



# 现代民用建筑电气 工程设计与施工

胡国文 蔡桂龙 胡乃定 主编



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

# 现代民用建筑电气 工程设计与施工

---

胡国文 蔡桂龙 胡乃定 主编



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

本书是作者在多年来教学和工程设计及科研工作实践的基础上,为了适应 21 世纪形势不断发展的需要,面对教学和工程实际需要编写的。全书共分 16 章,主要内容有:民用建筑电气工程设计电路、电子技术基础知识,常用电机电器及电工测量仪表,建筑电气施工图的识读与绘制及计算机辅助设计方法,供电系统设计与施工,低压配电线路设计与施工,安全用电系统与防雷保护系统设计与施工,电气照明技术设计与施工,电梯系统设计与施工,给排水系统设计与施工,空调系统设计与施工,通信与 CATV 系统设计与施工,安全监视与保安系统设计与施工,消防系统设计与施工,现代智能化民用建筑电气设计与施工,现代民用建筑总体电气设计与施工及概预算等。

本书可作为建筑工程类和建筑电气类及电气工程类相关专业的本、专科和高等职业技术教育等院校的适用教材和参考书,并可为现代民用建筑电气工程设计与施工工作一些具体指导和参考,同时可作为从事建筑工程类和建筑电气类及电气工程类设计专业技术人员的培训教材和参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

现代民用建筑电气工程设计与施工/胡国文,蔡桂龙,胡乃定主编. —北京:中国电力出版社,2005

ISBN 7-5083-3002-1

I. 现... II. ①胡... ②蔡... ③胡... III. ①民用建筑-电气设备-建筑设计 ②民用建筑-电气设备-建筑安装工程-工程施工 IV. TU85

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 004518 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京铁成印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2005 年 6 月第一版 2005 年 6 月北京第一次印刷

278 毫米 × 1092 毫米 16 开本 43.25 印张 1095 千字 1 插页

印数 0001—4000 册 定价 70.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

# 前 言



现代民用建筑电气技术是以电能、电子和电气设备及电气技术为主要手段来创造、维持和改善人们居住或工作的生活环境的电、光、声、冷和暖环境的一门跨学科的综合性的技术科学。它主要涉及到建筑学、近代物理学、电工学、机械电子学、供配电技术、安全防范技术、通信技术、自动化技术、计算机技术等科学和技术。它是强电和弱电与具体建筑的有机结合。随着科学与技术的不断发展和形势发展的需要,还将产生许多新的变化,将会进一步向多功能的纵深方向和综合应用方向发展。

本书是作者在多年来从事该方面的教学和科研工作实践的基础上,为了适应该领域 21 世纪形势不断发展的需要,面对该领域的教学和工程实际需要,并应国家教育部全国高等学校教学研究中心“21 世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”研究课题的立项要求而编写的。其目的主要是作为建筑工程类和建筑电气类及电气工程类相关专业的本、专科加深加宽内容和配套的适用教材和参考书;并可为现代民用建筑电气设计与施工工作一些具体指导和参考。该书已于 2003 年 3 月被国家教育部全国高等学校教学研究中心列为“21 世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”研究课题的子课题教材编写项目。在编写过程中,本着培养面向 21 世纪应用型人才的要求和基础理论紧紧为应用服务的思想。在注意本书的系统性、理论性、适用性的基础上,充分注意设计和应用能力的提高及创新能力的培养。尽可能正确处理基础理论与应用之间的关系,使基础理论紧紧为应用服务;注意加强工程设计应用能力的提高;注意最新知识的介绍。其目的是让读者通过本书的系统学习,获得将现代电气技术知识应用于现代民用建筑电气工程设计中的基本应用能力及创新能力。

全书共分 16 章。主要内容有:民用建筑电气工程设计电路基础知识,电子技术基础知识,常用电机电器及电工测量仪表,建筑施工图的识读与手工绘制及计算机辅助设计方法,供配电系统设计与施工,低压配电线路设计与施工,安全用电系统与防雷保护系统设计与施工,电气照明技术设计与施工,电梯系统设计与施工,给排水系统设计与施工,空调系统设计与施工,通信与 CATV 系统设计与施工,安全防范与保安系统设计与施工,消防系统设计与施工,现代智能化民用建筑电气设计与施工,现代民用建筑总体电气设计与施工及概预算等。

