

民用建筑电气施工与安装调试

NINYONG JIANZHU DIANGI SHIGONG YU ANZHUANG

孙庆昆 编著



东北林业大学出版社

民用建筑电气施工 安装与调试技术

孙庆昆 编著

东北林业大学 出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

民用建筑电气施工与安装调试/孙庆昆编著. —哈尔滨: 东北林业大学出版社,
2009. 7

ISBN 978 - 7 - 81131 - 500 - 4

I. 民… II. 孙… III. 房屋建筑设备: 电气设备—建筑安装工程 IV. TU85

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 116073 号

责任编辑: 戴 千

封面设计: 彭 宇



NEFUP

民用建筑电气施工与安装调试

Minyong Jianzhu Dianqi Shigong Yu Anzhuang Tiaoshi

孙庆昆 编著

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

哈尔滨天兴速达印务有限责任公司印装

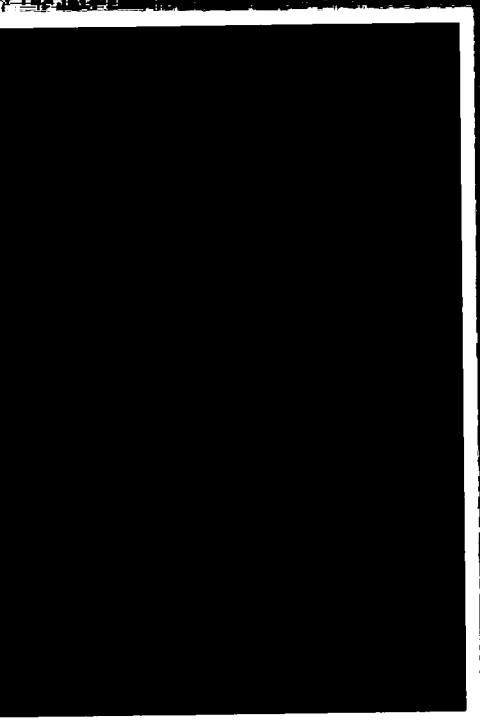
开本 787 × 1092 1/16 印张 11.5 字数 280 千字

2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

印数 1—1 000 册

ISBN 978-7-81131-500-4

定价: 30.00 元



ISBN 978-7-81131-500-4



9 787811 315004 >

¥6.30.00元

前言

随着生活水平的不断提高，人们对电气安装工程质量有了更高的要求。目前我国各种电气设备和民用电器有了很大的发展，民用建筑电气安装工程技术要求也随之提高。本书是作者在多年来工作实践和电气工程设计、施工及科研工作实践的基础上，为了适应 21 世纪城市建设不断发展的形势需要，面对民用建筑电气施工工程实际需要的编写的一部全面、系统阐述民用建筑电气工程施工安装的工具书。书中所介绍的施工方法、技术数据，图表均依据最新的民用建筑电气现行标准、规范写成。本书结合民用建筑电气设计施工必须遵循的现行标准、规范及必须贯彻执行的设计原则和技术政策，论述了各类民用建筑电气施工、安装调试概要和新技术以及民用建筑电气的发展动态和发展方向，具有很强的实用性。

全书共分 9 章，主要内容有：建筑电气基础知识、建筑电气安装常用数据、电动工具及测量仪表、施工现场供电、建筑电气照明、室内管线安装技术、卫星天线及有线电视设备安装、楼宇设备自动监控系统及其作用、施工验收的有关规定、安全用电技术等等。民用建筑电气安装、施工涉及的技术标准种类繁多，根据不同的工程对象，恰如其分地采用技术标准和装备水平，使其与工程的功能，性质相适应，是民用建筑电气施工的重要环节。也是保障施工质量的关键问题，本书就民用建筑电气施工中按工程的功能要求和使用性质实施标准和实施过程，有较详尽的阐述。

编者在撰写过程中，查阅和参考了国内有关民用建筑电气施工的资料与文献，且从中获益匪浅。在编撰体例方面及内容选择和表述上，力求通俗易懂、简洁实用。本书适用于城镇新建、改建和扩建的单体及群体民用建筑的电气施工安装与调试。书中采用的技术标准和装备水平与工程在国民经济和公共生活中的地位、规模、功能要求及建筑环境设计相适应。为在民用建筑电气施工安装中更好地贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全可靠、技术先进、经济合理、维护管理方便，并注意美观。本书参照《JGJ16-2008 民用建筑电气设计规范》而编写。本书适用范围：适用于一般新建、改建和扩建的民用建筑工程、一般工业工程（房屋建筑部分）的电气工程设计和施工，也可用于建筑电气工程的监理、施工及验收参考。可供建筑电气设计、施工、运行、管理工程技术人员使用，也可供建筑电气设备生产厂家和建筑设计、装饰设计、给排水设计等工程技术人员及大专院校相关专业的师生参考。并可为现代民用建筑电器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。由于编者水平有限，加之编撰时间较紧张，书中难免有不当之处，敬请广大读者和同行及专家批评指正。

