

国家示范院校重点建设专业工学结合系列教材

采掘电气控制

CAIJUE DIANQI KONGZHI

主编 贺建华



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

内 容 提 要

本教材依据煤矿井筒施工与巷道掘进技术和管理岗位对电气工程技术的要求组织教学内容,重点是采掘供配电与控制设备的管理应用和煤矿供用电安全技术,兼顾介绍煤矿供配电系统、采掘供配电设备的选型等方面的知识,做到知识性、技能性和实践性有机结合,为学生更好地从事相关技术工作,同时也为其从事管理决策打下基础。其主要内容包括五个教学项目:采掘电气控制能力基础、矿井巷道掘进机械电气控制、矿井提升与井筒掘进电气控制、采煤与运输机械电气控制、安全用电管理。

图书在版编目(CIP)数据

采掘电气控制 / 贺建华主编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2010.12

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0820 - 0

I. ①采… II. ①贺… III. ①矿用电气设备—电气控制—技术培训—教材 IV. ①TD63—44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第204605号

书 名 采掘电气控制

主 编 贺建华

责任编辑 孟 茜 耿东锋

责任校对 周俊平

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 11.5 字数 287 千字

版次印次 2010年12月第1版 2010年12月第1次印刷

定 价 18.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

编委会名单

主 任：袁洪志

副主任：季 翔

编 委：沈士德 王作兴 韩成标
陈年和 孙亚峰 陈益武
张 魁 郭起剑 刘海波

序

20 世纪 90 年代以来,我国高等职业教育进入快速发展时期,高等职业教育占据了高等教育的半壁江山,职业教育迎来了前所未有的发展机遇,特别是国家启动了示范性高职院校建设项目计划,促使高职院校更加注重办学特色与办学质量,力求深化内涵、彰显特色。我校自 2008 年成为国家示范性高职院校建设单位以来,在课程体系与教学内容、教学实验实训条件、师资队伍、专业及专业群、社会服务能力等方面进行了深化改革,探索建设了具有示范特色的教育教学体制。

根据国家示范性高职院校建设项目计划,学校开展了教材编写工作。本系列教材是在工学结合思想指导下,结合“工作过程系统化”课程建设理念,突出“实用、适用、够用”特点,遵循高职教育的规律编写而成的。教材的编者大都具有丰富的工程实践经验和较为深厚的教学理论水平。

本系列教材的主要特点有:

(1) 突出工学结合特色。邀请施工企业技术人员参与教材的编写,教材内容大多采用情境教学设计和项目教学方法,所采用案例多来源于工程实践,工学结合特色显著,着力培养学生的实践能力。

(2) 突出“实用、适用、够用”的特点。传统教材多采用学科体系,将知识切割为点。本系列教材以工作过程或工程项目为主线,将知识点串联,把实用的理论知识和实践技能在仿真情境中融会贯通,使学生既能掌握扎实的理论知识,又能学以致用。

(3) 融入职业岗位标准、工作流程,体现职业特色。在本系列教材编写中,根据行业或者岗位要求,把国家标准、行业标准、职业标准及工作流程引入教材中,指导学生了解、掌握相关标准及流程。学生掌握最新的知识、熟知最新的工作流程,具备了实践能力,毕业后就能够迅速上岗。

本系列教材的编写得到了中国矿业大学出版社的大力支持,在此,谨向支持和参与教材编写工作的有关单位、部门及个人表示衷心感谢。

本系列教材的付梓出版也是学校示范性建设项目的成果之一。欢迎读者提出宝贵意见,以便在今后的修订中进一步完善。

徐州建筑职业技术学院

2010 年 9 月

前 言

本教材依据矿井建设专业学生对矿山电气工程知识与能力的要求组织编写,其主要目的是满足井筒施工与井巷掘进技术与管理岗位工作任务的需要,同时兼顾矿山机电专业学生学习采掘机械设备电气控制系统的需要。

本教材具有以下几个方面的特点:

(1) 主要面向矿井建设专业高职学生,内容包括电工基础知识、煤矿供配电系统的基础知识、采掘机械设备的电气控制技术、煤矿用电安全技术等。

(2) 兼顾矿山机电和矿山类其他专业的需要,对采掘机械设备的电气控制部分,安排了一些较深入和专业的内容,安排了一定的选学内容。

(3) 对于电工基础知识和煤矿供配电系统等部分内容,尽量简化,力求简洁明了。

(4) 注重实用性,内容的选取来源于矿井建设工程及其管理工作对电气技术的实际需要。

(5) 教材针对性强,培养目标明确。

本教材由贺建华主编。徐州建筑职业技术学院汪梁编写项目一和项目四;徐州建筑职业技术学院戴冠秀编写项目五;徐州建筑职业技术学院贺建华编写项目二和项目三。徐州建筑职业技术学院国芳参与了本书的编写工作。徐州矿业集团庞庄煤矿鹿守明对本书的编写提出了许多宝贵的意见。

对在本教材的编写过程中给予大力支持的煤矿工程技术人员、矿建工程技术人员和同行教师,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,教材中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2010年7月

目 录

项目一 采掘电气控制能力基础	1
任务一 直流电路	1
任务二 单相交流电路	4
任务三 三相交流电路	12
任务四 矿山供电系统与变配电设备	17
任务五 输电线路	30
项目二 矿井巷道掘进机械电气控制	35
任务一 三相交流异步电动机原理及应用	35
任务二 矿用隔爆型低压自动馈电开关原理及应用	39
任务三 矿用隔爆型电磁启动器原理及应用	43
任务四 井下巷道掘进电气控制系统	51
项目三 矿井提升与井筒掘进电气控制	62
任务一 凿井绞车的控制	62
任务二 TKD 电气控制系统的主要设备	66
任务三 TKD 单绳提升机电气控制系统	74
任务四 矿井提升机的直流拖动电气控制	98
项目四 采煤与运输机械电气控制	125
任务一 井下采煤机电气控制	125
任务二 带式输送机电气控制	147
项目五 安全用电管理	155
任务一 矿山电气设备防爆原理与类型	155
任务二 触电及其预防	159
任务三 漏电保护及接地保护	163
任务四 过电压保护	167
任务五 供电安全技术措施与管理制度	169

项目一 采掘电气控制能力基础

一、知识要点

1. 直流电路、单相交流电路、三相交流电路的基本概念；
2. 矿山供配电系统；
3. 常用高、低压电气设备和输电线路。

二、能力目标

1. 掌握日常办公与生活用电的基本常识；
2. 常用电工工具的使用与简单交、直流电路测量接线能力；
3. 煤矿供电系统的认识与基本分析能力；
4. 一般性高、低压电气设备与输电线路的选择能力。

任务一 直流电路

一、电路的基本概念

电流通过的路径称为电路。电路由电源、导线、负载和开关等组成,如图 1-1、图 1-2 所示。电源为电路提供电能,如图中的干电池 E;导线为电流提供流通的路径,如图中的连接导线;负载将电能转化为其他形式的能量,如图中的灯泡 D;开关控制电路的接通与分断,如图中的开关 S。

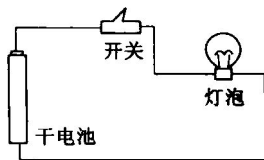


图 1-1 直流照明电路的实际图

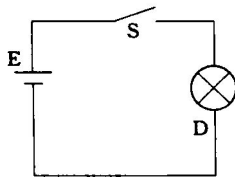


图 1-2 直流照明电路电气原理图

（一）电流

在电场力的作用下,电荷有规则地定向移动形成电流。单位时间内通过导体截面的电荷量定义为电流强度,用以衡量电流的大小,常简称为电流,用符号 i 表示,单位是安培(A)。

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

式中 i ——电流强度, A;

q ——电荷量, C;

t ——时间, s。

在电路中, 习惯上规定正电荷移动的方向为电流实际方向。电流的方向可用箭头表示, 如图 1-3 所示, 也可用字母双下标表示, 如 i_{ab} 。

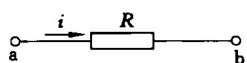


图 1-3 电流方向的表示

大小和方向不随时间变化的电流称为直流电流, 反之称为交流电流。

(二) 电压

在电路中, 电压用来反映任意两点间电场力做功的能力。电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功, 称为 a、b 间的电压。通常电压用符号 u 表示, 单位是伏特(V)。

