



高等教育
电气工程与自动化系列规划教材

供电技术

高等教育教材编审委员会 组编

主 编 付周兴

主 审 董张卓

大连理工大学出版社



高等教育
电气工程与自动化系列规划教材

供电技术

高等教育教材编审委员会 组编

主 编 付周兴

副主编 刘 青 王天施

主 审 董张卓

大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

供电技术 / 付周兴主编. —大连: 大连理工大学出版社, 2011. 8

高等教育电气工程与自动化系列规划教材

ISBN 978-7-5611-6434-1

I. ①供… II. ①付… III. ①供电—技术—高等学校—教材 IV. ①TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 163614 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail:dutp@dutp.cn URL:<http://www.dutp.cn>

丹东新东方彩色包装印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:16 字数:380 千字
印数:1~2000

2011 年 8 月第 1 版

2011 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑:赵晓艳

责任校对:兰东升

封面设计:张莹

ISBN 978-7-5611-6434-1

定 价:32.00 元

前 言

《供电技术》是新世纪应用型高等教育教材编审委员会组编的电气工程与自动化系列规划教材之一。

供电技术是普通高等工科学校电气、自动化等专业一门重要的专业课。本教材的编写结合了许多所高校相关专业的本科生培养计划,并体现了与时俱进、培养技术应用型人才的特点。

供电系统是电力系统的一个重要环节,供电系统的安全运行直接关系到电力系统的安全稳定运行。本教材系统地介绍了电力系统及企业供电系统的基本知识、负荷计算、短路电流计算、工厂电气一次系统主要设备及其选择方法、供电系统继电保护、变电所二次回路和自动装置、电力系统过电压及其防护以及供配电系统的运行和维护、电能质量与无功补偿原理和方法等内容。

本教材在编写的过程中力求突出以下特色:

1. 简练实用。目前我国高校注重实践教学,课内学时有所减少,为了适应新的教学计划,本教材不追求内容庞杂,以简练实用为目的。文字叙述深入浅出,相关计算以必需、够用为度,去掉了繁琐的理论推导,强调实际应用性。

2. 与时俱进。随着科学技术的发展,一些新技术、新设备应用于供电系统,传统的供电技术理论知识有必要进行更新。为了适应现代供电技术的发展,本教材适当删减了陈旧的知识,如第8章着重介绍了变电站的综合自动化,对传统的变电站自动化内容进行了适当删减。本教材加强了基本理论的阐述,并增加了一些新技术与新方法的应用,如第11章无功补偿及谐波抑制的新技术。

本教材可作为普通高等院校自动化、电气等专业的本科生教材,也可作为高职、电视大学和函授大学等电气信息类相关专业的教学参考书,同时可供工业企业相关工程技术人员参考。



新世纪

本教材由西安科技大学付周兴任主编,西安科技大学刘青、辽宁石油化工大学王天施任副主编。西安科技大学万耕、罗娟、王枫、赵永秀参加了部分章节的编写工作。具体编写分工如下:付周兴编写了第1.1节~1.3节;王天施编写了第2章、第6章和第10章;刘青编写了第1.4节、第4章和第9章;万耕编写了第7章;罗娟编写了第3章、第5章;王枫编写了第8章;赵永秀编写了第11章。全书由付周兴负责统稿和定稿。西安石油大学董张卓、大连理工大学庄海老师审阅了全书,并提出了许多宝贵意见和建议,在此深表感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请读者批评指正。

