

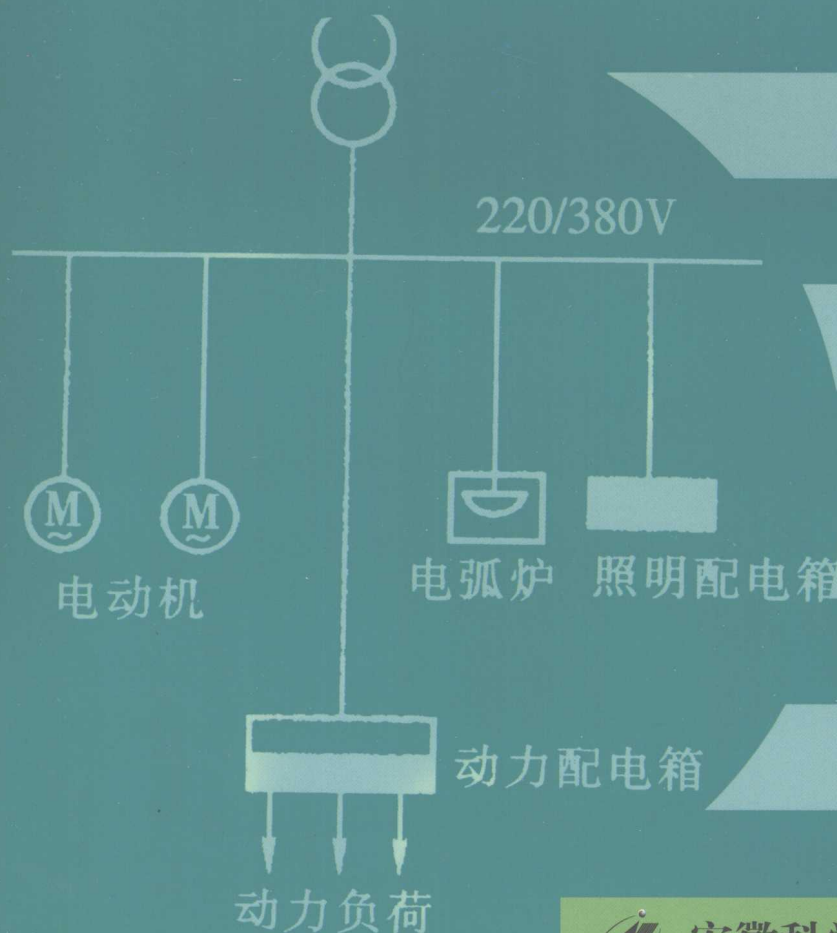
高职高专教育电类系列教材

GAOZHI GAOZHUAN JIAOYU DIANLEI XILIE JIAOCAI

供配电技术

GONGPEIDIAN JISHU

主编 胡孔忠 副主编 彭伟 黄炳龙



安徽科学技术出版社

高职高专教育电类系列教材

供配电技术

●主 编 胡孔忠

副主编 彭 伟 黄炳龙

参 编 龚家良 温晓玲

江苏工业学院图书馆
藏书章

 安徽科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

供配电技术/胡孔忠主编. —合肥:安徽科学技术出版社, 2007. 9

高职高专教育电类系列教材

ISBN 978-7-5337-3809-9

I. 供… II. 胡… III. ①供电-高等学校:技术学校-教材②配电系统-高等学校:技术学校-教材 IV. TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 126670 号

供配电技术

胡孔忠 主编

出 版 人: 朱智润

责任编辑: 何宗华 期源萍

出版发行: 安徽科学技术出版社(合肥市政务文化新区圣泉路 1118 号
出版传媒广场, 邮编: 230071)

电 话: (0551)3533330

网 址: www.ahstp.com.cn

E - mail: yougoubu@sina.com

经 销: 新华书店

排 版: 安徽事达科技贸易有限公司

印 刷: 合肥锐达印务有限责任公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 18.5

字 数: 450 千

版 次: 2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 2 000

定 价: 28.00 元

(本书如有印装质量问题, 影响阅读, 请向本社市场营销部调换)

前 言

本书在内容上,既体现其内在的联系,又密切结合实际,注重反映新技术、新规范、新符号、新设备,从而加强了教材的实用性和针对性。全书共分11章,首先讲述了供电系统的组成及基本概念。紧接着讲述了电力负荷的计算和短路电流计算,介绍了变配电所、供电网络以及供电系统主要电气设备的组成、作用及选择。然后讲述供电系统的继电保护、二次回路及自动装置。最后讲述了防雷接地、电气照明、供电质量的提高与电能节约等。

本书在编写的过程中,查阅了大量的规程和规范,参考了许多书籍,知识点多,内容丰富,图文并茂,力求以最简短的语言、最简单通俗易懂的方式介绍更多的知识,一改老版本、老符号、老套式的格局。本书不仅是高等职业技术学院电气类、机电类专业的好教材,也是从事供电技术工作人员的一本好参考书。它主要突出以下几方面的特点:

1. 针对高职的特点和就业的需求,本教材从拓展学生思维能力、培养动手能力、增强就业能力着手,遵循学生的认知规律,更新和调整了教材的内容和知识结构。
2. 重视学科的条理性、实践性,教材既考虑到多学时的教学,又顾及到少学时的教学。
3. 注重内容的规范性、层次性和可操作性。做到层次清晰、内容充实、重点突出。
4. 教材在充分引入新知识、新技术、新设备、新标准的同时,又兼顾到人们的传统习惯。

