



普通高等教育“十二五”规划教材

供 配 电 技 术

Power Supply and Distribution Technology

(双语教材)

王天施 编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

普通高等教育“十二五”规划教材

供 配 电 技 术

Power Supply and Distribution Technology

(双语教材)

王天施 编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书将中、英文教科书的重要内容有机结合到一起,重点介绍供电系统的基本知识、基本理论以及有关设计和实际应用的综合常识;中、英文部分各成体系。主要内容包括电力系统基本知识、负荷计算、变配电所及其一次系统、短路电流计算、电气设备的选择、电力线路、供电系统继电保护、二次回路和自动装置、过电压及其防护、电气照明等。

本书可作为普通高等院校电气工程及其自动化、自动化及相关专业本科生教材,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

供配电技术/王天施编. —北京:中国石化出版社,2012.8
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5114-1643-8

I. ①供… II. ①王… III. ①供电-高等学校-教材
②配电系统-高等学校-教材 IV. ①M72

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第168905号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街58号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092毫米16开本26.5印张669千字

2012年9月第1版 2012年9月第1次印刷

定价:49.00元

前 言

供配电技术是普通高等工科院校电气工程及其自动化、自动化等专业的一门专业课程。

本书结合作者多年双语教学经验，以国内优秀的供配电技术教材和外文资料为参考，将中、英文教科书的重要内容有机结合到一起，重点突出，内容简洁、系统，基础内容全面，同时结合工厂生产实践编写。书中重点介绍供配电系统的基本知识、基本理论以及有关设计和实际应用的综合常识；中、英文部分各成体系；英文部分完全采用原版材料，针对国内的教学实际，整合教材内容。

全书中英文部分各分 10 章，较系统地介绍了工厂供配电系统的基本知识。内容有电力系统基本知识、负荷计算、变配电所及其一次系统、短路电流计算、电气设备的选择、电力线路、供配电系统继电保护、二次回路和自动装置、过电压及其防护、电气照明等。中文部分每章后都附有习题，书末附有附录。

本书可作为普通高等院校电气工程及其自动化、自动化及相关专业本科生教材，也可供相关技术人员参考。

在本书编写过程中，得到了辽宁石油化大学王海彦教授、中国石化出版社以及编者单位辽宁石油化工大学的大力支持，在此表示衷心的感谢！

由于编者的经验和水平有限，书中有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2012 年 7 月

目 录

第1章 供配电系统	(1)
1.1 电力系统概述	(1)
1.2 电力系统的额定电压	(2)
1.3 供配电系统	(4)
1.4 电力系统的中性点运行方式	(5)
1.5 低压配电系统的接地形式	(8)
1.6 电能质量	(10)
第2章 负荷计算	(17)
2.1 电力负荷	(17)
2.2 负荷计算方法	(19)
2.3 尖峰电流的计算	(23)
2.4 功率损耗	(24)
2.5 功率因数和无功功率补偿	(25)
2.6 用户负荷计算	(30)
第3章 变配电所及其一次系统	(36)
3.1 变电所的类型及所址的选择	(36)
3.2 变压器的选择	(38)
3.3 变配电所电气设备	(42)
3.4 变配电所主接线	(68)
3.5 变电所的布置和结构	(76)
3.6 变配电所的运行维护和检修试验	(81)
3.7 配电网常用主接线	(88)
第4章 短路电流计算	(91)
4.1 短路概述	(91)
4.2 无限大容量供电系统三相短路分析	(93)
4.3 无限大容量供电系统三相短路电流的计算	(97)
4.4 不对称短路电流的计算	(104)
4.5 短路电流的电动力效应和热效应	(107)
第5章 电气设备的选择	(111)
5.1 电气设备选择的一般原则	(111)
5.2 高压电气设备的选择	(112)

5.3	低压电气设备的选择	(120)
第6章	电力线路	(121)
6.1	电力线路概述	(121)
6.2	导线和电缆的选择	(125)
6.3	电力线路的敷设	(133)
6.4	电力线路运行维护与检修试验	(135)
第7章	供配电系统的继电保护.....	(142)
7.1	继电保护的基本知识	(142)
7.2	电力线路的继电保护	(148)
7.3	电力变压器的继电保护	(159)
7.4	高压电动机的继电保护	(167)
7.5	6~10kV 电容器的继电保护	(169)
7.6	低压供配电系统的保护	(170)
第8章	变电所二次回路和自动装置	(176)
8.1	二次回路概述	(176)
8.2	二次回路安装接线图	(177)
8.3	操作电源	(184)
8.4	高压断路器控制回路	(187)
8.5	中央信号回路	(190)
8.6	测量和绝缘监视回路	(193)
8.7	自动重合闸装置	(196)
8.8	备用电源自动投入装置	(198)
第9章	过电压及其防护	(201)
9.1	过电压概述	(201)
9.2	供电系统内部过电压及其防护	(202)
9.3	雷电过电压的防护	(205)
9.4	电气装置的接地	(211)
9.5	接地电阻	(214)
9.6	电气安全	(218)
第10章	电气照明	(221)
10.1	照明技术的相关概念.....	(221)
10.2	常用电光源	(223)
10.3	照明灯具.....	(226)
10.4	照度计算.....	(229)
10.5	照明供电.....	(231)