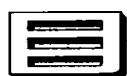
所有意见和建议请发往:dutpbk@163.com

欢迎登陆我们的网站:<http://www.dutpgz.cn>

联系电话:0411-84707424 84706676

编 者

2011年8月



第1章 概 论	1	4.4 两相和单相短路电流的计算	71
1.1 电力系统及工厂供电系统概况	1	4.5 短路电流的电动力效应和热效应	74
1.2 电力系统的电压	5	本章小结	77
1.3 电力系统的中性点运行方式	8	习 题	78
1.4 低压配电系统的接地形式	13	第5章 工厂变配电所电气设备及其选择	79
本章小结	16	5.1 电气设备的一般选择方法	79
习 题	16	5.2 高压断路器和隔离开关及其选择	81
第2章 负荷计算	17	5.3 高压熔断器和负荷开关及其选择	85
2.1 负荷曲线	17	5.4 低压电气设备及其选择	88
2.2 负荷计算方法	18	5.5 电压互感器及其选择	92
2.3 尖峰电流的计算	22	本章小结	99
2.4 功率损耗	23	习 题	100
2.5 功率因数和无功补偿	25	第6章 电力线路	101
2.6 用户负荷计算	29	6.1 电力线路的接线方式	101
2.7 无功补偿后用户的负荷计算	31	6.2 导线和电缆的类型	103
本章小结	33	6.3 导线和电缆的选择	105
习 题	34	6.4 电力线路的结构和敷设	110
第3章 工厂变配电所及其一次系统	35	本章小结	112
3.1 工厂变配电所的类型及所址的选择	35	习 题	113
3.2 变配电所主接线	39	第7章 工厂供电系统的继电保护	114
3.3 变配电所的总体布置和结构	49	7.1 工厂供电系统过电流保护的任务和类型	114
3.4 变压器的选择	55	7.2 继电保护的基本知识	115
本章小结	58	7.3 继电保护装置的接线方式	123
习 题	59	7.4 工厂高压线路的继电保护装置	124
第4章 短路电流及其计算	60		
4.1 短路的一般概念	60		
4.2 恒定电势源电路的三相短路分析	62		
4.3 电力系统三相短路的实用计算	66		

7.5 电力变压器的继电保护.....	140	本章小结	209
7.6 高压电动机的继电保护.....	147	习 题	210
7.7 配电系统微机保护.....	150	第 10 章 供配电系统的运行和维护	
本章小结	153		211
习 题	154	10.1 变配电所的运行和维护	211
第 8 章 变电所二次回路和自动装置.....		10.2 电力线路的运行与维护	219
.....	156	本章小结	221
8.1 常规变电所二次回路概述.....	156	习 题	222
8.2 变电所综合自动化概述.....	173	第 11 章 工厂电能质量与无功补偿	
8.3 变电所电压和无功综合控制 子系统.....	178		223
8.4 变电所微机自动控制装置.....	180	11.1 电能质量概述	223
8.5 变电站综合自动化的数据通信 系统.....	185	11.2 无功补偿和谐波抑制措施 ...	230
本章小结	187	11.3 电能节约的意义及其一般 措施	233
习 题	187	11.4 电力变压器的经济运行	236
第 9 章 过电压及其防护	188	11.5 并联电容器的应用	238
9.1 雷电及防雷装置.....	188	本章小结	244
9.2 发电厂和变电所的防雷保护 ...	194	习 题	244
9.3 电力系统内部过电压.....	199	附 录	245
9.4 变电站的保护接地.....	204	参考文献	250

第 1 章

概 论

【学习目标】 掌握电力系统的组成;了解发电厂的不同类型及各自特点;掌握不同类型工厂供电系统的特点;掌握电力系统额定电压的概念,以及电网和用电设备的额定电压、发电机的额定电压、变压器的额定电压的不同规定方法;掌握电力系统中性点各种运行方式的特点和适用范围。

1.1

电力系统及工厂供电系统概况

电能是现代社会中最重要、最方便的能源。电能具有很多优点,它可以方便地转化为其他形式的能,例如,机械能、热能、光能、化学能等;它的输送和分配易于实现;它的应用规模也很灵活。电力系统是电能生产、输送、分配、使用四个环节的有机整体,它主要包括发电厂(不包括动力部分)、变电站、输配电线路和配电网络。一个典型的电力系统如图 1-1 所示。发电机生产的电能经过变压器将电压升高($220 \sim 500 \text{ kV}$),经过输电线路输送到用户端,再经过降压变压器将电压降至配电电压($10 \sim 110 \text{ kV}$ 、 $380/220 \text{ V}$)。在交流电力系统中,发电机、变压器、输配电设备都是三相的,正常情况下三相之间是对称的,为简单起见,一般都画为单线图。

