



书名：建筑电气

ISBN：978-7-5603-3792-0

作者：叶睿

出版社：哈尔滨工业大学出版社

定价：39.80元

前 言

职业教育指受教育者获得某种职业或生产劳动的职业道德、知识和技能的教育。本课程是一门介于技术基础课和专业课之间的交叉课程,是跨土建类和电类两大学科的一门综合课程。为了适应高职教育理念,本教材重点介绍了建筑电气的基本知识,帮助学生打好基础;配以工程案例,指导学生对知识的实际应用;具有实训项目,帮助学生对技能的掌握;同时调研了行业现状,介绍了行业的新知识。

本教材分七个模块,分别是电路基本知识模块、建筑电气安装常用工具与材料模块、施工现场常用电气设备模块、施工现场常用电气设备模块、电气照明工程模块、现代建筑电气技术模块、建筑电气工程施工图模块,每个模块按项目编写,每一个项目中有具体的任务要求,而且针对相应知识点具有训练习题,习题贴近生活、生产;每一模块中还有具体的技能要求以及技能训练。

经审定,本书可作为高职高专院校建筑工程技术专业、楼宇智能工程技术专业、建筑电气专业、建筑工程管理专业、建筑工程造价专业及相关专业的教材,也可作为有关建筑电气工程设计、工程监理、工程施工、工程管理人员的培训用书和参考用书。

现代建筑电气技术发展迅速,本教材在编写过程中,力求做到内容全面、通俗实用、贴合实际、重在技能。除了兄弟院校教师给予指导,还得到了地方建筑施工单位以及建筑设计院的大力支持,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,请各位专家给与批评指正。

高等教育教材编审委员会

目 录

CONTENTS

模块 1

电路基本知识

◎ 项目一 直流电路基本知识 1

◎ 技能训练平台 1 6

◎ 项目三 三相交流电 6

◎ 技能训练平台 2 13

◎ 知识总结 14

模块 2

建筑电气安装常用工具与材料

◎ 项目一 建筑电气安装常用工具 15

◎ 技能训练平台 1 31

◎ 项目二 建筑电气常用电工材料 32

◎ 技能训练平台 2 50

◎ 实训课题:常用安装工具及消耗材料的选择与使用 51

◎ 知识总结 52

模块 3

施工现场常用电气设备

◎ 项目一 常用建筑低压电器基本知识 53

◎ 技能训练平台 1 70

◎ 项目二 建筑电气动力工程 71

◎ 技能训练平台 2 93

◎ 实训课题:液位自动控制电路 94

◎ 知识总结 97

模块 4

施工现场常用电气设备

◎ 项目一 建筑供配电系统 98

◎ 技能训练平台 1 107

◎ 项目二 建筑供配电设备安装 108

◎ 技能训练平台 2 138

◎ 项目三 建筑防雷与接地 139

模块 5

◎ 技能训练平台 3	159
◎ 实训课题 1:配电箱安装接线	160
◎ 实训课题 2:PVC 管配线	161
◎ 知识总结	162

建筑电气照明

◎ 项目一 电气照明基本知识	163
◎ 技能训练平台 1	188
◎ 项目二 灯具的布置与照明计算	189
◎ 技能训练平台 2	193
◎ 项目三 照明灯具与插座的安全	193
◎ 技能训练平台 3	202
◎ 实训课题:日光灯安装接线	203
◎ 知识总结	205

模块 6

现代建筑电气技术

◎ 项目一 建筑弱电系统	206
◎ 技能训练平台 1	240
◎ 项目二 电梯系统	241
◎ 技能训练平台 2	247
◎ 项目三 智能建筑	247
◎ 技能训练平台 3	253
◎ 实训课题:建筑物楼宇自动化系统监控	253
◎ 知识总结	254

模块 7

建筑电气工程识图

◎ 项目一 建筑电气工程识图的基本知识	255
◎ 技能训练平台 1	262
◎ 项目二 建筑电气工程图实例	262

参考文献

.....	289
-------	-----

电路基本知识



学习描述

本章知识点	
◆学习电路的组成及电路中电流、电压、电功率、电功基本物理量；短路、等电位、额定值、电度的工程意义以及日常生活、生产中用电设备的连接方式； ◆学习单相交流电的特征；纯电阻、纯电容、纯电感元件电路；工频交流电、交流电有效值、功率因数的工程意义；自感现象在工程中的应用以及自感现象危害的防范； ◆学习三相交流电相电压、线电压、相电流、线电流的概念；负载的星、角接线方式以及实际电路的分析计算。	
知识与技能目标	
◆掌握直流电路和交流电路中电流、电压、电功率、电能的基本知识及计算。 ◆掌握短路、等电位、额定值、电度、功率因数的工程意义以及日常生活、生产中建筑用电设备的连接方式。 ◆能够自主分析、计算实际建筑电气电路。	
重点、难点及解决方法	【重点】 1. 直流电路和交流电路中电流、电压、电功率、电能的基本知识及计算。 2. 短路、等电位、额定值、电度、功率因数的工程意义以及日常生活、生产中建筑用电设备的连接方式。 【难点】 交流电路电流、电压、电功率的计算。 【解决方法】 采用案例分析、启发、讨论等方法将重难点突破。



