

高等职业技术教育工程造价管理专业系列教材

# 电气工程识图与施工工艺

赵宏家 主 编  
侯志伟 魏 明 副主编

重  
庆  
大  
学  
出  
版  
社

## 内容提要

本书是高等职业技术教育工程造价管理专业系列教材之一。本书以贯彻国家标准、规范为指导思想,从应用实践入手,介绍建筑电气工程图的识读方法与建筑电气工程的施工工艺。

本书的内容分为3个部分,一是建筑电气工程识图基本知识,考虑有的专业没有开设电工学课程,补充了交流电的基本知识;二是强电部分,主要内容有:变配电工程、照明工程、动力工程、建筑防雷接地工程,并结合电气工程实例讲解系统图和平面图的识读方法与施工工艺;三是弱电部分,主要内容有:安全防范系统、火灾报警与消防联动系统、通信网络系统、综合布线系统,以系统分析为主,通过部分电气工程实例讲解系统图和平面图的识读方法。

本书适用于电气类和建筑类本、专科及高职等不同层次相关专业的教学用书,也可作为职业培训教材及安装工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电气工程识图与施工工艺/赵宏家主编. —重庆:重庆大学出版社,2003.10

高等职业技术教育工程造价管理专业系列教材

ISBN 7-5624-2964-2

.电... .赵... . 建筑工程—电气设备—识图—高等教育:技术教育—教材  
建筑工程—电气设备—工程施工—高等教育:技术教育—教材 . TU85

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 065975 号

高等职业技术教育工程造价管理专业系列教材

电气工程识图与施工工艺

赵宏家 主 编

责任编辑:林青山 版式设计:林青山

责任校对:蓝安梅 责任印制:秦 梅

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鹤盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址: <http://www.cqup.com.cn>

邮箱: [fxk@cqup.com.cn](mailto:fxk@cqup.com.cn) (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆现代彩色书报印务有限公司印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:21.5 字数:523千

2003年10月第1版 2005年2月第2次印刷

印数:5 001—8 000

ISBN 7-5624-2964-2/TM·93 定价:28.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书  
制作各类出版物及配套用书,违者必究。

## 系列教材编委会

名誉主任 赵月望 张 健

主 任 武育秦

副 主 任 杨树清 张鸽盛 廖天平

编 委 (以姓氏笔画为序)

刘仁松 吴心伦 李景云 余 江

但 霞 何永萍 杨树清 杨 宾

张宜松 武育秦 赵宏家 秦树和

陶燕瑜 盛文俊 廖天平

# 序

国家教育部教高[2000]2号文《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》中指出：“高职高专教育要全面贯彻第三次全国教育工作会议和《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，抓住机遇，开拓进取。今后一段时期，高职高专教育人才培养工作的基本思路是：以教育思想、观念改革为先导，以教学改革为核心，以教学基本建设为重点，注重提高教学质量，努力办出特色，力争经过几年的努力，形成能主动适应社会经济发展需要、特色鲜明、高水平的高职高专教育人才培养模式。”为全面贯彻文件精神，重庆大学城市学院决定将工程造价管理专业进行教学改革试点，以期办出高职高专的特色，培养出高质量的、适应生产、建设、管理、服务第一线需要的，德、智、体、美等方面全面发展的高等技术应用性人才。

工程造价管理专业系国家教育部列为全国高等职业技术教育教学改革试点专业。按照国家教育部的规定要求，专业教学改革试点的主要内容是：对专业的培养目标、人才规格、教学模式、课程设置、教学内容和教材建设等方面进行全面、系统的研究与改革试验；要在研究专业知识能力结构、改革现有课程设置体系、建立新的教学模式、加强动手能力培养的同时，还应进行与之相适应的专业系列教材建设。正是根据上述规定要求，我们在学院教学改革领导小组的指导下，成立了系列教材编审委员会，并由重庆大学出版社具体组织，在原专业系列教材的基础上重新改版编写。它包括《建筑工程定额与预算》、《安装工程定额与预算》、《装饰工程定额与预算》、《工程招投标与合同管理》、《建筑工程造价管理》、《建筑识图与房屋构造》、《建筑工程施工工艺》、《电气工程识图与施工工艺》、《管道工程识图与施工工艺》、《工程技术经济》、《工程成本会计学》、《专业英语》12本主要教材。由武育秦教授担任编委会主任，杨树清副教授、张鸽盛社长、廖天平副教授担任编委会副主任，并负责系列教材出版的编审工作。

本专业系列教材主要是为满足工程造价管理专业教改的需要而编写的,除邀请部分外校教师担任教材编写工作以外,其余均由参加教改试点专业授课的教师在总结多年教学改革试点经验的基础上,对原 11 本系列教材内容进行了较大的增删和改写,如将原《建筑工程材料》教材删去未列入本系列教材中,但同时增加了《建筑工程造价管理》和《建筑技术经济》、《专业英语》教材;有的教材还重新进行了组合,如将原《安装工程识图》和《安装工程施工工艺》教材,改为《电气工程识图与施工工艺》和《管道工程识图与施工工艺》教材,使教材内容衔接更加紧密和切合实际。总之,该系列教材进一步突出了理论知识的应用,加强了实践能力的培养,体现了高等职业技术教育和高等工程专科教育的特色。由于这次改版编写时间仓促,专业水平有限,教材中的不妥和错漏之处在所难免,敬请广大读者与同行专家批评指正。