Chapter 1 Power Supply and Distribution System	(234)
1.1 Power System	(234)
1.2 System Voltage Classes	(236)
1.3 Power Distribution System	(237)
1.4 Power Quality	(240)
Chapter 2 Load Planning and Power Factor Correction	(243)
2.1 Load Planning	(243)
2.2 Power Factor and Its Correction	(249)
Chapter 3 Substation and Its Primary System	(259)
3.1 Distribution Substations	(259)
3.2 Transformers	(261)
3.3 Arc Generation and Suppression	(262)
3.4 Circuit Breakers	(264)
3.5 Metal-clad Switchgear	(270)
3.6 Switches	(272)
3.7 Fuses	(276)
3.8 Surge Arresters	(277)
3.9 Power Capacitors	(280)
3.10 Instrument Transformers	(283)
3.11 Plant Distribution Systems	(285)
3.12 Inspection	(288)
3.13 Tests	(292)
3.14 Maintenance	(295)
Chapter 4 Short-Circuit Current Calculations	(297)
4.1 Introduction	(297)
4.2 Sources of Fault Current	(298)
4.3 Fundamentals of Short-circuit Current Calculation	(300)
4.4 Simplified Calculations	(302)
4.5 Detailed Procedure	(306)
4.6 Example of Short-circuit Current Calculation for a Low-voltage System	(315)
Chapter 5 Electric Power Lines	(323)
5.1 Overhead Power Line	(323)
5.2 Power Cable	(325)
Chapter 6 Protective Relaying	(336)
6.1 General	(336)

6.2	Fundamental Considerations	(337)
6.3	Basic Relay Types	(340)
6.4	Relay Schemes	(345)
Chapter 7 Surge Voltage Protection		(354)
7.1	Nature of The Problem	(354)
7.2	Traveling-wave Behavior	(356)
7.3	Insulation Voltage Withstand Characteristics	(357)
7.4	Arrester Characteristics and Ratings	(357)
7.5	Arrester Selection	(359)
7.6	Selection of Arrester Class	(360)
7.7	Component Protection	(360)
Chapter 8 Grounding		(363)
8.1	System Grounding	(363)
8.2	Equipment Grounding	(367)
8.3	Static and Lightning Protection Grounding	(370)
8.4	Connection to Earth	(373)
8.5	Ground Resistance Measurement	(375)
Chapter 9 Instruments and Meters		(380)
9.1	Introduction	(380)
9.2	Basic Objectives	(382)
9.3	Switchboard and Panel Instruments	(382)
9.4	Portable Instruments	(384)
9.5	Recording Instruments	(385)
9.6	Auxiliary Devices	(386)
9.7	Typical Installations	(388)
Chapter10 Lighting		(390)
10.1	Lighting Terminology	(390)
10.2	Light Sources	(391)
10.3	Ballasts	(395)
10.4	Luminaires	(396)
10.5	Lighting Application Techniques	(396)
10.6	Control of Lighting	(396)
10.7	Lighting Maintenance	(398)
10.8	Illuminance Calculations	(399)
附录一 常用技术数据		(400)
附录二 常用文字符号		(412)
参考文献		(416)

第 1 章 供配电系统

1.1 电力系统概述

电能是现代人类社会中最重要二次能源，它具有便于输送、分配和使用，便于控制、管理等特点。电力系统就是即时完成电能的生产、变换、输送与分配、使用四个环节的有机整体，与上述过程相对应，它主要包括发电厂、变电所、输配电线路和电能用户等组成部分。在交流电力系统中，发电机、变压器、输配电设备以及主要用电设备都是三相对称的，所以为方便起见，一般都画为单线图。一个典型的电力系统如图 1.1 所示。

