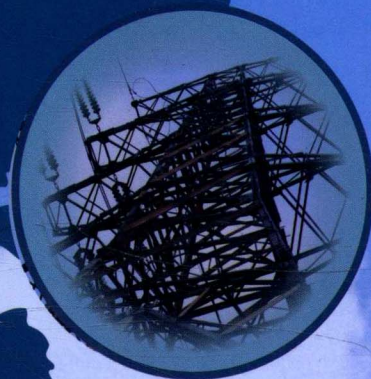


示范性职业技术学院建设项目系列教材



# 高低压供配电 项目设计与调试

王先宏 孙秀芬 主编



科学出版社

示范性职业技术学院建设项目系列教材

内容简介

# 高低压供配电项目设计与调试

王先宏 孙秀芬 主编

本书可作为电气工程及其自动化相关专业进行实践的配套或参考教材。为了充实和扩大学生在电气工程方面的实践知识，补充学生在学习过程中的不足，本书从电气工程、照明工程、工厂供配电等方面的知识，全面介绍高低压供配电工程的设计、施工、调试、运行、维护等方面的知识，全面掌握实际工程的实施过程。本书可作为职业院校供配电课程、职业技能等级证书的教材。

本书力求体现以下特点：(1) 注重实用性。本书力求体现实用性，注重理论与实践的结合，力求做到“学中做、做中学”。(2) 注重项目化。本书采用项目化教学模式，将理论知识融入实际项目中，使学生在学习过程中能够掌握实际工程的操作技能。(3) 注重案例教学。本书选取了典型的高低压供配电工程案例，通过案例教学，使学生能够理解工程设计的思路和方法，提高解决实际问题的能力。

本书力求体现以下特点：(1) 注重实用性。本书力求体现实用性，注重理论与实践的结合，力求做到“学中做、做中学”。(2) 注重项目化。本书采用项目化教学模式，将理论知识融入实际项目中，使学生在学习过程中能够掌握实际工程的操作技能。(3) 注重案例教学。本书选取了典型的高低压供配电工程案例，通过案例教学，使学生能够理解工程设计的思路和方法，提高解决实际问题的能力。

本书力求体现以下特点：(1) 注重实用性。本书力求体现实用性，注重理论与实践的结合，力求做到“学中做、做中学”。(2) 注重项目化。本书采用项目化教学模式，将理论知识融入实际项目中，使学生在学习过程中能够掌握实际工程的操作技能。(3) 注重案例教学。本书选取了典型的高低压供配电工程案例，通过案例教学，使学生能够理解工程设计的思路和方法，提高解决实际问题的能力。

本书力求体现以下特点：(1) 注重实用性。本书力求体现实用性，注重理论与实践的结合，力求做到“学中做、做中学”。(2) 注重项目化。本书采用项目化教学模式，将理论知识融入实际项目中，使学生在学习过程中能够掌握实际工程的操作技能。(3) 注重案例教学。本书选取了典型的高低压供配电工程案例，通过案例教学，使学生能够理解工程设计的思路和方法，提高解决实际问题的能力。

本书力求体现以下特点：(1) 注重实用性。本书力求体现实用性，注重理论与实践的结合，力求做到“学中做、做中学”。(2) 注重项目化。本书采用项目化教学模式，将理论知识融入实际项目中，使学生在学习过程中能够掌握实际工程的操作技能。(3) 注重案例教学。本书选取了典型的高低压供配电工程案例，通过案例教学，使学生能够理解工程设计的思路和方法，提高解决实际问题的能力。

科学出版社

北京

010-64034212; 13201121303

## 内 容 简 介

全书共分7个项目,涵盖了高低压供配电项目设计所涉及的基本知识及技能,包括电力系统的发电、电气的运行方式、接地系统、工程设计原则及图例,设计中必要的负荷计算、短路计算及高低压常用设备,高低压系统中常规项目的设计与实施等内容。通过项目的实施,学生可加深和巩固高低压电气的基本知识,同时提高项目设计和施工能力。

本书可作为高等职业院校电气工程及电气自动化相关专业进行电气实习的配套或参考教材,也可供相关专业工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

高低压供配电项目设计与调试/王先宏,孙秀芬主编. —北京: 科学出版社, 2013

(示范性职业技术学院建设项目系列教材)

ISBN 978-7-03-038352-5

I. ①高… II. ①王… ②孙… III. ①供电—高等职业教育—教材  
②配电系统—高等职业教育—教材 IV. ①TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 192463 号

责任编辑: 张雪梅 / 责任校对: 马英菊  
责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 北大彩印

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2013年8月第一版 开本: 787×1092 1/16

2013年8月第一次印刷 印张: 18 1/2

字数: 437 000

定价: 36.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换<路通>)

