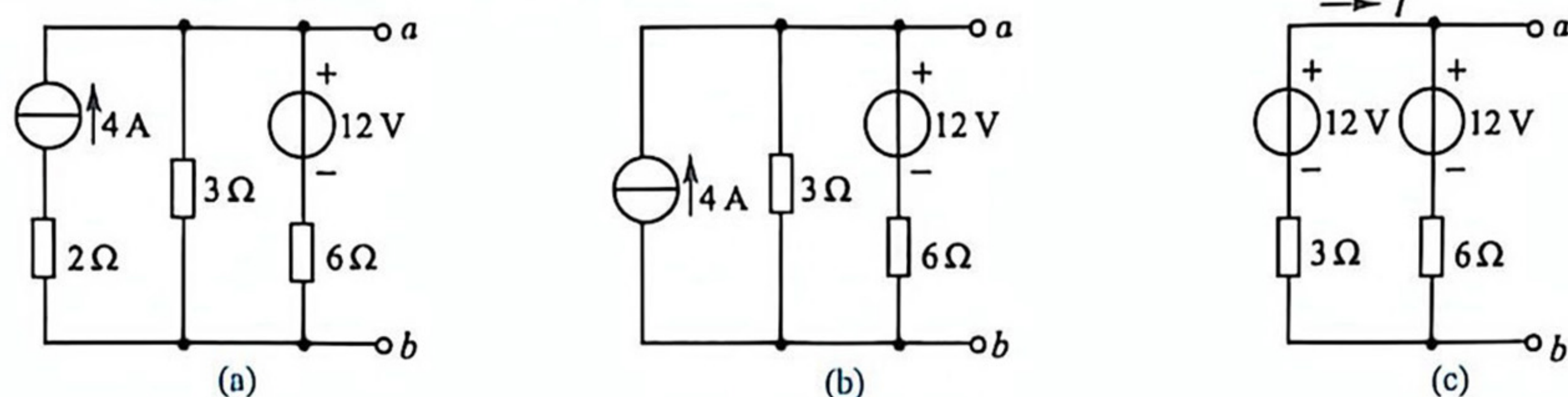


图 2-16 例 2-9 电路

解 首先将与电流源串联的电阻短路, 得到等效电路如图 2-16(b) 所示; 再将电流源与电阻并联支路等效化为电压源和电阻串联支路, 得到等效电路如图 2-16(c) 所示。

由 KVL 列方程得

$$3I - 12 + 6I + 12 = 0$$

故 $I = 0$, 所以 $U_{ab} = 12 \text{ V}$ 。

练一练

1. 电路如图 2-17 所示, 试分析如下情况时端口 $a-b$ 的等效电阻: (1) K_1 闭合, K_2 、 K_3 打开; (2) K_1 、 K_2 闭合, K_3 打开; (3) K_1 、 K_3 闭合, K_2 打开; (4) K_2 、 K_3 闭合, K_1 打开。