本书第一章、第二章的 2.1~2.4 节由盐城工学院胡乃定研究员编写;第三章由盐城工学院孙宏国副教授编写;第四、十四、十五章由盐城工学院建筑设计院卜迎春工程师编写;第五、六章由江苏省电力公司盐城供电公司高级工程师蔡桂龙和工程师陆含杉、郑祥、唐云编写,并由蔡桂龙负责统稿;第七章由江苏省电力公司高级工程师祁建编写;第八、十章,十三章的 13.1~13.4 节,十六章,第二章的 2.5~2.7 节、前言、目录和附录由东南大学博士生、盐城工学院胡国文教授编写;第九章由盐城工学院陈益飞讲师编写;第十一章由盐城工学院金占云副教授编写;第十二章由盐城工学院朱明讲师编写;第十三章的 13.5~13.6 节

Qbafe/01

由盐城市科技局现代通讯公司陈永志工程师编写。全书的主编为胡国文、蔡桂龙、胡乃定，副主编为祁建、金占云、孙宏国、卜迎春、陈益飞、朱明、陈永志，全书由胡国文负责统稿和定稿及图形、符号的标准化审查。

本书在编写过程中得到了国家教育部全国高等学校教学研究中心和中国电力出版社的鼎力支持和指导，东南大学电气系博士生导师程明教授和东南大学建筑设计研究院副总工程师曹子容高工仔细审阅了本书书稿，提出了许多宝贵意见，同时本书在编写过程中还参阅了大量参考书籍（主要参考书目见参考文献），作者在此一并表示诚挚的谢意。

由于我们水平有限，加之时间短促，书中的缺点和错误将在所难免，恳切希望使用本书的广大读者提出批评和指正。

**编 者**

2005年1月

# 目 录

前言

## 第一章 现代民用建筑电气工程设计电路基本知识 1

- |                          |   |                       |    |
|--------------------------|---|-----------------------|----|
| 1.1 常用电工名词及计量单位和符号 ..... | 1 | 1.3 正弦交流电路的常用计算 ..... | 13 |
| 1.2 直流电路的常用计算 .....      | 6 | 1.4 单相交流电路的计算 .....   | 15 |
|                          |   | 1.5 三相交流电路的计算 .....   | 18 |

## 第二章 现代民用建筑电气工程设计常用电动机、电器及电工仪表 21

- |                    |    |                          |    |
|--------------------|----|--------------------------|----|
| 2.1 电力变压器 .....    | 21 | 2.5 民用建筑常用低压电器及其选择 ..... | 46 |
| 2.2 特殊用途的变压器 ..... | 28 | 2.6 常用继电器典型控制环节 .....    | 60 |
| 2.3 三相异步电动机 .....  | 29 | 2.7 民用建筑常用电工仪表 .....     | 65 |
| 2.4 单相异步电动机 .....  | 44 |                          |    |

## 第三章 现代民用建筑电气工程设计电子技术基础 71

- |                         |    |                     |    |
|-------------------------|----|---------------------|----|
| 3.1 常用晶体二极管及其应用 .....   | 71 | 运算放大电路 .....        | 83 |
| 3.2 稳压管及其简单直流稳压电路 ..... | 76 | 3.5 晶闸管及其整流电路 ..... | 90 |
| 3.3 晶体三极管及其放大电路 .....   | 77 | 3.6 数字电路基础 .....    | 97 |
| 3.4 直流放大电路与集成           |    |                     |    |

## 第四章 现代民用建筑电气工程施工图的识读与绘制 110

- |                               |     |                             |     |
|-------------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| 4.1 现代民用建筑电气施工图概述 .....       | 110 | 制方法 .....                   | 118 |
| 4.2 现代民用建筑电气施工图的识图方法及步骤 ..... | 112 | 4.4 建筑电气施工图的计算机辅助设计方法 ..... | 120 |
| 4.3 建筑电气施工图的手工绘               |     |                             |     |

## 第五章 现代民用建筑供配电系统设计与施工 138

- |                         |     |                      |     |
|-------------------------|-----|----------------------|-----|
| 5.1 现代民用建筑供配电系统概述 ..... | 138 | 5.2 电力负荷的分级和计算 ..... | 143 |
|-------------------------|-----|----------------------|-----|

5.3 现代民用建筑低压供电系统设计与施工 .....	157	5.5 自备电源和应急照明系统设计与施工 .....	171
5.4 高层民用建筑供电系统设计与施工 .....			179

## **第六章 现代民用建筑低压配电线路设计与施工** **199**

6.1 民用建筑常用电线、电缆的型号和截面选择 .....	199	6.4 电缆线路的设计与施工敷设 .....	212
6.2 现代民用建筑低压配电系统的配电方式 .....	204	6.5 室内低压线路的设计与施工 .....	226
6.3 低压架空线路的设计与施工 .....	209	6.6 现代民用建筑常用低压配电箱及其选择、布置和安装 .....	228