销售部门电话 010-62134988 编辑部电话 010-62135397-2021 (VT03)

版权所有 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

# 前 言

目前,高等职业院校的教学模式有较大的变化,“行动导向”的教学方法是教学改革的主流,目的在于加强学生实践动手能力的培养。大部分高等职业院校都有自己的电气实训基地或设备,都有一些相应的实训项目与之配套。如何让学生学会供配电方案设计、参数计算、设备选型、安装接线、试验调整、运行操作、事故分析等方面的知识,全面掌握实际工程的实施过程,是本书编写的出发点。

本书可以作为电气工程及电气自动化相关专业进行实习的配套或参考教材。为了充实和扩大学生在电气工程方面的实践知识,补充学生在识图和设计方面的不足,本书从电气工程的基础知识,到电气系统图样规范与识读,再到电气工程,一步步地深入讲解;由照明工程、工厂供电工程、配电室工程到高压配电工程,涉及电气项目的全部。

本书力求彰显自己的特点,采用基本知识在先,项目设计在后,在前面的知识讲述过程中不求学生全面掌握,而是通过后续项目的应用,锻炼学生查找资料的能力,使学生自觉去学习、掌握前面的知识;采用“行动导向”教学方法,使学生在实践过程中学到知识、提高能力,从项目实施中实现知识点与能力的转化。

书中内容紧密联系电气工程实际,注重实用性,除了阐述各种电气设计的原理之外,还着重对电气项目在运行中的问题进行论证分析,以提高读者分析和解决工程实践问题的能力。本书全部采用了新的国家标准符号,考虑到发电厂、变电所等现有的资料和图样尚有采用旧标准符号的情况,书中给出了新旧标准符号的对比。

近年来,综合保护功能的微机控制得到了普遍使用,使设计得到了简化,但原理是相通的,本书没有介绍有关电气系统保护计算和整定。掌握常规电气设计的原理和技术是进一步掌握微机监控技术在电气接线方面的基础。

在编写本书的过程中,编者参考了书末所列的文献资料,在此向这些参考文献的编者致以深切的谢意。

本书由北京工业职业技术学院王先宏、孙秀芬共同主编,由王先宏统稿,北京工业职业技术学院电气化教研室教师禹春梅、程相波、杜莉、张明珠等参与了编写。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请读者批评指正。

# 目 录

## 前言

项目 1 电气工程基础知识	1
1.1 电气工程常用术语	2
1.1.1 电气工程基本术语	2
1.1.2 电气工程专业术语	3
1.2 电气工程仪表与材料	14
1.2.1 电气工程常用仪表	14
1.2.2 导电材料	28
1.2.3 绝缘材料	30
1.2.4 安装用线管	31
1.3 电气输配电系统	32
1.3.1 一般配电方式	32
1.3.2 低压配电系统	33
1.3.3 照明配电系统	34
1.3.4 高压配电系统	37
1.4 电气安全与节能	41
1.4.1 电气安全常识	41
1.4.2 影响电气安全的因素	48
1.4.3 电气安全事故及救护	50
项目 2 电力系统图样规范与识读	58
2.1 符号及连接线标号	59
2.1.1 电气图符号标准的发展	59
2.1.2 文字符号	59
2.1.3 图形符号	67
2.1.4 连接线的标号	75
2.2 电气一次接线	78
2.2.1 电力系统概述	78
2.2.2 电气主接线的基本形式	79
2.2.3 开关电器的运行	84
2.3 二次接线图	87
2.3.1 集中式原理图	88
2.3.2 展开式原理图	89
2.3.3 安装接线图	91



项目 3 照明系统设计与实施	100
3.1 生活区照明系统分析	101
3.1.1 生活小区照明图纸分析	101
3.1.2 照明电路参数选择	107
3.1.3 公寓宿舍照明线路	109
3.2 照明装置的运行维护与故障检修	113
3.2.1 照明线路短路、断路及漏电故障	114
3.2.2 照明装置使用方法	118
3.2.3 生活照明灯具常见故障处理	121
3.3 住宅照明系统设计与实施	125
3.3.1 住宅照明电气设计及参数计算	126
3.3.2 光物理量及照明负荷计算	129
3.3.3 住宅照明的设计及节能	133
3.4 车间照明系统设计与实施	139
3.4.1 车间照明图纸分析	140
3.4.2 车间照明线路、线缆的选择	145
3.4.3 拓展性知识	146
项目 4 工厂供配电系统设计与施工	150
4.1 工厂供配电系统分析	151
4.1.1 工厂配电系统分析及常用器件	151
4.1.2 工厂常用的供电方式	156
4.1.3 工厂用电办理的相关事项	158
4.2 工厂供配电系统设计	160
4.2.1 工厂配电系统设计	161
4.2.2 供配电负荷计算方法及器件选择	165
4.2.3 低压配电柜及电源的选择	174
4.3 工厂供电线路的敷设	175
4.3.1 线缆的敷设方式及图纸分析	175
4.3.2 线缆截面面积及安全距离	181
4.3.3 室内配电线路材料	183
项目 5 供电线路设计与实施	185
5.1 架空电力线路分析	186
5.1.1 架空线路的结构、材料及施工方法	186
5.1.2 线路的短路故障分析及短路电流计算	191
5.2 电力电缆线路的敷设	201
5.2.1 电力电缆分类及敷设	201
5.2.2 电力电缆终端头的制作	207
项目 6 变配电所供电设计	211
6.1 小型变配电所及其低压电器	212



