

电子工艺入门

张 宪 张大鹏 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

电子工艺入门/张宪, 张大鹏主编. —北京: 化学工业出版社, 2008.7

ISBN 978-7-122-03131-0

I. 电… II. ①张…②张… III. 电子技术-基本知识
IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 087930 号

责任编辑: 刘 哲

装帧设计: 韩 飞

责任校对: 顾淑云

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

850mm×1168mm 1/32 印张 9 字数 245 千字

2008 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 23.00 元

版权所有 违者必究

第一章 电工技术基础

第一节 电路的基本概念

一、电路的基本物理量

1. 电流

电荷在电场作用下有规则的定向运动，称为电流。

金属导体内的电流是由于导体内部的自由电子在电场力的作用下有规则地运动而形成的。电流在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量。如果电流用 I 表示，电荷量用 q 表示，时间用 t 表示，则：

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

式中， q 为时间 t 内通过导体横截面 S 的电荷量，单位是 C（库仑，简称库）；时间 t 的单位是 s（秒）；电流的 I 单位是 A（安培，简称安）。

在电气系统中，遇到的电流为几安、几十安甚至更大，而在电子控制系统中经常遇到较小的电流，是以 mA（毫安）或 μA （微安）为单位计算的。它们之间的关系是：

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

2. 电流的测量

为了具体了解电路中电流的大小，通常用电流表或万用表的电流挡来测量电路中电流的大小。具体测量方法及注意事项如下。

① 在测量前，应首先明确所测电路中的电流是交流电流还是

直流电流。如果所测电路中的电流是交流电流，应使用交流电流表；如果是直流电流就应使用直流电流表。有的万用表只有直流电流挡，所以只能测量直流电流。

② 粗略估计电路中电流的大小，以便选择电流表的测量范围。在使用万用表的电流挡测量时，如果一时无法估计电流大小，挡位要宁大勿小，然后逐步缩小测量范围。

③ 断开被测电流支路，把电流表串联在电路中。测量直流电流时，直流电流表的正极必须和电路的正极相接，负极必须和电路的负极相接，不可接反，如图 1-1 所示。交流电流表则不正、负。

④ 因为电流表的特点是内阻非常小，所以在用电流表时，绝对不允许把电流表并联在负载或电源上，如图 1-2 所示，否则电路中的电压因电流表内阻小，形成短路，极易将表损坏。电流表的量程范围一定要超过电路的实际电流的数值。如发现表针猛打到头，要立即断开电源检查原因，以防损坏表头。

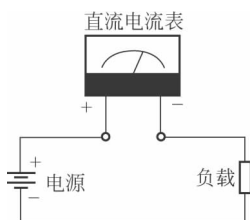


图 1-1 电流表的正确接法

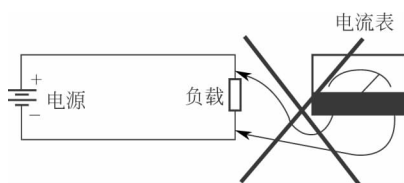


图 1-2 电流表的错误接法

3. 电压和电动势

(1) 电压 在导体内，电荷的定向运动形成电流，它是在电场力的作用下实现的。为了衡量电场力对电荷做功的能力，引入电压这一物理量。如图 1-3 所示电路中，A、B 两点间的电压 U_{AB} 在数值上等于电场力把单位正电荷从 A 点移到 B 点所做的功。在电场内两点间的电压也常称为两点间的电位差，即电压：

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

式中 U_A ——A 点的电位；

U_B ——B 点的电位。

在国际单位制 (SI) 中, 电压的单位为 V (伏特, 简称为伏)。在电子控制系统中也可用 mV (毫伏) 和 μV (微伏) 表示, 它们之间的关系是:

$$1\text{V} = 10^3\text{mV} = 10^6\mu\text{V}$$

(2) 电动势 为了维持 A、B 两点间的电压保持恒定, 则必须使 B 端增加的正电荷经过另一路径流向 A 端, 否则 A、B 间电压将降低。但由于电场力的作用, 电极 B 端上的正电荷不能逆电场而上到达 A 端, 因此必须有一种力能克服电场力而使 B 端的正电荷移向 A 端。电源就能产生这种力, 称为电源力。电源力将单位正电荷从电源负极端 B 经过电源内部移至正极端 A, 克服电场力所做的功称为电源的电动势, 用字母 E 表示。

