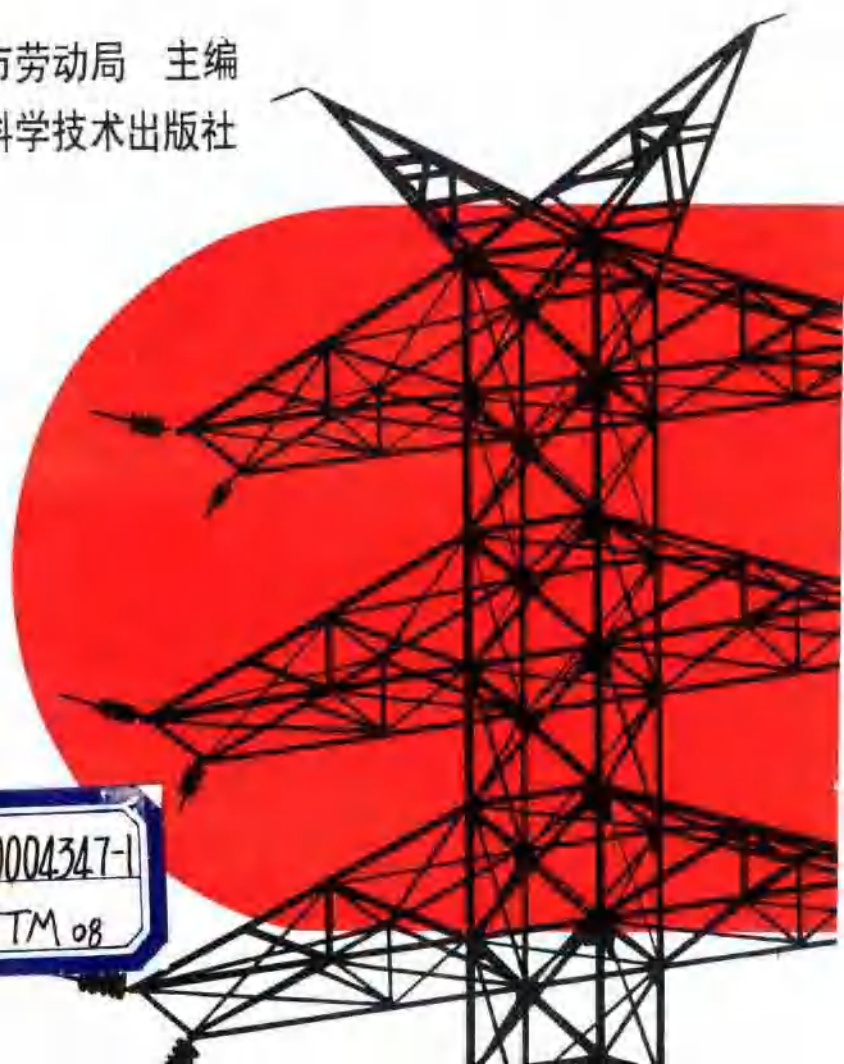
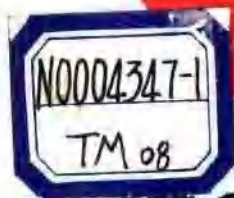


工种培训教材

5242

二 安全技术

天津市劳动局 主编
天津科学技术出版社



特殊工种培训教材

电工安全技术

天津市劳动局 主编

天津科学技术出版社

津新登字(90)003 号

责任编辑:苏 飞

特殊工种培训教材

电工安全技术

天津市劳动局 主编

天津科学技术出版社出版、发行

天津市张自忠路 189 号 邮编 300020

南开大学印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 8 125 字数 162 000

1994 年 5 月第 1 版

1994 年 11 月第 2 次印刷

印数:5 001—15 000

ISBN 7-5308-1700-0

G·431 定价:5.65 元

编 审 委 员 会

主 任： 张时善

副主任： 徐安才 钟 平
李富华

委 员： 郭士林 张 静
邹乐群 王 刚
郭俊波 张博秀

编 写 人 员

陈春霖 霍廷斌 许振德 王庚新
张 毅 邸炳仁 高德全 董宝山

前 言

为了提高广大电气作业人员的安全理论知识和操作技能,推动安全生产工作的发展,天津市劳动保护教育中心根据劳动部关于《特种作业人员安全技术培训考核管理规定》和国家标准《特种作业人员安全技术考核管理规则》(GB5306—85)的要求,组织有关专业人员,并结合实际情况,编写了这本教材,作为我市电气作业人员安全技术培训、考核的指定教材,同时,也可作为安全技术管理干部提高专业知识的参考书。

