



现代工程训练与创新实践丛书

湖南大学现代工程训练中心 / 组织编写

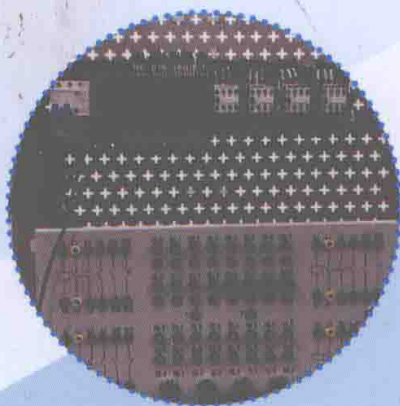
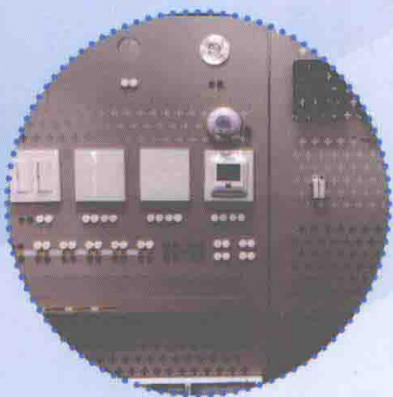
丛书主编 / 蔡立军 张国田



电工技术工程训练

主 编◎罗玮

副主编◎楚锋 蒲玉兴 方璐



- 理实结合，由浅入深，用经典案例解析实习过程
- “以学生为中心，以能力为本位”，注意技能培养
- 扫描二维码，随时链接到文档、视频等多种形式教学内容



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

现代工程训练与创新实践丛书

电工技术工程训练

主 编 罗 玮

副主编 楚 锋 蒲玉兴 方 璐



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书共分为六章,分别介绍了供电与安全用电(包括发电系统、输电系统、工业与民用配电以及安全用电知识)、常用电工工具和低压控制电器(包括电气操作应用的一些基本工具、仪器仪表以及常用的低压控制电器)、导线连接与照明(包括导线连接的方式以及常用室内照明安装方法)、基本控制电路(包括常见的电气控制电路的原理、安装和应用)、典型电路的继电器控制及 PLC 程序控制项目实训、智能家居(包括智能家居的发展、功能以及应用)。

本书根据电工必备的知识 and 技能要求,理论与实践紧密结合,突出操作技能训练,注重培养学生分析和解决电工实际问题的能力和工程实践能力。

本书突出了电气工程实践知识和技能训练,内容新颖、实用,在介绍电的基本知识、安全用电基本常识、常用电工仪器仪表及材料,以及常用低压电器的使用等基础上,还介绍了 PLC 可编程控制器和智能家居的项目实训,供学生在技能拓展时进阶学习使用。

本书可作为本科院校、高职院校的电工实训教材,也可以作为维修电工的培训教材,或者供其他从事电气操作与维修的工程技术人员使用参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术工程训练 / 罗玮主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2018.10
(现代工程训练与创新实践丛书)
ISBN 978-7-5170-6394-0

I. ①电… II. ①罗… III. ①电工技术—高等学校—习题集 IV. ①TM-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第068807号

书 名	现代工程训练与创新实践丛书 电工技术工程训练 DIANGONG JISHU GONGCHENG XUNLIAN
作 者	主 编 罗 玮 副主编 楚 锋 蒲玉兴 方 璐
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京智博尚书文化传媒有限公司
印 刷	三河市龙大印装有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 14印张 243千字
版 次	2018年10月第1版 2018年10月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	39.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