编者

2009 年 4 月

目 录

第一章 建筑电气基础知识	(1)
第一节 电路的组成	(1)
第二节 基本定律	(3)
第三节 单相交流电路	(4)
第四节 功率因数及其改善的方法	(10)
第五节 三相交流电路	(13)
第六节 TT, TN-C, TN-S 及 IT 供电系统	(16)
第二章 建筑电气安装常用数据资料、电动工具及测量仪表	(21)
第一节 建筑电气常用数据资料	(21)
第二节 常用电动工具	(25)
第三节 电工仪表及测量	(44)
第三章 施工现场供电	(51)
第一节 供电概述	(51)
第二节 电力负荷计算	(54)
第三节 低压配电线路	(60)
第四节 配电导线与保护装置的选择	(67)
第四章 建筑电气照明	(71)
第一节 建筑电气照明的基本知识	(71)
第二节 电光源与灯具	(74)
第三节 照明设备安装	(78)
第四节 照度计算	(82)
第五节 电气照明施工图	(87)

第五章 室内管线安装技术 (95)

 第一节 室内布线 (95)

 第二节 管路安装施工 (101)

 第三节 线槽布线 (108)

 第四节 室内配线工程质量 (112)

第六章 卫星天线及有线电视设备安装 (116)

 第一节 卫星电视设备简介与安装 (116)

 第二节 有线电视简介与安装 (118)

第七章 楼宇设备自动监控系统及其作用 (126)

 第一节 楼宇设备自动监控系统 (127)

 第二节 楼宇设备自动监控装置 (135)

 第三节 Excel 5000 型楼宇设备监控装置 (138)

第八章 施工验收的有关规定 (143)

 第一节 电气安装工程验收评定方法 (143)

 第二节 高低压配电柜及二次接线施工及验收标准 (147)

 第三节 接地装置施工及验收 (152)

 第四节 线路敷设施及验收标准 (156)

 第五节 电气器具设备施工及验收标准 (163)

第九章 安全用电技术 (168)

 第一节 触电事故及救护 (168)

 第二节 安全用电技术 (170)

参考文献 (178)

第一章 建筑电气基础知识

第一节 电路的组成

一、电路的作用及其组成

所谓“电”，是指一种特殊的能量，称为电能。它能很方便地转换成其他种类的能量，如机械能、热能、光能、化学能等。欲进行电能的转换、传输和分配，必须把电气设备用导线连接起来，组装成电路才能实现。

电路由电源、中间环节和负载组成。中间环节指导线、各种控制设备、保护设备、电缆等；电源指发电机或变压器等；负载指各种用电设备。所以，电路是由一些元件和设备组合起来为了完成某种功能的整体。

在电力及一般用电系统中，电路起着传输、分配和转换电能的作用。发电厂的发电机组把水的位能、煤的热能、原子的核能等转换成电能，经过升压后用高压输电线路把电能送到用电地区，再把电压降下来，供用户负载使用。

应该注意，在电路的分析和计算中，最初直接对象不一定是实际设备，而是理想化了的模型（如电阻、电感和电容等），然后再落实到实际的电气设备，这样可以用较少的精力获取较系统的知识，也有利于提高分析其他同类问题的能力。本章内容就是为了完成这一个过渡阶段而设置的。

二、电路的基本物理量

（1）电流 电路中的带电粒子（电子和离子）受到电源电场力的作用，形成有规则的定向运动，称为电流。为了衡量电流的大小，引用电流强度这一物理量，在工程上简称电流。

一般情况下，电流的大小是随着时间在变化的，它是时间的函数，用符号 $I(t)$ 表示， i 是瞬时电流。如果在一段时间内电流的大小不变，就称其为恒定电流，简称直流。直流电流用 I 表示，单位为 A。电流的方向规定为正电荷运动的方向。

（2）电位 它表示电场中某一点所具有的电位能。用 φ 表示，单位为 V。要确定电位能的大小，必须选择一个参考点作为比较的标准，通常把电路中的接地点或线路公共点定为 0V 称为电位参考点，用符号 $\perp$ 表示。那么，电荷在电场内某点所具有的电位能也可以用电荷从该点到参考点时，电场力所做的功来表示。

在外电路，电流的方向从高电位指向低电位时，方向为正，反之为负。在电源的内部，则是电流的方向从低电位指向高电位时，方向为正，反之为负。

（3）电压 它表示电源电场力对运动的电荷所做的功。当电场力把单位正电荷从电场的 a 点移到 b 点所做的功称为 ab 两点间的电压。用 U 表示，单位为 V。辅助单位有 kV（千伏）、mV（毫伏）、 μV （微伏）等。

$$U_{ab} = \frac{A_{\text{外}}}{Q} \quad (1-1)$$

式中 $A_{\text{外}}$ —— 电场力把电荷 Q 从 a 点移到 b 点所做的功(J);