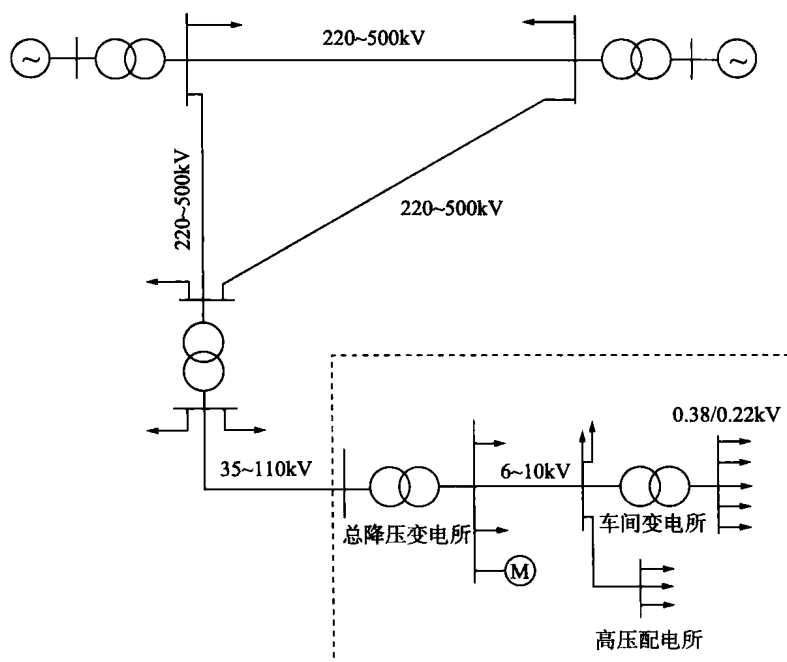


图 1.1 一个典型的电力系统

由于节能与安全等方面的原因以及满足电能用户的实际需要，将发电厂生产的电能经过升压、传输、降压和分配，送到用户，如图 1.2 所示。

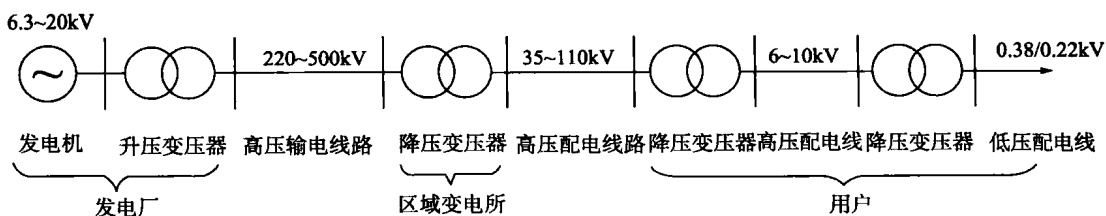


图 1.2 电能的升压、传输、降压和分配过程示意图

(1) 发电厂

发电厂的作用是将一次能源转换成电能。根据一次能源的不同，发电厂主要分为火力、水力、核能和风力发电厂等。

火力发电厂的一次能源是煤、天然气、石油等。其生产过程是：燃料在锅炉中充分燃烧，燃料的化学能转化为热能，将锅炉中的水转换为高温高压蒸汽，蒸汽推动汽轮机转动，将热能转化为机械能，汽轮机带动发电机旋转，机械能则被转换成电能。

水力发电厂的工作原理将水的位能转换成电能。其生产过程是：水流驱动水轮机转动，带动发电机旋转发电。按照取水方式的不同，水力发电厂主要分为径流式、坝式和抽水蓄能式。

核能发电厂是用核燃料在反应堆中的核裂变能转化为热能，将水变为蒸汽推动汽轮机带动发电机来发电的，其生产过程与火电厂基本相同。

风力发电厂是通过风力机将风的动能转变为旋转轴的机械能，风力机带动发电机生产电能。

(2) 变电所

变电所的功能是变换电压和分配电能。按变电所的性质和任务不同，可分为升压变电所和降压变电所；按变电所的地位和作用不同，又分为枢纽变电所、地区变电所和用户变电所。

(3) 输配电线路

输配电线路的主要功能是完成电能的输送和分配。

输电线路一般指 220kV 及以上的电力线路，有架空线路和电缆线路两种。输电线路一般接发电厂和大的负荷中心，用来完成远距离大容量的输电任务。

配电线路一般指 110kV 及以下的电力线路，大多采用电缆线路。配电线路又分为高压配电线路(110kV)、中压配电线路(6~35kV)和低压配电线路(380/220V)，前者一般作为城市配电网骨架和特大型企业供电线路，中者为城市主要配网和大中型企业供电线路，后者一般为城市和企业的低压配网。

(4) 电能用户

电能用户又称电力负荷，所有消耗电能的用电设备或用电单位称为电能用户。

1.2 电力系统的额定电压

(1) 电网(线路)的额定电压

额定电压是由国家规定的标准电压。电网的额定电压等级(也称输电线路的额定电压等级)是国家根据国民经济发展的需要和电力工业发展的水平，经全面的技术经济分析后确定的。从设备制造的经济性和运行维护的方便性来说，需要对设备进行规格化和系列化，它是确定各类电气设备额定电压的基本依据。电网(线路)的额定电压是指线路首末两端电压的平均值。我国交流电网额定电压等级有 3kV、6kV、10kV、35kV、110kV、220kV、330kV、500kV、750kV 和 1000kV。习惯上将 110kV 和 220kV 称为高压，330kV、500kV 和 750kV 称为超高压，1000kV 及以上称为特高压。我国规定的三相交流电网和电力设备的额定电压，如表 1.1 所示。