本书由安徽电气工程职业技术学院胡孔忠任主编并编写了第一、二、三章,安徽水利电力职业技术学院彭伟任副主编并编写了第五、六、七、八章,安徽电气工程职业技术学院龚家发编写了第四章,安徽职业技术学院温晓玲编写了第九、十、十一章,全书由胡孔忠整理并定稿。

本书在编写的过程中,查阅了大量的书刊和资料,并得到安徽科学技术出版社的大力支持,在此谨向他们致以诚挚的谢意。

由于时间和水平所限,加之我国目前尚有一些专业技术标准和规范还在进一步的修订和完善之中,因此错误、疏漏和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正,不吝赐教。

编 者

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 电力系统的基本概念	1
第二节 电力系统的额定电压	5
第三节 电力系统中性点运行方式	8
习 题	14
第二章 负荷计算	15
第一节 电力负荷及负荷曲线	15
第二节 用电设备的工作制与容量的确定	18
第三节 电力负荷实用计算方法	20
第四节 供配电系统的功率损耗与电能损耗	27
第五节 供配电系统的负荷计算	29
第六节 尖峰电流及其计算	31
习 题	32
第三章 短路电流计算	34
第一节 短路的一般概念	34
第二节 供配电网中各元件的电抗	36
第三节 无限大容量系统三相短路电流计算	37
第四节 不对称短路电流计算	45
第五节 低压电网短路电流计算	46
第六节 短路效应和稳定度校验	50
习 题	56
第四章 电气设备及其选择	59
第一节 开关电器的电弧及灭弧	59
第二节 高压开关电器	60
第三节 互感器	67
第四节 低压开关电器	73
第五节 电气设备的选择	79
习 题	95
第五章 变配电所	96
第一节 变电所主变压器的选择	96
第二节 变配电所电气主接线	100
第三节 变配电所及所址、布置、结构	107

第四节 组合式变电所	115
习 题	117
第六章 供配电网络	118
第一节 供配电线路的接线方式	118
第二节 供配电线路结构与敷设	121
第三节 电力电缆的选择	127
第四节 建筑物配电系统图和电气平面布线图	132
习 题	136
第七章 供配电系统的继电保护	137
第一节 继电保护的基本知识	137
第二节 常用的电磁式继电器	140
第三节 单侧电源供配电线路的继电保护	145
第四节 电力变压器的继电保护	168
第五节 高压电动机的继电保护	180
第六节 变电所的微机保护简介	184
习 题	189
第八章 变电所的二次回路与自动装置	191
第一节 高压断路器的控制和信号回路	191
第二节 中央信号装置	200
第三节 二次回路接线图	205
第四节 备用电源自动投入装置(APD)	211
习 题	213
第九章 防雷与接地	215
第一节 过电压的产生及其危害	215
第二节 防雷装置	216
第三节 供配电系统的防雷措施	223
第四节 电气装置的接地和接零	226
第五节 接地电阻及其测量	230
习 题	234
第十章 电气照明	236
第一节 电气照明的基本知识	236
第二节 常用的电光源和灯具	238
第三节 电气照明的照度计算	243
第四节 照明配电	245
习 题	251
第十一章 供电质量的提高与节约电能	252
第一节 供配电系统的电压调整	252
第二节 电网高次谐波及其抑制	253

第三节	电能节约意义与措施	254
第四节	功率因数及无功补偿	255
第五节	变压器的经济运行	258
习 题		260
附 录		261
附表 1	用电设备组的需要系数、二项式系数及功率因数	261
附表 2	部分企业的全厂需要系数、功率因数及年最大有功负荷利用小时	262
附表 3	LJ 型铝绞线、LGJ 型钢芯铝绞线和 LMY 硬铝导线的主要技术数据	262
附表 4	电力电缆的电阻和电抗值	264
附表 5	室内明敷和穿管绝缘导线的电阻和电抗值	265
附表 6	低压三芯铝线各种绝缘电力电缆三相短路时的阻抗($\text{m}\Omega/\text{m}$)	265
附表 7	低压四芯铝芯各种绝缘电力电缆三相短路时的阻抗($\text{m}\Omega/\text{m}$)	266
附表 8	开关触头的接触电阻($\text{m}\Omega$)	266
附表 9	低压断路器过电流线圈的阻抗($\text{m}\Omega$)	266
附表 10	电流互感器一次绕组电阻与电抗(二次侧开路)($\text{m}\Omega$)	266
附表 11	BLV、BV 绝缘电线明敷及穿管时的载流量	267
附表 12	导体在正常时和短时的最高允许温度和热稳定系数	268
附表 13	部分高压断路器的主要技术数据	269
附表 14	常用隔离开关的主要技术数据	270
附表 15	常用的电流互感器的主要技术数据	271
附表 16	常用电压互感器的主要技术数据	272
附表 17	部分低压断路器的主要技术数据	273
附表 18	DZ10 型低压断路器的主要技术数据	273
附表 19	RT0 型低压熔断器的主要技术数据和保护特性曲线	274
附表 20	RM10 型低压熔断器的主要技术数据和保护特性曲线	275
附表 21	S9 系列低损耗电力变压器的主要技术数据	276
附表 22	主要电气设备型号的含义	278
附表 23	DL 系列电磁式电流继电器技术数据	283
附表 24	GL 型电流继电器主要技术数据	283
附表 25	主要生产车间工作面上的照度最低值(参考值)	284
附表 26	电气照明施工图常用的图形符号	285
附表 27	电气设备常用的文字符号	286
参考文献		287