按照电动势的定义, 其单位也是 V。必须注意, 电动势的实际方向由负极指向正极, 如图 1-3 所示。因此, 电动势的实际方向与电压的实际方向相反。

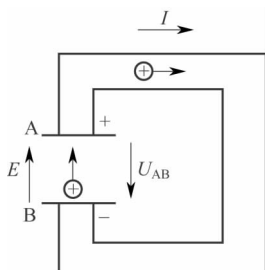


图 1-3 电荷的运动回路

4. 电压的测量

在电气系统故障时, 经常需要测量电路中的电压。下面以常用的万用表为例, 说明测量电压的具体方法以及注意事项。

① 在测量前, 应首先明确所测的电压是直流电压还是交流电压, 正确选择挡位。如果测量直流电压, 要将万用表的选择开关对

准直流电压挡。如果测量交流电压，要将万用表的选择开关对准交流电压挡。

② 测量前，若不知该电路中电压的大小，量程选择要宁大勿小，应从万用表电压挡的最大量程开始测量，防止因电压太高打坏表头。

③ 万用表电压挡的特点是内阻很大，所以测量电路某两点间的电压时，应将万用表与被测量电路的两点并联。测量直流电压时，万用表的正极红表笔应与电路中电压的正极相接，负极黑表笔应与电路的负极相接，不能接反，如图 1-4 所示。测量交流电压时则不分正、负极。

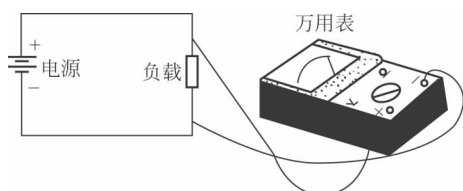


图 1-4 万用表的接法

④ 在使用万用表测量电压时，一定要注意选择开关的位置，严禁把选择开关放在电流挡或欧姆挡的位置，否则极易将表损坏。

5. 电阻

电路中对电流通过有阻碍作用并造成能量消耗的部分叫电阻。电阻用 R 或 r 表示，单位是 Ω （欧姆，简称欧）。当电阻很大时，其单位也常用 $k\Omega$ （千欧）或 $M\Omega$ （兆欧），它们之间的关系是：

$$1M\Omega = 10^3 k\Omega = 10^6 \Omega$$

在电子线路中，导线电阻的大小主要决定于导线的材料、长度、截面积和环境的温度。同样材料的导线，其电阻的大小与导线的截面积及长度有关。导线的截面积越大，也就是导线越粗，电阻就越小。导线越长，电阻就越大，用公式表示为：

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

式中 R ——导线的电阻, Ω ;
 ρ ——导线的电阻率, $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$;
 l ——导线的长度, m ;
 S ——导线的截面积, mm^2 。

利用上式, 就可以计算出任何长度和截面的导线的电阻。

6. 电阻的测量

测量电阻要使用欧姆表。在实际检修电气系统故障时常用万用表的欧姆挡来测量电阻的数值。下面以万用表为例, 说明测量电阻的方法及注意事项。

(1) 应首先选择好适当的倍率挡 在万用表的欧姆挡上, 一般都标有 $R \times 1$ 、 $R \times 10$ 、 $R \times 100$ 、 $R \times 1\text{k}$ 和 $R \times 10\text{k}$ 挡。在测量时, 应选择好适当的倍率挡, 使表头中指针指示在中间部位。例如要测量一只阻值在 100Ω 左右的电阻, 固然可用 $R \times 1$ 挡来测量, 但是使用这挡, 指针就靠近表盘左侧高阻值的一端, 读数刻度较密, 读数时只要差一点, 阻值就会差很多。因此, 应当改用 $R \times 10$ 挡, 使指针转向表盘中间部分, 便于读数准确。