Q —— 电荷量(C);

U_{ab} —— a 、 b 两点之间的电压(V)。

对于参考点零电位来说, a 点的电位为 φ_a , b 点的电位为 φ_b , 所以, ab 两点之间的电压, 也就是 ab 两点电位之差, 因此, 电压也称电位差, 即

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$$

电压的方向以高电位指向低电位为正方向, 所以电压也称作电压降。

(4) 电动势为了表征电源内部外力做功的本领, 引入电动势这一物理量。电动势定义为在电源内部, 外力把单位正电荷从电源负极移向正极所做的功称为电动势, 用 E 表示, 单位为 V。外力把 1C 电荷从负极移到正极所做的功就是 1V。电动势的方向在电源内部是从负极指向正极的, 而在电源外部则是从正极指向负极, 公式为

$$E = \frac{A_{\text{外}}}{Q} \quad (1-2)$$

式中 $A_{\text{外}}$ —— 外力移动正电荷所做的功(J);

Q —— 被移动的正电荷量(C)。

电动势的大小和方向都不随时间变化的电源是直流电源, 反之称为交流电源。

(5) 电能 当电流通过电路时, 将发生能量转换。在电源内部, 外力不断地克服电场力驱使正负电荷分别向电源两极移动而作功, 从而把其他能转换成电能。通过外电路, 电荷不断地被送到负载, 把电能转换成其他形式的能。

负载消耗的电能等于其端电压与电荷的乘积, 电荷又等于电流和时间的乘积, 即

$$A = UQ = IU_t \quad (1-3)$$

(6) 电功率 在单位时间内电路中产生的或者消耗的电能, 称为电功率, 简称功率, 用 P 表示, 单位为 W。

$$P = \frac{A}{t} = \frac{IU_t}{t} = IU \quad (1-4)$$

式中 P —— 电功率(W, $1\text{W} = 1\text{J/s}$);

t —— 时间(s)。

(7) 电阻 电荷在导体内流动必然要受到导体内分子的阻力, 这种阻力称为电阻, 用 R 表示, 单位为 Ω 。

实验证明, 在一定温度下, 对某一种材料, 电阻 R 与其长度 l 成正比, 与其截面 S 成反比, 即

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (1-5)$$

式中 ρ —— 电阻率($\Omega \cdot \text{m}$)。

在 20°C 时的电阻率 $\rho_{\text{Cu}} = 0.0172\Omega \cdot \text{m}$ $\rho_{\text{Al}} = 0.029\Omega \cdot \text{m}$ 。

三、电路的工作状态

只要电路中导体内有电流通过,导体就会发热。若导体电阻是 R ,电阻所消耗的电能全部变为热能,经过时间 t 秒后,则其热量为

$$Q = I^2 R t (\text{J}) \quad (1-6)$$

建筑工程中有些负载是利用导体热效应工作的,但多数情况下发热是有害的,影响设备的使用寿命。为此,对电路的三种工作状态分析如下。

(1) 开路状态 当电路的开关断开时,称为开路,其特征是电流为零,电源端电压值就是电源两端的电动势。检修线路应在开路状态下进行。这种状态电路不工作也不发热。

(2) 短路状态 当电路中有电压的两点被电阻为零的导体连接时,称为短路,其特征是电流很大。根据电流的热效应,导体所消耗的电能为

$$A = I U t = I^2 R t$$

若电阻消耗的电能全部转换成热能($Q = I^2 R t$),则会烧坏绝缘,损坏设备。也有时利用短路电流产生的高温进行金属焊接等。

(3) 额定工作状态 对用电设备一般都规定有额定电流。额定电流是指电气设备长时间工作所容许通过的最大电流,用 I_N 表示。实际电流小于 I_N 时称为轻载,大于 I_N 时称为超载,等于 I_N 时称为满载。满载就是额定工作状态。有些设备不标出额定电流而标出额定电压,即 U_N ,或标出额定功率,即 P_N 。

第二节 基本定律

一、欧姆定律

导体中电流 I 的大小与加在导体两端电压 U 成正比,而与导体的电阻 R 成反比。这个关系称为欧姆定律。欧姆定律是计算电路的最基本定律。欧姆定律有两种表达方式。

(1) 一段无源电路的欧姆定律 闭合回路中的一段电路,如果不含电动势,仅有电阻,那么这段电路就被称为一段无源电路,其电量关系式为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-7)$$