第一章 绪 论

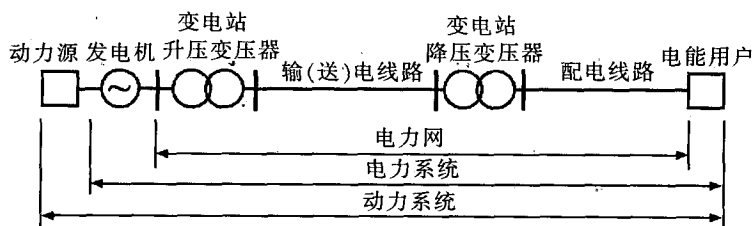
本章主要对供配电系统作简要的叙述,内容主要包括电力系统的基本概念和组成、电力系统的额定电压、电力系统中性点运行方式和低压配电系统的制式等。

第一节 电力系统的基本概念

一、电力系统简介

(一) 电力系统组成

由各种电压等级的输配电线路将各种类型的发电机、升降压变电所(站)和电能用户联系起来的发电、输电、变电、配电和用电的整体,称为电力系统。电力系统中的由各种电压等级的输配电线路和升降压变电所(站)组成的部分称为电力网。电力系统加上动力源称为动力系统。见图 1-1 所示。



1. 发电厂(站)

发电厂(站)是电力系统的中心环节,它是将自然界中蕴藏的各种形式的能源转换为电能的工厂。根据所利用能源的形式不同,可分为火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂,此外,还有太阳能发电厂、风力发电厂、地热发电厂等。目前我国和世界大多数国家仍以火力发电和水力发电为主,核能发电量的比重正在逐年增加。

2. 变配电所(站)

变配电所是变电所和配电所的统称。变电所是接受电能、改变电压和分配电能的场所,是联系发电厂和电能用户的中间枢纽。如果仅装有接受电能和分配电能设备而没有变压器的称为配电所,即配电所只有接受电能和分配电能的功能。

变电所有升压和降压变电所之分。升压变电所的任务是将低电压变为高电压,以减少线路的电能损耗和电压损耗,减少线路的金属消耗量,提高送电的经济性,升压变电所一般和大型发电厂结合在一起。降压变电所的任务是将高电压降到一个合理的电压等级,一般建在靠近负荷中心的地点。按其在系统中的地位和作用,降压变电所可分为枢纽变电所、区域变电

所、终端变电所以及工业企业的总降压变电所和车间变电所等。

3. 电力线路

电力线路是把发电厂、变配电所和电能用户联系起来的纽带,完成输送电能和分配电能的任务。电力线路是输(送)电线路和配电线路的总称。输电线路是将发电厂的电能输送到负荷中心,它的特点是线路较长,电压等级较高。配电线路是将负荷中心的电能配送到各个电能用户,它的特点是线路较短,电压等级较低。配电线路又分为高压配电线路(110 kV)、中压配电线路(1~35 kV)和低压配电线路(220/380 V,220 V 为相电压,380 V 为线电压)。

4. 电能用户

电能用户指所有消耗电能的用电设备或单位。负荷是用户或用电设备的总称。

(二) 电力系统运行的特点和基本要求

1. 特点

电力系统的运行与其他工业生产相比,有以下特点:

1) 电能不能大量的储存

电能的生产、输送、分配和消费,几乎是同时进行的。这一特点就要求发电机在某一时刻发出的电能,经过输电线路输送给用电设备,用电设备立刻将电能转换成其他形式的能量。任一时刻,要保证发电、供电、用电的严格平衡。

2) 电力系统暂态过程非常短暂

正常操作或故障时,从一种运行状态变到另一种运行状态的过程极为迅速。

3) 电能与国民经济各部门以及人民的生活密切相关

由于电能的生产、输送、分配和消费比较方便,便于大量生产、远距离输送、集中管理和自动控制等,使用电能比使用其他的能量有较显著的优点,所以各部门都广泛使用电能。电能供应的中断将给国民经济各部门和人民的生活造成极大的不便和影响。

2. 对电力系统运行的基本要求

为了搞好供配电工作,对电力系统的运行有以下基本要求:“安全、可靠、优质、经济”。

1) 保证供电的安全性和可靠性

安全性是指在电能的供应、分配和使用中,不应发生人身和设备事故。供电的可靠性主要是反映供电的连续程度。供电中断将使生产停顿、生活混乱,甚至危及人身和设备的安全,给国民经济造成的损失远远超过电力系统本身的损失。因此,电力系统运行首先要保证安全发电、供电。

2) 保证电能质量

衡量电力系统的电能质量指标有电压、频率和波形。

电压质量是对电力系统的运行电压和供电电压值的规范要求。它是电能质量的一项重要技术经济指标。电压偏差过大,不仅影响电力系统本身安全运行,也影响用户产品的产量和质量。特别是在系统无功严重不足的情况下,将产生电压下降的恶性循环,造成“电压崩溃”,甚至造成大面积停电。我国规定的供电电压允许偏移值见表 1-1。