系列教材编委会  
2002 年元月

# 前 言

建筑电气工程包括强电(建筑电气)和弱电(智能建筑)。强电主要指电能的分配和使用,其特点是电压高、电流大、频率低,主要考虑的问题是节能、安全。其分配与控制用的导线截面与电气装置的占空性大,规模也比较大,是建筑物中最基本和最常见的工程,因此平面图的识读是重点。弱电主要指信息的传送与控制,其特点是电压低、电流小、频率高,主要考虑的问题是信息传送的效果问题。弱电系统的前端设备多是高、新技术产品,发展速度比较快,更新换代也比较快,需要的专业知识面也非常宽,但其配线工程和信息终端接口相对比较简单,施工工艺与强电也基本相同,重点是系统介绍和系统图的识读。

本书的内容分为3个部分:第1章讲述交流电基础知识和建筑电气工程识图基本知识,第2~5章讲述强电知识,主要内容有:变配电工程、照明工程、动力工程、建筑防雷接地工程,并结合电气工程实例讲解系统图和平面图的识读方法与施工工艺。第6~9章讲述弱电知识,主要内容有:安全防范系统、火灾报警与消防联动系统、通信网络系统、综合布线系统,以系统分析为主,通过部分电气工程实例讲解系统图和平面图的识读方法。

本书适用于电气类和建筑类本、专科及高职等不同层次相关专业的教学用书,也可作为职业培训教材及安装工程技术管理人员的参考用书。

本书由重庆大学赵宏家任主编,侯志伟、魏明任副主编。第1章及附录由赵宏家、刘军生编写;第2、3章由魏明编写;第4章由张宝平编写;第5章由施毛第编写;第6、7章由侯志伟、徐静编写;第8、9章由侯志伟、唐琰年编写。全书由赵宏家负责编写组织及整体统稿工作。

在本书编写过程中,编者查阅了大量公开或内部发行的技术书刊和资料,吸取了许多有益的知识,也借用了其中大量的图表及内容,在此向原作者致以衷心的感谢。在本书编写过程中,还得到了重庆大学城市学院领导及有关人士的大力支持,特别是本系列教材编

委会组织了相关专家通审全文,提出了许多好的意见,在此向他们表示真诚的感谢。

建筑电气工程各领域发展迅速,学科综合性越来越强,虽然编写时力求做到内容全面、通俗易懂,限于作者自身专业水平,书中难免存在缺漏和不当之处,敬请各位同行、专家和广大读者批评指正。

编者

2003年6月

# 第 1 章

## 建筑电气工程识图基本知识

建筑电气工程的主要功能是输送和分配电能、应用电能和传递信息,为人们提供舒适、便利、安全的建筑环境。电能的应用主要是交流电(工频强电),信息传递主要是高频弱电或直流电。本章主要介绍交流电的基本知识、建筑电气工程图的特点和建筑电气工程中常用的管材、线材。

### 1.1 交流电的基本知识

由于三相交流电在生产、输送和应用等方面有很多优点,因此交流电力系统都是采用三相三线制供电,三相四线制配电或三相五线制(增加一条接地保护线)配电。所谓三相四线制就是 3 条相线(火线)1 条零线的供电体制。3 条相线具有频率相同、幅值相等、相位互差 120° 的正弦交流电压,称为三相对称电压。而单相交流电就是三相交流电路中的一相,因此三相交流电路可视为 3 个特殊的单相电路组合。

#### 1.1.1 单相交流电

##### 1) 交流电的概念

大小和方向随时间做周期性变化的电压或电流统称为交流电。以交流电的形式产生电能或供给电能的设备称为交流电源,用交流电源供电的电路称为交流电路。

交流发电机发出的交流电一般都按正弦规律变化。如果将一个负载(电热器 R)接到这种电源上,通过负载的电流  $i$  也将按正弦规律变化。以横坐标表示时间  $t$ ,以纵坐标表示流过负载的电流  $i$  的大小和方向,那么这个正弦交变电流随时间变化的规律,就可以形象地用一条正弦曲线表示出来,如图 1.1 所示。

与图 1.1 所对应的正弦交变电流  $i$ ,可以用如下的数学式表达:

$$i = I_m \sin t \quad (1.1)$$



图 1.1 正弦交变电流

交流电和直流电是有明显区别的。交流电的大小和方向总是随时间变化的,交流电源并无正负极之分,交变电流一会儿从电源上端流出,一会儿从电源上端流入,电路中电流的方向总是不停地变化。而直流电则总是由电源的正极流出,流入电源的负极,电流的方向始终不变,而且电流的大小也总是保持着稳定的数值。

## 2) 正弦交流电的特征量

式(1.1)如果用电动势表示,即:

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (1.2)$$

可以做出正弦交变电动势  $e$  的波形如图 1.2 所示。可见正弦电动势  $e$  的特征可由最大值  $E_m$ 、角频率  $\omega$  和初相角  $\varphi$  这 3 个参数进行确定。因此称这 3 个参数为正弦量的特征量,亦称为正弦量的三要素。

### (1) 周期与频率

周期和频率都是表征交流电变化快慢的。正弦量变化一个循环的时间称为周期,用  $T$  表示,它的单位是秒(s)。周期越短,表明交流电变化越快。

交流电 1 s 变化的次数(或周期数)称为交流电的频率,用  $f$  表示,单位是赫[兹](Hz)。我国发电厂发出的交流电的频率均为 50 Hz,这一频率为我国工业用电的标准频率,简称工频。由定义可知,频率与周期互为倒数,即:

$$f = 1/T \quad \text{或} \quad T = 1/f \quad (1.3)$$

交流电变化的快慢除了用周期和频率表示外,还可以用角频率  $\omega$  表示,它在数值上等于正弦交流电每秒所经历的电角度(弧度数)。因为正弦交流电每一周期  $T$  时间内经历了  $2\pi$  弧度的电角度(见图 1.2),所以角频率为:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi / T \quad (1.4)$$

