

高等学校智能建筑技术

系列教材

建筑供配电系统设计

曹祥红 张 华 陈继斌 主 编
寿大云 崔光照 主 审



人民交通出版社

China Communications Press

高等学校智能建筑技术系列教材

Jianzhu Gongpeidian Xitong Sheji

建筑供配电系统设计

曹祥红 张 华 陈继斌 主 编
寿大云 崔光照 主 审

人民交通出版社

前言

QIANYAN

本书是为适应高等学校“卓越工程师培养计划”的专业教学需要而组织编写的。在内容阐述上,强调以工程综合应用为目的,突出培养学生掌握建筑供配电系统设计的理念、规范要求和实际应用中所需的知识及能力,充分体现建筑供配电系统设计技术的新发展和国家标准规范的新要求。内容包括建筑供配电系统设计基础、常用电气设备、建筑变配电所的结构布置及主接线、负荷计算及无功功率补偿、短路电流及其计算、电气设备的选择与校验、导线和电缆的选择、建筑低压配电系统设计、建筑防雷与接地系统、建筑供配电系统设计工程实例等。书中例题与习题大多精心选自工程实际。在本书的编写过程中,我们力求做到:

1. 内容全面。本书全面介绍了建筑供配电系统设计的内容、程序和要求等相关基础知识,并介绍了进行建筑供配电系统设计必备的负荷计算、短路电流计算、电气设备及其选择、导线和电缆的选择等基本理论,在此基础上结合实例对建筑供配电所结构布置与主接线、建筑低压配电系统设计、防雷与接地系统设计等进行了论述,最后介绍了一个建筑供配电系统设计的工程实例。

2. 实用性强。以工程应用为出发点,重点培养解决实际工程技术问题的能力。在能够说明基本原理的基础上,尽量减少理论推导过程,内容通俗易懂;通过大量的例题和设计实例,使学生尽快掌握解决实际工程技术问题的方法。

3. 技术内容新。本书的编写中注意贯彻最新的国家标准和设计规范,采用新的电气符号,重点论述应用前景看好的新技术、新设备和新方法,使内容更新颖、更实用,在文字叙述上也力求简明易懂,条理清楚,安排得当。

4. 工程应用性强。本书强调以工程综合应用为目的,突出了培养学生掌握工程设计的理念、规范要求和实际应用知识的能力,目标旨在培养合格的建筑供配电系统设计工程师,专设建筑供配电系统设计工程实例一章,通过大量的图纸实例,让学生将前面所学理论内容系统化,达到通过本课程的学习能够识读建筑供配电系统图纸和独立进行部分的建筑供配电系统设计的能力,提高了实践教学效果,为课程设计和毕业设计打下坚实的基础。

本书是智能建筑系列教材之一,既可作为高等学校建筑电气与智能化、建筑环境与设备工程、电气工程及其自动化等专业相关课程的本科学生用书,也可作



为教师的教学参考用书,同时也可用于供配电工程设计、监理、安装和运行技术人员的培训和参考用书。本书同时提供电子课件方便教学,需要者可向作者索取,联系邮箱:caoxhong@zzuli.edu.cn。

本书由郑州轻工业学院曹祥红、河南工业大学张华、郑州轻工业学院陈继斌、张志艳、朱向前、过金超、平顶山城建学院程坦共同完成,曹祥红、张华、陈继斌担任主编,负责全书的构思和统稿。

全书共分十章,第一、十章由曹祥红编写,第三、五章由张华编写,第二、七章由陈继斌编写,余下章节和附录由张志艳、朱向前、过金超、程坦共同完成编写。北京林业大学寿大云教授和郑州轻工业学院崔光照教授担任本书主审,河南省建筑设计研究院有限公司段玉荣高工也提出了很多宝贵意见,在此向他们表示衷心的感谢。本书在编写过程中参考了许多的相关教材、手册、规范和标准图集,在此向所有作者表示诚挚的谢意。

由于编者知识水平有限,编写时间仓促,书中疏漏在所难免,敬请读者批评指正。

目录

MULU

第一章 建筑供配电系统设计基础	1
第一节 电力系统概述	1
第二节 供电电能的质量	8
第三节 建筑供配电的负荷分级及供电要求	13
第四节 建筑供配电系统设计的内容、程序及要求	20
思考与练习题	26
第二章 常用电气设备	28
第一节 建筑供配电系统电气设备的分类	28
第二节 电气设备中的电弧问题	28
第三节 高压电气设备	29
第四节 低压电气设备	43
思考与练习题	50
第三章 建筑变配电所的结构、布置及主接线	51
第一节 供电区域的规划设计	51
第二节 建筑变配电所的类型、结构及布置	55
第三节 变配电所主接线设计	63
思考与练习题	75
第四章 负荷计算及无功功率补偿	76
第一节 负荷计算的意义和目的	76
第二节 计算负荷的确定	77
第三节 功率因数和无功功率补偿	86
第四节 建筑供配电系统中的功率损耗	91
第五节 配电变压器容量的计算	92
第六节 应急电源容量的计算	97
第七节 建筑供配电工程负荷计算实例	102
思考与练习题	103
第五章 短路电流及其计算	105
第一节 短路概述	105
第二节 三相短路的过渡过程及其相关物理量	108
第三节 短路电流的计算	112
第四节 电动机对短路冲击电流的影响	121



