

21 世纪信息科学与工程系列精品教材

DIANGONG DIANZI GONGCHENG XUNLIAN

电工电子工程训练

◎潘丽萍 主编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

全国百佳图书出版单位

21 世纪信息科学与工程系列精品教材

电工电子工程训练

潘丽萍 主编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工电子工程训练 / 潘丽萍主编. —杭州: 浙江大学出版社, 2015. 11

ISBN 978-7-308-15073-6

I. ①电… II. ①潘… III. ①电工技术②电子技术
IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 202635 号

电工电子工程训练

潘丽萍 主编

责任编辑	王元新
封面设计	林智广告
出版发行	浙江大学出版社 (杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007) (网址: http://www.zjupress.com)
排版	杭州中大图文设计有限公司
印刷	杭州杭新印务有限公司
开本	787mm×1092mm 1/16
印张	14.5
字数	363 千
版印次	2015 年 11 月第 1 版 2015 年 11 月第 1 次印刷
书号	ISBN 978-7-308-15073-6
定价	35.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式: 0571-88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>

前 言

《电工电子工程训练》既是面向全校学生的通识课程“电工电子工程训练”的教学用书,又是大一工科学生暑假实践课程“电工电子实习 I”的实验教材。根据几年来的教学实践与相关技术的发展和运用,教材的内容也经过了不断的充实和更新。

本教材主要分为两篇。第一篇是基础知识,分为 4 章。第 1 章主要介绍低压配电系统及安全用电的相关知识;第 2 章主要介绍电动机和常用的低压电器,包括低压断路器、交流接触器、熔断器、继电器、按钮和开关等,同时还介绍电工工具及便携式仪表;第 3 章主要介绍常用的电子器件和电子仪器仪表,包括交流毫伏表、直流稳压电源、函数发生器和示波器等;第 4 章主要介绍印制线路板方面的知识,包括印制线路板的类型、设计、制造、装配、焊接工艺及其发展方向等。第二篇主要是电工电子工程训练的实验项目,内容涉及安全用电和低压配电电路的安装、三相四线制交流电源的使用及照明电路的安装、三相异步电动机基本控制电路和时间控制电路的安装、印制线路板原理图和布线图设计软件的使用和实际电路的焊接、安装和调试等,共选编实验 9 个。附录介绍印制线路板的设计软件 Altium_Designer 的使用方法。

本教材充分考虑了课程的特点,力求理论联系实际,通过实训项目的设计,让学生制定实验方法和步骤,学会独立解决实训过程中出现的问题,逐步实现预定的目标,最终使学生初步掌握电工电子的基本技能,让学生充分体验工程文化,培养他们初步的工程设计能力,并提高学生的动手能力和实践水平。本教材由潘丽萍担任主编,其中第一篇的第 1 章、第 2 章由应群民执笔,第 3 章、第 4 章由汤巍松执笔;第二篇的实验一至实验四由潘丽萍执笔,实验五至实验九以及附录由干于执笔。

课程的开设和发展以及教材从讲义到正式出版,期间倾注了黄海龙老师的大量心血,叶挺秀教授也对本教材提出了很多宝贵意见,使编者受益匪浅,在此

一并表示衷心的感谢。

本教材还得到了浙江大学电气工程学院、电工电子基础教学中心和电工电子实验教学中心的领导和同仁的支持,也得到了浙江大学出版社的大力支持,在此深表感谢。由于编者的学识和水平有限,书中存在的疏漏和错误之处,恳请大家批评指正。

