

建筑施工现场用电

主编◎姜 林



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

建筑施工现场用电

主 编 姜 林

副主编 高国峰 刘志强 张 恒



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

建筑施工现场用电/姜林主编. —北京:北京理工大学出版社, 2017.9

ISBN 978-7-5682-4230-1

I. ①建… II. ①姜… III. ①建筑工程—施工现场—电工技术 IV. ①TU85

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第151759号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京金特印刷有限责任公司

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/14

字 数/328千字

版 次/2017年9月第1版 2017年9月第1次印刷

定 价/58.00元

责任编辑/张荣君

文案编辑/张荣君

责任校对/周瑞红

责任印制/边心超

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前言

FOREWORD

随着科学技术的进步,现代建筑已进入信息化、智能化的又一新阶段,各种先进的机电设备,电子电气设备等得到了广泛的应用,各种新技术、新设备的使用已成为现代建筑施工的标志之一。近年来,国家陆续颁布了一系列的标准、规范,对从事建筑电气技术工作的人员提出了更高的要求。

本书注重以基础能力为主线,以就业为导向,以能力为本位,以服务经济结构调整和科技进步为原则,面向市场、面向社会。不强调知识的系统性和广泛性,而以“实用为主、够用和管用为度”的原则,注重读者实践能力的培养。满足了建筑行业领域专业实用人才培养的需要,符合国家对技能型紧缺人才的培养要求。

编者在本书的编写过程中,认真总结了多年来专业教学经验,在内容的组织上淡化理论,突出应用,从现在的认知规律出发,在内容安排上由浅入深、循序渐进,使教材具有极强的针对性和实用性。本书共包括6个项目,涵盖电路的基本知识,建筑常用低压电器,施工现场常用的工具和材料,施工现场供电电气施工图的识读,施工现场照明与室内照明以及线路的敷设,建筑防雷与接地施工技术以及施工现场用电安全管理制度等内容。本书采用“项目—任务”驱动的教学模式,以通俗的语言,结合施工现场的需求,讲述现场电工所需的基本知识。

由于编者水平有限,书中尚存不足之处,敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

CONTENTS

项目一 建筑施工现场用电基础知识	1
任务一 电路的基本知识	1
任务二 交流电路	7
任务三 建筑用低压电器	17
项目二 建筑施工现场常用工具、仪器和材料	28
任务一 施工现场常用工具	28
任务二 施工现场常用仪器仪表	39
任务三 建筑施工现场常用电气材料	53
项目三 建筑施工现场供电	59
任务一 建筑施工现场供电概述	59
任务二 建筑室内供电	73
任务三 高层建筑供电	85
任务四 建筑电气施工图的内容	90
任务五 建筑电气施工图的识图	96
任务六 建筑电气施工图实例识读	98
项目四 施工现场电气照明与配电线路	110
任务一 照明电光源与灯具	110
任务二 建筑电气照明设计	118
任务三 常用建筑照明灯具安装	124
任务四 室内照明线路布置与敷设	136

项目五 建筑防雷与接地施工技术.....	151
任务一 保护接地与接零.....	151
任务二 漏电保护与等电位连接.....	156
任务三 建筑施工现场安全用电.....	164
任务四 建筑物防雷.....	173
任务五 建筑施工工地防雷.....	180
项目六 建筑施工现场用电安全管理制度.....	186
任务一 现场临时用电安全管理制度与措施.....	186
任务二 施工现场电工的基本要求与职责.....	192
任务三 施工现场用电安全技术档案.....	199
参考文献.....	217