现代工程训练与创新实践 丛书编委会

主任委员：谢 赤

副主任委员：王文格 蔡立军

委 员（按姓氏笔画排序）：

万 敏 王 群 王 毅 文思维

方 璐 田万一 全松柏 刘长江

刘 昱 刘彬彬 李先成 李 杨

李英芝 李 源 杨灵芳 肖育虎

吴占涛 余剑锋 张小兰 张国田

陈浩文 陈源寒 易守华 罗 玮

胡双余 胡永光 曹 成 曹 益

曾益华 谢治华 蒲玉兴 楚 锋

楚 熙 詹 军

项目总策划：蔡立军

办公室主任：张国田

高等教育发展水平是一个国家发展水平和发展潜力的重要标志。习近平总书记指出，“我们对高等教育的需要比以往任何时候都更加迫切，对科学知识和卓越人才的渴求比以往任何时候都更加强烈”。当前世界范围内新一轮科技革命和产业变革加速进行，综合国力竞争愈加激烈。为响应国家战略需求，支撑服务新经济和新兴产业，推动工程教育改革创新，2017年2月，我国高等工程教育界达成了“新工科”建设共识，加快了培养创新型卓越科技工程人才的步伐。在工程教育体系中，工程训练课程是最基本、最有效、学生受益面最广的工程实践教育资源，其作用日趋凸显，是人才培养方案中不可或缺的实践环节。

“现代工程训练与创新实践丛书”（下称“丛书”）正是在上述背景下，针对新一轮科技革命和产业变革对工程实践教育及人才培养的新要求，深入开展创新教学研究和实践而形成的教学改革成果。它以大工程为基础，以适应现代工程训练为原则，强调综合性、创新性和先进性的同时，兼顾教材广泛的适用性。

丛书由多位具有多年实践教学经验的实验教师和工程技术人员共同编写，主要以机械、材料、电工、电子、信息等学科理论为基础，以工程应用为导向，集基础技能训练、工程应用训练、综合设计与创新实践于一体。其特色与创新之处在于：

第一，编者阵容强大，教学经验丰富。本套教材的主编及参编人员均来自湖南大学，长期从事本专业的教学工作，且大多有着博士学位。本套丛书是这些教师长期积累的教学经验和科研成果的总结。

第二，精选基础内容，重视先进技术。建立了传统内容与新知识之间良好的知识构架，适应社会的需求。重视跟踪科学技术的发展，注重新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法的引进，力求使教材内容具有科学性、先进性、时代性和前瞻性。

第三，体例统一规范，教学形式新颖。重视处理好教材的体例及各章节

间的内部逻辑关系，力求符合学生的认识规律。实训操作要领配套了大量视频，通过扫描二维码即可观看学习。以学生为中心，充分利用学生零散时间，将教学形式最优化，能实现工程训练泛在化学习。

第四，重视工程实践，注重项目引导。改变以往教材过于偏重知识的倾向，重视实际操作。注重理论与实际相结合，设计与工艺相结合，分析与指导相结合，培养学生综合知识运用能力。将科研成果、企业产品引入教材，引导学生通过实践训练培养创新思维能力和群体协作能力，建立责任意识、安全意识、质量意识、环保意识和群体意识等，为毕业后更好地适应社会不同工作的需求创造条件。

“博于问学，明于睿思，笃于多为，志于成人”是岳麓书院的优秀传统，揭示了人要成才，必须认真学习积累基础知识，勤于思考问题，还要多动手、多实践、更要有立志成才的理想。2016年6月2日，中国成为国际本科工程学位互认协议《华盛顿协议》的正式会员，标志着我国工程教育进入了新的阶段。工程教育的基本定位是培养学生解决复杂工程问题的能力。工程训练的教学目标是学习工艺知识，增强工程实践能力，提高工程素质，培养创新精神，提升就业创业能力。因此，丛书的出版正逢其时。它不仅仅是一套教材，更是自始至终的教育支持，无论是学校、机构培训还是个人自学，都会从中得到极大的收获。

当然，人无完人，金无足赤，书无完书，本套教材肯定会有不足之处，恳请专家和读者批评指正。

现代工程训练与创新实践丛书编委会

2018年9月

前言

FOREWORD

本书是在国家实施重大发展战略和新工科建设的背景下，针对新一轮科技革命和产业变革对工程实践教育及人才培养的新要求，深入开展创新教学研究和实践而形成的教学成果。它以大工程为基础，强调综合性、先进性和新颖性的同时，兼顾教材广泛的适用性。

本书共分为6章。第1章为供电与安全用电，介绍发电系统、输电系统、工业与民用配电以及安全用电知识；第2章为常用电工工具和低压控制电器，介绍用于电气操作应用的一些基本工具、仪器仪表以及常用的低压控制电器；第3章为导线连接与照明，介绍几种导线连接的方式以及常用室内照明安装方法；第4章为基本控制电路，介绍几种常见的电气控制电路的原理、安装和应用；第5章为典型电路的继电器控制及PLC程序控制项目实训；第6章智能家居，介绍了智能家居的发展、功能以及应用。