本书在编写过程中,得到了河西区、南开区、红桥区、河东区、河北区劳动局的大力支持和协助,在此一并致谢。

此书由于编写时间仓促,不妥之处,敬请读者指正。

编 者

1994年4月

目 录

第一章 电工基础	(1)
第一节 直流电	(1)
第二节 交流电	(5)
第三节 电磁和电磁感应	(11)
第四节 绝缘、屏护和间距	(14)
第二章 安全用电	(16)
第一节 电流对人体的伤害	(16)
第二节 安全电压	(19)
第三节 防止触电的主要措施	(21)
第四节 触电急救	(22)
第五节 保护接地与保护接零	(28)
第六节 保护接地、保护接零装置及接地电阻的 测量	(42)
第三章 低压电器	(46)
第一节 低压开关电器	(46)
第二节 低压保护电器	(56)
第三节 低压电力电容器	(63)
第四章 低压电气线路	(66)
第一节 导线选择	(66)
第二节 室外电气线路敷设	(70)
第三节 室内电气线路敷设	(75)

第一节	静电的概念.....	(211)
第二节	高频电磁场防护.....	(218)
第十一章	常用电工仪表及安全用具.....	(223)
第一节	电工仪表与测量.....	(223)
第二节	电工安全用具.....	(240)

第四节	电力电缆敷设	(83)
第五节	照明装置	(87)
第五章	用电设备安全	(99)
第一节	用电设备的环境条件	(99)
第二节	电动机	(100)
第三节	移动式电气设备	(108)
第四节	手持式电动工具	(109)
第五节	500V 以下带电作业	(111)
第六章	变配电安全	(114)
第一节	变配电所接线图和主要电气设备	(114)
第二节	高压电器	(117)
第三节	电力变压器	(137)
第四节	变配电继电保护	(146)
第七章	变配电所运行值班	(161)
第一节	安全运行要求	(161)
第二节	倒闸操作	(164)
第三节	巡视检查	(170)
第四节	安全检修	(173)
第八章	电气防火与防爆	(181)
第一节	电气火灾爆炸事故及预防措施	(181)
第二节	电气灭火常识	(195)
第三节	防爆电气设备的运行与检修	(198)
第九章	防雷	(202)
第一节	防雷装置	(203)
第二节	防雷措施	(208)
第十章	静电及高频电磁场防护	(211)

第一章 电工基础

第一节 直流电

一、直流电基本概念

(一) 电流

电荷的定向移动称为电流。规定正电荷移动的方向为电流正方向。在金属导体中只有带负电荷的电子可以做定向移动,所以金属导体中的电流正方向和实际电流方向是相反的。

单位时间内通过导体横截面的电量叫电流强度,用 I 表示,单位是安培,用符号 A 表示。

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$$

(二) 电压

物体带电后,可以称它具有一定的电位。一般以大地作为标准,规定为零电位。物体所带正电荷越多,电位越高,带负电荷越多,电位越低。在不同电位之间即产生电位差,亦称这两点之间的电压,用 U 表示,单位是伏特,用符号 V 表示。

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}$$

(三) 电阻

不同材料对于电流具有不同的阻力。把加在导体两端的电压和通过导体的电流之比值称做该导体的电阻,用 R 表

示,单位是欧姆,用符号 Ω 表示。

$$1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega = 10^6\Omega$$

电阻在一定温度下和导体长度成正比,和导体横截面积成反比,和导体材料有关。

即:
$$R = \rho \frac{L}{S}$$

式中: ρ ——导体的电阻率($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$);

L ——导体长度(m);