第五节 短路电流的效应	122
思考与练习题	131
第六章 电气设备的选择与校验	133
第一节 电气设备选择与校验的一般原则	133
第二节 高压电气设备的选择	135
第三节 低压电气设备的选择	144
思考与练习题	150
第七章 导线和电缆的选择	151
第一节 导线和电缆的分类及型号选择	151
第二节 导线和电缆截面选择的一般原则	155
第三节 按发热条件选择线缆截面	157
第四节 按允许电压损失选择线缆截面	159
第五节 按经济电流密度选择线缆截面	166
第六节 线缆短路时的热稳定性校验	167
思考与练习题	167
第八章 建筑低压配电系统设计	169
第一节 建筑低压配电系统设计原则	169
第二节 建筑低压配电系统的接地形式选择	171
第三节 低压用电设备和配电线路的保护	175
第四节 电度表及接线方式	177
第五节 低压配电箱(盘)	180
第六节 各类建筑物低压配电系统设计要点	182
第七节 建筑低压配电系统图	188
思考与练习题	192
第九章 建筑防雷与接地系统	193
第一节 过电压与雷电基本知识	193
第二节 建筑物防雷装置的组成及作用	195
第三节 建筑物的防雷分类及保护措施	198
第四节 接地装置设置与接地电阻计算	206
第五节 建筑物等电位联结	215
思考与练习题	217
第十章 建筑供配电系统设计工程实例	218
第一节 工程概况	218
第二节 负荷分级、负荷计算及无功功率补偿	218
第三节 供电电源、电压选择与电能质量	225
第四节 电力变压器选择	226
第五节 变电所电气主接线设计与变电所所址和型式的选择	228
第六节 低压配电干线系统设计	229



第七节 短路电流计算及设备和导线的选择.....	232
第八节 防雷与接地系统设计.....	242
附录.....	246
附录 I 建筑电气工程图纸中常用电气图形符号和文字符号	246
附录 II 部分常用技术数据表格.....	252
附录 III 建筑供配电系统设计工程实例部分图纸	271
附录 IV 思考与练习题参考答案	285
参考文献.....	289

本章重点介绍电力系统的组成及中性点运行方式、电力系统的额定电压和建筑供配电系统设计的内容、程序和要求等相关基础知识。

第一节 电力系统概述

电能是能量的一种表现形式,不论是工农业生产中各种机械设备的运输、控制,还是日常生活中家用电器的使用和照明等都离不开电能。电能已广泛的应用到社会生产生活的各个方面,电力的发展直接影响着国民经济各部门的发展,影响着整个人类社会的进步。

供配电,即电能的供应和分配。建筑供配电就是指建筑所需电能的供应和分配问题。工厂企业和建筑物所需要的电能绝大多数是由公共电力系统供给的,所以有必要先了解电力系统的基本知识。

一、电力系统的组成及特点

1. 电力系统的组成

发电厂是把各种形式的天然能源转化为电能的工厂,变电所将发电厂生产的电能进行变换并通过输电线路分配给用户使用。这一从电能的生产到将电能安全、可靠、优质地输送给用户的系统,就称为电力系统,如图 1-1 所示。

在电力系统中,由变电所和各种不同电压等级的电力线路以及进行电能的输送、交换和分配电能的设备,组成电力网。电力网是联系发电厂和用户的中间环节。

电力系统中各环节的作用分别如下:

(1)发电厂:将水力、煤炭、石油、核能、风力、太阳能、原子能、潮汐、地热等能量转变成电能的工厂,可分为火力发电厂、水力发电厂、核电厂及其他方式发电厂等。

(2)变(配)电所:接受电能、变换电压和分配电能的场所,由电力变压器和配电装置组成,

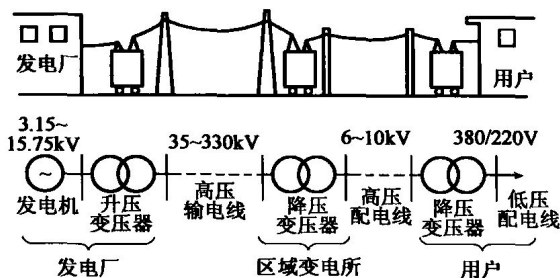


图 1-1 电力系统的组成



按变压的性质和作用又可分为升压变电所和降压变电所两种,对于没有电力变压器的称为配电所。

(3) 电力线路: 输送电能, 并把发电厂、变配电所和电能用户连接起来。

(4) 电能用户: 又称电力负荷。在电力系统中, 一切消费电能的用电设备均称为电能用户。

由发电、输电、变电、配电等环节构成的系统组成供配电系统。工业与民用建筑供配电系统在电力系统中属于建筑楼(群)内部供配电系统, 由高压供电电源、变电站(配电所)、低压配电线路和用电设备组成。供配电系统结构如图 1-2 所示。

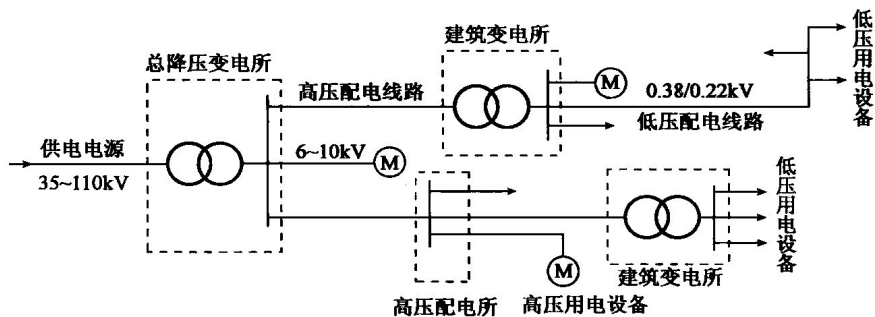


图 1-2 供配电系统结构

2. 电力系统运行的特点

电能与其他形式能量的生产与运用有显著的区别,其特点如下:

(1) 电能发、输、配的同时性。电能不能大量储存,电能的生产、输送和使用几乎是同时进行的,即发电厂任何时刻生产的电能必须等于该时刻用电设备使用的电能与分配、输送过程中所损耗的电能之和。这就要求系统结构合理,便于运行调度。

(2) 电力系统中暂态过程的快速性。电力系统正常运行时,任一设备运行状态的转换都是快速完成的。当电力系统出现故障时,其在电磁和机电方面的过渡过程也是十分短暂的。为了使电力系统安全可靠地运行,必须有一整套迅速和灵敏的监视、测量、控制和保护装置。

(3) 电能生产的重要性。电能与其他能量之间转换方便,易于大量生产、集中管理、远距离输送、自动控制,因此电能是国民经济各部门使用的主要能源,电能供应的中断或不足将直接影响国民经济各部门的正常运转。这就要求系统运行的可靠和电能供应的充足。随着电子技术和计算机技术的发展,可实现对电力系统的计算机监控和管理,大大提高了供配电系统的可靠性、安全性和灵活性。

二、电力系统的电压

额定电压是指能使电气设备长期运行的最经济的电压。电力系统中的电气设备都是按照额定电压和额定功率来设计的,当电气设备在额定电压和额定频率下运行时,具有最好的技术指标和经济指标。表 1-1 是国家标准规定的我国三相交流电网、发电机和电力变压器的标准额定电压(GB/T 156—2007)。



我国三相交流电力网的额定电压

表 1-1

分类	电气设备的 最高电压(kV)	电力网(电力线路) 额定电压(kV)	交流发电机 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	0.22/0.127		0.23	0.22/0.127	0.23/0.133
	0.38/0.22		0.40	0.38/0.22	0.40/0.23
	0.66/0.38		0.69	0.66/0.38	0.69/0.40
高压	3.6	3	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
	7.2	6	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
	12	10	10.5, 13.8, 15.75, 18	10, 10.5, 13.8, 15.75, 18	10.5 及 11
	24	20	20, 22, 24, 26	—	—
	40.5	35	—	35	38.5
	72.5	66	—	66	72.6
	126	110	—	110	121
	252	220	—	220	242
	363	330	—	330	363
	550	500	—	500	550
	800	750	—	750	—
1100	1000	—	1000	—	

1. 电力线路的额定电压

电力线路(或电力网)的额定电压等级是根据国家国民经济发展的需要及电力工业的水平,经全面技术经济分析后确定的,是确定各类用电设备额定电压的基本依据。

2. 用电设备的额定电压

用电设备运行时,电力线路上要有负荷电流流过,因而在电力线路上引起电压损失,造成电力线路上各点电压略有不同。但成批生产的用电设备,其额定电压不可能按使用地点的实际电压来制造,而只能按线路首端与末端的平均电压,即电力线路的额定电压来制造。电气设备可以长期在其额定电压的 110%~115% 下安全运行,选择电气设备额定电压不低于电网的额定电压,就能使各电气设备在接近它们的额定电压下运行。因此规定用电设备的额定电压不低于同级电力线路的额定电压。