### (2) 相位和初相位

式(1.2)中的  $(\omega t + \varphi)$  反映了正弦量变化的进程,称为相位角,简称相位。 $\varphi$  是当  $t=0$  时的相位角,即:

$$\varphi = (\omega t + \varphi) |_{t=0}$$

故称  $\varphi$  为初相角或初相位,简称初相,它的单位是弧度(rad)或度。初相位的绝对值一般规定用小于或等于  $180^\circ$  的角表示,即  $|\varphi| \leq 180^\circ$ 。

### (3) 同频率正弦量的相位差

为了比较同频率的正弦量的相位关系,引入相位差的概念。顾名思义,相位差就是两个同频率正弦量的相位之差,用  $\Delta\varphi$  表示。

例如:有两个同频率的正弦电流

$$i_1 = I_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$i_2 = I_{2m} \sin(\omega t + \varphi_2)$$

由上述定义,得两电流的相位差为:

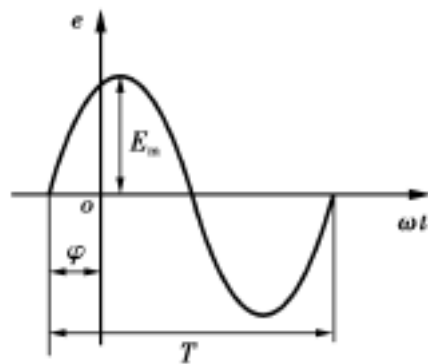


图 1.2 正弦电动势的波形

$$= (\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (1.5)$$

上式表明, 两个同频率正弦量的相位差就等于它们的初相之差。

当两个同频率的正弦量的相位差  $\varphi = 0$  时, 即  $\varphi_1 = \varphi_2$  时, 如图 1.3(a) 所示,  $i_1$  与  $i_2$  同时达到零值(或最大值), 称它们同相; 当  $\varphi > 0$  时, 即  $\varphi_1 > \varphi_2$ , 如图 1.3(b) 所示,  $i_1$  先于  $i_2$  达到零值(或最大值), 称  $i_1$  超前  $i_2$  一个  $\varphi$  角, 也可以称  $i_2$  滞后  $i_1$  一个  $\varphi$  角; 当  $\varphi = \pm \pi$  时, 如图 1.3(c) 所示,  $i_1$  若达到正的最大值,  $i_2$  与此同时达到负的最大值, 就称这两个正弦量反相。

必须注意, 超前、滞后是相对的。例如在 1.3(b) 中,  $i_1$  超前  $i_2$  一个  $\varphi$  角, 也可以说  $i_1$  滞后  $i_2$  一个  $(2\pi - \varphi)$  角。为了避免混乱, 规定  $|\varphi| < \pi$ 。

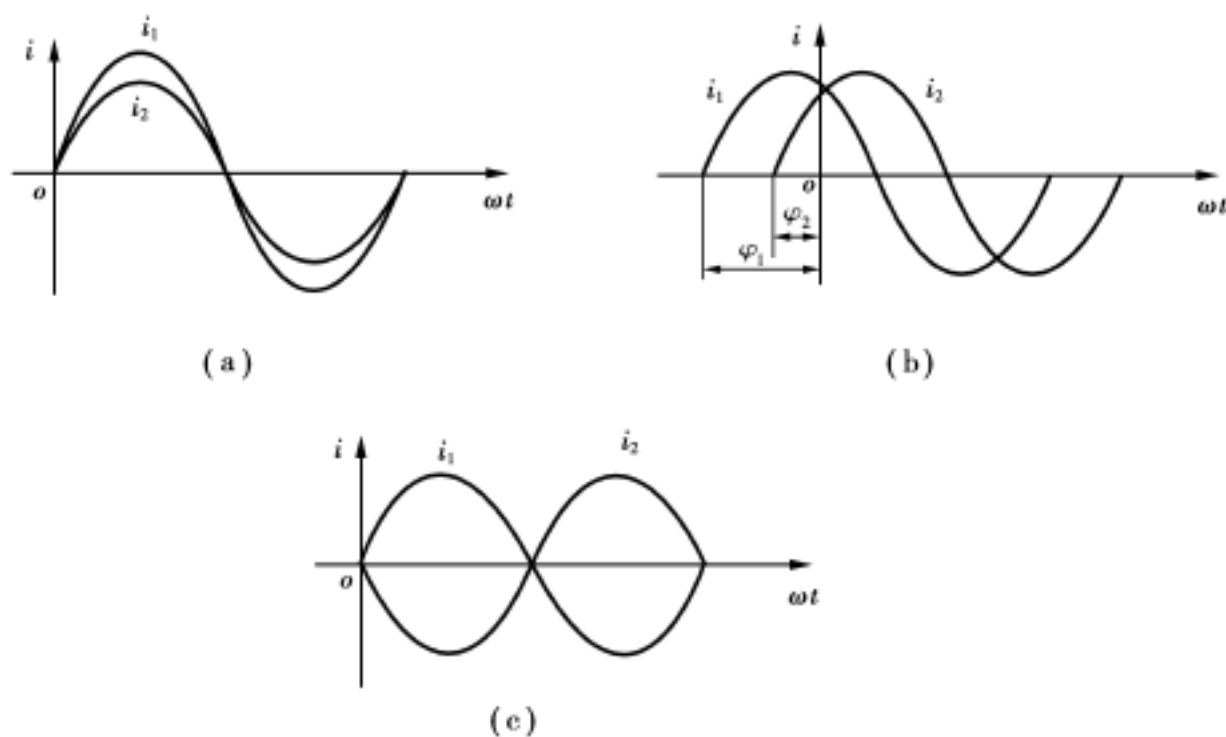


图 1.3 正弦量的相位差

### 3) 正弦交流电的有效值

由于正弦量随时间瞬息变化, 不使用它来计量交流电的大小, 因而工程中常用有效值表示正弦量的大小。

何为交流电的有效值呢? 在物理学里已经知道, 若把一交变电流  $i$  和一直流电流  $I$  分别通过两个等值的电阻  $R$ , 如果在相同的时间内它们产生的热量相等, 则此直流电流值就叫做该交流电流的有效值。因此, 交变电流的有效值实际上就是在热效应方面同它相当的直流电流值。按照规定, 有效值都用大写字母表示, 和表示直流的字母一样, 例如  $I$ ,  $U$  及  $E$  分别表示交流电流、交流电压及交流电动势的有效值。