表 1-1 供电电压的允许偏移

线路的额定电压	允许电压偏移	线路的额定电压	允许电压偏移
35kV 及以上	$\pm 5\%$	220V	$+7\%、-10\%$
10kV 及以下	$\pm 7\%$		

频率的质量是以频率偏差来衡量的。我国采用的工频交流的额定频率为 50 Hz, 偏移过大, 可能造成设备损坏, 甚至引起人身事故。我国规定的频率允许偏差见表 1-2。

表 1-2 电力系统频率的允许偏差

运 行 情 况		允许频率偏差(Hz)
正常运行	3000MW 及以上的电网	±0.2
	3000MW 以下电网	±0.5
非正常运行		±1.0

衡量交流电的另一个指标是交流电的波形, 标准的交流电波形应为正弦波。但由于电力系统存在大量的非线性负荷, 使电压的波形发生畸变, 除基波外, 还有各次谐波分量, 这些谐波分量不仅使系统的效率下降, 也会对电气设备产生较大的干扰。因此, 抑制谐波分量在允许的范围之内是保证电能质量的一项重要任务。

3) 保证电力系统运行的经济性

表征电力系统运行经济性的具体指标有标准煤耗率、网损率和厂用电率。

此外还要保证电力系统运行的灵活性和发展的可能性。

二、用户供配电系统

用户供配电系统通常是由降压变电所、配电所、电力线路和电能用户组成的电力终端系统。根据电力用户的性质和规模的不同, 这一系统的结构复杂程度有很大的差异。

一般中小型用户的电源进线电压为 6~10 kV, 大中型用户的电源进线电压为 35 kV 及以上, 有些小型用户则采用低压^①进线。

(一) 具有总降压变电所的供配电系统

图 1-2 是一个比较典型的具有总降压变电所的大中型用户供配电系统图。该用户设总降压变电所(HSS), 把 35~110 kV 的电压降为 6~10 kV, 向车间、楼宇或高压配电所(HDS)供电, 车间或楼宇变电所(STS)经配电变压器再把 6~10 kV 降为低压用电设备所需的电压(一般是 220/380 V), 对低压用电设备供电。高压用电设备则直接由总降压变电所的 6~10 kV 母线直接供电。为了补偿系统的无功功率, 提高功率因数, 在高压 6~10 kV 母线上或低压 380 V 母线上接入并联电容器。

为了保证供电的可靠性, 总降压变电所通常设置两台变压器, 每台变压器的容量可从几千到几万千伏安。

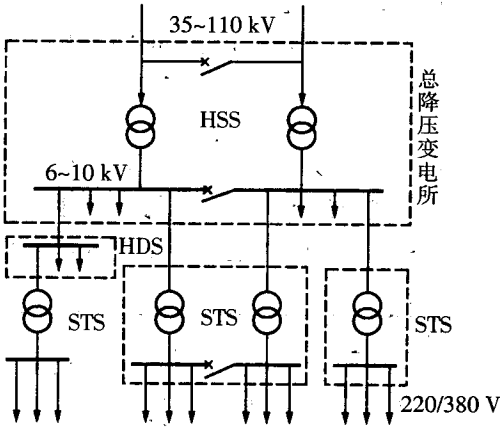


图 1-2 具有总降压变电所的供配电系统图

① 所谓低压, 是指 1 kV 以下的电压, 1 kV 及以上的电压为高压。

(二) 具有高压配电所的供配电系统

中型的电用户一般可设高压配电所(HDS),供电电源进线的电压一般是 $6\sim 10\text{ kV}$,先由高压配电所集中,再由高压配电线路将电能分送到各车间或楼宇变电所,降为 $220/380\text{ V}$ 的低压供给用电设备,或由高压配电线路直接供给高压用电设备。如图1-3所示。

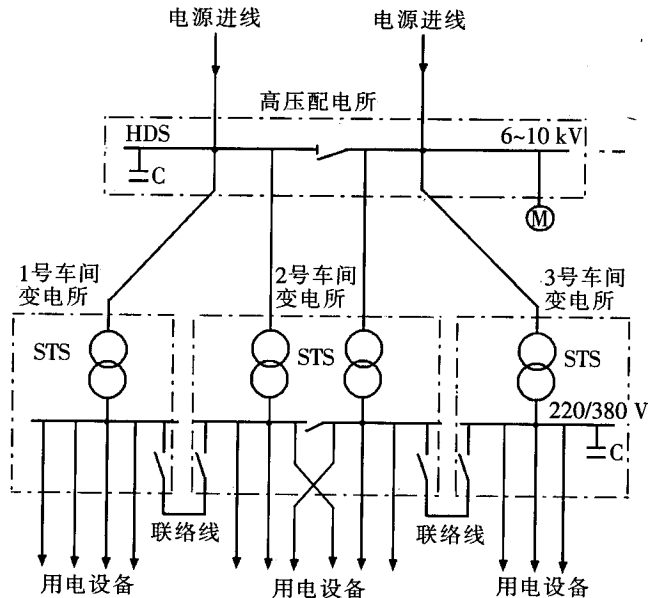


图 1-3 具有高压配电所的供配电系统

该电能用户的高压配电所有两回 $6\sim 10\text{ kV}$ 的电源进线,分别接在高压配电所的两段母线上,这两段母线装有分段的隔离开关,形成单母线分段。当一回电源进线发生故障或进行正常检修而被切除后,可利用分段的隔离开关来恢复对整个配电所的供电,即分段隔离开关闭合后由另一回电源进线向整个配电所供电。这类接线配电所通常的运行方式是:分段隔离开关闭合,整个配电所由一回工作电源进线供电,而另一回电源进线作为备用。工作电源通常引自公共电网,备用电源通常由邻近单位取得。