## **第七章 现代民用建筑安全用电系统与防雷保护系统设计及施工** **236**

7.1 现代民用建筑安全用电系统 .....	236	7.3 接地和接零装置的设计 .....	250
7.2 现代民用建筑的防雷保护与接地 .....	244	7.4 接地和接零装置的安装和施工 .....	256
		7.5 降低接地电阻的新方法及接地网改进和计算机辅助设计 .....	260

## **第八章 现代民用建筑电气照明技术设计与施工** **268**

8.1 现代民用建筑电气照明设计概要 .....	268	8.4 现代民用建筑电气照明供电系统设计与负荷计算 .....	294
8.2 常用照明电光源和灯具的选择、布置和安装 .....	272	8.5 现代民用建筑电气照明设计与施工 .....	304
8.3 照度计算方法和步骤 .....	285		

## **第九章 现代民用建筑电梯系统设计与施工** **322**

9.1 电梯的分类与构造 .....	322	系统的设计 .....	342
9.2 电梯的电气控制系统 .....	326	9.5 电梯的施工安装与竣工验收检查 .....	345
9.3 电梯的供电 .....	339		
9.4 现代民用建筑物内电梯			

## **第十章 现代民用建筑给排水系统电气设计与施工** **358**

10.1 概述 .....	358	给水系统及其电气控制 .....	364
10.2 水位控制式生活给水系统及其电气控制 .....	358	10.4 压力控制型无塔供水生活给水系统及其电气控制 .....	367
10.3 变频调速无塔恒压供水生活		10.5 消防给水系统及其电气控制 .....	368

10.6 热水供应系统及其电气控制 .....	370	10.8 现代民用建筑给排水系统 电气设计与施工 .....	375
10.7 排水系统及其电气控制 .....	373		

**第十一章 现代民用建筑空调系统设计与施工** **384**

11.1 概述 .....	384	11.5 空调系统的自动控制 .....	399
11.2 集中式空调系统的组成、 工作原理及特点 .....	385	11.6 现代民用建筑空调系统的 设计 .....	405
11.3 分散式空调系统 .....	394	11.7 空调系统的施工安装与调试 .....	418
11.4 半集中式空调系统 .....	395		

**第十二章 现代民用建筑通信与 CATV 系统设计与施工** **432**

12.1 概述 .....	432	12.5 现代民用建筑公用天线电视 (CATV) 系统设计与施工 .....	453
12.2 有线通信系统设计与施工 .....	434	12.6 卫星电视与有线电视系统 设计与施工 .....	460
12.3 无线通信系统设计与施工 .....	448		
12.4 现代民用建筑有线广播系统 设计与施工 .....	451		

**第十三章 现代民用建筑安全防盗与保安系统设计与施工** **473**

13.1 概述 .....	473	保安系统 .....	501
13.2 安全防盗与保安系统探测器 .....	474	13.5 现代民用建筑常用安全防盗与 保安系统设计 .....	508
13.3 现代民用建筑常用安全防盗 与保安系统 .....	482	13.6 安全防盗与保安系 统的施工 .....	514
13.4 现代民用建筑中的智能			

**第十四章 现代民用建筑消防系统设计与施工** **517**

14.1 概述 .....	517	14.5 自动喷水灭火系统的设计 与施工 .....	537
14.2 火灾探测器 .....	523	14.6 气体自动灭火系统的设计 与施工 .....	538
14.3 火灾报警与监控系统的 设计及施工 .....	531	14.7 消防供电电源的设计与施工 .....	541
14.4 防排烟系统与消防给水系 统的设计及施工 .....	534	14.8 智能消防系统的设计与施工 .....	544

**第十五章 现代智能化民用建筑电气设计与施工** **555**

15.1 智能建筑设备自动化系统 (BAS) 设计与施工 .....	555	15.2 智能建筑办公自动化系统 (OAS) 设计与施工 .....	563
---------------------------------------	-----	---------------------------------------	-----



15.3 智能建筑通信自动化系统	(SCS) 设计与施工 .....	584
(CAS) 设计与施工 .....	570	15.5 智能建筑综合管理系统 (IBMS) 的
15.4 智能建筑结构化综合布线系统	集成设计与施工 .....	596

