

供配电系统的 运行与维护

王志国 主编

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

“十三五”示范性高职院校建设成果教材

供配电系统的运行与维护

王志国 主 编

唐 静 副主编

内 容 提 要

本书是根据高职高专的培养目标,结合高职高专教学改革的要求,本着“工学结合、项目引导、任务驱动、教学做一体化”的原则而编写的。本书以项目为单元,以应用为主线,将理论知识融入实践项目中。全书共有 11 个项目,包括供电系统认知,供电系统的主要电气设备,供电一次系统的接线、结构及安装,电力负荷及其计算,短路电流及其计算,供电系统的设备选择,供电系统的继电保护,供电系统的二次回路及自动装置,电气照明,变压器的运行与供电系统的维护及电气设备的防雷、接地与电气安全。通过项目任务的完成,熟悉工矿企业供电系统相关知识,掌握其运行维护、安装检修及设计等方面的基本技能,使学生具备供电系统的初步设计、安装和检修能力。

本书力求体现项目课程的特色与设计思想,以项目任务为出发点,激发学习兴趣。项目内容选取力求具有实用性与技术的先进性。

本书可作为高职高专电气工程、自动化、机电一体化、电子信息工程等专业的教材,也可供电大、成教相关专业选用和工程技术人员阅读。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

供电系统的运行与维护 / 王志国主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2017. 4
(2017. 5 重印)

ISBN 978 - 7 - 5682 - 3889 - 2

I. ①供… II. ①王… III. ①供电系统 - 电力系统运行 - 高等职业教育 - 教材②配电系统 - 电力系统运行 - 高等职业教育 - 教材③供电系统 - 维修 - 高等职业教育 - 教材④配电系统 - 维修 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TM732

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 057187 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 18

字 数 / 425 千字

版 次 / 2017 年 4 月第 1 版 2017 年 5 月第 2 次印刷

定 价 / 45.00 元

责任编辑 / 封 雪

文案编辑 / 张鑫星

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

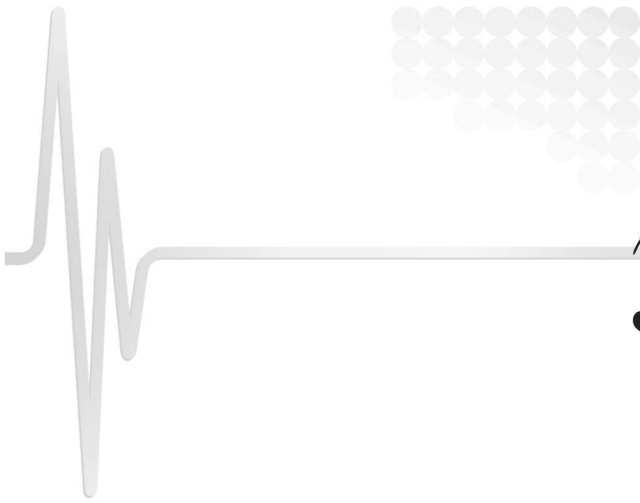
图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

本书编委会

主 编 王志国

副主编 唐 静

参 编 张 静 王文魁 刘新月



前言

Preface

高职教育要以就业为导向，要求培养出实际动手能力强，岗位技能水平高，具有现场实践能力的高等技术应用型人才。本教材立足高职高专教育人才培养目标，遵循主动适应社会发展需要，突出应用性和针对性，加强实践能力培养的原则，本着“以能力为本位，以实际工程任务为导向，按照工学结合的项目化教学模式”而编写。将工厂供配电技术与实用技能训练相结合，理论教学与工程实践相结合，传统的供配电技术与变电所综合自动化技术相结合。打破了传统学科体系的思路，紧紧围绕工作任务来选择和组织课程内容，在任务的引领下学习理论知识，让学生在实践活动中掌握理论知识，提高岗位职业能力。学习项目选取的基本依据是本门课程所涉及的工作领域和工作任务范围，同时在各个知识点上有机地融入了行业运行和管理的规则、规范，在传统供配电技术的基础上，加入了新设备、新技术及其使用方法。