编 者

2015年6月

目 录

第一篇 基础知识

第 1 章 低压配电系统及安全用电	3
1.1 电能的产生、输送和分配	3
1.1.1 三相交流电源及连接形式	3
1.1.2 电能的输送和分配	4
1.2 低压供配电系统	7
1.2.1 低压供电系统	7
1.2.2 低压配电系统	8
1.2.3 低压配电系统的接地形式	8
1.3 安全用电	11
1.3.1 触电种类及伤害	12
1.3.2 影响电流对人体的伤害程度的因素	12
1.3.3 触电方式	13
1.3.4 触电急救措施	15
1.3.5 触电后的急救方法和应用	16
1.3.6 触电急救小结	19
1.4 电气设备接地故障的保护	19
1.4.1 保护接地和保护接零	19
1.4.2 剩余电流保护装置	21
第 2 章 电动机、低压电器及常用电工工具	25
2.1 三相交流异步电动机	25
2.1.1 三相交流异步电动机的结构	25
2.1.2 三相异步电动机的工作原理	27
2.1.3 三相异步电动机的主要技术指标	27
2.2 常用低压电器	29
2.2.1 概述	29
2.2.2 电磁式控制电器的基本原理与结构	31
2.2.3 低压断路器	38

2.2.4	交流接触器	44
2.2.5	熔断器	48
2.2.6	继电器	52
2.2.7	按钮和开关	62
2.3	常用电工工具及便携仪表	64
2.3.1	电工常用工具	64
2.3.2	电工便携仪表	71
2.4	常用继电接触控制电路	80
2.4.1	异步电动机直接起动及正反转控制电路	80
2.4.2	行程控制与时间控制电路	84
第3章	常用电子元器件和电子仪器	87
3.1	常用电子元件	87
3.1.1	电阻器	87
3.1.2	电容器	90
3.1.3	电感器	92
3.1.4	半导体二极管和三极管	94
3.1.5	集成运放	98
3.2	常用电子仪器	99
3.2.1	交流毫伏表	99
3.2.2	直流稳压电源	100
3.2.3	函数发生器	102
3.2.4	示波器	106
3.2.5	示波器测量	111
第4章	印制电路板	113
4.1	印制电路板的类型与特点	113
4.1.1	概述	113
4.1.2	印制电路板的互连	114
4.1.3	印制电路板上的干扰及抑制	116
4.2	印制电路板的设计基础	117
4.2.1	印制电路板设计的一般原则	117
4.2.2	印制电路板设计的过程与方法	122
4.3	印制电路板的制造工艺简介	123
4.3.1	印制电路板制作过程中的基本环节	123
4.3.2	印制电路板的生产工艺	123
4.3.3	印制电路板的手工制作	125
4.3.4	多层印制电路板	126
4.3.5	印制电路板的质量检查及控制	127

4.4 印制电路板的新发展	128
4.5 印制电路板的计算机辅助设计	129
4.5.1 用 CAD 软件设计印制电路板的一般步骤	129
4.5.2 印制电路板 CAD 常用软件——Altium Designer 简介	130
4.6 印制电路板的元件装配和焊接工艺	131
4.6.1 元件装配	131
4.6.2 焊接工艺技术	132
4.6.3 焊接的可靠性分析	140

第二篇 实 验

实验一 安全用电和交流低压配电电路的安装	147
实验二 三相四线制交流电源的使用及照明电路的安装	155
实验三 三相异步电动机基本控制电路的安装	159
实验四 三相异步电动机时间控制电路的安装	163
实验五 Altium Designer 软件使用练习(一)——设计电路原理图	167
实验六 Altium Designer 软件使用练习(二)——设计 PCB 图	170
实验七 电路的焊接、安装和调试	172
实验八 实际应用电路的设计和制作	175
实验九 常用电子仪器的初步使用	189

附录 Altium_Designer 软件简介	192
-------------------------------	-----

1 原理图设计初步	195
1.1 绘制电路原理图的原则及步骤	195
1.2 原理图操作	195
1.3 库与元件的装载及浏览	200
1.4 元件的放置	202
1.5 绘制原理图	205
1.6 编译项目及查错	209
2 PCB 设计初步	210
2.1 创建 PCB 文件	210
2.2 PCB 设计环境	210
2.3 电路板规划	212
2.4 载入网络表	212
2.5 元件布局	213
2.6 PCB 布线	215
2.7 PCB 图的一些其他处理	220