---

**第十六章 现代民用建筑总体电气设计与施工及概预算** **621**

16.1 现代民用建筑电气工程	与说明 .....	628
设计概述 .....	621	16.5 民用建筑电气设计举例 .....
16.2 现代民用建筑电气设计原则	和 设计依据 .....	623
16.3 现代民用建筑电气设计阶段	与 设计步骤 .....	625
16.4 民用建筑电气设计的图纸	16.6 现代民用建筑电气工程施工	与 竣工验收 .....
附录 I 常用电力变压器、电动机及交流接触器主要技术数据 .....	663	16.7 现代民用建筑电气工程的
附录 II 常用自动空气断路器技术数据 .....	666	概算和预算及审核 .....
附录 III 常用照明电光源技术参数 .....	668	
附录 IV 常用绝缘导线允许载流量表 .....	670	
附录 V 建筑电气平面图部分常用图形符号及文字符号 (新旧国标对照) .....	672	
参考文献 .....	681	

## 第一章

# 现代民用建筑电气工程设计 电路基本知识

本章主要介绍现代民用建筑电气工程设计中有关电路设计方面的基本知识和基本分析方法,主要介绍常用电工名词、直流电路、单相和三相正弦交流电路方面的有关基本知识,为后面的电气设计准备必要的基本知识。

### 1.1 常用电工名词及计量单位和符号

电子——带有负电荷的基本粒子。电子的电量等于  $-1.6 \times 10^{-19}$  库仑 (C)。

电荷——电荷分为正电荷和负电荷。电子是电荷的最小单位,物体得到或失去电子,称该物体带电。得到电子的物体带负电,失去电子的物体带正电。电荷与电荷之间存在着相互的作用力:同性电荷相互排斥,异性电荷相互吸引。

电流——带电粒子有规则地运动称为电流。习惯上规定,正电荷定向移动的方向为电流的方向。在金属导体中,电流的方向与自由电子移动的方向正好相反。

电流强度——描述电流强弱的物理量。设在某时间  $t$  内通过某导体横截面的电量为  $q$ ,则在该导体内的电流强度  $I = q/t$ 。如果在 1s 内通过该横截面的电量为 1C,则该导体内的电流强度  $I = 1$  库仑/1 秒 = 1 安培 (A)。

电流密度——在单位横截面上通过的电流大小,称为电流密度,其单位是安培/毫米<sup>2</sup> (A/mm<sup>2</sup>)。

电位——在电场力的作用下,把单位正电荷从  $a$  点移动到规定的参考点所做的功,称为参考点的电位。在理论研究中,常取无限远点作为电位的参考点;但在实际应用中,常取大地作为电位的参考点。电位的单位为伏特 (V)。

电压——在电场力的作用下,把单位正电荷由  $a$  点移到  $b$  点所做的功,称为  $a$  点到  $b$  点的电压,亦称  $a$ 、 $b$  两点间的电位差。电压的单位为伏特 (V)。

电动势——在电源内部,电动力把正电荷从负极移动到正极所做的功  $W$  与被移送的电量  $q$  的比值,称为该电源的电动势,即  $\epsilon = \frac{W}{q}$ 。电动势的单位与电位、电压的单位相同,也称为伏特 (V)。

导体——带电粒子能在其内自由移动的物体称为导体。各种金属,各种酸、碱、盐的水溶液,以及人体等均属于导体。其电阻率一般小于  $10^{-6} \Omega \cdot m$ 。

绝缘体——带电粒子不能在其内自由移动的物体称为绝缘体,亦叫电介质。如橡胶、塑料、云母、陶瓷、干木材和空气等均是绝缘体。其电阻率一般大于  $10^5 \Omega \cdot m$ 。

半导体——导电性能介于导体与绝缘体之间的物体称为半导体。如锗、硅、硒等属于半导体。其电阻率一般在  $10^{-5} \sim 10^6 \Omega \cdot m$  之间。

电导——描述导体传导电流本领的物理量称为电导，其符号表示为  $G$ ，单位为西（S）。

电导率——表示物质导电性能的参数称为电导率，又叫电导系数，其单位为西/每米（S/m）。

电阻——导体一方面能让电荷在其中通过，另一方面又对通过它的电荷产生阻碍作用，这种阻碍作用称为导体的电阻。电阻值的大小与导体的长度  $l$  成正比，与导体的横截面积  $A$  成反比，还与导体的材料性质有关。求电阻的公式为

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1-1)$$

式中  $R$ ——电阻，欧姆（ $\Omega$ ）；

$\rho$ ——导体的电阻率，欧姆·毫米<sup>2</sup>/米（ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ）；