(2) 用电设备的额定电压

当线路输送电力负荷时，要产生电压降，因此，沿线各用电设备的端电压将不同，

为使各用电设备的电压偏移差异不大，用电设备的额定电压规定与同级电网的额定电压相同。

表 1.1 我国交流电网和电力设备的额定电压

分类	电网和用电设备 额定电压/kV	发 电 机 额定电压/kV	电力变压器额定电压/kV	
			一次绕组	二次绕组
低 压	0.38	0.4	0.38/0.22	0.4/0.23
	0.66	0.69	0.66/0.38	0.69/0.4
高 压	3	3.15	3, 3.15	3.15, 3.3
	6	6.3	6, 6.3	6.3, 6.6
	10	10.5	10, 10.5	10.5, 11
	—	13.8, 15.75, 18 20, 22, 24, 26	13.8, 15.75, 18 20, 22, 24, 26	—
	35	—	35	38.5
	66	—	66	72.5
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
	500	—	500	550
压	750	—	750	825(800)
	1000	—	1000	1100

注：表中斜线“/”左边的数字为线电压，右边的数字为相电压。

(3) 发电机的额定电压

由于用电设备的运行电压一般不应超过其额定电压的 $\pm 5\%$ ，线路允许有 10% 的电压损耗，因此线路首端的电压可以比电网额定电压高 5%，而线路末端可以比电网额定电压低 5%。因此，发电机的额定电压规定比同级的电网额定电压高 5%。如图 1.3 所示。

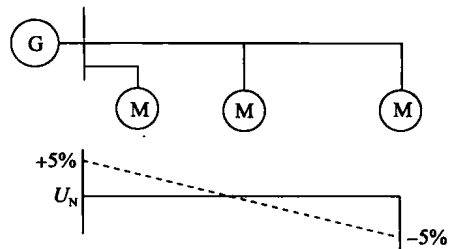


图 1.3 用电设备和发电机额定电压说明

(4) 变压器的额定电压

1) 一次绕组的额定电压

变压器一次绕组的额定电压与前边所连电气设备的额定电压相同。即当变压器与发电机直接相连时(即为升压变压器)，一次绕组额定电压应与发电机额定电压相同，即高于同级电网额定电压 5%，如图 1.4 中变压器 T_1 的一次侧；当变压器连接在线路上时(即为降压变压器)，可看作是线路的用电设备，一次绕组额定电压与同级电网额定电压相同，如图 1.4 中变压器 T_2 的一次侧。

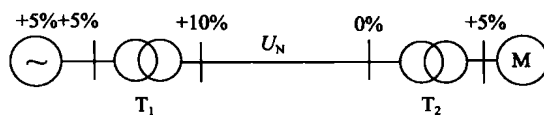


图 1.4 电力变压器的额定电压规定

2) 二次绕组的额定电压

当变压器二次侧供电线路较长，其二次绕组额定电压应比相联电网额定电压高 10%，其中 5% 用于补偿变压器满载运行时绕组内部的电压降落，另外 5% 用以补偿线路上的电压降落，如图 1.4 中变压器 T_1 的二次侧；当变压器二次侧供电线路不长，如为低压电网或直接供电给低压用电设备时，仅考虑变压器满载运行时绕组内部的电压降落，其二次绕组额定电压应比相联电网额定电压高 5%，如图 1.4 中变压器 T_2 的二次侧。

1.3 供配电系统

1.3.1 供配电系统的组成

供配电系统是电力系统的电能用户，也是电力系统的重要组成部分。它由总降压变电所、高压配电所、配电线路、车间变电所或建筑物变电所和用电设备组成。图 1.5 是供配电系统结构框图。根据电力负荷和厂区的大小，供配电系统具有各自不同的结构，某些特别重要的企业还自备发电厂作为备用电源。