项目一

建筑施工现场用电基础知识

任务一 电路的基本知识

学习目标

1. 认识简单的电路及其基本物理量
2. 了解电路的三种工作状态
3. 了解电路的基本定律，并能用于解决施工中的实际问题
4. 了解电路的基本连接及应用

如图 1-1 所示为我们日常生活中常用的手电筒及其电路图，试从该电路图入手，学习电路的基本知识，并且能够分析电路的组成以及它的工作状态。

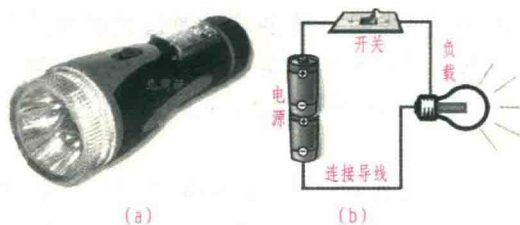


图 1-1 手电筒及其电路图

(a)手电筒；(b)电路图

知识链接一 电路及电路图

1. 电路的组成

电路是由实际元器件构成的电流通路，是为了某种需要由电工设备或电路元件按一定方式组合而成。任何一个完整的电路，不论其结构和作用如何，通常是由电源、负载、导线和开关等组成，日常生活中的手电筒是一个最简单的直流电路，如图 1-1 所示，由于电池、开关、灯泡和导线组成的。

(1)电源是把其他形式的能量转换成电能的装置,向电路提供电能,例如,发电机、蓄电池等。

根据电路中使用电源的不同,电路可分为直流电路和交流电路。电路中具有的电源电压值是恒定不变的,该电路称为直流电路;电源的电压值随时间交替变化的电路称为交流电路。

(2)负载是把电能转化成其他形式能量的装置,在电路中是接受电能的设备,例如,建筑工地的照明灯、电动机、电炉、电烙铁等。

(3)中间环节包括导线和控制器件,它是电源和负载之间不可缺少的连接、控制和保护部件,如连接导线、开关设备、测量设备以及各种继电保护设备等。它的作用是输送和控制电能。建筑工地上常用的导线是铜线和铝线。

2. 电路的作用

电路通常有两个作用:一是用来传递或转换电能,例如,发电厂的发电机将热能、水能等转换成电能,通过变压器、输电线等输送到建筑工地,在那里电能又被转换为机械能(如搅拌机)、光能(建筑工地夜间施工照明)等;二是用来实现信息的传递和处理,例如,电视机,它的接收器把载有语言、音乐、图像信息的电磁波接收后转换为相应的电信号,而后通过电路将信号进行传递和处理,送到显示器和扬声器(负载),将原始信号显示出来。

3. 电路的状态

(1)开路(断路)状态。开路状态是指电路中开关打开或电路中某处断开时的状态,开路状态时电路中无电流通过。断路可以是外电路的断路,如利用开关故意造成的断路,或是事故性的断路;也可以是内电路的断路,即电源内部的断路,这是事故性断路。

(2)短路状态。电源两端的导线因某种事故未经过负载而直接连通时称为短路状态。短路状态时负载中无电流通过,流过导线的电流比正常工作时大几十倍甚至数百倍,短时间内就会使导线产生大量的热量,造成导线熔断或过热而引起火灾,短路是一种事故状态,应避免发生。

一般产生短路的原因是电气设备和电气线路的绝缘损坏或者接线错误,因此必须注意安全。当发生电源短路时,应及时切断电路,否则将会引起剧烈发热而使电源、导线等烧毁。在电路中接入过电流保护装置,例如,状态在我们住房的电源进线处安装熔断器(保险丝)或空气断路器就是这个目的。

(3)负载工作状态。当电路的开关闭合,负载中有电流通过时称为通路,电路正常工作状态为通路。

4. 电路图

如图 1-1(b)所示为手电筒的电路图,它直观形象,但画起来复杂,不便于分析和研究。因此,在分析和研究电路时,总是把这些设备抽象成理想化的模型,用国家规定的图形和符号表示。这种用统一规定的图形和符号画出的电路模型图称为电路图,能够帮助人们了解整个电路的工作原理和电器的安装顺序,了解各部分的作用。

知识链接二 电路的基本物理量

1. 电流

在电路中电荷有规则的运动称之为电流。电流的大小用单位时间内通过导体横截面上电量的大小来衡量,在物理学中叫作电流强度,工程上简称电流,电流强度可表示为 $I = \frac{q}{t}$ 。

在国际单位制(SI)中,电流强度的单位是安培(A),简称安。每秒内通过导体截面的电量为1库仑(C)时,则电流为1 A。工程上常用的单位还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A),他们之间的关系为:

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

常用电器的电流多用 A(安培)度量,大型发电站、大型变配电所的电流多用 kA 度量,而弱电系统则常用 mA 或 μ A 度量,这样使用起来很方便。

电流不但有大小而且还有方向,电流的方向,习惯上规定以正电荷的运动方向为电流方向(实际方向)。在分析电路时,有时难以判定某处电流的方向,此时,可以先任意选择某一方向为电流的参考方向,然后列方程求解。当解出的电流为正值时,就认为电流实际方向与参考方向一致;反之,为负值时,则认为电流方向与参考方向相反。