S ——导体横截面积(mm^2)。

(四) 电容

将两片金属叠在一起,中间用绝缘物质隔开,组成一个电容器。电容器是电路中用以储存电荷的基本元件,其储存电荷的能力叫电容量,简称电容,用 C 表示,单位是法拉,用符号 F 表示。在 1 伏特电压作用下,电容器储存 1 库仑电荷量,电容量就是 1 法拉。

即:
$$C(\text{法拉}) = \frac{Q(\text{库仑})}{U(\text{伏特})}$$

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

(五) 欧姆定律

在电阻电路中,电流的大小与电阻两端电压的高低成正比,与电阻的阻值大小成反比,这就是欧姆定律。

即:
$$I = \frac{U}{R} \text{ 或 } U = I \cdot R \quad R = \frac{U}{I}$$

式中: I ——电流(A);

U ——电压(V);

R ——电阻(Ω)。

二、直流电路

(一)电阻的联接

1. 电阻的串联：两个以上的电阻依次首尾相联接，这种连接方式叫做电阻的串联（见图 1-1）。

串联电路的电流相等。即：

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = I_5$$

各电阻的电压分别为：

$$U_1 = IR_1 \quad U_2 = IR_2 \cdots \cdots U_5 = IR_5$$

其电路总电压等于各电阻电压之和：

$$\begin{aligned} U_{\Sigma} &= U_1 + U_2 + \cdots + U_5 \\ &= IR_1 + IR_2 + \cdots + IR_5 \\ &= IR_{\Sigma} \end{aligned}$$

式中： $R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + \cdots + R_5$

电阻串联电路的特点是：总电压等于各电阻上电压之和；总电阻等于各电阻值之和；通过各电阻的电流相同。

2. 电阻的并联：两个以上的电阻，首尾分别连接在一起的接线方式叫电阻的并联（见图 1-2）。

并联电路各支路电压相同。

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

总电流等于各支路电流之和。

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

根据欧姆定律可写为：

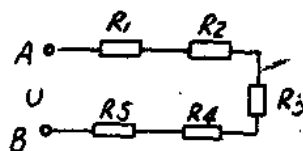


图 1-1 串联电路

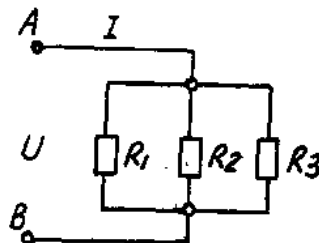


图 1-2 电阻并联

$$\frac{U}{R_{\Sigma}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

$$= U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

则：

$$\frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

在电阻的并联电路中，总电阻的倒数等于各支路电阻倒数之和。

(二) 电源的联接

1. 电源串联：将一个直流电源的负极接到另一个电源的正极，这样顺次联接。整个电源组的电动势等于各电源电动势之和(见图 1-3)。

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n$$

式中： E ——串联电池的总电动势(V)；

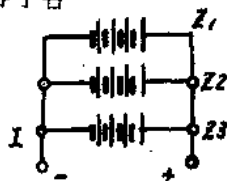
E_1, E_2, E_3 ——各电池的电动势(V)。 图 1-3 电源串联



2. 电源并联：将几个电动势相等的直流电源各正极和负极分别连接在一起。总电动势仍等于单个电源电动势。通过外电路的电流，等于各电源的电流之和(见图 1-4)。

$$E = E_1 = E_2 = E_3$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$



(三) 电容器的联接

1. 电容器的串联：将若干电容器正、负极依次连接在一起(见图 1-5)。

电容器串联两端的电压等于各电容器上的电压之和。

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

总电容的倒数等于各电容倒数之和。

1-4 电源并联

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

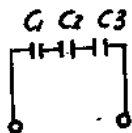


图 1-5 电容串联

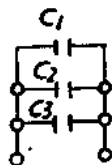


图 1-6 电容并联

2. 电容器的并联: 将若干电容器的正、负极分别连接在一起(见图 1-6)。

并联电容器上电压相等, 其总电容量等于各电容器容量之和。

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

第二节 交流电

一、交流电基本概念

电流的大小和方向随着时间的变化而变化, 称交流电流。发电厂发出的电都是按正弦规律变化的, 所以变配电网中用的电是正弦交流电(见图 1-7)。正弦交流电, 每秒变化的周期(次数)叫频率。我国正