对于给定的交流电来说, 其有效值为一常数, 且交流电的最大值越大, 其有效值也越大。由实验与计算的结果证明, 正弦交流电流的有效值与其最大值之间存在一个简单的关系, 即:

$$I = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m = 0.707 I_m \quad (1.6)$$

同理, 正弦交流电压的有效值为 
$$U = \frac{1}{\sqrt{2}} U_m = 0.707 U_m \quad (1.7)$$

这说明, 正弦交流电的有效值等于其最大值的  $1/\sqrt{2}$  倍或 0.707 倍。

工程计算与实际应用中所说的交流电压和电流的大小, 都是指它的有效值。电机、电器等的额定电压、额定电流都是用有效值来表示的。例如, 说一个灯泡的额定电压是 220 V, 某台电动机的额定电流是 10 A, 都是指其有效值, 一般的电流表和电压表的刻度(读数)也是根据有效值来定的。

#### 4) 相量的概念与正弦量的相量表示法

正弦量可以用三角函数表示, 也可以用波形图表示。但是, 利用三角函数表达式进行正弦量计算是非常繁琐的。我们知道, 由两个实数决定的物理量可以用向量或复数表示, 如力、速度等, 因此正弦量也可以用向量或复数表示而进行计算。

与三角函数表达式和波形图一样, 利用复平面上的旋转向量可以完整地体现正弦量的 3 个特征量。例如有一个正弦量:

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

今在复平面上作它的旋转向量。令向量的长度等于正弦电流的幅值  $I_m$ ;  $t=0$  时, 向量与横轴正向之间的夹角等于正弦电流的初相角; 向量以  $\omega$  的速度按逆时针方向旋转, 便得到图 1.4 所示的旋转向量。从图中不难看出, 旋转向量任意瞬时在虚轴上的投影正是此时正弦量的瞬时值。可见, 用旋转向量可以完整地表达一个正弦量。

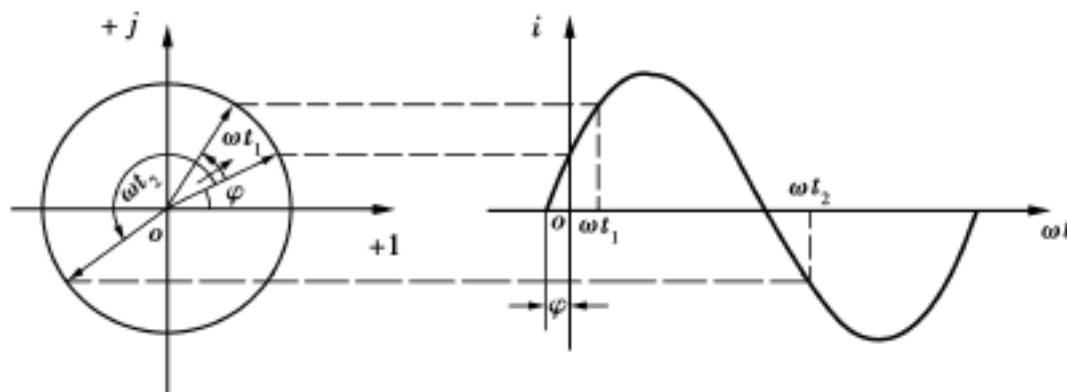


图 1.4 旋转向量与正弦量的关系

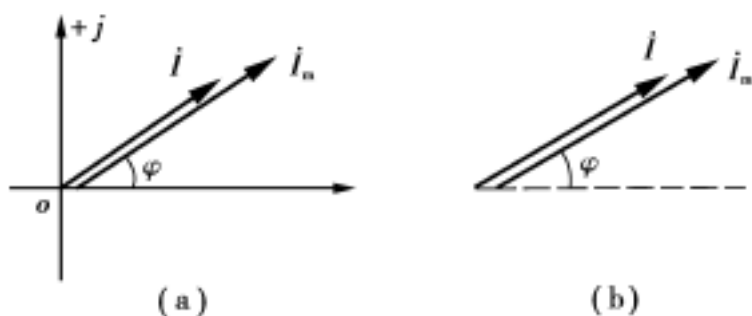


图 1.5 正弦量的相量图

前面已经提及, 我们主要关心正弦量的幅值(或有效值)和初相两个特征量。因此向量可不必旋转, 只需在复平面上画出表示  $t=0$  时正弦量的幅值(或有效值)和初相的向量, 如图 1.5(a) 所示。为使图面清晰, 复平面的实轴与虚轴亦可省去, 如图 1.5(b) 所示。为了表示与空间向量(如力、速度等)有别, 把正弦量在复平面上的向量图称为相量图, 把表示随时间按正弦规律变化的正弦量向量称为相量, 把用相量表示正弦量的幅值(或有效值)和初相的方法叫正弦量的相量表示法。并且对正弦电压、电流的幅值相量用  $\dot{U}_m$ ,  $\dot{I}_m$  表示, 有效值相量用  $\dot{U}$ ,  $\dot{I}$  表示。例如:

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

其幅值相量的复数表示式为:

$$\dot{U}_m = U_m \quad u = U_m(\cos \omega t + j\sin \omega t) \quad (1.8)$$

有效值相量的复数表示式为:

$$\dot{U} = U \quad u = U(\cos \omega t + j\sin \omega t) \quad (1.9)$$

综上所述, 正弦量的相量表示法有两种形式: 相量图和相量式(复数式)。

### 1.1.2 单一参数的交流电路

由于交流电路中的电压、电流的大小和方向随时间做周期性的变化, 因而交流电路的分析计算比直流电路复杂。例如在直流电路中, 由于直流电的大小和方向不随时间而变化, 对电感线圈不会产生自感电动势而影响其中的电流的大小, 故相当于短接; 对于电容, 在电路稳定后则相当于把直流电路断开(即隔直)。在交流电路中, 电感和电容对交流电流起着不可忽略的阻碍作用。因此首先分析电阻、电感、电容 3 个单一参数对交流电路的影响, 再分析多参数的电路就容易多了。

#### 1) 纯电阻电路

白炽灯、碘钨灯、电阻炉等负载, 它们的电感与电阻相比是极小的, 可忽略不计。因此这类负载所组成的交流电路, 实际上就可以认为是纯电阻电路, 如图 1.6(a) 所示。图中箭头所指电压、电流的方向为参考方向。

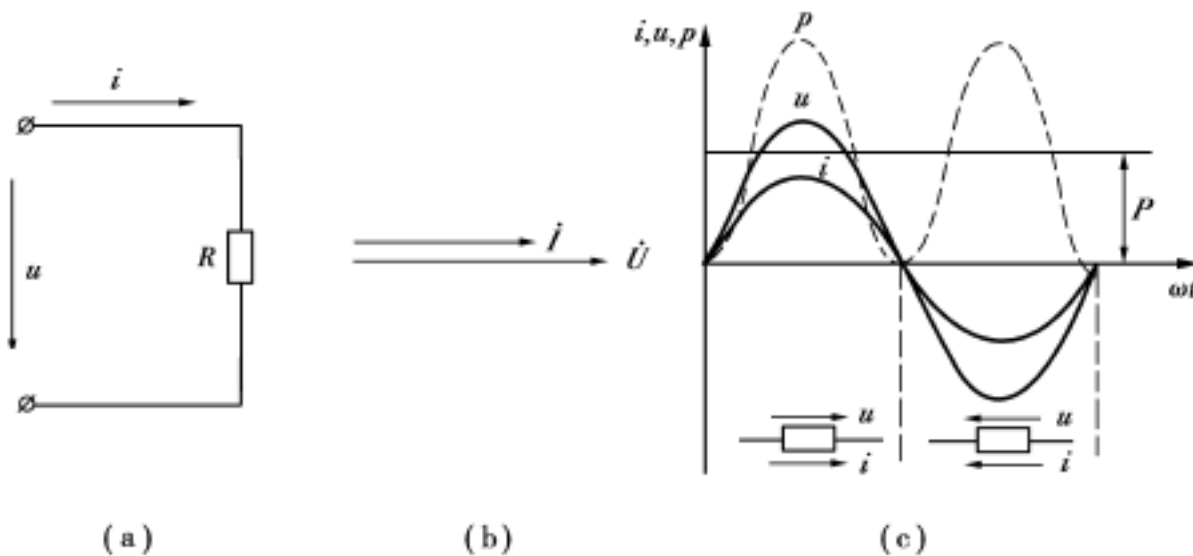


图 1.6 纯电阻电路及其相量图和波形图

#### (1) 电压与电流的关系

设加在电阻 R 两端的电压为:

$$u = U_m \sin \omega t \quad (1.10)$$

根据欧姆定律, 通过电阻的电流瞬时值为:

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t \quad (1.11)$$

由此可见

$$\dot{I}_m = \frac{\dot{U}_m}{R} \quad \text{或} \quad \dot{I} = \frac{\dot{U}}{R} \quad (1.12)$$

$$= u - i = 0$$

比较式(1.10)和式(1.11)可知,在正弦电压的作用下,电阻中通过的电流也按正弦规律变化,且电流与电压同相位。它们的相量图和波形图见图1.6(b)和(c)。

若用相量表示上述关系更为简捷,即:

$$\dot{I}_m = \frac{\dot{U}_m}{R} \quad \text{或} \quad \dot{I} = \frac{\dot{U}}{R} \quad (1.13)$$

上式称为电阻元件伏安关系的相量形式,它同时给出了电压与电流的数量关系和相位关系。

## (2) 电阻上的功率

瞬时功率:

在电阻上任意瞬间所消耗的功率称为瞬时功率,它等于此时电压瞬时值和电流瞬时值的乘积,即:

$$\begin{aligned} p_R &= ui = U_m \sin t \cdot I_m \sin t = U_m I_m \sin^2 t \\ &= \frac{U_m I_m}{2} (1 - \cos 2t) = UI (1 - \cos 2t) \\ &= UI + UI \sin(2t - \frac{\pi}{2}) \end{aligned} \quad (1.14)$$

上式表明,电阻的瞬时功率由两部分组成:恒定部分  $UI$  和时间  $t$  的正弦函数部分。由于正弦值不大于 1,所以  $P_R$  永远不为负值。这说明电阻在任一时刻总是消耗电能的。这一点从图 1.6(b) 中虚线所示功率的波形上也可以看出,其任一瞬时的波形总是正值。瞬时功率的波形可由式(1.14)画出:先画一条与横轴平行且距离为  $UI$  的直线,然后以这条直线为新的横坐标轴,画出正弦波形。它的振幅为  $UI$ ,角频率为  $2$ ,初相为  $-\frac{\pi}{2}$ 。

平均功率(也称有功功率):

瞬时功率的实用价值不大,在工程计算和测量中常用平均功率。顾名思义,平均功率即在一个周期内瞬时功率的平均值,用  $P_R$  表示。

$$P_R = \frac{1}{T} \int_0^T p_R dt = \frac{1}{T} \int_0^T UI(1 - \cos 2t) dt = UI \quad (1.15)$$

