

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



QIYE GONGPEIDIAN

企业供配电

田有文 唐文秀 编
梁春英 刘振宇



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



QIYE GONGPEIDIAN

企业供配电

田有文 唐文秀 编
梁春英 刘振宇
梁志瑞 主 审



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAOJING DIAOYU SHIYI WU YUO LI GONGCHENG GAOJING JIAOCAI

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

本书着重阐述供配电系统的基本知识和理论、计算方法和运行,并介绍供配电领域的新技术和新产品。全书共分九章,主要内容包括供配电系统的基本知识、电力负荷及其计算、短路电流及其计算、企业供配电系统主接线、电气设备及其选择、供配电系统的继电保护、二次回路和自动装置、防雷和接地、电气安全、电气照明、供配电系统的节能降耗等。每章都配以丰富的例题,并附有小结、思考题与习题,便于自学和复习。

本书可作为普通高等学校电气信息类相关专业的本科教材,也可作为相关工程技术人员的参考用书。

主 编 田 有 文
参 考 文 献 英 春 聚

图书在版编目(CIP)数据

企业供配电/田有文等编. —北京:中国电力出版社,
2008

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-7307-2

I. 企… II. 田… III. ①工业用电-供电-高等学校-
教材②工业用电-配电系统-高等学校-教材 IV. TM727.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 064119 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 6 月第一版 2008 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13 印张 313 千字

定价 20.80 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

在教材编写过程中,作者总结和吸收了各院校教育教学改革的有益经验,在编写中遵循理论注重系统性和理论联系实际的原则,着重阐述了供配电系统的基本知识和理论、计算方法和运行,并介绍了供配电领域的新技术和新产品。在内容编排上,力求重点突出,理论结合实际,每章有小结、思考题与习题。在叙述上注重深入浅出,结合例题进行讲解,便于学生学习和理解。通过学习,使学生掌握供配电系统的知识和理论,初步具有供配电系统的运行、管理和工程设计能力,以及分析和解决问题的能力。

本书分为九章,第一章绪论,第二章电力负荷及其计算,第三章为短路电流及其计算,第四章为企业供配电系统,第五章为供配电系统的继电保护,第六章为供配电系统的二次回路和自动装置,第七章为防雷、接地与电气安全,第八章为企业电气照明,第九章为供配电系统的节能降耗。本书的计量单位、图形符号、文字符号均采用最新的国家标准。本书可作为普通高等学校自动化、电气工程及其自动化等相关专业的本科教材,也可作为工厂企业及从事电力、电气工程技术人员的参考用书。

本书计划讲授 54 学时,由于各学校培养方案不同,对学生的供配电知识和能力的要求不同,各校可根据教学要求做相应增减,有些章节和内容可通过自学、参观、实习或课程设计完成。

本书第一、五、六章由沈阳农业大学田有文编写,第二、三章由东北林业大学唐文秀编写,第四章由山西农业大学刘振宇编写,第七、八、九章由黑龙江八一农垦大学梁春英编写。全书由田有文统稿。本书由华北电力大学著名资深教授梁志瑞先生担任主审,在审阅过程中提出了许多宝贵的意见,在此深表感谢。

由于编者水平和经验有限,书中难免存在疏漏和不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2008 年 2 月

目 录

前言	1
第一章 绪论	1
第一节 企业供配电系统	1
第二节 电力系统的电能质量	4
第三节 电力系统的中性点运行方式	7
小结	9
思考题与习题	10
第二章 电力负荷及其计算	11
第一节 电力负荷与负荷曲线	11
第二节 用电设备计算负荷的确定	14
第三节 功率损耗和电能损耗	20
第四节 供电系统的计算负荷	22
第五节 尖峰电流及其计算	26
小结	26
思考题与习题	27
第三章 短路电流及其计算	29
第一节 短路概述	29
第二节 无限大容量供电系统中三相短路电流的计算	30
第三节 不对称短路电流的计算	36
第四节 低压配电系统短路电流的计算	41
第五节 短路电流的效应和稳定度校验	42
小结	45
思考题与习题	46
第四章 企业供配电系统	47
第一节 企业变配电所的电压及所址选择	47
第二节 电力变压器及其选择	50
第三节 企业供配电系统的接线	52
第四节 企业变配电所的布置与结构	58
第五节 高压设备及其选择	61
第六节 互感器及其选择	68
第七节 低压设备及其选择	72
第八节 企业供配电线路的结构和敷设	75
第九节 架空线路导线和电缆的选择计算	78
小结	83

