

高等学校教学用书

电路基础及量计

原编者：北京邮电学院电工基础教研组

审校者：邮电学院电路基础教材选编组

人民邮电出版社

目 录

序

緒論

第一章 直流电路 1

§ 1-1 电流 1

§ 1-2 电位差、电压和电动势 3

§ 1-3 电路的基本参数—电容、电感、电阻 4

§ 1-4 欧姆定律。电阻、电压与电流的关系 5

§ 1-5 电压源。电源端电压和电动势的关系 6

§ 1-6 电功率和电能 8

§ 1-7 电阻的串并联。电压和电流的分配关系 11

§ 1-8 简单电路的计算 14

§ 1-9 克希荷夫定律 18

§ 1-10 复杂电路的计算 20

§ 1-11 测量直流电压和直流电流常用的仪表 24

第二章 簡諧信号作用下简单电路的稳态分析 31

§ 2-1 簡諧信号 32

§ 2-2 同频率簡諧信号的加减法 35

§ 2-3 r, L, C 串联电路 37

§ 2-4 阻抗与导納及其相互关系 42

§ 2-5 受电器的串联和并联 47

§ 2-6 等效电源定理 52

§ 2-7 簡諧信号作用下的功率 55

§ 2-8 从有源二端網絡向無源二端網絡輸送最大功率的条件 60

§ 2-9 测量簡諧信号有效值的常用仪表 63

§ 2-10 实用元件的等效电路 68

§ 2-11 交流电桥。元件参数的测量 73

第三章 单諧振回路 84

§ 3-1 串联諧振回路 84

§ 3-2 串联谐振回路的谐振曲线	89
§ 3-3 串联谐振回路的通频带	92
§ 3-4 串联谐振回路的传输系数	94
§ 3-5 并联谐振回路	97
§ 3-6 并联谐振回路的等效电路	102
§ 3-7 并联谐振回路的谐振曲线	103
§ 3-8 电子管(或电源)内阻对并联谐振回路谐振特性的影响及电 压通频带	106
§ 3-9 具有两个电感或两个电容的并联谐振回路	107
§ 3-10 对偶原理	112
§ 3-11 用谐振法测量元件参数	113
第四章 网络原理及计算	116
§ 4-1 克希荷夫定律的复数形式及支路电流法	116
§ 4-2 回路电流法	120
§ 4-3 结点电位法	126
§ 4-4 迭加原理	132
§ 4-5 多频信号作用下电路的分析	134
§ 4-6 多频信号的功率和有效值	137
§ 4-7 互易原理	139
§ 4-8 补偿原理	142
§ 4-9 电路中的互感及互感电压	146
§ 4-10 互感线圈的串联	150
§ 4-11 具有互感的复杂电路的分析	151
§ 4-12 互感化除法	152
第五章 耦合回路	156
§ 5-1 耦合回路的耦合系数	157
§ 5-2 耦合回路的方程式及其等效电路	159
§ 5-3 耦合回路的谐振与调谐	163
§ 5-4 耦合回路的功率与效率	171
§ 5-5 耦合回路的谐振曲线与通频带	174
§ 5-6 其它耦合型式的耦合回路	185
§ 5-7 耦合回路与信号源并联问题	187

§ 5-8 含有非諧振回路的耦合回路	190
第六章 三相电路	194
§ 6-1 三相电路的概念和一些性質	194
§ 6-2 三相电路的分析	200
§ 6-3 对称三相电路归结为單相的分析法	207
§ 6-4 对称三相电路的功率	211
§ 6-5 关于星形接法中点位移的概念	213
§ 6-6 关于电力綫路对电信綫路干扰的概念	216
第七章 非綫性电路及磁路	217
§ 7-1 非綫性电阻	218
§ 7-2 含有非綫性电阻电路的分析方法	220
§ 7-3 鉄磁材料的磁滯回綫与磁化曲綫	229
§ 7-4 磁路的概念	231
§ 7-5 磁路定律	232
§ 7-6 磁路的計算	235
§ 7-7 鉄心綫圈磁通和磁化电流的波形	245
§ 7-8 鉄心内部的損失	247
§ 7-9 鉄心綫圈的电感	251
§ 7-10 鉄心綫圈的等效电路	256
§ 7-11 电信变量器及其等效电路	258
§ 7-12 理想变量器的性質	262
§ 7-13 考虑鉄損时变量器的等效电路	264
§ 7-14 匹配变量器的頻率响应	265
第八章 均匀傳輸綫	274
§ 8-1 傳輸綫的基本概念	277
§ 8-2 傳輸綫方程及其在簡諧信号作用下的稳态解答	280
§ 8-3 無限長傳輸綫、終端匹配的傳輸綫	283
§ 8-4 無畸变条件	290
§ 8-5 終端不匹配的傳輸綫	294
§ 8-6 無損耗的傳輸綫	295
§ 8-7 傳輸綫与負載阻抗的匹配	304
§ 8-8 阻抗圓圖	305