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1-2)$$

式中 W ——电场力所做的功, J。

一般把电位降低的方向作为电压的实际方向。在电路中, 电压的方向可用“+”、“-”表示, 也可用字母双下标表示, 如 u_{ab} , 如图 1-4 所示。

大小和方向不随时间变化的电压称为直流电压, 反之称为交流电压。

(三) 电源电动势

在电路中, 正电荷在电场力的作用下, 经与电源连接的外电路, 从电源的高电位端(正极)流向电源的低电位端(负极)。因此, 要维持电路中的电流, 在电源内部就必须有能把正电荷从低电位端(负极)移向高电位端(正极)的非电场力。

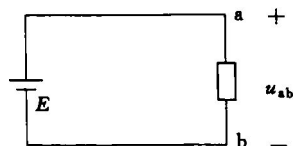


图 1-4 电压方向的表示

电动势是指在电源内部, 非电场力将单位正电荷从电源低电位端(负极)移向高电位端(正极)所做的功。电动势用符号 E 表示, 单位是伏特(V)。

(四) 电功率

单位时间内电场力所做的功称为电功率, 用符号 P 表示, 单位是瓦特(W)。

功率与电流、电压的关系为

$$P = UI \quad (1-3)$$

平时所说的 1 度电是指功率为 1 kW 的用电设备在 1 h 内消耗的电能, 即 1 kW · h。

当负载上的电压和电流的实际方向一致时, 电功率为正值, 表示负载将从电源吸收能量; 当负载上的电压和电流的实际方向不一致时, 电功率为负值, 表示负载将要向电源释放能量。

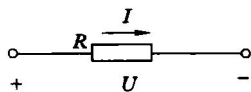


图 1-5 欧姆定律

二、电路的基本定律

(一) 欧姆定律

图 1-5 所示是闭合电路中的一段, 实验证明: 流经电阻 R 的电流大小与加在电阻两端的电压 U 成正比, 而与电阻 R 的

阻值成反比。这就是一段电路的欧姆定律。即

$$I = \frac{U}{R} \text{ 或 } U = IR \quad (1-4)$$

电阻 R 的单位是欧姆(Ω)。

(二) 基尔霍夫定律

电路的另一个基本定律就是基尔霍夫定律,包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。下面介绍电路中常用的几个术语。

支路:电路中流过同一电流的几个元件互相连接起来的分支;节点:电路中由三条或三条以上支路连接成的点;回路:电路中由支路组成的闭合路径。图 1-6 中有两个节点,分别是节点 A 和节点 B;有三个回路,分别是回路 AEFB、回路 ACDB 和回路 ECDF。

1. 基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律用于反映电路中的任一节点相关联的所有支路电流之间的相互约束关系。表述为:在电路中,任意时刻任一节点所有支路电流的代数和等于零。也就是流进某一节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。即

$$\sum I = 0 \text{ 或 } \sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-5)$$

图 1-6 所示的电路,对于节点 A,根据基尔霍夫电流定律,有

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \text{ 或 } I_1 + I_2 = I_3$$

对于节点 B,有

$$I_3 - I_2 - I_1 = 0 \text{ 或 } I_3 = I_1 + I_2$$

在一个电路中,如果有 n 个节点,节点电流的独立方程式数只有 $(n-1)$ 个。

2. 基尔霍夫电压定律(KVL)

基尔霍夫电压定律用于反映电路中任一回路的各段电压之间的相互约束关系。表述为:在电路中,任意时刻沿任一闭合回路的所有支路或元件电压的代数和恒等于零。即

$$\sum U = 0 \quad (1-6)$$

在实际应用中,基尔霍夫电压定律也可表述为:对于任一闭合回路,回路中电动势的代数和等于回路中电阻上电压降的代数和。即

$$\sum E = \sum IR \quad (1-7)$$

所以对于图 1-6 中的回路 I,可列出方程如下:

$$E = I_1 R_1 + I_3 R_4 + I_1 R_3$$

注意:运用基尔霍夫电压定律时,要先规定回路的绕行方向,如图 1-6 中的回路 I。当电阻上的电流与绕行方向一致时,电阻上的电压降取为正,反之为负。当电动势的方向与绕行方向一致时取为正,反之为负。