由于  $U = IR$ ,所以电阻上的平均功率还可以表示为:

$$P_R = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1.16)$$

由此得出结论:纯电阻电路消耗的有功功率等于其电压和电流有效值的乘积。它和直流电路的功率计算公式在形式上完全一样。有功功率的单位为瓦(W)或千瓦(kW)。

## 2) 纯电感电路

在交流电路中的电感线圈,如果其上的电阻可以忽略,则可把它看做一个纯电感电路。如日光灯镇流器、变压器线圈等,在忽略其电阻时,就是一个纯电感,电路如图 1.7(a) 所示。

(1) 电压与电流的关系

设通过线圈的电流为:

$$i = I_m \sin t \quad (1.17)$$

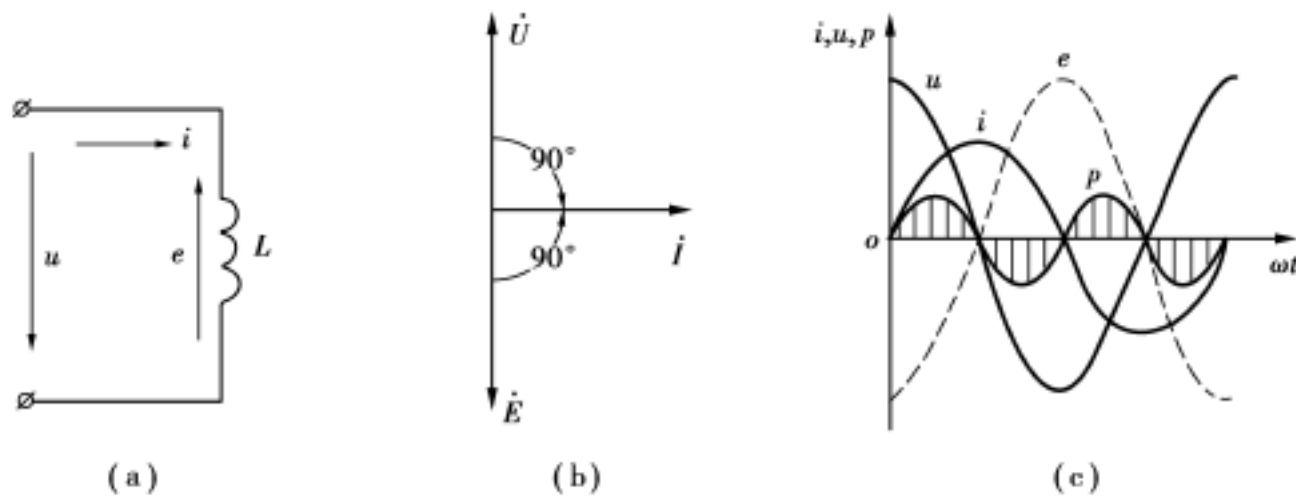


图 1.7 纯电感电路及其相量图和波形图

由电磁感应定律可得:

$$\begin{aligned}
 u &= -e = L \frac{di}{dt} = L \frac{d(I_m \sin t)}{dt} \\
 &= LI_m \cos t = LI_m \sin\left(t + \frac{\pi}{2}\right)
 \end{aligned} \quad (1.18)$$

由此可见:

$$\begin{aligned}
 U_m &= LI_m \text{ 或 } U = LI \\
 &= U_m - I_m = \frac{U_m}{2}
 \end{aligned} \quad (1.19)$$

比较式(1.17)和式(1.18)可知,纯电感电路中电流与电压是同频率的正弦量,电压超前电流  $\pi/2$  电角。电压和电流的相量图和波形图如图 1.7(b), (c) 所示。

上述关系用相量表示为:

$$\dot{U}_m = j LI_m \text{ 或 } \dot{U} = j LI \quad (1.20)$$

上式给出了电感电压与电流的数量关系及相位关系,还可以写成如下形式:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{jL} = \frac{\dot{U}}{jX_L} \quad (1.21)$$

式中  $X_L = L = 2L f$  称为电感阻抗(简称感抗),它的单位是欧[姆]( $\Omega$ )。在电感 L 一定时,感抗与频率成正比,即当  $f = 0$ (直流)时,  $X_L = 0$ ,此时如前所述,电感元件相当于短路;当  $f \rightarrow \infty$ ,  $X_L \rightarrow \infty$ , 近乎开路,这就是说电感具有高频扼流作用。

## (2) 电感线圈的功率

根据瞬时功率的定义得:

$$p_L = iu = I_m \sin t \cdot U_m \cos t = UI \sin 2t \quad (1.22)$$

上式表明,电感的瞬时功率  $p_L$  是一个按正弦变化的周期函数,它的频率是电压和电流频率的两倍,波形如图 1.7(c) 阴影部分所示。由波形可知,在第一和第三个  $1/4$  周期内,由于  $u$  和  $i$  都是正值(或都是负值),所以  $p_L$  为正值,这表明此时线圈向电源吸取能量,并将此能量转变为磁能储存在线圈中;第二和第四个  $1/4$  周期内,  $u$  和  $i$  方向相反,  $p_L$  为负值,表明此时线圈将储存的磁能又转变为电能送回电源。可见,电感元件在正弦交流电路中,时而取能,时而放能,且取与放的能量相等,故它在一个周期内的平均功率等于零,即:

$$P_L = \frac{1}{T} \int_0^T p_L dt = \frac{1}{T} \int_0^T UI \sin 2t dt = 0 \quad (1.23)$$