本书为方便读者更直观地了解所学实践内容，在部分章节配有相关视频指导，可以通过扫二维码观看。秉承以学生为中心的教学理念，所编的实训项目具有与时俱进、内容丰富、能随时随地学习以及综合性强等特点，包括元件的选取、线路布局、安装工艺、故障处理、调试运行、在线测量等技能训练，通过实训可以让学生自己动手，将基础的技能训练与综合实践创新训练结合起来，为培养学生的实践创新能力奠定扎实的基础。

电工技术实训课时建议根据专业灵活设定，电类专业学生64课时，近电类专业学生32课时，非电类专业学生16课时。

本书可作为本科院校、高职院校的电工实训教材，也可以作为维修电工的培训教材，或者供其他从事电气操作与维修的工程技术人员使用参考。

本书由罗玮主编，并负责全书统稿，参加编写工作的有楚锋、蒲玉兴、方璐、蒋克授、万敏、肖育虎、陈浩文、刘昱、罗海鑫、史栋杰。对本书作出贡献的还有全松柏、余剑锋等。在编写过程中，参阅了国内外同行的教材、资料 and 文献，得到了很多专家和同行的支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

限于编者的水平，本书中难免有错误和不妥之处，恳请读者不吝指正。

编者
2018年6月

目录

CONTENTS

前言

第 1 章 供电与安全用电	1
1.1 三相交流电路	1
1.1.1 三相电源	1
1.1.2 三相电源的星形连接和三角形连接	3
1.1.3 三相负载的星形连接和三角形连接	5
1.1.4 三相电路的功率计算	7
1.2 发电和输电概述	8
1.2.1 发电系统	8
1.2.2 输电系统	10
1.3 工业与民用配电	11
1.3.1 负荷计算	11
1.3.2 配电系统	13
1.3.3 配电系统的接线	13
1.4 安全用电	15
1.4.1 电流通过人体时的效应	15
1.4.2 触电的原因和形式	17
1.4.3 触电急救处理	19
1.4.4 接地保护系统	21
1.4.5 直接接触电击与间接接触电击的防护	28
1.4.6 电气防火防爆	31
1.4.7 静电的防护	32
第 2 章 常用电工工具和低压控制电器	33
2.1 常用电工工具及材料	33
2.1.1 常用电工工具及使用方法	33
2.1.2 常用电工材料	36
2.2 常用电工仪器、仪表	39

2.2.1	电流表	39
2.2.2	电压表	41
2.2.3	功率表	42
2.2.4	电能表	43
2.2.5	万用表	43
2.2.6	兆欧表	46
2.3	常用低压控制电器	48
2.3.1	低压电器的基本知识	48
2.3.2	低压开关	48
2.3.3	低压熔断器	53
2.3.4	按钮	55
2.3.5	接触器	57
2.3.6	继电器	61
2.4	常用电气符号及识图	68
2.4.1	电气常用文字符号和图形符号	69
2.4.2	电气图的种类和组成	70
2.4.3	电气图的基本表示方式	71
2.4.4	阅读电气图的基本方法和步骤	77
第3章	导线连接与照明	79
3.1	导线连接	79
3.1.1	导线的选择	79
3.1.2	导线绝缘层的剖削	80
3.1.3	导线的绞合连接	83
3.1.4	线头绝缘层的恢复	88
3.2	家居用电	89
3.2.1	家居用电安装模式	89
3.2.2	家居用电模拟安装	90
第4章	基本控制电路	92
4.1	三相电动机控制电路	92
4.1.1	三相异步电动机	92
4.1.2	三相异步电动机点动长动控制电路	94
4.1.3	三相异步电动机正反转控制电路	95
4.1.4	三相异步电动机顺序动作控制电路	96
4.2	三相电动机控制电路安装	97