2. 电压

电路中要有电流,必须要有电位差,有了电位差,电流才能从电路中的高电位点流向低电位点。电压是指电路中(或电场中)任意两点之间的电位差。

在国际单位制(SI)中,电压的单位是伏特(V),简称伏。工程上常用的单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)他们之间的关系为:

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

3. 电位

电压又叫作电位差,它表示电场中两点之间电位的差别。而电位是电场力把单位正电荷从 A 点移到参考点所做的功,参考点的电位等于零,参考点可以任意选取,通常选大地为参考点。用符号 Φ 表示。在电场中,任意两点(如 A、B)之间的电压就等于这两点之间的电位差,即 $U_{AB} = \Phi_A - \Phi_B$ 。

电位的计算:

例 1-1: 如图 1-2 所示的电路中,已知 $U_w = 5 \text{ V}$, $U_{ad} = 2 \text{ V}$, 分别以 o 和 c 为参考点求各点的电位和电压 U_{ad} 。

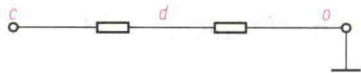


图 1-2 例 1-1 电路图

解: 以 o 为参考点, 则 $\Phi_o = 0 \text{ V}$

$$U_w = \Phi_c - \Phi_o, \Phi_c = U_w + \Phi_o = 5 \text{ V};$$

$$U_{ad} = \Phi_c - \Phi_d, \Phi_d = \Phi_c - U_{ad} = 5 - 2 = 3 \text{ V};$$

$$U_{ad} = \Phi_o - \Phi_d = 0 - 3 = -3 \text{ V};$$

以 c 为参考点, 则 $\Phi_c=0$, $\Phi_d=-2\text{ V}$, $\Phi_o=-5\text{ V}$, $U_{ad}=-3\text{ V}$ 。

说明: 参考点可以任意选的, 一旦选定, 电路中的各点的电位也就定了, 参考点不同, 电路中同一点的电位也会改变, 但两点之间的电压是不变的。(电位与参考点有关, 而电压与参考点的电位无关)。

4. 电动势

在图 1-1 所示的电路中, 由于电源两端有恒定的电压, 灯泡才持续发光。要维持恒定的电压, 电源内部就必须通过其他形式能量的作用, 产生一种外力克服电场力, 将正电荷源源不断地移到正极, 这种力叫作电源力。电池中的电源力是电解液和极间化学作用产生的, 发电机的电源力是电磁作用产生的。

电动势是衡量电源将非电能转化为电能本领的物理量。电动势的定义为: 在电源内部, 电源力将单位正电荷从电源负极移动到电源正极所做的功, 用字母 E 表示。

电动势的实际方向是由电源负极经电源内部指向电源正极。在分析问题时也可加设参考方向。电动势的单位与电压单位相同。

5. 电阻

在图 1-1 中, 当电路接上不同灯泡时, 其亮度是不同的, 即电路中电流大小是不同的。可见, 不同的导体对电荷有不同的阻碍作用。电阻就是反应导体对电流起阻碍作用大小的物理量。

电阻在电路中用 R 表示, 单位为欧姆(Ω)。如果导体两端的电压是 1 V , 通过的电流是 1 A , 则该导体的电阻就是 $1\ \Omega$ 。除欧姆外, 常用的电阻单位还有千欧($\text{k}\Omega$)和兆欧($\text{m}\Omega$)。电阻各单位间的关系为:

$$1\ \text{k}\Omega=10^3\ \Omega \quad 1\ \text{m}\Omega=10^3\ \text{k}\Omega=10^6\ \Omega$$

6. 电能

在导体两端加上电压, 导体内就建立了电场, 电场力在推动自由电子定向移动中要做功。设导体两端电压为 U , 通过导体横截面的电荷量为 q , 电场力所做的功及电路消耗的电能 $W=qU$, 由于 $q=It$, 所以 $W=UIt$, 式中, W 、 U 、 I 、 t 的单位分别为焦耳(J)、伏特(V)、安培(A)、秒(s)。