(2) 调零 在测量电阻之前, 应当将两表笔“短接”, 并同时旋动“欧姆调零旋钮”, 使指针指在“ Ω ”标度尺右侧端零位上, 这就叫做调零, 它是保证测量准确必不可少的步骤。在每换一次欧姆挡测量电阻前, 都要重复这一步骤。如果旋动“欧姆调零旋钮”也无法使指针达到零位, 则说明万用表盒内装的干电池电压太低, 应更换新电池。

(3) 测量 在测量时, 将两表笔并接在电阻的两端, 如图 1-5(a) 所示, 即可测出电阻的数值。但应注意, 不要用手捏住电阻的两端, 如图 1-5(b) 所示, 以免人体的电阻也并接在电阻上, 影响测量结果的准确性。

(4) 不能带电测量 测量电阻的欧姆挡是由表盒内装干电池供电的, 因此在测量电阻时, 不能使电阻已带电进行测量, 如图 1-6 所示。这是因为带电进行测量时, 又相当于接入一个外加电压, 不但使测量结果无效, 而且很容易烧坏表头, 这一点必须特别

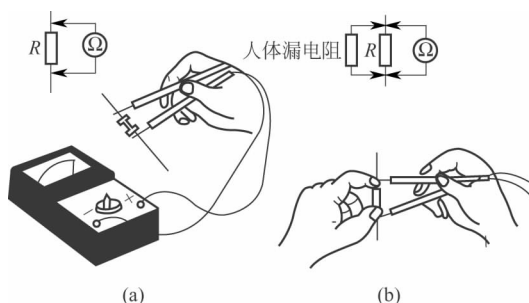


图 1-5 电阻的测量

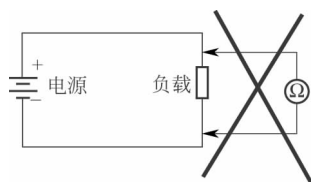


图 1-6 测量电阻的错误方法

注意。在测量某一部件上的电阻时，首先必须切断被测电路的电源，以确保电阻中没有电流通过，方可进行测量。同时，电路中的电阻需断开一端测量才能使测量准确。

二、电路的组成和作用

1. 电路的组成

将某些电气设备或器件按一定方式连接起来，构成电流的通路，称为电路。最简单的电路为如图 1-7 所示的手电筒电路，它由

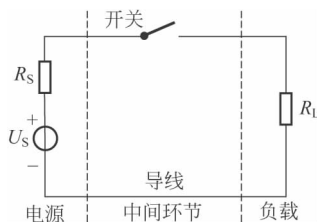


图 1-7 手电筒电路模型

电源、中间环节、负载三部分组成。

(1) 电源 电源是一种将非电能转换成电能的装置。常用的电源有干电池、蓄电池和发电机等，它们分别将化学能和机械能转换成电能。

(2) 中间环节 中间环节起传输、分配和控制电能的作用。最简单的中间环节就是开关和导线。一般连接导线的电阻很小，所以电路分析中常把连接导线的电阻视为零。中间环节一般还有保护和测量设备，也可能是由各种元器件或设备组成的网络系统。

(3) 负载 负载是取用电能的设备，其作用是将电能转换成其他形式的能量（如机械能、光能、热能）。常见的负载有电灯、电动机、电炉、扬声器等。

综上所述，电源、中间环节和负载是组成一个完整电路的三个最基本的部分。

2. 电路的作用

电路的组成形式和功能虽然是多种多样的。但总的来说，它的作用主要有两点：

- ① 实现电能的传输和转换；
- ② 传递和处理电信号。

三、电路的基本定律

1. 欧姆定律

欧姆定律是确定电路中电压与电流关系的定律。通常流过电阻 R 的电流与电阻两端的电压成正比，与电阻 R 成反比，这就是欧姆定律。它是分析计算电路的基本定律之一，可用下式表示：