3. 发电机的额定电压

由于电力线路允许的电压损失为 $\pm 5\%$,即整个线路允许有 10% 的电压损失。为了维护线路首端与末端平均电压的额定值,线路首端(电源端)电压应比线路额定电压高 5%,而发电机是接在线路首端的,所以规定发电机的额定电压高于同级线路额定电压 5%,用以补偿线路上的电压损失。

4. 电力变压器的额定电压

1) 电力变压器一次绕组的额定电压

(1) 电力变压器直接与发电机相连,其一次绕组额定电压与发电机额定电压相同,即高于线路额定电压的 5%;



(2) 电力变压器不与发电机相连,而是连接在线路上,变压器可看作是线路上的用电设备,其一次绕组额定电压应与线路额定电压相同。

2) 电力变压器二次绕组的额定电压

(1) 变压器二次侧供电线路很长时,变压器二次侧的额定电压,既要补偿变压器二次绕组本身 5% 的阻抗电压降,还要考虑补偿线路上的电压损失,故变压器二次绕组的额定电压要比电力线路额定电压高 10%;

(2) 变压器二次侧供电线路不长时,变压器二次侧的额定电压,只需要补偿变压器二次绕组本身 5% 的阻抗电压降,不必考虑补偿线路上的电压损失,故变压器二次绕组的额定电压只需高于电力线路额定电压 5%。

【例 1-1】 确定图 1-3 中电力系统各级额定电压。

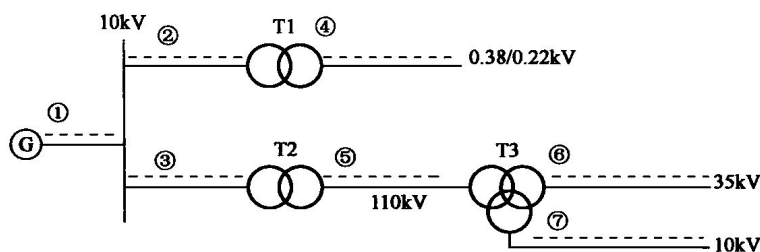


图 1-3 例 1-1 图

解:①处为发电机额定电压,高于同级线路额定电压 5%,即为 $10\text{kV} + 5\% \times 10\text{kV} = 10.5\text{kV}$ 。

②处和③处均为变压器一次绕组的额定电压,直接与发电机相连,为发电机额定电压,即均为 10.5kV 。

④处为变压器二次绕组额定电压,线路为低压线路,传输距离不长,额定电压只需高于电力线路额定电压 5%,即为 $0.38/0.22\text{kV} + 5\% \times (0.38/0.22)\text{kV} = 0.4/0.23\text{kV}$ 。

⑤处为变压器二次绕组额定电压,线路为高压线路,传输距离长,额定电压高于线路额定电压的 10%,即为 $110\text{kV} + 10\% \times 110\text{kV} = 121\text{kV}$ 。

⑥和⑦均为变压器的二次绕组额定电压,线路为高压线路,长距离传输,额定电压高于线路额定电压的 10%,即⑥处为 $35\text{kV} + 10\% \times 35\text{kV} = 38.5\text{kV}$;⑦处为 $10\text{kV} + 10\% \times 10\text{kV} = 11\text{kV}$ 。