第九章 信号的频谱分析	309
§ 9-1 周期信号的频谱分析	310
§ 9-2 非周期性信号的频谱分析	319
§ 9-3 富立叶变换的几个定理	322
§ 9-4 信号能量在频谱中的分布	333
第十章 电路的瞬态分析	336
§ 10-1 惯性原理和电路的建立过程	336
§ 10-2 瞬态分析的經典法。微分电路和积分电路	338
§ 10-3 频谱函数法。無畸变条件	346
§ 10-4 富氏变换的推广——拉氏变换。关于复频率的概念	352
§ 10-5 瞬态分析的运算法	355
§ 10-6 惯性元件的等效运算电路。关于内电动势的概念	363
§ 10-7 r 、 L 、 C 串联电路中, 电容器的自由放电	366
§ 10-8 矩形脉冲作用于振荡回路	370
§ 10-9 高频脉冲作用于振荡回路	374
§ 10-10 直流电压接通于無损耗的开路线和短路线	379
§ 10-11 杜哈美积分法	385
附录 本書采用符号表	390

第一章 直流电路

§ 1-1 电 流

荷电質点的运动形成电流。

在导体中存在着大量的自由电子。在沒有电场作用时，自由电子一般是处于無秩序的热运动中，因此在导体内部存在有微观电流。但是由于热运动状态的無秩序性，我們不能觉察到电流的存在。导体中的自由电子在电场力的作用下，將在無秩序的运动状态上叠加一个有秩序的运动，这种有秩序的运动就会使我們觉察到宏观电流的存在。这种电流就是所謂的傳导电流。

电解液中的傳导电流是由于电解液中的正負离子在电场作用下向相反方向运动而形成的。

电流的量值以电流强度来度量，所謂电流强度是指單位時間內通过导体截面的电量。当通过导体截面某一选定方向的电量为正电量时，我們給这个方向的电流以正值，反之为負。亦即規定以正电荷运动的方向作为电流的正方向。

如果电流强度在時間上是恒定的量，就得到恒定电流，即所謂直流。在这种情况下，通过导体截面的电量將和時間成正比。电流强度可用大写的 I 表示，写成：

$$I = \frac{q}{t}, \quad (1-1)$$

式中 t 是時間， q 是在時間 t 內通过导体截面的电量。

如果电流强度是随時間而变化的量，則在不同的瞬間，电流强度將有不同的数值。某一瞬間的电流强度可以用小写的 i 表示，而写成

$$i = \frac{dq}{dt}, \quad (1-2)$$

式中 dt 是微段时间， dq 是在該微段时间內通过导体截面的微量电荷。

因为电流强度是电路方面常用的物理量，为簡便計，簡称为电流。在实用單位制中电流的單位为安培，簡称安。它相当于每秒钟通过截面为 1 庫仑电量时的电流值。在电信技术中用到的电流一般是弱电，在計量时常用毫安（千分之一安）或微安（百万分之一安）为單位。

电流本身并不是矢量。它在选定的正方向下可以是正值也可以是負值，因而是一个代数量。一般我們提到电流的方向时是指电流的选定正方向，而不是指眞实的方向。

在某些电路中，有的支路电流的实际方向并不知道，此时就要选定一正方向，以便在計算过程中决定該支路电流的正、負值。若計算結果証实該支路电流为正值，則表示該支路电流的实际方向与选定的正方向一致。若为負值，則表示与选定的正方向相反。

