

全国家用电器产品维修工职业技能鉴定指定用书

职业技能鉴定教材

家用电器产品 维修工（初级）

劳动和社会保障部职业技能鉴定中心
全国家用电器职业技能鉴定教材编委会

审定
主编

人民邮电出版社
POSTS & TELECOMMUNICATIONS PRESS

第一部分 基础知识

第1章 电工学基础

本章主要介绍电路的模型、基本物理量、基本定律及简单电路的分析计算；电容器的充放电与串并联电路；正弦交流电的基本概念、表示方法及交流电路中三种基本元件的电流电压关系；三相交流电路的特性及连接；单相交流电动机的工作原理等。

1.1 电路基础知识

1.1.1 电路的组成

一、电路

电路就是电流所通过的路径。例如，把灯泡用导线、开关与电源接通，则有电流通过灯泡，使灯泡发光。如果把电动机用导线、开关与电源接通，则有电流通过电动机，使电动机旋转起来。这种使电流获得通路，而把有关电气元件适当组合所构成的总体，叫做电路。图1-1-1所示的是手电筒电路。

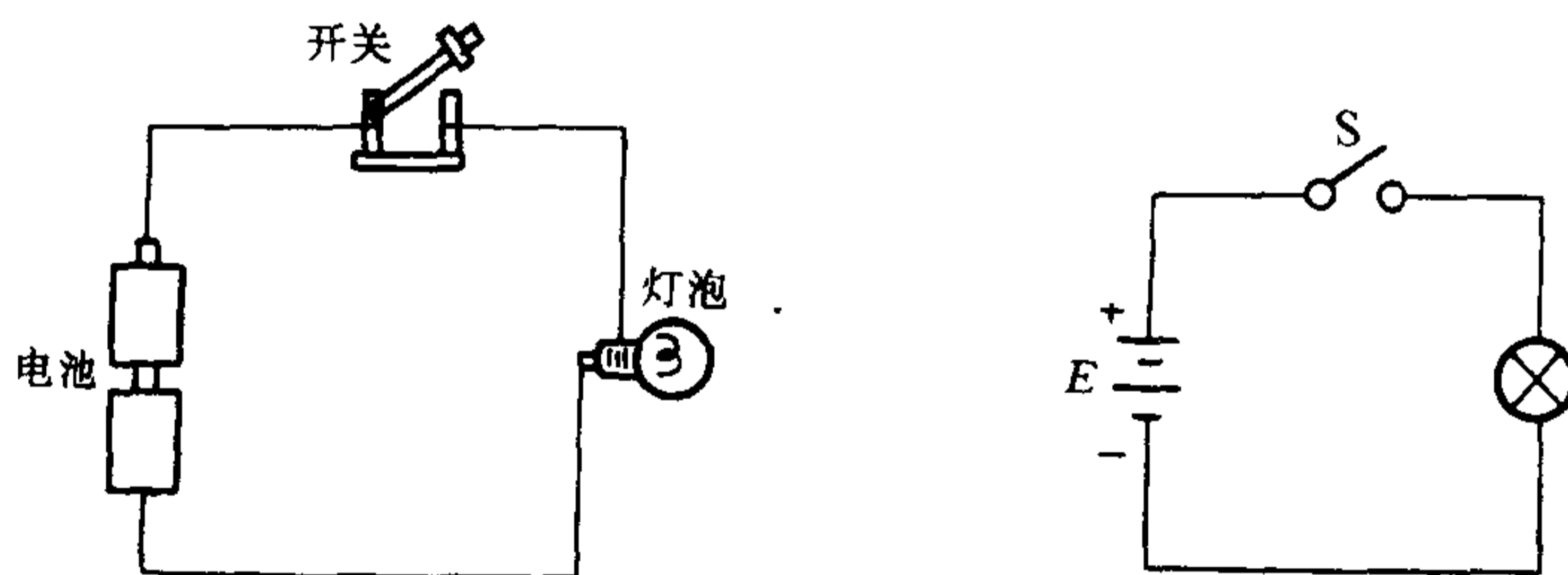


图 1-1-1 手电筒电路

电路一般由四部分组成。

(1) 电源：是产生电能的设备。其作用是将其他形式的能量转换为电能。如干电池是将化学能转换为电能，而发电机是将机械能转换为电能。

(2) 用电设备：又称负载或负荷，它的作用是把电能转换为其他形式的能量。如电灯将

电能转换为光能，电动机将电能转换为机械能等。

(3) 连接导线：由导体制成，其作用是把电源、负载和控制电器等连接成一个闭合的通路，并将电能传输和分配给负载。

(4) 其他设备：在电路中起控制、保护等作用的设备。如开关、熔断器、继电器、电工仪表等。

二、电路图

在实际工作中为便于分析、研究电路，通常将电路的实际元件用图形符号表示在电路中，称为原理电路图，也叫电路图。图 1-1-1 (b)是图 1-1-1 (a)的原理电路图。

三、电路的三种情况

(1) 通路：电路的开关闭合，使电源与负载接通，此时电路称为通路，又叫闭合电路。通路时电路中有电流流过负载，电路处于工作状态。

(2) 开路：当电源的开关打开或熔断丝被熔断时，电路就处于开路(断路)状态。电源开路时，由于外电路的电阻是无穷大，因而电路中没有电流，电源的端电压等于电动势，电源不输出电能。

(3) 短路：短路状态是指电路里不同电位的两点直接接通，接通处的电阻极低，一般可视为零。“短路”状态可能发生在电路的任何处，但最严重的是电源短路。

1.1.2 电流、电压、电阻的概念及表示方法

一、电流

电荷的定向移动就形成电流。电流的大小用电流强度来衡量，简称电流，用 I 表示。电流强度就是在电场的作用下，单位时间内通过导体截面的电荷量。如果用 Q 表示 t 时间内通过导体的电荷量，则

$$I = \frac{Q}{t}$$

电流的单位是安培，简称安，用 A 表示。还常用千安(kA)、毫安(mA)或微安(μ A)为单位。它们的换算关系如下：

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}$$

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$$

$$1\mu\text{A} = 10^{-3}\text{mA} = 10^{-6}\text{A}$$

习惯上把正电荷运动的方向做为电流的方向。在电路中电流的方向常用箭头来表示。

常用到的电流有直流和交流两种。电流的大小和方向不随时间变化的叫直流电。如手电筒、半导体收音机等用的是直流电。电流的大小和方向随时间变化的称做交流电。目前工农业生产和人们生活中广泛用的是交流电，有些直流电也是由交流电经整流得到的。

二、电压

1. 电压

导体中形成电流的内在因素是导体内有电荷，而外界因素则是导体两端存在电场。电场对电荷产生作用力，使电荷产生定向的运动。

设有两个带电体 A、B，分别带有异性电荷(A 带正电、B 带负电)形成电场。当用导体把这两个带电体连接起来后，在电场的作用下，正电荷将沿着电场力的方向由 A 向 B 移动，从而在导体中形成电流，如图 1-1-2 所示。

电场力在移动电荷时要做功，电场对电荷做功的大小通常是用电压来衡量，用 U 表示。因此也可以认为电流是由电压产生的。

电压的单位是伏特，简称伏，用 V 表示。高电压常用千伏(kV)做单位，低电压用毫伏(mV)做单位。它们之间的关系是：

$$1\text{kV} = 1000\text{V} = 10^3\text{V}$$

$$1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$$

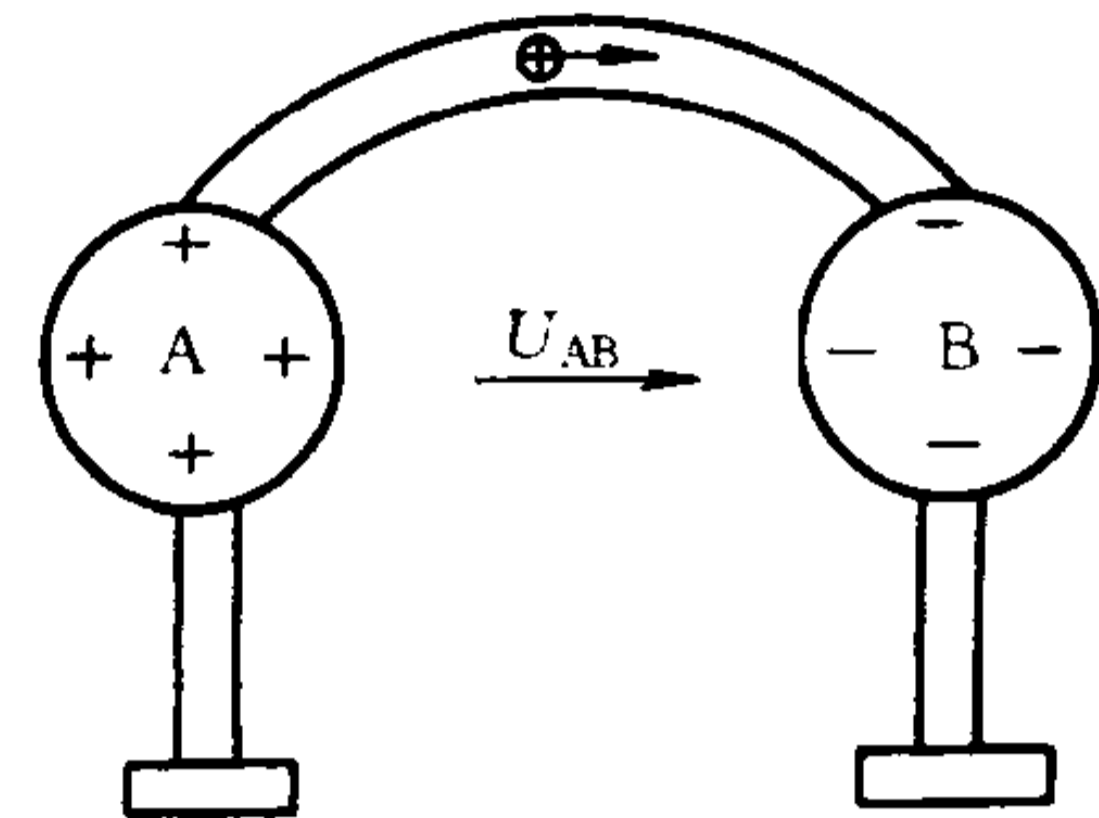


图 1-1-2 正电荷在导体中的运动

电压不但有大小，还有一定的方向，通常规定正电荷运动的方向为电压的方向，即电压的方向是由正到负的。如图 1-1-2 所示。电压方向的表示方法有两种，一种是用下标的顺序来表示，如 U_{AB} 表示电压的方向是 A 到 B；另一种是用箭头表示。

2. 电位

如果在电路中任选一点(如 0 点)为参考点，则电路中某一点到参考点之间的电压就叫做这一点的电位。如果将电位用 U 表示，则任一点 A 的电位为 $U_A = U_{A0}$ 。

