

第五版

建筑应用电工

—— 赵连玺 赵晓玲 樊伟樑 ○ 编 ——



中国建筑工业出版社

建筑应用电工

第五版

赵连奎 赵晓玲 樊伟樑 编

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑应用电工/赵连玺, 赵晓玲, 樊伟樑编. --5 版.
北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 10
ISBN 978-7-112-14498-3

I. ①建… II. ①赵…②赵…③樊… III. ①建筑
工程-电工技术 IV. ①TU85

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 153177 号

本书根据目前建筑电气技术发展水平在第四版的基础上作了较大的修订, 增加了高新技术和提高实践能力的內容。全书共分为两篇十章, 第一篇为交流电的基本知识, 通过电工试验和数据比较, 详细阐述了基本概念和理论知识; 第二篇为电工技术的应用部分, 介绍了变压器变配电系统、电动机及其控制保护、建筑照明、建筑物防雷及接地、建筑物弱电系统、建筑电气施工及电气概预算编制等内容。本书每章均配有复习思考题和习题。

本书可供建筑电气技术人员和工人阅读, 也可作为相关专业师生的教学参考书。

* * *

责任编辑: 刘 江
责任设计: 李志立
责任校对: 肖 剑 刘 钰

建筑应用电工

第五版

赵连玺 赵晓玲 樊伟樑 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版
北京市燕鑫印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 24¼ 插页: 2 字数: 613 千字
2012 年 11 月第五版 2012 年 11 月第二十三次印刷

定价: 58.00 元

ISBN 978-7-112-14498-3

(22549)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

第五版说明

自 1999 年本书第四版问世后，经过十余年的教学和生产实践，同时考虑到建筑电气技术的飞速发展，特决定对本书进行修订，出版第五版。

在坚持少而精、突出实际应用和跟上时代的发展思想指导下，删除了陈旧的内容，增加了高新技术和提高实践能力的內容。全书以某院校教学楼的电气设计、施工和管理为主线展开，通过实验手段和试验数据对比的方法，引出电工技术的重要理论知识，以培养读者的创新意识和能力。

第五版的内容分为两篇，第一篇为交流电的基本理论知识，在其三章的叙述中，安排了多次电工试验，通过对不同试验数据的对比，依次引出几个重点问题，进而加以分析和解决。第二篇是电工技术的应用部分。在其七章的内容中，围绕某教学楼的电气设计及其变配电系统等的全套电气施工图纸展开。先后讲述变压器及其变配电系统、电动机及其控制、保护（含视图）、建筑照明等的电气设计、建筑物防雷及接地、建筑物的弱电系统（智能建筑）、建筑电气工程施工以及电气概预算的编制。全书共十章，各章均配有复习思考题及习题。

本书可供从事建筑电气设计、施工、监理、管理以及相关人员阅读，也可作为建筑工程院校的师生作为教学参考书或其他相关读者阅读。

全书是由赵连玺、樊伟樑共同策划、分工合作历经几年才写成的，赵连玺执笔、主编，樊伟樑“把关”、审查并提出修改意见。还有北京建筑工程学院的邢汉丰、田振宽、李英姿、王佳、张培华等多位老师提出了宝贵意见。参加本书编写工作的还有张志华、张亚倩、赵小玲、赵书亮、安成云、徐东、董适等同志，在此表示衷心感谢。

鉴于编者的水平、能力有限，谬误之处在所难免，恳请读者给予批评指正。

编者

2011 年 5 月

目 录

第一篇 电工基础知识	1
第一章 交流电源	2
1.1 电路概述	2
1.2 交流电的概念	5
1.3 三相交流电源及其输送	9
1.4 低压配电系统	12
复习思考题	14
习题	15
第二章 交流电路的负载	18
2.1 白炽灯与荧光灯（日光灯）的实验比较	18
2.2 交流电路中的三种功率——有功功率、无功功率和视在功率	19
2.3 交流电路中的电阻、电抗和阻抗	20
2.4 功率因数与节能	23
复习思考题	27
习题	27
第三章 负载与三相电源的联接	29
3.1 负载与电源的联接原则	29
3.2 负载的星形（Y）联接	29
3.3 星形（Y）联接的中线作用	30
3.4 负载的三角形（D）联接	31
3.5 负荷计算要点	32
复习思考题	35
习题	36
第二篇 电工技术应用	38
第四章 变压器及 10kV 变、配电系统	39
4.1 变压器	39
4.2 高压电器	47
4.3 变配电所的高压电气主接线——一次接线	53
4.4 某学校的高、低压电气主接线实例	55
4.5 成套变电站	63
4.6 变配电系统二次电路图	67