6.1.1 变电所设备及低压断路器	212
6.1.2 智能断路器	218
6.2 低压柜（进线及母联）供电系统	220
6.2.1 进线柜器件及电气原理图分析	220
6.2.2 电流互感器接线	228
6.2.3 电流互感器使用注意事项	229
6.3 无功功率补偿柜设计	229
6.3.1 无功功率补偿原理分析	231
6.3.2 无功功率补偿电容量计算	233
6.4 出线柜传动设计	234
6.4.1 出线柜断路器选择	234
6.4.2 低压断路器的使用	235
项目7 高压配电系统设计	238
7.1 高压配电所主接线分析	239
7.1.1 一、二次接线图识读及分析	240
7.1.2 接线图的应用	242
7.2 高压开关柜结构分析	247
7.2.1 高压开关柜器件和结构原理分析	248
7.2.2 高压断路器型号及技术参数	259
7.2.3 高压配电装置类型及高压熔断器	260
7.3 高压断路器控制线路分析	266
7.3.1 断路器控制回路及保护回路分析	266
7.3.2 继电保护原理	278
7.3.3 继电器保护运行及微机保护	280
主要参考文献	287

# 项目 1

## 电气工程基础知识

### ● 项目概述

本项目包括电气工程常用术语、电气工程仪表与材料、电气输配电系统、电气安全与节能等内容。本项目从电气工程的基本知识入手进行介绍，要求学生掌握电气工程中经常用到的一些常识。

### ● 知识目标

1. 掌握电气基本知识与常用术语。
2. 学会计算电气回路中各种参量。
3. 掌握安全常识，学会处理安全事故。

### ● 能力目标

能分析电气工程中常用设备的工作原理，理解电路的基本形式。





## 1.1 电气工程常用术语

电气工程包括发电工程、输电工程和用电工程，用电工程中以建筑电气工程居首。在功能上，建筑电气工程的设计和施工都要满足人们对建筑物、构筑物既定功能的要求；在影响上，建筑电气工程面广量大，且工程质量关系到人们的生活质量和生命财产安全；在施工上，建筑电气工程与土建施工、装饰装修施工配合密切，随着建筑结构、装修档次不同，建筑电气工程采用的器材、操作工艺、质量要求也有明显的不同；在装饰装修作用上日益显著；在使用电压上，高低压俱备，因而设备、器具和材料种类繁多，数量大，安装要求高，施工安装管理涉及单位多，协调难度大，且质量验收要与土建工程、装饰装修工程同步，这也与其他电气工程有较大的区别。

### 1.1.1 电气工程基本术语

1) 布线系统：一根电缆（电线）、多根电缆（电线）或母线以及固定它们的部件的组合。如果需要，布线系统还包括封装电缆（电线）或母线的部件。

2) 电气设备：发电、变电、输电、配电或用电的任何物件，诸如电机、变压器、电器、测量仪表、保护装置、布线系统的设备、电气用具。

3) 用电设备：将电能转换成其他形式能量（如光能、热能、机械能）的设备。

4) 电气装置：为实现一个或几个具体目的且特性相配合的电气设备的组合。

5) 建筑电气工程（装置）：为实现一个或几个具体目的且特性相配合的电气装置、布线系统和用电设备电气部分的组合。这种组合能满足建筑物预期的使用功能和安全要求，也能满足使用建筑物的人的安全需要。