4.2.1	电气接线图的绘制规则	97
4.2.2	三相异步电动机线路安装步骤	98
4.2.3	三相异步电动机控制线路的安装接线图	98
第5章 典型电路的继电器控制及 PLC 程序控制项目实训		100
5.1	三相异步电动机点动长动控制	100
5.1.1	项目引入	101
5.1.2	项目实施	102
5.1.3	技能拓展	104
5.2	三相异步电动机双重联锁正反转控制	105
5.2.1	项目引入	105
5.2.2	项目实施	106
5.2.3	技能拓展	109
5.3	三相异步电动机顺序控制	112
5.3.1	项目引入	112
5.3.2	项目实施	113
5.3.3	技能拓展	114
5.4	能手动和自动往返的控制电路	117
5.4.1	项目引入	117
5.4.2	项目实施	118
5.4.3	技能拓展：手动/自动切换程序控制	122
5.5	CA6140 普通车床控制	124
5.5.1	项目引入	126
5.5.2	项目实施	128
5.5.3	技能拓展	129
5.6	Z3040B 型摇臂钻床控制	130
5.6.1	项目引入	134
5.6.2	项目实施	134
5.6.3	技能拓展	139
5.7	X62W 万能铣床控制	139
5.7.1	项目引入：改造 X62W 型万能铣床 PLC 控制系统的设计 ...	144
5.7.2	项目实施	147
5.7.3	技能拓展	151
5.8	T68 卧式镗床	151
5.8.1	T68 型卧式镗床电气继电控制系统分析	152

5.8.2	项目引入	155
5.8.3	项目实施	156
5.8.4	技能拓展	161
5.9	M7130K 平面磨床	161
5.9.1	M7130K 型平面磨床电气控制系统分析	163
5.9.2	改造 M7130K 型平面磨床 PLC 控制系统的设计	165
5.9.3	项目引入: PLC 硬件电路设计	166
5.9.4	项目实施	167
5.9.5	技能拓展	170
第 6 章	智能家居	171
6.1	智能家居概论	171
6.1.1	智能家居定义及起源	171
6.1.2	智能家居发展现状	172
6.2	智能家居应用	172
6.3	智能家居实训项目	173
6.3.1	系统连接	173
6.3.2	编程准备	174
6.3.3	4 路调光模块	176
6.3.4	4 路继电器	178
6.3.5	窗帘控制器模块	178
6.3.6	逻辑定时器模块	178
6.3.7	液晶面板模块	178
6.3.8	MS04 传感器输入模块	178
6.3.9	八合一模块	178
附录一	S7-200PLC 的主机模块	179
附录二	S7-200 (SMART) 编程软件简介	182
F2.1	概述	182
F2.2	编程软件菜单	188
F2.2.1	文件菜单	188
F2.2.2	编辑菜单	189
F2.2.3	检视菜单	190
F2.2.4	PLC 菜单	191
F2.2.5	排错菜单	192
F2.2.6	工具菜单	193

F2.2.7 视窗菜单	193
F2.2.8 帮助菜单	194
F2.3 编程前的准备	194
F2.3.1 指令集和编辑器的选择	194
F2.3.2 根据 PLC 类型进行参数检查	195
F2.4 程序调试与监控	196
F2.4.1 选择工作方式	196
F2.4.2 状态图显示	196
F2.4.3 执行有限次扫描	198
F2.4.4 运行监控	198
附录三 S7-200 (SMART) 模拟仿真软件的使用	200
F3.1 仿真软件介绍	200
F3.2 仿真软件的使用	200
参考文献	207

■ 第 1 章 ■

供电与安全用电

电在国民经济中占有重要的地位，从规模宏大的社会生产到千家万户的衣食住行，电已经渗透到人类活动的方方面面。

本章概述发电系统、输电系统、工业与民用配电、安全用电等内容，学生需要了解三相电源的产生，以及电能从产生到消费所经过的发电、输电、变配电、用电等几个主要环节，同时掌握安全用电的基本知识。

1.1 三相交流电路

■ 1.1.1 三相电源

我国发电厂和电力网生产、输送和分配的交流电都是三相交流电。由于三相交流电具有以下优点：①三相发电机比尺寸相同的单相发电机输出的功率要大；②三相发电机和变压器的结构与制造都不复杂，且使用和维护都较方便，运转时比单相发电机的振动小；③在同样条件下输送同样大的功率时，特别是在远距离输电时，三相输电线比单相输电线可节约 25% 左右的线材。所以三相交流电获得了广泛应用。