参考文献	222
------------	-----

第一篇

基础知识

第 1 章 低压配电系统及安全用电

1.1 电能的产生、输送和分配

1.1.1 三相交流电源及连接形式

交流电路指的是正弦交流电路,也就是具有正弦交流电源的电路。电厂所发的电都是三相交流电。三相交流电由图 1-1-1(a)所示三相交流发电机定子绕组输出,这三个绕组相当于图 1-1-1(b)所示的三个独立的正弦电源,如以 u_U 为参考,这三个电源的瞬时式分别为:

$$\begin{cases} u_U = \sqrt{2}U_p \sin \omega t \\ u_V = \sqrt{2}U_p \sin(\omega t - 120^\circ) \\ u_W = \sqrt{2}U_p \sin(\omega t + 120^\circ) \end{cases} \quad (1.1.1)$$

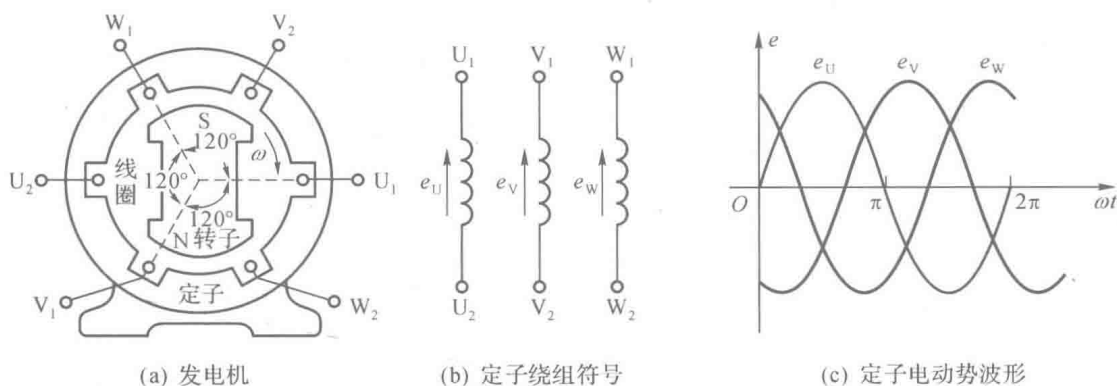


图 1-1-1 三相交流电源

上述的三个正弦电压的振幅和频率都相同,彼此间的相位差相等,都等于 120° ,这样的一组电压,称为对称三相电压。这三个电压到达最大值(或零值)的先后次序叫相序。由式(1.1.1)中最先到达正最大值的是 u_U ,其次是 u_V ,最后是 u_W 。因此,它们的相序是 U-V-W,叫做正相序(顺相序)。若相序是 U-W-V,叫做负相序(逆相序)。

通常把三相电源(包括发电机和变压器)的三相绕组接成星形或三角形向外供电。

1. 三相绕组的星形(Y 形)连接

把三相发电机三个定子绕组的末端 U_2 、 V_2 、 W_2 连接在一起,此点用“N”表示,就构成了星形连接,如图 1-1-2 所示。公共点 N 称为中点, U_1 、 V_1 、 W_1 三端将电能输送出去,这三根

输电线称为火线,分别用黄、绿、红色标出。图中每个电源的电压称为相电压,用 u_p 表示,如 u_U 、 u_V 、 u_W 即相电压。火线之间的电压称为线电压,用 u_l 表示,如 u_{UV} 、 u_{VW} 、 u_{WU} 即线电压。线电压的参考方向定为 U 指向 V, V 指向 W, W 指向 U。显然

$$\begin{cases} u_{UV} = u_U - u_V \\ u_{VW} = u_V - u_W \\ u_{WU} = u_W - u_U \end{cases} \quad (1.1.2)$$