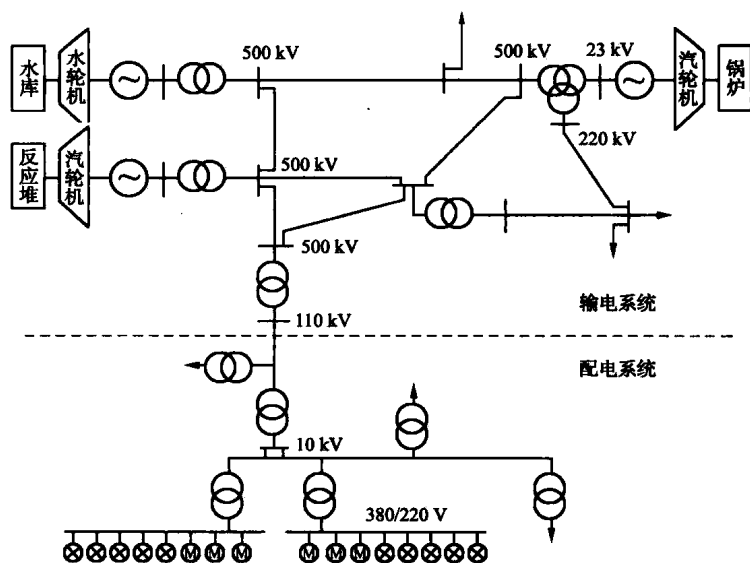


图 1-1 一个典型的电力系统

1.1.1 电力系统的组成

1. 发电厂

发电厂的作用是把一次能源转化成电能。根据一次能源的不同将发电厂分为火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂、其他形式发电厂(风能、太阳能等)等。

(1)火力发电厂

火力发电厂简称火电厂,它的一次能源是煤、石油、天然气等燃料。现代大、中型火电厂绝大多数都直接燃用廉价的煤,以水蒸气为工质,采用汽轮机作发电机,通常把这类电厂称为“汽轮机发电厂”。汽轮机发电厂又分为凝汽式发电厂和热电厂(亦称做“热电站”)两大类。前者只生产供应外界用户的电能;后者则进行电能和热能的联合生产,在向其他用户供应电能的同时,还向其他用户供应热能。

从能量转换的角度来看,各种火电厂的生产过程本质上都一样。燃料在锅炉内燃烧时,它的化学能首先转变成烟气的热能;烟气的热能逐步传递给锅炉各部分受热面内流动的水、蒸汽以及空气;锅炉所产生的新热蒸汽进入汽轮机后进行膨胀,蒸汽的部分热能就转变为气流的动能;高速气流施加作用于汽轮机的叶片上,推动了叶片连同整个转子旋转,气流的动能于是被转换成汽轮机机轴上的机械能,汽轮机通过靠背轴带动发电机转动,机械能则被转换成电能。

(2)水力发电厂

水力发电厂简称水电厂,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。

径流式水电厂是在有高落差的急流河道上修建堤堰,由引水渠造成水头,使水通过压力钢管进入水轮机来进行发电。它无库容,承担日负荷曲线中的基本负荷。

坝式水电厂是在河床上修建拦河坝,将水蓄起来,抬高上游水位形成水头进行发电的电厂。坝式水电厂可分为坝后式和河床式两种。坝后式水电厂的厂房建在坝后,水压由坝体承受。水库的水由压力钢管引入厂房,驱动水轮发电机发电,适合于高、中水头的情况。河床式水电厂的厂房和大坝连成一体,厂房也起挡水作用,适合于低水头。坝式水电厂有库容,可按水库大小实行日、周、年或多年调节,以计划用水,承担日负荷曲线中的基本负荷或担任调频、调峰。

抽水蓄能式水电厂既可蓄水又可发电。利用低谷负荷时发电机尚有多余电力,机组以电动机-水泵方式工作,将下游的水抽至上游水库存储起来,待系统高峰负荷到达时,机组以水轮机-发电机方式工作,使所蓄的水用于发电,满足调峰需要。此外还可用做调相、调频。

(3)核能发电厂

核能发电厂简称核电厂,它是用核燃料(如铀²³⁵)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发电的电厂。核电是一种清洁能源,很多国家都很重视核电建设,核电在全部发电量中的比重也逐年增长。只要对核电进行严格科学管理,就能保证其安全性。