6) 导管：在电气安装中用来保护电线或电缆的圆形或非圆形的布线系统的一部分，导管有足够的密封性，使电线电缆只能从纵向引入，而不能从横向引入。

7) 金属导管：由金属材料制成的导管。

8) 绝缘导管：没有任何导电部分（内部金属衬套、外部金属网、金属涂层等均不存在），由绝缘材料制成的导管。

9) 保护导体（PE）：为防止发生电击危险而与下列部件进行电气连接的一种导体：

① 裸露导电部件。

② 外部导电部件。

③ 主接地端子。

④ 接地电极（接地装置）。

⑤ 电源的接地点或人为的中性接点。

10) 中性保护导体（PEN）：一种同时具有中性导体和保护导体功能的接地导体。

11) 可接近的：（用于配线方式）在不损坏建筑物结构或装饰装修的情况下就能移出或暴露的，或者不是永久性地封装在建筑物的结构或装饰装修中的；（用于设备）因为没有锁住的门、抬高或其他有效方法用来防护，而许可十分靠近者。

12) 景观照明：为表现建筑物造型特色、艺术特点、功能特征和周围环境布置的照



明工程,这种工程通常在夜间使用。

## 1.1.2 电气工程专业术语

### 1. 常用专业名词

#### (1) 电流

在电场力作用下电子定向而有规则的运动,称为电流。电流分为直流和交流。大小和方向都稳定不变的电流称为直流,用符号 DC 表示;大小和方向随时间变化的电流称为交流,用符号 AC 表示;其大小和方向随时间按正弦函数规律变化的电流称为正弦交流电。我国在生产、生活上使用的交流电都是按正弦规律变化的。

电流的大小用单位时间内通过导体某一横截面中电荷量的多少来衡量,即电流强度,以符号  $I$  或  $i$  表示。

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.1)$$

式中,  $I$ ——电流, A;

$Q$ ——电量, C;

$t$ ——时间, s。

电流的单位还可用 kA、mA、 $\mu$ A 表示:  $1\text{kA}=10^3\text{A}$ ,  $1\text{mA}=10^{-3}\text{A}$ ;  $1\mu\text{A}=10^{-6}\text{A}$ 。

对于正弦交流电,一般用有效值来表示其电流的大小。有效值指在热效应上同它相当的直流值,即将交流电流  $i$  和直流电流  $I$ , 分别通过相同的电阻,如果在一个周期内两者产生的热量相等,则此直流电流强度就是此交流电流的有效值。一般电工仪表测得的电流、电压值均为有效值,电气工程图上标明的电流、电压值一般也是指的有效值。正弦交流电的最大值与有效值之间的关系为

$$I = I_m / \sqrt{2} = 0.707I_m \quad (1.2)$$

式中,  $I$ ——电流有效值;

$I_m$ ——电流最大值。

为了计算和说明问题的方便,在有些电气图上标明了电流方向。此方向是人为规定的“正方向”,而电流的实际方向是客观存在的,如果电流的实际方向与规定的正方向相同,其值为正,反之为负。

#### (2) 电压

电压是从电场力做功这一概念引出来的。单位正电荷在电场力作用下,从电场中的一点移到另一点时电场力所做的功,称为这两点间的电压。电路中有电压存在,就具备了移动电荷的能力,可见电源电压在电路中的作用是促使电荷运动而成电流。

电压的符号为  $U$ , 单位是伏 (V)。把 1 库仑 (C) 的电荷量从一点移到另一点, 电场力做的功是 1 焦耳 (J), 则这两点的电压就是 1 伏特 (简称伏)。工程上常用千伏 (kV) 表示,  $1\text{kV}=1000\text{V}$ 。对于正弦交流电,其电压值的大小也是用有效值来表示的,其最大值与有效值之间的关系为

$$U = U_m / \sqrt{2} = 0.707U_m \quad (1.3)$$



式中,  $U$ ——电压有效值;

$U_m$ ——电压最大值。

和电流一样,在电气图上所标明的电压的方向是人为规定的“正方向”,当电压的实际方向与正方向一致时电压为正,反之为负。

### (3) 频率与周期

为了衡量交流电变化的快慢,引出了周期和频率的概念。交流电按正弦规律变化时,其大小与方向每变化一个循环称为一周,每变化一周所需的时间称为周期,以字母“ $T$ ”表示,单位是秒(s)。频率则是指交流电每秒变化的周数,即周波,以字母“ $f$ ”表示,单位是赫(Hz)。显然

$$f = \frac{1}{T} \quad (1.4)$$

我国电力系统使用的标准频率是50Hz,这一频率称为工频。工频交流电大小与方向每变化一周所需的时间为 $(1/50)\text{s}=0.02\text{s}$ 。

发电机发出的交流电的频率与发电机的转速密切相关,交流电动机的转速与所接电源的频率密切相关。同步转速与频率的关系为

$$n = \frac{60f}{p} \quad (1.5)$$

式中,  $n$ ——同步发电机、同步电动机的转速, r/min;

$f$ ——频率, Hz;