4.7 电力负荷的计算	74
4.8 配电导线选择	79
复习思考题	84
习题	84
第五章 三相交流异步电动机及其控制与保护电路	86
5.1 三相交流异步电动机	86
5.2 单相异步电动机	94
5.3 低压电器及其选择	96
5.4 三相鼠笼异步电动机的直接启动及其电路图	109
5.5 三相鼠笼式异步电动机的降压启动及其电路图	114
5.6 三相鼠笼式电动机的软启动	116
5.7 绕线式异步电动机的启动与调速	120
5.8 双电源互投等电气控制电路图	122
5.9 锅炉的电气控制电路图和快捷看图法	128
复习思考题	135
习题	136
第六章 建筑电气照明设计	138
6.1 概述	138
6.2 建筑电气照明的质量要求	142
6.3 常用的电光源	144
6.4 灯具及选用	151
6.5 灯具的布置	154
6.6 电气照明计算	156
6.7 某学校教室电气照明设计实例	160
6.8 教室照明供电及照明电气图的绘制	163
6.9 某学校教学楼照明电气图实例（部分）	167
复习思考题	189
习题	189
第七章 建筑物的防雷、接地及等电位连接	190
7.1 建筑物防雷电的基本知识	190
7.2 建筑物的防雷装置	193
7.3 某学校教学楼防雷平面图实例	201
7.4 等电位连接	205
7.5 低压配电系统接地形式	211
7.6 安全用电知识及施工现场的电气防护措施	214
复习思考题	223
第八章 建筑物的弱电系统	224
8.1 火灾报警系统	224

8.2 有线电视系统和卫星电视的接收	240
8.3 通信网络与广播音响系统	254
8.4 安全技术防范系统	265
8.5 建筑设备监控系统	275
8.6 综合布线与光纤技术	277
8.7 某教学楼弱电系统图实例	287
复习思考题	292
第九章 建筑电气工程的施工	293
9.1 电缆工程的施工	293
9.2 配管配线工程施工	299
9.3 照明器具等的安装	308
9.4 配电箱(盘)的安装	313
9.5 架空线路工程及施工	317
复习思考题	326
第十章 建筑电气工程概预算	328
10.1 概述	328
10.2 概预算中的费用组成	329
10.3 如何查阅和使用工程定额	332
10.4 编制施工图预算	336
10.5 施工图预算的审查	340
10.6 建筑电气工程概预算编制实例	341
复习思考题	350
习题	351
附录	352
附录一 建筑照明标准值(选自 GB 50034—2004)	352
附录二 第二类和第三类防雷建筑物及其防雷措施	355
附录三 照明节能的照明功率密度值(选自 GB 50034—2004)	360
附录四 部分灯具的利用系数	362
附录五 电气图用图形符号	364
附录六 常用电工及设备文字符号	373
附录七 部分电力变压器技术数据	373
附录八 Y 系列和 YZR 系列电动机技术数据	376
附录九 部分绝缘导线的载流量	379

第一篇

电工基础知识

本篇重点解决的问题：

1. 建立额定值的概念
2. 学会安全使用交流电源
3. 建立有功功率、无功功率、视在功率及阻抗、电抗等重要概念
4. 掌握功率因数重要概念
5. 了解三相电路中的中线作用

第一章 交流电源

尽管光能、风能或其他形式能源正在成为建筑物的新型能源，但大多数能源仍以交流电的形式提供给建筑物。

本章从简单的电路入手，讲解电流、电压、额定值以及交流电的有关概念；通过介绍三相电源的产生和输送，建立“三相”概念；最后，重点讲清 10/0.4kV 低压配电线路 (TN-S 系统)。