(三) 电阻的连接

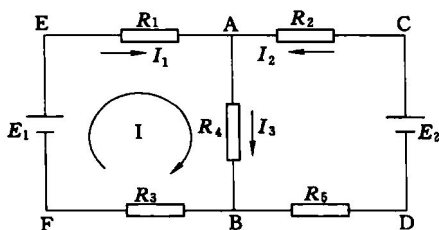


图 1-6 电路

1. 电阻的串联

电路中若干个电阻首尾相连,中间没有分支,称为电阻的串联,如图 1-7 所示。

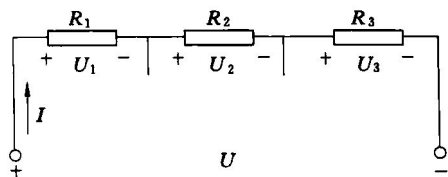


图 1-7 电阻的串联

电阻串联的特点:

(1) 各电阻流过的电流相等;

(2) 总电阻 R 等于各电阻之和

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1-8)$$

(3) 总电压等于各电阻上电压降之和

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (1-9)$$

(4) 电路消耗的功率等于各电阻上消耗的功率之和

率之和

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (1-10)$$

2. 电阻的并联

电路中若干个电阻共同连接在电路中的两个节点之间,它们承受同一个电压,称为电阻的并联,如图 1-8 所示。

电阻并联的特点:

(1) 各电阻两端的电压相等,都等于总电压 U ;

(2) 总电阻 R 的倒数等于各电阻的倒数之和

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (1-11)$$

(3) 总电流等于各电阻上电流之和

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (1-12)$$

(4) 电路消耗的功率等于各电阻上消耗的功率之和

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (1-13)$$

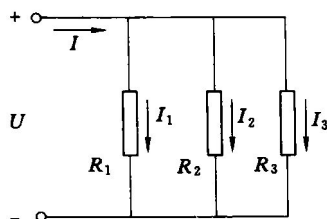


图 1-8 电阻的并联

任务二 单相交流电路

交流电具有容易产生、输送和分配方便的优点,在现代电气设备中应用最为广泛。

一、正弦量的三要素

按照正弦规律变化的电压、电流统称为正弦交流电。含有正弦交流电源的电路称为正弦交流电路。

正弦交流电路中的电压 u 、电流 i 的一般表达式为

$$u = U_m \sin(\omega t + \Psi_u) \quad (1-14)$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \Psi_i) \quad (1-15)$$

式中 U_m, I_m ——振幅;

ω ——角频率;

Ψ_u, Ψ_i ——初相位。

正弦量的变化取决于以上三个量,通常把振幅、角频率、初相位称为正弦量的三要素,如图 1-9 所示。

正弦量变化一周所需要的时间称为周期,用符号 T 表示,单位为秒(s)。每秒完成的周期数称为频率,用符号 f 表示,单位为赫兹(Hz)。频率与周期互为倒数,即

$$f = \frac{1}{T} \quad (1-16)$$

ω 称为正弦电压 u 的角频率,单位是弧度/秒(rad/s)。

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (1-17)$$

我国采用 50 Hz 作为电力电源的标准频率,又称工频。

在电气设备上标注额定电压的数值通常为有效值。有效值指的是对同一电阻而言,在相同时间里分别通入交流电和直流电,产生的热效应相同,则此时直流电的数值称为交流电的有效值。有效值一般用大写字母表示。

最大值与有效值的关系为

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (1-18)$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (1-19)$$

在式(1-14)中, $(\omega t + \Psi_u)$ 称为正弦量的相位角,简称相位。 Ψ_u 称为正弦量的初相位,是反映正弦量初始变化状态的物理量。它是 $t=0$ 时刻正弦量的相位角,反映了电压的初始变化状态。