项目一 直流电路基本知识

- 任务 1：了解电路的组成和工作状态；掌握三种工作状态电路电流情况；了解短路的危害。
- 任务 2：了解电路中电流、电阻、电压、电功率、电能的概念；掌握导体、等电位、额定值、电费计量的工程应用及意义。
- 任务 3：理解电阻串联、并联的电路特点；会分析、计算实际的串联、并联电路；掌握实际生活用电设备的连接方式。

一、电路的组成及工作状态



概念

电路就是电流流经的路径。电路一般由电源、负载（负荷）及中间环节（导线、开关）等基本部分组成。

用导线将一个小灯泡的两端分别与一节干电池的正、负极连接起来，就构成了一个最简单的电路，如图 1-1 所示。其中干电池是电能的供给者，被称做电路的电源。小灯泡是消耗电能的，称做电路的负载。通过连接导线，可将电能由电源运送到负载。电灯、电炉、继电器以及电动机等都是电路的负载，它们分别将电源传送的电，转变为光能、热能或机械能为我们所利用。

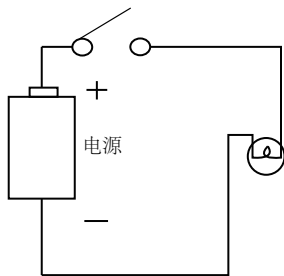


图 1-1 电路的组成

在用电系统中，电路起着传输和转换电能的作用。电路的工作状态有以下三种：

- (1) 通路：电路中的开关闭合，负载中有电流通过，这种状态一般称为正常工作状态。
- (2) 开路：也称为断路，是指电路中某处断开或电路中开关打开，负载（电路）中无电流通过。
- (3) 短路：电源两端的导线由于某种事故而直接相连。



提示 电路通常有三种状态：通路、开路和短路。短路时，电源向导线提供的电流比正常时高几十至几百倍，会损坏电器，因而不允许短路。

二、电流和电阻

1. 电流



概念

电流是电荷有规则的运动，规定正电荷的定向移动的方向为电流的正方向。

电流分成直流电流和交流电流两大类。直流电流是指电流的方向不随时间变化的电流，如图 1-2 所示；交流电流是指电流的大小和方向随时间作周期性变化，如图 1-3 所示。

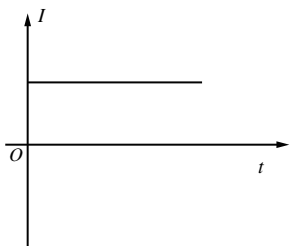


图 1-2 直流电流图

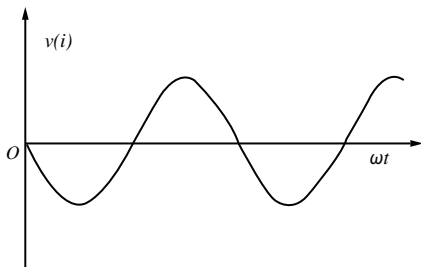


图 1-3 交流电流图

表示电流大小的物理量称做“电流”，用符号 I 表示。其数值等于单位时间内通过导体截面的电量。

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

式中 I ——电流 (A);

Q ——单位时间内, 通过导体横截面电荷电量 (C);

t ——时间 (s)。

在国际单位制中, 电流的单位是安培 (A) 简称安。计算微小电流时以毫安 (mA) 或微安 (μA) 为单位, 它们的关系是:

$$1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA}$$

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

2. 电阻



概念

电阻表示导体阻碍电流通过的作用。导体电阻是客观存在的, 各种材料的电阻不同, 通常把电阻较小的金属材料, 称为导体。

导体两端电阻为:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-2)$$

式中 ρ ——导体电阻率, ρ 值的大小由导体材料决定 ($\Omega \cdot \text{m}$);

L ——导体的长度 (m);

S ——导体的横截面积 (m^2)。

导体电阻的大小除了与以上因素有关外, 还与导体的温度有关, 一般的金属材料温度升高导体电阻增加。电阻的单位是欧姆 (Ω), 在实际应用中, 还常用到千欧 ($\text{k}\Omega$) 和兆欧 ($\text{M}\Omega$), 它们的换算关系是:

$$1 \text{ k}\Omega = 1\,000 \Omega = 10^3 \Omega$$

$$1 \text{ M}\Omega = 1\,000\,000 \Omega = 10^6 \Omega$$

三、电压与电动势

1. 电压



概念

电路中要有电流, 必须先产生电位差, 电流才能从电路的高电位点流向低电位点。在电路中, 任意两点之间的电位差称为这两点的电压, 如图 1-4 所示。

电压常用的单位是伏特 (V), 简称伏。有时也用毫伏 (mV)、微伏 (μV) 和千伏 (kV)。其换算关系为:

$$1 \text{ kV} = 1\,000 \text{ V} \quad 1 \text{ V} = 1\,000 \text{ mV} \quad 1 \text{ mV} = 1\,000 \mu\text{V}$$