1.1 电路概述

一、电路的组成

电路的形式多种多样，但概括可分为图 1-1 中的 (a)、(b) 两大类。

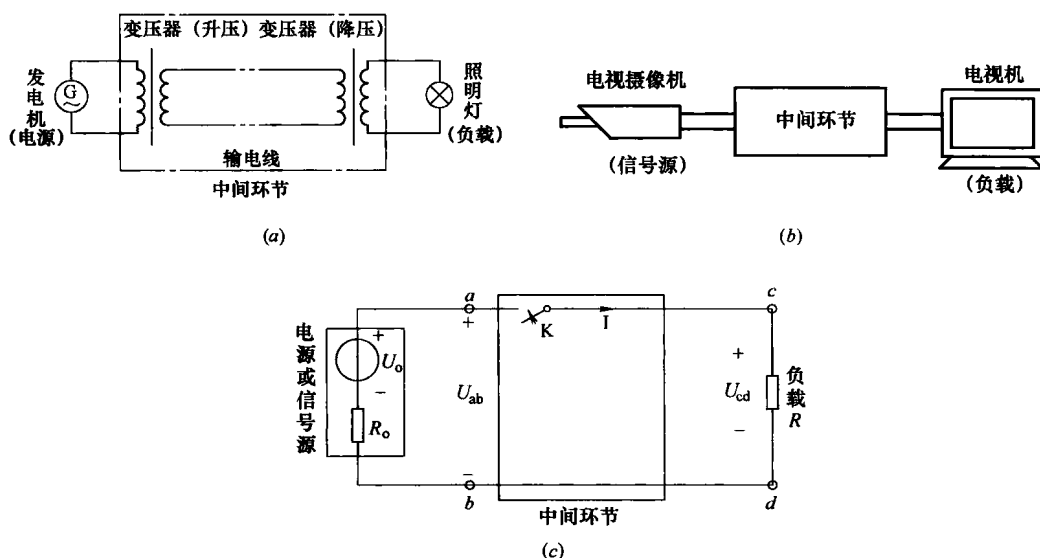


图 1-1 电路示意图

(a) 强电电路示意图；(b) 弱电电路示意图；(c) 电路模型示意图

图 (a) 中的发电机相当于电源，它可将热能、水位的势能、原子能、太阳能、风能等转换为电能；其中的变压器和输电线统称为中间环节，它们可将电源电压升高，输送到用电地点后再降到市电电压送到用户；图 (a) 中的照明灯也可以是电动机等，表示用户的用电设备，它可将电能转换为光能、机械能或热能等，统称为负载；总之图 (a) 电路可实现电能的传输与转换。

图 (b) 中的摄像机可将捕捉到的图像转换成信号，表示电路的信号源；信号经中间

环节的放大、处理、输送到监视室的电视机屏幕上；电视机表示此电路的负载。总之图 (b) 电路完成了信号的处理和传递作用。所以类似图 (b) 的这种电路，称其为“弱电”电路；同理图 (a) 的那类电路称其为“强电”电路。

不论是图 (a) 还是图 (b) 它们都是由电源或信号源、中间环节和负载三部分组成。绘制时都用一定的符号表示，如图 (c) 所示，称为电路模型示意图。

二、电流、电压和功率

在图 1-1 (c) 电路中，按下开关 K 后，在电源电压 U_0 的作用下产生电流 I ，电流 I 流过负载电阻 R 就会做功，照明灯才亮。为此下面顺序介绍电流、电压和功率等概念。

1. 电流——电荷的定向移动称做电流，因此，电流是有方向的。在电路中电流的方向用箭头表示。在直流电路中此方向为正电荷移动的方向，以“ I ”表示，标于箭头旁。在交流电路中也要标出箭头，此方向表示为参考方向，标以“ i ”。

电流的单位为“安”[培]或“A”；小电流可以用毫安 (mA)、微安 (μA) 表示。它们之间存在如下关系： $1\text{A}=1000\text{mA}=10^3\text{mA}$ ； $1\text{mA}=10^3\mu\text{A}$ 。电流的大小可以用电流表测量出来。例如点亮 220V、40W 白炽灯的电流表读数为 0.182A；而点亮达到同样照度的节能灯则小于 0.1A。人体的感知电流为 0.5~1mA。

2. 电位与电压——电压与电位的单位都是伏[特]或“V”；高电压用千伏 (kV)， $1\text{kV}=10^3\text{V}$ 。它们的符号用 U 或 u (交流)。手电筒用干电池，两极之间为 1.5V；市电交流电压为 220V；人体所触及的安全电压小于 50V。

(1) 电位的概念：电路中有时为了比较其高低，常引入“电位”概念。如图 1-2 所示。图中为了比较 a 与 c 两点电位的高低，常将 b 、 d 两点相连并选为参考点，如图虚线所示。参考点在图中标以“接地”符号（并不是真与大地相接）。一般设参考点电位为零，即 b 、 d 两点电位为零，表示为 $U_b=U_d=0$ 。电位相等的两点也称为等电位点。从图中看出 a 点电位比参考点高 1.5V，记为 $U_a=1.5\text{V}$ ；同理 c 点电位 $U_c=6\text{V}$ ；由此可知 c 点的电位比 a 点高，即 $U_c>U_a$ 。

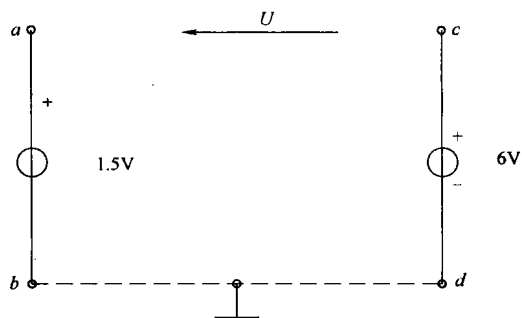


图 1-2 两个不同的直流电源比较示意图

(2) 电压：电压也称为“电位差”，即两点之间电位之差。特别注意是“两点”之间才有可能出现电压，比如图 1-2 中的 a 、 b 两点之间电位差即电压为 1.5V，记做 $U_{ab}=1.5\text{V}$ ，也可记做 $U_{ba}=-1.5\text{V}$ ，表示 b 点比 a 点低 1.5V；同理， c 点与 a 点之间可写为 $U_{ca}=U_c-U_a=6-1.5=4.5\text{V}$ ；或 $U_{ac}=U_a-U_c=1.5-6=-4.5\text{V}$ 。