电能的单位为瓦·秒即焦耳(J), 它表示功率为 1 W 的用电设备在 1 s 内所消耗的电能, 实际生活中测量电能的电度表的单位是千瓦小时($\text{kW}\cdot\text{h}$), 称为 1 度电。

$$1\text{ 度电}=1\ \text{kW}\cdot\text{h}=3.6\times 10^6\ \text{J}$$

7. 电功率

在一段时间内, 电路产生或消耗的电能与时间的比值叫作电功率, 用 P 表示。则

$$P=\frac{W}{t}\text{ 或 }P=UI$$

式中, P 、 U 、 I 的单位应分别为瓦特(W)、伏特(V)、安培(A)。可见, 一段电路上的电功率, 跟这段电路两端的电压和电路中的电流成正比。

用电器上通常标明它的电功率和电压, 叫作用电器的额定功率(P_N)和额定电压(U_N)。如果给它加上额定电压, 它的功率就是额定功率, 这时用电器正常工作。根据额定功率和

额定电压, 可以很容易计算出用电器的额定电流。

知识链接三 电路的基本定律

1. 电路的欧姆定律

如图 1-3 所示电路中通过的电流, 与电阻两端所加电压成正比, 与电阻成反比, 称为部分电路欧姆定律。其计算公式为

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

式中, 电压 U 单位为伏[特](V), 电流 I 单位为安[培](A), 电阻 R 单位为欧[姆](Ω)。

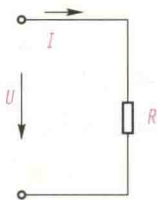


图 1-3 电路图

由上式可知: 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。对于任意分支的电阻电路, 只要知道其中的电压、电流和电阻三个量中的任意两个量, 就可由欧姆定律求得第三个量。

例 1-2: 一盏“200 W 220 V”的电灯, 灯泡的电阻是 484Ω , 当电源电压为 220 V 时, 求通过灯泡的电流是多少。

$$\text{解: } I = \frac{U}{R} = \frac{220}{484} \approx 0.455(\text{A})$$

由欧姆定律可知, 电阻有电流通过时, 两端必有电压, 这个电压习惯上叫作电压降。通常导线是有电阻的, 当用导线传输电流时就产生电压降。因此, 输电线路末端的电位总比始端的电位低。输电线路上的电压降的数值叫作电压损失, 如果线路较长, 线路电流越大, 其电压损失就较大, 供给负载的电压将会明显下降, 影响设备的正常工作。

2. 基尔霍夫定律

一般分析简单电路或简单电源的电路时, 完全可以通过电阻的等效和欧姆定律来解决, 但在多电源或者复杂电路时, 我们必须运用新的方法来解决, 基尔霍夫定律提供了很好的工具。为此我们必须先掌握几个相关的专业术语。

节点: 电路中三条或三条以上导线的连接点。如图 1-4 中的 B、D 两点为节点。

支路: 任意两个节点之间不分叉的一条电路。如图 1-4 中的 BAD、BD、BCD 三条支路。

回路: 电路中任一闭合的路径。如图 1-4 中的 ABCDA、ABDA、BCDB 为三个回路。

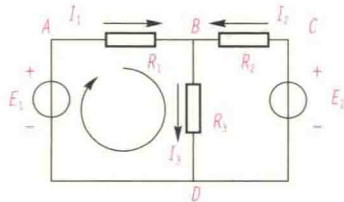


图 1-4 复杂电路

(1) 基尔霍夫电流定律(KCL)。基尔霍夫电流定律也称节点电流定律, 其内容为: 在任一瞬间, 流入电路中任一节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。其数学表达式为:

$$\sum I_i = \sum I_o$$

电流定律的第二种表述: 在任何时刻, 电路中任一节点上的各支路电流代数和恒等于零, 即

$$\sum I = 0$$

根据基尔霍夫电流定律, 对上图 B 节点可以列出方程

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \text{ 或 } I_1 + I_2 = I_3$$

基尔霍夫电流定律, 还可以推广应用到电路中的任意封闭面, 该封闭面称为广义节点。如图 1-5 所示电路, 可得

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

可见, 对电路中的任一闭合面, 流入这个闭合面的电流等于流出这个闭合面的电流。这反映了电流的连续性, 根据电流本质的定义, 说明基尔霍夫电流定律是电荷守恒的体现。