$p$ ——极对数。

为了使转子导体与磁场之间有相对运动,异步电动机的转速略低于同步转速。例如,电机磁极对数 $p=2$ ,电源频率 $f=50\text{Hz}$ ,如为同步电动机,其转速为

$$n = (60 \times 50 / 2) \text{r/min} = 1500 \text{r/min}$$

如为异步电动机,其转速略低一些,为1450r/min左右。

由此可见,为了改变交流电动机的转速,可以改变电源的频率。

### (4) 电功和电功率

电流做功的大小简称电功,用符号 $W$ 表示。电流做了多少功,就有多少电能转变为其他形式的能。电流在一段电路上所做功的大小与这段电路两端的电压、电路中的电流强度和通电时间成正比,即

$$W = UIt \quad (1.6)$$

电功单位为焦耳(J),  $1\text{J} = 1\text{V} \times 1\text{A} \times 1\text{s} = 1\text{W} \cdot \text{s}$ 。

电功率是指某一电路在单位时间(1s)内所做的功,用符号 $P$ 表示,则

$$P = W/t = UI/t = UI$$

电功率单位是瓦(W)或千瓦(kW)。电功率是一个与通电时间无关的物理量。显然,一段电路的电功率乘上通电时间,便是这段电路所做的功。在工程上常用电度数来衡量电功的多少。1度电就是功率为1kW的用电设备通电1小时(h)所消耗的电功;也可以认为功率为1W的用电设备通电1000h所消耗的电功,其计算公式为

$$1 \text{度} = 1\text{kW} \cdot \text{h}$$

电功率(kW)和机械功率马力(hp)的关系为



$$1\text{kW}=1.36\text{hp}$$

$$1\text{hp}=736\text{W}=0.736\text{kW}$$

反映交流电路中的功率有3个量,即有功功率、无功功率和视在功率。

**有功功率:**交流电路中的设备(如电灯、电动机)真实消耗的功率,称为有功功率,用符号 $P$ 表示,单位是瓦(W)或千瓦(kW)。前面所提的电功率就是指有功功率。

**无功功率:**交流电路中的电磁类电气设备,如变压器、电动机、电磁线圈等,是靠建立和维持磁场来工作的,也需要一部分功率在内部进行交换,这一功率称为无功功率。无功功率和有功功率同样重要,只是由于无功功率并不做功,它仅完成电磁能量的相互转换,反映着交流电路中电感、电容与电源间进行能量交换的规模,也不需要消耗能量,从这个意义上才称为“无功”。无功功率的符号用 $Q$ 表示,单位为乏(var)或千乏(kvar)。

**视在功率:**其符号是 $S$ ,单位是伏安(V·A)或千伏安(kV·A)。视在功率包括有功功率和无功功率,但不是简单的代数和关系,而是

$$S=\sqrt{P^2+Q^2} \quad (1.7)$$

有功功率所占视在功率的比例称为功率因数,用 $\cos\varphi$ 表示,即

$$\cos\varphi=P/S \quad (1.8)$$

### (5) 阻抗

阻抗包括电阻、感抗和容抗。

当交变电流通过线圈 $L$ 时,在线圈 $L$ 中便产生了自感电动势,这个自感电动势阻止着交流电流的通过。这种由自感电动势所表现出来的阻力称为自感电抗,简称感抗,以符号 $X_L$ 表示,其值为

$$X_L=2\pi fL \quad (1.9)$$

式中, $f$ ——电源频率,Hz;

$L$ ——电感,H;

$X_L$ ——感抗, $\Omega$ 。

在电感元件上,没有能量消耗,只有电能和磁能的周期性转换,即不消耗有功功率,只消耗无功功率。

当交变电流通过电容器时,由于交流电不断地进行着充放电过程,在电容器上建立的电压极性总是与电源电压的极性相同,对交流电流同样起阻碍作用,这种阻力称为电容电抗,简称容抗,以符号 $X_C$ 表示,其值为

$$X_C=1/2\pi fC \quad (1.10)$$

式中, $f$ ——电源频率,Hz;

$C$ ——电容量,F;