(三) 高压深入负荷中心的供配电系统

近些年来,为了简化供配电系统,减少投资和电能损耗,有些地方对于大型企业或厂区面积较大的企业,采用高压直接深入负荷中心的配电方式,即把 $35\sim 110\text{ kV}$

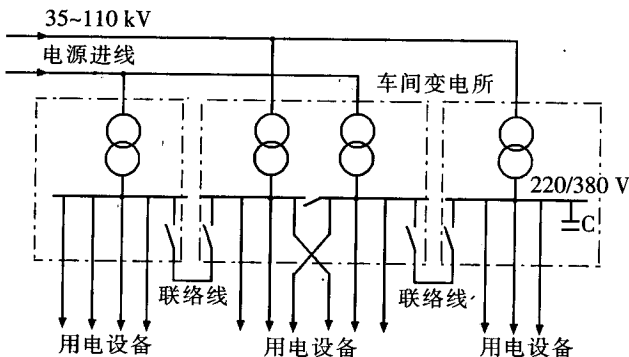


图 1-4 高压深入负荷中心的供配电系统

甚至 220 kV 的供电电压直接送到车间或楼宇,在车间或楼宇用 $(35\sim 110)\text{ kV}/0.4\text{ kV}$ 的变压器向车间或楼宇供电。典型的接线如图1-4所示。

这种供电方式的特点是不需要建设总的降压变电所,减少企业内部 $6\sim 10\text{ kV}$ 的配电网,大大简化了配电系统,节省有色金属,降低电能损耗和电压损耗,提高供电质量,经济效果较

好。但是,厂区的环境和条件要满足 35~110 kV 的“安全走廊”要求。

(四) 其他类型的供配电系统

对于小型企业或楼宇,一般只设一个简单的降压所,相当于图 1-3 中的一个车间变电所,如图 1-5 所示。用电设备容量在 250 kW 及以下的用户,通常采用低压电源进线,只设一个低压配电室就可以了,如图 1-6 所示。

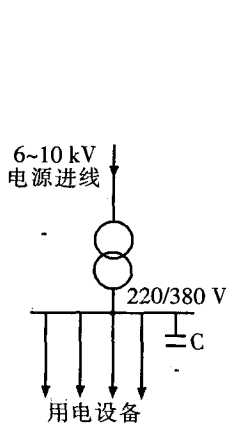


图 1-5 只设一台变压器的供配电系统

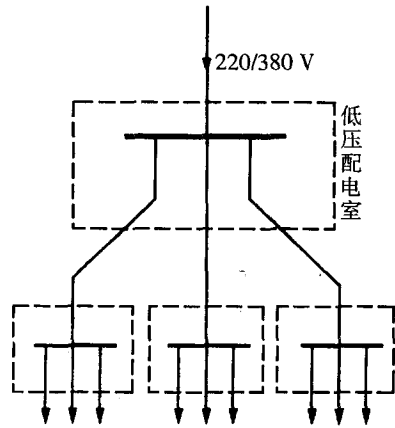


图 1-6 只设低压配电室的供配电系统

第二节 电力系统的额定电压^①

一、电力系统的额定电压

电力系统的额定电压包括电力系统中各种供电设备、用电设备和电网的额定电压。所谓电气设备的额定电压,就是能使电气设备长期运行时获得最大技术经济效益的电压。它是国家根据经济发展的需要、技术经济的合理性、制造能力、产品的系列性和发展趋势等因素,经全面分析研究而制定的标准电压等级。制定标准电压等级的目的是使电力工业和电工制造业的生产标准化、系列化和统一化。我国标准规定的三相交流电网和电力设备的额定电压,如表 1-3 所示。

表 1-3 我国三相交流电网和电力设备的额定电压

类别	电网和用电设备的额定电压(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	0.22	0.23	0.22	0.23
	0.38	0.40	0.38	0.40
	0.66	0.69	0.66	0.69

^① 按 IEC(国际电工委员会)的规定,网络、线路、装置的电压应称为标称电压(Nominal Voltage),设备的电压应称为额定电压(Rated Voltage)。本书考虑到习惯问题,仍统称为额定电压。

续表

类别	电网和用电设备的额定电压(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
高压	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, 18, 20	13.8, 15, 18, 20	—
	35	—	35	38.5
	110	—	110	121
	154	—	154	169
	220	—	220	242
	330	—	330	363
	500	—	500	550