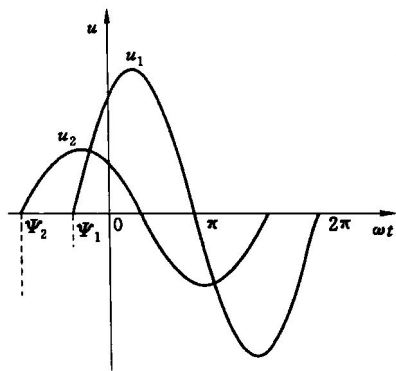


图 1-10 正弦量的相位差

两个同频率正弦交流电的初相位之差称为相位差。在正弦量的变化过程中,相位差通常有同相、超前、滞后、反相等几种情况。

设两正弦量相同频率初相位如图 1-10 所示,其表达式分别为

$$u_1 = U_{1m} \sin(\omega t + \Psi_1)$$

$$u_2 = U_{2m} \sin(\omega t + \Psi_2)$$

它们的初相位分别为 Ψ_1 和 Ψ_2 , 则相位差

$$\alpha = (\omega t + \Psi_1) - (\omega t + \Psi_2) = \Psi_1 - \Psi_2$$

二、纯电阻电路

由白炽灯、电炉或变阻器等负载所组成的交流电路,可认为是纯电阻电路。

(一) 纯电阻电路的电压电流关系

纯电阻电路如图 1-11 所示,设加在电阻两端的正弦电压为

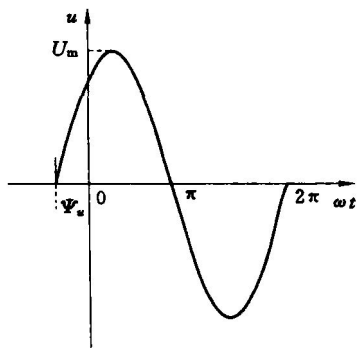


图 1-9 交流电的波形

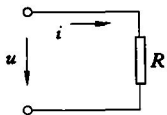


图 1-11 纯电阻电路

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

根据欧姆定律,通过电阻的电流瞬时值应为

$$i = \frac{U_m \sin \omega t}{R} = I_m \sin \omega t \quad (1-20)$$

通过电阻的电流最大值为

$$I_m = \frac{U_m}{R} \quad (1-21)$$

通过电阻的电流有效值为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-22)$$

(二) 纯电阻电路的功率

对于纯电阻电路来说,当电阻元件有电流流过时,电阻将发热,将电能转变为热能,说明电阻是耗能元件。在电路中,电阻元件取用的功率称为有功功率,用符号 P 表示。

$$P = UI \quad (1-23)$$

由此可知,在交流电路中,电阻元件上消耗的功率为交流电压、电流的有效值的乘积。

有功功率也可表示为

$$P = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-24)$$

有功功率 P 的单位为瓦(W)或千瓦(kW)。

一般除特殊说明外,在用电器的铭牌上标明的额定功率,均是指有功功率。

三、纯电感电路

(一) 电感

电感元件用符号 L 表示,在电路中的图形符号如图 1-12 所示。

当电感线圈有电流流过时,在线圈内部及周围将产生磁通。当流过的是交流电流时,产生的磁通就是交变的磁通。当穿过线圈的磁通是变化的磁通时,在线圈中会产生感应电动势。



图 1-12 电感的电路符号

这种由于线圈本身电流变化在自身内产生感应电动势的现象,叫做自感应。

如果线圈的匝数是 N ,电流产生的磁通是 Φ_L ,则磁通 Φ_L 和与其交链的匝数 N 的乘积称为磁链 Ψ_L 。即

$$\Psi_L = N\Phi_L$$

一个线圈的自感磁链 Ψ_L 和所通过的电流 i 的比值叫做线圈的自感系数,简称电感,用符号 L 表示。即

$$L = \frac{\Psi_L}{i} \quad (1-25)$$

电感的单位为亨(H),常用的有毫亨(mH)和微亨(μ H)。1 H=1 000 mH,1 mH=1 000 μ H。

线圈的自感应电动势的表达式为

$$e_L = \frac{d\Psi_L}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (1-26)$$

(二) 纯电感电路的电压电流关系

纯电感电路如图 1-13 所示。

设线圈中流过的交流电流为

$$i_L = I_m \sin \omega t$$

则外加电压为

$$\begin{aligned} u_L &= -e_L = L \frac{di_L}{dt} = L \frac{d}{dt}(I_m \sin \omega t) \\ &= \omega L I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \end{aligned} \quad (1-27)$$