思考题与习题	84
第五章 供配电系统的继电保护	86
第一节 概述	86
第二节 常用的保护继电器	88
第三节 高压供电线路的继电保护	92
第四节 变压器保护	101
第五节 高压电动机保护	106
第六节 低压配电系统的保护	108
第七节 微机继电保护	112
小结	115
思考题与习题	116
第六章 供配电系统的二次回路和自动装置	118
第一节 二次回路及其操作电源	118
第二节 高压断路器的控制回路	120
第三节 中央信号回路	123
第四节 测量与绝缘监视回路	125
第五节 二次回路的安装接线图	128
第六节 自动重合闸装置	133
第七节 备用电源自动投入装置	135
第八节 供配电系统综合自动化	137
小结	141
思考题与习题	142
第七章 防雷、接地与电气安全	144
第一节 过电压及其分类	144
第二节 供配电系统的防雷保护	145
第三节 供配电系统的接地	155
第四节 电气安全	159
小结	163
思考题与习题	163
第八章 企业电气照明	165
第一节 电气照明的基本知识	165
第二节 企业常用的电光源和灯具	167
第三节 照度标准与照度计算	177
第四节 照明供电系统	180
小结	183
思考题与习题	184
第九章 供配电系统的节能降耗	185
第一节 概述	185
第二节 电力变压器的经济运行	187

第三节 供配电线路的降损措施.....	190
第四节 无功补偿.....	193
小结.....	198
思考题与习题.....	198
参考文献.....	200

第一章 绪 论

本章主要介绍电力系统及企业供配电系统的基本知识、电能质量指标及电力系统的额定电压、电力系统中性点的运行方式。

第一节 企业供配电系统

企业供配电系统是指接受发电厂电源输入的电能, 并进行检测、计量、变压等, 然后向企业及其用电设备分配电能的系统, 包括企业内的变配电所、所有高低压供电线路及用电设备, 是电力系统的重要组成部分。根据几个工业国家的统计, 企业用电量约占全国发电量的 50% 甚至 70% 以上。企业供配电系统的任务就是企业所需电能的供应和分配。企业所需的电能, 绝大多数是由公共电力系统供给的, 故在介绍企业供配电系统之前, 先介绍电力系统的知识。

一、电力系统

电力系统是由生产、输送、分配和消费电能的发电厂、变电所、电力线路和电能用户组成的统一整体。图 1-1 所示为电力系统示意图。

随着大型水、火电厂的建设和输电距离的增加, 输电电压逐步提高, 20 世纪 60 年代末期, 有些工业国家的电压已达到 750kV, 目前, 有的国家正在研究 1000~1500kV 特高压交流送电技术。

我国在 1985 年建成了第一条 500kV 超高压输电线路; 根据国民经济发展的需要, 又对 1000kV 特高压输电技术进行了深入的研究, 现在已投入试运行。

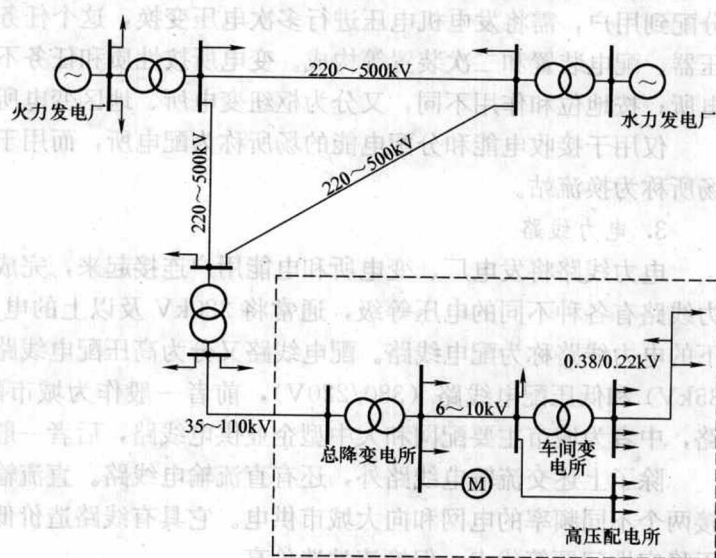


图 1-1 电力系统示意图

提高送电电压可以增大送电容量和距离, 节约有色金属, 降低线路造价, 减少电压损耗, 提高电压质量, 降低送电线路功率及能量损耗。但是否采用高一级电压等级, 是根据发展中的送电容量及距离、高压技术、高压设备的制造能力及经济成本等因素, 进行技术经济比较后决定的。