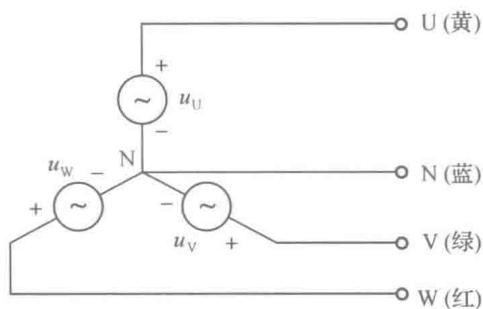


图 1-1-2 三相电源的 Y 形连接

根据分析结果,线电压也是三相对称的。其线电压有效值为:

$$U_l = 2U_p \cos 30^\circ = \sqrt{3}U_p \quad (1.1.3)$$

当三相电源作星形连接时,其线电压是相电压的 $\sqrt{3}$ 倍,在相位上较对应的相电压超前 30° 。根据需要作星形连接的三相电源,可以从 N 点引出中线,也可以不引出中线。引出中线的,称三相四线制电源。通常三相电源的中点 N 总是可靠接地,因此引出的中线 N 也叫零线或地线。三相四线制电源可以供给用户两种数值的电压,如配电线路中用得很普遍的 380/220V。其中 220V 为相电压,380V 是线电压,它们之间有 $\sqrt{3}$ 的关系。只引出三根火线的称为三相三线制。

2. 三相绕组的三角形(Δ)连接

三相电源另一种接法是三角形连接,或称 Δ 连接,如图 1-1-3 所示。一相定子绕组的始端与另一相绕组的末端相连,顺序连接成 $U_1U_2 - V_1V_2 - W_1W_2 - U_1U_2$,再从各连接点 U、V、W 引出三根火线。这种连接法中是没有中线的,线电压等于相电压。

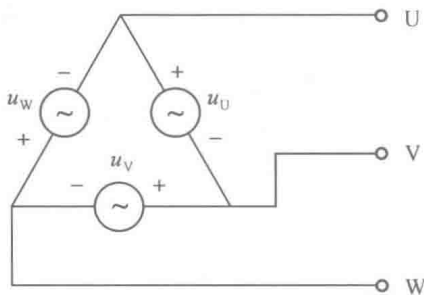


图 1-1-3 三相电源的三角形(Δ)连接

$$U_l = U_p \quad (1.1.4)$$

由电路原理可知,闭合回路中三组相电压之和恒为零,即

$$u_U + u_V + u_W = 0 \quad (1.1.5)$$

1.1.2 电能的输送和分配

电能从生产到消费一般要经过发电、输电、配电和用电四个环节。电力是输送和取用都很方便的动力能。电力的生产、输送、分配和使用的全过程,实际上是在同一瞬间实现的。这个全过程是由发电厂、供电局(所)、变电所、配电变压器和用户紧密联系起来一起完成的。

