

贯彻最新标准·内容新颖实用

GONGPEIDIAN
JISHU
JIANMING SHOUCHE

供配电技术 简明手册

王吉华
主编

上海科学技术出版社

供配电技术简明手册

王吉华 主编

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

供配电技术简明手册/王吉华主编. —上海:上海
科学技术出版社,2014.8

ISBN 978-7-5478-2218-0

I. ①供… II. ①王… III. ①供电—技术手册②配电
系统—技术手册 IV. ①TM72-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 086634 号

供配电技术简明手册

王吉华 主编

上海世纪出版股份有限公司
上海科学技术出版社 出版

(上海钦州南路71号 邮政编码200235)

上海世纪出版股份有限公司发行中心发行

200001 上海福建中路193号 www.ewen.cc

常熟市兴达印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张:17

字数:400千字

2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷

ISBN 978-7-5478-2218-0/TM·48

定价:65.00元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向工厂联系调换

内容简介

本手册是为适应我国电力工业大发展,满足广大供电技术人员工作需要而编写的一本实用技术简明手册。内容包括供配电技术基础知识,供配电系统负荷及短路电流计算,供配电系统常用电气设备,供配电系统的接线、结构及导线电缆的选择,供配电系统的保护、二次回路与自动装置,安全用电、节约用电与计划用电等。

本手册力求全面准确地贯彻我国最新的标准规范,并采用了新型先进的产品资料,内容新颖实用,简明便查。不仅可供供配电技术人员工作参考,对大、中专供配电专业的师生也有参考价值。

前 言

供配电技术主要研究电力的供应和分配问题。电力,是现代工业生产的主要能源和动力,是人类现代文明的物质技术基础。没有电力,就没有工业现代化,就没有整个国民经济的现代化。现代社会的信息技术和其他高新技术的应用,都是建立在电气技术应用的基础之上的。因此电力工业被誉为国民经济的先行官。工业生产只有电气化以后,才能大大增加产量,提高产品质量,提高劳动生产率,降低生产成本,减轻工人的劳动强度,改善工人的劳动条件,有利于实现生产过程的自动化。人类社会生活也只有电气化以后,才能确保正常的社会秩序和必需的生活质量。因此,做好供配电工作,对于保证企业生产和社会生活的正常进行和实现整个国民经济的现代化具有十分重要的意义。

本手册编委会邀请有关专家和教授就各自擅长的领域分工编写,编写时综合考虑实际需要和篇幅容量,在取材上,遵循实用和精练;在形式上,力争做到通俗易懂。本手册是为适应我国电力工业大发展,满足广大供电技术人员工作需要而编写的一本实用技术简明手册。内容包括供配电技术基础知识,供配电系统负荷及短路电流计算,供配电系统常用电气设备,供配电系统的接线、结构及导线电缆的选择,供配电系统的保护、二次回路与自动装置,安全用电、节约用电与计划用电等;具有公式数据可靠、资料技术翔实、方法理论实用的特点。

本手册由王吉华高级工程师、王艳春副教授主编,参加编写的还有徐峰、李强、艾春平、余莉、高霞、郭永清、励凌峰、王文荻、陈玲玲、王亚龙、徐淼、崔俊、李茵、金英、刘璐、程国元、夏红民、冯宪民、袁荷伟、魏金营、杨波、张露露等同志。本书在编写过程中吸收了大量的培训讲义和同类出版物的精华,并融合了编者多年的工作实践经验;同时,得到东南大学、南京理工大学及蚌埠学院各位领导的大力支持和帮助。在此,向原作者和单位表示最诚挚的谢意!

因编者水平有限,加上时间仓促,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

目 录

第1章 供配电技术基础知识	1
1.1 电力及供配电系统简介	1
1.1.1 电力系统	1
1.1.2 供配电系统	3
1.2 电力系统的电压	4
1.2.1 三相交流电网和电力设备的额定电压	4
1.2.2 电压的分类及高低电压的划分	6
1.2.3 供配电系统电压的选择	7
1.3 电力系统中性点的运行方式	8
1.3.1 中性点不接地的电力系统	8
1.3.2 中性点经消弧线圈接地的电力系统	10
1.3.3 中性点直接接地或经低电阻接地的电力系统	10
1.3.4 中性点不同运行方式的比较和应用	11
1.4 供电系统的质量指标	12
1.4.1 电压的稳定性要求	12
1.4.2 频率的稳定性要求	13
1.4.3 供电的可靠性要求	14
1.5 电力负荷的分级及其对供电的要求	14
1.6 电力系统图的阅读	16
第2章 供配电系统负荷计算	18
2.1 电力负荷和负荷曲线	18
2.1.1 用电设备容量的确定	18
2.1.2 负荷曲线	20
2.2 计算负荷的确定	22
2.2.1 单个用电设备的负荷计算	22
2.2.2 用电设备组的负荷计算	22
2.2.3 单相用电设备计算负荷的确定	26
2.3 变配电所总计算负荷的确定	27
2.3.1 供配电系统的功率损耗	27
2.3.2 车间或全厂计算负荷的确定	28
2.3.3 工厂的无功功率补偿	29
2.4 尖峰电流的计算	33
2.4.1 单台用电设备尖峰电流的计算	33