三相交流电源由三相交流发电机产生。发电机的基本机构如图 1-1 所示，主要由定子和转子组成。定子也称电枢，内圆周表面有凹槽，用以放置三相绕组。三相绕组始端标以 A、B、C，末端（尾）标以 X、Y、Z，首端（或末端）空间互差 120° 。

转子是一对由直流电流通过励磁绕组而形成的特殊磁极，产生的磁场在空气隙中按正弦规律分布。当发电机转子由原动机拖动以角速度 ω 按顺时针方向匀速旋转时，转子磁场将依次切割定子绕组，并在每相绕组内产生出频率相同、幅值相等、相位互差 120° 的三相对称正弦感应电动势，即三相对称



电源，简称三相电源。若以 u_A 为参考正弦量，则三相对称电源的瞬时表达式为

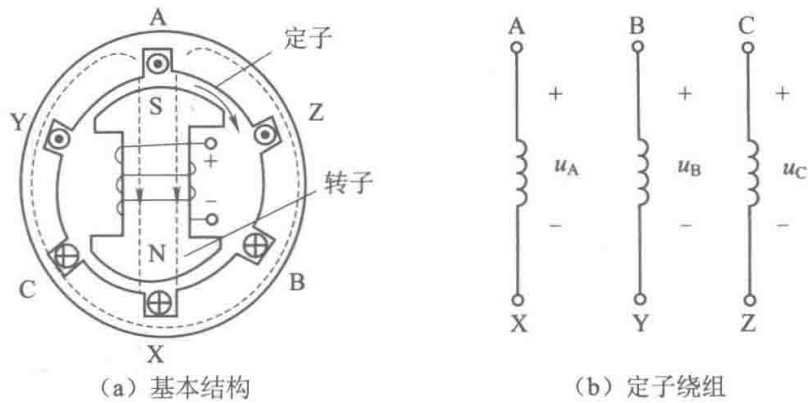


图 1-1 发电机的基本结构

$$\begin{cases} u_A = U_m \sin \omega t \\ u_B = U_m \sin (\omega t - 120^\circ) \\ u_C = U_m \sin (\omega t + 120^\circ) \end{cases} \quad (1-1)$$

相量式可表示为

$$\begin{cases} \dot{U}_A = U \angle 0^\circ \\ \dot{U}_B = U \angle -120^\circ \\ \dot{U}_C = U \angle 120^\circ \end{cases} \quad (1-2)$$

将此三相对称电源用相量图来表示，如图 1-2 (a) 所示；用正弦波形表示，如图 1-2 (b) 所示。

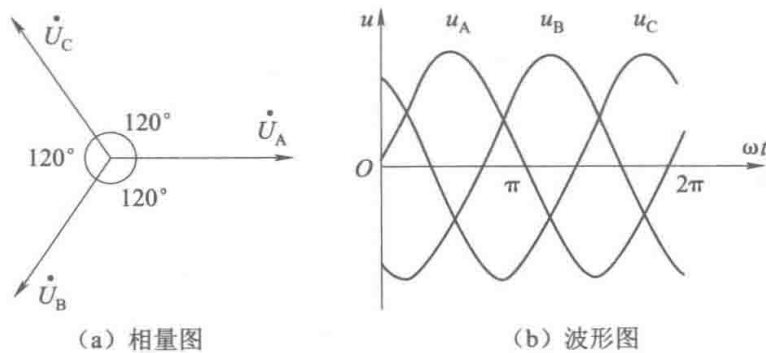


图 1-2 三相电源

显然，三相对称电源的瞬时值或向量之和始终为零，即

$$\begin{cases} u_A + u_B + u_C = 0 \\ \dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 0 \end{cases} \quad (1-3)$$

三相正弦交流电源依次到达最大值（或过零值）的顺序，称为相序，它

与磁极旋转方向有关。因此，当磁极顺时针方向旋转时，三相电源出现最大值的顺序是 $\dot{U}_A \rightarrow \dot{U}_B \rightarrow \dot{U}_C$ ，这样的顺序称为正序（或顺序）；反之，称为负序（或逆序）。如果没有特殊说明，在工业与民用生活生产中，三相对称电源的相序均采用正序。