1. 发电厂

发电厂将一次能源转换成电能。为了充分利用动力资源, 降低发电成本, 发电厂往往远

离城市和电能用户,例如,火力发电厂大多建在靠近一次能源的地区,水力发电厂一般建在水利资源丰富、远离城市的地方,核能发电厂厂址也受种种条件限制。因此,这就需要输送和分配电能,将发电厂发出的电能经过升压、输送、降压和分配,送到用户,如图 1-1 所示。

根据一次能源的不同,发电厂分为火力发电厂、水力发电厂和核能发电厂;此外,还有风力、地热、潮汐和太阳能等发电厂。

火力发电厂将煤、天然气、石油的化学能转换为电能。我国火力发电厂的燃料以煤炭为主,随着西气东输工程的竣工,将逐步扩大天然气燃料的比例。火力发电的原理是:燃料在锅炉中充分燃烧,将锅炉中的水转换为高温高压蒸汽,蒸汽推动汽轮机转动,带动发电机旋转发出电能。

水力发电厂将水的位能转换成电能。其原理是:水流驱动水轮机转动,带动发电机旋转发电。按提高水位的方法分类,水电厂有堤坝式水电厂、引水式水电厂和混合式水电厂三类。

核能发电厂利用原子核的核能生产电能。核燃料在原子反应堆中裂变释放核能,将水转换成高温高压的蒸汽,蒸汽推动汽轮机转动,带动发电机旋转发出电能,其生产过程与火电厂基本相同。

2. 变电所

变电所的功能是接受电能、变换电压和分配电能。为了实现电能的远距离输送和将电能分配到用户,需将发电机电压进行多次电压变换,这个任务由变电所完成。变电所由电力变压器、配电装置和二次装置等构成。变电所按性质和任务不同,可分为升压变电所和降压变电所;按地位和作用不同,又分为枢纽变电所、地区变电所和用户变电所。

仅用于接收电能和分配电能的场所称为配电所,而用于交流电流与直流电流相互转换的场所称为换流站。

3. 电力线路

电力线路将发电厂、变电所和电能用户连接起来,完成输送电能和分配电能的任务。电力线路有各种不同的电压等级,通常将 220kV 及以上的电力线路称输电线路,110kV 及以下的电力线路称为配电线路。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。

除了上述交流输电线路外,还有直流输电线路。直流输电线路主要用于远距离输电,连接两个不同频率的电网和向大城市供电。它具有线路造价低、损耗小、调节控制迅速简便和无稳定性问题等优点,但换流站造价高。

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均称为电能用户。电能用户按行业可分为工业用户、农业用户、市政商业用户和居民用户等。

与电力系统相关联的概念还有电网,电网是指电力系统中除发电厂和电能用户之外的部分。

二、企业供配电系统

企业供配电系统是电力系统中的主要电能用户,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 1-2 所示为企业供配电系统结构框图。

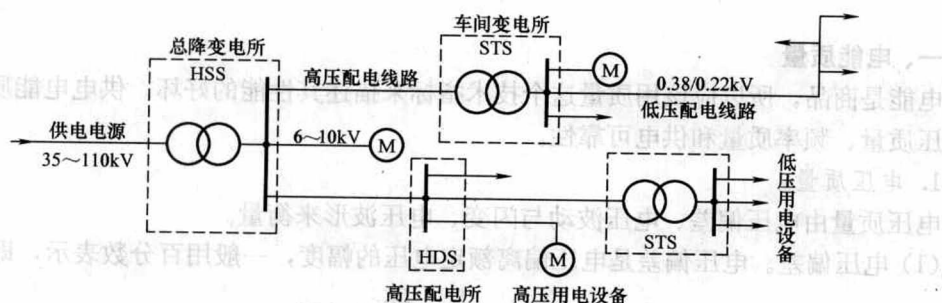


图 1-2 企业供配电系统结构框图

总降压变电所是用户电能供应的枢纽。它将 $35\sim110\text{kV}$ 的外部供电电源电压降为 $6\sim10\text{kV}$ 的高压配电电压，供给高压配电所、车间变电所或建筑物变电所和高压用电设备。