2. 对于如图 2-18 所示的电路, 求出端口 $a-b$ 的等效电阻。

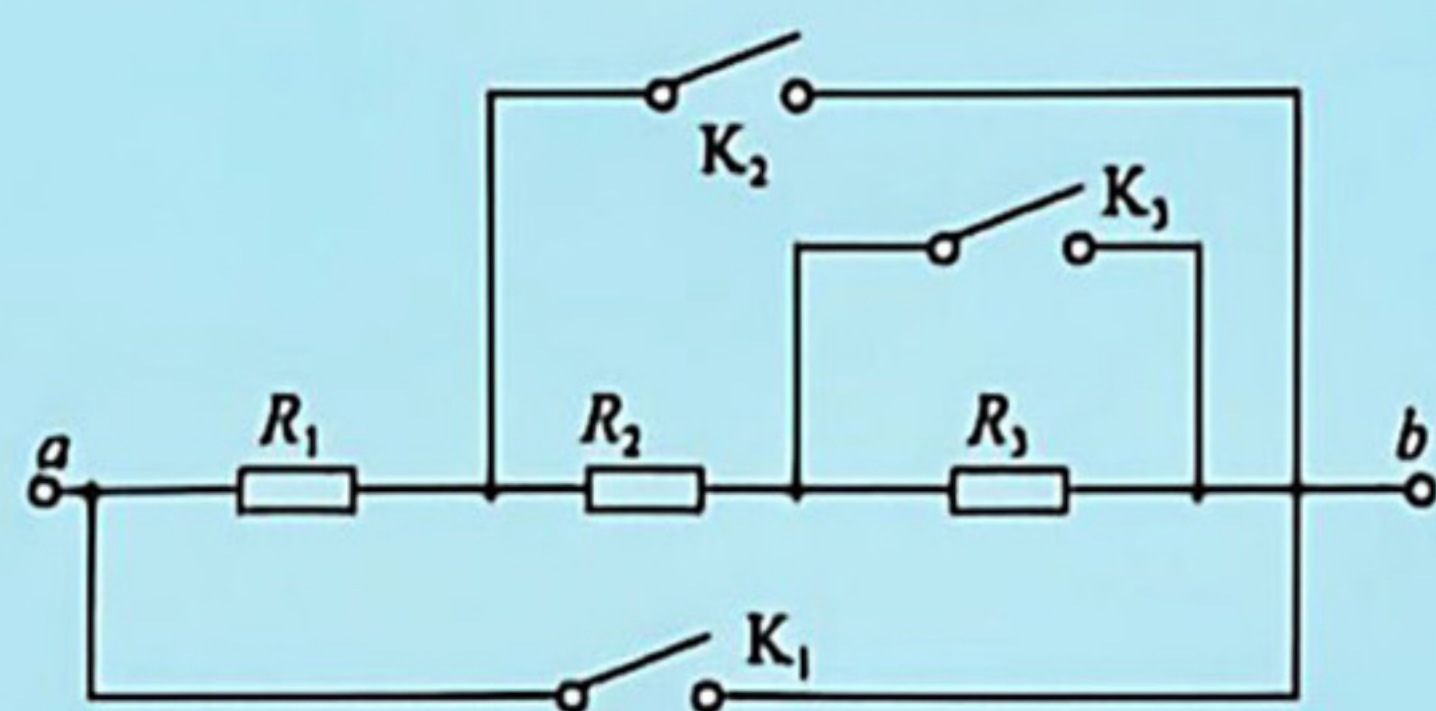


图 2-17 练一练 1 电路

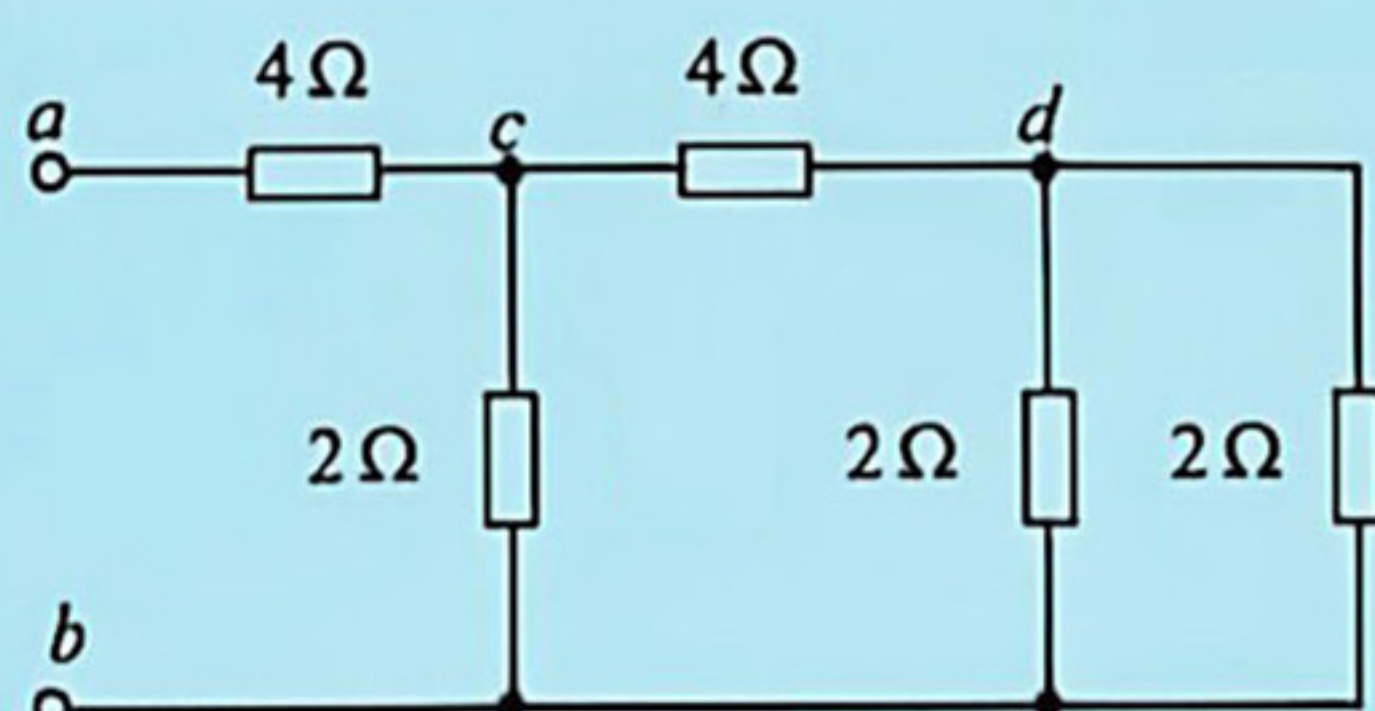