2.4.2	多台用电设备尖峰电流的计算	33
第3章	短路电流及其计算	35
3.1	短路的一般概念	35
3.2	供配电网中各元件的电抗	37
3.3	无限大容量系统三相短路电流计算	38
3.3.1	无限大容量系统三相短路的物理过程和物理量	38
3.3.2	短路电流计算	41
3.4	不对称短路电流计算	46
3.5	低压电网短路电流计算	47
3.5.1	低压电网元件阻抗计算	48
3.5.2	低压电网短路电流的计算	49
3.6	短路效应和稳定度校验	52
3.6.1	短路电流的电动力效应和动稳定度	52
3.6.2	短路电流的热效应和热稳定度	54
第4章	供配电系统常用电气设备	58
4.1	电弧的产生与灭弧方法	58
4.1.1	电弧的产生	58
4.1.2	电弧的熄灭	59
4.1.3	开关电器中常用的灭弧方法	59
4.2	电力变压器及其选择	61
4.2.1	电力变压器的分类和联结	61
4.2.2	电力变压器的结构和型号	63
4.2.3	电力变压器的容量和过负荷能力	65
4.2.4	变电所主变压器台数和容量的选择	67
4.2.5	电力变压器的并列运行条件	68
4.3	互感器	69
4.3.1	电流互感器	69
4.3.2	电压互感器	72
4.4	高低压开关设备	75
4.4.1	高压隔离开关和负荷开关	75
4.4.2	高压断路器	78
4.4.3	低压刀开关和负荷开关	87
4.4.4	低压断路器	88
4.5	熔断器和避雷器	95
4.5.1	高压熔断器	95
4.5.2	低压熔断器	97
4.5.3	高低压避雷器	101
4.6	无功补偿设备	105

4.6.1	稳态无功补偿设备	106
4.6.2	动态无功补偿设备	107
4.7	成套配电装置	107
4.7.1	高压开关柜	107
4.7.2	低压配电屏	112
4.7.3	动力和照明配电箱	112
4.8	高压一次设备的选择	113
第5章	高低压供配电一次系统	115
5.1	电力线路的接线方式	115
5.1.1	高压线路的接线方式	115
5.1.2	低压线路的接线方式	117
5.1.3	变电所主接线	119
5.1.4	总降压变电所主接线	121
5.1.5	独立变电所主接线	124
5.1.6	车间变电所主接线	126
5.1.7	配电所主接线	126
5.2	变电所的布置和结构	127
5.2.1	变电所的布置	127
5.2.2	变电所的结构	129
5.3	架空线路的结构和敷设	134
5.3.1	架空线路的结构	134
5.3.2	架空线路的敷设	137
5.3.3	架空导线截面的选择	138
5.4	电缆线路的结构和敷设	146
5.4.1	电缆线路的结构	146
5.4.2	电缆线路的敷设	149
5.5	车间动力电气平面布置	151
5.5.1	车间动力电气平面布置图	151
5.5.2	典型的企业供电系统	153
5.5.3	供电系统的运行方式	156
5.5.4	环网供电单元	157
第6章	供配电系统继电保护	159
6.1	继电保护装置的任务和要求	159
6.1.1	继电保护装置的任务	159
6.1.2	继电保护装置的基本要求	159
6.2	常用的保护继电器	161
6.2.1	电磁式继电器	162
6.2.2	感应式电流继电器	166

6.3	高压线路的继电保护	169
6.3.1	保护装置的接线方式	170
6.3.2	定时限过电流保护	171
6.3.3	反时限过电流保护	174
6.3.4	电流速断保护	177
6.3.5	中性点不接地系统的单相接地保护	180
6.4	电力变压器的继电保护	184
6.4.1	变压器的瓦斯保护	185
6.4.2	变压器的过电流保护	186
6.4.3	变压器的电流速断保护	187
6.4.4	变压器的过负荷保护	188
6.4.5	变压器低压侧的单相短路保护	188
6.4.6	变压器的差动保护	191
6.5	高压电动机的继电保护	194
6.5.1	高压电动机相间短路保护	194
6.5.2	高压电动机过负荷保护	195
6.5.3	高压电动机单相接地保护	196
6.5.4	高压电动机低电压保护	196
6.6	电力电容器的保护	198
6.6.1	故障的特点及其保护	198
6.6.2	电力电容器保护的构成	199
6.7	低压供电系统的保护	202
6.7.1	熔断器保护	202
6.7.2	低压断路器保护	205
6.7.3	低压断路器与熔断器在低压电网保护中的配合	206
6.8	供配电系统的微机保护	207
6.8.1	配电系统微机保护的功能	207
6.8.2	微机保护装置的硬件结构	208
6.8.3	微机保护装置的软件系统	209
第7章	供配电系统二次回路	210
7.1	二次回路安装接线图	211
7.1.1	二次回路的编号	211
7.1.2	项目代号	212
7.1.3	安装单位和屏内设备	212
7.1.4	屏面布置图	213
7.1.5	接线端子排图	214
7.1.6	屏后接线图	216
7.1.7	二次回路接线表示方式	216
7.1.8	二次回路接线图实例	216