发电机的三相绕组通常作适当的连接之后再给负载供电。三相绕组有两种连接方法：一种为星形连接，另一种为三角形连接。下面将分别予以介绍。

■ 1.1.2 三相电源的星形连接和三角形连接

(1) 把发电机三相绕组的末端连接在一个公共点上，从三相绕组的始端分别对外引出三条线，这种连接方式称为星形连接，如图 1-3 所示。

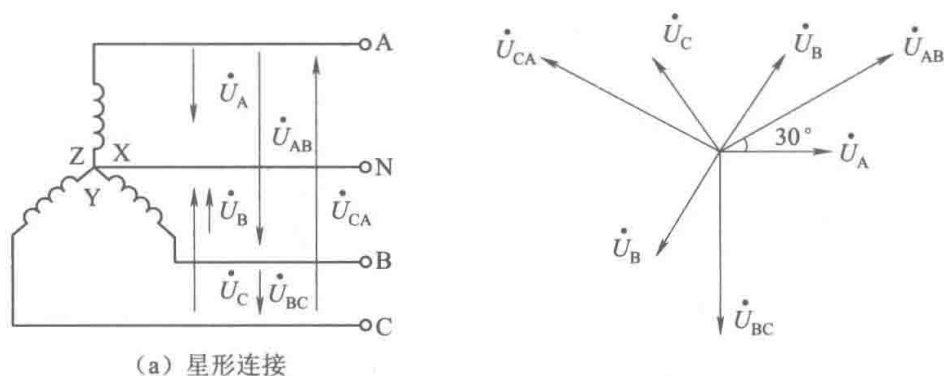


图 1-3 三相电源的星形连接及其电压相量图

其中，公共点 N 称为中性点，从中性点引出的线称为中性线或零线；从始端引出的三条线称为相线或端线（俗称火线）。

端线与中性线之间的电压称为相电压，分别记作 \dot{U}_A 、 \dot{U}_B 、 \dot{U}_C ，参考方向为首端指向末端，有效值用 U_P 表示。端线与端线之间的电压称为线电压，分别记作 \dot{U}_{AB} 、 \dot{U}_{BC} 、 \dot{U}_{CA} ，有效值用 U_L 表示。

根据图 1-3 所示的参考方向，应用 KVL 可以得到相电压与线电压之间的关系为

$$\begin{cases} \dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B \\ \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C \\ \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A \end{cases} \quad (1-4)$$

以 \dot{U}_A 作为参考相量，由式 (1-4) 可画出相电压和线电压的相量图，如图 1-3 (b) 所示。可见，三相对称电源的线电压也是频率相同、幅值相等、相位互差 120° 的三相对称电压。各线电压与对应的相电压的关系为

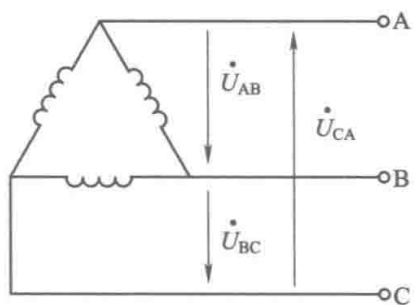


$$\begin{cases} \dot{U}_{AB} = \sqrt{3}\dot{U}_A / 30^\circ \\ \dot{U}_{BC} = \sqrt{3}\dot{U}_B / 30^\circ \\ \dot{U}_{CA} = \sqrt{3}\dot{U}_C / 30^\circ \end{cases} \quad (1-5)$$

可见，在数值上各线电压为相电压的 $\sqrt{3}$ 倍，在相位上线电压超前于相应的相电压 30° ，即有

$$\dot{U}_L = \sqrt{3}\dot{U}_P / 30^\circ$$

在星形连接的三相电源中，将三条相线和一条中性线引出的供电系统称为三相四线制供电系统。我国低压供电系统中相电压为 220 V，线电压为 380 V。中性线不引出的供电系统称为三相三线制供电系统，在大功率长距离



输电时被普遍使用。

(2) 把发电机的任一相绕组的末端与另一相绕组的始端依次连接起来，组成一个回路，再从三个连接点分别对外引出三条线，这种连接方式称为三角形连接，如图 1-4 所示。可见，三角形连接的电源只能采用三相三线制供电