(一) 电网的额定电压

电网(或电力线路)的额定电压是确定其他各类电力设备额定电压的基本依据。电网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的水平,经全面的技术经济论证后确定的。实际运行时,由于线路通过电流时要产生压降,通常是线路的首端电压高于末端电压,如图 1-7 所示。要获得最佳的技术经济效果,就要维持线路的平均电压 U_{av} 等于额定电压 U_N ,即 $U_{av} = (U_a + U_b) / 2 = U_N$ 。电力线路的额定电压,也代表该线路所在电力网的额定电压,所以通常也称为电网的额定电压。

(二) 用电设备的额定电压

成批生产的用电设备,其额定电压不可能按使用处线路的实际电压来制造,而只能按电网的额定电压来制造。为使设备生产标准化,规定用电设备的额定电压与同级电网的额定电压相等。至于接在线路首端的用电设备的额定电压可能低于实际电压,制造厂家在制造设备时就留有裕度,实际电压即使超过设备的额定电压,也不会超过设备的最高工作电压,所以设备能安全工作。

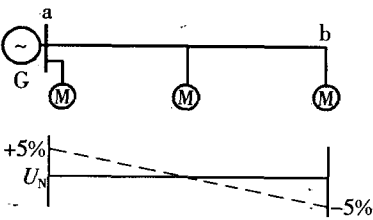


图 1-7 用电设备和发电机额定电压说明图

(三) 发电机的额定电压

电力线路允许的电压偏差一般为 $\pm 5\%$,为了维持线路的平均电压在额定值附近,线路首端电压就必须较线路的额定电压高 5% ,以此来补偿线路上的电压损耗。发电机处在线路的首端,所以发电机的额定电压高于同级电网额定电压的 5% ,如图 1-7 所示。

(四) 电力变压器的额定电压

1) 电力变压器的一次绕组的额定电压

电力变压器的一次绕组的额定电压要分两种情况:

(1) 变压器接在线路的末端时,应等于电网的额定电压,见图 1-8 的变压器 T2。因为变压器的一次绕组相当于用电设备,用电设备的额定电压等于同级电网的额定电压,所以,变压器一次绕组的额定电压等于同级电网的额定电压。

(2) 当变压器一次绕组直接与发电机相连时,变压器的一次绕组额定电压应等于发电机的额定电压,即比同级电网的额定电压高 5% ,见图 1-8 的变压器 T1。

2) 电力变压器二次绕组的额定电压

因为变压器二次绕组的额定电压与发电机的额定电压的概念有所不同,它是指当原边接入额定电压而二次绕组空载时所具有的电压,这样带上负载后,变压器本身有电压损耗。同时,变压器的二次绕组对于后面的线路和用电设备而言,相当于电源,处在线路的首端,其额定电压比线路的额定电压要高 5%。综合考虑这两个方面的因素,变压器二次绕组的额定电压分两种情况:

(1) 变压器二次绕组的额定电压比对应电网的额定电压高 10%, 见图 1-8 的变压器 T1, 其中 5% 是用来补偿变压器满载供电时, 变压器本身的电压损耗, 另外 5% 是用于补偿线路的电压损耗。此种情况适用于供电距离较长和变压器的电压损耗较大($U_k\% > 7.5$) 的场合。

(2) 变压器二次绕组的额定电压比对应电网的额定电压高 5%, 见图 1-8 的变压器 T2。这种情况适用于供电距离较短和变压器本身的电压损耗较小($U_k\% \leq 7.5$) 的场合。

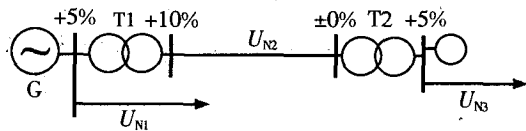


图 1-8 电力变压器的额定电压说明图

二、供配电系统额定电压的选择

一般来讲,提高供电电压能减少电能损耗,提高电压质量,节约金属,但却增加了线路及设备的投资费用。所以要综合考虑供电系统的供电电压等级。

《供电营业规则》规定:供电企业供电的额定电压,低压有单相 220 V、三相 380 V,高压有 10 kV、35(66)kV、110 kV、220 kV。并规定:除发电厂直配电压可采用 3 kV 或 6 kV 外,其他等级的电压应逐步过渡到上述的额定电压。

(一) 高压配电电压的选择

工业企业供配电系统的高压配电电压,主要取决于当地供电电源电压和企业高压用电设备的额定电压、容量和数量等因素。表 1-4 可作为选择高压配电电压时的参考。

表 1-4 各级电压电力线路合理的输送功率和输送距离

线路额定电压(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	≤ 2000	≤ 10
6	电缆线	≤ 3000	≤ 8
10	架空线	≤ 3000	5~15
10	电缆线	≤ 5000	≤ 10
35	架空线	2000~15000	20~50
63	架空线	3500~30000	30~100
110	架空线	10000~50000	50~150
220	架空线	100000~500000	200~300

工业企业内部采用的高压配电电压通常是 6~10 kV。从经济指标来看,最好采用 10 kV,但是,如果企业内部拥有相当多的 6 kV 的高压设备,或者供电电源的电压就是 6 kV(例如工厂直接从附近的发电机的 6.3 kV 母线取得电源),则可考虑采用 6 kV 电压作为企业的高压配电电压。如果不是属于上述情况,6 kV 的高压用电设备不多,则应采用 10 kV 作为高压配电电压,6 kV 的高压用电设备可通过专用的 10/6.3 kV 变压器单独供电。3 kV 作为高压配电电压的技术经济指标很差,不能采用,如果工厂有 3 kV 用电设备时,可采用 10/3.15 kV 的专用变压器单独供电。