图 2-18 练一练 2 电路

3. 如图 2-19 所示, 绘出各二端网络的等效电路。

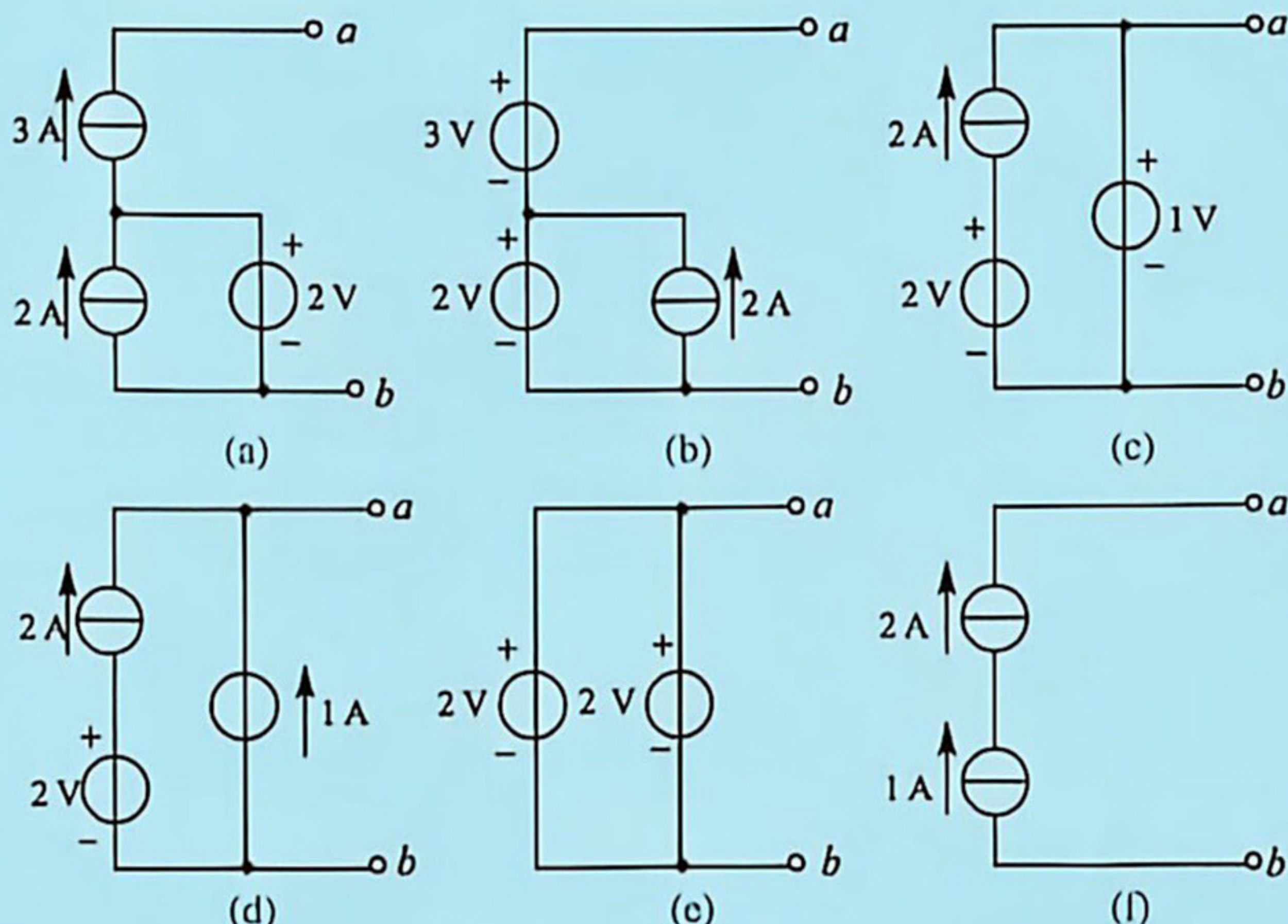


图 2-19 练一练 3 电路