$l$ ——导体的长度，米（m）；

$A$ ——导体的横截面积，毫米<sup>2</sup>（ $\text{mm}^2$ ）。

电阻率——又叫电阻系数，是表示物质导电性能的参数。不同的材料，电阻率也不同，材料的电阻率愈大，导电性能就愈差。

电磁感应——当穿过闭合回路所包围面积的磁通量发生变化时，在该回路中就会产生电流，这种现象叫做电磁感应，所产生的电流叫做感应电流。

感应电动势——由电磁感应现象在闭合回路中出现感应电流，这表明在该闭合回路中必有一种力量在推动电荷移动，这种力量叫做感应电动势。

磁感应强度——表示磁场内某点的磁场强弱和方向的物理量，以字母  $B$  表示。它是一个矢量，它与电流（电流产生磁场）之间的方向关系可用右螺旋定则来确定，其大小用在磁场中垂直于磁场方向的通电导线、受到的磁场的作用力  $F$  跟电流  $I$  和导线长度  $l$  的乘积  $Il$  的比值来衡量，即

$$B = \frac{F}{Il} \quad (1-2)$$

磁通（量）——磁感应强度  $B$ （如果不是均匀磁场，则取  $B$  的平均值）与垂直于磁场方向的面积  $S$  的乘积，称为通过该面积的磁通量  $\Phi$ ，即

$$\Phi = BS \quad \text{或} \quad B = \frac{\Phi}{S} \quad (1-3)$$

由式（1-3）可见，磁感应强度  $B$  在数值上可以看成与磁场方向相垂直的单位面积所通过的磁通量，故磁感应强度  $B$  又称为磁通密度。

磁力线——在磁场中可以利用磁力线来形象地描述各点磁场的方向。所谓磁力线，是在磁场中画出的一些有方向的曲线，在这些曲线上每一点的切线方向，都跟该点的磁场方向相同。

磁力线具有如下特征：

（1）由于磁场中某点的磁场方向是惟一确定的，所以磁场中的磁力线不会相交。

（2）磁力线都是闭合曲线，没有起点，也没有终点。

磁导率——是一个用来表示磁场媒质磁性的物理量，也就是用来表示物质导磁能力的物理量，以字母  $\mu$  表示。

磁阻——表示磁路对磁通所起的阻碍作用，以字母  $R_m$  表示，单位为 1/亨（1/H）。

电感——是自感与互感的统称。

自感——由于通过闭合回路（或线圈）内的电流变化，引起穿过该回路（或线圈）所包围面积的磁通量也跟着变化而产生感应电动势的现象，叫做自感现象，其所产生的感应电动势，叫做自感电动势。自感以字母  $L$  表示，单位为亨（H）。

互感——两个线圈相互接近，当其中一个线圈中的电流发生变化时，引起穿过另一个线圈所包围面积的磁通量也跟着变化而产生感应电动势的现象，叫做互感现象，其所感应的电动势叫做互感电动势。互感以字母  $M$  表示、单位为亨（H）。

感抗——当交流电通过电感电路时，电感有阻碍交流电流通过的作用。这种作用称为感抗，其数值由下式求得

$$X_L = 2\pi fL \quad (1-4)$$

式中  $X_L$ ——自感抗，欧姆（ $\Omega$ ）；

$f$ ——交流电的频率，赫兹（Hz）；

$L$ ——自感，亨（H）。

电容——两个彼此绝缘而又互相靠近的导体，具有储存电荷的能力，这个能力称为电容，以字母  $C$  表示。电容的数值等于一侧导体所储存的电荷量  $Q$  与该两导体间的电位差  $U$  的比值，即

$$C = \frac{Q}{U} \quad (1-5)$$

容抗——当交流电流通过电容电路时，电容具有阻碍电流通过的作用，这种作用称为容抗，其数值由下式求得

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (1-6)$$

式中  $X_C$ ——容抗，欧姆（ $\Omega$ ）；

$f$ ——交流电的频率，赫兹（Hz）；

$C$ ——电容，法（F）。

阻抗——当交流电流通过同时具有电阻、电感、电容的电路时，它们共同产生阻碍电流通过的作用，这种作用称为阻抗，其数值由下式求得

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2} \quad (1-7)$$

式中  $Z$ ——阻抗，欧姆（ $\Omega$ ）；

$R$ ——电阻，欧姆（ $\Omega$ ）；

$f$ ——交流电的频率，赫兹（Hz）；

$L$ ——自感，亨（H）；

$C$ ——电容，法（F）。

直流电——大小和方向都不随时间改变的电流，叫做稳恒电流，也就是通常所说的直流。

交流电——大小和方向都随时间作周期性变化的电流，叫做交流电。电流（电压、电动

势) 随时间作正弦规律变化的电路, 叫做正弦交流电路, 它是最典型的交流电路。

正弦交流电压、电流和电动势, 常统称为正弦量, 正弦量由频率 (或周期)、幅值 (或有效值) 和初相位来确定。所以频率、幅值和初相位就称为确定正弦量的三要素。

频率——正弦量在每秒钟内交变的次数叫频率, 用字母  $f$  表示, 单位为赫兹 (Hz)。在我国和大多数国家都采用 50Hz 作为电力标准频率, 所以 50Hz 也称为工频。