既然电位是对参考点的电压，因此它的单位也是伏特。在电路中任意两点的电位之差，就等于这两点间的电压。即：

$$U_{AB} = U_A - U_B = U_{A0} - U_{B0}$$

所以电压也称为电位差，电压的方向是由高电位指向低电位。电流的方向与电压的方向是一致的，它总是由高电位流向低电位的。如果在电路中某两点电位相等，则称这样的点为等电位点，这是高压带电作业的理论基础。

3. 电动势

在图 1-1-2 中，如将带电体 A、B 间接上导体，由于 A、B 间存在电位差，所以在导体中产生了电流。那么，要维持电流的继续存在，必须维持导体两端的电位差，这个电位差要靠电源来产生。

在各种电源中，它们都具有一个共同点，就是能在电源内移动电荷。电源内部这种能移动电荷的作用力称为电源力。电源力能够不断地将正电荷从电源的负极移到正极，从而保持了两极之间的电位差，使电流在电路中持续不断地流通。电源力将单位正电荷由电源负极移到正极所做的功叫做电源的电动势，常用 E 表示。电动势的单位和电压的单位相同，也用伏、千伏和毫伏表示。

电动势的方向为电源力移动正电荷的方向，即由低电位指向高电位。电动势与电压的方向相反，这是因为电动势的方向是电源力移动正电荷的方向，而电压的方向是电场力移动正电荷的方向。电源力与电场力的方向是相反的，所以电动势与电压的方向也相反。

一般将电动势的大小和方向不随时间变化的电源，叫做直流电源。如干电池、蓄电池和

直流发电机等都是直流电源。电动势的大小和方向均随时间变化的电源，称为交流电源。交流发电机就是交流电源。

三、电阻

导体中的电荷在电场力的作用下作定向运动时要受到阻碍作用，导体对电流的阻碍作用叫做导体的电阻，用 R 或 r 表示。电阻的单位是欧姆，用符号 Ω 表示。大电阻值常用千欧 ($k\Omega$) 或兆欧 ($M\Omega$) 做单位。它们的换算关系是：

$$1k\Omega = 1000\Omega = 10^3\Omega$$

$$1M\Omega = 1000k\Omega = 10^6\Omega$$

当温度一定时，导体电阻的大小与导体长度成正比，与导体截面积成反比，还与导体的材料有关。即：

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

式中， R 是导体电阻 (Ω)， l 是导体长度 (m)， S 是导体截面积 (mm^2)， ρ 是电阻率 ($\Omega \cdot mm^2/m$)。

1.1.3 欧姆定律

在电阻电路中，通过电阻元件的电流与电阻两端的电压成正比，而与电阻成反比。这一规律称为欧姆定律，即：

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

式中， I 是流过电阻的电流 (A)， U 是电阻两端的电压 (V)， R 是电阻元件的电阻 (Ω)。遵循欧姆定律的电阻称为线性电阻，反之为非线性电阻。

在应用欧姆定律时，还应注意电压与电流方向一致，即电压由高电位指向低电位，电流由高电位流向低电位。

1.1.4 电功率和电能

一、电功率

不同电气设备接上电源时电流都做了功，但在相等的的时间里不同的电气设备因电流的大小不同，所做的功也不一样。或者说，它们做相等的功所用的时间不一样。电功率就是反映这种电流做功快慢程度的一个物理量，它表示电流在 1 秒内所做的功的多少。

负载的电功率等于负载两端的电压和通过负载的电流的乘积。常用符号 P 表示，即

$$P = UI$$

式中： U 是用电设备两端电压 (V)， I 是用电设备中的电流 (A)， P 是用电设备所消耗的功率，单位为瓦特，简称瓦 (W)。

将欧姆定律 $I = U/R$ 、 $U = IR$ 分别代入上式，则电功率还可以表示为：

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

电功率单位还有千瓦(kW)、兆瓦(MW)和毫瓦(mW)。它们的关系是：

$$1\text{kW} = 10^3\text{W}$$

$$1\text{MW} = 10^3\text{kW} = 10^6\text{W}$$

$$1\text{mW} = 10^{-3}\text{W}$$

二、电能

电能是一段时间内电流所做的功。电能的大小不仅与电功率有关，还与做功时间的长短有关，可用公式表示为

$$W = Pt$$

式中， P 为电功率，单位为千瓦(kW)； t 为时间，单位为小时(h)； W 为电能，单位为千瓦·小时(kW·h)。1kW·h 是指功率为 1kW 的用电设备在 1 小时内所消耗的电能。

要注意电能和电功率的区别。电能是指一段时间内电流所做的功，或者说是指一段时间内负载消耗的能量；电功率是指单位时间内电流所做的功，或者说是指单位时间内负载消耗的电能。电功率用瓦特表测量，电能用瓦时表(即电能表)来计量。

三、电流热效应

电流通过导体要产生热量，英国的物理学家焦耳通过大量试验研究证明：电流流过导体产生的热量与电流的平方、导体的电阻及通电的时间成正比，这就是著名的焦耳定律。用公式表示，即

$$Q = 0.24 I^2 R t$$

式中， Q 为电流在电阻上产生的热量(卡)； I 为通过导体的电流(A)； R 为导体的电阻(Ω)； t 为电流通过的时间(s)。

1.1.5 电气设备的额定值

各种电气设备的铭牌上都要标出它们的电压、电流和功率的限额，称为该电气设备的额定值，也叫做铭牌数据。

额定值是制造厂对电气设备的使用规定，是保证电气设备正常合理可靠地工作的条件。若超过额定值使用，往往就会导致过热、绝缘损坏，从而使设备寿命缩短以致毁坏等事故。如果低于额定值使用，不仅得不到正常合理的工作情况(如电压过低，电动机的转速过低)，而且也不能充分利用设备的工作能力。因此，在使用电气设备时，必须注意电气设备的电压、电流等数量界限，即首先要知道它的额定值，才能正确地使用电气设备。例如，一个电灯泡，上面标有“220V、100W”字样，就是指它的额定电压是 220V，额定功率是 100W。在使用时，应该接到 220V 的电源上，这时消耗的功率是 100W。如果把它接到 110V 的电源上，灯泡就很暗淡；如果接到 380V 的电源上，灯丝就会因为电流过大而烧断。

1.2 简单电路的计算

1.2.1 电阻串联与分压

将两个以上的电阻，依次首尾相连接，使各电阻通过同一电流，这种连接方式叫做电阻的串联。图 1-2-1 所示为三个电阻的串联电路。

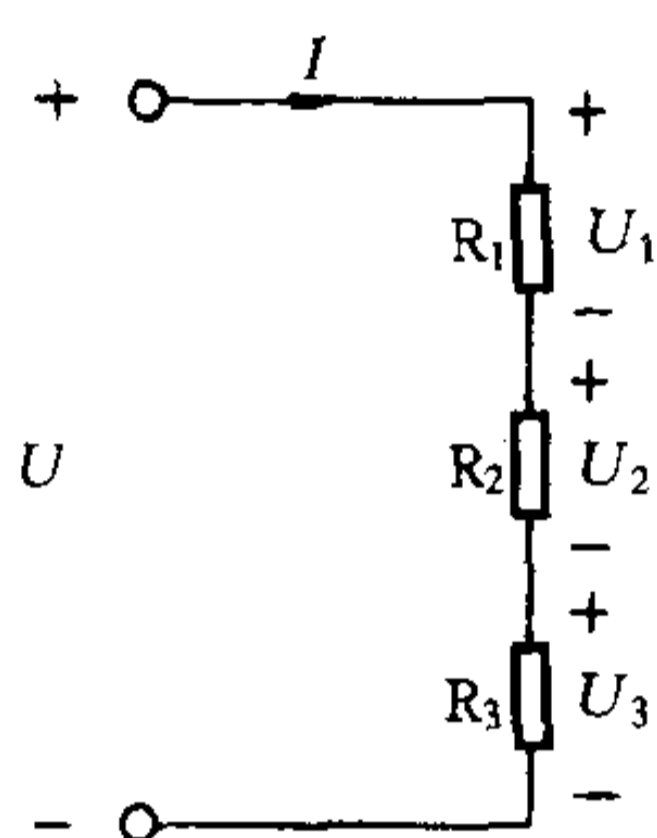


图 1-2-1 三个电阻
串联电路

串联电路的特点如下：

(1) 串联电路中，流过各电阻的电流相同。

(2) 各电阻上分配的电压与其电阻成反比，电阻大的分得的电压大。

各电阻上的电压为：

$$U_1 = IR_1, U_2 = IR_2, U_3 = IR_3$$

(3) 串联电路的总电压等于各电阻上电压降之和。即：

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

(4) 串联电路的总电阻(等效电阻)为各电阻之和。即：

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

由串联电路的特点可看出，如果在电路中串联一个电阻，那么电路的等效电阻就要增大。在电源电压不变的情况下，电路中的电流将要减小。所以串联电阻可起到限制电流的作用。

串联电阻还可以起到分压的作用，因为电阻通过电流时要产生电压降，承担了电路的一部分电压。如电阻分压器和多量程电压表就是利用了这个原理。

根据图 1-2-1，因为

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3}$$

所以

$$U_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} U = K_1 U$$

$$U_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} U = K_2 U$$

$$U_3 = IR_3 = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U = K_3 U$$

上式为串联电路的分压公式，式中 K_1 、 K_2 、 K_3 为电路的分压系数。

1.2.2 电阻并联与分流

几个电阻头尾分别连在一起，即电阻都接在两个节点之间，各电阻承受同一电压，这种连接方式叫做电阻的并联。图 1-2-2 所示为三个电阻的并联电路。

并联电路的特点如下：

(1) 因为各电阻两端分别接在同一点上，所以各并联电阻两端的电压相同。即

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

(2) 根据欧姆定律，并联电路的每个电阻支路的电流分配与其电阻成反比。即：

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2}, \quad I_3 = \frac{U}{R_3}$$

(3) 并联电路的总电流为各电阻支路电流之和。即：

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

(4) 并联电路等效电阻的倒数为各电阻的倒数之和。

因为总电流
$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = \frac{U}{R}$$

所以

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

对于常见的两个电阻并联的电路，其等效电阻的倒数为：

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}$$

等效电阻为：

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

若 n 个电阻值为 R_1 的电阻并联(即各个电阻值相等)，则总电阻为

$$R = \frac{R_1}{n}$$

由上式可见，并联电路总电阻的值小于任一支路的电阻值。并且，并联电阻越多，总电阻越小。

由并联电路的特点还可以看出，当电路增加一并联电阻后，则该电阻中将通过一定的电流，使总电流增大。因此，并联电阻可以起分流作用。如电流表并联一电阻后可以扩大电流表的量程。