(2) 全电路的欧姆定律 图 1-1 所示是一简单的闭合回路, R_0 是电源内阻, R_L 是线路电阻, R 是负载电阻。根据式(1-7)可知,电源内阻上的电压降为 $U_0 = I R_0$,供电线路上的电压降 $U_L = I R_L$,负载上的电压降为 $U - I R$,所以

$$E = U + U_L + U_0 = I R + I R_L + I R_0$$

$$\text{或} \quad I = \frac{E}{(R + R_L + R_0)} \quad (1-8)$$

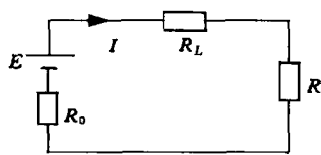


图 1-1 全电路的欧姆定律

这个关系称为全电路的欧姆定律。通常电动势 E 和内阻 R_0 可视为常数,因此,负载的电压降与线路电阻及负载总电流有关。当负载是由多个电阻并联时,通过的电流越大,则线路的电压损失及电源内部损失也越大,因此负载得到的电压越低。

例 1-1 已知电源电动势为 100V,内阻 0.5Ω,负载是两个 48Ω 的电阻相并联,线路电阻为 0.5Ω,如图 1-2 所示。求:① 负载短路电流;② 正常时负载工作电压和线路损耗(含电源内部)电

压;③若切断一个负载电阻,后果如何?

解 ① 短路电流 $I_k = 100 \div (0.5 + 0.5) = 100\text{A}$

② 负载总电阻为 $48 \div 2 = 24\Omega$,回路总电阻为 25Ω

根据 $E = IR + IR_L + IR_0$

有 $IR = E - IR_L - IR_0$

故 $U = E - I(R_L + R_0)$

负载电压 $u = 100 - 100 \times 25 \times (0.5 + 0.5) = 100 - 4$
 $= 96\text{V}$

线路及电源内部损耗电压为 4V 。

并联电路中若切除一个电阻后,负载总电阻将变大,线路电流则变小,线路损耗电压变小,负载电压将升高。所以,在建筑工程施工中常利用这个原理,切断一部分次要负载以改善过低的负载电压。

二、基尔霍夫定律

(1) 基尔霍夫第一定律又称为节点电流定律。当多个电流经过某一公共节点时,流入该节点的电流之和等于流出该节点的电流之和,即

$$\sum I_{\text{in}} = \sum I_{\text{out}} \quad (1-9)$$

如图 1-3 中所示, $I = I_1 + I_2$ 。

(2) 基尔霍夫第二定律又称为回路电压定律。沿任一闭合回路升高的电位,必定等于沿此回路所降低的电位,即

$$\sum E = \sum IR \quad (1-10)$$

由图 1-4 左回路可知 $E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2$

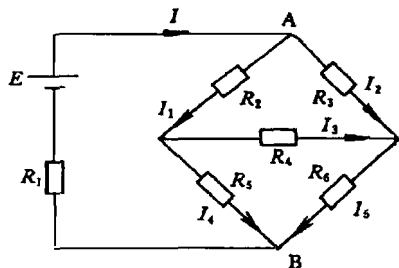


图 1-3 基尔霍夫第一定律

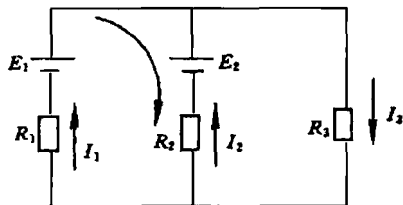


图 1-4 基尔霍夫第二定律

利用上面的几个定律,可以分析供电线路中出现的一些现象和问题。综合应用基尔霍夫两定律可以计算复杂电路的电流或电压。

第三节 单相交流电路

现代电子技术中,电能的产生、输送、分配和使用几乎都采用交流电。如果需要使用直流电,则通过整流设备把交流电整流成为直流电。交流电最重要的特征是电流、电压的大小和方向随时间作周期性的变化。实用电网中使用的电流和电压是按正弦规律变化的交流电。

一、正弦交流电的特征

根据电磁感应原理,交流发电机发出的电动势波形如图 1-5 所示。从图中可看出以下表征交流电的方法与交流电的基本特点。

(1) 交流电的周期与频率 是用来表征交流电变化快慢这一特征的。交流电变化一周所用的时间称为周期,用 T 表示,单位用 s(秒)表示。交流电在每一秒钟内所变化的周数称为频率,用 f 表示,单位 Hz(赫兹)。

从定义可知周期与频率的关系是互为倒数,即

$$T = \frac{1}{f} \quad (1-11)$$

我国交流电的工业频率(工频)为 50Hz,变化时间 $T = 1/f = 0.02\text{s}$ 。有的国家或地区的频率用 60Hz。交流电变化的快慢,还可以用角频率 ω 来表示(也称作角速度)。交流电变化一周,也就是变化了 2π 弧度(rad)。所以,角频率为

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f (\text{rad/s}) \quad (1-12)$$