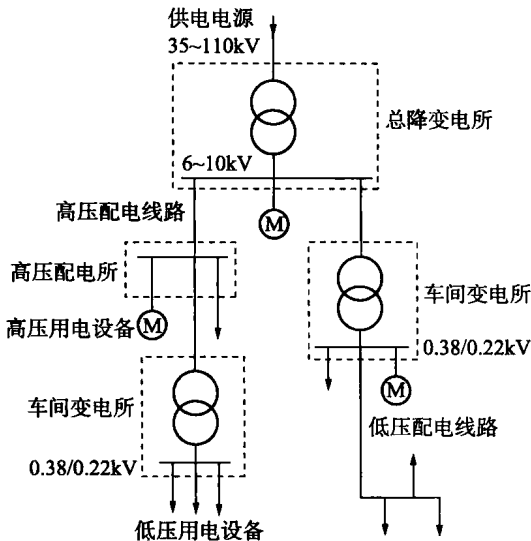


图 1.5 供配电系统结构框图

对于大型工厂及某些电源进线为 35kV 及以上的中型工厂，电源进厂后，先经过总降压变电所，将 35kV 及以上电源电压降为 6 ~ 10kV 的配电电压，然后再经车间变电所降为一般低压用电设备所需电压等级。

对于中型工厂，电源进线电压采用 6 ~ 10kV。电能先经过高压配电所集中，再由高压配电线路将电能分送到各个车间变电所，或由高压配电线路直接供给高压用电设备。车间变电所内将 6 ~ 10kV 的高压降为低压用电设备所需电压，如 380/220V，然后由低压配电线路将电能分送给各用电设备使用。

对于小型工厂，一般采用低压电源进线，直接由公共低压电网供电，电厂只需设一低压配电间，将电能分送给各用电设备。

1.3.2 供配电系统的电压

(1) 供电电压

供电电压是指供配电系统从电力系统中取得的电源电压。它主要取决于当地电网的供电电压等级、工厂用电设备的额定电压以及供电线路输送容量及输电距离等因素。

由于在同一输送功率和输送距离条件下，供电电压越高，则线路电流越小，从而使线路导线或电缆截面越小，可减少线路的投资和有色金属消耗量。不同电压等级的供电线路合理的输送功率和输电距离如表 1.2 所示。

我国目前所用的企业供电电压为 35 ~ 110kV、10kV、6kV。一般来讲，大中型企业常采用 35 ~ 110kV 作供电电压，中小型企业常采用 10kV、6kV 作供电电压，其中，采用 10kV 供电电压是最为常见的。

表 1.2 供电线路输送容量及输电距离

线路电压/kV	线路类型	输送容量/kW	输送距离/km
0.38	架空线路	≤100	≤0.25
0.38	电缆线路	≤175	≤0.35
6	架空线路	≤1000	≤10
6	电缆线路	≤3000	≤8
10	架空线路	≤2000	6 ~ 20
10	电缆线路	≤5000	≤10
35	架空线路	2000 ~ 10000	20 ~ 50
66	架空线路	3500 ~ 30000	30 ~ 100

(2) 配电电压

配电电压指用户内部向用电设备配电的电压等级。

1) 高压配电电压

厂内高压配电电压通常采用 10kV 或 6kV，一般情况下，采用 10kV 作厂内高压配电电压。对于有 6kV 设备的企业，若 6kV 设备容量较大时，采用 6kV 厂内高压配电电压；若 6kV 设备容量较小时，高压配电电压采用 10kV，6kV 设备采用 10/6kV 变压器供电。

如果厂区环境条件允许也可采用 35kV 作为高压配电电压深入负荷中心的直配方式，将 35kV 直接降为 380V 供电。

2) 低压配电电压

我国规定低压配电电压等级为 380V/220V，其中线电压 380V 接三相动力设备及额定电压为 380V 的单相用电设备，相电压 220V 接额定电压为 220V 的照明灯具和其他单相用电设备。但某些场合宜用 660V 甚至 1140V 作为低压配电电压，例如矿井下，因负荷中心离变电所较远，所以为保证负荷端的电压水平而采用 660V、1140V 电压配电。目前 660V 电压限于采矿、石油和化工等少数企业中采用，1140V 电压限于井下采用。

1.3.3 对供配电的基本要求

对供配电的基本要求是：

安全——在电能的供应、分配和使用中，不应发生人身事故和设备事故。

可靠——应满足用电设备对供电可靠性的要求。

优质——应满足用电设备对电压和频率等供电质量的要求。

经济——供配电应尽量做到投资省，年运行费低，尽可能减少有色金属消耗量和电能损耗，提高电能利用率。

应当指出，上述要求不但互相关联，而且往往互相制约和互相矛盾。因此考虑满足上述要求时，必须全面综合考虑。

1.4 电力系统的中性点运行方式

电力系统的中性点是指星形联结的变压器或发电机的中性点。系统的接地方式与电网的绝缘水平、保护配置、系统供电的可靠性、接地故障的短路电流大小及其分布等有密

切的关系。中性点的运行方式分两大类：中性点非有效接地方式和中性点有效接地方式。电力系统中性点非有效接地也称小接地电流系统，包括中性点不接地、经消弧线圈接地、经高电阻接地等方式；电力系统中性点有效接地包括中性点直接接地、经小电阻接地或经小电抗接地。