(2) 基尔霍夫电压定律(KVL)。基尔霍夫电压定律也称为回路电压定律, 其内容为: “在任一时刻, 沿电路任一闭合回路, 所有支路电压的代数和恒等于零。”根据电压的本质含义和定律内容可以看出, 基尔霍夫电压定律是能量守恒的体现。

其数学表达式为: $\sum U = 0$

为了计算方便, 一般把负载放在等式的左边, 把电源放在等式的右边。

那么其数学表达式为: $\sum IR = \sum E$

根据基尔霍夫电压定律, 对图 1-4 中的 ABDA 回路可列出

$$I_1 R_1 + I_3 R_3 = E_1$$

用此公式时, 必须先选定回路的绕行方向。凡是电流的参考方向与绕行方向相同的, 取正值; 反之, 则取负值。同样, 电动势的实际方向与绕行方向相同的, 取正值; 反之, 则取负值。

例 1-3: 如图 1-6 所示为一电路的其中一部分, 已知电源电动势 $E_1 = 16 \text{ V}$ 、 $E_2 = 4 \text{ V}$; 电阻 $R_1 = 3 \Omega$ 、 $R_2 = 5 \Omega$ 、 $R_3 = 2 \Omega$ 、 $R_4 = 10 \Omega$; 电流 $I_1 = 1 \text{ A}$ 、 $I_2 = 4 \text{ A}$ 、 $I_3 = 3 \text{ A}$, 试求图中的电流 I_4 。

解: 根据基尔霍夫电压定律有

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_4 R_4 = E_1 + E_2$$

代入数值可得

$$1 \times 3 + 4 \times 5 - 3 \times 2 - 10 I_4 = 16 + 4$$

$$I_4 = -0.3 \text{ A}$$

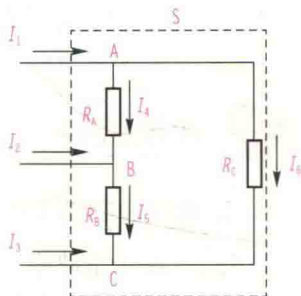


图 1-5 电路图

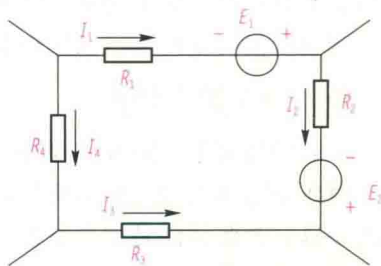


图 1-6 部分电路图

知识链接四 简单直流电路的连接及应用

1. 电阻的串联及应用

在电路中, 若两个或两个以上的电阻按顺序一个接一个地连成一串, 使电流只有一个通路, 电阻的这种连接方式叫作电阻的串联。

电路串联的特点:

电流处处相等 $I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$

电阻可以用一个等效电阻 R 替代： $R=R_1+R_2+R_3+\cdots+R_n$

电路两端的总电压等于各个电阻两端的电压之和，即 $U=U_1+U_2+U_3+\cdots+U_n$

电阻的串联应用很广泛，在实际工作中常见的应用有：

(1) 用几个电阻串联来获得阻值较大的电阻。

(2) 采用几个电阻构成分压器，使同一电源能供给几种不同的电压。

(3) 当负载的额定电压低于电源电压时，可用串联的办法来满足负载接入电源使用的需要。例如，可以将两个相同的 6 V 的指示灯串联后接到 12 V 电源中使用。

(4) 限制和调节电路中电流的大小。例如，在建筑电气中的调光和风扇的调速使用的变阻器。

(5) 在电工测量中广泛应用电阻的串联来扩大电压表的测量量程。

2. 电阻的并联及应用

两个以上的电阻首尾各自连接在两个端点之间，使每个电阻都直接承受同一个电压，这样的电路称为并联电路。

电阻并联的特点：

各电阻两端的电压相等，且等于电路两端的电压，即

$$U=U_1=U_2=\cdots=U_n$$

总电流等于流过各并联电阻的电流之和，即

$$I=I_1+I_2+\cdots+I_n$$

总电阻的倒数等于各并联电阻的倒数之和，即

$$\frac{1}{R_{\text{总}}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\cdots+\frac{1}{R_n}$$