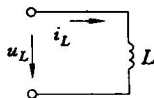


图 1-13 纯电感电路

由式(1-27)可以看出,纯电感线圈通过的正弦电流比线圈两端的正弦电压滞后 $\pi/2$ 电角度。这点也可以理解为:电感线圈总是试图阻碍电流的变化,其流过的电流不能突变,所以在其两端加上一个交流电压后,其流过的电流总是滞后于电压。

同样根据式(1-27)可知电压的最大值为

$$\begin{aligned} U_{Lm} &= \omega L I_m \\ U_L &= \omega L I_L \text{ 或 } I_L = \frac{U_L}{\omega L} = \frac{U_L}{X_L} \end{aligned} \quad (1-28)$$

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \quad (1-29)$$

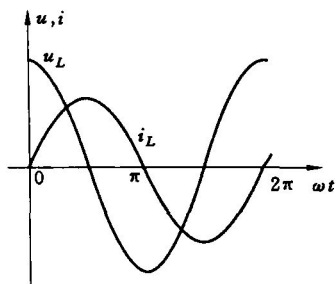


图 1-14 纯电感电路的电压电流关系

X_L 称为电感抗(简称感抗),单位为欧姆(Ω)。它可以理解为电感线圈对交流电的阻碍作用。在交流电压一定的情况下,感抗越大,则流过电感的电流就越小。

纯电感电路中,电流电压的关系如图 1-14 所示。

式(1-29)也可反映出,交流电频率越高,感抗越大;反之当频率等于 0 时,即直流电,这时感抗为 0,即电感是“通低频、隔高频”,或说成“通直流、隔交流”。

(三) 纯电感电路的功率

电感两端的电压和流过电流瞬时值的乘积

称为该电路的瞬时功率,用符号 p_L 表示,即

$$\begin{aligned} p_L &= u_L i_L = U_m I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \sin \omega t \\ &= U_m I_m \cos \omega t \sin \omega t \\ &= UI \sin 2\omega t \end{aligned}$$

p_L 的变化曲线如图 1-15 所示,在 $1/4$ 和 $3/4$ 周期里, p_L 为正值,表示把电能转换为磁场能。在 $2/4$ 和 $4/4$ 周期里, p_L 为负值,表示把磁场能转换为电能送回电源。平均功率 $p_L = 0$ 。所以,纯电感线圈在电路中不消耗能量。

电感元件在交流电路中虽然不消耗电能,但它还是不断和电源进行能量交换。我们

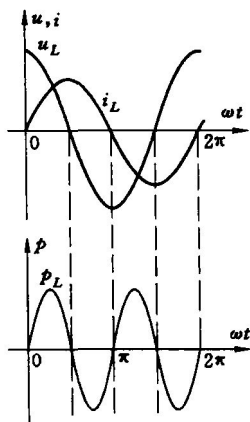


图 1-15 纯电感电路的瞬时功率

用无功功率 Q_L 来衡量这种电能交换的规模,即

$$Q_L = U_L I_L = I_L^2 X_L = \frac{U_L^2}{X_L} \quad (1-30)$$

无功功率的单位是伏安 ($V \cdot A$)、千伏安 ($kV \cdot A$)。

四、纯电容电路

(一) 电容器

电容器是由两个彼此绝缘且相隔很近的导体(包括导线)构成的容纳电荷的器件。充电和放电作用是电容器在电路中的基本功能。电容器用字母 C 表示,在电路中的图形符号如图 1-16 所示。

电容的单位为法拉(F),F 的单位太大,常用微法(μF)、皮法(pF)来表示。

$$1 \mu F = 10^6 \text{ pF}$$

$$1 \text{ F} = 10^6 \mu F = 10^{12} \text{ pF}$$

(二) 纯电容电路的电压电流关系

纯电容电路如图 1-17 所示。



图 1-16 电容的符号

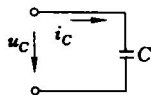


图 1-17 纯电容电路

我们知道:电容器极板上的电荷与电压器两端电压的关系为: $q = Cu$ 。

设加在电容器两端的正弦电压为

$$u_C = U_m \sin \omega t$$

根据电流的定义,有

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} = C \frac{d}{dt} U_m \sin \omega t = \omega C U_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (1-31)$$