$X_C$ ——容抗, $\Omega$ 。

在电容器上也没有能量消耗,只有电能和电场能的周期性转换,即不消耗有功功率,只消耗无功功率。

感抗与容抗在电路中具有相反的作用,当两者串联时,其电抗 $X$ 为

$$X=X_L-X_C \text{ 或 } X=X_C-X_L \quad (1.11)$$

无论是交变电流还是直流电流,通过电阻 $R$ 元件上时都会呈现出阻碍电流通过的性



质。在电阻元件上只消耗有功功率。当电阻、电感、电容串联时，在交流电路中所呈现的阻抗值  $Z$  为

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (1.12)$$

$R$ 、 $X$ 、 $Z$  的关系如图 1.1 所示。

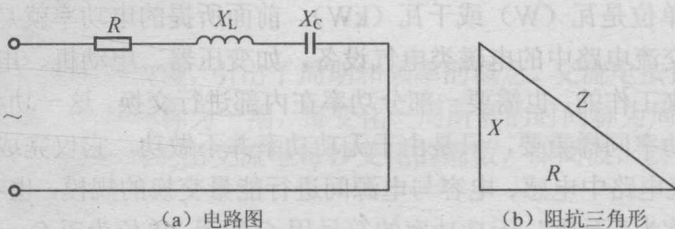


图 1.1 电阻、电抗与阻抗的关系

## 2. 常用电工术语

### (1) 电源和负载

在电力工程中，电源通常指提供电能的设备和装置。电源分为交流电源和直流电源，以及主电源和控制电源。

交流电源主要是同步发电机和电力网；直流电源主要是变流站和直流发电机。

主电源是指一个电路中提供主电流或主信号的电源；控制电源是指提供操作、控制、保护、信号电路的电源。

负载一般是指接收电能或接收信号的设备。在电力工程中的各种用电设备均可称为负载，按其用途可分类如下：

- 1) 照明负载，如各种电气照明灯具。
- 2) 动力负载，如风机、水泵、压缩机、起重机等电气传动设备。
- 3) 工艺负载，如电解、电镀、电焊、电热处理等设备。
- 4) 电热负载，如加温、取暖、烘干、空调等设备。
- 5) 其他负载，如试验、检测用电设备。

### (2) 电路

将电源、负载、开关及其他元件按一定顺序，用连接线（如导线）连接起来，便构成了一个电路。不同的电路有不同的功能，如传输电能、传递信息、电气控制等。

电路的正常状态有断开状态（停止运动状态）或接通状态（运行状态）。在一张静止的电气图上通常只能画出一种状态，一般为断开状态（如开关断开、按钮未按下、电磁线圈不通电等），这是阅读电气工程图应特别注意的。

当电路处于闭合状态时，电流可在电路中形成闭合回路。

构成一个完整的电路通常有 4 个要素，即电源、负载、连接线、开关控制设备。图 1.2 (a) 所示是一简单的照明电路。开关  $Q$  闭合后，电源才能经过导线向负载（照明灯  $EL$ ）供电；开关  $Q$  断开或熔断器  $FU$  熔断，则电路处于断开状态。

图 1.2 (b) 所示是某一电动机供电电路。图中包括两个独立的电路：①三相电源经开关  $Q$ 、熔断器  $FU$  和电动机绕组构成三相电路；②电流互感器  $TA$ （电源）和电流表  $A$  构成测量电路。图中的电路表示断开状态。

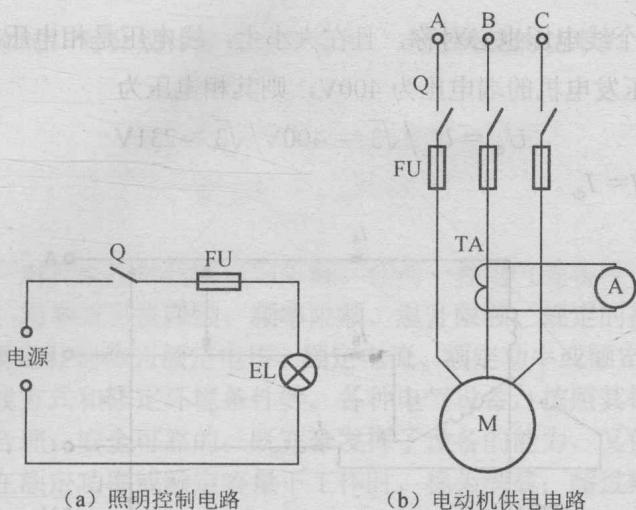


图 1.2 电路示例

在电气施工图中，连接线可跨越较长空间距离，如从室内到室外，从楼上到楼下，从这一建筑物到另一建筑物等。因此，在一些电气施工图（如接线图、布置图）上，不可能将元件集中绘制，但识读这类电气图，仍然应注意电路的构成，尤其应注意是否可以构成通路。

### (3) 单相和三相电路

一般的交流发电机都有三相线组，它能产生 3 个大小相等、频率相同、时间相位互差  $120^\circ$  的电动势。电源的 3 个电动势按一定的方式连接起来，共同向负荷供电。这样的电路称为三相交流电路，简称三相电路。某些电气设备只需要由电源的一相电动势供电。由一相电动势供电组成的电路称为单相交流电路。

在电路图上，三相电路有两种表示方法。因为通常情况下三相电路是对称的，习惯上常常用一相电路来代表三相电路，这种电气图称为单线图；如果把三相电路都画全了，则称为三线图，如图 1.2 (b) 所示。电气施工图中使用最多的是单线图。一般高压三相电路多用单线图表示，低压三相电路则视不同情况分别采用三线图或单线图。