1. 本书充分体现工学结合的特点，以培养具备从事工厂供配电技术和变电所电气设备安装、操作和维护的专业技能。

2. 本书在知识点的分布上，力求覆盖工厂供电所要求的全部重点内容，以任务引领、项目驱动为课程开发思路。按照高职学生认知过程和接受能力，把烦琐、难以理解的学科理论知识通过一个个实践项目分解开来，使学生易于理解与掌握。

3. 本书将传统的供配电技术与变电所自动化技术相结合，注重内容的实用性和针对性。

4. 本书内容重点突出企业供配电系统的基本知识，基本理论以及工程实用的设计计算方法和电力系统维护与操作，同时将电力领域的新技术、新成果融入教材。

本书共有11个项目，包括供配电系统认知，供配电系统的主要电气设备，供配电一次系统的接线、结构及安装，电力负荷及其计算，短路电流及其计算，供配电系统的设备选择，供配电系统的继电保护，供配电系统的二次回路及自动装置，电气照明，变压器的运行与供配电系统的维护及电气设备的防雷、接地与电气安全。通过项目任务的完成，熟悉企业供配电系统相关知识，掌握其运行维护、安装检修及设计等方面的基本技能，使学生具备供配电系统的初步设计、安装和检修能力。

本书由辽宁建筑职业学院王志国主编并统稿，辽宁建筑职业学院唐静担任副主编，



张静、王文魁和刘新月参编。其中王志国编写了项目2、项目3、项目6、项目10，唐静编写了项目4、项目8和项目11，张静编写了项目1和项目5，王文魁编写了项目7，刘新月编写了项目9。在本书编写过程中，辽阳供电公司高工李骥给予了大力支持，谨在此表示衷心的感谢。

由于编者能力有限，书中难免不妥乃至错误之处，恳请广大读者和同行批评指正。

编 者



目录

Contents

► 项目 1 供配电系统认知	1
任务 1.1 电能及电力系统的基本概念	1
任务 1.2 电力系统的供电质量指标及电压调整	4
任务 1.3 电力系统的额定电压及工厂供配电电压的选择	6
任务 1.4 电力系统中性点运行方式	9
► 项目 2 供配电系统的主要电气设备	13
任务 2.1 电力变压器	13
任务 2.2 互感器	19
任务 2.3 高压开关电器	24
任务 2.4 低压开关电器	33
任务 2.5 熔断器 (FU)	40
任务 2.6 避雷器	45
任务 2.7 母线 (W 或 WB)	47
任务 2.8 成套配电装置	49
► 项目 3 供配电一次系统的接线、结构及安装	56
任务 3.1 变配电所的主接线方案	56
任务 3.2 供配电线路的接线与结构	63
任务 3.3 供配电系统的电气安装图的识读	77
任务 3.4 变配电所的类型、选址及其布置与结构	82
► 项目 4 电力负荷及其计算	96
任务 4.1 电力负荷与负荷曲线	96
任务 4.2 负荷计算	99
任务 4.3 供配电系统的功率损耗	107
任务 4.4 功率因数的提高及全厂负荷的计算	108
任务 4.5 用户供配电系统的电能损耗计算	111
任务 4.6 尖峰电流的计算	113
► 项目 5 短路电流及其计算	115
任务 5.1 短路故障的原因、危害及类型	115