高压配电所接收 $6\sim10\text{kV}$ 电压，再分配到附近各车间变电所或建筑物变电所和高压用电设备。一般负荷分散、厂区大的大型企业需设置高压配电所。

配电线路分为 $6\sim10\text{kV}$ 厂内高压配电线路和 $380/220\text{V}$ 厂内低压配电线路。高压配电线路将总降压变电所与高压配电所、车间变电所或建筑物变电所和高压用电设备连接起来。低压配电线路将车间变电所或建筑物变电所 $380/220\text{V}$ 的电压送给各低压用电设备。

车间变电所或建筑物变电所将 $6\sim10\text{kV}$ 电压降为 $380/220\text{V}$ 电压，供低压用电设备使用。

用电设备按用途可分为动力用电设备、工艺用电设备、电热用电设备、试验用电设备和照明用电设备等。

应当指出，对于某个具体的供配电系统，可能上述各部分都有，也可能只有其中的几个部分，这主要取决于电力负荷的大小和厂区的大小。不同的供配电系统，不仅组成不完全相同，而且相同部分的构成也会有较大的差异。通常，大型企业都设总降压变电所，中小型企业仅设全厂 $6\sim10\text{kV}$ 变电所或配电所，某些特别重要的企业还设自备发电厂作为备用电源。

三、对企业供配电系统的要求

企业供配电系统对于促进工业生产、降低产品成本、实现生产自动化和工业现代化有着十分重要的意义。对企业供配电系统的基本要求是：

- (1) 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。
- (2) 可靠。应满足用电设备对供电可靠性的要求。
- (3) 优质。应满足用电设备对电压和频率等供电质量的要求。
- (4) 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，必须全面考虑、统筹兼顾。

第二节 电力系统的电能质量

一、电能质量

电能是商品,所以应该用质量这个技术指标来描述其性能的好坏。供电电能质量的指标为电压质量、频率质量和供电可靠性。

1. 电压质量

电压质量由电压偏差、电压波动与闪变、电压波形来衡量。

(1) 电压偏差。电压偏差是电压偏离额定电压的幅度,一般用百分数表示,即

$$\Delta U\% = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100 \quad (1-1)$$

式中 $\Delta U\%$ ——电压偏差百分数;

U ——实际电压;

U_N ——额定电压。

我国规定了供电电压允许偏差见表 1-1,要求供电电压的电压偏差不得超过允许偏差。

表 1-1 供电电压允许偏差 (GB 12325—1990)

线路额定电压 U_N	允许电压偏差
35kV 及以上	$\pm 5\%$
10kV 及以下	$\pm 7\%$
220V	$+7\%, -10\%$

(2) 电压波动与闪变。电压波动是指电压的急剧变化。电压变化的速率大于每秒 1% 即为电压急剧变化。电压波动程度以电压最大值与最小值之差或其百分数来表示,即

$$\delta U = U_{\max} - U_{\min} \quad (1-2)$$

$$\delta U\% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_N} \times 100 \quad (1-3)$$

式中 δU ——电压波动;

$\delta U\%$ ——电压波动百分数;

$U_{\max}$ 、 $U_{\min}$ ——电压波动的最大值和最小值, kV;

U_N ——额定电压, kV。

电压波动的允许值见表 1-2。

周期性电压急剧变化引起光源光通量急剧波动而造成人眼视觉不舒适的现象,称为闪变。通常用电压调幅波中不同频率的正弦波分量的均方根值等效为 10Hz 正弦电压波动值的 1min 平均值——等效闪变值 $8U_{10}$ 来表示,其允许值见表 1-3。

表 1-2 电压波动允许值 (GB 12326—1990)

额定电压 (U_N)	电压波动允许值 ($\delta U\%$)
10kV 及以下	2.5
35~110kV	2.0
220kV 及以上	1.6

表 1-3 $8U_{10}$ 允许值 (GB 12326—1990)