电阻并联的应用也很广泛，在实际工作中常见的应用有：

(1) 用几个电阻并联来获得阻值较小的电阻。

(2) 凡是工作电压相同的负载几乎全是并联，例如，建筑施工现场的电动机以及各种照明灯都是并联使用的。

(3) 在电工测量中，广泛应用并联电阻的方法来扩大电流表的量程。

任务二 交流电路

学习目标

1. 能区别交流电和直流电
2. 认识交流电路的基本物理量
3. 掌握三相交流电的用途
4. 掌握三相交流负载的连接

常用的家用电器采用的都是单相交流电,如电视、照明灯、冰箱、家用空调等,而如图 1-7 所示的建筑工地施工用电和工厂中所用的是三相交流电。那么正弦交流电有哪些特征,如何描述?

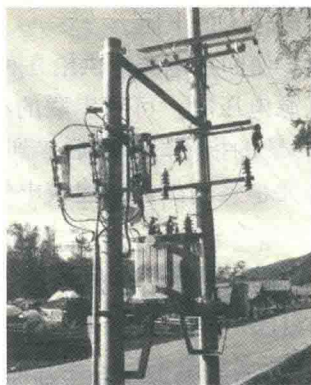


图 1-7 三相交流电

知识链接一 交流电

1. 交流电的概念

电压电流的大小和方向不随时间变化的,被称为直流电(DC),直流电波形图如图 1-8 (a)所示。把大小和方向随时间作周期性变化的电动势、电压和电流分别称为交变电动势、交变电压和交变电流,三者统称为交流电。交流电分为正弦交流电和非正弦交流电两大类。正弦交流电是随时间按正弦规律变化的,简称交流电(AC),交流电波形图如图 1-8 (b)所示。在实际工程中,正弦交流电有很多优点,例如,能够很方便地实现电能的生产、传输、分配,而且交流电气设备比直流电气设备结构简单、成本低、工作可靠,所以,交流电在实践中得到广泛应用。

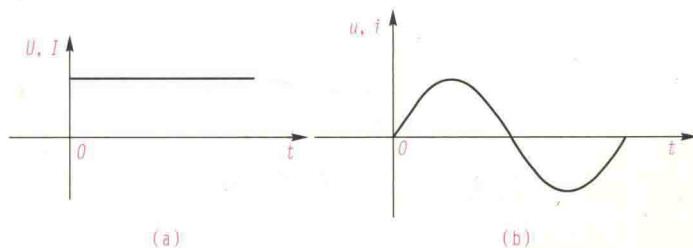


图 1-8 直流电和交流电波形图

(a)直流电; (b)交流电

2. 正弦交流电的表达式与最大值、有效值

(1)正弦交流电的表达式。如图 1-9 所示,按正弦规律变化的交流电动势、交流电压和交流电流等物理量统称为正弦交流量,简称正弦量,其瞬时值数学表达式为:

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

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

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

(2)最大值。交流电在一个周期内数值最大的瞬时值称为最大值或幅值(也叫作振幅、峰值)。最大值用大写字母加下标 m 表示,例如 E_m 、 I_m 、 U_m 等。

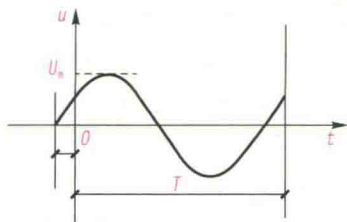


图 1-9 正弦交流电波形图

(3)有效值。有效值是用来计量交流电大小的物理量。

其定义为:如果交流电通过一个电阻时,在一个周期内产生的热量与某直流电流通过同一电阻在同样长的时间内产生的热量相等的话,就将这一直流电的数值定义为交流电的有效值。有效值用大写字母表示,例如 E 、 I 、 U 等。根据定义,可求得正弦交流电的有效值和最大值之间的关系为:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707 U_m$$

大多数电工设备、仪器仪表上标志的电流或电压值都是有效值。例如,常用的交流电压是 220 V 或 380 V,就是有效值。

3. 正弦交流电周期、频率与角频率

(1)周期与频率。交流电变化一次所需要的时间称为周期,用 T 表示,单位是 s(秒),如图 1-9 所示。

单位时间内(每秒钟)变化的次数称为频率,用 f 表示,单位是 Hz(赫兹)。工程上还有千赫兹(kHz)、兆赫兹(MHz)、吉赫兹(GHz),他们的关系是:

$$1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz} \quad 1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz} \quad 1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$$