任务 5.2	三相短路的过程分析	117
任务 5.3	计算短路电流	119
任务 5.4	短路电流的效应	123
► 项目 6	供配电系统的设备选择	128
任务 6.1	供配电线路导线和电缆的选择计算	128
任务 6.2	变配电所主要电气设备的选择与校验	135
► 项目 7	供配电系统的继电保护	146
任务 7.1	继电保护基础知识	146
任务 7.2	高压供电线路的继电保护	156
任务 7.3	电力变压器的继电保护	165
► 项目 8	供配电系统的二次回路及自动装置	172
任务 8.1	二次回路概述	172
任务 8.2	高压断路器的控制和信号回路	178
任务 8.3	电测量仪表与绝缘监视装置	183
任务 8.4	供配电系统的自动装置	187
► 项目 9	电气照明	193
任务 9.1	照明电光源和灯具	193
任务 9.2	照度计算	206
任务 9.3	照明供配电系统及电气安装图	208
► 项目 10	变压器的运行与供配电系统的维护	216
任务 10.1	变压器的运行	216
任务 10.2	供配电系统的维护	221
任务 10.3	变配电所主要电气设备的检修试验	226
► 项目 11	电气设备的防雷、接地与电气安全	233
任务 11.1	电气设备的防雷	233
任务 11.2	电气装置的接地与接零	241
任务 11.3	低压配电系统的漏电保护与等电位连接	245
任务 11.4	电气安全与急救	250
► 附 录		256
► 参考文献		278