### (4) 三相四线制供电

如果把三相交流发电机的三相绕组及电源变压器送电端的三相绕组的 3 个尾端连在一起成为一个公共点，又分别从三相绕组的首端引出 3 根导线，这种连接方式称为三相电源的星形接法，即 Y 接法。星形接法的公共点称为中性点，通常用“0”表示。从中性点引出的导线称为中性线，通常用“N”或“0”表示。如果中性点已接地，则此中性点称为零点，中性线则称为零线或地线。从三相绕组首端引出的 3 根线称为相线，分别用“A”、“B”、“C”表示。零线引出的星形接法称为 Y0 接法或 YN 接法。像这种由三相电源引出 A、B、C、N 4 条输电线的供电方式称为三相四线制供电，如图 1.3 所示。

在三相四线制系统中，两根相线之间的电压称为线电压，用  $U_L$  表示，有 3 个线电压  $U_{AB}$ 、 $U_{BC}$ 、 $U_{CA}$ 。相线对零线的电压称为相电压，用  $U$  表示，同样有 3 个相电压  $U_A$ 、 $U_B$ 、 $U_C$ 。流过相线的电流，称为线电流，用  $I_L$  表示。流过每相的电流称为相电流，用  $I_\phi$  表示。

由此可知，三相四线制供电，可以得到两种不同的电压，即相电压和线电压。当 3 个



相电压对称时，3 个线电压也必对称，且在大小上，线电压是相电压的  $\sqrt{3}$  倍，即  $U_L = \sqrt{3}U_\Phi$ 。例如，低压发电机的端电压为 400V，则其相电压为

$$U_\Phi = U_L / \sqrt{3} = 400V / \sqrt{3} \approx 231V \quad (1.13)$$

输出的电流则是： $I = I_\Phi$ 。

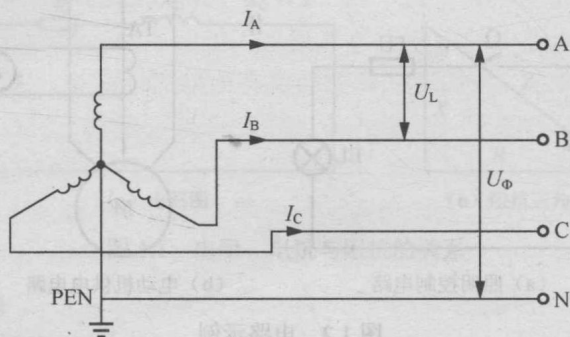
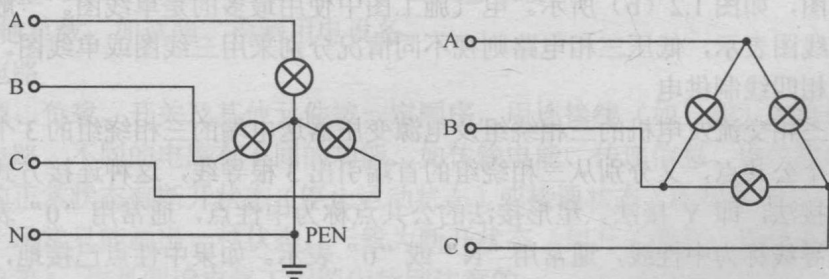


图 1.3 三相四线供电系统示意图

#### (5) 三相负荷的星形接法和三角形接法

在三相四线制供电系统中，如果负荷接在相线和中性线之间，如图 1.4 (a) 所示，称为三相负荷的星形接法。在星形接法中，各相负载与电源间各自构成回路，互不相扰，因此，就每一相来说，可以看作 3 个独立互不相关的单相负载。电源的线电流等于相应负载的相电流，即  $I_L = I_\Phi$ ，电源的线电压等于  $\sqrt{3}$  倍的相电压，即  $U_L = \sqrt{3}U_\Phi$ 。三相负载的这种接法，即使在三相负荷不平衡时，仍能获得基本对称的相电压。

在三相供电线路中，如果负荷分别接在两根相线之间，如图 1.4 (b) 所示，称为三相负荷的三角形接法。在三角形接法中，各相负载与电源间各自构成回路，互不相扰，因此，就每相而言仍可看作 3 个独立的单相负载。在该接法中， $U_L = U_\Phi$ ；负载平衡时， $I_L = \sqrt{3}I_\Phi$ 。