频率和周期互为倒数,即

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

(2)角频率。单位时间内变化的电角度叫作角频率,用 ω 表示,单位是 rad/s(弧度/秒)或 1/s(1/秒)。角频率 ω 与周期 T 、频率 f 之间的关系为

$$\omega = 2\pi f$$

例 1-4: 我国供电电源的频率为 50 Hz,称为工业标准频率,简称工频,其周期为多少?角频率为多少?

解: 周期和角频率分别为

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} \text{ s} = 0.02 \text{ s}$$

$$\omega = 2\pi f = 2 \times 3.14 \times 50 = 314 \text{ (rad/s)}$$

即工频 50 Hz 的交流电,每 0.02 秒钟变化一个循环,每秒钟变化 50 个循环。

4. 正弦交流电相位与相位差

(1)相位。正弦量在任意时刻的电角度,也称相角,用 $(\omega t + \varphi_0)$ 表示。 $t=0$ 时的相位

角 φ 称为初相角。如交流电 $u=311\sin(314t+60^\circ)\text{V}$ 的相位是 $(314t+60^\circ)$ ，初相是 60° 。

(2) 相位差。两个同频率正弦量的相位之差，其值等于它们的初相之差。用字母 $\Delta\varphi$ 表示。设 i_1 的相位为 $(\omega t + \varphi_{01})$ ，初相位为 φ_{01} ； i_2 的相位为 $(\omega t + \varphi_{02})$ ，初相位为 φ_{02} ，其相位差为 $\Delta\varphi = (\omega t + \varphi_{01}) - (\omega t + \varphi_{02}) = \varphi_{01} - \varphi_{02}$ 。

当 $\pi > \Delta\varphi > 0$ 时，波形如图 1-10(a) 所示， i_1 总比 i_2 先经过对应的最大值和零值，这时，就称为 i_1 相位超前 i_2 相位 $\Delta\varphi$ 角（或称 i_2 相位滞后 i_1 相位 $\Delta\varphi$ 角）。

当 $-\pi < \Delta\varphi < 0$ 时，波形如图 1-10(b) 所示， i_2 总比 i_1 先经过对应的最大值和零值，这时，就称为 i_1 相位滞后 i_2 相位 $\Delta\varphi$ 角。

当 $\Delta\varphi = 0$ 时，波形如图 1-10(c) 所示，称为 i_1 与 i_2 同相。

当 $\Delta\varphi = \pi$ 时，波形如图 1-10(d) 所示，称为 i_1 与 i_2 相位相反，简称反相。

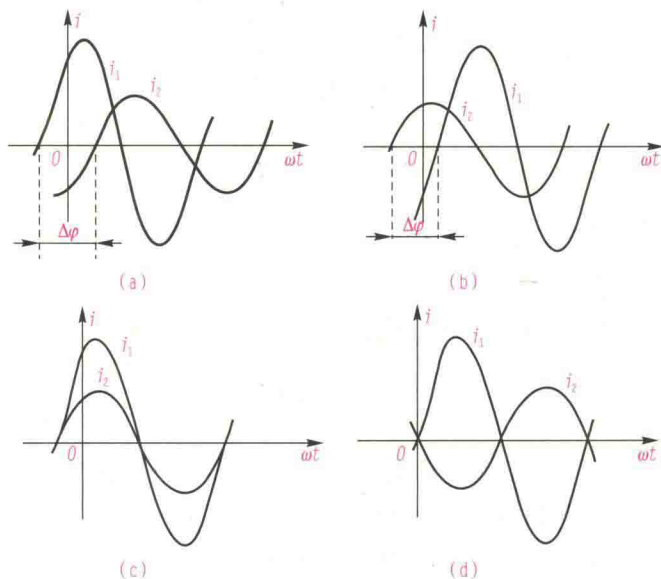


图 1-10 同频率正弦交流电的相位差

(a) $0 < \Delta\varphi < \pi$; (b) $-\pi < \Delta\varphi < 0$; (c) $\Delta\varphi = 0$; (d) $\Delta\varphi = \pi$