1.4.1 中性点非有效接地方式

(1) 中性点不接地

我国3~66kV(特别是3~10kV)的电力系统，一般采用中性点不接地的运行方式。图1.6是中性点不接地的电力系统正常运行时的电路图和相量图。假设此系统的电源电压和线路参数三相对称，图中集中电容C表示相线和地之间的分布电容，忽略相线之间的分布电容。

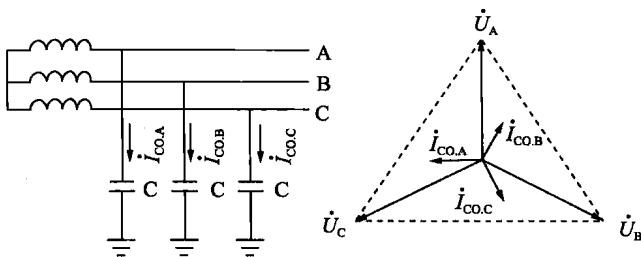


图 1.6 正常运行时的中性点不接地系统

系统正常运行时，线电压对称，各相对地电压对称，等于各相的相电压，中性点对地电压为零，各相对地电容电流也对称，其电容电流的相量和为零。

系统发生单相接地时，如图 1.7 所示，接地相(C相)对地电压为零，非接地相对地电压升高为线电压 ($\dot{U}'_A = \dot{U}_A + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_{AC}$, $\dot{U}'_B = \dot{U}_B + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_{BC}$)，即等于相电压的 $\sqrt{3}$ 倍。从而，接地相电容电流为零，非接地相对地电容电流也增大 $\sqrt{3}$ 倍。

C相接地时，系统的接地电流 \dot{I}_E (流过接地点的电容电流)应为 A、B 两相对地电容电流之和。取接地电流 \dot{I}_E 的正方向从相线到大地，如图 1.7 所示。

$$\dot{I}_E = -(\dot{I}_{CA} + \dot{I}_{CB}) \quad (1.1)$$

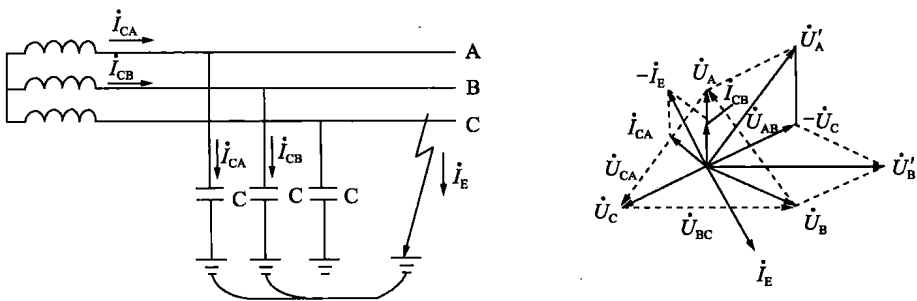


图 1.7 单相接地的中性点不接地系统

由相量图可知，单相接地电容电流为系统正常运行时每相对地电容电流 I_{C0} 的 3 倍，即

$$I_E = 3I_{C0} \quad (1.2)$$

中性点不接地电力系统发生单相接地时，虽然各相对地电压发生变化，但各相间电压(线电压)均未发生变化，仍然对称平衡，因此，三相用电设备的正常工作不会受到影响。但为了防止非接地相再有一相发生接地，造成两相短路，规程规定单相接地继续运行时间不得超过 2h。在中性点不接地系统中，一般装设专门的单相接地保护或绝缘监制装置，当系

统发生单相接地故障时，发出报警信号，提醒供电值班人员注意，及时处理。

(2) 中性点经消弧线圈接地

根据以上分析，当中性点不接地系统发生单相接地时，在接地点要流过全系统的对地电容电流。如果该电流超过规定值时，就会在接地点产生断续电弧，可能引起弧光接地过电压，从而使绝缘损坏，形成两点或多点的接地短路，造成供电中断。

所以，电力行业标准 DL/T 620—1997《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》规定电容电流超过表 1.3 中数值时，系统应装设消弧线圈。

表 1.3 应装设消弧线圈的最小电容电流

具体情况	电容电流/A
3~10kV 钢筋混凝土或金属杆塔的架空线路构成的系统	10
3kV 和 6kV 非钢筋混凝土或金属杆塔的架空线路构成的系统	30
10kV 非钢筋混凝土或金属杆塔的架空线路构成的系统	20
3~10kV 电缆线路构成的系统	30
所有 35kV、66kV 系统	10