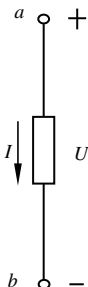


图 1-4 电路中的电压



要点

提示 电压的方向规定由高电位指向低电位,即沿着电位降的方向,电流的方向与电压的方向一致。如果在电路中两点电位差为零,就没有电流在这两点间流过。我们把电位相等的点称等电位,等电位是高压带电作业以及建筑物的等电位连接的理论基础。

2. 电动势



概念

电源电动势是描述电源中电源力做功本领的物理量。电源电动势的方向规定为电源力移动正电荷的方向,即由电源负极指向正极(由低电位指向高电位)。因此电源电动势的方向为电位升高的方向。

电源的电动势,用符号 E 表示,其单位也是伏特 (V)。

四、欧姆定律

1. 欧姆定律

欧姆定律:沿着一段导体流动的电流 I 与导体两端的电压成正比,与导体的电阻成反比。

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-3)$$

【例题 1-1】 如图 1-5 所示,如电阻两端加 2 V 电压,那么通过电阻电流为 2 A 时,则电阻值为 1Ω 。如果电阻值为 1Ω ,电阻两端加 2 V 电压,则通过的电流为 2 A。如果电阻值为 1,通过电阻的电流为 1 A,则电阻两端电压为 1 V。

讨论:实际电路的电阻值会随着所施加的电压和电阻流过的电流而改变吗?

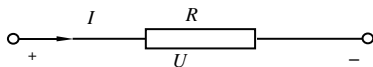


图 1-5 无电源电路

2. 电阻的串、并联知识

如图 1-6 为电阻的串、并联电路所示。

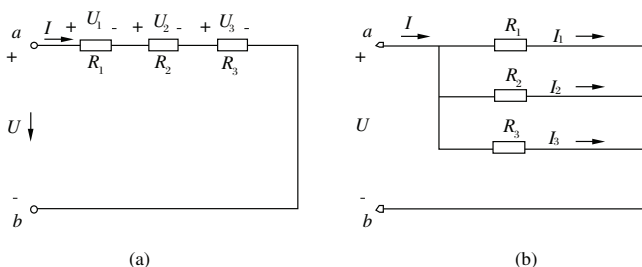


图 1-6 电阻的串、并联电路

(a) 电阻的串联; (b) 电阻的并联

(1) 电阻串联时

总电压等于每个电阻上的电压之和: $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$

电路中的电流相等: $I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$

电路消耗的总功率等于每个电阻消耗的功率之和： $P=P_1+P_2+\cdots+P_n$

(2) 电阻并联时

总电流等于每个电阻流过的电流之和： $I=I_1+I_2+\cdots+I_n$

电路的总电压等于每个电阻两端的电压： $U=U_1=U_2=\cdots=U_n$

电路消耗的总功率等于每个电阻消耗的功率之和： $P=P_1+P_2+\cdots+P_n$

五、电功、电功率

1. 电功

电流通过电灯丝能使它发热、发光，电流还可以使电动机转动，这些现象说明在有电流通过的电路中，都要产生能量的转化。



概念

电路中电能转化为其他能量，是通过电流做功来实现的。电流的功称做电功，实际上就是电场力移动电荷所做的功。

电路中电流所做的功：

$$W=UI \cdot t \quad (1-4)$$

式中 U ——负载两端的电压；

I ——通过负载的电流；

t ——通电时间；

W ——电功。

上式中电流的单位为安培 (A)，电压的单位为伏特 (V)，时间的单位为秒 (s)，由上式得到的电功的单位为焦耳，用 J 表示。

2. 电功率



概念

电流所做的功与做这些功所用时间的比值称作电功率，简称功率，用符号 P 表示。

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UI t}{t} = UI \quad (1-5)$$

在公式中，电功率的单位为瓦 [特] (W)。比较大的电功率的单位为千瓦 (kW)，比较小的电功率的单位为毫瓦 (mW)，它们与瓦的换算关系为：

$$1 \text{ kW} = 1\,000 \text{ W} = 10^3 \text{ W} \quad 1 \text{ mW} = 0.001 \text{ W} = 10^{-3} \text{ W}$$



提示

用电器上一般标有其电功率和电压，称做该用电器的额定功率和额定电压，其含义为：假如给电器加上额定电压，它的功率是额定功率，用电器处于正常工作状态。加在用电器上的电压改变了，其功率将随之改变。