1.2.3 电路中各点电位的计算

在电路分析中，经常要根据电路中某点电位的高低来分析电路的工作状态。电路中各点电位是相对的物理量，若不选定参考点，就无法确定各点的电位值。

电路中的参考点可以任意选取，但参考点一旦选定，各点电位的计算都要以选定的参考点为准。对于不同的参考点，各点电位数值也将不同，但任意两点间电压不会因参考点不同而改变。工程上常选大地为参考点。电子线路中常选一条特定的公共线作为参考点，这条公共线是许多元件的汇聚处，并与机壳相联，也称为“地线”。参考点标以“⊥”来表示。

电位虽然是指某一点而言，但实际上还是指两点之间的电压，只不过这第二点是已规定

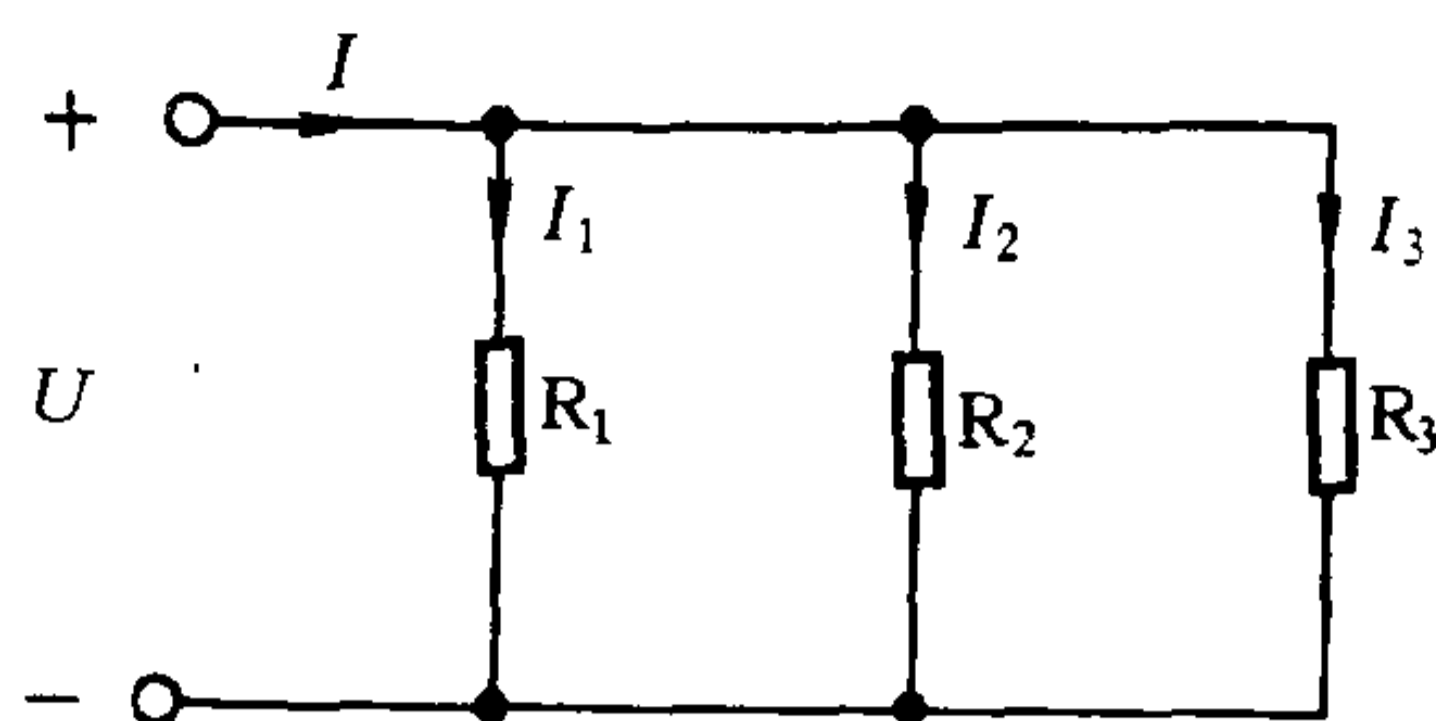


图 1-2-2 三个电阻并联电路

了的，是指参考点。因此，会计算电路中任意两点的电压，也就会计算电路中任一点的电位。

要计算电路中某点的电位，就是从该点出发，沿着任意选定的一条路径到零电位点，则该点的电位就等于这条路径上全部电压的代数和。具体方法和步骤用下例来说明。

例 在图 1-2-3 中，已知 $R_1 = 10\Omega$ ， $R_2 = 5\Omega$ ， $R_3 = 3\Omega$ ， $R_4 = 2\Omega$ ， $U_1 = 13V$ ， $U_2 = 6V$ ， $I_1 = 0.8A$ ， $I_2 = 1A$ ， $I_3 = 0.2A$ 。试计算 A、B、C 各点的电位。

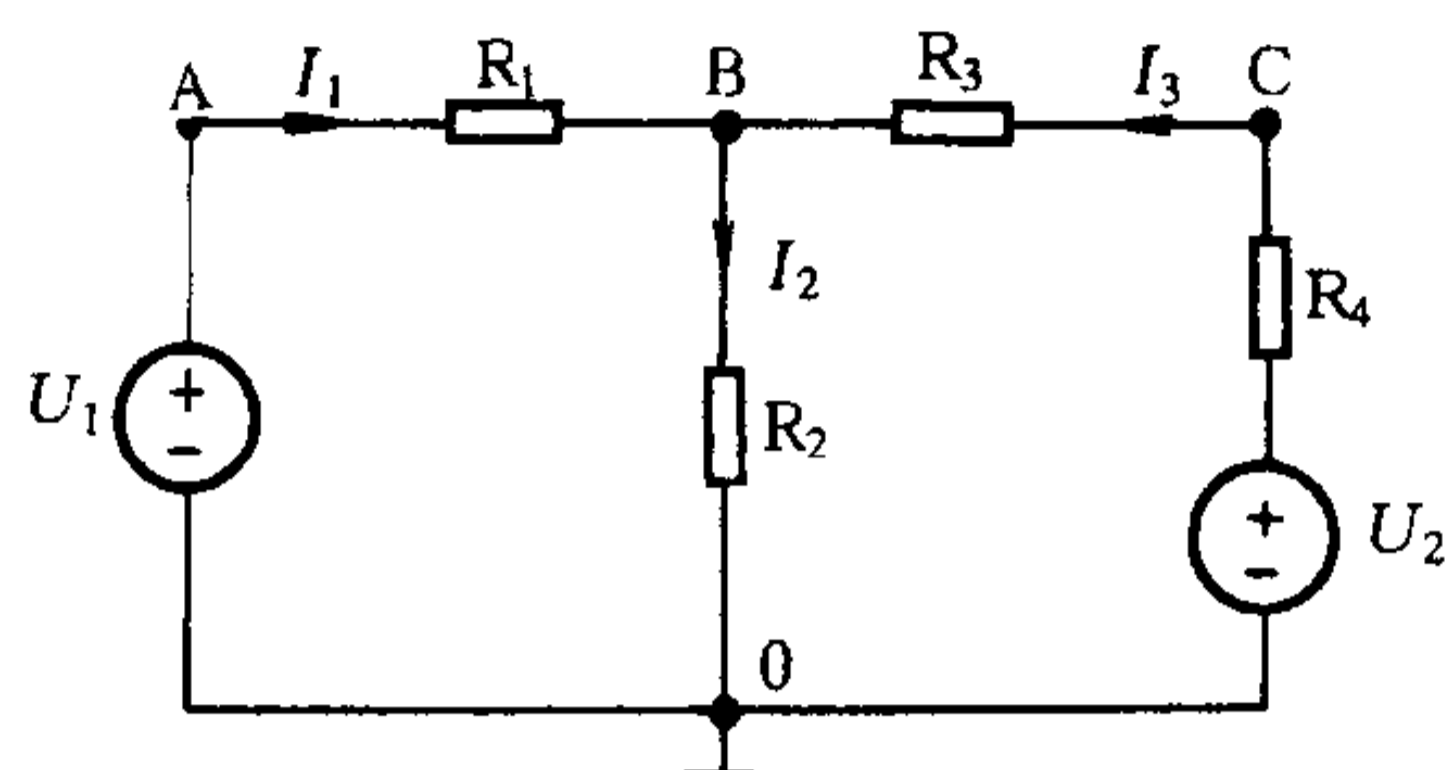


图 1-2-3 电位计算

解：(1) 选取 0 点为参考点，即 $U_0 = 0$ ；

(2) 标出电源电压和负载两端电压的参考极性，如图 1-2-3 所示。

(3) A 点的电位：可选定 $A \rightarrow U_1 \rightarrow 0$ 这条最简单的路径，由于只经过电源 U_1 ，显然

$$U_A = U_1 = 13V$$

(4) B 点电位：选取路径 $B \rightarrow R_2 \rightarrow 0$ ，得

$$U_B = I_2 \cdot R_2 = 5V$$

(5) C 点电位：选取路径 $C \rightarrow R_4 \rightarrow U_2 \rightarrow 0$ ，得

$$U_C = -I_3 \cdot R_4 + U_2 = 5.6V$$

注意，参考点选定后，电路中各点电位就有了确定值，但该点电位值与计算时所选择的路径无关。

1.2.4 负载获得最大功率的条件

负载上得到的功率是由电源供给的。当负载电阻 R 等于电源的内阻 R_s 时，负载 R 可获得最大的功率。此时，称为阻抗匹配，在匹配的条件下，负载获得的最大功率为：

$$P = \frac{U_s^2}{4R_s} = \frac{U_s^2}{4R}$$

匹配条件下，负载获得的功率虽然最大，但输出效率却最低，因 $R = R_s$ 时，电源内阻消耗的功率将会与负载一样多，电源输出功率将只有一半供给负载，另一半消耗在电源内部。因此，匹配条件只适用于小功率传递电路，大功率电能输送应尽可能提高效率。

1.3 电容器的充、放电与串、并联

1.3.1 电容器及其容量

任意两个被绝缘材料隔开的金属导体，就构成一个电容器。电容器的结构及其在电路中的一般表示符号如图 1-3-1 所示。图(a)是平板电容器的结构原理图，A、B 是被绝缘材料隔开的金属板，叫极板，它可通过电极接到电路中去。用来隔开极板的绝缘材料叫绝缘介质。

电容器具有储存电荷的特性。当在电容器的两极板间接入直流电源后，电荷就在极板上积存起来。实验证明，电容器极板上积存的电量 q 与极板间所加电压成正比。也就是说，电容器极板上积存的电量 q 与极板间的电压 U 的比值是一个常量。这个比例常数，叫做电容器的电容量，简称为电容，用符号 C 表示。即：

$$C = \frac{q}{U}$$

电容器的电容 C ，是一个衡量电容器积存电荷能力大小的物理量。它的大小只与电容器的极板面积 S 、极间距离 d 以及中间绝缘材料的性质有关，而与外加电压无关。上式中， q 的单位是库， U 的单位是伏，电容 C 的单位是法拉，简称法，用符号 F 表示。