三、电力系统的中性点运行方式

电力系统中作为电源的三相发电机和三相电力变压器的中性点是否接地以及如何接地,构成了供电系统中性点运行方式,一般有四种接地运行方式。

1. 中性点不接地运行方式

中性点不接地即系统中所有电源的中性点都不接地,如图 1-4 所示。

线路正常运行时,三相电压对称。此时,系统中线路与大地之间、电气设备的绕组与大地之间存在的对地分布电容对称且相等。此时有

$$\dot{U}_U + \dot{U}_V + \dot{U}_W = 0 \quad (1-1)$$



$$\dot{U}_0 = 0 \quad (1-2)$$

$$\dot{I}_{CU} + \dot{I}_{CV} + \dot{I}_{CW} = 0 \quad (1-3)$$

即中性点不接地系统正常运行时,三相对地电容电流的相量和为零,中性点对地电压为零,大地中没有电流流过。各相的对地电压为三相电源的相电压。

当中性点不接地系统发生单相接地故障时,假设 W 相接地,如图 1-5 所示。

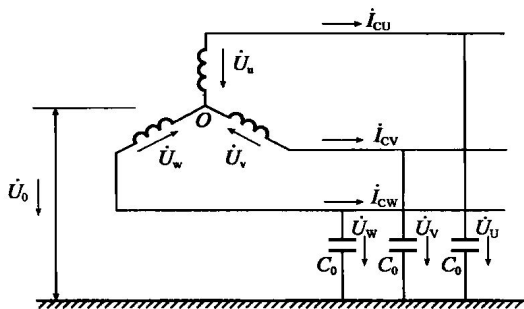


图 1-4 中性点不接地系统正常运行

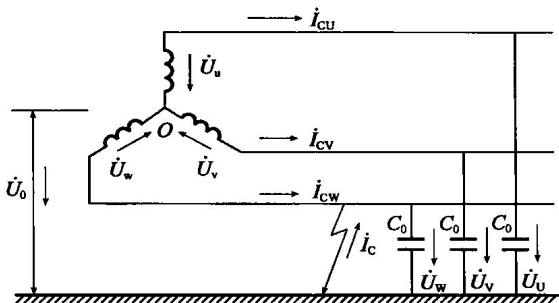


图 1-5 中性点不接地系统 W 相单相接地

则 W 相对地电压为零,即

$$\dot{U}_w = \dot{U}_0 + \dot{U}_w = 0 \quad (1-4)$$

中性点的对地电压

$$\dot{U}_0 = -\dot{U}_w \quad (1-5)$$

即中性点的电压上升为相电压。

其他两相的对地电压

$$\dot{U}_U = \dot{U}_0 + \dot{U}_u = \dot{U}_u - \dot{U}_w = \sqrt{3} \dot{U}_w e^{-j150^\circ} \quad (1-6)$$

$$\dot{U}_V = \dot{U}_0 + \dot{U}_v = \dot{U}_v - \dot{U}_w = \sqrt{3} \dot{U}_w e^{j150^\circ} \quad (1-7)$$

此时,接地故障点通过的故障电流是两非故障相对地电容电流之和:

$$\begin{aligned} \dot{I}_C &= \dot{I}_{CU} + \dot{I}_{CV} = jaC \dot{U}_U + jaC \dot{U}_V \\ &= C \times \sqrt{3} \dot{U}_w (e^{-j150^\circ} + e^{j150^\circ}) \\ &= -3jaC \dot{U}_0 \end{aligned} \quad (1-8)$$

$$\dot{I}_C = 3\omega C U_{ph} \quad (1-9)$$

式中: U_{ph} ——相电压有效值。

由以上分析可知:

(1) 中性点对地电压 \dot{U}_0 与接地相正常时的电压大小相等,方向相反;

(2) 接地故障相的对地电压降为零;两正常相对地电压升高为相电压的 $\sqrt{3}$ 倍,即升高到线电压。三个线电压仍保持对称和大小不变,因此电力用户可以继续运行一段时间。这是这种系统的主要优点,但各种设备的绝缘水平应按线电压来设计。

(3) 两正常相的电容电流增大为正常运行时相对地电容电流的 $\sqrt{3}$ 倍;而流过接地点的电



容电流 I_C 为正常运行时相对地电容电流的 3 倍。

由于线路对地电容电流很难准确计算,所以单相接地电流(电容电流) I_C 通常可按下列经验公式计算

$$I_C = \frac{(l_1 + 35l_2)U_N}{350} = \frac{U_N l_1}{350} + \frac{U_N l_2}{10} \quad (1-10)$$

式中: U_N ——电网的额定线电压(kV);

l_1 ——同级电网具有电的直接联系的架空线路总长度(km);

l_2 ——同级电网具有电的直接联系的电缆线路总长度(km)。

通常,中性点不接地系统发生单相接地时,线电压的大小和方向均不改变。因此在发生单相接地时,继电保护装置一般只动作于信号,不动作于跳闸,系统可以继续运行 2h。在此期间必须迅速查明故障,以防系统多点接地造成更严重的故障。

必须指出,中性点不接地系统发生单相接地,当接地电流较大时,接地电流在故障处可能产生稳定的或间歇性的电弧。如果接地电流大于 30A 时,将形成稳定电弧,成为持续性电弧接地,将烧毁电气设备和可能引起多相相间短路。如果接地电流大于 5~10A,而小于 30A,则有可能形成间歇性电弧,容易引起弧光接地,导致相对地电压幅值可达 2.5~3 倍相电压,将危害整个电网的绝缘安全。如果接地电流在 5A 以下,当电流经过零值时,电弧就会自然熄灭。因此中性点不接地系统仅适用于电压不是太高(3~60kV),单相接地电容电流不大的电网。