从功率的单位还可以导出电功的另一个常用单位。因为 $W=Pt$ ，因此 $1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{s}$ 。如果功率的单位扩大为千瓦，时间的单位扩大为小时，那么电功的单位为千瓦时 (kW·h)。1 千瓦时又叫 1 度电，这是在生产和生活中常用的计量电功的单位。

1 度电和焦耳的换算关系为：

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1\,000 \text{ J/s} \cdot 3\,600 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

【例题 1-2】 一个标有 220 V、60 W 字样的白炽灯，接在 220 V 的供电线路上，求通过该灯的电流。若平均每天照明 3 h，电价为每度电 0.46 元，求每月（以 30 d 计）应付多少电费？

解 供电线路电压为 220 V，因此该灯正常工作。

按 $P=UI$ 可以算出电流 $I=\frac{P}{U}=\frac{60}{220}\approx 0.27$ (A)

每个月用电的时间为： $t=3\times 30=90$ (h)

每月消耗电能： $W=Pt=0.06\times 90=5.4$ (kW·h)

应付电费： $0.46\times 5.4=2.484$ (元)



技能训练平台1

一、简答题

1. 电路由哪些部分组成？
2. 一个标有 220 V、60 W 字样的白炽灯，接在 220 V 的供电线路上，它消耗的功率是多少？如果接在 300 V 的电源上会怎样？接在 110 V 的电源上会怎样？

二、计算题

1. 某办公室有 12 盏 40 W 照明灯具，一天按 4 h 开灯；烧水壶 2 kW，按 2 h 烧水；200 W 台式电脑 10 台，按 8 小时开机，1 度电按 0.50 元计费，请计算此办公室一年的电费。
2. 一个标有 220 V、60 W 字样的白炽灯和一个标有 220 V、40 W 字样的白炽灯并联。试计算通过每只白炽灯的电流和电功率。如果串联会发生什么现象？

由上述计算在日常生活、生产中设备的连接方面你能得到什么经验？如果供电电压或电流高于或低于用电设备的额定值时会出现什么现象，你又得到什么经验？



项目二 交流电路基本知识



单相交流电

任务 1：了解正弦交流电的概念及三个基本特征，掌握有效值、工频交流电的工程意义。

任务 2：了解电感、电容在实际电路中的作用，会分析纯电阻、纯电感、纯电容电路。

任务 3：了解功率因数的概念，理解功率因数的工程意义以及掌握提高功率因数的方法。

一、单相正弦交流电



概念

交流电是大小和方向变化的电量。变化规律按正弦规律变化的电量，称做正弦交流电。以后我们提到的交流电都是指正弦交流电。

如图 1-7 所示的正弦交流电，在生产和生活中具有极大的实用价值。与直流电相比，它具有两个重要的优点：一方面，交流电可以用变压器改变电压，不仅便于输送，而且损

失较小；另一方面，交流电机比直流电机构造简单，造价便宜，而且运行也较为可靠。

二、正弦交流电的基本特征

如图 1-8 所示，正弦交流电有三个基本特征：大小、变化速度和变化起点。其中正弦交流电的大小用它的峰值来代表，代表变化速度的是正弦交流电的频率，代表变化起点的称为初相。

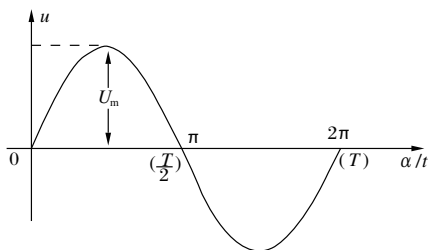


图 1-7 正弦交流电

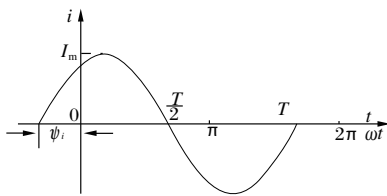


图 1-8 交流电的最大值、周期、初相

1. 正弦交流电的值

(1) 瞬时值：正弦交流电在某一瞬间的值。电动势、电压、电流在某一时刻的瞬时值分别用 e 、 u 、 i 表示。

(2) 最大值：正弦交流电中最大的瞬时值，也称峰值、振幅。电动势、电压和电流的最大值分别用 E_m 、 U_m 、 I_m 表示。

(3) 有效值：交流电流的有效值根据交流电在电路中的热效应来决定。即当交流电和直流电分别通过阻值相同的电阻时，如果两种电流在相同时间内发出的热量相等，则把此时的直流电流称为交流电流的有效值。

正弦交流电的电流、电压和电动势的有效值均为其最大值的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ，分别用 I 、 U 、 E 表示，其关系式为：