应用场合	$8U_{10}$ 允许值
对照明要求较高的白炽灯负荷	0.4 (推荐值)
一般性照明负荷	0.6 (推荐值)

(3) 电压波形。波形的质量是以正弦电压波形畸变率来衡量的。

在理想状况下,电力系统的交流电压波形应是标准的正弦波,但由于电力系统中存在有

大量非线性阻抗特性的供用电设备, 这些设备向公共电网注入谐波电流或在公共电网中产生谐波电压, 称为谐波源。谐波源使得实际的电压波形偏离正弦波, 这种现象称为电压正弦波形畸变, 通常以谐波来表征。电压波形畸变的程度用电压正弦波畸变率来衡量, 也称电压谐波畸变率。电压谐波畸变率以各次谐波电压的方均根值与基波电压有效值之比的百分数(%)来表示, 即

$$\text{电压谐波畸变率} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (U_n)^2}}{U_1} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 U_n ——第 n 次谐波电压有效值, V;

U_1 ——基波电压有效值, V。

表 1-4 是我国规定的公用电网电压谐波畸变率。

表 1-4 公用电网谐波电压 (相电压) 限值 (GB/T 14549—1993)

电网额定电压 (kV)	电压总谐波畸变率 (%)	各项谐波电压含有率 (%)	
		奇 次	偶 次
0.38	5.0	4.0	2.0
6			
10	4.0	3.2	1.6
35			
66	3.0	2.4	1.2
110	2.0	1.6	0.8

三相电压与电流的不对称也是电能质量的重要指标之一。电压与电流的不对称有短时的和持续的两种。短时的不对称往往伴随电力系统的故障而产生。持续的不对称则是由电力系统运行参数不对称、用户采用大功率单相用电设备以及三相用电设备工作不对称引起。供电系统的不对称运行, 对发电设备、用电设备、自动控制及保护系统、通信信号等均会产生不良的影响。在低压供电系统中, 不对称的电压和电流会形成三相中性点的偏移, 从而危及人身及用电设备的安全和寿命。三相交流系统在设计中对单相用电设备必须尽量采用对称。

2. 频率质量

频率的质量是以频率偏差来衡量的。我国采用的额定频率为 50Hz。在正常情况下, 频率的允许偏差是根据电网的装机容量而定的; 事故情况下, 频率允许偏差更大。频率偏差常以实际频率与额定频率之差或其差值 Δf 与额定值之比的百分数 $\Delta f\%$ 来表示, 即

$$\Delta f = f - f_N$$

或
$$\Delta f\% = \frac{f - f_N}{f_N} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 f ——实际供电频率值, Hz;

f_N ——供电网额定频率值, Hz。

电力系统频率的允许偏差见表 1-5。

表 1-5 电力系统频率的允许偏差

运行情况	允许频率偏差	
正常运行	300 万 kW 及以上	±0.2
	300 万 kW 及以下	±0.5
非正常运行		±1.0

3. 供电可靠性

供电可靠性是指供电系统对用户持续供电的能力, 以对用户停电的时间及次数来衡量。它常用供电可靠率 K_{rel} , 即实际供电时间与统计期全部时间的比值的百分数来表示, 则

$$K_{rel} = \frac{T_w}{T_t} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 T_w ——统计期实际供电时间之和, h;

T_t ——统计期全部时间, h。

二、额定电压

电力系统额定电压的等级, 是根据国民经济发展的需要、技术经济上的合理性以及电机电器制造工业的水平等因素, 经全面研究分析, 由国家制定颁布的。额定电压是能使电气设备长期运行在经济效果最好的电压, 包括电力系统中各种发、供、用电设备的额定电压。我国交流电网和电力设备的额定电压见表 1-6。

表 1-6 我国交流电网和电力设备的额定电压

电压	电力网和用电设备 额定电压	发电机额定电压	电力变压器额定电压	
			一次绕组	二次绕组
低压 (V)	220/127	230	220/127	230/133
	380/220	400	380/220	400/230
	660/380	690	660/380	690/400
高压 (kV)	3	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
	6	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
	10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
	—	13.8, 15.75, 18, 20	13.8, 15.75, 18, 20	—
	35	—	35	38.5
	63	—	63	69
	110	—	110	121
	220	—	220	242
	330	—	330	363
	500	—	500	550
	750	—	750	—