目前我国规定中性点不接地系统的适用范围为:单相接地电流不大于 30A 的 3~10kV 电力网和单相接地电流不大于 10A 的 35~60kV 电力网。当单相接地电流大于上述规定值时,就要采用中性点经消弧线圈接地。

2. 中性点直接接地运行方式

系统中性点经一无阻抗(金属性)接地线接地的方式,称为中性点直接接地系统。中性点直接接地系统发生单相接地时,通过接地中性点形成单相短路,产生很大的短路电流,该值远大于线路的正常负荷电流,继电保护会立即动作切除故障线路,使系统的其他部分恢复正常运行。

中性点直接接地系统在发生单相接地时,接地电流很大,如不及时切除,会造成设备损坏,严重时会使系统失去稳定。为保证设备安全及系统稳定,必须安装保护装置,迅速切断故障。电力系统发生单相接地故障的比重占整个故障的 65% 以上,当发生单相接地切除故障线路时,将中断向用户供电,降低了供电的可靠性。为了弥补这个缺点,在线路上广泛安装三相或单相自动重合闸装置,当系统是暂时性故障时,靠它来尽快恢复供电。为了限制单相接地电流,通常只将电网中一部分变压器的中性点直接接地。

中性点直接接地的电力系统发生单相接地时,中性点电位仍为零,非故障相对地电压基本不变,电气设备的绝缘水平只要按电力网的相电压考虑,可以降低工程造价。因此,我国 110kV 及以上电网,国外 220kV 及以上电网基本上都采用这种接地方式。

对于 1kV 以下的低压系统来说,电力网的绝缘水平已不成为主要矛盾,系统中性点接地与否,主要从人身安全考虑。在 380/220V 系统中,一般都采用中性点直接接地方式,一旦发生单相接地故障,故障电流大,可以迅速跳开自动开关或烧断熔断器;另一方面,此时非故障相电压基本不升高,不会超过 250V。和中性点不接地系统单相接地电压为 380V 相比,相对是



安全的。当然,即使是 250V 的相电压,仍然是危险的,发生故障时保护装置迅速动作仍然是保证安全的方法。

中性点直接接地系统较大的单相短路电流将产生磁场,对附近的通信线路和电子装置产生电磁干扰。为了避免这种干扰,应使输电线路远离通信线路,或在弱电线路上采用特殊的屏蔽装置。

3. 中性点经消弧线圈接地运行方式

消弧线圈是安装在变压器或发电机中性点与大地之间的具有铁芯的可调电感线圈。如图 1-6 所示,当发生单相接地故障时,接地故障相与消弧线圈构成了另一个回路,接地故障相接地电流中增加了一个与接地电容电流 \dot{I}_C 的大小相近,方向相反的电感电流 \dot{I}_L ,对电容电流进行补偿,减小了接地故障点的故障电流,使电弧易于自行熄灭,从而避免了由此引起的各种危害,提高了供电可靠性。

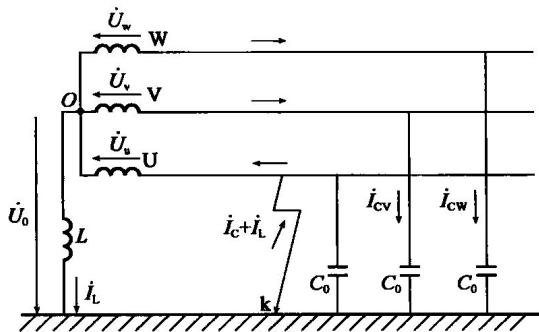


图 1-6 中性点经消弧线圈接地

当系统发生单相接地故障时,消弧线圈在中性点电压 \dot{U}_0 作用下,有一电感性电流 \dot{I}_L 流过线圈

$$\dot{I}_L = \frac{\dot{U}_0}{jX_L} = -j \frac{\dot{U}_0}{\omega L} \quad (1-11)$$

其值的大小为

$$I_L = \frac{U_{ph}}{\omega L} \quad (1-12)$$

\dot{I}_L 滞后 $\dot{U}_0 90^\circ$,正好与 \dot{I}_C 相位相反,两者之和等于它们绝对值之差。根据消弧线圈的电感电流 \dot{I}_L 对电网电容电流 \dot{I}_C 的补偿程度,可分为全补偿、欠补偿和过补偿 3 种不同的运行方式:

(1)全补偿方式:若 $I_L = I_C$,接地电容电流将全部被电感电流补偿,即全补偿方式。这种补偿方式因感抗等于容抗,电力网将发生谐振,产生危险的高电压和过电流,影响系统安全运行。因此,一般系统都不允许采用全补偿方式。