电压也是有方向的，它的方向是从高电位指向低电位的。有下列三种方法标注：

① 在电压 U 符号的右下方标注出两点，顺序为先写高点，后写低点。例如 $U_{ca}=4.5\text{V}$ 。

② 在电压 U 符号旁画箭头，箭头指向低电位点。如图 1-2 中箭头所示代替 U_{ca} 。

③ 在电压 U 符号上、下或两侧标出“+”、“-”极性，高电位点标“+”极。

3. 功与功率——在直流电路中电流 I 与电压 U 的乘积称电功率，以 P 表示，所以

$$P=U \cdot I=IR^{[1]} \cdot I=I^2R \quad (1-1)$$

功率 P 的单位为瓦 (W) 或千瓦 (kW)。

功率 (P) 与时间 (t) 的乘积称为功或电能, 如 1kW 的投光灯, 点亮 1 小时 (h) 所消耗的电能就是 1 “kW · h”, 俗称 1 度电。电能 (度) 表就是测量电能的。

4. 电阻 消耗电能的元件, 以 R 表示, 单位为欧姆 (Ω)。在直流电路中, 负载的主要成分是电阻。在电源内部也有电阻存在, 称为电源的内电阻, 常以 R_0 或 r_0 表示。

三、电路的状态和额定值概念

电路常见有开路、短路和额定三种状态。

1. 开路 (断路) 状态

当图 1-1 (c) 中开关 K 没闭合, 或电路因故断开, 电路不通, 电路中电流 $I=0$ 时, 电路呈开路状态, 也称空载状态, 这时电源两端电压 $U_{ab}=U_0$, 称此为开路电压。

负载 R 中无电流, 所以 R 两端也无电压, 即 $U_{cd}=0$, 负载 R 无法工作。

2. 短路状态

因为某种事故会造成图 1-1 (c) 电路中的 c 、 d 两点相碰, 则电源被“短”接, 称电路为短路状态。

这时整个电路中只有阻值很小的电源内阻 R_0 , 由欧姆定律可求得电路中的电流 $I=\frac{U_0}{R_0}=I_s$ 。其中 I_s 会很大, 称其为短路电流。 I_s 流经的地方, 如电源内部、开关 K 和部分电路, 会被烧坏, I_s 也是火灾的隐患, 为此图 1-1 (c) 中的 K 应选用带过电流保护装置的开关, 使其在短时间内自动切断电路。

c 、 d 两点短路, 使 $U_{cd}=0$, 使负载 R 中电流为零, 则负载 R 仍不能工作, 但也不会被烧坏。

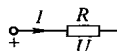
3. 额定工作状态

用电设备 (负载) 损坏的原因多种多样, 但多为以下两种电气方面原因造成: ①因电流过大而烧坏; ②因电压过高而击穿。

为此生产厂对其生产的用电设备中的电流和电压或其他量都规定了容许值加以限制, 这个具体的容许数值就称为“额定值”, 例如电流的额定值即额定电流以“ I_N ”表示; 额定电压以“ U_N ”表示; 额定功率以“ P_N ”表示。这些额定值均标注在用电设备上。例如白炽灯泡上标注的“220V 40W”表示灯泡的额定电压 U_N 为 220V, 额定功率 P_N 为 40W。当实际电压高于 220V, 实际功率会大于 40W, 灯泡会更亮, 但寿命会缩短为小于 1000h (电压升高 1% 时, 寿命将缩短 13%)。反之实际电压 $< 220V$ 时, 寿命延长, 但功率会小于 40W。

图 1-1 (c) 电路中负载电阻 R 变化时, 电路中的电流 I 也随之改变 (电流按 $I=\frac{U_0}{R_0+R}$ 规律变化)。当电流达到负载的额定电流即 $I=I_N$ 时, 电路就称为额定工作状态,

[1] 欧姆定律按图示的 U 、 I 方向, 有以下三种表达方式:

 ① $I=U/R$; ② $U=IR$; ③ $R=U/I$ 。

此时也称电路为满载运行。同理，称 $I \ll I_N$ 为轻载； $I = \frac{1}{2} I_N$ 为半载； $I > I_N$ 超载。

电路处于有载运行时，即 $I > 0$ ，电源两端电压 $U_{ab} < U_0$ ，这是因为电源内阻 R_0 上会损失一部分电压，这个电压大小为“ IR_0 ”，也称此为内部电压损失或内部电压降。

1.2 交流电的概念

电源有直流电源和交流电源两种，如图 1-3 所示。其中图 (a) 表示的是直流电源的电压 U ，图中的横坐标轴代表时间 t ，纵坐标轴代表电压 U 的大小和方向。从图中看出电压的大小和方向都不随时间 t 而变化，即 $U = U_0$ 。