图 1-4 三相电源的三角形连接方式。

由图 1-4 可知，三相电源为三角形连接时，线电压等于相应的相电压，即

$$\begin{cases} \dot{U}_{AB} = \dot{U}_A \\ \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B \\ \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C \end{cases} \quad (1-6)$$

也就是说

$$\dot{U}_L = \dot{U}_P \quad (1-7)$$

三相电源为三角形连接时要特别小心。这是因为当三相绕组连接正确时，在对称电源的三角形闭合回路中，电压相量和为零，即 $\dot{U}_{AB} + \dot{U}_{BC} + \dot{U}_{CA} = 0$ ，所以电源内部不会产生电流。但是，如果将某一绕组（首末）接反，则在电源的三角形闭合回路中将产生两倍相电压，由于绕组的阻抗很小，所以电源回路中将产生很大的电流，很容易烧毁三相发电机。为了避免此类事故发生，在三相绕组连接时先留下一个开口，并在开口处接一只交流电压表，只有当测得该处电压为零时，才允许把开口处连接在一起，以此验证三相绕组的连接方法是否正确。实际电源的三相电动势不是理想的对称三相电动势，所以三相电源通常都接成星形，而不接成三角形。

1.1.3 三相负载的星形连接和三角形连接

按照使用交流电的负载对电源的要求可分为单相负载和三相负载。单相负载是指需要单相电源供电的设备，如电灯、电炉、计算机、各种家用电器等；三相负载是指必须由三相电源供电的设备，如三相交流异步电动机等。和三相电源一样，三相负载也有星形连接和三角形连接两种接法。不管哪种接法，都规定每相阻抗上的电压为相电压 U_P ，流过每相阻抗的电流为相电流 I_P ，相线间电压为线电压 U_L ，相线上流过的电流称线电流 I_L 。

(1) 把三相负载的三个末端连接在一个公共点 N' （负载中性点）上，并把 N' 与电源中性线相接，把负载的另外三个端子接到电源的三根相线上，这种连接方式称为负载的星形连接。图 1-5 所示为星形连接的三相负载接到三相电源上。

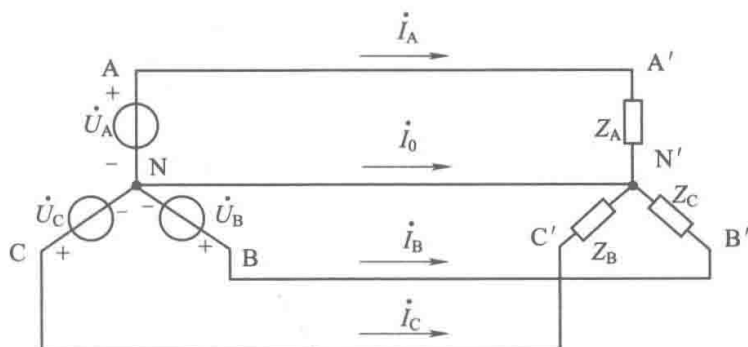


图 1-5 Y形连接的三相负载

在图 1-5 中，设 \dot{U}_A 初相位为 0° ，相电压有效值为 U_P ，则三相负载电压为

$$\dot{U}_A = U_P \angle 0^\circ, \quad \dot{U}_B = U_P \angle -120^\circ, \quad \dot{U}_C = U_P \angle 120^\circ$$

三个相电流为

$$\begin{cases} \dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_A} = \frac{U_P}{|Z_A|} \angle -\varphi_A \\ \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{Z_B} = \frac{U_P}{|Z_B|} \angle -120^\circ - \varphi_B \\ \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{Z_C} = \frac{U_P}{|Z_C|} \angle 120^\circ - \varphi_C \end{cases} \quad (1-8)$$

式中： φ_A 、 φ_B 、 φ_C 分别为三相负载 Z_A 、 Z_B 、 Z_C 的阻抗角。

由基尔霍夫电流定律得到零线电流为 $\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$ 。因为中性线上没有电流，所以中性线可以省去。此时，对称负载星形连接可采用三相三线制 (Y-Y)，对称负载的中性点 N' 和对称电源的中性点 N 等电位，即 $U_{NN'} = 0$ ，