图 1-1-4 表示从发电厂到用户的输电过程。

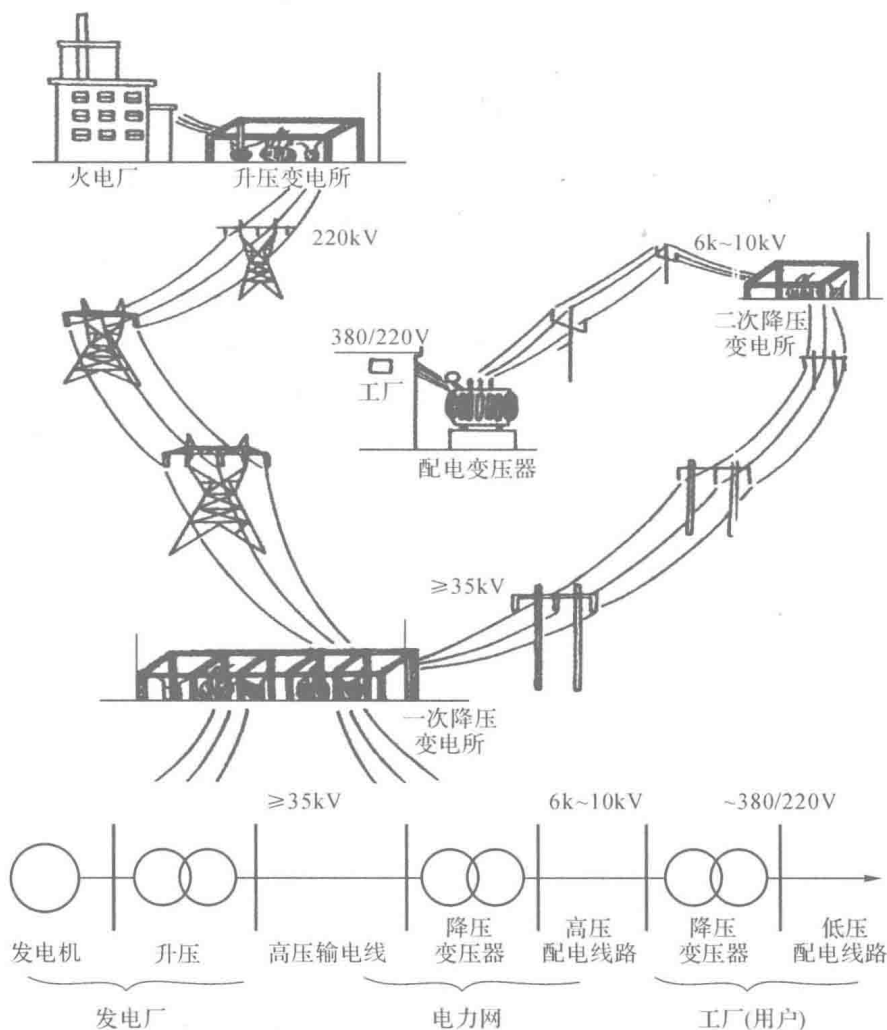


图 1-1-4 从发电厂到用户的输配电过程

发电厂、电力网和用户所组成的一个整体,称为电力系统(见图 1-1-5)。

电力网(简称电网)是电力系统的一部分。它是所有的变、配电所的电气设备以及各种不同电压等级的线路组成的统一整体。它的作用是将电能转送和分配给各用电单位。

电能是由发电厂生产的。由于发电机绝缘条件的限制,发电机的最高电压一般在 22kV 及以下。但是,发电厂与用电负荷集中的地点(也称负荷中心)往往相距几十、几百甚至上千公里之远,为了降低线路的电能损耗、增大电能输送的距离,发电厂发出的电能通常需要通过升高电压才能接入不同电压等级的输电系统,然后通过变电所变成较低一级的电压,再经配电线路将电能送往各用户。在电力系统中,需要多次采用升压或降压变压器对电压进行变换,也就是说在电力系统中采用了很多不同的电压等级。

输电系统的电压等级一般分为高压、超高压和特高压。对我国目前绝大多数交流电网来说,高压电网指的是 110kV 和 220kV 电压等级的电网,超高压电网指的是 330kV、500kV 和 750kV 电压等级的电网,特高压电网指的是正在建设的 1000kV 交流电压等级和 ± 800 kV 直流电压等级的输电系统。同一个电网采用了不同的电压等级,这些电压等级组成