由于法拉这个单位太大，故通常用微法 (μF) 或皮法 (pF) 作为电容器的单位，它们的换算关系是：

$$1\mu F = 10^{-6}F$$

$$1pF = 10^{-6}\mu F = 10^{-12}F$$

1.3.2 电容器的充、放电

一、电容器的充放电现象

电容器与直流电源接通时，电容器要进行充电。如图 1-3-2 所示，当将开关 S 合到“1”时，可看到检流计 G 的读数开始最大，以后逐渐减小到零。与此同时，电压表的读数由零逐渐增大到电源电压 U 。当将 S 打开后，电压表读数仍为 U ，说明电容器两极板有电场，这电场是由两极板上的正负电荷产生的，这些电荷是由电源供给的。电容器由电源得到电荷的过程叫做充电过程。

当把充好电的电容器两极短接时，电容器要产生放电现象。如图 1-3-2 所示，将开关 S 由“1”倒向“2”时，可以看到检流计的读数开始最大，以后逐渐减小到零。但检流计指针偏转方向与充电时相反，电压表的读数也是由 U 逐渐减小到零。这说明电容器极板上的电荷逐渐减少，我们把这个过程称为电容器的放电过程。

由上述可知，在电容器与直流电源接通时，电路中有充电电流；当电容器放电时，电路中有放电电流；其他情况下电路中没有电流。这说明电容器不能通过直流，有隔离直流电的作用。如果把电容器接到交流电源上，由于交流电源的电压大小和方向不断变化，使电容器反复地充电和放电，这时电路中就不断有充放电电流，因此认为电容器有通过交流电的作用。

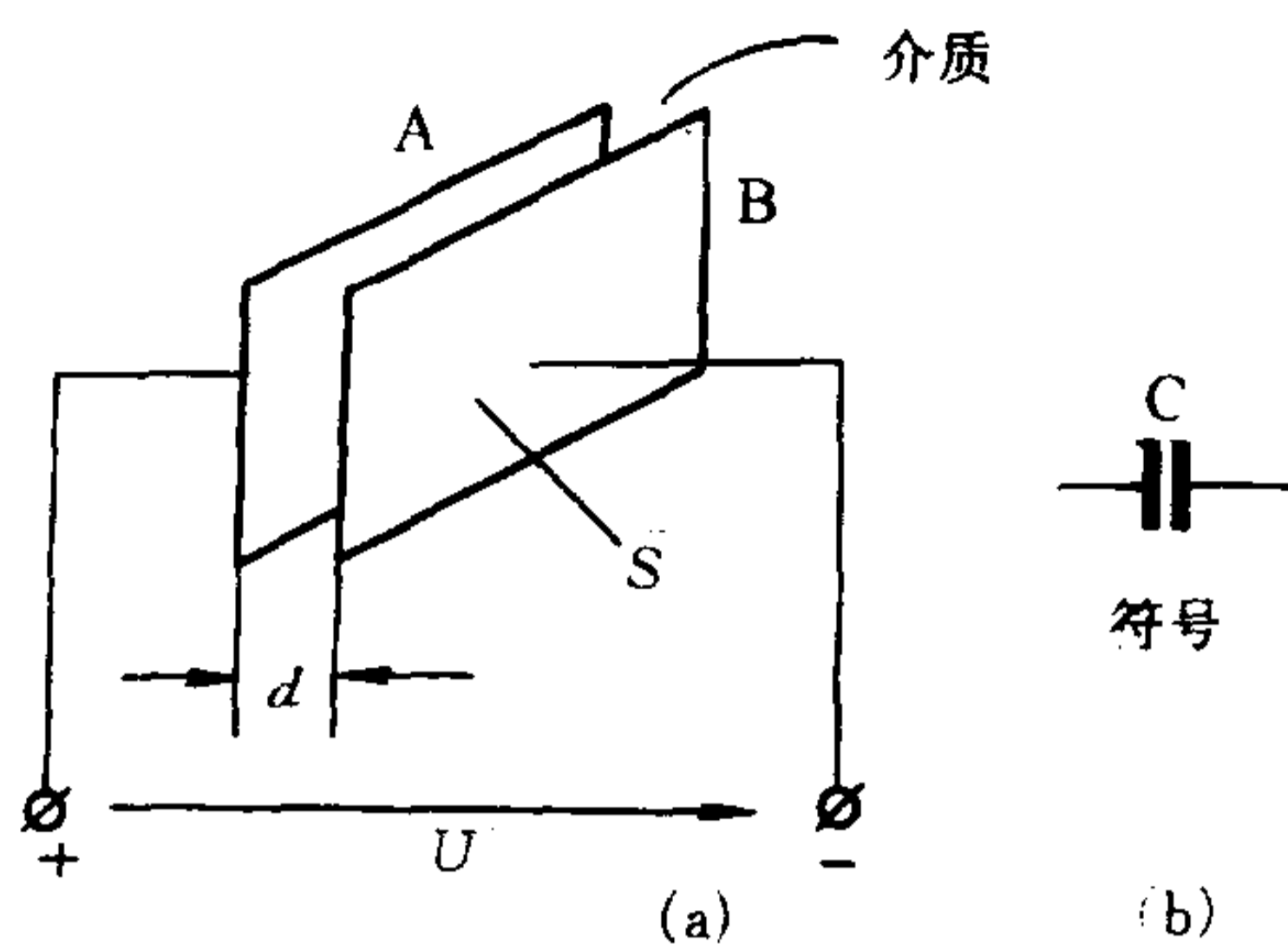


图 1-3-1 电容器示意图及表示符号

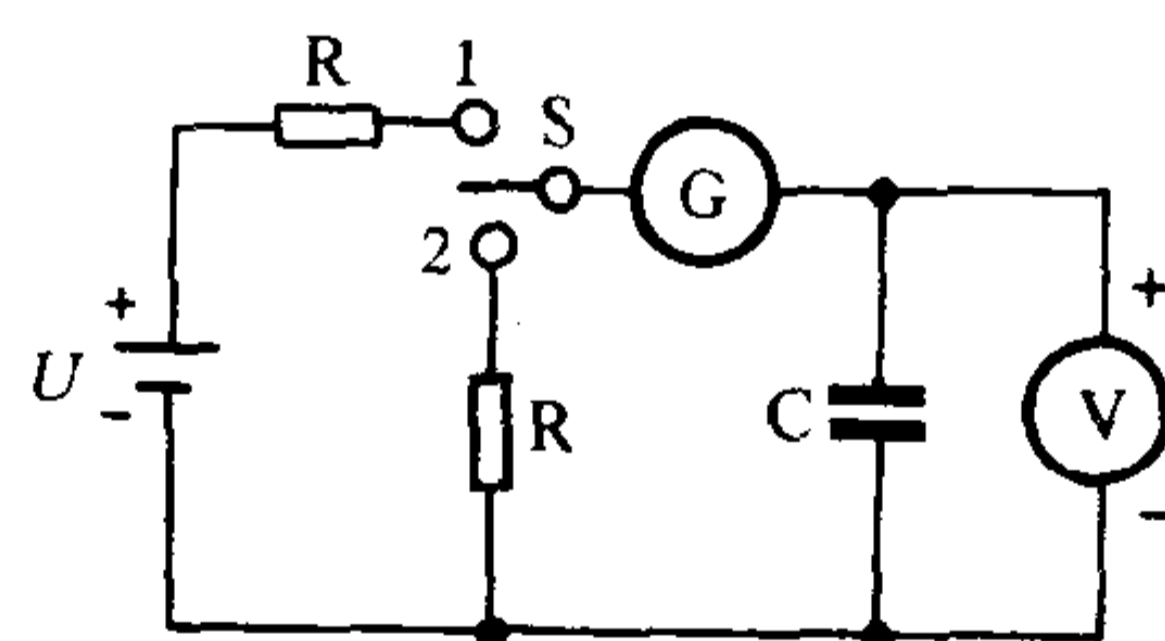


图 1-3-2 电容器的充放电

二、电容器的电压与电流的关系

电容器在充放电过程中，电路中有电流，也就是有电荷在电路中运动。但电容器充放电时，电流的大小在每一瞬间都是不同的。即电流是随时间变化的。这时电流应用下式表示：

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} = C \frac{\Delta u}{\Delta t}$$

式中， i 是充放电的瞬时电流； Δt 是很短的时间间隔； Δq 是在 Δt 内电荷的变化量； Δu 是 Δq 引起的对应电容器电压的变化量。

上式说明，电容器电流的大小与电容电压的变化率成正比。即电容电压变化快，其电流大；电容电压变化慢。则电流小。如果电容电压不变化电流将为零。例如直流电源给电容器充电完毕后，虽然电容器两端有电源电压，但由于直流电压不变化，所以电路中是没有电流的。这也是电容元件起隔断直流、通过交流的基本原理。