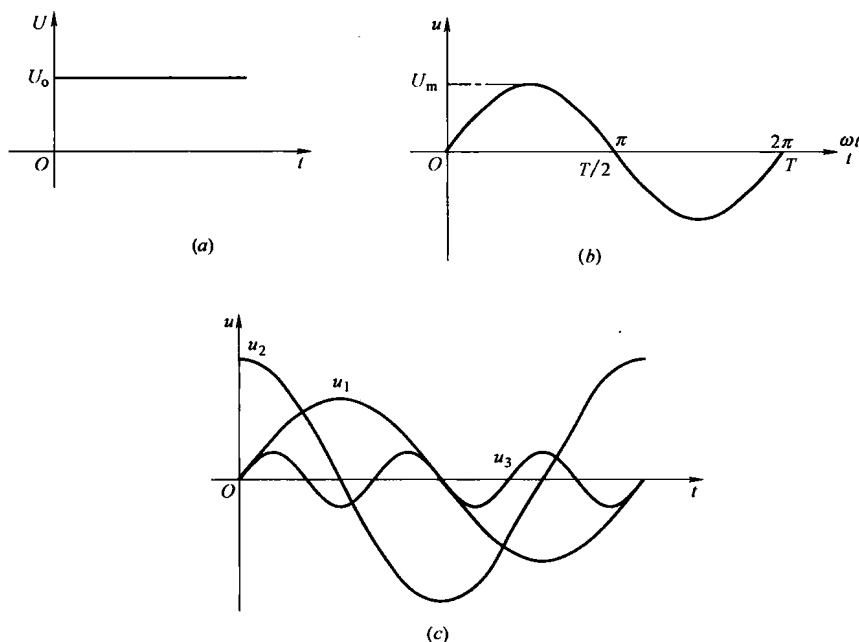


图 1-3 交、直流电压波形图

(a) 直流电压 U 的波形图；(b) 交流电压 u 的波形图；(c) 三个交流电压 u_1 、 u_2 、 u_3 比较图

图 1-3 (b) 表示的是交流电压 u 或交流电流 i ，可看出，电压 u 或 i 的大小和方向都在随着时间 t 而变化，其变化特点是有规律、波形平滑无突变，称按此变化规律的电压 u 或电流 i 为正弦交流电压或电流，统称正弦交流电。按正弦规律变化的交流电压 u ，其数学表达式为：

$$u = U_m \sin \omega t$$

式中 U_m ——交流电压 u 的最大值，(V)；

$\sin$ ——正弦的符号；

ω ——交流电变化的角速度；

t ——表示变化的时间，(秒或 s)。

我们所用交流电源中的电压 u 和电流 i 就是按这种正弦规律变化的。

描述正弦交流电或称为正弦量要比描述直流电困难。从图 1-3 的 (c) 图可看出, 三个交流电压各不相同: u_1 和 u_2 比, ①它们的大小(幅值)不同, ②它们的初始角度(初相角)不同; u_1 、 u_2 和 u_3 比, 其变化速率(频率)不同。所以一个正弦量要由频率或周期、幅值或有效值和初相角三个因素才能确定, 俗称此为正弦量的三要素。

一、正弦量的三要素

1. 周期与频率

正弦量变化一次(一个循环)所需的时间(秒或 s)称为周期, 以 T 表示。

正弦量每秒内变化的次数(周期数)称为频率, 以 f 表示, 其单位为赫(兹)(Hz)。

频率和周期之间互为倒数关系, 即

$$f=1/T \quad (1-2)$$

我国和多数国家都以 $f=50\text{Hz}$ 作为电力标准频率, 习惯上也称其为工频。有些国家如美国、日本等则采用 60Hz , 进出口这些国家的电气设备要注意因频率不同所引起的相关变化, 例如电机的转速等。

在其他不同的技术领域内使用着不同的频率, 例如, 高频炉的频率范围为 $200\sim 300\text{kHz}$; 收音机中波段频率范围 $530\sim 1600\text{kHz}$, 短波段 $2.3\sim 23\text{MHz}$; 移动通信的频率为 900MHz 和 1800MHz ; 无线通信中的频率为 300GHz 。^[1]

正弦量变化快慢除用周期 T 和频率 f 描述外, 还可用角速度 ω 来描述。所谓角速度或称为角频率是指每秒内经历的电角度, 因为在一个周期内所经历的电角度是 2π 弧度见图 1-3 (b), 所以角速度 ω 为

$$\omega=2\pi f=2\pi/T \quad (1-3)$$

ω 的单位为弧度/秒 (rad/s), 有时可不写。

例 1.1 已知市电频率 $f=50\text{Hz}$, 求周期 T 和角速度 ω ?