(4)其他形式发电厂

随着新的清洁能源在发电技术中的应用,以及发电设备制造技术的进步,近年来

■ 2 供电技术

分布式发电技术得到了迅速的发展。风力发电通过风力机将风的动能转变为旋转轴的机械能带动发电机发电;地热发电利用地球内部蕴藏的热能发电;太阳能发电是通过光电转换元件直接将太阳光能转换为电能。

与传统的高压远距离输电系统的大型电站相比,分布式发电的主要优点是:不需要高压输电系统、基础设施的投资大大减少、建设快、线路损耗降低、供电可靠。分布式发电设备对采用高压远距离输电的大型电厂具有很好的互补性,但分布式发电设备的容量很小,不可能取代传统的高电压大容量的远距离输电。

2. 变电站

变电站是联系发电厂和用户的中间环节,起着电能变换和分配的作用,是电力网的主要组成部分。按照功能划分,变电站可分为升压变电站和降压变电站两类;按照在系统中的地位,变电站也可按如下分类:

(1) 枢纽变电站

连接电力系统中高压和中压的几个电压级,汇集多个电源,高压侧为 330~500 kV 的变电站,称为枢纽变电站。全站停电后将引起系统解列甚至瓦解。

(2) 中间变电站

高压侧起转换功率的作用,汇集 2~3 个电源,电压为 220~330 kV,同时降压供给地区用电。全站停电后,将引起电网解列。

(3) 地区变电站

高压侧电压为 110~220 kV,以向地区用户供电为主,称为地区变电站。全站停电后,该地区中断供电。

(4) 终端变电站

高压侧电压为 110 kV,处于输电线路终端,接近负荷点,经降压后向用户供电,称为终端变电站。全站停电后,有关用户将中断供电。

3. 输电线路

输电线路将各个发电厂通过较高电压的线路相互连接,使所有发电机之间并列运行,同时将发电厂发出的电能输送到各个大的负荷中心,用来完成远距离大容量的输电任务。按照结构来分,输电线路有架空线路和电缆线路两种。架空线路是将导线通过杆塔露天架设,输电网络通常采用架空线路;电缆线路一般埋设在地下的电缆沟或管道里,配电网络多采用电缆线路。随着输电距离和输电容量的增加,输电线路电压等级也越来越高。采用高压输电可以降低线路电能损耗和电压降落,也有利于提高电力系统稳定性。

4. 配电网络

配电网络连接由输电线路供电的局域内的所有单个负荷,负荷指用户或用电设备的总称,包括电灯、电动机、电热装置等等。电能送到各个负荷中心以后,需要经过配电网络进行电能的分配,用较低电压的线路供给各个集中的大工厂和分散的中、小工厂以及千家万户的生活用电。

按照负荷的重要程度及其对供电可靠性的不同要求,电力负荷分为三级:一级负荷(供电中断后会造成严重的人员伤亡和经济损失)、二级负荷(供电中断后将造成大量减产、交通停顿,城镇居民生活受影响)和三级负荷(不属于一级、二级的负荷,如工厂的附属车间、小城

镇的负荷等)。实际电力系统的配电网络比较复杂,往往由各种不同接线方式的网络组成。在选择配电系统接线方式时,要根据负荷类型,同时考虑技术性、经济性等指标,对多种方式进行比较后确定。

1.1.2 工厂的供电系统

工厂供电系统是指从电源线路进厂起到高低压用电设备进线端止的整个电路系统,包括工厂内的变配电所和所有的高低压供配电线路。

1. 中型工厂供电系统

一般中型工厂的电源进线电压是 $6\sim 10\text{ kV}$ 。电能先经过高压配电所集中,再由高压配电路将电能分送到各个车间变电所,或由高压配电路直接供给高压用电设备。车间变电所内装设有电力变压器,将 $6\sim 10\text{ kV}$ 的高压降为低压用电设备所需电压,如 $220/380\text{ V}$,然后由低压配电路将电能分送给各用电设备使用。

图 1-2 是一个典型的中型工厂供电系统简图,该厂有两条电源进线,电压等级为 10 kV 。采用单母线分段接线方式,两路进线分别接在两段母线上,两段母线之间装有联络开关。通常的运行方式是:分段开关闭合,整个配电所由一路电源进线供电,其电能一般来自公共电网,另一路电源进线作为备用,一般是来自邻近单位的备用电源。