项目 1

供配电系统认知

知识目标

1. 理解电力系统、电力网和变配电所定义。
2. 理解电力系统中性点的运行方式及特点。

能力目标

1. 能够解释电力系统中各部分的功能。
2. 能够选择供配电系统及变压器的额定电压。

任务 1.1 电能及电力系统的基本概念

任务描述

本次任务主要学习电力系统的基本组成，对电力系统各部分有初步了解。

1.1.1 电能及电能的重要性

(1) 电能是一种由煤、石油、天然气、水能、核能、风能、太阳能等一次能源转换成的二次能源。

(2) 电能可以大规模生产，高电压远距离输送；电能易于自动化调节、操作和控制。

(3) 电能是应用最广、输送最快、使用十分方便的最清洁的绿色能源。电力工业的发展水平代表一个国家经济发达程度。

1.1.2 电力系统

电力系统是由发电厂、电力网和电能用户组成的一个发电、输电、变配电和用电的整体，如图 1.1 所示。

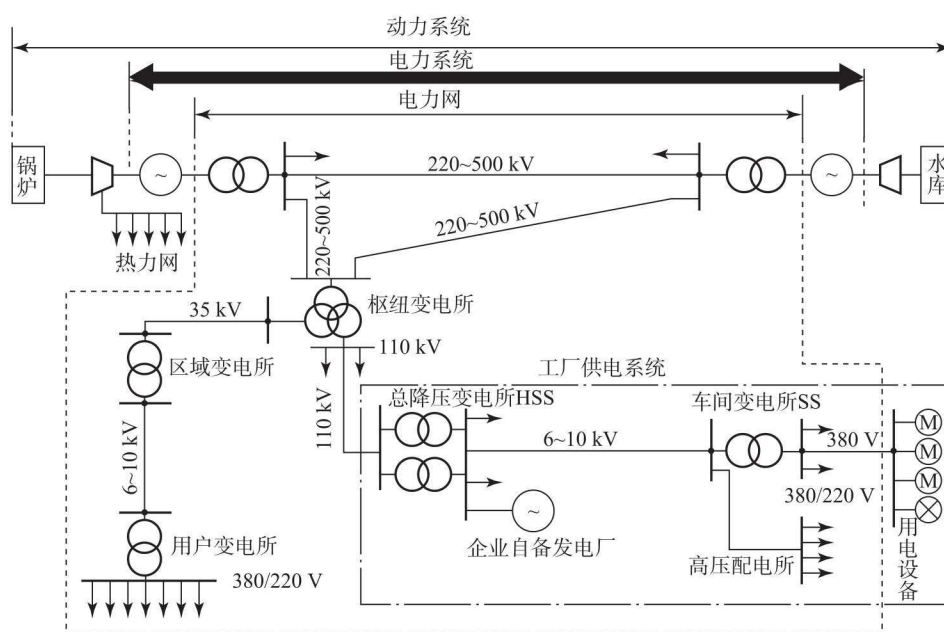


图 1.1 电力系统示意图

1. 发电厂

能够将煤炭、石油等其他形式的能源转换为电能的工厂称为发电厂。

1) 火力发电厂

火力发电厂是将燃料的热能转换成电能的工厂，如图 1.2 所示。其简单的生产过程是将燃料送入锅炉燃烧，使炉膛内水管中的水被加热成高温高压的蒸气，通过推动汽轮机来带动发电机旋转发电。

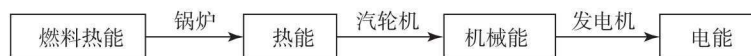


图 1.2 火力发电厂一角

2) 水力发电厂

水力发电厂利用水流的位能来生产电能，如图 1.3 所示。发电的过程为高位的水所具有的势能冲击水轮机叶片使水轮机旋转，水轮机带动发电机发电。



图 1.3 水力发电厂一角

水力发电成本仅为火电发电成本的 $1/4 \sim 1/3$ 。

3) 核能发电厂

核能（原子能）发电厂通称核电站，如图 1.4 所示。利用原子核的裂变产生的热量来生产电能。

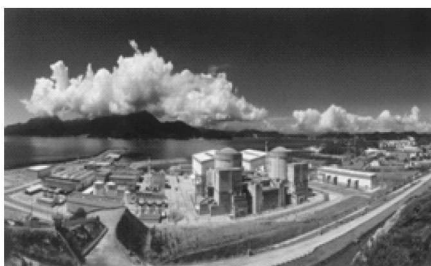


图 1.4 核能发电厂一角

我国核电在整个发电量中的比重逐年增长。

4) 风力发电厂

风力发电是利用风力的动能来生产电能，如图 1.5 所示。

风能是一种具有随机性和不稳定性的能源。风力发电必须配备一定的蓄电装置，以保证其连续供电。

风能是一种取之不尽、清洁、价廉和可再生的能源。



图 1.5 风力发电

2. 变电所

变电所的功能是接收电能、变换电压及分配电能，如图 1.6 所示。

电力系统中的变电所的种类有：

地区降压变电所（220 ~ 500 kV 降为 35 ~ 110 kV）为某一区域供电；终端变电所（35 ~ 110 kV 降为 6 ~ 10 kV）为某些具体用电单位供电。

工厂变电所的种类有：

总降压变电所（35 ~ 110 kV 降为 6 ~ 10 kV，向几千米以内供电）；车间变电所（6 ~ 10 kV 降为 380/220 V，向 500 m 以内供电）。