解 ∵ 周期 $T=1/f=1/50=0.02$ 秒 (s)

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

2. 幅值与有效值

交流电的大小总是随着时间在变化着, 它在某一瞬间的值称为瞬时值, 以小写英文字母表示, 如 i 、 u 分别表示交流电流、电压的瞬时值。

瞬时值中最大的值称为幅值或最大值, 用带下标 m 的大写英文字母表示, 如 I_m 、 U_m 分别代表交流电流、电压的幅值。

不论是瞬时值还是幅值都不能反映交流电在电路中的真实效果, 为此引出“有效值”这个概念。

有效值概念是根据电流的发热等效原理建立起来的。它是指: 某一交流电流 i 流过电阻 R 在一个周期内产生的热量, 和另一直流电流 I 流过同一电阻在相同时间内所产生的热量相等时, 则交流电流 i 的有效值在数值上就等于这个直流电流 I 的值。

交流电的有效值是用大写英文字母表示的。如用 I 、 U 分别表示交流电流 i 、交流电压 u 的有效值, 和表示直流电的字母一样。

由实验或数学推导可证明: 正弦交流电的有效值与其幅值之间存在如下关系:

[1] $1\text{G}=10^3\text{M}=10^6\text{k}=10^9$

$$I = I_m / \sqrt{2} = 0.707 I_m \quad \text{或} \quad I_m = \sqrt{2} I \quad (1-4)$$

$$U = U_m / \sqrt{2} = 0.707 U_m \quad \text{或} \quad U_m = \sqrt{2} U \quad (1-5)$$

通常所说的交流电压 220V, 就是指有效值, 实际上其最大值是 $220 \times \sqrt{2} = 311\text{V}$ 。

有效值用途很广, 电气设备铭牌上标注的电压和电流值, 一般交流电流表和电压表上的读数都是指有效值。

例 1.2 比较图 1-4 中的两个交流电流 i_1 和 i_2 相同和不同之处?

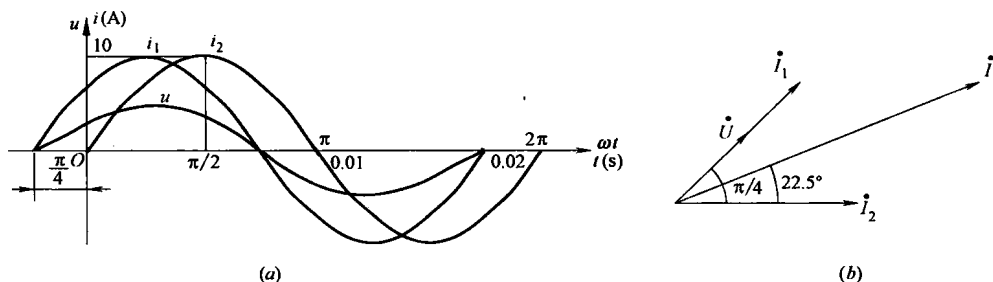


图 1-4 正弦量 i_1 、 i_2 和 u 的波形图及用相量表示的相量图

(a) 正弦曲线表示的电流电压; (b) 相量表示的电流电压

解 图中 i_1 和 i_2 的最大值相同均为 $I_m = 10\text{A}$, 可算出其有效值 I_1 和 $I_2 = 10/\sqrt{2} = 7.09\text{A}$ 。

i_1 和 i_2 变化一周所用时间均为 0.02 秒, 即 $T = 0.02\text{s}$, 可算出频率必相同即 $f = 1/T = 1/0.02 = 50\text{Hz}$, 角速度均为 $\omega = 2\pi f = 2 \times 3.14 \times 50 = 314\text{rad/s}$ 。总之, i_1 和 i_2 的大小和变化快慢都是相同的。

i_1 和 i_2 的不同之处是初相角, 令 φ_1 和 φ_2 分别表示 i_1 和 i_2 的初相角, $\varphi_1 = \frac{\pi}{4}$, $\varphi_2 = 0$ 则 i_1 和 i_2 的数学表达式为:

$$i_1 = I_m \sin(\omega t + \varphi_1) = 10 \sin\left(314t + \frac{\pi}{4}\right) \quad (\text{A})$$

$$i_2 = I_m \sin(\omega t + \varphi_2) = 10 \sin 314t \quad (\text{A})$$

3. 初相角与相位差角

正弦量如电流 $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ 中, 称 $(\omega t + \varphi)$ 为相位角, 当 $t = 0$ 时的相位角就称为初始相位角, 简称初相角, 即“ φ ”角。

从图 1-4 中可看出: 当 $t = 0$ 时, i_1 的瞬时值 $i_1(0) > 0$, $\varphi_1 > 0$ (即 φ_1 角为正); i_1 从零值到坐标原点之间为 $\frac{\pi}{4}$ 角, 所以确定 $\varphi_1 = \frac{\pi}{4}$ 。而 i_2 在 $t = 0$ 时为零, 所以 $\varphi_2 = 0$ 。

由于正弦量之间存在着初相角的差异, 称其为“相位差”, 常以“ φ ”表示, 例如 i_1 与 i_2 之间的相位差 $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\pi}{4}$ 。