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{1}{\sqrt{2}} I_m \approx 0.707 I_m \\ U &= \frac{1}{\sqrt{2}} U_m \approx 0.707 U_m \\ E &= \frac{1}{\sqrt{2}} E_m \approx 0.707 E_m \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$



提示

有效值的工程意义：通常所说照明电路的电源电压为 220 V、电动机的电源电压为 380 V，以及用电表测量出来的电流、电压都是指有效值，一切交流电器、电机等产品铭牌的额定电压、电流等也指有效值。

2. 正弦交流电的周期与频率

(1) 周期：正弦交流电循环变化一周所需的时间，用字母 T 表示，单位是 (s)，常用的还有毫秒 (ms)、微秒 (μs) 及纳秒 (ns)。

(2) 频率：正弦交流电在 1 s 内循环变化的周数，用字母 f 表示，单位是赫兹 (Hz)，常用的还有千赫 (kHz)、兆赫兹 (MHz)。频率和周期互为倒数，即 $T = \frac{1}{f}$ 。

(3) 角频率: 正弦交流电在 1s 内变化的电角度叫角频率, 用字母 ω 表示, 单位是弧度/秒, 用字母 rad/s 表示。角频率与频率之间的关系为 $\omega = 2\pi f$ 。

3. 相位与初相

实际上, 发电机开始旋转时, 线圈的起始位置不一定在中性面上, 而与中性面成一定角度, 假设此角度为 φ , 则在每一瞬间 t 时, 线圈中产生的感应电动势为 $e = E_m \sin(\omega t + \varphi)$ 。式中的 $(\omega t + \varphi)$ 称为相位, 反映了正弦交流电每一瞬间的电角度, φ 为初相, 反映了发电机开始转动时线圈所处的位置。



提示 日常生活与生产中使用的工频交流电是单相电压的有效值为 220 V, 频率为 50 Hz 的正弦交流电。

三、单相正弦交流电路

1. 纯电阻电路

纯电阻电路, 就是电路中只有导线和电阻的电路。如图 1-9 所示, 在纯电阻电路中, 根据欧姆定律, 当电阻一定时, 其瞬时电流的大小与瞬时电压的大小成正比。

纯电阻电路具有如下特点:

(1) 交流电压、电流和电阻之间的关系符合欧姆定律, 负载两端的电压 u 和流过负载的电流 i 是同相位的 (即同时达到最大或最小值)。

(2) 瞬时功率等于瞬时电压乘以瞬时电流 ($p = ui$)。由于 u 和 i 同相位, 所以 p 为正值或 0, 说明负载总是消耗电能 ($p=0$ 除外)。

(3) 电路中的平均功率 (有功功率) 计算公式为:

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-7)$$

式中 U ——负载电阻两端电压的有效值 (V);

I ——流过电阻的电流有效值 (A)。

2. 纯电感电路

在一个交流电路中, 只有电感性质 (如单个线圈的自感量或变压器的互感量) 的负载, 并且可忽略其电阻和分布电容, 那么这个电路就是一个纯电感电路, 如图 1-10 所示。当把一线圈接在交流电路中时, 由于交流电的电流随时在变化, 线圈就会产生自感电动势, 阻碍交流电通过。由法拉第定律可知, 自感电动势的瞬时值与电流的变化成正比, 其方向为阻止线圈中原有电流磁场变化的趋向。

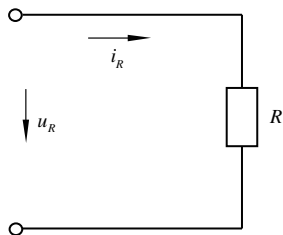


图 1-9 纯电阻电路

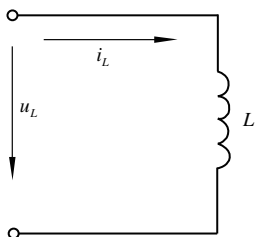


图 1-10 纯电感电路



提示 自感现象在实际工程中有着广泛的应用, 例如日光灯就是利用镇流器在铁心线圈中的自感电动势使灯管启辉, 但自感电动势有不利的一面, 在自感很大的开关电路中会产生很大的电弧, 会烧坏刀口和器件。对于这类现象通常采用在开关或线圈两端并联一个适当的电阻和电容。

(1) 电感线圈的感抗

电感线圈对交流电流的阻碍作用叫感抗,用字母 X_L 表示,单位是欧姆 (Ω)。其计算公式为:

$$X_L = 2\pi fL$$

式中 X_L ——线圈的感抗 (Ω);

f ——电流的频率 (Hz);

L ——线圈的电感 (H)。

从式中看出,电路电流的频率值越高,则感抗越大。直流电路感抗为零,所以电感有“通直流阻交流”的特性。

(2) 纯电感电路中的功率

纯电感元件是储能元件,不消耗有功功率,所以有功功率为零,但电路中时时刻刻进行着能量的传递,此功率为无功功率。此时瞬时功率即为无功功率,用字母 Q_L 表示。其大小为:

$$Q_L = U_L I_L = I_L^2 X_L = U_L^2 X_L \quad (1-8)$$

式中 Q_L ——电路中的无功功率 (var);