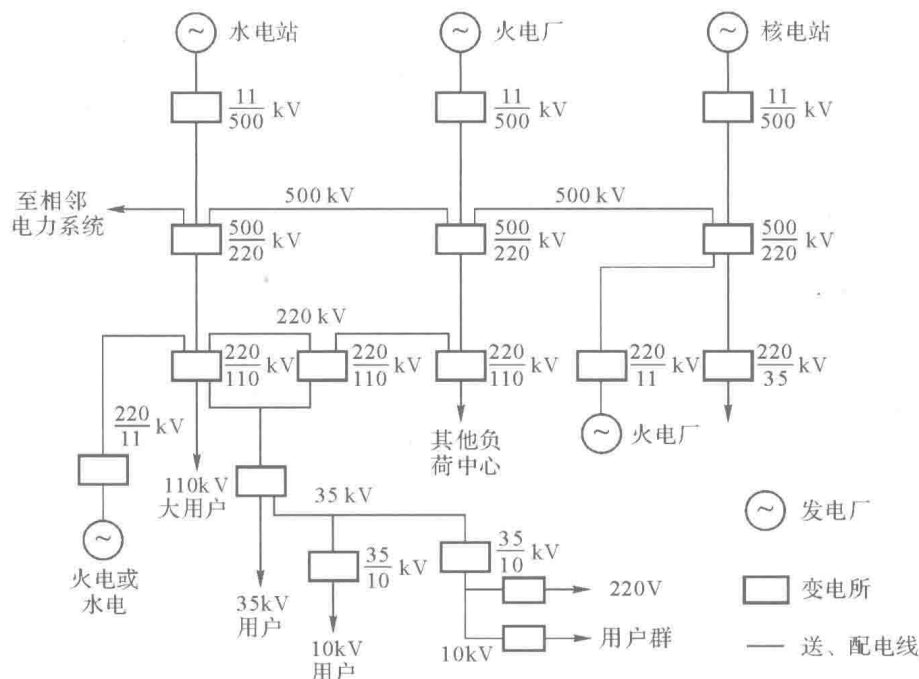


图 1-1-5 电力系统

该电网的电压序列。目前,我国大部分电网的电压序列是 500/220/110/35/10/0.38kV。电能送到负荷中心后经过地区变电站降压到 10kV,然后再由 10kV 配电线路输送到配电变压器,最后经过配电变压器将电压变成 0.38kV 供电力用户使用。用户的用电电压,除少数大功率电动机采用较高一级的电压外,一般用电电压均为交流 220/380V。

在电压等级不变的情况下,远距离输电意味着线路电能耗损的增加。因此,根据输电线路的长度不同,需要选择的电压等级也不同。当输送电能的功率给定后,提高输电线路的电压等级将降低输电线路的电流,从而减少有功功率和无功功率在输电线路上的电能损耗。另外,提高输电线路的电压等级不仅可以增大输电容量,而且可以降低输电系统的成本、增加输电线路的走廊利用率。随着输电线路电压等级的提高,虽然输电线路的损耗减小了,可是相应的投资也随之增长了。一般通过理论计算和一些经验数据来确定两者之间的最佳结合点,来最终决定输电线路的输电电压等级、最大输送功率和输送距离。表 1-1-1 中列出了现有不同输电线路电压等级与输送容量、输送距离的大致范围。

表 1-1-1 输电电压与输送容量、输送距离的范围

输电电压(kV)	输送容量(MW)	输送距离(km)
110	10~50	50~150
220	100~500	100~300
330	200~800	200~600
500	1000~1500	150~850
750	2000~2500	500 以上

1.2 低压供配电系统

配电是在消费电能的地区接受输电网受端的电力,然后进行再分配,输送到城市、郊区、乡镇和农村,并进一步分配和供给工业、农业、商业、居民以及特殊需要的用电部门。与输电网类似,配电网主要由电压相对较低的配电线路、开关设备、互感器和配电变压器等构成。配电网几乎都是采用三相交流配电网。

用电主要是通过安装在配电网上的变压器,将配电网电压进一步降低到 380V 线电压的三相电或 220V 相电压的单相电,然后经过用电设备将电能转换为其他形式的能量。