同时, 两个同频率而不同物理量的正弦量也可以比较。图 1-4 中的电压 u 和电流 i_1 其初相角相同, 电工术语称为“同相”; 电压 u 与 i_2 比较时, 因 u 先达到最大值称为“导前” i_2 , 导前角 $\varphi = \frac{\pi}{4}$; 也可以说 i_2 滞后 u , 且 φ 角为 $\frac{\pi}{4}$ 。

当 $\varphi = \pi$ 或 180° 时, 称两正弦量为“反相”。

应该指出不同频率的正弦量不能比较相位。

后面还会提到负载两端电压 u 与流入负载中的电流 i 的相位差 φ , 以及“ φ ”的余弦, 即“ $\cos\varphi$ ”(功率因数)等重要概念。

二、相量的概念

为方便同频率正弦量之间的运算, 如 $i_1 + i_2$, 特选用数学中的“复数”来表示正弦量。用复数表示的正弦量不再是正弦量, 也不再是复数, 就称其为“相量”。

1. 用复数表示正弦量的条件

复数是由“模”和“辐角”两个要素而确定的; 而正弦量则由最大值或有效值、初相角和频率三个要素确定的。按说它们之间无法进行替代。但是正弦量之间的运算必须在频率相同的条件下进行, 不涉及不同频率的正弦量计算。所以正弦量的频率或周期这个要素可不必顾及。这就使得用复数表示正弦量成为可能。

2. 如何用复数表示正弦量

(1) 用复数的模代表正弦量的幅值或有效值;

(2) 用复数的辐角代表正弦量的初相角。

新产生出来的第三量就称为“相量”。

3. 相量表示方法

不论正弦量是电压还是电流, 均用大写英文字母, 并在其上方加“ $\cdot$ ”表示新的相量。

例如电压相量可以写成“ $\dot{U}_m$ ”, 称最大值相量, $\dot{U}_m = U_m \angle \varphi_u$, 其中 φ_u 为电压 u 的初相角。也可写成有效值相量“ $\dot{U}$ ”, 即 $\dot{U} = U \angle \varphi_u$ 。

同理, 电流相量可以写成“ $\dot{I}_m = I_m \angle \varphi_i$ ”或“ $\dot{I} = I \angle \varphi_i$ ”。

例 1.3 用相量表示图 1-4 中的电压 u 和电流 i_1 、 i_2 。

解 从图 1-4 可看出电流 i_1 的最大值 $I_m = 10\text{A}$, 其有效值 $I = I_m / \sqrt{2} = 10 / \sqrt{2} = 7.07\text{A}$; 初相角 $\varphi_1 = \frac{\pi}{4}$ 。所以电流 i_1 的相量可以写成下述两种:

$$\dot{I}_{1m} = 10 \angle \frac{\pi}{4} (\text{A})$$

$$\dot{I}_1 = 7.07 \angle \frac{\pi}{4} (\text{A})$$

同理可写出电流 i_2 的相量 $\dot{I}_{2m} = 10 (\text{A})$; $\dot{I}_2 = 7.07 (\text{A})$ 。

电压 u 的最大值 $U_m = 100 (\text{V})$, 有效值 $U = 100 / \sqrt{2} = 70.7 (\text{V})$, 它的初相角与 φ_1 相同, 所以电压 u 的相量为:

$$\dot{U}_m = 100 \angle \frac{\pi}{4} (\text{V}); \dot{U} = 70.7 \angle \frac{\pi}{4} (\text{V})$$

以上的表示只是复数的一种表示法, 称其为极坐标表示法。此法适于复数的乘、除运算。表示法中的“ $\angle$ ”只是个符号, 只要将角度的具体值标在上述符号之内即可。

例 1.4 通过相量运算求 $i_1 + i_2 = i$ 。

解

$$\begin{aligned}\dot{I}_{1m} &= 10 \angle \frac{\pi}{4} = 10 \times \cos \frac{\pi}{4} + j10 \times \sin \frac{\pi}{4} \\ &= 7.07 + j7.07 (\text{A})\end{aligned}$$

$$\dot{I}_{2m} = 10 (\text{A})$$

$$\dot{I}_{1m} + \dot{I}_{2m} = 7.07 + j7.07 + 10 = 17.07 + j7.07 = I_m \angle \varphi_i$$

其中 I_m 为相量 “ $\dot{I}_{1m} + \dot{I}_{2m}$ ” 的模, $I_m = \sqrt{17.07^2 + 7.07^2} = 18.5 (\text{A})$ 。而 φ_i 为 $\dot{I}_{1m} + \dot{I}_{2m}$ 的初相角, $\varphi_i = \tan^{-1} \frac{7.07}{17.07} = 22.5^\circ$ 。

所以新的相量 $\dot{I}_m = \dot{I}_{1m} + \dot{I}_{2m} = 18.5 \angle 22.5^\circ (\text{A})$ 相量图见图 1-4 (b)。