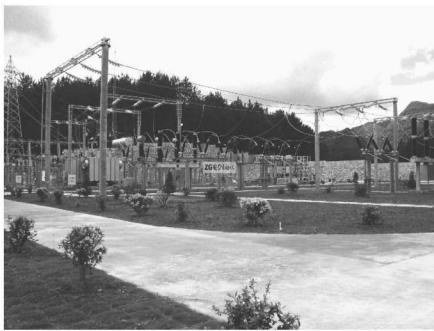


图 1.6 变电所一角

3. 电力线路

电力线路的作用就是输送电能，并将发电厂、变电所和电能用户连接起来，如图 1.7 所示。



图 1.7 电力线路

电力线路的种类：

电力线路按功能分为输电线路（电压为 110 ~ 500 kV）和配电线路（高压配电线路 3 ~ 110 kV 和低压配电线路 0.4 kV）。

电力线路按材料分为架空线路和电缆线路。

电力线路按电流分为交流线路和直流线路。

4. 电能用户

电能用户是指一切消耗电能的设备，如电动机等。



考核

为什么国家电网要向更高等级的电压发展？

任务 1.2 电力系统的供电质量指标及电压调整



任务描述

本次任务主要了解衡量供电质量的主要指标及电压调整方法，以保证电气设备处于最佳

的工作状态。

1.2.1 衡量供电质量的主要指标

1. 电压

能使用电设备处在最佳运行状态的电压称为额定电压。

电压的高低对用电设备的影响：

对于电动机而言，当电压低时，其转矩急剧减小，使得转速降低，电流增大；当电压高时，容易绝缘老化。

对于照明设备而言，当电压低时，灯的发光效率降低，灯光变暗；当电压高时，灯的寿命缩短。

2. 频率

我国规定工业频率（工频）为 50 Hz。

电网频率降低，电动机转速将降低，规定频率偏差不应超过 ± 0.5 Hz。

1.2.2 电压偏移与电压调整

1. 电压偏移

电压偏移是指用电设备端电压 U 与用电设备额定电压 U_N 差值的百分数。

$$\Delta U\% = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100\%$$

电压偏移的规定如下：

电动机的电压偏移 $\leq \pm 5\%$ ；

照明灯的电压偏移 $\leq -2.5\% \sim +5\%$ ；

其他用电设备无特殊规定时电压偏移 $\leq \pm 5\%$ 。

2. 电压调整

电压调整方法：

(1) 调整变压器的电压分接开关位置（5%、0、-5%）。

(2) 合理选择导线及其截面以减少系统阻抗。

(3) 均衡安排三相负荷。

(4) 根据负荷变化适时改变变压器运行台数。

(5) 采用无功功率补偿装置，提高功率因数，降低线路电压损耗。

(6) 采用有载调压变压器及时调整电压。

1.2.3 用户对供电质量的基本要求

(1) 保证供电的安全性：供电系统如果发生故障或遇到异常情况，将造成对用户供电的中断，甚至造成重大或无法挽回的损失。

(2) 保护供电的可靠性：借助保护装置把故障隔离，防止事故扩大，尽快恢复供电，维持较高的供电可靠性。

(3) 保证电能的良好质量：电压和频率。

(4) 保证电力系统运行的经济性：做到技术合理、投资少、运行费用低及兼顾当前和长远的关系。



考核

某变电所，白天生产时，变电所低压母线电压只有 360 V；而晚上不生产时，低压母线电压又高达 410 V，提出运行方案？

任务 1.3 电力系统的额定电压及工厂供配电电压的选择



任务描述

本次任务主要学习电力系统中电气设备及工厂供配电电压的选择方法，以保证电气设备处于最佳的工作状态。

1.3.1 额定电压

能使电气设备正常工作的电压，称为额定电压（ U_N ）。

电气设备在额定电压运行时，技术性能和经济效果最好。

我国交流电力网和电气设备的额定电压见表 1.1。

表 1.1 我国交流电力网和电气设备的额定电压 (线电压/kV)

用电设备与电力网的额定电压	发电机额定电压	变压器额定电压		
		原边绕组		副边绕组
		接电力网	接发电机	
0.22	0.23	0.22	0.23	0.23
0.38	0.40	0.38	0.40	0.40
3.00	3.15	3.00	3.15	3.15、3.30
6.00	6.30	6.00	6.30	6.30、6.60
10.00	10.50	10.00	10.50	10.50、11.00
35.00		35.00		38.50
60.00		60.00		66.00
110.00		110.00		121.00
220.00		220.00		242.00
330.00		330.00		363.00
500.00		500.00		550.00
750.00		750.00		825.00

1.3.2 电力线路及电气设备的额定电压

1. 电力线路（或电网）的额定电压

电力线路（或电网）的额定电压由国家规定，是由线路首端与末端电压的平均值来确定的，如图 1.8 所示。

同一等级电压的线路允许电压差为 $\pm 5\%$ 。

国家电网的额定电压等级有 0.4 kV、3 kV、6 kV、10 kV、35 kV、60 kV、110 kV、220 kV、330 kV、500 kV、750 kV 等。