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

或

$$U = IR$$

当电路两端电压为 1V ，流过的电流为 1A 时，则这条支路的电阻为 1Ω 。

在电压、电流参考方向一致时，电阻吸收或消耗的功率为：

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

在应用欧姆定律计算时应注意以下几点。

① 欧姆定律是由金属导体得出的，所以它对金属导体是正确的。在真空管和半导体器件中的电流都不遵从欧姆定律。

② 各物理量的单位必须一致。即电流单位是 A，电阻单位是 Ω ，电压单位是 V。

③ 电压、电流和电阻必须都属于同一个电路，特别是计算部分电路的时候，更应注意这一点。

2. 基尔霍夫定律

分析与计算电路的基本定律，除欧姆定律外，还有基尔霍夫定律。基尔霍夫定律包括电流定律和电压定律。基尔霍夫电流定律应用于节点，电压定律应用于回路。

(1) 基尔霍夫电流定律 (KCL) 基尔霍夫电流定律是用来确定一个节点上各支路电流之间关系的。由于电流的连续性，在电路任何点（包括节点在内）的截面上，均不能堆积电荷。因此，基尔霍夫电流定律的具体内容如下。

在任一瞬间，流入某结点的电流 I_{λ} 之和等于从该结点流出的电流 $I_{\text{出}}$ 之和，即：

$$\sum I_{\lambda} = \sum I_{\text{出}}$$

对于图 1-8 所示常用电路来说，由节点 a 可以得到：

$$I_G + I_B = I_L$$

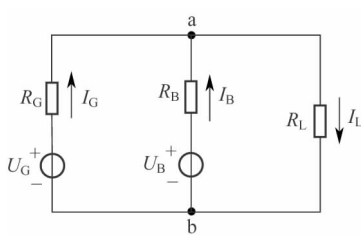


图 1-8 常用电路

基尔霍夫电流定律不仅适用于电路中的任一节点，而且还适用于电路中的任一封闭面。该封闭面称为广义节点，如图 1-9 所示电路。封闭面包围的是一个三角形电路，它有 A、B、C 三个节点。应用电流定律可列出：

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

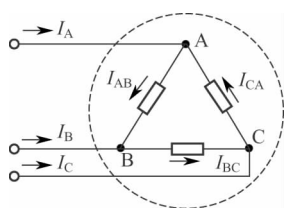


图 1-9 KCL 的推广应用

上列三式相加，便得：

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

或

$$\sum I = 0$$

上式说明，在任一瞬间，流入或流出节点的电流代数和恒为零。如果规定流入节点的电流为正，则流出节点的电流就为负。

(2) 基尔霍夫电压定律 (KVL) 基尔霍夫电压定律是用来确定回路中各部分电压之间的关系。其内容如下。

在任一瞬间，对于电路中任一回路，沿任一指定（顺时针或逆时针）方向绕行一周，各部分电压的代数和恒等于零，即：

$$\sum U = 0$$

所谓代数和，必须要考虑到正负号，正负号的确定方法如下。

首先任意规定绕行方向（顺时针或逆时针方向），各部分电压参考方向与绕行方向一致者取正号，相反者取负号。

基尔霍夫电压定律常与欧姆定律配合使用。其电流的参考方向如图 1-10 所示。

当沿回路 abdca 所示的顺时针方向绕行时，由于 $U_{R1} = R_1 I_1$ 与

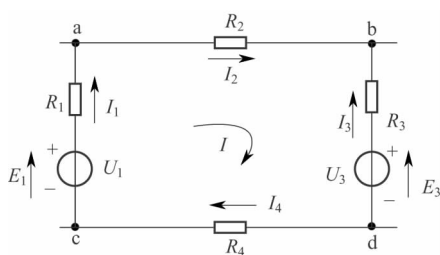


图 1-10 电路中的一个闭合回路

绕行方向一致，取正号，同理 U_{R2} 和 U_{R4} 与绕行方向也一致，故也取正号，而 $U_{R3} = R_3 I_3$ 的参考方向与回路绕行方向相反，应取负号。对于电动势，其参考方向与回路绕行方向一致取负号，如 E_1 ；不一致则取正号，如 E_3 。所以，根据 KVL 可得：

$$R_1 I_1 + R_2 I_2 - R_3 I_3 + R_4 I_4 + E_3 - E_1 = 0$$

或
$$R_1 I_1 + R_2 I_2 - R_3 I_3 + R_4 I_4 = E_1 - E_3$$

上式写成普遍形式为：

$$\sum RI = \sum E$$

此式是基尔霍夫电压定律的另一表示形式，即在电路中，在任一瞬间，沿任一闭合路径电压降的代数和等于电动势的代数和。

四、电气设备的额定值

各种电气设备的电压、电流及功率等都有一个额定值。例如一盏电灯的电压是 220V，功率是 100W，这就是它的额定值。额定值是制造厂为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常允许值。电气设备工作在额定情况下叫做额定工作状态。