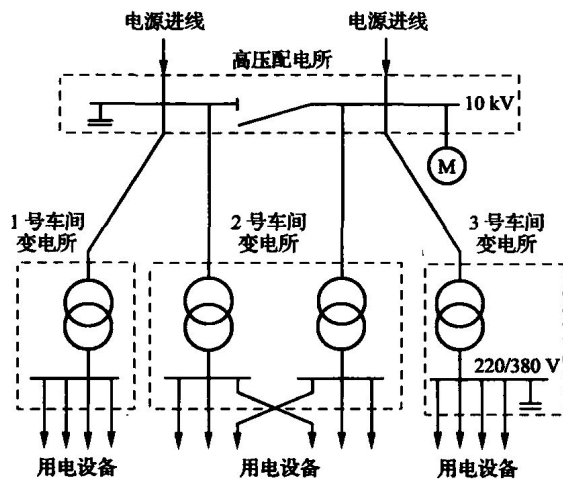


图 1-2 典型的中型工厂供电系统简图

高压配电所有五条高压配电线,一条直接供电给一组高压电动机,另外四条供给三个车间变电所,1号车间变电所和3号车间变电所都只装有一台配电变压器,2号车间变电所有两台变压器,分别由两段母线供电,低压侧采用单母线分段接线方式,对重要的低压用电设备可由两段母线交叉供电,保证了供电可靠性。高压母线和低压母线上各接有一组并联电容器,是用来补偿无功功率以便提高功率因数。

2. 具有总降压变电所的工厂供电系统

对于大型工厂及某些电源进线为 35 kV 及以上的中型工厂,电源进厂后,先经过总降压变电所,将 35 kV 及以上电源电压降为 $6\sim 10\text{ kV}$ 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。

■ 4 供电技术

有的 35 kV 电源进线的工厂,采用高压深入负荷中心的直配方式,即 35 kV 线路直接引入靠近负荷中心的车间变电所,经车间变电所的配电变压器直接降为低压用电设备所需电压,如图 1-3 所示。这种供电方式简化了供电系统接线,降低了电能损耗和电压损耗,提高了供电质量。但是这种方式是否可以采用取决于厂区环境条件,即是否有必需的架空线路走廊,否则不宜采用,以确保供电安全。

3. 小型工厂供电系统

对于小型工厂,由于所需容量一般不大于 1000 kVA 或稍多,因此通常只设一个降压变电所,将 6~10 kV 降为低压用电设备所需的电压。如果工厂容量不大于 160 kVA 时,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车间,如图 1-4 所示。可见,配电所的任务是接受电能和分配电能,不能改变电压;而变电所的任务是接受电能、改变电压和分配电能。

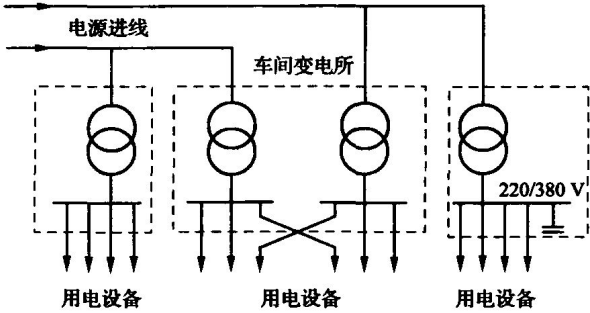


图 1-3 工厂直配供电系统简图

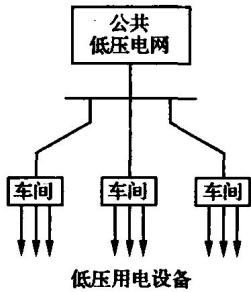


图 1-4 低压进线的小型工厂供电系统简图

1.2 电力系统的电压

1.2.1 电网和电气设备的额定电压

1. 电网的额定电压

由于输送分配电能的需要,近代电力系统由多个层次的电压等级组成。这些不同的电压等级是由国家规定的标准电压,又称额定电压。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,而不宜有过多的额定电压等级。我国交流电网额定电压等级有 3 kV、6 kV、10 kV、35 kV、110 kV、220 kV、330 kV、500 kV、750 kV 和 1000 kV。习惯上将 110 kV 和 220 kV 称为高压,330 kV、500 kV 和 750 kV 称为超高压,1000 kV 及以上称为特高压。