此外，当电流的方向随時間变化时，不同的瞬間，电流的眞实方向并不相同，籠統地提电流的眞实方向是沒有意义的。当选定了正方向之后，电流数值为正时，說明此时电流的眞实方向与选定正方向一致；反之为相反。据此可知，在我們写出电流依時間的变化关系 $i=f(t)$ 时，應該联系着一定的选定正方向。否則电流的代数符号就將沒有意义，我們也不能通过它的代数符号判断电流的眞实方向。电流的选定的正方向，我們可以在电路上用空心箭头来表示，或者用双下标来表示（見圖 1-1），圖中 I_{ab} 說明电流的选定正方向是由 a 到 b 。不过在实用上，为了書写的簡便，我們常略去下标不写。例如在 (1-1) 式和 (1-2) 式中就是这样。

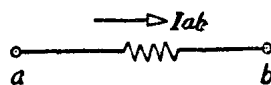


圖 1-1

应当指出，所以要选定电流正方向，是因为不这样就不足以充分說明任何瞬間的电流实际情况。但是所选定的正方向却是完全可以任意的。例如在圖 1-1 中我們也可选从 b 到 a 的方向作为电流的正方向。对于电路中的同一电流，如果电流

的正方向选定相反，則它的符号应相反。即：

$$I_{ab} = -I_{ba} \quad (1-3)$$

§ 1-2 电位差、电压和电动势

在物理学中我們已經知道，將單位正电荷从电场中一点 a 移动到另一点 b 时，电场所作的功是：

$$\int_a^{b \rightarrow} \vec{E} d\vec{l} = \varphi_a - \varphi_b.$$

它等于 a 点和 b 点的电位之差，我們称之为电位差。在电路的计算中，电位差有时又称为电压，即：

$$U_{ab} = \int_a^{b \rightarrow} \vec{E} d\vec{l}. \quad (1-4)$$

式中 U_{ab} 为由 a 点到 b 点的电压。电压也是一个代数量，只有在选定了正方向的情况下，电压的正、負值才有意义。例如上式中，如果电压选定的正方向改由 b 到 a ，則积分应循相反的路径进行。所以结果恰好相差一符号。

$$U_{ab} = -U_{ba}$$

在电路图中，电压的方向往往用实心箭头($\rightarrow$)表示。

在电场的作用下，正电荷总是从高电位移向低电位，这种运动会改变产生电场的电荷分布，因而改变了各点的电场强度和电位，而使电流不能繼續維持。要維持电路中电流繼續流通，必須有一种外力不断地把电荷从低电位移到高电位处，这种力称为局外力。例如在电池中电极与电解液的接触处，或在发电机的磁场中运动着的导线内部，都有这种局外力存在。作用到單位正电荷上的局外力称为局外电场强度，以 $\vec{E}_{\text{外}}$ 表之。

相似于电压的定义，我們把單位正电荷經由电源内部，由一个的 a 点移至另一个电极的 b 点，局外力所作的功称为电源内的电动势。或简称电源的电动势，用 E 表示，則：

$$E_{ab} = \int_a^{b \rightarrow} \vec{E}_{\text{外}} d\vec{l}. \quad (1-5)$$

其中双下标 ab 是指电动势的方向由 a 到 b 。

电动势也是一个代数量，在电路計算中需要选定正方向。若所选定的正方向不同，則同一电动势其符号应相反，即：

$$E_{ab} = -E_{ba}。$$

电位差、电压和电动势的單位在实用單位制中都是伏特，简称伏。它是一庫仑的电量在电路中移动所作的功为一焦耳时的电压。在电信技术中，計量的电压有时很微弱，可用毫伏及微伏为單位。

$$1 \text{ 毫伏} = 10^{-3} \text{ 伏,}$$

$$1 \text{ 微伏} = 10^{-6} \text{ 伏。}$$

在电力技术中，計量高电压时則可用千伏为單位，

$$1 \text{ 千伏} = 10^3 \text{ 伏。}$$

§ 1-3 电路的基本参数—电容、电感、电阻

在每一电路中都会有以下三种普遍存在的电磁过程。第一种电磁过程就是会在电路的各部分积聚一定数值的电荷，因而在空間形成电场，积儲电场能量。第二种过程是在电路中通过电流时，在导体内外形成磁场，并积儲磁场能量。第三种过程則是电流在导体中流过时，把电能轉換为热能的过程。在电路中除了以上的三种普遍的电磁过程外，当然还可能有其它的能量轉換过程，例如电能轉換为化学能，电能轉換为机械能等。