(a) 星形接法

(b) 三角形接法

图 1.4 三相负荷的星形接法和三角形接法

在三相电路中，不论负载是星形接法还是三角形接法，只要是三相对称负载，它们自电源取用的三相总功率就为

$$\left. \begin{aligned} S &= \sqrt{3} U_L I_L \\ P &= \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi \\ Q &= \sqrt{3} U_L I_L \sin \varphi \end{aligned} \right\} \quad (1.14)$$



三相负载不对称时，可分别计算各相的功率。单相负载的功率为

$$\left. \begin{aligned} S &= \sqrt{3} U_{\phi} I_{\phi} \\ P &= \sqrt{3} U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi \\ Q &= \sqrt{3} U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi \end{aligned} \right\} \quad (1.15)$$

### (6) 额定值

额定值是制造厂对产品使用的规定与限额。任何一种电气设备或线路都有一定的电压限额、电流限额、功率或容量限额、频率限额、温升限额、规定的接线方式和环境条件等。这些限额与规定分别称为额定电压、额定电流、额定功率或额定容量、额定频率、额定温升、额定接线方式和额定环境条件等。各种电气设备，按照其铭牌上的额定值来使用一般是最经济合理、安全可靠的，既充分发挥了设备的能力，又保证了设备的正常使用寿命。当设备在额定功率或额定容量下工作时，称为满载；超过额定功率或额定容量的情况下工作，称为过载。一般少量过载是允许的，因为产品设计时已经考虑了一定的安全系数和一定的过载能力，但严重过载将是危险的，轻则降低设备的使用寿命，重则引起设备发热过度，绝缘被击穿而引起火灾爆炸事故。反之，在低于额定功率或额定容量下工作，虽然安全，但设备的工作能力没有得到充分的利用，很不经济。有些设备在高于或低于其额定值时工作也不是安全的。例如电磁线圈，如果加的电压高于额定值，有可能绝缘被击穿；如果加的电压低于额定值，有可能因为电磁吸力不够而导致线圈被烧毁。

电气工程图上标注的设备、元件、线路等的规格通常是指额定值。

1) 额定电压等级。为了统一发、供、用电，我国规定了不同等级的标准电压，即额定电压，也称标称电压。额定电压可分为3类，分别见表1.1~表1.3。

表 1.1 低压电气设备和系统的额定电压

(单位: V)

序号	类别	系统和用电设备	供电设备	备注
1	直流	1.5	1.5	
		2	2	
		3	3	
		6	6	
		12	12	
		24	24	
		36	36	
		48	48	
		60	60	
		72	72	
		110	115	
		220	230	
		440	460	
2	单相交流	6	6	
		12	12	
		24	24	
		36	36	
		42	42	
		100	100	
		127	133	只用于电压互感器
		220	230	只用于矿井下，机床控制





续表

序号	类别	系统和用电设备	供电设备	备注
3	三相交流	36	36	只用于电压互感器 用于矿井下、机床控制 相电压/线电压 相电压/线电压
		42	42	
		100	100	
		127	133	
		220/380	230/400	
		380/660	400/690	

注：直流电压为平均值，交流电压为有效值。

表 1.2 高压三相交流电气设备和系统的额定电压

(单位: kV)

序号	系统和受电设备	供电设备	设备最高电压	序号	系统和受电设备	供电设备	设备最高电压
1	3	3.15	3.5	6	110		126
2	6	6.3	6.9	7	220		252
3	10	10.5, 13.8, 15.75, 18, 20	11.5	8	330		363
				9	500		555
4	35		40.5	10	750		
5	63		69				

表 1.3 安全电压等级

(单位: V)

序号	额定值	空载上限值	应用范围
1	6	6	
2	12	15	
3	24	29	人体可能偶然触及的带电体
4	36	43	在矿井、多导电粉尘场所使用的行灯
5	42	50	手持式电动工具等

2) 额定电流等级。常用的高(低)压电器、仪表、电源装置的额定电流等级见表 1.4。

表 1.4 常用额定电流等级

(单位: A)

序号	类别	额定电流										
		1	1.25	1.5	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	
1	10A 以下											
2	100A 以下	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	
3	1000A 以下	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	

3) 额定频率。我国规定的一般工业频率(简称工频)为 50Hz, 有些设备的频率可为中频或高频, 如 100Hz, 150Hz, 200Hz, 400Hz, 600Hz, 800Hz, …。

(7) 电流效应

电流通过导线时会产生 4 种主要的效应。

1) 热效应。因为导线一般存在电阻, 所以电流通过导线就会发热。其发热量  $Q$  为

$$Q=I^2Rt \text{ (J)} \quad (1.16)$$

或

$$Q=0.24I^2Rt \text{ (cal, 卡, 非法定单位, } 1\text{cal}=4.1868\text{J)} \quad (1.17)$$

式中,  $I$ ——通过导线的电流, A;