工频 50Hz 时, $\omega = 2\pi f = 2\pi \times 50 = 100\pi = 314\text{rad/s}$ 。

(2) 交流电最大值 交流电在一个周期中所出现的最大瞬时值称为最大值,或称幅值。它表示的是交流电大小的特征,如 E_m, U_m, I_m 分别表示电动势、电压、电流的最大值。

(3) 相位与相位差 相位是表示交流电变化状态的物理量,也称相位角。它表示交流电在某一瞬间所变化的电角度,通常可以把交流电变化一周视为 360° 电角。如果开始观察交流电时,它已经变化了 φ 角度,则 φ 称为初相角。交流电以电角速度 ω 经过 t s 时所变化的电角度 α 为

$$\alpha = \omega t + \varphi \quad (1-13)$$

当两个同频率正弦交流电相比较时,它们的相位角之差称为相位差。如图 1-6 所示,其相位差为

$$\psi = \varphi_1 - \varphi_2 = 60^\circ - (-30^\circ) = 90^\circ$$

上式表明这两个交流电在任何时刻的相位角之差为 90° 。

从图 1-6 中还可看出两个交流电的相位差也就是其初相角之差。

如果两个交流电相比较,它们的相位差为零,则称它们为同相。若相位差为 180° ,则称其互为反相。若其中一个先达到零值则称为超前,后达到零值的称为滞后。图 1-6 中 i_2 超前于 i_1 , i_1 滞后于 i_2 。

频率、最大值和相位角是正弦交流电的主要特征,称为正弦交流电的三要素。

二、正弦交流电的表示方法

正弦交流电的表示方法有三角函数表示法、正弦曲线表示法、极坐标表示法和相量表示法等。相量表示法的特点是便于分析问题,所以本节只介绍定性分析用的相量表示法。因交流电的大小需要有一个确定的数来表示才方便,因此提出有效值的概念。

(1) 有效值 正弦交流电的大小是不断变化的,所以画图、计算等均不方便。为此,实用中采用有效值表示。有效值的定义为:正弦交流电通过一个电阻,在一个周期内所发出的热量,与一直流电通过同一电阻、在相同时间内所发出的热量相等时,这个直流电的数值就是正弦交流电的有效值。用 U, I 分别表示正弦交流电电压和电流的有效值。

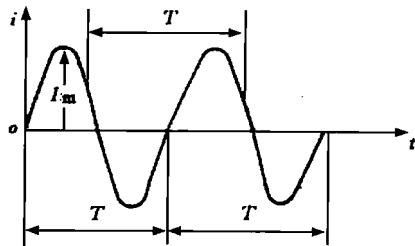


图 1-5 正弦交流电的特征

有效值和最大值的关系为

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (1-14)$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (1-15)$$

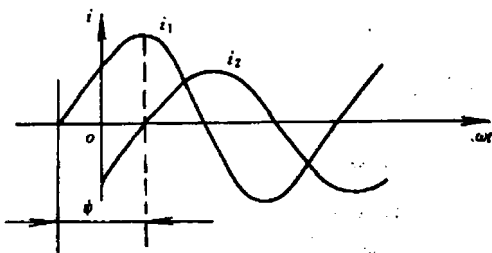


图 1-6 相位与相位差

实用中,电工计算和测量都采用有效值来表示交流电的大小。电动机和电器设备的铭牌电压或电流数值也都是用有效值来表示的。

(2) 相量表示法 正弦交流电的表示法主要是表示出交流电的三要素。相量表示法是用箭头方向代表初相角,用箭长代表有效值的大小。至于角速度可以在这个相量旁标出,但是我们所研究的交流电都是工频,因此也就不必表示角速度了,如图 1-7 所示。从图中可见 I_2 超前 I_1 60° 不同电学量(电量)之间的相位关系都可以用相量表示法表示。用相量图还可以进行相同电学量的加、减法。

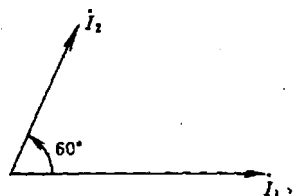


图 1-7 相量表示法

三、负载的性质

交流电路中负载用电抗 X 表示,负载是由三个参数组成的,它们是电阻 R 、电感 L 和电容 C 。严格地讲,这三种参数分布在整个电路中。负载的性质就是由这三种参数的大小决定的。

(1) 纯电阻性负载 负载由电阻构成,如白炽灯、电炉等可以近似视为纯电阻性质的负载。其主要特点如下。

① 电压与电流同相位,即相位差为零图 1-8 所示是理想状态下的纯电阻电路。

② 电压与电流的关系 $I = U/R$,即与直流电路欧姆定律形式相同。

③ 电功率从图 1-8b 可看出其功率为正,表示把电能都转换成了其他形式的能。可证明其平均功率为

$$P = IU \quad (1-16)$$

(2) 纯电感性负载 负载由线圈构成。在研究由感性负载构成的交流电路时,为简化起见,把以电感参数为主,其他参数小到可以忽略时,可视为纯电感电路,其主要特点如下。

① 电流与电压的相位关系 由于线圈通入交流电后会产生自感电动势,其方向总是力图阻止电流的变化,结果电流相位滞后电压 90° 电位角。如图 1-9 中 b、c 所示。