电场能量和磁场能量是一种儲能，它是在电路建立电荷和电流的过程中积儲起来的。如把电路的电源撤去，当电路所建立的电荷和电流逐漸消失时，場能就釋放出来。因此，这两种过程是可逆的过程。至于电路中把电能轉換为热能的过程則是不可逆的过程。电能轉換为热能之后，即散失于电路周圍的空間。

严格看来，在电路的任何区段都存有以上三种过程。但是在实际情况中，在电路各区段里，这三种过程往往只有一种或两种过程是主要的。为了表征电路各个区段所發生电磁过程的特性，我們常常引用电路参数的概念。以形成电场和积儲电场能量为主的电路区

段，用参数电容来表征其特性。主要是形成磁場和积儲磁能的区段，就用参数电感来表征其特性。而对电能轉換为热能的过程，則用参数电阻表征其特性。

在电灯、电阻器等元件所組成的电路区段中，一般积儲場能的过程并不显著，主要是电能轉換为热能的过程，因此可以用电阻来表征。

在电容器中，主要是形成电場的过程，一般电能损失很小，可以用电容来表征。

在电感綫圈中，主要是形成磁場的过程，因此可以認為它主要是具有一定数值的电感。但是如果电感綫圈电能损失較大，就可以認為它还具有一定数值的电阻，而用电感和电阻两个参数来表征。

应当指出，用什么参数来表征电路元件的特性，和工作条件有关，并不是絕對的。例如电阻器在通有电流时，除了电能轉換为热能的过程外，不可避免地会形成磁場和电場，但在一般的工作条件下，积儲場能的过程并不显著，所以我們只用电阻来表征。但在高频的情况下，积聚場能的过程就会显著起来，这时就应考虑用电阻以及电感和电容等参数一起来表征了。

如果用来表征元件的参数(电阻、电感与电容)是不随电压、电流及頻率而变化的量，这种元件就叫做綫性元件。反之，就是非綫性元件。如果所有組成电路的参数都是綫性的，这种电路就称为綫性电路。在本章中只討論綫性电路，非綫性电路將在第七章中討論。

§ 1-4 欧姆定律。电阻、电压与电流的关系

欧姆定律是有关电路計算的最基本的定律之一，它是从实践中被証实的。

欧姆定律确定电压与电流的关系。在一段無源电路上加以电压 U ，如圖 1-2，在一般情况下，这段电路中通过的电流 I 与所加电压 U 成正比，即

$$\frac{U}{I} = r, \quad (1-6)$$

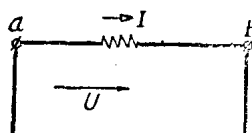


圖 1-2

比例常数 r 称为这段电路的电阻。它是一个与电压、电流大小无关，而仅表示这段电路对电流呈现阻力的物理量，在实用单位制中，电阻的单位为欧姆，简称为欧，或用符号 Ω 代表。

(1-6)式也可写成

$$U = \varphi_a - \varphi_b = Ir. \quad (1-7)$$

这就是说，当电流 I 通过电阻 r 时产生电位降落，其数值等于电流与电阻的乘积。这种电位降落称为电位降，但习惯上往往称为电压降。

(1-6)式表示一段无源电路上电流和电压的关系，对于一个有源的闭合回路来讲，电动势与电流间符合下列关系：

$$\frac{E}{I} = \Sigma r, \quad (1-8)$$

式中 Σr 为全回路各段电阻之和。(1-8)式称为全回路欧姆定律。

若闭合回路包含有两个以上的电源，则(1-8)式应写成如下的形式：

$$\frac{\Sigma E}{I} = \Sigma r. \quad (1-9)$$

式中 ΣE 表示全回路中电动势的代数和。

§ 1-5 电压源。电源端电压和电动势的关系

一个实际电源(如电池或发电机)内部都有电能转换为热能的过程，我们通常以内电阻(简称内阻) r_i 来表征电源的这一物理性质。这样一个实际电源可以用一个固定电动势 E 和一个内阻为 r_i 相串联的形式来表示，如图 1-3 虚线方框内电路所示。