这表明,电感元件不消耗电源的能量,它是一个储能元件。

电感量不同的线圈,虽然它们的平均功率皆为零,但是它们与电源之间互相交换能量的数值不同。为了衡量不同线圈与电源进行能量交换的规模,把上述瞬时功率的最大值叫做无功功率,用  $Q_L$  表示,由式(1.22)得:

$$Q_L = UI = I^2 X_L = \frac{U^2}{X_L} \quad (1.24)$$

无功功率的单位是乏(var)\* 或千乏(kvar)。

### 3) 纯电容电路

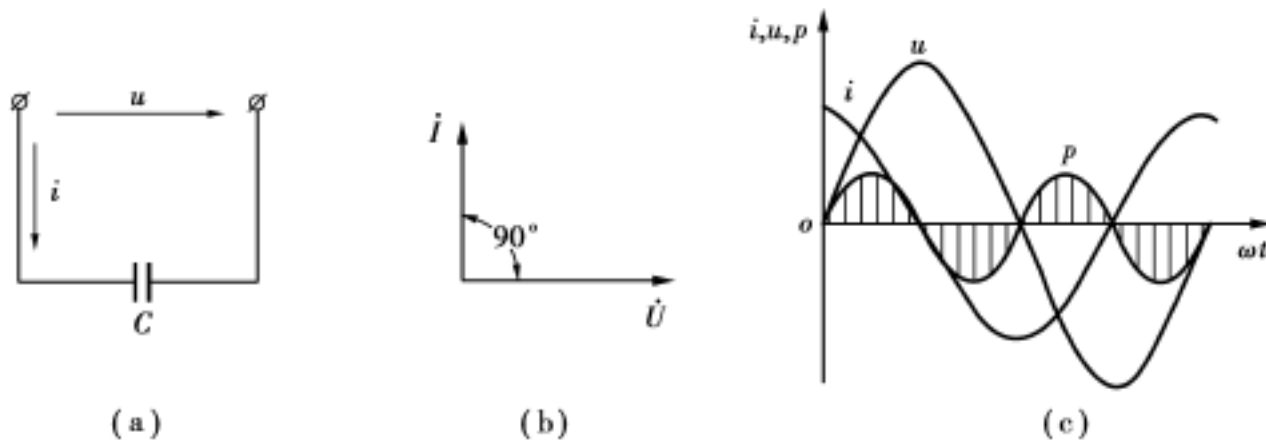


图 1.8 纯电容电路及其相量图和波形图

#### (1) 电压与电流的关系

电路如图 1.8(a) 所示。当电容  $C$  接入电压:

$$u = U_m \sin t \quad (1.25)$$

就导致电容器反复不断地充电、放电,因而电路中就不断地有电流通过。电流的大小为:

$$\begin{aligned} i &= C \frac{du}{dt} = C \frac{d(U_m \sin t)}{dt} = C U_m \cos t \\ &= C U_m \sin\left(t + \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned} \quad (1.26)$$

因此有  $I_m = C U_m$  或  $I = C U$

$$= \frac{u}{-j} - i = -\frac{1}{j} \quad (1.27)$$

比较式(1.25)和式(1.26)可知,纯电容电路中电压与电流是同频率的正弦量,电压滞后电流  $\pi/2$  电角。相量图和波形图如图 1.8(b) 和(c) 所示。

电容器上电压和电流用相量表示为:

$$\dot{I} = j C \dot{U} = \frac{\dot{U}}{-j1/(C)} = \frac{\dot{U}}{-jX_C} \quad (1.28)$$

\* IEC 采用乏(var)作为无功功率的单位名称和符号,但国际计量大会未通过 var 为 SI 单位,对无功功率单位名称和符号采用伏安(V·A)。

式中  $X_C = 1 / \omega C = 1 / 2\pi fC$  为电容阻抗, 简称容抗, 它的单位仍为欧[姆]。当  $C$  一定时,  $X_C$  与电源的频率  $f$  成反比。当  $f=0$  (直流) 时,  $X_C \rightarrow \infty$ , 电容器相当于开路, 即电容具有隔直流作用; 当频率  $f$  增高, 容抗随之减小,  $f \rightarrow \infty$  时,  $X_C \rightarrow 0$ , 此时电容器相当于短路, 即  $X_C$  对高频电流无阻碍作用。这就是常说的电容器具有通交流隔直流的特性。

## (2) 电容上的功率

由瞬时功率的定义得:

$$p_C = ui = U_m \sin \omega t \cdot I_m \cos \omega t = UI \sin 2\omega t \quad (1.29)$$

可见, 纯电容电路的瞬时功率也是以  $UI$  为幅值, 以  $2\omega$  为角频率随时间按正弦规律变化, 其波形如图 1.8(c) 阴影部分所示。由波形可知, 在第一和第三个  $1/4$  周期内, 电压  $u$  和电流  $i$  方向相同, 所以  $p_C$  为正值。这表明此时电源对电容器进行充电, 电容从电源吸取能量, 并以电场的形式储存在电容器中; 在第二和第四个  $1/4$  周期内, 电压  $u$  和电流  $i$  方向相反,  $p_C$  为负值。这表明此时电容器处于放电状态, 即把储存的能量释放出来, 送还电源。可见, 在正弦交流电路中, 电容器与电源总是不断地进行等量的能量交换, 故它在一个周期内的平均功率仍然为零, 即:

$$P_C = \frac{1}{T} \int_0^T p_C dt = \frac{1}{T} \int_0^T UI \sin 2\omega t dt = 0 \quad (1.30)$$