U_L ——线圈两端的电压 (V);

I_L ——流过线圈的电流 (A);

X_L ——线圈的感抗 (Ω)。

【例题 1-3】 将 $L=0.1\text{ H}$ 的电感线圈接在 220 V 、 $f=50\text{ Hz}$ 的交流电上。求:(1) 感抗 X_L 和电流 I 的大小;(2) 该电路的无功功率。

解 (1) 感抗可按 $X_L=2\pi fL$ 计算,因此 $X_L \approx 2 \times 3.14 \times 50 \times 0.1 = 31.4\text{ }(\Omega)$ 。

已知电压的有效值 $U=220\text{ V}$,因此电流的有效值 $I = \frac{U}{X_L} = \frac{220}{31.4} \approx 7\text{ (A)}$ 。

(2) 无功功率 $Q_L = U_L I_L = 220 \times 7 = 1540\text{ (var)} = 1.54\text{ (kvar)}$

3. 纯电容电路

当把一电容器接在交流电路中时,电压升高,极板上的电荷增多,电容器充电;当极板的电压下降时,极板上的电荷减小,电容器放电。当交流电反复变化时,极板上的电荷时增时减,因而电路有电流流过,如图 1-11 所示。

(1) 电容的容抗

电容对交流电流的阻碍作用叫容抗,用字母 X_C 表示。单位是欧姆 (Ω)。其计算公式为

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

式中 X_C ——电容的容抗值 (Ω);

f ——电流的频率 (Hz);

C ——电容器的电容 (F)。

从式中可以看出,电路电流的频率值越高,则容抗越小。直流电路感抗为无穷大,所以电感有“通交流隔直的特性”。

(2) 纯电容的功率

纯电容元件也是储能元件,不消耗有功功率,所以有功功率为零,但电路中时时刻刻

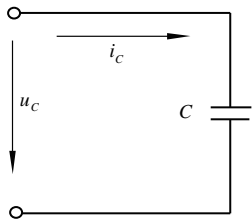


图 1-11 纯电容电路

进行着能量的传递,此功率为无功功率。此时瞬时功率即为无功功率,用字母 Q_C 表示。其大小为:

$$Q_C = U_C I_C = I_L^2 X_C = U_C^2 X_C \quad (1-9)$$

式中 Q_C ——电路中的无功功率 (var);

U_C ——电容两端的电压 (V);

I_C ——电路的电流 (A);

X_C ——电容的容抗 (Ω)。

【例题 1-4】 已知一交流电源频率为 50 Hz,负载电容器的电容为 $C=2\ \mu\text{F}$,电源电压有效值为 110 V。求:(1) 通过电容器的电流;(2) 该电路的有功功率和无功功率。

解: (1) 容抗可按 $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ 计算,因此 $X_C = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 2 \times 10^{-6}} \approx 1\ 592\ (\Omega)$ 。

已知电压的有效值 $U=220\ \text{V}$,因此电流的有效值 $I = \frac{U}{X_C} = \frac{220}{1\ 592} \approx 0.069\ (\text{A})$ 。

(2) 无功功率 $Q_C = U_C I_C = 110 \times 0.069 \approx 7.59\ (\text{var})$,有功功率 $P=0$ 。

4. 功率因数

在交流电路中,交流电源的容量是用视在功率 $S=IU$ 来表示的。而电路中的负载可能由 R 、 L 或 C 组成,其中 L 和 C 可能造成电路增加无功功率,使视在功率上升。电路中其可利用的功率即有功功率仅为视在功率的一部分。反映这种利用程度的物理量即为功率因数,即:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (1-10)$$



提示 常用电气设备中,一些电阻性负载如白炽灯、电阻、电热器等功率因数接近于 1,其他如三相异步电动机、三相变压器、电焊机、电抗器、架空线及电气仪表的功率因数均小于 1。交流异步电动机,在额定负载时功率因数仅约为 0.7~0.9,不带电容器的日光灯其功率因数仅为 0.5~0.6。为提高功率因数,需合理配用异步电动机,消除电动机的轻载运行现象(即俗称“马拉小车”);合理调度变压器的经济运行,消除变压器空载等。



三相交流电

任务 1: 了解三相输电的优点,三相交流电的概念。

任务 2: 掌握三相交流电源的星连接方法,以及火线、零线的工程意义。

任务 3: 掌握负载星连接、角连接方法,以及负载星连接、角连接时线、相电压,线、相电流的意义,会分析、计算实际的三相交流电路。

一、三相交流电概念

三相交流电源是三个频率相同、最大值相等、相位差为 120° 的正弦电动势组成的电源。与单相交流电相比,三相交流电具有以下优点:

- (1) 三相发电机、变压器较单相电机节省材料、性能可靠;
- (2) 在传输相同功率的情况下,三相输电线路可节省约 25% 的金属材料;
- (3) 三相电动机较单相电动机结构简单,便于维护而且使用较为方便。

以上优点决定了三相交流电源必然得到广泛应用，目前的电力系统都采用三相系统。

实际应用中的交流电是由三相发电机产生的三相交流电。发电机三个独立的绕组首端用 A、B、C 表示，末端用 a、b、c 表示，分别称为 A 相、B 相、C 相绕组。发出的三个正弦交流电的电动势，分别用 e_A 、 e_B 、 e_C 表示，如图 1-12 所示，其最大值相等、频率相同、相位不同，彼此之间的相位差为 120° 。以 $t=0$ 作为 A 相电动势的起点，则：

$$\begin{aligned} e_A &= E \sin \omega t \\ e_B &= E \sin(\omega t - 120^\circ) \\ e_C &= E \sin(\omega t - 240^\circ) = E \sin(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \tag{1-11}$$

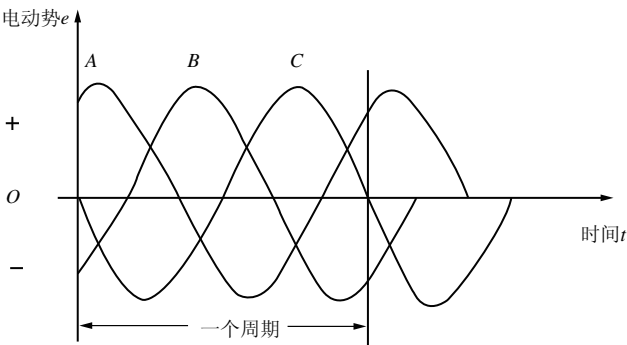


图 1-12 三相正弦交流电

二、三相电源的连接

1. 三相电源的星形接法



概念

三相电源的星形接法也称 Y 接法，是从发电机绕组的三个首端 A、B、C 引出三根输电线，称为端线或相线，俗称火线；末端 a、b、c 接在一起引出一根输电线，接点称为中性点或中线，通常与大地相接，俗称零线，用 N 表示。这种输电方式采用三根相线（火线）和一根中线（零线），叫做三相四线，三相电源输出分别为相电压和线电压，如图 1-13 所示。

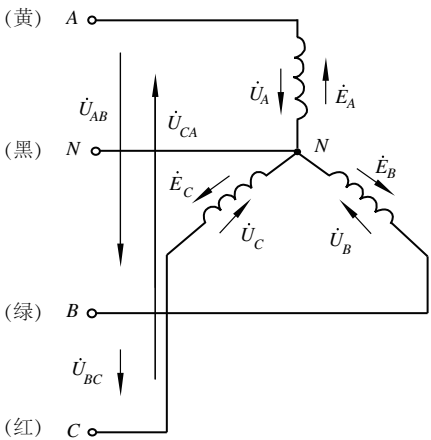


图 1-13 发电机绕组的星形接法



概念

相电压是每相绕组两端的电压，其有效值也可用 U_A 、 U_B 、 U_C 表示。在 Y 形接法中，相电压即端线（火线）与中线（零线）之间的电压。

线电压是任意两端线（火线）之间的电压。其有效值也可用 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CA} 表示。星形接法相电压和线电压不同。在星形接法时，线电压有效值是相电压的 $\sqrt{3}$ 倍。

2. 三相电源的三角形接法

三相电源的三角形接法也称 $\triangle$ 接法，是把发电机三个绕组线圈首尾相接，并由三个接点引出三根端线。这种输电方式只采用三根端线，叫做三相三线制。三相电源的三角形接法的优点是能节省一根导线。但由于其线电压等于相电压，故只能输出一种电压，而且无法进行接地保护；三相交流发电机通常很难输出标准的正弦波形，所以此种接法应用很少。



提示

通常所说照明电源的电压为 220 V，电动机的电压为 380 V 等，就是电源的相电压和线电压之间的区别 ($220 \times \sqrt{3} \approx 380$ V)。