1.3.3 电容器的串联与并联

一、电容器的串联

与电阻的串联方式一样，将几只电容器的头、尾依次连成一串如图 1-3-3 所示，称为串联。电容器串联时具有以下特点：

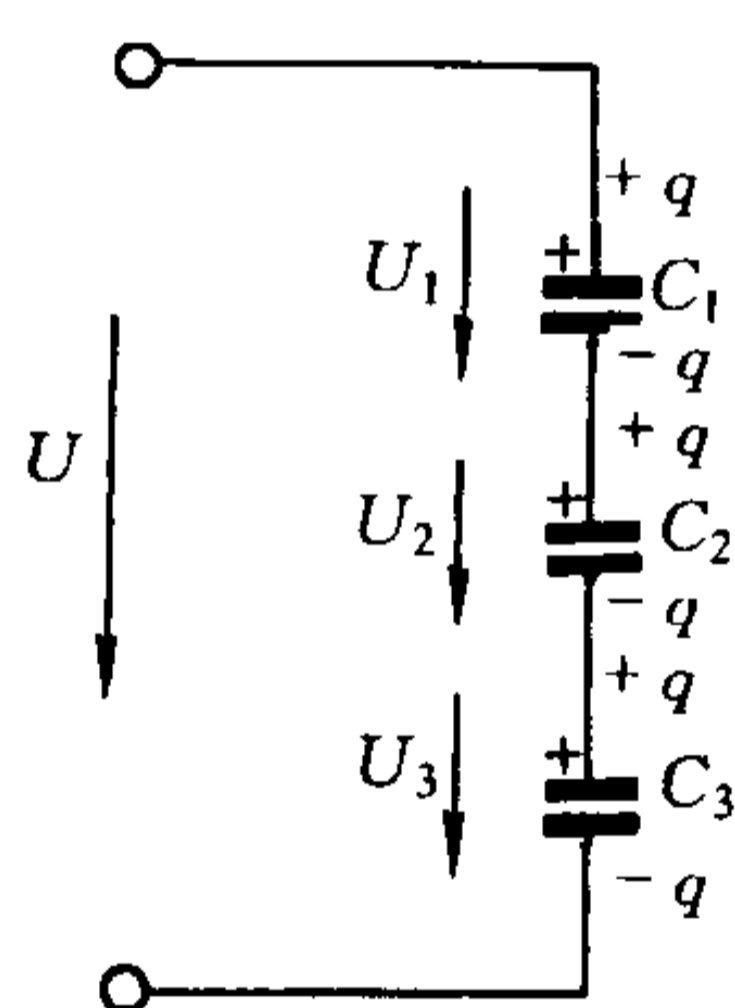


图 1-3-3 电容器串联

(1) 根据静电感应原理，各电容器极板上所带的电量相等，而相邻极板上的电荷相反。

(2) 由于各电容器极板上的电量相等，所以当电容器的电容不相等时，各电容器两端的电压不相等。根据电容的定义，可求得每个电容器两端的电压为：

$$U_1 = \frac{q}{C_1}, \quad U_2 = \frac{q}{C_2}, \quad U_3 = \frac{q}{C_3}$$

由上式可知，电容小的电容器，其两端的电压高；电容大的电容器，其两端的电压低，而各电容器的电压之和，等于加到串联电容器组两端的总电压 U ，即

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

(3) 电容器串联时，其等效电容(或称总电容)的倒数等于各电容倒数之和。即：

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

串联的电容器越多，等效电容越小。

二、电容器的并联

电容器的并联电路如图 1-3-4 所示。电容器并联时，相当于电极板的面积加大，电容量也相应加大。电容器并联时具有以下特点：

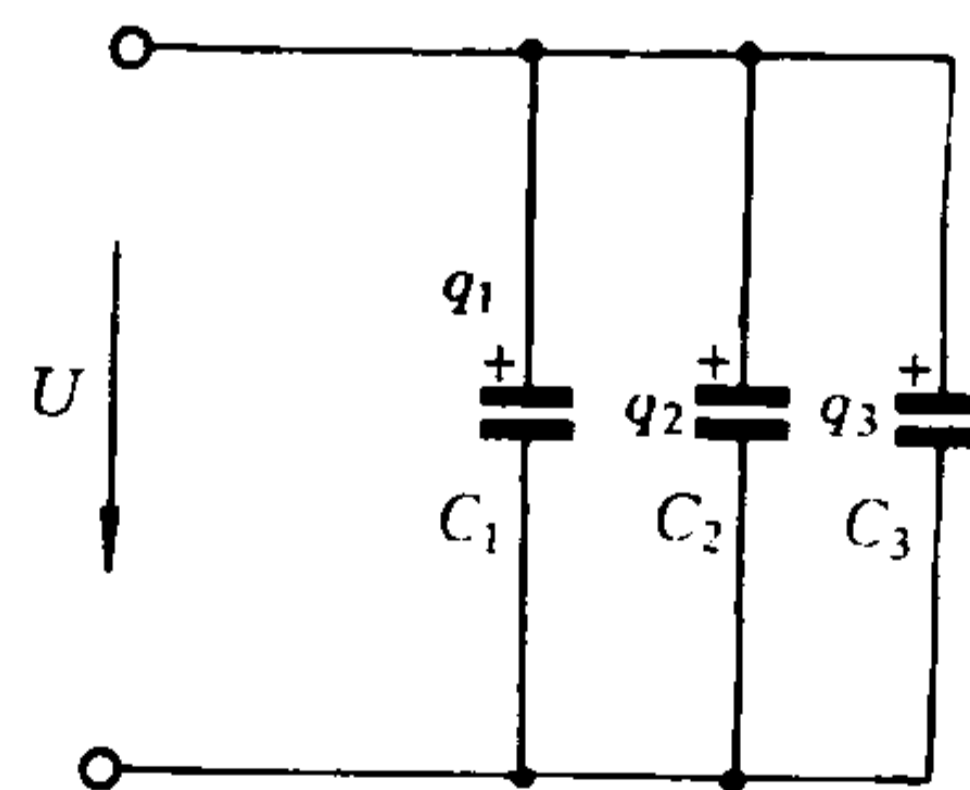


图 1-3-4 电容器并联

- (1) 每个电容器两端的电压为同一电压, 即 $U_1 = U_2 = U_3 = U$ 。
- (2) 当各电容器的电容不相等时, 每个电容器极板上所带的电量不相等。
- (3) 电容器并联时, 其等效电容(或称总电容)等于各电容器的电容之和, 即:

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

可见, 电容器并联时, 并联电容越多, 等效电容的电容量越大。在实际工作中, 常用并联电容的方法来增加电容量。

1.4 正弦交流电路

1.4.1 正弦交流电的三要素及向量表示法

一、交流电

大小与方向随时间变化的电压和电流称为交流电。按正弦规律变化的交流电, 称为正弦交流电。正弦交流电的函数表示式为:

$$e = E_m \sin(\omega t + \Phi_e) \quad u = U_m \sin(\omega t + \Phi_u) \quad i = I_m \sin(\omega t + \Phi_i)$$

式中, e 、 u 、 i 分别表示电势、电压和电流的瞬时值; E_m 、 U_m 、 I_m 表示它们的最大值; ω 表示它们变化的快慢; Φ_e 、 Φ_u 、 Φ_i 表示它们的初始相位。

图 1-4-1 是正弦交流电随时间变化的波形图。

1. 交流电的周期与频率

正弦交流电循环变化一次所需的时间称为周期, 用 T 表示。周期的单位是秒。

每秒钟内包含的周期数叫做频率, 用 f 表示。由定义可知频率与周期是互为倒数关系, 即

$$f = \frac{1}{T}$$

频率的单位是赫兹, 简称赫, 用 Hz 表示。有时也可用千赫(kHz)或兆赫(MHz)为单位。

$$1\text{kHz} = 1000\text{Hz} = 10^3\text{Hz}$$

$$1\text{MHz} = 1000\text{kHz} = 10^6\text{Hz}$$

我国电力工业所用交流电的频率为 50 赫, 称为工频; 而无线电技术中用的频率为 500 千赫 ~ 几百兆赫。

2. 交流电的方向

在交流电路中, 由于电流的大小和方向不断地变化, 因此在一个周期内出现两次最大值(一次正的最大, 一次负的最大)。交流电中的正负值是表示两者方向是相反的。在图 1-4-2 中, 电流是按正弦规律变化的, 在电路图中所标出的箭头并不代表电流的实际方向, 我们称之为“参考方向”或