2. 用电设备的额定电压

国家规定，用电设备的额定电压与同级电力线路的额定电压相等。

3. 发电机的额定电压

发电机处于电网首端，规定其额定电压高于同级电网电压 5%，如图 1.9 所示。

4. 电力变压器的额定电压

变压器的一次绕组是从电网接收电能的，故相当于用电设备。其二次绕组是输出电能，相当于发电机。

1) 变压器一次绕组的额定电压

当变压器（T1）直接与发电机相连时（见图 1.9）：其一次绕组的额定电压与发电机的额定电压相同。

当变压器（T2）与线路相连时（见图 1.9）时：一次绕组额定电压应与线路额定电压相同。

2) 变压器二次绕组的额定电压

变压器二次绕组额定电压是变压器空载电压。当变压器负载运行时，二次绕组内有约 5% 的阻抗电压降。

当变压器（T1）二次侧供电线路较长（见图 1.9）时：二次绕组额定电压应比相连电网额定电压高 10%（其中 5% 补偿内部的压降，另外 5% 补偿线路上的电压损耗）。

当变压器（T2）二次侧供电线路较短（见图 1.9）时：二次绕组额定电压应高于所接线路额定电压的 5%。

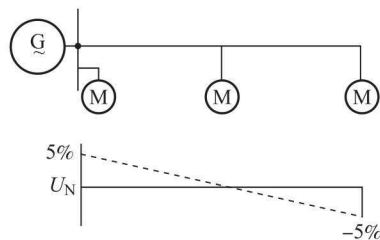


图 1.8 确定用电设备和发电机额定电压的说明图

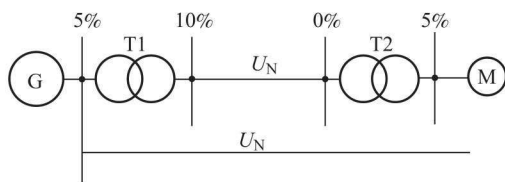


图 1.9 变压器在系统中的连接

1.3.3 工厂供配电电压的选择依据及选择参考

1. 工厂供配电电压的选择依据

电压越高，在输送功率一定的情况下，电能损耗越少，线路电压降越小。但电压越高，对设备的绝缘性能要求越高，费用增加。

因此，电压的选择主要取决于负荷大小和供电距离的长短。

2. 工厂供配电电压的选择参考

（1）对于小型工厂：设备容量在 100 kW 以下，输送距离在 600 m 以内，可选 380/

220 V 电压供电。

(2) 对于中、小型工厂：设备容量在 100 ~ 2 000 kW，输送距离在 4 ~ 20 km 的，可采用 6 ~ 10 kV 电压供电。

(3) 对于大型工厂：设备容量在 2 000 ~ 50 000 kW，输送距离在 20 ~ 150 km 的，可采用 35 ~ 110 kV 电压供电。

(4) 工厂的高压配电电压一般选用 6 ~ 10 kV，低压配电电压一般选用 380/220 V。各级电压的经济输送容量与输送距离见表 1.2。

表 1.2 各级电压的经济输送容量与输送距离

线路电压/kV	线路结构	输送功率/kW	输送距离/km
0.38	架空线	≤ 100	≤ 0.25
0.38	电缆线	≤ 175	≤ 0.35
6	架空线	$\leq 2\,000$	3 ~ 10
6	电缆线	$\leq 3\,000$	≤ 8
10	架空线	$\leq 3\,000$	5 ~ 15
10	电缆线	$\leq 5\,000$	≤ 10
35	架空线	2 000 ~ 15 000	0 ~ 50
63	架空线	3 500 ~ 30 000	30 ~ 100
110	架空线	10 000 ~ 50 000	50 ~ 150
220	架空线	100 000 ~ 500 000	200 ~ 300