当传输功率一定时,所采用的输电电压越高,线路流过的电流越小,因而所需要的导线截面积越小,线路的功率损耗和电压降落也越小。但是,输电电压越高对绝缘的要求也越高,从而使投资增加。表 1-1 是我国电动机工程手册给出的不同电压等级的交流输电线路

的一般输送容量及输电距离。由表可见,各级电压的输送容量与输电距离的范围均有一定的重叠,要通过具体的设计做技术经济比较,然后来选取输电电压等级。

表 1-1 不同电压等级的交流输电线路的一般输送容量及输电距离

标称电压/kV	110	220	330	500	750
最高运行电压/kV	126	252	363	550	800
输送容量/MW	10~50	100~500	200~1000	500~1500	1000~2000
输电距离/km	150~50	300~100	600~200	1000~250	1500~500

2. 电气设备的额定电压

各种电气设备都是根据额定电压设计和制造的,设备在额定电压下运行,可以获得比较好的性能和效率。但是电力系统实际运行中,由于线路和变压器流过电流产生的电压降落,使系统中各点电压不尽相同,因此对于发电机、变压器和用电设备的额定电压有不同的规定,表 1-2 是我国规定的电压等级。注意,表中发电机的额定电压 15.75 kV 和 23 kV 是大容量发电机专用,没有相应的电网额定电压。

表 1-2 我国规定的电压等级

电网和用电设备的额定电压/kV	发电机的额定电压/kV	变压器的额定电压/kV	
		一次绕组	二次绕组
0.38	0.40	0.38	0.40
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
—	15.75, 23	15.75, 23	—
35	—	35	38.5
110	—	110	121
220	—	220	242
330	—	330	363
500	—	500	550
750	—	750	788, 825

(1)用电设备的额定电压

用电设备的额定电压规定与同级电网的额定电压相同。设备的额定电压均指线电压而不是相电压。用电设备的额定电压或电网的额定电压与发电机、变压器的额定电压并不相同。

(2)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±5%,即整个线路允许有 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%。发电机的额定电压规定比同级的电网额定电压高 5%。

(3)变压器的额定电压

变压器的额定电压规定略为复杂。根据变压器在电力系统中传输功率的方向,一般规定变压器接受功率侧的绕组为一次绕组,输出功率侧的绕组为二次绕组。以下将结合图 1-5来说明变压器额定电压的规定。

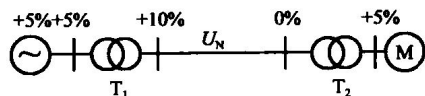


图 1-5 电力变压器的额定电压规定

①一次绕组的额定电压

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 1-5 中变压器 T_1 的一次侧;当变压器不与发电机直接相连,而是连接在线路上时(即为降压变压器),可看做是线路的用电设备,因此一次绕组额定电压与同级电网额定电压相同,如图 1-5 中变压器 T_2 的一次侧。

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连电网额定电压高 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%用于补偿线路上的电压降落,如图 1-5 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连电网额定电压高 5%,如图 1-5 中变压器 T_2 的二次侧。

1.2.2 工厂供配电电压的选择

1. 供电电压的选择

工厂供电电压是指供配电系统从电力系统中取得的电源电压。工厂供电的低压有单相 220 V、三相 380 V;高压有 10 kV、35(66) kV、110 kV 和 220 kV。具体选用哪一个电压等级主要取决于当地电网的供电电压等级,同时也要考虑工厂用电设备的电压、容量和供电距离等因素。

影响供电电压的因素还有很多,比如:导体的截面面积、负荷的功率因数、电价制度等。在选择供电电压等级时,必须进行技术、经济比较,选取合理的供电电压。

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面积越小,可减少线路的投资和有色金属消耗量。不同电压等级的工厂供电线路合理的输送容量和输电距离见表 1-3。