三、三相负载的连接

1. 三相负载的星形连接

星形接法是将三相负载的一端分别接在端线 A、B、C 上，另一端一同接在 N 线上，如图 1-14 所示。此时加于各相负载两端的电压为电源的相电压。

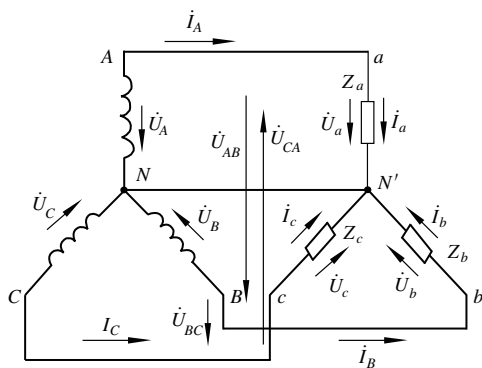


图 1-14 三相负载的星形接法



提示

在三相四线制供电的交流电路中，负载有单相和三相之分。单相负载只用两根电源线（一根相线一根中性线）供电的电气设备，如电灯、民用电炉、单相电动机等。

2. 三相负载的角形连接

角形接法是将三相负载的一端分别接在端线 A、B、C 上，另一端接在另一端线上，如图 1-15 所示。此时加于各相负载两端的电压为电源的线电压。

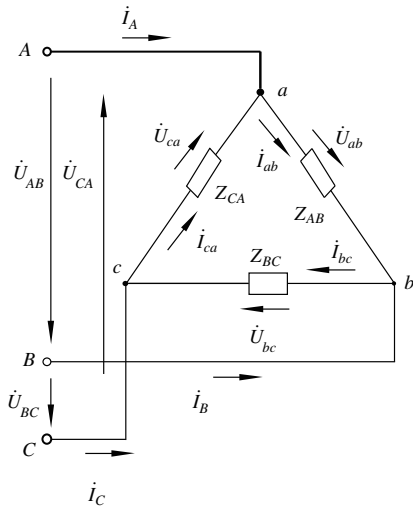


图 1-15 三相负载的三角形接法



概念

线电流是流过端线的电流，其有效值也可用 I_A 、 I_B 、 I_C 表示，相电流是流过负载的电流，其有效值也可用 I_{ab} 、 I_{bc} 、 I_{ca} 表示。在负载星形接法时，线电压与线电流相等；在负载角形接法时，线电流有效值是相电流的 $\sqrt{3}$ 倍。



提示

在三相电气设备的铭牌上，额定电压、额定电流指设备的承受的线电压、通过设备的线电流。



技能训练平台2

一、选择题

1. 下列说法正确的是（ ）。
A. 交流电与直流电的区别是交流电可以做热功，所以用计量电费
B. 交流电在日常生活常用，而直流电不常用
C. 日常生活、生产用的工频交流电指频率为 50 Hz 的交流电
2. 下列对电阻、电感、电容的说法正确的是（ ）。
A. 电阻有阻碍电流的能力，为储能元件
B. 电感、电容有阻碍电流的能力，为储能元件
C. 电阻、电感、电容都可以消耗电能，将电能转化为实际生活、生产的其他能量
D. 电容有“通直流阻交流”的能力
3. 下列关于电费计量正确的说法是（ ）。
A. 电费是表征电功率的量
B. 电费是由电流所做的功来衡量，单位是 kW·h，即 1 kW·1 h 为 1 度电
C. 电费是由电流所做的功来衡量，1 度电=1 焦耳
4. 下列关于单相交流电说法正确的是（ ）。

- A. 我们所说的 380 V/220 V, 指的是交流电的有效值为 220 V, 最大值为 380 V
- B. 电工仪表测量出来的值指的是交流电的最大值
- C. 某单相电机铭牌上标有电机额定电压为 220 V, 指的是此电机承受的额定电压为 220 V, 并且此电压指的是有效值
5. 下面关于三相交流电说法错误的是 ()。
- A. 建筑物的照明单只灯具用的是三相交流电其中的一相, 并且承受的电压是 220 V
- B. 三相四相制是三根火线、一根零线
- C. 某三相电机铭牌上标有电机额定电压为 380 V, 指的是此电机承受的额定线电压为 380 V, 并且此电压指的是有效值
- D. 在三相四线制供电系统中, 线电压指的是火线与火线之间的电压, 相电压指的是火线与零线的电压

二、计算题

1. 某办公室有 10 盏 60 W 照明灯具, 一天按 4 h 开灯; 烧水壶 2 kW, 一天按 3 h 烧水; 200 W 台式电脑 8 台, 一天按 9 小时开机, 1 度电按 0.50 元计费, 请计算此办公室一个月的电费 (按 30 d 计)。
2. 某办公楼三相各接 120 盏 40 W 照明灯具, 计算每相电流, 并且计算消耗的总功率。



知识总结

技能点与知识点:

1. 理解电路的组成和电路中电流、电压、电功率、电功基本物理量。了解短路、等电位、额定值、电度的工程意义, 掌握日常生活、生产中用电设备的连接方式。
2. 理解单相交流电的三要素。了解工频交流电、交流电有效值、纯电阻、纯电容、纯电感元件、功率因数的工程意义和自感现象在工程中的应用以及自感现象危害的防范。
3. 理解三相交流电相电压、线电压、相电流、线电流的概念。掌握三相四线制、负载的星、角接线方式。了解线电压、线电流的工程意义, 能自主分析实际的建筑电气中三相电路并进行有关计算。