由式(1-31)可以看出,纯电容电路中,电流 i 比电压超前 $\pi/2$ 电角度。这点也可以理解为:电容器两端的电压是由电容器储存的电荷决定的,而电荷量不能突变,所以电压总是滞后于电流。

同样根据式(1-31),正弦电流的最大值

$$I_m = \omega C U_m$$

$$I_C = \omega C U_C \text{ 或 } I = \frac{U_C}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U_C}{X_C} \quad (1-32)$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad (1-33)$$

X_C 称为电容抗(简称容抗),单位是欧姆(Ω)。它可以理解为电容器对交流电的阻碍

作用。在交流电压一定的情况下,容抗越大,则流过电容器的电流就越小。

纯电容电路中,电流电压的关系如图1-18所示。

式(1-33)也可反映出交流电频率越高,容抗越小,反之当频率等于0时,即直流电,这时容抗为无穷大,即电容是“通高频、隔低频”,或说成“通交流、隔直流”。

(三) 纯电容电路的功率

电容电压和电流瞬时值的乘积也称为该电路的瞬时功率,用 p_C 表示,即

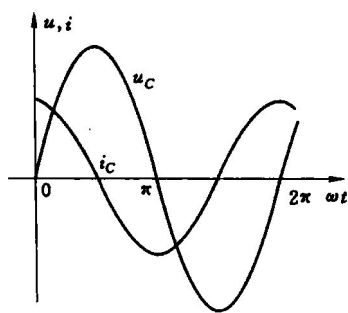


图 1-18 纯电容电路的电压电流关系

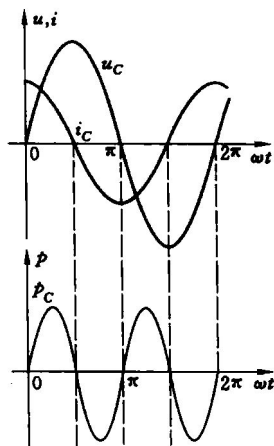


图 1-19 纯电容电路的瞬时功率

$$\begin{aligned} p_C &= u_C i_C = U_m I_m \sin \omega t \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \\ &= U_m I_m \sin \omega t \cos \omega t \\ &= UI \sin 2\omega t \end{aligned}$$

p_C 的变化曲线如图 1-19 所示,在 $1/4$ 和 $3/4$ 周期里, p_C 为正值,表示把电能转换为电场能储存在电容器上。在 $2/4$ 和 $4/4$ 周期里, p_C 为负值,表示把电容器的电场能转换为电能回送到电源。

电容元件在交流电路中虽然不消耗电能,但它还是不断和电源进行能量交换,我们用无功功率 Q_C 来衡量这种电能交换的规模,即

$$Q_C = U_C I_C = I_C^2 X_C = \frac{U_C^2}{X_C} \quad (1-34)$$

实训任务一 日光灯组装与维修

一、实验目的

- (1) 熟悉日光灯电路及各组成部分,学习日光灯电路的连接方法,学习功率表的正确使用使用方法。
- (2) 理解感性负载并联电容器提高功率因数的概念。

二、原理说明

图 1-20(a)所示是日光灯电路接线图。日光灯的工作原理是:接通电源后,由镇流器、日光灯的右侧灯丝、启辉器、日光灯的左侧灯丝通过交流电源形成交流回路,启辉器内的动、静触片之间通过启辉器内充的氖气进行辉光放电。辉光放电使动、静触片温度升高,动触片受热伸展与静触片接触,接触后不再进行辉光放电,温度下降,动、静触片分开,使

电路瞬时断开。在电路断开的瞬间,镇流器由于内部的电流突变产生感应电动势,其方向与原来的电压方向相同,两电压相叠加,加到灯管两端,使灯管内的水银蒸发导电,并发出紫外线,紫外线激发灯管壁上的荧光粉发光。