注 表中斜线“/”左边数字为二相电路的线电压, 右边数字为相电压。

1. 电网(线路)的额定电压

电网(线路)的额定电压只能选国家规定的额定电压。它是确定各类电气设备额定电压的基本依据。

2. 发电机的额定电压

发电机接在线路的首端, 考虑到线路在输送负荷电流时必然产生电压损失, 发电机的额定电压要高于电网的额定电压, 即比电网电压高 5%, 以补偿电网上的电压损失。例如, 电

网的额定电压为 10kV, 则发电机的额定电压为 10.5kV。

3. 变压器的额定电压

电力变压器一次绕组的额定电压: 如变压器直接与发电机相连, 则其一次绕组额定电压应与发电机额定电压相同, 即高于供电电网额定电压的 5%; 如变压器不与发电机相连, 而是连接在线路上, 其一次绕组额定电压应与供电电网额定电压相同。

电力变压器二次绕组的额定电压: 如果变压器二次侧供电线路较长, 则变压器二次绕组额定电压要考虑补偿变压器二次绕组本身 5% 的电压降和变压器满负荷时输出的二次电压仍高于电网额定电压的 5%, 所以这种情况的变压器二次绕组额定电压要高于二次侧电网额定电压的 10%; 如果变压器二次侧供电线路不长, 则变压器二次绕组额定电压只需高于二次侧电网额定电压的 5%, 仅考虑补偿变压器内部的 5%。

4. 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, 沿线路的电压分布通常是首端高于末端, 如图 1-3 所示。因此, 沿线各用电设备的端电压将不同, 线路的额定电压实际就是线路首末端电压的平均值。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与同级电网(线路)的额定电压相同。

例 1-1 已知图 1-4 所示系统中线路的额定电压, 试求发电机和变压器的额定电压。

解 发电机 G 的额定电压 $U_{N.G} = 1.05U_{N.WL1} = 1.05 \times 6 = 6.3 \text{ (kV)}$

变压器 T1 的额定电压 $U_{1N.T1} = U_{N.G} = 6.3 \text{ (kV)}$

$$U_{2N.T1} = 1.1U_{N.WL2} = 1.1 \times 110 = 121 \text{ (kV)}$$

因此, T1 的额定电压为 6.3/121kV。

变压器 T2 的额定电压 $U_{1N.T2} = U_{N.WL2} = 110 \text{ (kV)}$

$$U_{2N.T2} = 1.05U_{N.WL3} = 1.05 \times 10 = 10.5 \text{ (kV)}$$

因此, T2 的额定电压为 110/10.5kV。

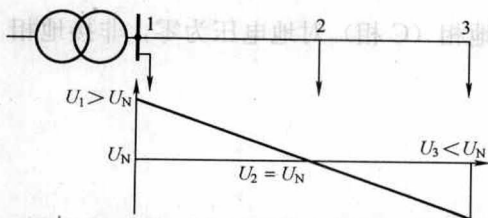


图 1-3 供电线路上的电压变化示意图

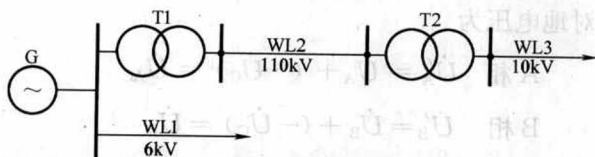


图 1-4 例 1-1 供电系统示意图

第三节 电力系统的中性点运行方式

电力系统的中性点是指星形连接的变压器或发电机的中性点。在电力系统中, 中性点的运行方式有中性点直接接地、中性点经消弧线圈接地和中性点不接地三种。前一种为大接地电流系统, 后两种为小接地电流系统。中性点的运行方式主要取决于单相接地时电气设备的绝缘要求及对供电可靠性的要求。

我国 110kV 及以上系统和 1kV 以下低压系统, 采用中性点直接接地运行方式, 3~63kV 系统, 一般采用中性点不接地运行方式; 当 3~10kV 系统接地电流大于 30A, 20~