如果当地的电源电压为 35 kV,而厂区环境条件又允许采用 35 kV 架空线路时,则可采用 35 kV 作为高压深入各负荷中心(车间或楼宇),并经负荷中心直接降为低压用电设备所需的电压。

国外大部分国家都有 20 kV 及相应的电压配电。在我国若采用 20 kV 配电,就可以相应地取消 10 kV 和 35 kV,这样可以简化电网的结构,节约电能损耗。根据有关资料论证,负荷密度在 50 MW/km² 以上者,应优先采用 20 kV 电压等级。我国从 1996 年 4 月在苏州新加坡工业园采用 20 kV 的电压等级配电起,到现在已有许多地方相继采用这个电压等级配电。但根据《GB156—1993 标准电压》的规定,20 kV 只作为推荐电压使用。

(二) 低压配电电压的选择

用户供配系统的低压配电电压,在我国一般采用 220/380 V,其中相电压 220 V 接一般照明灯具及其他 220 V 的单相设备,线电压 380 V 接三相动力设备及 380 V 的单相设备。但在采矿、石油和化工等少数部门,因负荷中心往往离变电所较远,常采用 660 V,甚至 1140 V 或 2000 V 等较高电压供电。采用高于 380 V 的低压配电电压,不仅可以减少线路的电压损耗和电能损耗,减少线路的有色金属的消耗量和初投资,还可以增加配电半径,减少变电点,简化供电系统。因此提高低压配电系统的电压,具有明显的经济效果,是节电的有效措施之一。但是从用电安全的角度讲,有一定的不利因素。

第三节 电力系统中性点运行方式

一、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和发电机的中性点。电力系统中性点运行方式主要有:①中性点不接地方式;②中性点经消弧线圈接地方式;③中性点直接接地方式。前两种系统合称为小接地电流系统,亦称中性点非有效接地系统。后一种称为大接地电流系统,亦称中性点有效接地系统。

电力系统中性点运行方式是一个综合性的技术问题,它与系统的供电可靠性、人身设备安全、绝缘水平、过电压保护、继电保护、通讯干扰及接地装置等问题有密切关系。

二、小接地电流系统

(一) 中性点不接地系统

中性点不接地系统的等值电路如图 1-9(a)所示。图中三相交流的相别代号采用 A、B、C^①。

^① 根据 GB 4728.11—1985 对三相交流系统的相别符号的规定:对于电源,一、二、三相分别标 L₁、L₂、L₃;对于设备端,一、二、三相分别标 U、V、W。本书的相别代号考虑到习惯问题,仍统一采用 A、B、C。

1. 正常运行

正常运行时,由于各相相电压 $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$ 是对称的,如果线路经过完全换位,线路参数相等,则各相对地的电容电流 $\dot{I}_{C,A}$ 、 $\dot{I}_{C,B}$ 、 $\dot{I}_{C,C}$ 也是对称的,如图 1-9(b)所示,则其相量和等于零,即流入大地的电容电流为零。中性点电位也为零。

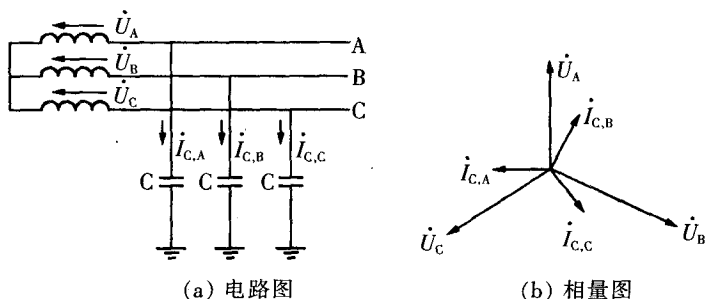


图 1-9 中性点不接地系统的正常运行状态

2. 单相完全接地(设 C 相接地)

当系统发生 C 相完全接地(接地阻抗为零)时,各相对地电压及中性点对地电压都发生了变化。由图 1-10 可知,各相对地电压为

$$\begin{cases} \text{接地相对地电压为} & \dot{U}_C' = 0 \\ \text{非接地相对地电压为} & \dot{U}_A' = \dot{U}_A - \dot{U}_C \\ & \dot{U}_B' = \dot{U}_B - \dot{U}_C \end{cases} \quad (1-1)$$

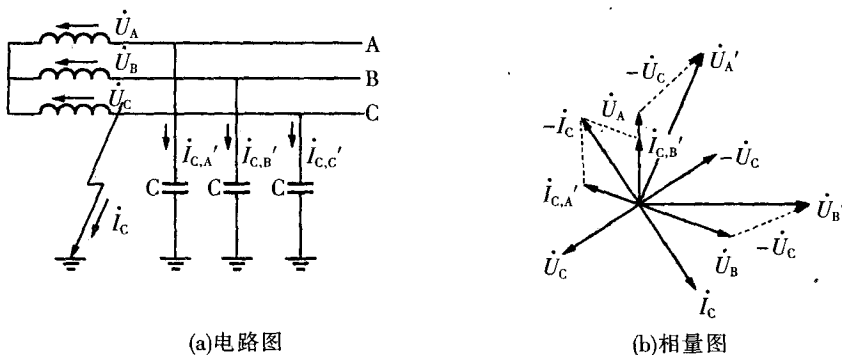


图 1-10 中性点不接地系统 C 相完全接地时的情况

从图 1-10(b)的相量图分析可知:非接地相对地电压升高 $\sqrt{3}$ 倍;中性点对地电压 $\dot{U}_N = -\dot{U}_C$,即中性点对地电压为相电压。