日光灯电路中,灯管和镇流器串联构成一个感性负载电路。图 1-20(b)是它的等效电路,由灯管的等效电阻 R_2 、镇流器的内阻 R_1 和镇流器的电感 L_1 串联组成。

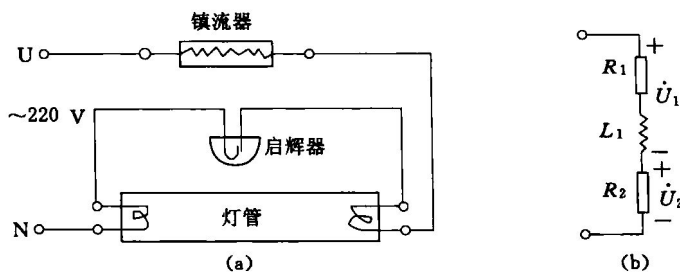


图 1-20 日光灯电路

日光灯实验电路图如图 1-21 所示。为了观察电源电压变化对日光灯工作的影响,日光灯电路用调压器的输出作为电源。功率表 W 用来测量日光灯电路的有功功率。与日光灯电路并联的电容 C 为一个可变电容器,其容量可在 $0 \sim 8.4 \mu\text{F}$ 间调整,用以研究不同电容下电路的电流、功率和功率因数的变化情况。

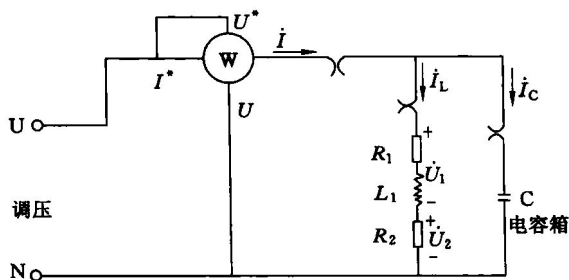


图 1-21 日光灯实验电路图

三、预习要求

(1) 拆装日光灯具,了解日光灯电路的构成以及灯管、镇流器、启辉器的内部结构和原理,熟悉日光灯电路的接线。

(2) 复习教材中的相关章节,查阅资料,理解感性负载并联电容器提高功率因数的原理。

四、实验仪器与设备(表 1-1)

表 1-1 实验仪器与设备			
序号	名称	数量	备注
1	交流电压表	1	
2	交流电流表	1	

续表 1-1

序号	名 称	数量	备 注
3	功率表	1	
4	自耦调压器	1	
5	镇流器	1	与 40 W 灯管配套使用
6	电容器		1 μF 、2 μF 、4 μF /450 V
7	启辉器	1	与 40 W 灯管配套使用
8	日光灯灯管	1	40 W
9	电流插座	3	

五、实验内容及步骤

(1) 实验注意事项:

① 本实验使用的电源电压较高,要求学生必须遵守先接线后通电、先断电后拆线的原则,每次接线完毕经实验教师检查后方可通电,务必注意用电和人身安全。

② 选择交流电压表量程为 300 V,交流电流表量程为 0.5 A。

(2) 按图 1-20(a)将日光灯电路连接好,再按图 1-21 接入功率表、电流表或电流插孔、电容箱(各电容开关均应处于关断位置)。接线完毕,经实验教师检查后方可通电。

(3) 将调压器旋钮旋至零位,然后合闸通电。慢慢升高输出电压,直到启辉器发出闪烁红光、灯管刚刚点亮,停止调压。此时调压器的输出电压就是日光灯的最低启辉电压值。将实验数据记入表 1-2。

表 1-2 日光灯电路参数

U (最低启辉电压值)	U_1 (灯管两端)	U_2 (镇流器两端)	P (总功率)	I (总电流)

(4) 将调压器输出电压 U 调至 220 V,按表 1-3 内容测量有关数据。

表 1-3 并联电容器对电路的影响

电容量/ μF	测 量 数 据					计 算 数 据	
	U/V	I/A	I_L/A	I_C/A	P/W	$S/\text{V} \cdot \text{A}$	$\cos \phi$
0							
2.2							
4.7							
6.9							

六、实验报告要求

(1) 画出表 1-2、表 1-3,填入测量数据和计算数据。