可见, 纯电容与纯电感一样, 不消耗电源的能量, 它也是一个储能元件。

为了描述电容器与电源之间能量交换的规模, 也相应地引入了无功功率的概念, 它的定义是:

$$Q_C = UI = I^2 X_C = \frac{U^2}{X_C} \quad (1.31)$$

无功功率  $Q_C$  的单位与电感  $Q_L$  相同。

例 1.1 在图 1.9(a) 中, 已知  $u = 220 \sqrt{2} \sin 314t \text{ V}$ ,  $R = 50 \Omega$ ,  $L = 159.24 \text{ mH}$ ,  $C = 64 \mu\text{F}$ , 试求各支路的电流  $i_R$ ,  $i_L$  和  $i_C$ , 并做相量图; 各元件上的功率  $P$ ,  $Q_L$  和  $Q_C$ 。

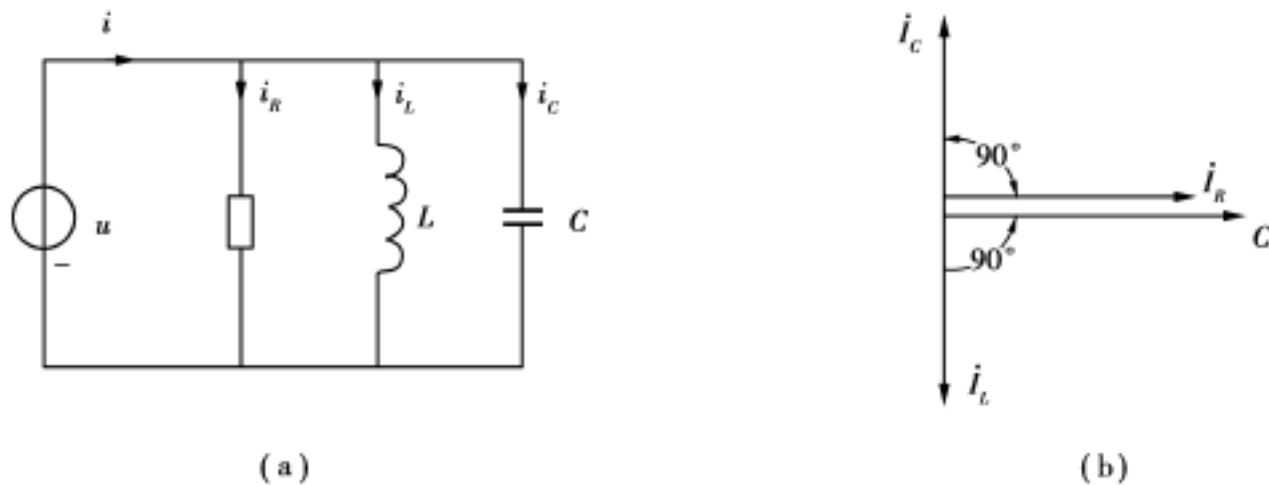


图 1.9 例 1.1 的电路图和相量图

解

求各支路电流。由已知条件, 感抗和容抗复数形式分别为:

$$\begin{aligned} jX_L &= j\omega L = j314 \times 159.24 \times 10^{-3} \\ &= 50 \angle 90^\circ \end{aligned}$$

$$-jX_C = -j \frac{1}{C} = -j \frac{1}{314 \times 64 \times 10^{-6}}$$

$$= 50 \quad -90^\circ$$

由已知条件,  $\dot{U} = 220 \quad 0^\circ \text{V}$ , 根据各元件伏安关系的相量形式可求得:

$$\dot{I}_R = \frac{\dot{U}}{R} = \frac{220 \quad 0^\circ}{50} \text{A} = 4.4 \text{A}$$

$$\dot{I}_L = \frac{\dot{U}}{jX_L} = \frac{220 \quad 0^\circ}{50 \quad 90^\circ} \text{A} = 4.4 \quad -90^\circ \text{A}$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}}{-jX_C} = \frac{220 \quad 0^\circ}{50 \quad -90^\circ} \text{A} = 4.4 \quad 90^\circ \text{A}$$

因此, 各电流的瞬时值表达式为:

$$i_R = 4.4 \sqrt{2} \sin 314 t \text{ s}^{-1} \text{A}$$

$$i_L = 4.4 \sqrt{2} \sin(314 t \text{ s}^{-1} - \frac{\pi}{2}) \text{A}$$

$$i_C = 4.4 \sqrt{2} \sin(314 t \text{ s}^{-1} + \frac{\pi}{2}) \text{A}$$

电压和电流的相量图如图 1.9(b) 所示。

按题意求各元件上的功率

$$P = UI_R = 220 \times 4.4 \text{ W} = 968 \text{ W}$$

$$Q_L = 4.4^2 \times 50 \text{ var} = 968 \text{ var}$$

$$Q_C = U^2 / X_C = 220^2 / 50 \text{ var} = 968 \text{ var}$$

### 1.1.3 RLC 的串联交流电路

在实际电路中, 纯电阻、纯电感和纯电容的单一参数的电路是不多见的, 常见的交流电路往往是同时具有几个参数按一定的方式连接起来。如电动机、变压器绕组, 可等效为一个内阻与一个纯电感相串联的电路; 带补偿电容器和电感镇流器的日光灯电路, 可等效为 R 与 L 的串联再与 C 并联的电路等。图 1.10 是 RLC 的 3 种元件串联起来的电路, 是一种具有普遍意义的电路。掌握了这种电路的分析计算方法, 对于 RL 的串联和 RC 的串联电路分析计算方法是相同的。

#### 1) 电压与电流的关系

根据图 1.10 所示电流、电压的参考方向, 由 KVL 得:

$$u = u_R + u_L + u_C \quad (1.32)$$

可以证明其相量形式也具有相同的关系, 即:

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C \quad (1.33)$$

又由纯电阻、纯电感和纯电容伏安关系的相量形式, 各元件上的电压为:

$$\dot{U}_R = R\dot{I}, \dot{U}_L = j \omega L \dot{I}, \dot{U}_C = -j \frac{1}{\omega C} \dot{I}$$