表 1-3 工厂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. 配电电压的选择

配电电压是指用户内部向用电设备配电的电压等级。由用户总降压变电所或高压配电所向高压用电设备配电的电压称为高压配电电压；由用户车间变电所或建筑物变电所向低压用电设备配电的电压称为低压配电电压。

(1) 工厂高压配电电压的选择

工厂高压配电电压，主要取决于工厂高压用电设备的电压、容量和数量等因素。

工厂采用的高压配电电压通常为 10 kV。如果工厂拥有相当数量的 6 kV 用电设备，或者供电电源电压就是从邻近发电厂取得的 6.3 kV 直配电压，则可考虑采用 6 kV 作为工厂的高压配电电压。如果不是上述情况，或者 6 kV 用电设备不多时，则应还用 10 kV 作为高压配电电压，而少数 6 kV 用电设备则通过专用的 10 kV/6.3 kV 变压器单独供电。

如果当地电网供电电压为 35 kV，而厂区环境条件又允许采用 35 kV 架空线路和较经济的 35 kV 电气设备时，则可考虑采用 35 kV 作为高压配电电压深入工厂各车间负荷中心，并经车间变电所直接降为低压用电所需的电压。这种高压深入负荷中心的直配方式，可以省去一级中间变压，大大简化供电系统接线，节约投资和有色金属，降低电能损耗和电压损耗，提高供电质量，因此有一定推广价值。但必须考虑厂区要满足 35 kV 架空线路深入各车间负荷中心的线路走廊，以确保安全。

(2) 工厂低压配电电压的选择

工厂低压配电电压一般采用 220 V/380 V，其中线电压 380 V 接三相动力设备及额定电压为 380 V 的单相用电设备，相电压 220 V 接额定电压为 220 V 的照明灯具和其他单相用电设备。但某些场合宜用 660 V 甚至 1140 V 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 660 V 和 1140 V 电压配电。目前 660 V 电压只限于采矿、石油和化工等少数企业采用，而 1140 V 电压只限于井下采用。

1.3 电力系统的中性点运行方式

电力系统的中性点接地方式，通过系统中变压器中性点的接地方式来实现。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。

在选择系统中性点接地方式时，应综合考虑三个基本因素：对系统过电压的控制；对系统接地短路电流的控制；系统接地继电保护装置对灵敏度、动作时间以及选择性的要求。这三个因素直接影响到系统造价、系统设计、工程规划以及供电持续性等方面。因此，不同电压等级的系统有各自适宜的中性点接地方式。不同的中性点运行方式，对系统单相接地故障以及系统二次侧的继电保护影响不同，因此有必要予以研究。

1.3.1 中性点非有效接地方式

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、经高中值电阻接地等方式。

1. 中性点不接地

我国 3~66 kV(特别是 3~10 kV)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 C 是相线和地之间的分布电容,忽略相线之间的分布电容。

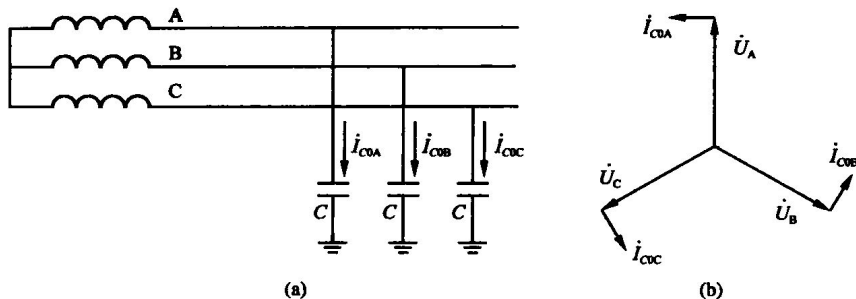


图 1-6 中性点不接地时的电路图和相量图

系统正常工作时,三相电源的相电压 $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$ 是对称的,三相对地电容 C 相等,三相电容电流 $\dot{i}_{C0A}$ 、 $\dot{i}_{C0B}$ 、 $\dot{i}_{C0C}$ (下标“0”表示正常运行情况)超前各相电压 90° ,且相量和为零,地中没有电流流过。各相的对地电压就是各相的相电压,即