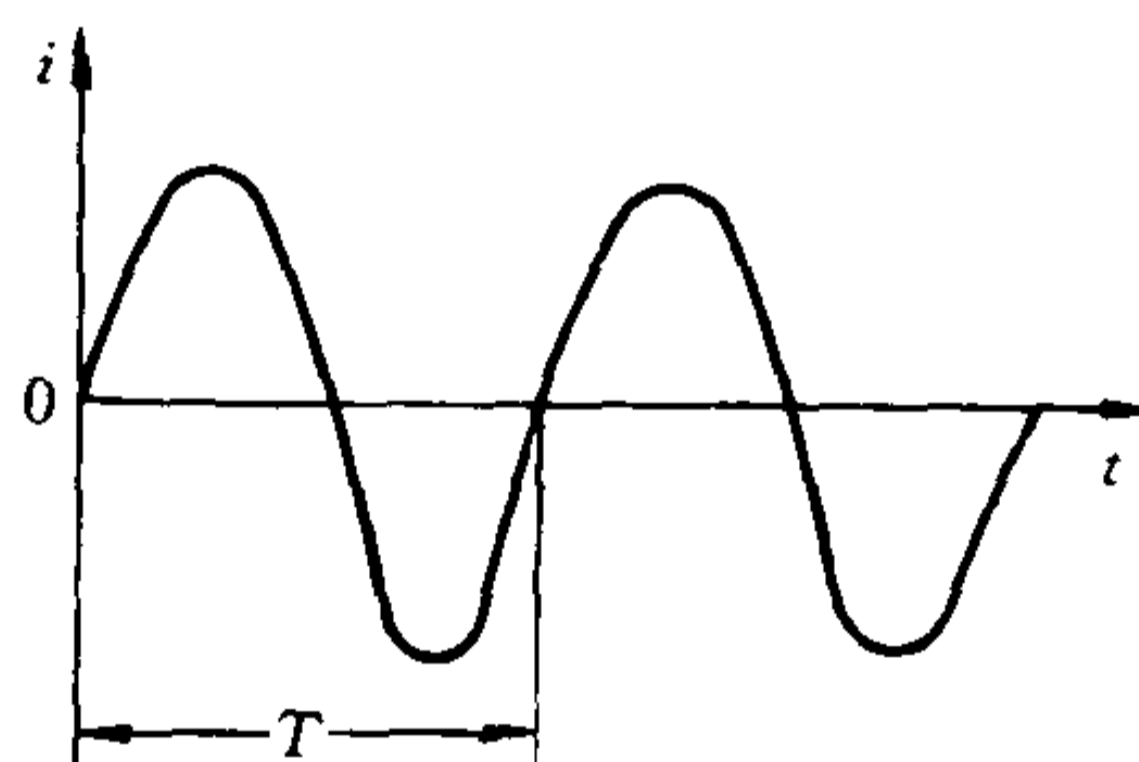


图 1-4-1 正弦交流电波形图

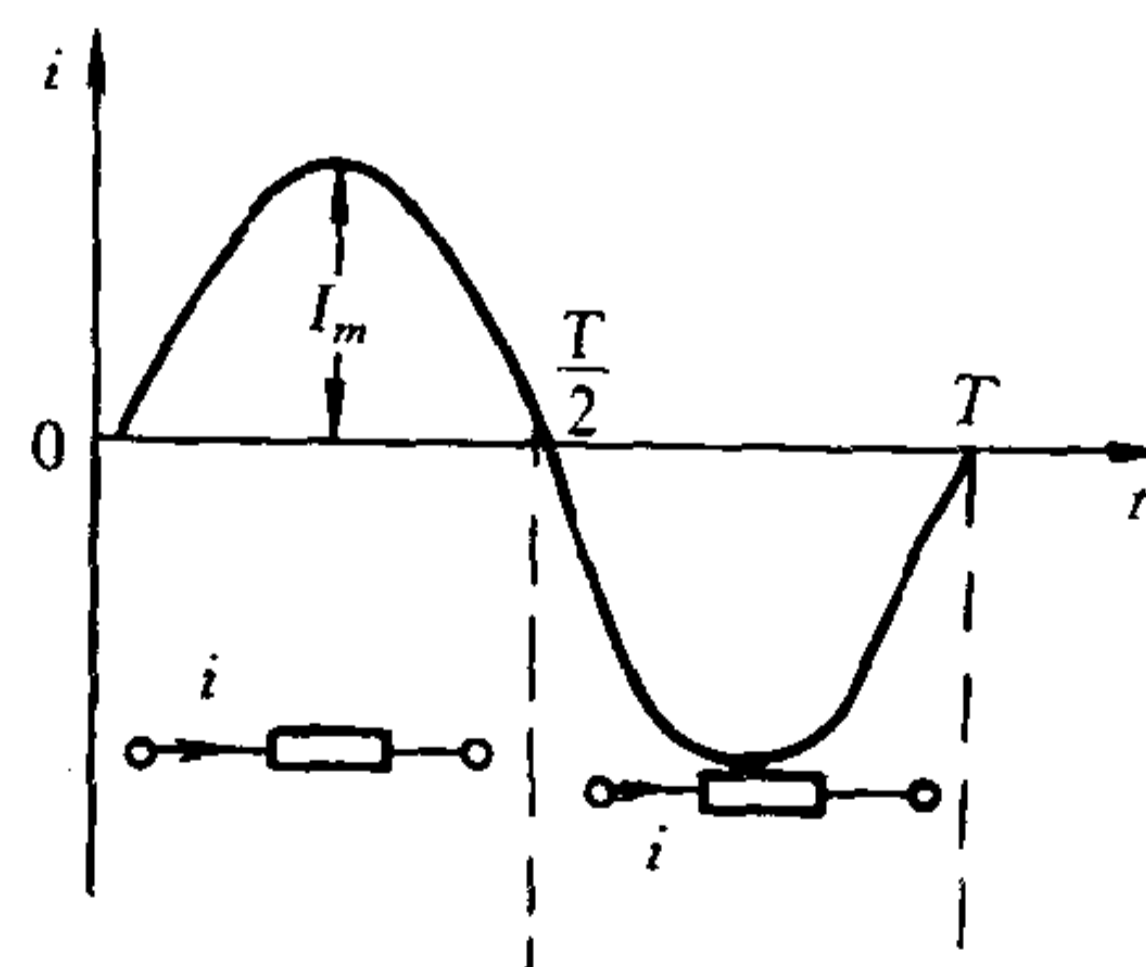


图 1-4-2 交流电的方向

“正方向”，当电流的实际方向与参考方向一致时，电流为正值，当电流的实际方向与参考方向相反时，电流就是负值。因此，正负值在电路中只表示方向相反。

二、正弦交流电的三要素

由正弦量的特征可知，按正弦规律变化的交流电有三个要素，即表示正弦量大小的振幅、变化快慢的频率和正弦量的初始值即初相位。如果这三个量已知，就可以将一个正弦量确定下来。

1. 最大值(振幅值)

正弦量变化过程中的正弦波形的峰值，即为正弦量的最大值(E_m 、 U_m 、 I_m)。如电压 $u = U_m \sin(\omega t + \phi)$ 中，最大值为 U_m 。

2. 角频率

角频率 ω 表示在单位时间内正弦量所经历的电角度，在一个周期 T 内，正弦量经历的电角度为 2π 弧度，所以

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

由上式可见，角频率与交流电的频率成正比，它的单位是弧度/秒。

3. 初相位

正弦量的计时起点 $t = 0$ 时的相位叫初相位。正弦量 $i_1 = I_{1m} \sin \omega t$ 的初相位是零， $i_2 = I_{2m} \sin(\omega t + \phi)$ 的初相位是 ϕ 。初相位不同，它们在某一时刻的值也就不同。前式中的 ωt 和 $\omega t + \phi$ 叫正弦量的相位角，简称相位。相位随时间连续变化，正弦量的瞬时值也随之变化。

初相位与时间起点($t = 0$)有关。在波形图上，为了避免混乱，规定正半波的起点与坐标原点之间的夹角为初相角。当 $\phi = 0$ 时，正半波起点刚好在原点上，如图 1-4-3 (a) 所示；当 $\phi > 0$ 时，正半波起点在原点的左边，如图 1-4-3 (b) 所示；当 $\phi < 0$ 时，正半波起点在原点的右边，如图 1-4-3 (c) 所示。

三、同频率正弦量的相位差

两个同频率正弦量的相位之差叫做相位差。例如，正弦电压 u_1 和 u_2 为：

$$u_1 = U_{1m} \sin(\omega t + \phi_1)$$

$$u_2 = U_{2m} \sin(\omega t + \phi_2)$$

其相位差为：

$$(\omega t + \phi_1) - (\omega t + \phi_2) = \phi_1 - \phi_2$$

可见，同频率正弦量的相位差为初相位之差。任何时刻相位差都是不变的。

当两个同频率的正弦量的相位差为零时，称为同相；当两个同频率正弦量的相位差为 $\pi/2$ 时，称为正交；当两个同频率正弦量的相位差为 π 时，称为反相。

如果两个同频率正弦量，其中电压 u 比电流 i 先达到最大值或先经过零值，则称 u 超前 i 或叫做 i 滞后 u 。

在交流电路的分析中，常需要比较几个同频率正弦量之间的相位关系。因此，各正弦量不能各自选择时间起点，应选择某一个正弦量的初相位为零做为参考正弦量，其他正弦量的初相位可由它们的相位差确定。在研究同一问题中，只能选定一个正弦量作为参考量，而不

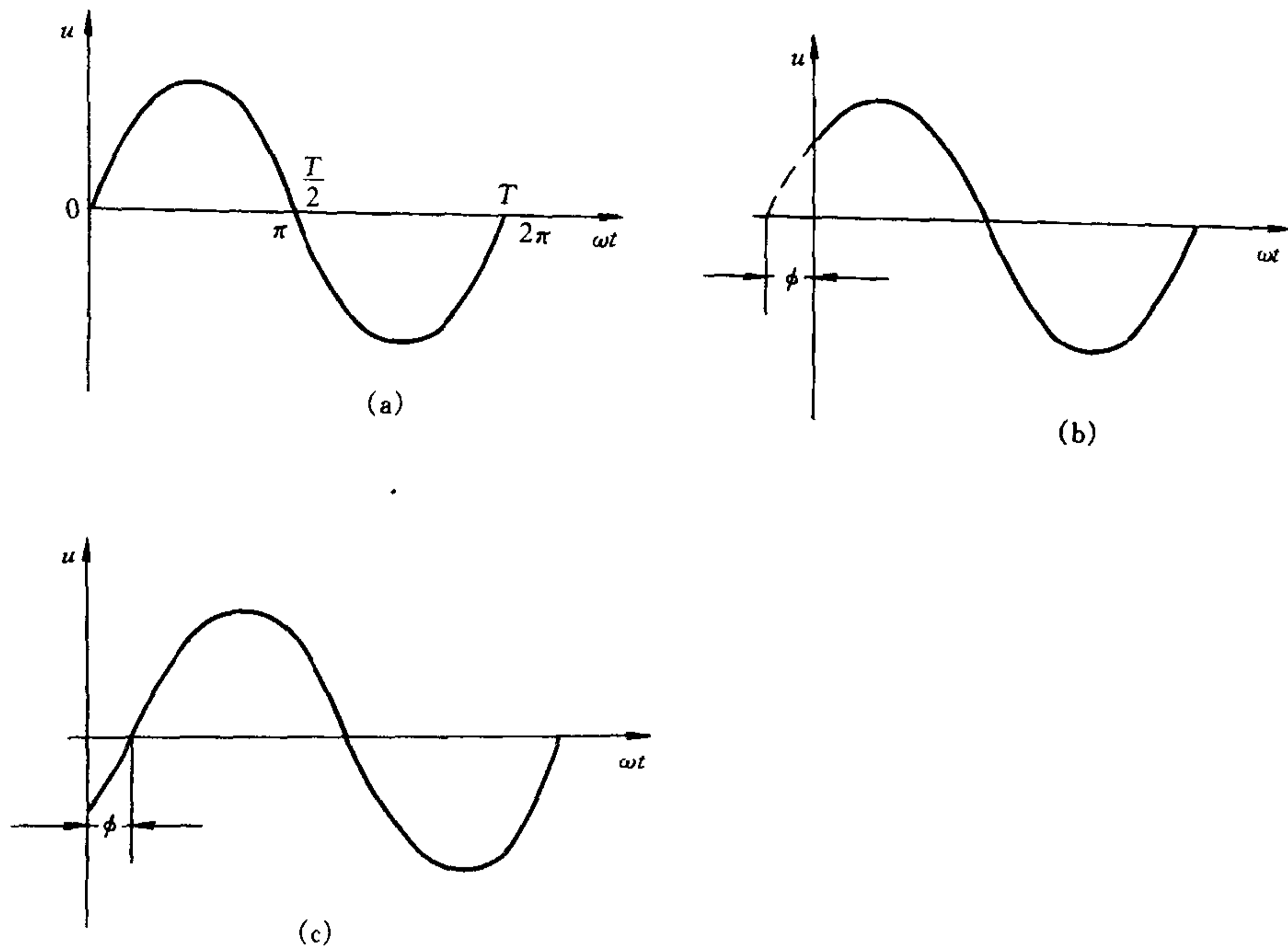


图 1-4-3 不同初相位的波形图

能任意变动。

四、交流电的有效值

瞬时值或最大值均不能反映出交流电的真实效果，因此在交流电的计算、测量及实际应用中，都采用有效值来表示交流电的大小。

如图 1-4-4 所示，把两个完全相同的电阻 R ，分别通入直流和交流电流，经过相同的时间，如果它们产生的热量相等，那么这时的交流电流 i 的发热效果和直流电流 I 是等效的。人们就把直流电的数值叫做交流电的有效值。换句话说，交流电的有效值，就是与它热效应相当的直流值。