设电动势、电压及电流的正方向如图 1-3 所示，让我们探求电源端电压 U_{ab} 和电动势间的关系。

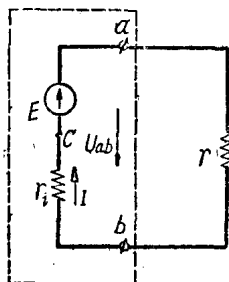


圖 1-3

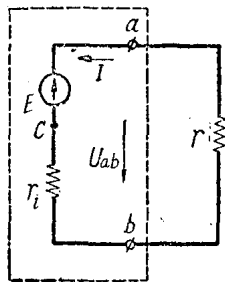


圖 1-4

由于电动势是代表沿正方向升高的电位，故

$$E = \varphi_a - \varphi_c. \quad (1-10)$$

根据欧姆定律，

$$I r_i = U_{bc} = \varphi_b - \varphi_c. \quad (1-11)$$

从(1-10)式减去(1-11)式，得

$$E - I r_i = \varphi_a - \varphi_b = U_{ab},$$

或把端电压的下标略去而写成：

$$U = E - I r_i. \quad (1-12)$$

这就是说电源的端电压等于电源的电动势减去内阻的电压降。

应当指出上述电源端电压和电动势之间的关系，是和圖 1-3 中电动势、端电压及电流所选定的正方向相对应的。

假如电动势、端电压或电流选定的正方向不符合圖 1-3 中所标明的方向，则在(1-12)式中將引起各项代数符号的改变。例如，当电动势、端电压和电流选定的正方向如圖 1-4 所示，則

$$U_{ab} = E + I r_i. \quad (1-13)$$

这时电源的端电压等于它的电动势和内阻电压降之和。当电源处于被充电的情况下，其电动势、端电压和电流的取向即如圖 1-4 所示。

由于一般实际电源的内阻很小，它的输出电压几乎不随输出电流的变化而变化，故我們称之为电压源。

有的电源的内阻并不很小(例如电子管的等效电源),但也可画成如图 1-3 的电路。凡用一个固定电动势和一个内阻相串联的形式来表示的电源都称为电压源。电压源是表征实际电源的一种等效电路。在第三章中我们将介绍电源的另一种表示形式——电流源。

§ 1-6 电功率和电能

在电信技术设备中,负载要从电源获得一定的功率。因此功率的计算就成为电路计算的重要问题之一。

設在某段电路 ab 中(不論其中有無电源,也不論其中有無分支),有电流 I 通过(圖1-5), ab 間的电压为 U , 則根据电压的定义,單位正电荷在电场的作用下由 a 移至 b 时要做功 U 。

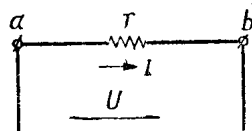


圖 1-5

又由电流的定义,單位时间从 a 移到 b 的电荷总共为 I , 因此單位時間內电场在 ab 段电路内所作的功是

$$P = UI. \quad (1-14)$$

此單位時間內的功即为 ab 段所吸收的功率。在实用單位制中,它的單位是瓦特,或簡称瓦。在計量小功率时則用毫瓦或微瓦;而在計量大功率时可用千瓦。

同理,如果我們要計算电源产生的功率,則可將电动势与电流相乘,得

$$P = EI. \quad (1-15)$$

應該指出,(1-14)式[或(1-15)式]是在电压(或电动势)和电流的取向一致时功率的表示式。如果一段电路电压与电流的取向相反,則:

$$P = -UI,$$

即功率为負值。这表示該段电路是输出功率而不是吸收功率。如果一段电路中电源的电动势的取向与通过电源的电流的取向相反,則

$$P = -EI,$$

这表示该电源是吸收功率而不是输出功率。

对于如图(1-5)所示的电阻电路, 电阻 r 上所消耗的功率又可写作如下的形式:

$$P = UI = I^2 r = \frac{U^2}{r} \quad (1-16)$$

现在再研究电源中的功率关系。如图 1-3, 电源具有电动势 E 和内阻 r_i 。电源产生的功率为 EI , 内阻所消耗的功率为 $I^2 r_i$, 故电源输出的功率为:

$$P = EI - I^2 r_i \quad (1-17)$$

例 1-1: 图 1-6 为电源 I 向电源 II 充电的电路, 已知电源 I 的电动势 $E_1 = 24$ 伏, 电源 II 的电动势 $E_2 = 20$ 伏, 内阻 $r_2 = 0.2$ 欧, 端电压 $U_{bc} = 21$ 伏, r 是联接导线的电阻等于 0.35 欧。求电源 I 的内阻 r_1 和电路的功率转换关系。

解: 应用全回路欧姆定律, 有

$$E_1 - E_2 = I(r_1 + r_2 + r), \quad (1-18)$$

又电源 II 的端电压 U_{bc} 为

$$U_{bc} = E_2 + I r_2 \quad (1-19)$$

现在电源 II 是属于充电的情况, 因为

电流是由 b 点流向 c 点, 即由电源正极流向负极。

因此由(1-19)式可求得

$$I = \frac{U_{bc} - E_2}{r_2} = \frac{21 - 20}{0.2} = 5 \text{ 安},$$

而由(1-18)式得

$$\begin{aligned} r_1 &= \frac{E_1 - E_2}{I} - (r_2 + r) = \frac{24 - 20}{5} - (0.2 + 0.35) \\ &= 0.8 - 0.55 = 0.25 \text{ 欧}. \end{aligned}$$

电源 I 产生的功率为 $P'_1 = E_1 \times I = 24 \times 5 = 120$ 瓦,

电源 II 产生的功率为 $P'_2 = -E_2 \times I = -20 \times 5 = -100$ 瓦。

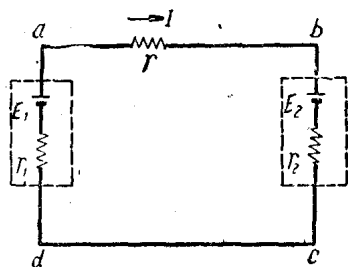


图 1-6

(由于 E_2 和 I 的方向相反故有負号, 这里負号的意义說明电动势吸收功率, 而不是輸出功率)。

电源 I 的端电压为:

$$U_{ad} = E_1 - I r_1 = 24 - 5 \times 0.25 = 22.75 \text{ 伏,}$$

据此, 电源 I 輸出功率 $P_1 = U_{ad} \times I = 22.75 \times 5 = 113.75 \text{ 瓦,}$

电源 II 所吸收的功率 $P_2 = U_{bc} \times I = 21 \times 5 = 105 \text{ 瓦,}$

內阻 r_1 吸收的功率 $P_{r_1} = I^2 r_1 = 5^2 \times 0.25 = 6.25 \text{ 瓦,}$

內阻 r_2 吸收的功率 $P_{r_2} = I^2 r_2 = 5^2 \times 0.2 = 5 \text{ 瓦,}$

联接导綫的电阻 r 吸收的功率 $P_r = I^2 r = 5^2 \times 0.35 = 8.75 \text{ 瓦.}$

校驗: 电源 I 产生的功率 $P'_1 = E_1 I = 120 \text{ 瓦,}$

电路各部分所吸收的功率: $P_2 + P_{r_1} + P_r = 105 + 6.25 + 8.75 = 120 \text{ 瓦,}$

即电源产生的功率等于电路各部分所吸收的功率, 符合电路中功率的平衡关系, 这說明以上的計算正确。

在直流电路中, 因为电压和电流都不随時間变化, 故功率也不随時間变化。經過一段時間 t 后, 电路中所吸收的电能为

$$W = Pt = UIt. \quad (1-20)$$

在实用單位制中, 它的單位是焦耳。

根据(1-16)式, 上式亦可表示为

$$W = I^2 r t, \quad (1-21)$$

这些电能电阻中轉換为热能。若以卡作为热量的單位, 則在時間 t 內, 电阻 r 中总共产生的热量

$$Q = 0.239 I^2 r t, \quad (1-22)$$

上式所表示的关系即为楞次——焦耳定律。

由(1-20)式可以看出, 导体所产生的热量与所通过电流的平方成正比。因此任何一种电气设备都有一定的电压限額或电流限額, 称为这些设备的額定电压与額定电流。在負載电阻为一定的情况下, 加上过高的电压, 則在負載中产生过大的电流, 使大量的电能轉变为热能, 可能烧坏设备。而且过高的电压还可能击穿设备的絕