工厂供电线路按电压等级高低分为高压配电线路(1kV 以上)和低压配电线路(1kV 以下),如图 1-2-1 所示。

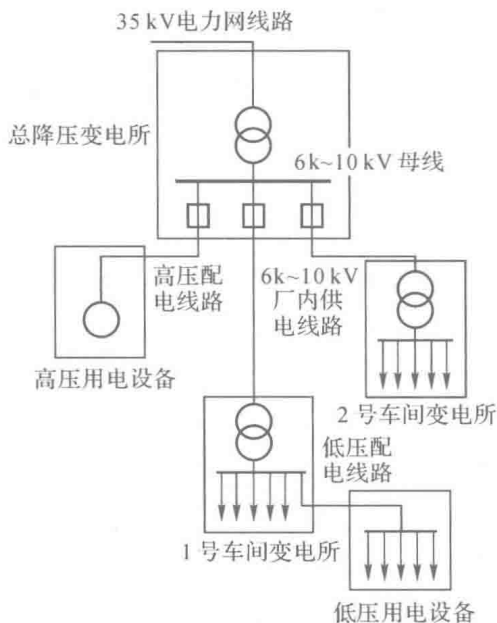


图 1-2-1 工厂企业配电系统

1.2.1 低压供电系统

从变压器二次侧到用户的用电设备采用 380/220V 低压线路供电,称为低压供电系统。

《供配电系统设计规范》GB50052/2009 根据用电设施的重要性,将用电负荷依次分为一级负荷、二级负荷及三级负荷。普通民用设施通常为三级负荷,其供电一般只需设立一个简单的降压变压器,电源进线为 10kV,降为低压 380/220V,其供电系统如图 1-2-2 所示。

照明、电热以及中、小功率电动机等用电设备的供电一般采用 380/220V 三相四线制。380/220V 三相四线制低压供电系统如图 1-2-3 所示。

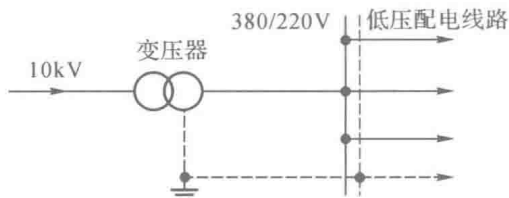


图 1-2-2 小型工业和民用设施的低压供电系统

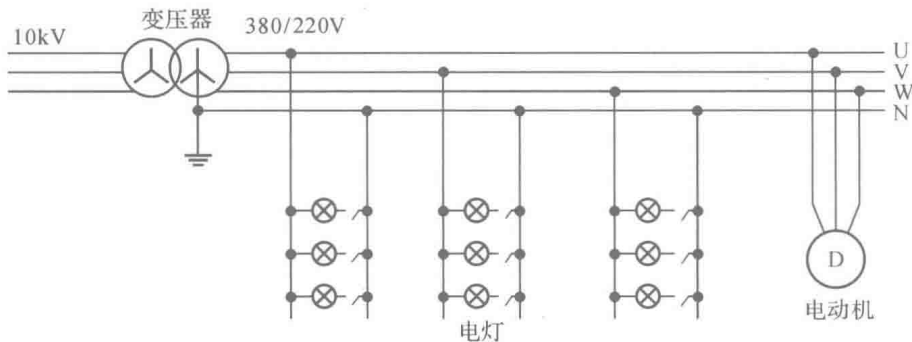


图 1-2-3 三相四线制低压供电系统

1.2.2 低压配电系统

低压配电系统由低压配电装置(低压配电箱)及低压配电线路(干线及支线)组成。低压配电电压应采用 380/220V。带电导体系统的形式宜采用单相二线制、两相三线制、三相三线制和三相四线制。在正常环境的车间或建筑物内,当大部分用电设备为中小容量,且无特殊要求时,宜采用树干式配电。当用电设备为大容量,或负荷性质重要,或在有特殊要求的车间、建筑物内,宜采用放射式配电。当部分用电设备是距供电点较远,而彼此相距很近、容量很小的次要用电设备,可采用链式配电,但每一回路环链设备不宜超过 5 台,其总容量不宜超过 10kW。容量较小的用电设备的插座,采用链式配电时,每一条环链回路的设备数量可适当增加。在高层建筑物内,当向楼层各配电点供电时,宜采用分区树干式配电;但部分较大容量的集中负荷或重要负荷,应从低压配电室以放射式配电。

图 1-2-4 所示,一组低压用电设备(如电灯)接入一条支线,若干条支线接入一条干线,若干条干线接入一条总进户线。汇集支线接入干线的配电装置称为分配电箱,汇集干线接入总进户线的配电装置称为总配电箱。一般从变压器二次侧至用电设备之间的低压配电级数不超过三级;另外,一、二级配电屏的备用回路不低于总回路数的 25%。图 1-2-4 所示配电系统称为树干式系统,而对于一些较重要或较大的负荷,则常采用从配电室以放射式配电。对于高层建筑、学校、医院等不同对象,其配电要求也是不同的,详见住建部发布的《JGJ16—2008 民用建筑电气设计规范》里有关规定。图 1-2-5 为住宅常用的室内配电示意图。