各种电气设备按照额定值使用，电气设备运行才能安全可靠，经济合理，同时也不至于缩短使用寿命。例如一只变压器的寿命与它的绝缘材料的耐热性能和绝缘强度有关。如果通过变压器的电流大于其额定电流时，将会由于发热过甚而损坏绝缘材料。同理，若所加电压超过额定电压，绝缘材料有可能被击穿，影响使用寿命。

为了便于用户使用，生产厂家在电气设备和元器件的铭牌或外

壳上均明确标出了其额定数据——额定电压、额定电流和额定功率，分别用 U_N 、 I_N 和 P_N 表示。在额定电压下工作，负载电流小于额定值时称为负载；负载电流等于额定值时称为满载；负载电流大于额定值时称为过载。一般情况下，应按照规定值来使用各种电气设备。

五、电路中的电位

在电子控制系统中，为了方便而又准确地判断晶体管的工作状态，普遍使用电位的概念来讨论问题，而较少使用电压。

为了求得电路中各点的电位值，必须在电路中选择—个参考点，而且规定参考点的电位为零，这个参考点常称为零电位点。原则上零电位点是可以任意指定的，在实际工程中，常常指定大地为零电位参考点，这是因为有些设备的机壳是与地面相连接的。但是，在许多电子仪器仪表中，它们的外壳一般是不与大地连接的。为了分析方便，把电路中很多元件汇集在一起的一个公共点假设为参考点。用符号“ \perp ”表示。而接地点则用符号“ ⏏ ”表示。

电路中的参考点选定之后，电路中某点的电位就等于该点与参考点之间的电压，这样电路中各点电位就有了一个确定数值，高于参考点的电位为正，低于参考点的电位为负。电路中各点的电位一旦确定以后，就可以求得任意两点之间的电压。

在电子技术中，引入电位概念以后，习惯上将图 1-11(a) 所示的电路图画为图 1-11(b) 所示的电路，不画电源，各端标以电位值。

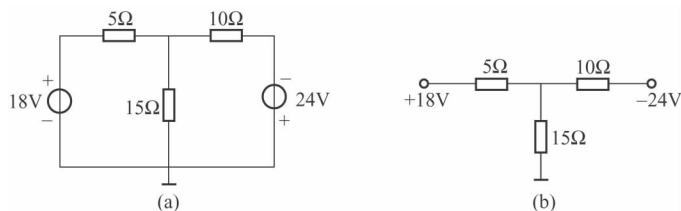


图 1-11 具有参考点的电路

在求取电路中各点的电位时，可根据如下几点结论分析。

- ① 电路中某一点的电位等于该点与参考点之间的电压。
- ② 对于同一参考点，电路中任一点的电位为一定值，而与所选路径无关。
- ③ 电路中各点的电位随着参考点的改变而改变，但电路中任意两点间的电压是不会变化的。
- ④ 在计算电路中各点电位时，参考点的选择是任意的，但在一个电路中只能选择一个参考点。

第二节 电阻的串联与并联

一、电阻的串联

如果在一段电路上几个电阻依次首尾相连，各个电阻中通过同一电流，这种连接方法称为电阻的串联。图 1-12 为三个电阻串联的电路。

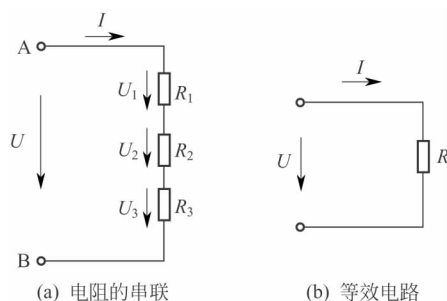


图 1-12 电阻的串联电路

串联电路的特点如下。

- ① 由电流的连续性原理可知，串联电路中的电流处处相同，即流过 R_1 、 R_2 、 R_3 的电流为同一电流。
- ② 根据能量守恒定律，电路取用的总功率应等于各段电阻取用的功率之和，即：