周期——正弦量变化一次所需的时间称为周期, 用字母  $T$  表示, 单位为秒 (s)。

频率与周期成倒数关系, 即

$$f = \frac{1}{T} \quad (1-8)$$

角频率——描述正弦量变化快慢还可用角频率来表示, 因为一个周期内经历了  $2\pi$  弧度, 所以角频率为

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (1-9)$$

式中  $\omega$ ——正弦量的角频率, 弧度每秒 (rad/s)。

幅值——正弦量在一个周期内瞬时值中最大的值称为幅值或最大值, 用带下标  $m$  的大写字母来表示, 如  $I_m$ 、 $U_m$  及  $E_m$  分别表示电流、电压及电动势的幅值。而正弦量在一个周期内任一瞬间的值称为瞬时值, 用小写字母来表示, 如  $i$ 、 $u$  及  $e$  分别表示电流、电压及电动势的瞬时值。

有效值——有效值是从电流的热效应来规定的。假定一个正弦交流电流  $i$  通过电阻  $R$  在一个周期内产生的热量, 与另一个直流电流  $I$  通过同样大小的电阻  $R$  在相等的时间内产生的热量相等, 则表明这两天电流的热效应量是相等的, 因此把这个直流电  $I$  在数值上定为交流电  $i$  的有效值。

根据以上所述, 可得

$$\int_0^T Ri^2 dt = RI^2 T$$

由此可得出正弦交流电的有效值

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (1-10)$$

当正弦电流用三角函数式  $i = I_m \sin \omega t$  表示时, 则

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (1-11)$$

因为正弦电流  $i$  是由作用在电阻  $R$  两端的正弦电压  $u$  产生的, 所以同样可推得正弦电压的有效值

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt}$$

正弦电压的表达式为  $u = U_m \sin \omega t$ , 则

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (1-12)$$

有效值都用大写字母表示, 与表示直流的字母一样。

一般所讲的正弦电压或电流的大小，都是指它的有效值。一般交流电流表和电压表的刻度也是根据有效值来定的。

初相位——正弦量是随时间而变化的，要确定一个正弦量，除了频率、幅值以外，还须确定初相位。初相位即正弦量计时起点 ( $t=0$ ) 时的相位角，用  $\varphi$  表示。正弦量可用下式表示

$$i = I_m \sin \omega t \quad (1-13)$$

在这表达式中， $t=0$  时的初相位  $\varphi=0$ 。

正弦量也可用下式表示

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (1-14)$$

在这表达式中， $t=0$  时的初相位为  $\varphi$ 。

初相位为零，正弦量的初始值 ( $t=0$  时的值) 为零。初相位为  $\varphi$ ，正弦量的初始值  $i_0 = I_m \sin \varphi$ ，不等于零。

正弦量表达式中的角度  $\omega t$  和  $(\omega t + \varphi)$  称为正弦量的相位角或相位。

有功功率——交流电路的平均功率，也叫有功功率，以字母  $P$  表示，表达式为

$$P = UI \cos \varphi \quad (1-15)$$

式中  $P$ ——有功功率，瓦 (W)；

$U$ ——交流电压的有效值，伏 (V)；

$I$ ——交流电流的有效值，安 (A)；

$\varphi$ ——交流电压与交流电流之间的相位角差或相位差。相位差是由电路 (负载) 的参数决定的。只有纯电阻负载的情况下电压与电流才会同相位，它们的相位差  $\varphi=0$ ，对于其他负载，其相位差  $\varphi=0^\circ \sim 90^\circ$  之间。

无功功率——在具有电感或电容的电路中，电感或电容与电源之间发生能量互换。在半个周期内把电源送来的能量储存起来，而在另半个周期内又把储存的能量送还给电源，这样周而复始地进行，但只有这样能量的互换，并不真正消耗能量。在电工计算中为了衡量这个交换能量的规模，特定义它为无功功率，其表达式为