系统的线电压为

$$\begin{cases} \dot{U}_{AB}' = \dot{U}_A' - \dot{U}_B' = \dot{U}_{AB} \\ \dot{U}_{BC}' = \dot{U}_B' - \dot{U}_C' = \dot{U}_B' = \dot{U}_{BC} \\ \dot{U}_{CA}' = \dot{U}_C' - \dot{U}_A' = -\dot{U}_A' = \dot{U}_{CA} \end{cases} \quad (1-2)$$

由式(1-2)可以看出,在中性点不接地系统中,发生单相完全接地时,系统线电压的大小和相位仍维持不变。由于未接地相(A、B两相)的相对地电压升高 $\sqrt{3}$ 倍,所以对地的电容电流

也较正常时的电容电流 I_{C0} 升高 $\sqrt{3}$ 倍, 即 $I_{CA}' = I_{CB}' = \sqrt{3}I_{C0}$, 由于 C 相的电容 C 被短接, 所以 C 相对地的电容电流 $I_{CC}' = 0$ 。根据图 1-10(a) 中的各电流的参考方向, 通过 C 相流入地中的电容电流为 $I_C = -(I_{CA}' + I_{CB}')$, 由图 1-10(b) 可以看出, $I_C = \sqrt{3}I_{CA}' = \sqrt{3}I_{CB}' = 3I_{C0} = 3\omega CU_\varphi$, 即中性点不接地系统中发生单相完全接地时, 流入地中的电容性电流为正常运行时每相对地电容电流的 3 倍。 I_C 的相位超前 $\dot{U}_C$ (接地相相电压) 90° 。

由于实际的接地电容电流计算较难, 所以工程上一般采用下列经验公式来计算单相接地电容电流, 即

$$I_C = \frac{U_N(l + 35L)}{350} \quad (1-3)$$

式中 I_C ——系统的单相接地电容电流, A;

U_N ——电网的额定线电压, kV;

l ——与同一电压 U_N 具有电气联系的架空线路的总长度, km;

L ——与同一电压 U_N 具有电气联系的电缆线路的总长度, km。

在不完全接地 (即接地阻抗不为 0) 时, 接地相的相对地电压大于 0 而小于相电压, 非接地相的相对地电压则大于相电压而小于线电压。此时, 接地电流也比完全接地时小些。

在中性点不接地系统中, 发生单相完全接地时, 由于非故障相对地电压升高 $\sqrt{3}$ 倍, 所以该系统的对地绝缘要按线电压设计。发生单相接地时, 系统的三个线电压的大小和相位仍维持不变, 所以系统的所有设备仍可照常运行, 这样提高了供电的可靠性。但不允许长时间运行 (小于 2 小时), 否则在绝缘薄弱的地方可能造成绝缘击穿而形成相间短路。为此, 在这种系统中, 应装设专门的绝缘监察装置和单相接地保护装置, 在发生单相接地时, 发出预告信号, 以引起值班人员的注意, 并在最短的时间内将故障消除。

发生单相接地时接地电流将在故障点形成电弧, 当接地的电容电流大于 30 A 时, 将产生稳定性电弧, 电弧可能烧坏设备或引起相间短路, 使接地故障扩大为短路故障; 当接地的电容电流大于 5 A 而小于 30 A 时, 形成一种不稳定的间歇性电弧, 呈现燃弧与熄灭交替出现的状态, 因电路中存在电感和电容, 此种电弧中又含有复杂频率的交流成分, 所以易出现串联谐振而产生过电压。

3~10 kV 系统承受过电压倍数的能力较强, 间歇性电弧所引起的过电压, 对电气设备的绝缘危害性不大; 而 20~60 kV 系统承受过电压倍数的能力较差, 间歇性电弧引起的过电压对电气设备的绝缘是危险的, 因此这种系统的接地的电容电流 I_C 不得超过 10 A。

目前我国中性点不接地系统的适用范围为:

(1) 3~10 kV 系统, 单相接地电容电流 $I_C \leq 30$ A; 发电机直配系统, 单相接地电容电流 $I_C \leq 5$ A。

(2) 20~60 kV 系统, 接地电容电流 $I_C \leq 10$ A。

(3) 1200 V 以下的 IT 系统。

(二) 中性点经消弧线圈接地系统

在上述的不接地系统中, 当接地的电容电流大于上述的规定值时, 电弧将不能自行熄灭。为了克服这个缺点, 可将电力系统的中性点经消弧线圈接地, 如图 1-11 所示。

消弧线圈是一个具有铁芯的电感线圈, 其电抗很大, 电阻很小。消弧线圈有许多分接头, 用以调整线圈的匝数, 改变电感的大小, 从而调节消弧线圈的电感性电流。

正常工作时, 中性点电位为零, 加在消弧线圈两端的电压为 0, 所以没有电流通过消弧