消弧线圈是一个可调的铁心电感线圈，其电阻很小，感抗很大。由图 1.8 可知，当中性点经消弧线圈接地系统发生单相接地时，流过接地点的电流是接地电容电流 i_C 和流过消弧线圈的电感电流 i_L 之和。由于 i_C 超前 \dot{U}_C 90°， i_L 滞后 \dot{U}_C 90°，所以感性电流会对容性电流进行补偿，使流过接地点的总电流减小。

消弧线圈对电容电流的补偿有三种方式：①全补偿 $i_L = i_C$ ；②欠补偿 $i_L < i_C$ ；③过补偿 $i_L > i_C$ 。实际上都采用过补偿，以防止由全补偿引起的电流谐振，产生谐振过电压损坏设备；或防止在欠补偿情况下，若部分线路断开，造成全补偿的情况。

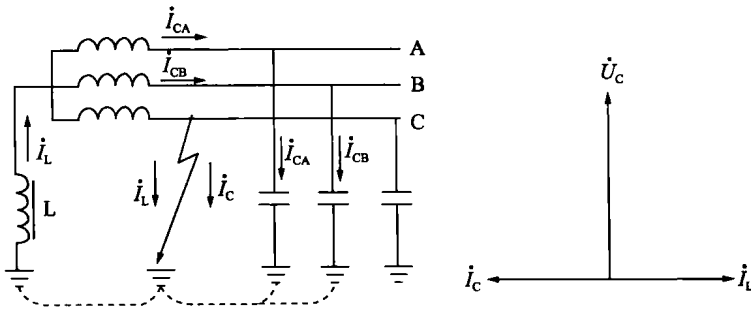


图 1.8 中性点经消弧线圈接地电力系统的电路图和相量图

(3) 中性点经高电阻接地

中性点经高电阻接地方式可以限制单相接地故障电流，从而限制谐振过电压和间歇性弧光接地过电压，电阻值一般数百至数千欧姆。主要应用于大型发电机组、发电厂用电和某些 6~10 kV 变电站。

1.4.2 中性点有效接地方式

(1) 中性点直接接地

中性点直接接地系统发生单相接地时，通过接地点与中性点形成单相短路，产生很大的

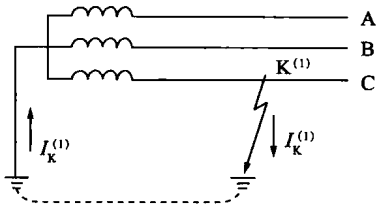


图 1.9 单相接地时的中性点直接接地电力系统

短路电流，继电保护动作切除故障线路。图 1.9 是发生单相接地时的中性点直接接地电力系统。由于中性点直接接地，发生单相接地时，中性点对地电压仍为零，非接地相对地电压也不发生变化。所以供电设备绝缘只需按相电压考虑，而无需按线电压考虑。我国 110kV 及以上超高压系统的电源中性点通常都采取直接接地的运行方式。

(2) 中性点经小电阻接地

随着经济的发展，城市 6 ~ 35kV 配电网广泛采用电缆取代架空线路，其单相接地电容电流远比架空线路接地电流大，中性点经消弧线圈接地方式无法完全消除接地故障点的电弧，从而无法抑制由此引起的过电压。因此，采用中性点经小电阻接地的运行方式。它接近于中性点直接接地的运行方式，必须装设动作于跳闸的单相接地故障保护。

1.5 低压配电系统的接地形式

我国 380/220V 低压配电系统采用中性点直接接地的运行方式，而且引出有中性线(N)、保护线(PE)或保护中性线(PEN)。中性线(N 线)主要是用来接单相用电设备和传导三相系统中的不平衡电流以及减小负荷中性点的电位偏移；保护线(PE 线)是将设备的外露可导电部分接地，用来保护人身安全、防止触电事故的发生；保护中性线(PEN 线)兼有中性线(N 线)和保护线(PE 线)的功能，在我国通称为“零线”，俗称“地线”。

低压配电系统按接地形式分为 TN 系统、TT 系统和 IT 系统。

第一个字母表示系统电源与地的关系。“T”表示电源端有一点直接接地；“I”表示电源端所有带电部分不接地或经消弧线圈(或电阻)接地。

第二个字母表示电气装置的外露导电部分与地的关系。“T”表示电气装置外露导电部分与地有直接的电气连接；“N”表示电气装置外露导电部分与配电系统的中性点有直接的电气连接。

第二个字母后面的字母表示中性线与保护线的组合关系。“S”表示中性线和保护线是分开的；“C”表示中性线和保护线是合一的；“C - S”表示在电源侧一段为保护中性线，从某点分开为中性线及保护线。