$$Q = UI \sin \varphi \quad (1-16)$$

式中  $Q$ ——无功功率，乏 (var)；

$U$ ——电压的有效值，伏 (V)；

$I$ ——电流的有效值，安 (A)；

$\varphi$ ——电压与电流的相位差，度 ( $^\circ$ )。

视在功率——在具有电阻及电抗 (感抗与容抗的统称) 的电路中，电压与电流有效值的乘积，称为视在功率，其表达式为

$$S = UI \quad (1-17)$$

式中  $S$ ——视在功率，伏安 (VA)；

$U$ ——电压的有效值，伏 (V)；

$I$ ——电流的有效值，安 (A)。

功率因数——有功功率与视在功率的比值，称为功率因数，其表达式为

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (1-18)$$

式中  $\cos \varphi$ ——功率因数， $\varphi$  称为功率因数角，它是电压与电流之间的相位差；

$P$ ——交流电路的有功功率，即平均功率，瓦（W）；

$S$ ——视在功率，伏安（VA）。

由于有功功率是小于或等于视在功率的，所以功率因数  $\cos\varphi$  的数值在 0~1 之间。

相电压——三相电源线中任一根火线与中性线之间的电压，叫做相电压，以字母  $U_p$  表示。

线电压——三相电源线中任意两根火线之间的电压，叫做线电压，以字母  $U_l$  表示。

相电流——三相负载，每相负载中流过的电流，叫做相电流，以字母  $I_p$  表示。

线电流——三相电源线，每相电源线中流过的电流，叫做线电流，以字母  $I_l$  表示。

## 1.2 直流电路的常用计算

### 1.2.1 电阻和计算

#### 1. 导体的电阻

求导体电阻的公式如式（1-1）。

导体电阻不是固定不变的，它随着导体温度的不同而有所变化，其关系式为

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-19)$$

式中  $\alpha$ ——电阻的温度系数， $1/^\circ\text{C}$ ；

$R_1$ 、 $R_2$ ——分别表示温度变化前的电阻和温度变化后的电阻，欧姆（ $\Omega$ ）；

$t_1$ 、 $t_2$ ——分别表示变化前的温度和变化后的温度， $^\circ\text{C}$ 。

几种常用导体的电阻率和电阻温度系数见表 1-1。

表 1-1 几种导体的电阻率和电阻温度系数

导体材料	20℃时的电阻率 ( $\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ )	电阻温度系数 ( $1/^\circ\text{C}$ )	导体材料	20℃时的电阻率 ( $\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ )	电阻温度系数 ( $1/^\circ\text{C}$ )
银	0.0165	0.00361	铁	0.0978	0.00625
铜	0.0175	0.0041	锆	0.105	0.00393
金	0.022	0.00365	锡	0.114	0.00438
铝	0.029	0.00423	铅	0.206	0.0041
钼	0.0477	0.00479	汞	0.958	0.0009
钨	0.049	0.0044	康铜(54%铜,46%镍)	0.50	0.00004
锌	0.059	0.0039	铜镍锌合金	0.42	0.00004
镍	0.073	0.00621	锰铜(86%铜、12%锰、1%镍)	0.40	0.00002

#### 2. 电路中的电阻连接与计算

电路中的电阻，有串联、并联和混联等三种连接方式，还有星形和三角形连接，如图 1-1 所示。

(1) 串联如图 1-1 (a) 所示。串联电阻的计算公式为

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1-20)$$

式中  $R$ ——串联总电阻，欧姆（ $\Omega$ ）；

$R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ ——各串联分电阻，欧姆（ $\Omega$ ）。

(2) 并联如图 1-1 (b) 所示。并联电阻的计算公式为

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

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

(1-21)

式中  $R$ ——串联总电阻, 欧姆 ( $\Omega$ );

$R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ ——各串联分电阻, 欧姆 ( $\Omega$ )。

(3) 混联如图 1-1 (c) 所示。混联电阻的计算公式为

$$\begin{aligned} R &= R_1 + R_2 + \frac{1}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} \\ &= R_1 + R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} \end{aligned}$$

(1-22)

式中  $R$ ——混联总电阻, 欧姆 ( $\Omega$ );

$R_1$ 、 $R_2$ ——串联分电阻, 欧姆 ( $\Omega$ );

$R_3$ 、 $R_4$ ——并联分电阻, 欧姆 ( $\Omega$ )。

(4) 三角形连接和星形连接如图 1-1 (d) 和 (e) 所示。在电阻计算中, 经常要把三角形连接的电阻等效变换成星形连接的电阻, 或把星形连接的电阻等效变换成三角形连接的电阻。

1) 三角形连接→星形连接的变换公式为

$$\left. \begin{aligned} R_A &= \frac{R_{AB} R_{CA}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}} \\ R_B &= \frac{R_{AB} R_{BC}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}} \\ R_C &= \frac{R_{BC} R_{CA}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}} \end{aligned} \right\} \quad (1-23)$$

式中  $R_A$ 、 $R_B$ 、 $R_C$ ——星形连接的各路电阻, 欧姆 ( $\Omega$ );