考核

1. 参考表 1.2，对于 380 V 电压，电能输送距离为什么不能太远？
2. 确定图 1.10 所示供电系统中变压器 T1 和线路 WL1、WL2 的额定电压。

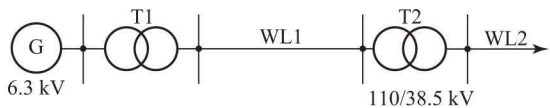


图 1.10 供电系统

3. 选择如图 1.11 所示供电系统中变压器 T1、T2、T3 的额定电压。

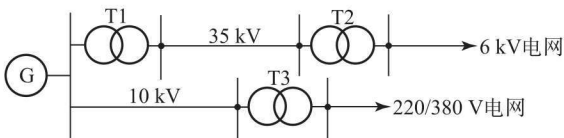


图 1.11 供电系统

任务 1.4 电力系统中性点运行方式

任务描述

本次任务主要学习电力系统中性点运行方式及其特点。不同的电压等级采用不同的中性点运行方式，在系统故障时具有不同的状态。

电力系统的中性点指的是发电机或变压器的中性点。中性点有三种运行方式：

(1) 中性点直接接地。

110 kV 以上高压系统为降低设备绝缘要求，采用中性点直接接地运行方式；380/220 V 采用中性点直接接地的运行方式。

(2) 中性点不接地。

3 ~ 66 kV 系统，为提高供电可靠性，采用中性点不接地运行方式。

(3) 中性点经消弧线圈接地。

3 ~ 66 kV 系统，电容电流超过规定值时，采用中性点经消弧线圈接地运行方式。

1.4.1 中性点直接接地的电力系统运行分析

中性点直接接地的电力系统，如图 1.12 所示。其特点是：

(1) 当发生单相接地故障时，形成单相短路，保护装置动作，立即切断电源。

(2) 中性点始终是零电位，相对地绝缘按相电压考虑。

(3) 中性点直接接地后，发生人身一相对地触电时，危险较大。

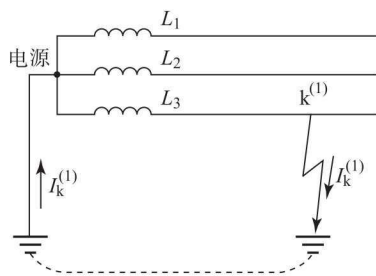


图 1.12 中性点直接接地的电力系统

1.4.2 中性点不接地的电力系统运行分析

1. 系统正常运行（见图 1.13）

$\dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3 = 0$ ，即中性点对地电压 $\dot{U}_0 = 0$ 。

各相对地电压： $\dot{U}_1 + \dot{U}_0 = \dot{U}_1$ ， $\dot{U}_2 + \dot{U}_0 = \dot{U}_2$ ， $\dot{U}_3 + \dot{U}_0 = \dot{U}_3$ 。

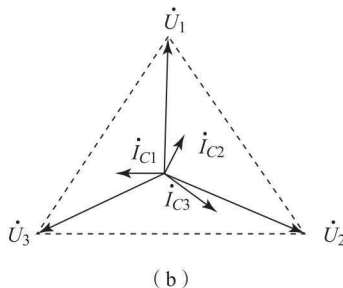
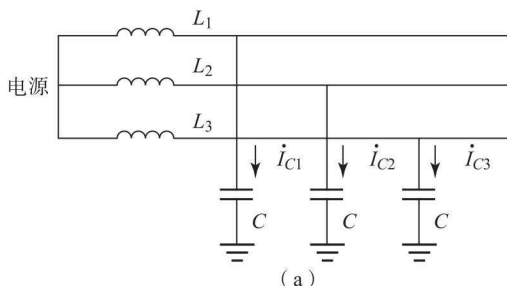


图 1.13 中性点不接地的电力系统

(a) 电路图；(b) 相量图