1.2.3 低压配电系统的接地形式

低压配电系统的接地形式有 3 种。电源中点直接接地、负载保护接零的为 TN 系统;电源中点直接接地、负载保护接地的为 TT 系统;电源中点不接地或经高阻接地、负载保护接

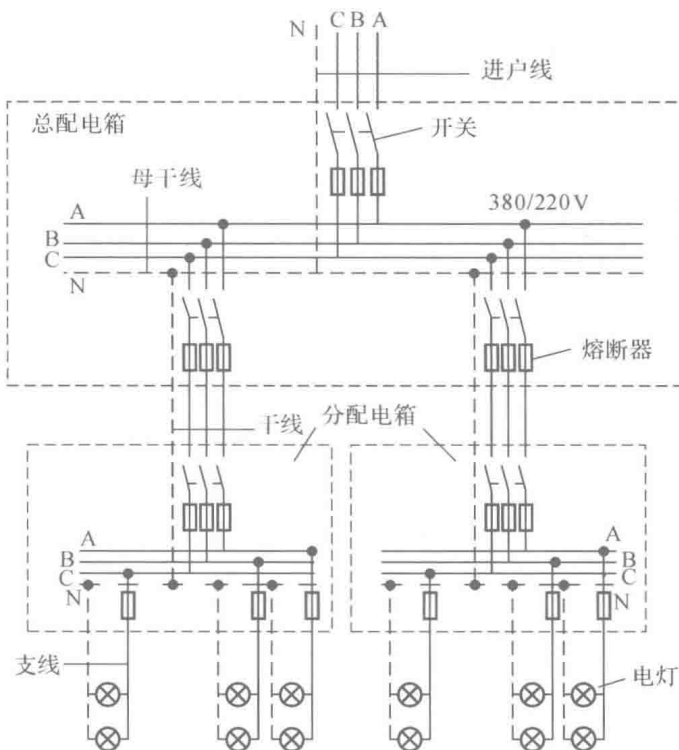


图 1-2-4 低压配电系统

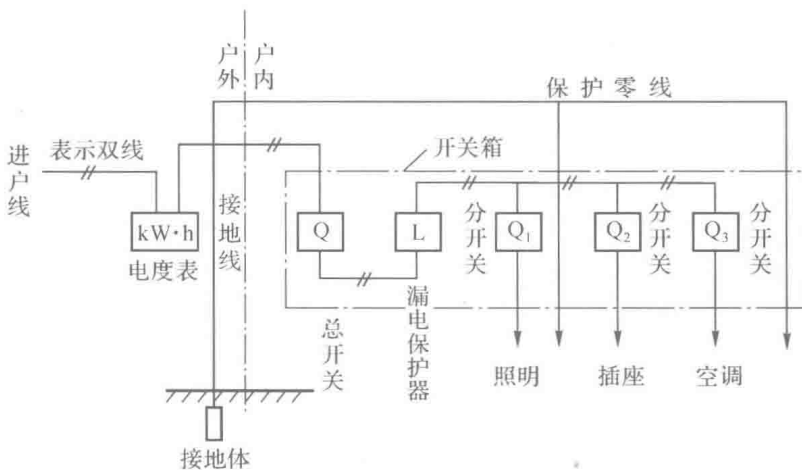


图 1-2-5 室内配电箱

地的为 IT 系统。现分述如下。

1. TN 系统

电源有一点直接接地,受电设备的外露导电部分通过保护线与该点连接。按照中性线与保护线的组合情况,TN 系统有以下 3 种形式:

- (1) TN-S 系统。整个系统的中性线(N)与保护线(PE)是分开的(见图 1-2-6)。
- (2) TN-C 系统。整个系统的中性线与保护线是合一的(见图 1-2-7)。
- (3) TN-C-S 系统。系统中有一部分中性线与保护线是合一的(见图 1-2-8)。