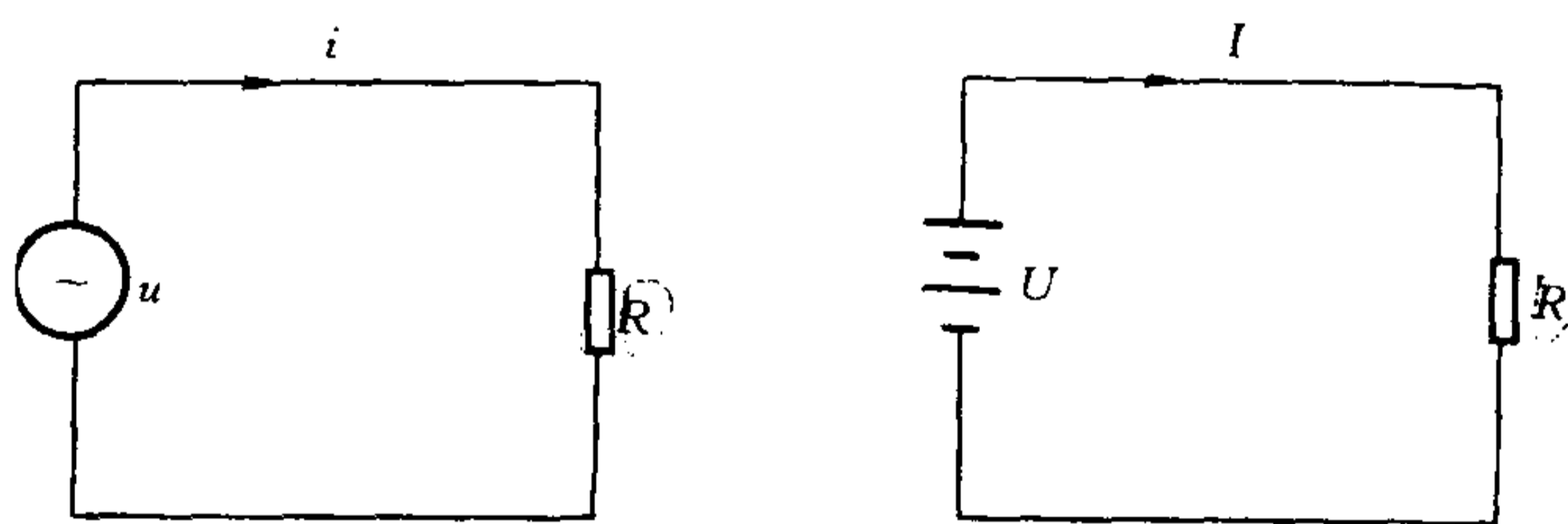


图 1-4-4 交流与直流作用同一电阻

正弦交流电的有效值常用大写字母来表示，如电压 U 、电流 I 、电势 E 等。它是最大值的 $1/\sqrt{2}$ 倍，即

$$I = I_m / \sqrt{2} = 0.707 I_m \quad U = U_m / \sqrt{2} = 0.707 U_m \quad E = E_m / \sqrt{2} = 0.707 E_m$$

有效值应用很普遍，通常所说交流电压、电流的数值，如不特别加以注明，都是指有效

值。例如我们接触到的 220V 或 380V 的交流电源，10A 或 20A 的熔断器等都是指有效值。

五、正弦量的向量表示法

正弦量有多种表示方法，前面已经接触到正弦函数式与波形图表示法，下面介绍正弦量的向量表示法。

1. 用向量表示正弦量

在分析、计算交流电路时，常要进行电压或电流的加减运算，如用正弦函数式直接运算，或在波形图上逐点进行加减，前者运算麻烦，后者运算不易准确，所以在工程技术中常采用向量表示正弦量。向量的加减运算还是比较方便的。

在平面直角坐标中，以原点为起点画一个电流向量 \vec{I}_m ，向量的长度等于电流 i 的最大值 I_m ，向量的初始位置与横轴的夹角等于 i 的初相位 ϕ 。若 \vec{I}_m 以 ω 为角频率绕原点逆时针旋转，则可看到向量每时刻在纵轴的投影为电流 i 的瞬时值。可对应画出波形图，如图 1-4-5 所示。由此可见，向量 \vec{I}_m 反映了正弦量的三要素，所以它可以用来表示一个正弦量。同理，电压和电势也可以用向量 \vec{U}_m 和 \vec{E}_m 表示。

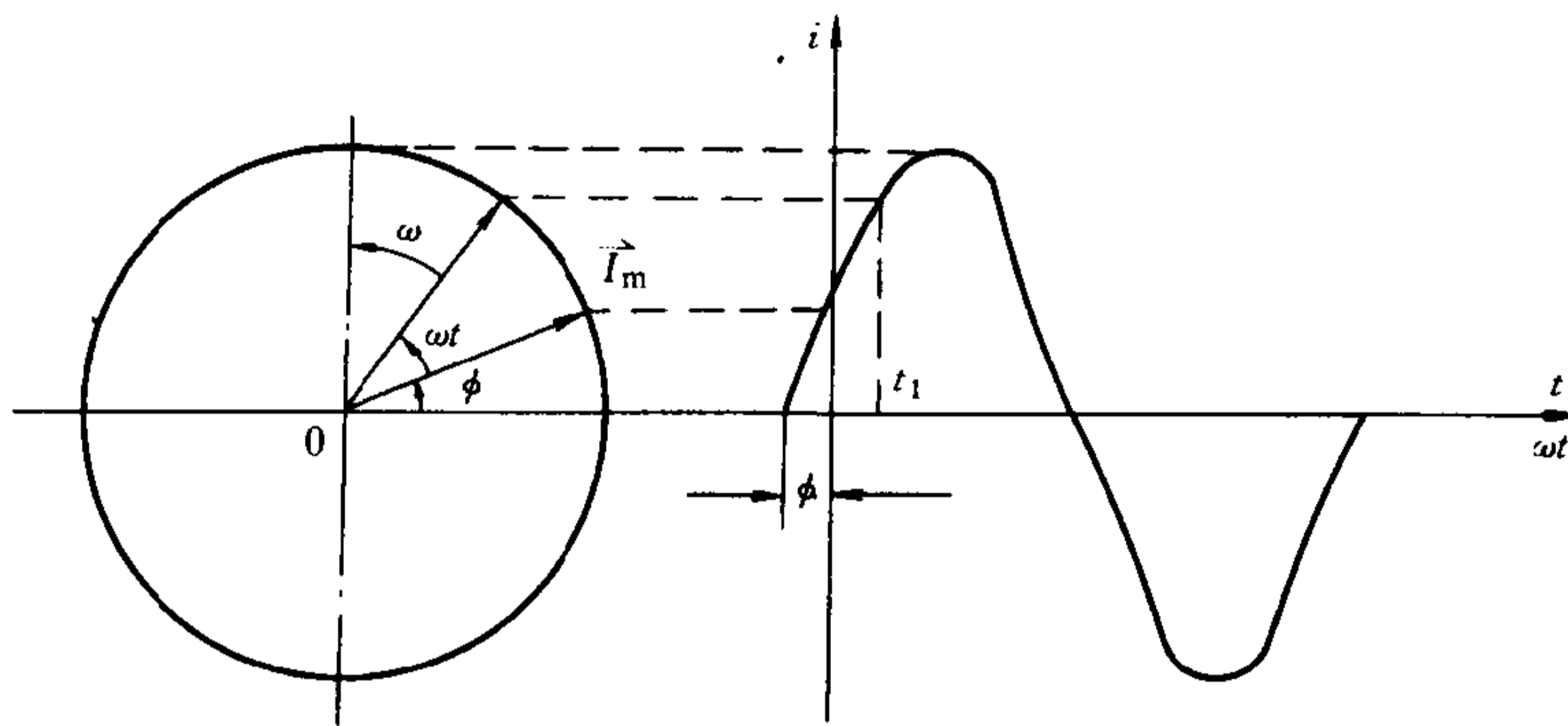


图 1-4-5 旋转向量表示正弦量

上面所介绍的是最大值向量。在实际中常用的是有效值，所以向量的长度也可用有效值表示，它只是最大值向量的 $1/\sqrt{2}$ 倍。电流、电压和电势的有效值向量用 \vec{I} ， \vec{U} 和 \vec{E} 表示。

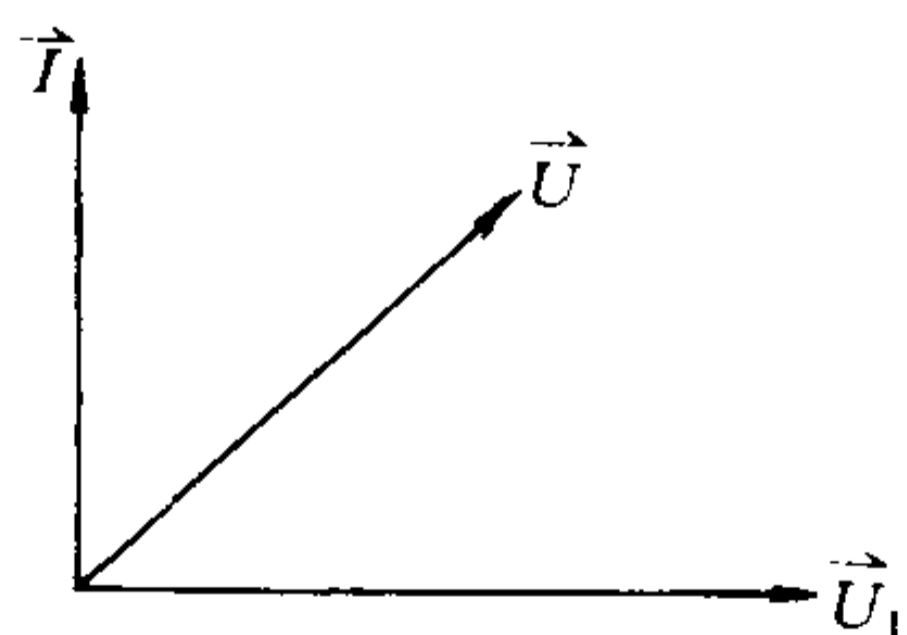


图 1-4-6 电压电流向量图

几个同频率正弦量用向量表示，可以画在同一个坐标上。由于几个正弦量的频率相同，它们之间的相互位置是不变的，即相位差不变，所以同频率正弦量的相位差就是初相位之差。因此在画向量时，只画出每个向量的初始位置即可。为了便于研究，我们常把几个向量画在一起构成向量图。在画向量图时，应选择其中一个向量作参考，如图 1-4-6 中是以 U_1 为参考向量，其他向量的位置可由它们与参考向量的相位差决定。