(2)欠补偿方式:选择消弧线圈的电感,使 $I_L < I_C$,称为欠补偿方式。采用欠补偿方式时,当电力网运行方式改变而切除部分线路时,整个电力网对地电容将减少,有可能发展为全补偿方式,导致电力网发生谐振。再者,欠补偿方式还有可能出现数值很大的铁磁谐振过电压。因此,欠补偿方式目前很少采用。

(3)过补偿方式:选择消弧线圈的电感使 $I_L > I_C$,称为过补偿方式。在过补偿方式下,即使电力网运行方式改变而切除部分线路时,也不会发展为全补偿方式。同时由于消弧线圈有一定的裕度,今后电力网发展,线路增多,原有消弧线圈还可以继续使用。因此,经消弧线圈接地的系统一般采用过补偿方式。



常把 $K = \frac{I_L}{I_C}$ 称为消弧线圈的补偿度, 而 $\nu = 1 - K = \frac{I_C - I_L}{I_C}$ 称为脱谐度。目前一般脱谐度选在 10% 左右。

消弧线圈的补偿容量 S 通常是根椐该电网的接地电容电流值 I_C 选择的。选择时应考虑电网 5 年左右的发展远景及过补偿运行的需要, 按式(1-13)进行计算

$$S = 1.35 I_C \frac{U_N}{\sqrt{3}} \quad (1-13)$$

凡不符合中性点不接地要求的 3~63kV 电网, 均可采用中性点经消弧线圈接地方式。必要时, 110kV 电网也可采用。电压等级更高的电网不宜采用, 因为经消弧线圈接地时, 电网的最大长期工作电压和过电流水平都较高, 将显著增加绝缘方面的费用。

长期以来, 消弧线圈补偿电流都是手动调节方式(分接头切换), 不能达到准确、及时、令人满意的补偿效果。目前有自动跟踪补偿装置, 能根据电网电容电流变化而进行自动调谐, 平均无故障时间最少, 其补偿效果是离线调匝式消弧线圈无法比拟的。

消弧线圈电感值的调节, 可以通过改变铁芯气隙长度或运用现代电子技术改变铁芯的导磁率来平滑调节。

4. 中性点经低值电阻接地运行方式

由于城市建设的需要, 城市电网和工业企业配电网中, 电缆线路所占的比例愈来愈大, 而它的电容电流是同样长度架空线的 20~50 倍, 使某些电网出现消弧线圈容量不足的情况。因此中性点经低值电阻接地在这些电网中得到应用。

中性点经低值电阻接地系统, 单相接地时, 短路电流较大, 应设置快速、有选择性地切除接地故障的保护装置。中性点电压不等于零, 两个非故障相的电压可能升高, 或产生串联谐振。因此, 接地电阻 R_N 的选择应为该保护装置提供足够大的故障电流, 使保护装置可靠动作, 又能限制暂态过电压在 2.5 倍相电压以下。为此 R_N 可由式(1-14)计算:

$$R_N = \frac{U_{ph}}{(2 \sim 3) I_C} \quad (1-14)$$

中性点经低值电阻接地系统, 单相接地时, 短路电流从数百至数千安不等, 对电信系统也有影响, 但比中性点直接接地系统小。由于短路后立即跳闸, 对供电可靠性也有影响, 也要采取相应的措施, 如双电源供电、自动重合闸、备用电源自动投入、环网供电等。

中性点经低值电阻接地系统适用于城市以电缆为主、单相接地电流较大的 6~35kV 系统(不包括发电厂用电和煤炭企业用电系统)。

第二节 供电电能的质量

一、供配电的基本要求

为了切实保证生产和生活用电的需要, 并做好节能工作, 供配电工作必须达到以下基本要求:

- (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。应满足电能用户对供电可靠性即供电连续性的要求。



(3) 优质。应满足电能用户对电压和频率等方面的质量要求。

(4) 经济。应使供配电系统的投资少、运行费用低,并尽可能地节约电能和减少有色金属消耗量。

二、供电电能的质量

电能质量是指供电装置在正常情况下不中断和不干扰用户使用电力的物理特性。电能质量不合格将导致用电设备不能正常工作,并严重影响其寿命甚至危及运行安全。影响电能质量的因素主要是指电力网上的电气干扰,包括:频率偏差、电压偏差、电压波动和闪变、高次谐波和三相不平衡等。除此之外还包括供电可靠性、操作容易、维护费用低和能源使用合理等。

1. 供电频率、频率偏差及其改善

频率是衡量电力系统电能质量的一项重要指标。我国采用的工业频率为 50Hz,一般交流电力设备的额定频率就是 50Hz,简称为“工频”。

电力系统频率的变化对用户、发电厂及电力系统本身都会产生不利影响。如:若系统频率上下波动,则电动机的转速也随之波动,这将直接影响电动机加工产品的质量,易出现残次品。频率降低将使电动机的转速下降,从而使生产效率降低,并影响电动机的寿命;频率增高将使电动机的转速上升,增加功率消耗,降低经济性。同时,频率偏差也将对发电厂本身造成更为严重的影响。