② 电流与电压的数值关系 由数学分析可知电压 U_L 、电流 I 、电感 L 、角频率 ω 叫的关系为

$$U_L = I\omega L \quad \text{或} \quad I = \frac{U_L}{\omega L} = \frac{U_L}{R_L} \quad (1-17)$$

上式表明,当电压一定时,电流 I 与叫 ωL 成反比, ωL 对电流起着阻碍作用,称为感抗,用 X_L 表示,单位为 Ω 。

工频时,

$$X_L = \omega L = 2\pi fL = 314L \quad (1-18)$$

式中 X_L ——感抗(Ω);

L ——电感(H);

ω ——角频率(rad/s)。

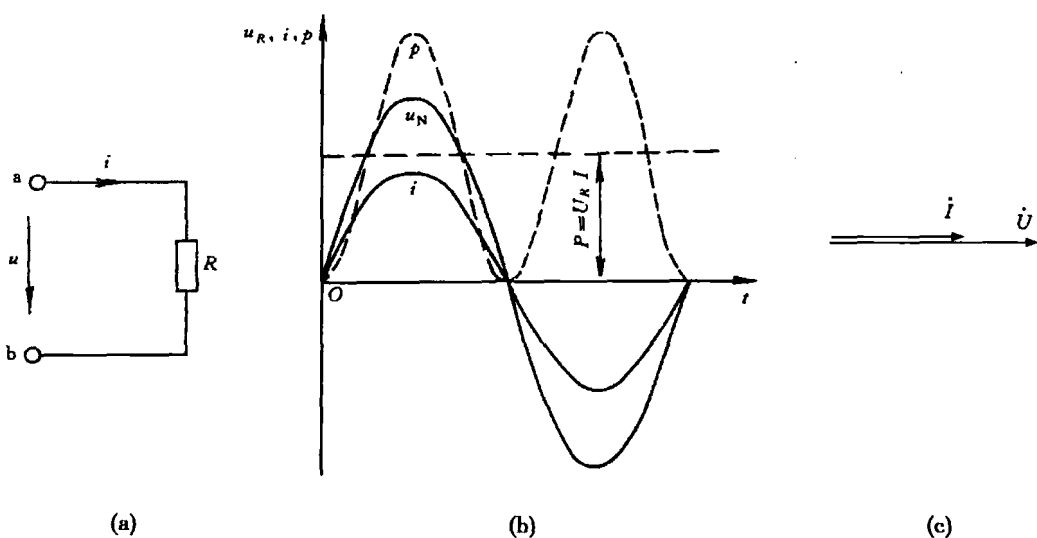


图 1-8 纯电阻电路
(a) 电路图; (b) 电流、电压及功率曲线; (c) 相量图

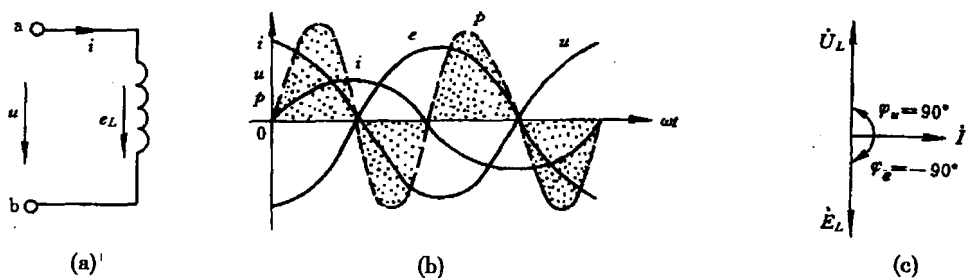


图 1-9 纯电感电路
(a) 电路图; (b) 电流、电压、功率曲线图; (c) 相量图

式(1-17)是纯电感电路的欧姆定律表示式,表明电流的大小与电压成正比,与感抗(或频率)成反比。当电压 U 和自感 L 一定时,频率越高则电流越小。如果把线圈接入直流电源,直流电频率为零,这时感抗为零。所以线圈在直流电路中可视为短路。同样,电感 L 越大,产生自感电动势的能力越强。电感电压 U_L 与电流之积称为无功功率,用 Q 表示。

$$Q = IU_L = I^2 X_L = \frac{U_L^2}{X_L} (\text{var}) \quad (1-19)$$

(3) 纯电容负载 负载参数只有电容 C ,其他参数都小到可以忽略的程度就可称为纯电容负载,如纯电容器组成的电路。纯电容电路主要特点如下。

① 电流与电压的相位关系 给电容器通入交流电会产生充放电现象,电流总是超前于电压 90° 电角,如图 1-10 所示。

② 电流与电压的数值关系 由数学分析可知电流 I 、电压 U 、角频率 ω 、电容 C 的关系为

$$I = U_c \omega C \quad \text{或} \quad I = \frac{U_c}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U_c}{X_c} \quad (1-2)$$