2. 向量的加减运算

向量图在分析、计算电路时有广泛的应用，可以用它来表示或分析几个同频率正弦量之间的相位和大小关系。而且可以很方便地进行加减运算。向量进行加减运算是平行四边形

作图法。

例如，用向量计算 $i_1 = I_{m1} \sin(\omega t + \phi_1)$ 和 $i_2 = I_{m2} \sin(\omega t + \phi_2)$ 两个同频率正弦交流电流的和时，如图 1-4-7 所示，先在同一坐标中画出 \vec{I}_{m1} 和 \vec{I}_{m2} 的向量图，然后以 \vec{I}_{m1} 和 \vec{I}_{m2} 为邻边作一平行四边形，则两边所夹的对角线，即表示总电流向量 \vec{I}_m ， \vec{I}_m 和 ϕ 可用比例尺和量角器测出，而角频率和两个分电流（即 i_1 和 i_2 ）的角频率相同。因此，总电流的函数式为

$$i = I_m \sin(\omega t + \phi)$$

向量相加，还可以用下列数学形式来表示：

$$\vec{I}_m = \vec{I}_{m1} + \vec{I}_{m2}$$

正弦量的向量相减可利用加负向量的方法，即：

$$\vec{I}_m = \vec{I}_{m1} - \vec{I}_{m2} = \vec{I}_{m1} + (-\vec{I}_{m2})$$

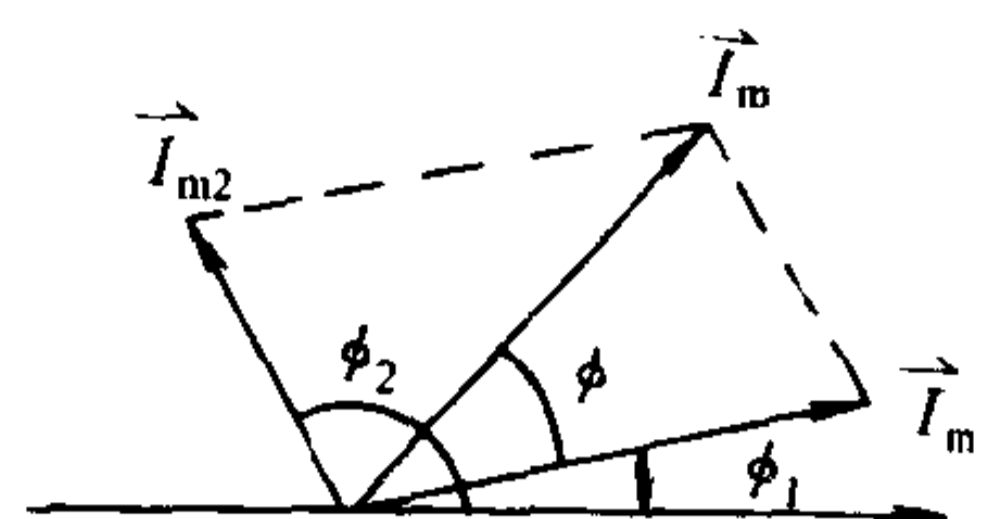


图 1-4-7 用平行四边形法则求总电流

1.4.2 纯电阻电路

在实际应用方面，白炽灯、电烙铁、电炉以及电阻器等元件的电阻要比它本身具有的电感和电容大得多，由这些元件组成的电路，可视为纯电阻电路，如图 1-4-8 所示。

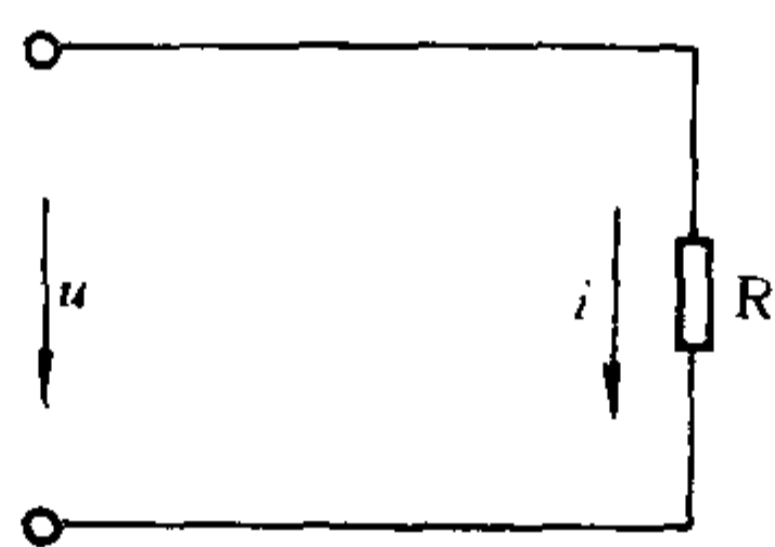


图 1-4-8 纯电阻电路图

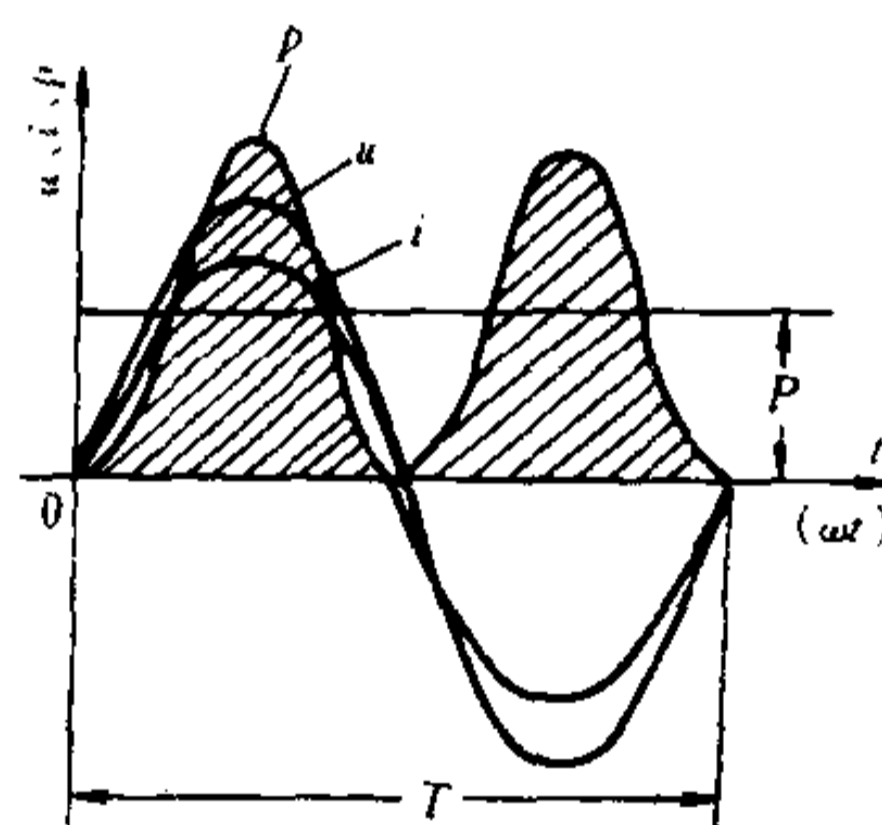


图 1-4-9 电压、电流、功率波形图

一、电流与电压的关系

设加在电阻两端的电压 $u = U_m \sin \omega t$ ，则任意瞬间通过电阻 R 的电流可根据欧姆定律算出，即

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$

由上式可见，电阻上的电压和电流是同频率的正弦量且相位相同。图 1-4-9 为电压与电流的波形图。

电流与电压的大小关系为：

$$U_m = I_m R \quad U = IR$$

二、电路的功率

(1) 瞬时功率：在任何瞬间，消耗于电阻 R 的功率（称为瞬时功率），等于这个时间的

电压 u 与电流 i 的乘积，即：

$$p = ui = U_m \sin \omega t \times I_m \sin \omega t = UI (1 - \cos 2\omega t)$$

由上式可见，瞬时功率也是一条按正弦规律变化的曲线。它的频率双倍于电压、电流的频率，如图 1-4-9 所示，其数值始终为正值，这表明负载在任何时间都向电源取用电能。

(2) 平均功率：由于瞬时功率是随时间变化的，计算起来很不方便，因此，实际中都采用平均功率表示单位时间内电阻消耗电能的大小。平均功率是指在一个周期内瞬时功率的平均值，其大小等于瞬时功率最大值的一半，即：

$$P = UI = I^2 R = U^2 / R = P_m / 2$$

平均功率就是电阻每秒钟所消耗电能的平均值。因此，平均功率又叫有功功率，它的单位是瓦(W)或千瓦(kW)。平常我们讲的功率，如灯泡的功率是 40W，指的就是平均功率。

1.4.3 纯电感电路

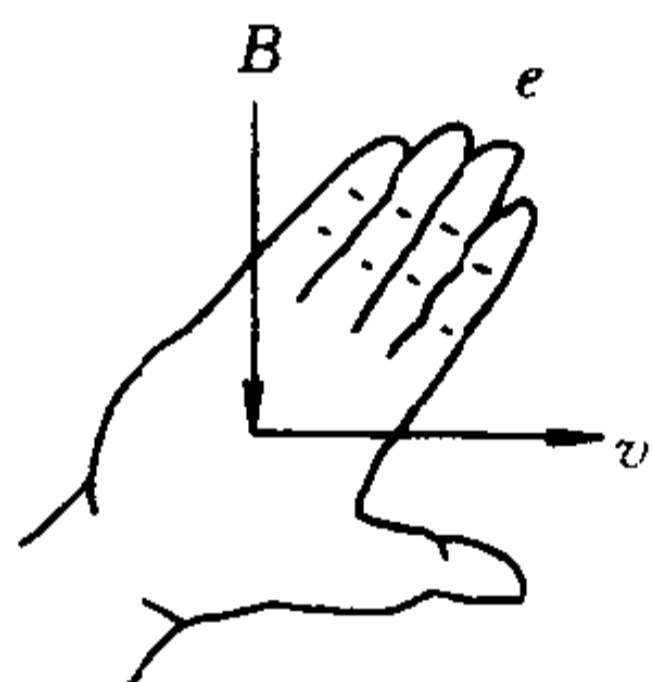
一、电磁感应

1. 电磁感应现象

1832 年，英国科学家法拉第发现了磁场产生电流的现象，并研究了将机械能转化为电能的方法，为现代的电工理论奠定了基础。

法拉第通过实验证明：当导线周围的磁场发生变化时，可以在导线中产生感应电势。他把这种产生电势的方法叫做电磁感应。

2. 感应电动势的方向



直导体在磁场中运动切割磁力线时，在导体中会产生感应电动势。直导体中产生的感应电动势的方向及导体的运动方向与磁场方向的关系可用发电机右手定则来判定：右手掌心迎向磁力线(B)，大拇指指向导体运动方向(v)，四指所指方向为感应电动势 e 的方向，如图 1-4-10 所示。

如果导体不动而磁场运动，同样可以在导体中产生感应电动势，其方向仍可用发电机右手定则判定。

图 1-4-10 发电机
右手定则

当穿过线圈的磁通发生变化时，线圈中就会产生感应电动势。线圈

中感应电动势的方向由楞次定律确定。楞次定律指出：线圈中感应电势的方向，总是企图使它所产生的感应电流反抗原有磁通的变化。换句话说，就是当线圈内磁通 Φ 增加时，感应电流产生的新磁通 Φ_L 阻止它增加，即 Φ_L 与 Φ 的方向相反。当磁通 Φ 减少时，感应电流产生的磁通 Φ_L 阻止它减少，即 Φ_L 与 Φ 的方向相同。

3. 感应电动势的大小

(1) 线圈内的感应电动势

线圈中感应电动势的大小与穿过线圈磁通的变化率和线圈匝数成正比，由下式表示：

$$e = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

式中， e 是感应电动势(伏)； N 是线圈匝数， $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 是每匝线圈中磁通的变化率(韦/秒)。式中