63kV 系统接地电流大于 10A 时, 应采用中性点经消弧线圈接地的运行方式。

一、中性点直接接地方式

中性点直接接地的系统, 当发生一点接地故障时, 即构成了单相接地短路, 将产生很大的故障相电流和零序电流, 如图 1-5 所示, 继电保护装置动作切除故障部分, 使系统的其他部分恢复正常运行。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。

二、中性点不接地方式

图 1-6 (a) 所示为正常运行时的中性点不接地系统电路图。三相导体沿线路全长有分布电容, 为了方便分析, 用一个集中电容 C 表示, 并设三相对地电容相等。

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, 相量图如图 1-6 (b) 所示。

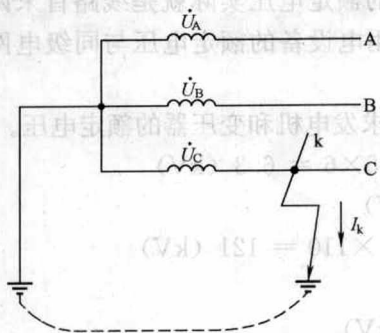


图 1-5 单相接地时的中性点直接接地系统

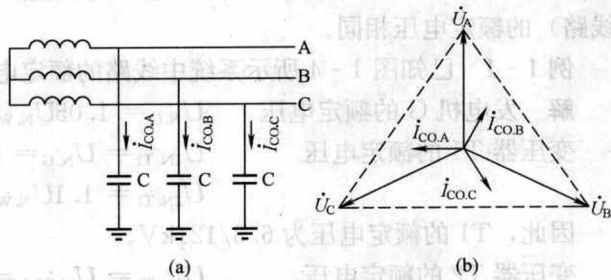


图 1-6 正常运行时的中性点不接地系统
(a) 电路图; (b) 相量图

系统发生单相接地时, 如图 1-7 (a) 所示, 接地相 (C 相) 对地电压为零, 非接地相对地电压为

$$\text{A 相 } \dot{U}'_A = \dot{U}_A + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_{AC}$$

$$\text{B 相 } \dot{U}'_B = \dot{U}_B + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_{BC}$$

即非接地相对地电压升高为线电压, 等于相电压的 $\sqrt{3}$ 倍。因此, 接地相电容电流为零, 非接地相对地电容电流 $\dot{I}_{CA}$ 、 $\dot{I}_{CB}$ 也增大 $\sqrt{3}$ 倍, 系统的接地电流 $\dot{I}_E$ (流过接地点的电容电流 $\dot{I}_C$) 应为 A、B 两相对地电容电流之和, 为正常运行时每相对地电容电流的 3 倍, 该电流远远小于中性点接地时的单相接地短路电流。另外从图 1-7 (b) 可以看出, 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) 仍然对称平衡, 因此, 三相用电设备允许暂时继续运行 2h。但必须同时通过系统中装设的单相接地保护或绝缘监察装置发出报警信号或指示, 以提醒值班人员注意, 要求运行维修人员立即采取措施, 查找和消除接地故障; 如有备用线路, 则可将负荷转移到备用线路中去。2h 后, 若单相接地故障尚未消除, 就应该切除此故障线路, 以免发生两相短路, 使故障扩大。

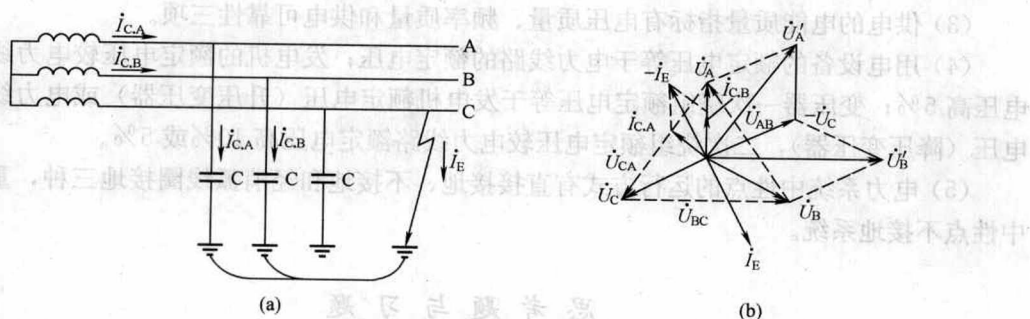


图 1-7 单相接地时的中性点不接地系统

(a) 电路图; (b) 相量图

三、中性点经消弧线圈接地电力系统

如前所述,当中性点不接地系统的单相接地电流超过规定值时,为了避免产生断续电弧,引起过电压和造成短路,减小接地电弧电流可以使电弧容易熄灭,中性点应经消弧线圈接地。消弧线圈实际上就是电抗线圈。图 1-8 所示为中性点经消弧线圈接地系统的电路图和相量图。