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{A-D} &= \dot{U}_A \\ \dot{U}_{B-D} &= \dot{U}_B \\ \dot{U}_{C-D} &= \dot{U}_C \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

各相对地电容电流为

$$\left. \begin{aligned} \dot{i}_{C0A} &= j\omega C \cdot \dot{U}_{A-D} = j\omega C \cdot \dot{U}_A \\ \dot{i}_{C0B} &= j\omega C \cdot \dot{U}_{B-D} = j\omega C \cdot \dot{U}_B \\ \dot{i}_{C0C} &= j\omega C \cdot \dot{U}_{C-D} = j\omega C \cdot \dot{U}_C \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

假设系统发生 C 相接地故障,则 C 相对地电容被短接。图 1-7 是 C 相接地时的电路图和相量图。

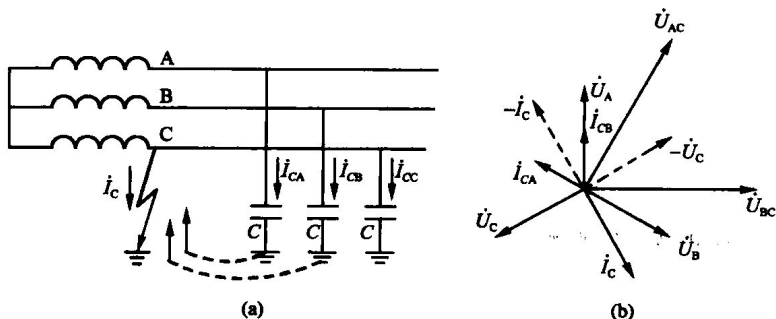


图 1-7 C 相接地时的电路图和相量图

各相对地电压分别为

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{A-D} &= \dot{U}_A - \dot{U}_C = \dot{U}_{AC} \\ \dot{U}_{B-D} &= \dot{U}_B - \dot{U}_C = \dot{U}_{BC} \\ \dot{U}_{C-D} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

可见,故障相 C 相对地电压变为零,健全相 A、B 两相对地电压都由原来的相电压升高为线电压,即升高为原来对地电压的 $\sqrt{3}$ 倍。健全相 A、B 两相对地电容电流为

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{CA} &= j\omega C \cdot \dot{U}_{A-D} = j\omega C \cdot \dot{U}_{AC} \\ \dot{I}_{CB} &= j\omega C \cdot \dot{U}_{B-D} = j\omega C \cdot \dot{U}_{BC} \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

将式(1-4)与式(1-2)对比可知,健全相对地电容电流变为原来的 $\sqrt{3}$ 倍。

系统的接地电流 $\dot{I}_C$ 应为 A、B 两相对地电容电流之和,即

$$\dot{I}_C = -(\dot{I}_{CA} + \dot{I}_{CB}) \quad (1-5)$$

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的 3 倍,即

$$I_C = 3I_{C0} \quad (1-6)$$

由于线路对地的电容 C 不好准确计算,因此中性点不接地系统中的单相接地电容电流通常采用下列经验公式计算:

$$I_C = \frac{U_N(l_{oh} + 35l_{cab})}{350} \quad (1-7)$$

式中 I_C ——系统的单相接地电容电流(A);

U_N ——系统额定电压(kV);

l_{oh} ——同一电压具有电联系的架空线路总长度(km);

l_{cab} ——同一电压具有电联系的电缆线路总长度(km)。

当中性点不接地系统中发生单相接地时,线路的线电压均未发生变化,因此三相用电设备的正常工作不会受到影响,仍能正常运行。但是这种存在单相接地故障的系统不允许长期运行,以免再有一相发生接地故障时,形成两相接地短路,使故障扩大。因此在中性点不接地系统中,应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;当危机人身和设备安全时,则单相接地保护装置应动作于跳闸,切除故障线路。

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。如果这个电流比较大,就会在接地点出现时断时续的不稳定电弧,可能引起高达相电压 2.5~3 倍的弧光过电压,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。

为了解决这个问题,当单相接地电容电流大于一定值时,中性点必须采取经消弧线圈接地的方式,如图 1-8 所示。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)3.2.1 条规定了不同电压等级的系统中,若全系统的电容电流超过表 1-4 中数值时应装设消弧线圈。