$R_{AB}$ 、 $R_{BC}$ 、 $R_{CA}$ ——三角形连接的各边电阻, 欧姆 ( $\Omega$ )。

2) 星形连接→三角形连接的变换公式为

$$\left. \begin{aligned} R_{AB} &= R_A + R_B + \frac{R_A R_B}{R_C} \\ R_{BC} &= R_B + R_C + \frac{R_B R_C}{R_A} \\ R_{CA} &= R_C + R_A + \frac{R_C R_A}{R_B} \end{aligned} \right\} \quad (1-24)$$

## 1.2.2 欧姆定律

### 1. 部分电路的欧姆定律

部分电路如图 1-2 所示。实践证明, 通过该电路的电流  $I$  与其两端之间的电压  $U$  成正

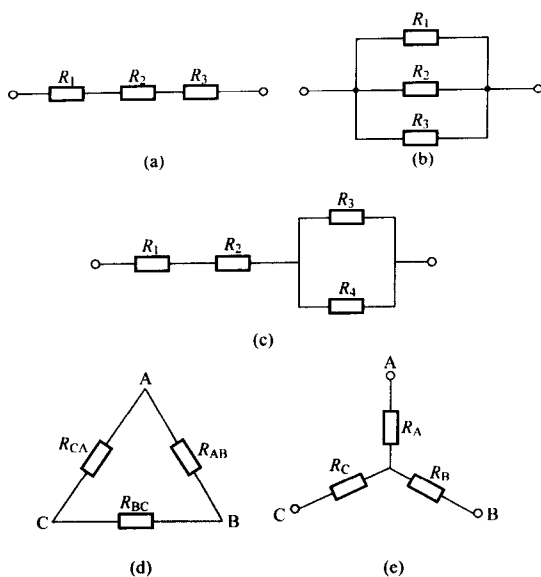


图 1-1 电路中的电阻连接

(a) 串联; (b) 并联; (c) 混联; (d) 三角形连接; (e) 星形连接



比, 而与该电路的电阻  $R$  成反比, 这种关系叫做欧姆定律, 用公式表示为

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

或

$$U = IR \quad (1-25)$$

式中  $I$ ——电流, 安培 (A);

$U$ ——电压, 伏特 (V);

$R$ ——电阻, 欧姆 ( $\Omega$ )。

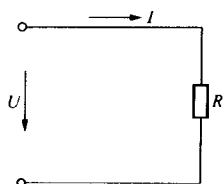


图 1-2 部分电路

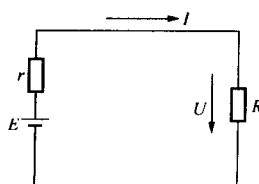


图 1-3 简单全电路

## 2. 全电路欧姆定律

图 1-3 是简单的全电路, 它是由电源、负载和连接导线等组成。全电路欧姆定律的关系式为

$$I = \frac{E}{R + r}$$

或

$$U = E - Ir \quad (1-26)$$

式中  $I$ ——电流, 安培 (A);

$E$ ——电源电动势, 伏特 (V);

$R$ ——负载电阻, 欧姆 ( $\Omega$ );

$r$ ——电源内电阻, 欧姆 ( $\Omega$ );

$U$ ——负载的端电压, 伏特 (V)。

### 1.2.3 基尔霍夫定律

对于比较复杂的电路, 通常使用基尔霍夫定律来进行计算。这个定律既适用于直流电路, 也适用于交流电路, 所以它是分析和计算电路的基本定律。

#### 1. 基尔霍夫第一定律

基尔霍夫第一定律又叫节点电流定律。它是说: 对于电路中的任一节点, 流入该节点的电流的代数和恒等于从该点流出的电流的代数和。或者说, 流入任一节点的电流和从该节点流出的电流的总和为零。其数学表达式为

$$\sum I = 0 \quad (1-27)$$

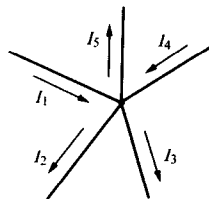


图 1-4 有 5 个支路  
电流汇集的节点

有 5 个支路电流汇集于节点如图 1-4 所示, 根据图中标出的电流方向, 可列出该节点的电流方程式为

$$I_1 + I_4 = I_2 + I_3 + I_5$$

或

$$I_1 - I_2 - I_3 + I_4 - I_5 = 0 \quad \text{即} \quad \sum I = 0$$

对于  $\sum I$  中各电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $\dots$ 、 $I_5$  前面的符号, 通常规定: 流入节点的电流为正 (+), 流出节点的电流为负 (-)。