X_c 称为容抗,它与电流成反比,单位也为 Ω 。式(1-20)即为纯电容电路的欧姆定律。
在工频时,容抗为

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{314 C}$$

上式表明,电容 C 与容抗成反比。

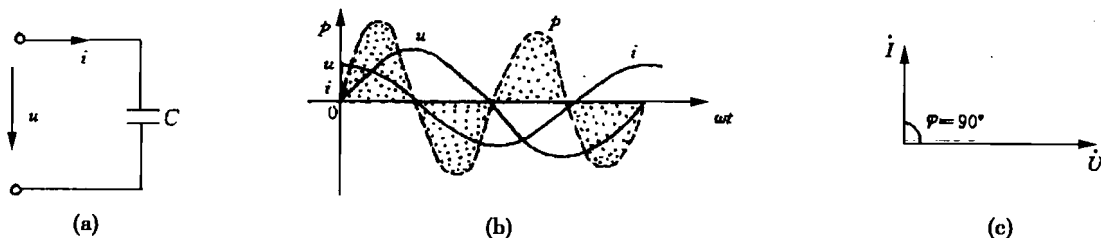


图 1-10 纯电容电路
(a) 电路图;(b) 曲线图;(c) 相量图

③ 功率关系

瞬时功率 瞬时功率 $p = iu$,即将各瞬时的电流和电压相乘而得到的瞬时功率,由图 1-10b 瞬时功率曲线可知,其功率有正负之分,“正”表明负载从电源吸取电能,并转换为电容器的电场能,“负”表明负载将电场能返还给电源。而且,各周期中正负相等,瞬时功率平均值为零。

有功功率 即平均功率,用 P 表示,从瞬时功率曲线图或数学推导都可得知有功功率等于零,即

$$P = 0 \text{ W} \quad (1-21)$$

无功功率 纯电容负载虽然不消耗电源功率,但是却占用了电源功率进行能量的“吞吐互换”。为了衡量吞吐能量的情况,引入了无功功率的概念,即电流与电容电压有效值之积也称为无功功率,用 Q 表示。单位为乏(var)或千乏(kvar)。

$$Q = IU_c = I^2 X_c = \frac{U_c^2}{X_c} (\text{var}) \quad (1-22)$$

(4) 电阻、电感串联电路 平常使用的许多负载含有电阻和电感两种主要参数,其电路可等效为电阻、电感串联电路。主要关系如下。

① 电流和电压的相位关系 如图 1-11 所示,由数学分析可知,总电压 U 等于电压 U_L 和电压 U_R 一的相量和。如果以总电压为参考相量画于水平位置,则电流 I 与电压 U_R 同相,且滞后于电压 U 一个 φ 角,如图 1-11c 所示。

② 电流与电压的数值关系 由数学分析可知,

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L)^2} = I \sqrt{R^2 + X_L^2} = IZ$$

或

$$I = \frac{U}{Z} \quad (1-23)$$

式中 $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ ——阻抗(Ω)。

式(1-23)是电阻、电感串联电路的欧姆定律表示式,表明电流的大小与电压成正比,与阻抗

成反比。

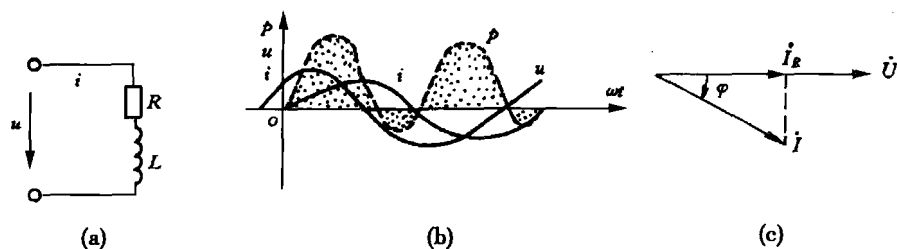


图 1-11 $R-L$ 串联电路
(a) 电路图; (b) 曲线图; (c) 相量图

③ 功率关系

瞬时功率 瞬时功率 $p = iu$, 即将各瞬时的电流和电压相乘而得到的瞬时功率。由图 1-11b 瞬时功率曲线可知, 其功率有正负之分, “正”表明负载电阻消耗电能及电感线圈从电源吸取电能变为磁场能, “负”表明负载将磁场能返还给电源。而且, 各周期中正负不相等, 正大负小, 故瞬时功率平均值不为零。