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

或

$$UI = U_1 I + U_2 I + U_3 I$$

由此可得

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

上式说明，在串联电路中，总电压等于各段电压之和。

③ 几个电阻相串联，可用一个等效的总电阻来代替。在串联电路中总电阻 R 等于各电阻之和，即：

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

因为流过各串联电阻的电流 I ($I = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3}$) 相同，所以各段电阻上的电压的关系分别为：

$$U_1 = \frac{R_1}{R} U \quad U_2 = \frac{R_2}{R} U \quad U_3 = \frac{R_3}{R} U$$

上式就是串联电路的分压公式。在直流电路中，通过电阻的串联可以实现分压的目的，电阻越大，分配到的电压越高。

二、电阻的并联

如果电路中有两个或更多个电阻接在两个公共的节点之间，这样的连接方式称为电阻的并联。图 1-13 所示是三个电阻并联的电路。

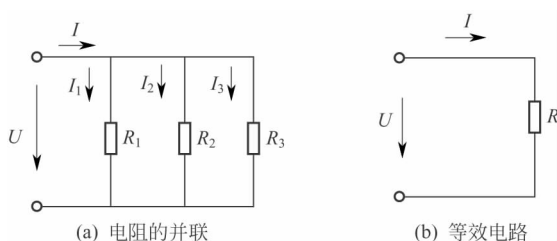


图 1-13 电阻的并联电路

并联电路的特点如下。

① 加在各并联支路两端的电压相等。

② 电路内的总电流等于各分支电路的电流之和，即：

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

③ 在并联电路中，如果把总电流写成 $I = \frac{U}{R}$ ，则得：

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

因此

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

在实际应用中，最常见的是两个电阻的并联，它们的等效电阻为：

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

通过两个并联电阻的电流分别为：

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{IR}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{IR}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

上式为两个并联电阻的分流公式。它表明在并联电路中，各个电阻中的电流与电阻大小成反比。

电阻并联的应用十分广泛。一般负载都是并联连接的，在同一电压下，任何一个负载的工作情况基本上不受其他负载的影响。有时为了某些需要，可将电路中的某一段与电阻或电位器并联，以起分流或调节电流的作用。

第三节 交流电路

一、交流电的基本概念

大小及方向都随时间作有规律变化的电压或电流，叫做交流电。

一个随时间按正弦规律作周期性变化的电动势、电压和电流，分别叫做正弦电动势、正弦电压和正弦电流，统称为正弦交流电。正弦交流电动势、电压和电流在任一瞬间的数值称为瞬时值，其表达式为：

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi_e)$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$$

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

由上式可知，一个正弦电流，当知道了 I_m 、 ω 和 φ_i 时，这个正弦电流就被确定下来了。正弦量的三要素如下。

1. 幅值和有效值

正弦量瞬时值中最大的值称为幅值或最大值，它确定了正弦量变化的范围，用带下标的大写字母表示。如 I_m 、 U_m 、 E_m 分别表示电流、电压及电动势的幅值。

正弦交流电的瞬时值是随时间改变的，所以不使用它来计量交流电的大小，而是用有效值来表示。交流电的有效值是根据其热效应来确定的。

正弦交流电有效值与最大值之间的关系为：

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

一般，正弦电压或电流的大小都是指它的有效值。交流电压表和电流表的读数一般也都是有效值，交流电气设备铭牌上的额定电压、额定电流也都是用有效值来表示的。

2. 角频率

由于正弦量在一个周期 T 内相位角变化为 2π 弧度，且 $f = \frac{1}{T}$ ，所以：

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

ω 的单位是 rad/s（弧度/秒）。

对于 $f = 50\text{Hz}$ 的工频交流电，其角频率为：