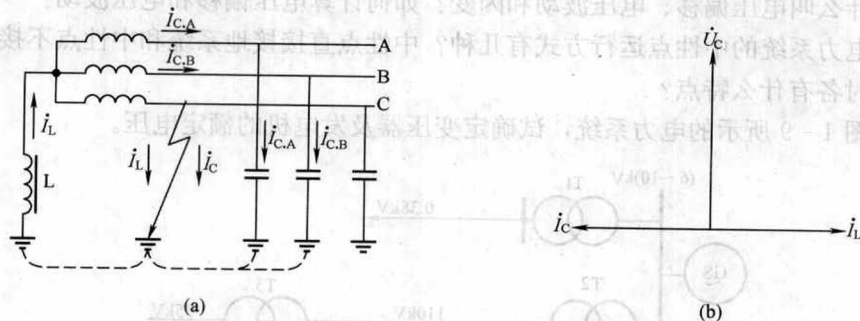


图 1-8 中性点经消弧线圈接地系统

(a) 电路图; (b) 相量图

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 $\dot{I}_C$ 和流过消弧线圈的电感电流 $\dot{I}_L$ 之相量和。由于 $\dot{I}_C$ 超前 $\dot{U}_C 90^\circ$, $\dot{I}_L$ 滞后 $\dot{U}_C 90^\circ$, 两电流相抵后, 流过接地点的电流减小。

中性点经消弧线圈接地系统发生单相接地时,各相对地电压和对地电容电流的变化情况与中性点不接地系统相同。

小 结

本章介绍了电力系统和企业供配电系统的概念,讲述了电能质量指标和各种电力设备的额定电压及电力系统中性点的运行方式。

(1) 电力系统是指由发电厂、变电所、电力线路和电能用户组成的整体。

(2) 供配电系统由总降压变电所,配电所,车间变电所或建筑物变电所,配电路和用电设备所组成。

(3) 供电的电能质量指标有电压质量、频率质量和供电可靠性三项。

(4) 用电设备的额定电压等于电力线路的额定电压；发电机的额定电压较电力线路额定电压高 5%；变压器一次绕组额定电压等于发电机额定电压（升压变压器）或电力线路额定电压（降压变压器），二次绕组额定电压较电力线路额定电压高 10% 或 5%。

(5) 电力系统中性点的运行方式有直接接地、不接地和经消弧线圈接地三种，重点掌握中性点不接地系统。

思考题与习题

1-1 画图说明什么叫电力系统。

1-2 企业供配电系统由哪些部分组成？在什么情况下应设总降压变电所或高压配电所？

1-3 发电机的额定电压、用电设备的额定电压和变压器的额定电压是如何规定的？为什么？

1-4 电能的质量指标包括哪些？

1-5 什么叫电压偏移、电压波动和闪变？如何计算电压偏移和电压波动？

1-6 电力系统的中性点运行方式有几种？中性点直接接地系统和中性点不接地系统发生单相接地时各有什么特点？

1-7 图 1-9 所示的电力系统，试确定变压器及发电机的额定电压。

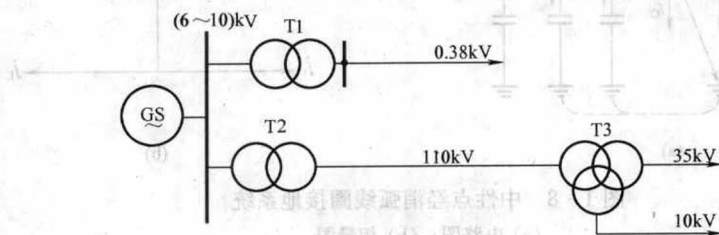


图 1-9 习题 1-7 图