有功功率 即平均功率, 用 P 表示。由数学推导可得知, 有功功率等于电流有效值 I 在电压有效值 U 方向上的投影, 即 I_R 与电压 U 的乘积。

$$P = IU \cos \varphi (\text{W}) \quad (1-24)$$

或

$$P = I^2 R = IU_R$$

由电压关系可知, $U_R = U \cos \varphi$

无功功率 电阻、电感串联负载既消耗电源功率, 又占用了电源功率。故无功功率 Q 即为电流和电压的无功分量的乘积。

$$Q = IU_L = IU \sin \varphi = I^2 X_L (\text{var}) \quad (1-25)$$

视在功率 电阻、电感串联负载既消耗又占用电源功率, 电流、电压有效值之乘积称为视在功率, 用 S 表示, 单位为 VA 或 kVA。

$$S = IU = \sqrt{P^2 + Q^2} (\text{VA}) \quad (1-26)$$

在电气工程中, 变压器的容量就是用视在功率(kVA)表示的。

例 1-2 一个电感线圈, $L = 25.5 \text{mH}$ 。电阻 $R = 6\Omega$, 接于电压 220V, 求电路中的电流 I 、平均功率和视在功率, 并画出电压、电流相量图。

解 $X_L = 2\pi fL = 2 \times 3.14 \times 50 \times 25.5 \times 10^{-3} = 8\Omega$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10\Omega$$

根据欧姆定律

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{10} = 22\text{A}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = 0.6$$

平均功率

$$P = IU \cos \varphi = 22 \times 220 \times 0.6 = 2904\text{W}$$

第四节 功率因数及其改善的方法

在交流用电设备中,感性负载比较多,如电动机、日光灯、变压器等。它们在运行中电流总是滞后电压一个 φ 角,这个相位角影响重大,简述如下。

一、功率因数

(1) 功率因数的定义 由于感性负载电流滞后电压 φ 角,所以计算功率时,需要把电流相量投影到电压相量方向上去(如果以电压相量作为参考相量),因此出现一个 $\cos\varphi$,这个相位差角 φ 的余弦称为功率因数。也可以定义为有功功率 P 和视在功率之比,即

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (1-27)$$

(2) 功率因数的大小根据负载的性质决定功率因数的大小。当负载为纯电阻时,电流和电压的相位差角为 0° ,所以 $\cos\varphi = 1$;当负载为纯电感时,电流和电压的相位差角为 90° , $\cos\varphi = 0$;当负载为纯电容时,电流和电压的相位差角也是 90° , $\cos\varphi = 0$;而感性负载(相当于电阻和电感串联负载), $\cos\varphi$ 在 0 和 1 之间,如图 1-12 所示。

感性负载三个电压相量(U 、 U_L 、 U_R)的关系,称为电压三角形。把电压三角形三个边缩小 I (电流)倍,而得到阻抗 Z 、感抗 X_L 、电阻 R 之间的关系,称为阻抗三角形。把电压三角形三个边扩大 I (电流)倍,而得到视在功率 S 、有功功率 P 、无功功率 Q 之间的关系,称为功率三角形。

从而得到功率因数大小的关系式为

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{U_R}{U} = \frac{P}{S} \quad (1-28)$$

不同性质的负载功率因数不同,也就是它们的电流与电压相位差角不同。如果以电压为参考量画在水平坐标方向,有两个感性负载功率因数角分别为 φ_1 和 φ_2 ,如图 1-13 所示。可见,单相并联的许多负载,若功率因数不同,则它们的总电流不能直接用算术求和法相加,而是用相量法相加。

例如,居民使用的白炽灯电流为 0.45A,日光灯的电流是 0.35A,其电流之和不是 0.8A,而比 0.8A 小。

从功率关系中还可以看出,各种不同性质的负载从电源取用的有功功率可以直接用代数法相加求和,但是多个不同性质负载的视在功率之和是不能直接用代数法相加的。

例 1-3 某教学楼一条照明支路有 10 只 40W 的日光灯(实用中包括镇流器,按 50W 计算),电压为 220V,总电流为 3.55A。求该支路的视在功率和功率因数是多少?

解 ① 视在功率为 $S = IU = 3.55 \times 220 = 781\text{VA}$

$$\textcircled{2} \cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{50 \times 10}{781} = 0.64$$

二、改善功率因数的意义

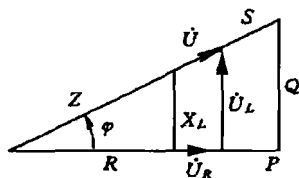


图 1-12 阻抗、电压、功率三角形

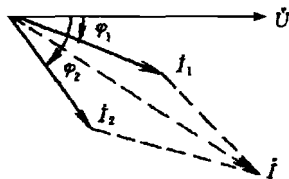


图 1-13 不同性质的负载电流相加