新相量 $\dot{I}_m$ 代表的正弦量 $i = i_1 + i_2$ 的频率与 i_1 、 i_2 相同, 均为 50Hz, 所以新的正弦量 i 为:

$$i = 18.5 \sin(314t + 22.5^\circ) (\text{A})$$

1.3 三相交流电源及其输送

一、“三相”的概念

利用正弦交流电相互之间的相位差角, 俄罗斯人多里沃早在 1891 年发明了三相交流发电机。即用一台发电机同时发出三个交流电源, 这三个交流电源的电压最大值相等, 频率相同, 而相位角则互差 120° 。称此为三相交流对称电压。我们目前使用的交流电源就是这种三相交流电源。

三相交流对称电压的波形图如图 1-5 (a) 所示。

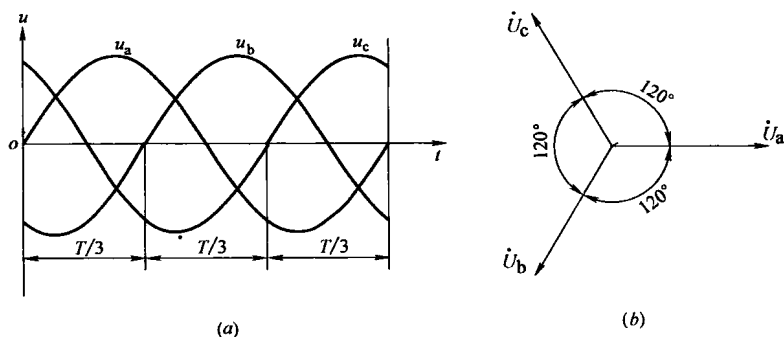


图 1-5 三相交流对称电压

(a) 波形图; (b) 相量图

若用数学表达式表示的三相交流对称电压如下:

$$\left. \begin{aligned}u_a &= U_m \sin \omega t \\ u_b &= U_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ u_c &= U_m \sin(\omega t + 120^\circ)\end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

若用相量表示的三相交流对称电压如下:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_a &= U \angle 0^\circ = U \\ \dot{U}_b &= U \angle -120^\circ = U \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \\ \dot{U}_c &= U \angle 120^\circ = U \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \end{aligned} \right\} [1] \quad (1-7)$$

式中 $\dot{U}_a$ 、 $\dot{U}_b$ 、 $\dot{U}_c$ 是有效值相量，而 U 是它们的模，即有效值。也可以用相量图表示，如图 1-5 (b) 所示。

二、三相电源的输送

三相交流发电机发出的（线）电压通常为 10kV 左右。这样的电压输送距离宜在 20km 之内。远距离输电时要提高输电电压。

图 1-6 是从发电厂到用户的输配电过程示意图。由各种电压等级的电力线路将一些发电厂、变电所和用户联系起来的一个发电、输电、变电、配电和用户的整体，叫做供电系统（电力系统）。而供电系统中，由变电所和各种不同电压等级的电力线路的组合称为电力网。电力网是联系发电厂和用户的中间环节。

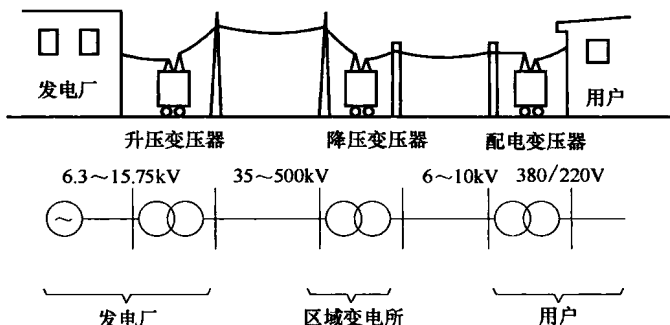


图 1-6 从发电厂到用户的输配电过程示意图

1. 输电线的数量 因为三相电源在发电机内部可联接成星形（Y）或三角形（D）如图 1-7 所示。所以每一路输电线只用三条即可。

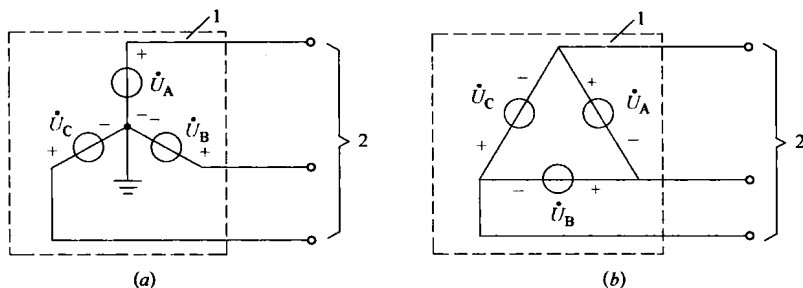


图 1-7 三相电源的联接

(a) 星形（Y）；(b) 三角形（D）

1—三相交流发电机；2—三条输电线

〔1〕 这是复数的另一种表示法，称为代数表示法，此方法适于复数的加减运算。其中的“j”为虚数的单位，即“ $\sqrt{-1}$ ”。