1.5.1 TN 系统

TN 系统的电源中性点直接接地，并引出有中性线(N 线)、保护线(PE 线)或保护中性线(PEN 线)，属于三相四线制或五线制系统。具体分为 TN - C 系统、TN - S 系统和 TN - C - S 系统。TN 系统中，设备外露可导电部分经低压配电系统中公共的 PE 线(在 TN - S 系统中)或 PEN 线(在 TN - C 系统中)接地，这种接地形式通称为“保护接零”。

(1) TN - C 系统

TN - C 系统的 N 线与 PE 线全部合为 PEN 线，如图 1.10 所示。该系统由于 PE 线与 N 线合为一根 PEN 线，因而节约了有色金属和投资，较为经济。但是 PEN 线中可能有电流流过，对接 PEN 线的设备将产生电磁干扰；同时如果 PEN 线断线，还可造成断线点后边接

PEN 线的设备的外露可导电部分带电，产生人身触电危险。由于该系统在发生单相接地故障时，故障电流较大，采用过电流保护器或熔断器可以快速切除故障，保证人身安全，防止事故的扩大。

(2) TN-S 系统

TN-S 系统的 N 线与 PE 线全部分开，设备的外露可导电部分均接 PE 线，如图 1.11 所示。该系统较之 TN-C 系统在有色金属消耗量和投资方面有所增加。PE 线平时不通过工作电流，它只是在发生接地故障时流过故障电流，其电位正常时为零，不存在对电子设备的干扰。与 TN-C 系统相比，PE 线断线时，正常情况下不会使断线点后边接 PE 线的设备外露可导电部分带电；但在断线点后边若有设备发生单相碰壳漏电故障时，将使断线点后边其他所有接 PE 线的设备外露可导电部分带电，造成人身触电危险。该系统在发生单相故障时，线路的保护装置应该动作，切除故障线路。TN-S 系统广泛用于对安全要求较高的场所(如浴室和居民住宅地等)及对抗电磁干扰要求高的数据处理和精密检测试验场所。

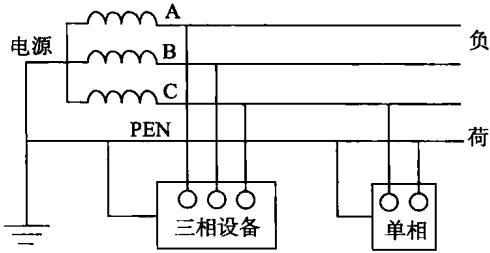


图 1.10 低压配电的 TN-C 系统

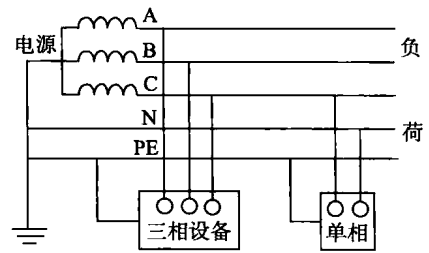


图 1.11 低压配电的 TN-S 系统

(3) TN-C-S 系统

TN-C-S 系统是指系统中前一部分 N 线与 PE 线合为 PEN 线，而后一部分 N 线与 PE 线全部或部分地分开，如图 1.12 所示。该系统综合了 TN-C 系统和 TN-S 系统的特点，因此比较灵活，对安全和对抗电磁干扰要求高的场所，宜采用 TN-S 系统，而其他一般的场所则采用 TN-C 系统。

1.5.2 TT 系统

TT 系统的电源中性点直接接地，并引出有 N 线，设备的外露可导电部分均经与系统接地点无关的各自的接地装置单独接地，正常时各电气设备外壳为地电位，又称接地保护。如图 1.13 所示。

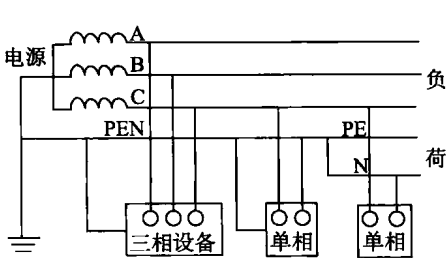


图 1.12 低压配电的 TN-C-S 系统

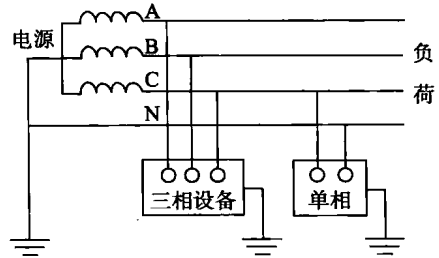


图 1.13 低压配电的 TT 系统

由于 TT 系统中的设备中外露可导电部分的接地 PE 线无电气联系，因此相互之间不会发生电磁干扰问题。该系统在出现绝缘不良而引起漏电时，由于漏电电流较小可能不足以使