5. 单一参数的交流电路

(1) 纯电阻电路。在交流电路中，既没有电感，又没有电容，只包含有线性电阻的电路，如图 1-11(a) 所示。在实际生活中，由于白炽灯、电热器等负载的电阻与电感相比是很小的，可以忽略不计。这种负载所组成的交流电路，在实用中就认为是纯电阻电路。

1) 电压与电流的关系。如图 1-11(a) 所示为纯电阻元件的正弦交流电路，在电阻两端加正弦交流电压 $u = U_m \sin \omega t$ ，电压和电流参考方向如图所示，则根据欧姆定律有：

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

由此不难看出：在正弦电压的作用下，电阻中通过的电流也是同一频率的正弦交流电，且与电阻两端的电压同相位，如图 1-11(b) 所示。

由上式可知，通过电阻的最大电流为 $I_m = \frac{U_m}{R}$ ，有效值表达式为 $I = \frac{U}{R}$ ；这说明，在

纯电阻电路中, 电压与电流的有效值之间符合欧姆定律。

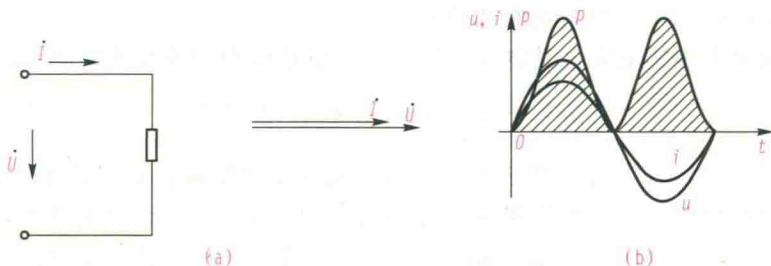


图 1-11 纯电阻电路

2) 功率关系。在任一瞬时, 电阻中的电流瞬时值与同一瞬间电阻两端电压的瞬时值的乘积, 称为电阻获得的瞬时功率, 用小写字母 p 来表示。在纯电阻电路中的瞬时功率为

$$p = ui = \frac{U_m^2}{R} \sin^2 \omega t$$

波形如图 1-12 所示, 从图中可以看出, 瞬时功率 $p \geq 0$ 。说明电阻元件一直在消耗能量, 是一种耗能元件。

由于瞬时功率时刻在变动, 不便计算, 因此, 通常取便瞬时功率在一个周期内的平均值来表示交流电功率的大小, 也称有功功率, 用大写字母 P 来表示。即

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

可见, 当正弦电压和电流用有效值表示时, 电阻上消耗的有功功率表达式与直流电路具有相同的形式。

例 1-5: 一个 220 V、100 W 的电熨斗接于 220 V、50 Hz 的电源上, 试求: (1) 通过电熨斗的电流有效值 I , 如假设电源电压的初相位为 30° , 写出电流的瞬时值表达式; (2) 若电熨斗平均每天使用半小时, 每月消耗的电能为多少? (每月按 30 天计算)

解: (1) $I = \frac{P}{U} = \frac{100}{220} = 0.45 \text{ (A)}$

$$\omega = 2\pi f = 2 \times 3.14 \times 50 = 314 \text{ (rad/s)}$$

如电压初相位为 30° , 那么电流的初相位也为 30° , 所以有

$$i = 0.45 \times \sqrt{2} \times \sin(314t + 30^\circ)$$

(2) 每月消耗的电能

$$W = Pt = 0.1 \times 0.5 \times 30 = 1.5 \text{ (kW} \cdot \text{h)}$$

(2) 纯电感电路。由电阻很小的电感线圈组成的交流电路, 都可以近似地看成是纯电感电路。如荧光灯的镇流器, 假设电阻为零, 可以认为是纯电感线圈; 理想变压器空载运行时, 可以认为是纯电感电路。

1) 电压与电流的关系。如图 1-13 所示, 在纯电感的两端, 加上交流电压 u_L , 线圈中必定产生一交流电流 i 。由于这一电流时刻都在变化, 因

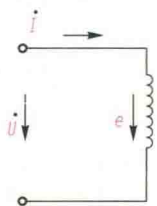


图 1-13 纯电感电路