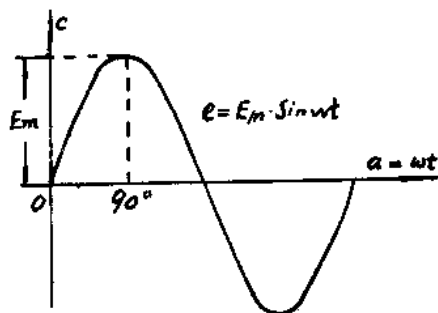


图 1-7 正弦交流电波形图

弦交流电标准频率是每秒钟变化 50 次,即 50Hz。正弦交流电电流和一个恒定的直流电流在相等时间内产生热量相同时,这个直流电流数值就是该交流电流的有效值(见图 1-8)。

通过计算,电流的最大值和有效值关系:

$$I_{\text{最大值}} = \sqrt{2} I_{\text{有效值}}$$

同样

$$E_{\text{最大值}} = \sqrt{2} E_{\text{有效值}}$$

$$U_{\text{最大值}} = \sqrt{2} U_{\text{有效值}}$$

一般常用的 1kV、380V、220V、36V 等都是指有效值。在选择电容器、绝缘材料、晶体管反向击穿电压时都要考虑最大值。

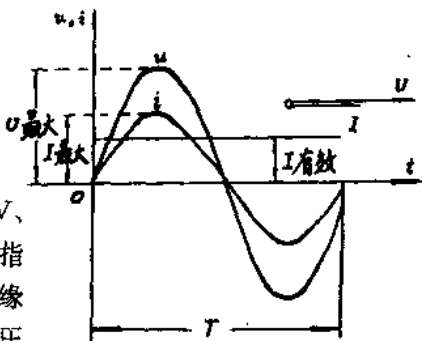


图 1-8 电阻电路的电压、电流及有效值

正弦交流电,通过变压器可以任意改变电压,高电压可以远距离输电,因而得到广泛应用。

二、感性负载交流电

在一个电阻性负载上加交流电压,立即产生交流电流,这时的电流和电压相等,其功率 $P_R = U \cdot I$ 与直流电的计算相同。

在一个带有电感性的负载上(如线圈)加一个交流电压时,由于负载的反电动势作用,电流不能立即通过,要滞后电压。这时负载线圈上得到的电压和通过的电流在时间上产生一个相位差。因为交流电总是在变化的,反电动势存在,滞后现象就存在(见图 1-9)。这相当于交流电在电感性负载中,除

有电阻阻力外,还有一个特殊的阻力——感抗。用符号 X_L 表示。通过电感性负载的电流可以分为两部分,一部分是克服纯电阻用来做功的有功分量 $I \cdot \cos\varphi$, 一部分是抵消负载反电动势的无功分量 $I \cdot \sin\varphi$ 。

φ 是电流滞后电压的相位差,亦称初相角(见图 1-10)。

$\cos\varphi$ 称为功率因数。

感性负载中 $\cos\varphi$ 是滞后电压的。

感性负载中有功功率:

$$P_2 = UI \cos\varphi$$

三、容性负载交流电

电容器接在交流电路中,由于电压大小和方向不断变化。则电容器将不断地被充电和放电,电压变化是滞后电流变化的,即电容性负载上的电流超前电压(见图 1-11)。

在纯电容交流电路中,电压与电流有效值的比值,称做容抗,用符号 X_C 表示。

通过容性负载的电流可分成两部分:与电源电压同相的

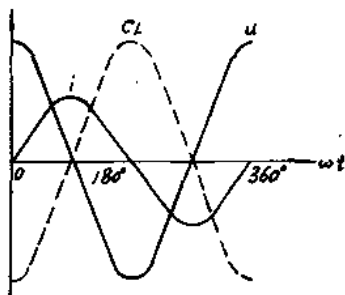


图 1-9 纯电感电路的波形图

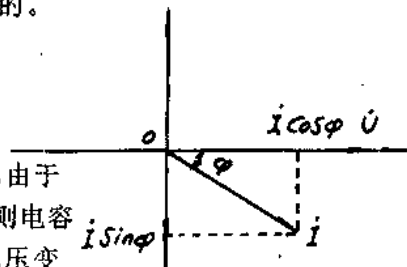


图 1-10 带感性负载的电压电流相向量图

$I \cdot \cos\varphi$ 叫有功分量;反之, $I \cdot \sin\varphi$ 是无功分量(见图 1-12)。

$\cos\varphi$ 亦称为功率因数。容性负载中 $\cos\varphi$ 是超前电压的。

四、功率因数补偿

交流电源输出的电压 U 和电流 I 的乘积即为电源容量,用 S 表示, $S = IU$, 单位是 VA (kVA)。

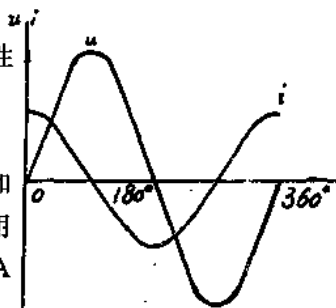


图 1-11 纯电容电路的波形图

从感性负载(容性负载)的电流情况可知,由于线路上的损耗而使负载只使用了一部分电流(有功分量)。在工业生产上用电通常是感性负载,如电动机、变压器、电磁铁等,所以要求各单位进行功率因数补偿,用并联电容器的方法,补充给线路上超前的容性电流以抵偿设备上滞后的感性电流(见图 1-13)。

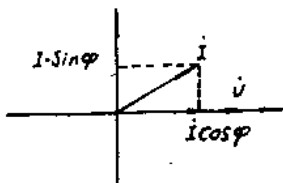


图 1-12 容性负载中的 u, i 相量图

U 是电源电压, I_1 是设备使用电流,

I_2 是补偿容性电流, I 是线路的合成电流。从图上可以看到 $I < I_1$ 减少了电流在线路上的损失,功率因数 $\cos\varphi_1 < \cos\varphi$ 说明功率得到补偿。低压系统中常采用个别补偿和分组补偿的方法。由于电气设备维护简单,补偿效果好,得到广泛应用。

五、三相交流电

由三个频率相同、振幅相等、相位依次互差 120° 的交流

电势组成的电源称三相交流电。对称三相交流电动势依次达到最大值、零值的先后顺序称为相序。为 $A-B-C$ 的叫正相序，相序 $A-C-B$ 的称反相序。

三相交流发电机的三相绕组连接法有两种（见图 1-14）。

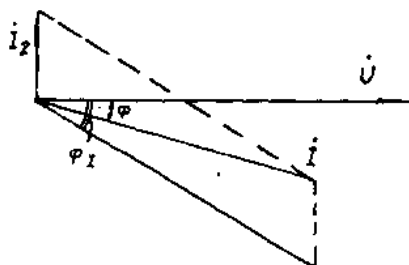
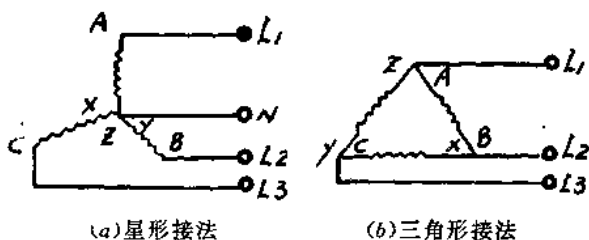


图 1-13 并联补偿电路的向量图



(a) 星形接法

(b) 三角形接法

图 1-14 三相交流电源的联接

三相绕组首端 A, B, C ，对应尾端为 X, Y, Z 。图 1-14(a) 为星形联接，图 1-14(b) 为三角形联接。 L_1, L_2, L_3 为相线或火线，三个绕组尾端的引线连接在一起的公共点，称为中性点。从中性点引出的一根导线称做中性线。如果中性点接地，则中性线称做零线，有零线的三相电路叫做三相四线制电路。在生产中普遍应用三相四线制供电方式，这样可以得到两种电压，即相与相之间为 380V，相与零之间为 220V。

如果电源是由电力变压器供电，同样可以得到上述两种电压（如图 1-15）。