频率偏差是指实际频率 f 与额定频率 f_N 的差值,即

$$\Delta f = f - f_N \quad (1-15)$$

我国国家标准规定的电力系统频率偏差限值为:

(1) 电力系统正常运行条件下,频率偏差限值为 $\pm 0.2\text{Hz}$ 。当系统的容量较小时(3 000MW 以下),频率偏差限值可以放宽到 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

(2) 在电力系统非正常状况下,频率偏差限值不超过 $\pm 1.0\text{Hz}$ 。

实际运行中,我国各跨省电力系统频率都保持在 $\pm 0.1\text{Hz}$ 的范围内,这在电网质量中是最有保证的。

2. 供电电压、电压偏差及其调整

电压是衡量电力系统中电能质量的重要参数之一,电力系统中所有的电力设备都有规定的工作电压和频率。在额定电压和额定频率下工作时,电气设备的安全性、经济性最好,使用寿命长。

电压偏差是指电气设备的实际电压与系统标称电压(额定电压)之差,是由于供配电系统运行方式的改变以及负荷的并不剧烈的变动所引起的电压的缓慢变动。设用电设备的额定电压为 U_N ,而某时刻实际端电压为 U ,则电压偏差为 $\Delta U = U - U_N$ 。电压偏差通常用其对额定电压的百分值来表示,即

$$\Delta U\% = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100\% \quad (1-16)$$

用电设备的运行指标和额定寿命是对其额定电压而言的。当其端子上出现电压偏差时,其运行参数和寿命将受到影响,影响程度视偏差的大小、持续的时间和设备状况而异。按国家标准规定,用电单位受电端供电电压的偏差允许值,应符合下列要求:



(1) 35kV 及以上供电电压正、负偏差绝对值之和不超过额定电压的 10%。

(2) 10kV 及以下三相供电电压偏差为额定电压的 ±7%。

(3) 220V 单相供电电压偏差为额定电压的 +7%~−10%。

(4) 线路电压损失允许值在 5% 以内。

(5) 对供电点短路容量较小、供电距离较长以及对供电电压偏差有特殊要求的用户,由供电双方协议确定。

正常运行情况下,用电设备端子处的电压偏差限值(以系统额定电压的百分数表示),应符合下列要求:

(1) 一般电动机为 ±5%。

(2) 电梯电动机宜为 ±7%。

(3) 照明:室内场所为 ±5%;对于远离变电所的小面积一般工作场所,难以满足上述要求时,可为 +5%、−10%;应急照明、景观照明、道路照明和警卫照明为 +5%、−10%。

(4) 医用 X 线诊断机的允许电压波动范围为 ±10%。

(5) 其他用电设备,当无特殊规定时为 ±5%。

可采取以下措施以减小电压偏差:

(1) 正确选择变压器的变压比和电压分接头或采用有载调压变压器,使之在负荷变动的情况下,有效地调节电压,保证用电设备端电压的稳定。

(2) 合理减少系统阻抗,以降低电压损失,从而缩小电压偏差。

(3) 合理补偿无功功率,以提高功率因数,降低电压损失,减小电压偏差范围。

(4) 宜使三相负荷平衡,以减小电压偏差。

(5) 合理地改变供配电系统的运行方式,以调整电压偏差。

计算电压偏差时,应计入采取上述措施后的调压效果。

3. 电压波动、闪变及其抑制

1) 电压波动

电压波动是指一系列的电压变动或电压包络线的周期性变动,用电压的最大值与最小值之差与系统额定电压的比值以百分数形式表示,其变化速度等于或大于每秒 0.2% 时称为电压波动。电压波动幅值为

$$\Delta U_t \% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_N} \times 100\% \quad (1-17)$$

电压波动的允许值:

(1) 配电母线电压波动允许值为 2.5%。

(2) 公共供电点(电力系统中两个或多个用户的连接处)由波动性功率负荷产生的电压波动允许值,10kV 以下系统为 2.5%,35~110kV 系统为 2%。

(3) 电弧炉引起的配电母线电压波动值,按照公共供电点电压波动允许值。

(4) 较大功率的电阻焊机引起的配电母线电压波动值按 2.5% 考虑,波动频率小于 1Hz。

2) 电压闪变

电压闪变是指负荷急剧的波动造成供配电系统瞬时电压升降,照度随之发生急剧变化,使人眼对灯闪感到不适的现象。它一般是由开关动作或与系统的短路容量相比出现足够大的负