緣物。

一般的电源，其电动势及端电压几乎不随負載而变化。但它输出的电流則完全根据外面电路的情况而定。如果外部未組成回路，則不輸出电流，即一般所謂开路状态。这时电源不輸出功率，内部也不消耗功率。

如果把电源的兩極用一根电阻小到可以忽略的导綫連接起来，則电源輸出極大的电流。但这时由于电源兩極間的外部电阻为零，从而端电压也等于零，即电源不輸出电压，因此也不輸出功率。这种情况即一般所謂短路。电源在短路时一般电流極大，通过电源的內阻，迅速地产生極大的热量，致使电源燒坏。因此必須防止这种短路事故的發生。为安全起見，常在电路中接入保險絲。一旦电路中电流超过額定值，利用电流的热效应，把保險絲熔断，使电路成为开路。

开路与短路兩名詞不仅用于电源，也用于电路中任一支路。如果某支路断开以致無电流通过，則称該支路为开路。若某一支路兩端被一电阻小到可以忽略的导綫所連接，而使其兩端的电压降为零，則称为短路。在这种情况下短路不一定發生燒坏设备的危險。

§ 1-7 电阻的串并联。电压和电流的分配关系

如果电路內有兩個或兩個以上的电阻，一个接着一个，并且通过它們的电流是一样的，如圖 1-7 所示。这种联接方法叫做电阻的串联。

在物理中已学过，在串联情况下，总电阻值（即等效电阻）等于各电阻值之和，即：

$$r = r_1 + r_2 + r_3. \quad (1-23)$$

根据欧姆定律，各段电阻的电压降为：

$$U_1 = Ir_1; \quad U_2 = Ir_2; \quad U_3 = Ir_3.$$

由于电流是相同的，所以各段的电压降与它們的电阻值成正比，即：

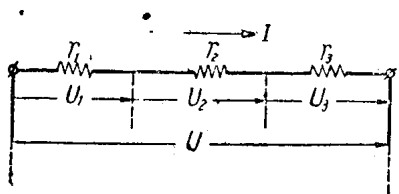


圖 1-7

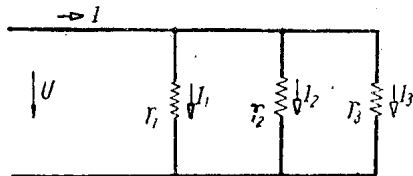


圖 1-8

$$U_1:U_2:U_3=r_1:r_2:r_3. \quad (1-24)$$

同样可以知道，任一段电阻上电压与总电压之比等于该段电阻值与总电阻值之比，即

$$\left. \begin{aligned} U_1:U &= r_1:r \\ \text{或 } U_2:U &= r_2:r \end{aligned} \right\} \quad (1-25)$$

如果电路内有多几个电阻联接成圖 1-8 的形式，使各电阻受到同一电压，这种联接称为电阻的并联。

根据电荷守恒原理，圖 1-8 中

$$I = I_1 + I_2 + I_3,$$

应用欧姆定律，則上式又可化为

$$I = \frac{U}{r_1} + \frac{U}{r_2} + \frac{U}{r_3} = U \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \right). \quad (1-26)$$

我們以 r 表示这三个电阻并联时的等效电阻，則由(1-26)式可得：

$$\frac{I}{U} = \frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}. \quad (1-27)$$

所以当有几个电阻并联时，电路的等效电阻的倒数等于各个并联电阻的倒数之和。

在两个电阻并联的情况下，(1-27)式可化为下列的形式：

$$r = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}, \quad (1-28)$$

即两个电阻并联时的等效电阻等于两电阻的乘积除以两电阻的和。

这一关系在实用中很方便，讀者应牢記。

在两个电阻并联时，兩支路的电流分别是(見圖 1-9)：