7.1.9	二次回路的接线要求	216
7.2	二次回路的操作电源	218
7.2.1	直流操作电源	218
7.2.2	交流操作电源	220
7.3	高压断路器控制回路	220
7.3.1	高压断路器控制回路的要求	221
7.3.2	灯光监视的断路器控制回路	221
7.4	中央信号回路	224
7.4.1	对中央信号回路的要求	225
7.4.2	中央事故信号回路	225
7.4.3	中央预告信号回路	226
7.5	测量和绝缘监视回路	227
7.5.1	测量仪表配置	227
7.5.2	直流绝缘监视回路	229
7.6	自动重合闸装置	230
7.6.1	对自动重合闸的要求	230
7.6.2	电气一次自动重合闸装置	230
7.6.3	ARD 与继电保护的配合方式	232
7.7	备用电源自动投入装置	232
7.7.1	对备用电源自动投入装置的要求	233
7.7.2	备用电源自动投入装置的接线	233
第 8 章	供配电系统的安全技术	235
8.1	电气安全的基本知识	235
8.1.1	触电对人体的危害	235
8.1.2	安全电流和安全电压	235
8.2	过电压与防雷	236
8.2.1	过电压的形式	236
8.2.2	防雷设备	237
8.2.3	防雷措施	240
8.3	供配电系统的接地	243
8.3.1	接地的作用及概念	243
8.3.2	接地的类型	244
8.3.3	电气装置的接地与接地电阻的要求	247
8.3.4	接地电阻的装设	248
8.3.5	接地电阻的计算	249
8.3.6	接地装置平面布置图示例	252
8.4	低压配电系统的等电位联结与漏电保护	253
8.4.1	低压配电系统的等电位联结	253

●▶▶ 供配电技术简明手册	
8.4.2 低压配电系统的漏电保护	255
8.5 触电的急救处理	259
参考文献	261

第1章

供配电技术基础知识

1.1 电力及供配电系统简介

1.1.1 电力系统

电力系统是生产、输送以及使用电能的统一整体；而供配电系统则既是电力系统的电能用户，又是用户端用电设备的电源。保证安全、可靠、优质且经济地供电是电力系统和供配电系统的基本任务。

为了充分利用动力资源，降低发电成本，发电厂大多建在一次能源丰富的偏远地区，而电能用户一般在大中城市和负荷集中的大工业区，因此发电厂生产出的电能要经过高压远距离输电线路输送，才能到达各电能用户。从发电厂到用户的送电过程如图 1-1 所示。

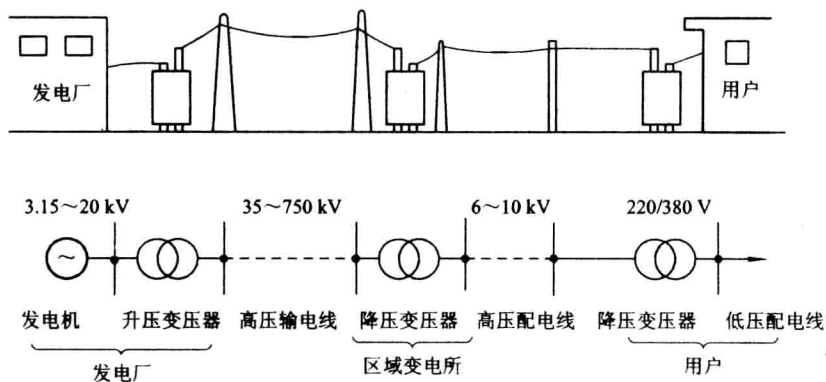


图 1-1 从发电厂到用户的送电过程示意图

在图 1-1 中，发电机生产电能，电力线路输送电能，变压器变换电压，电动机、电灯等用电设备使用电能，这些设备联系起来就组成了一个电力系统。电力系统就是由各种电压的电力线路将发电厂、变电所和电力用户联系起来，实现电能的生产、输送、分配、变换和使用的统一整体。电力生产具有不同于一般商品生产的特点，其生产、输送、分配和使用的全过程几乎在同一瞬间完成。典型电力系统的系统图如图 1-2 所示。

电力系统将分散于各地的众多发电厂连接起来并联工作，并通过电网将分散在各地的负荷中心的用户联系起来，从而实现电能的大容量、远距离输送。随着负荷的不断增长和电源建设的不断发展，将一个电力系统与邻近的电力系统互连已成为历史发展的必然。建立大型电力系统可

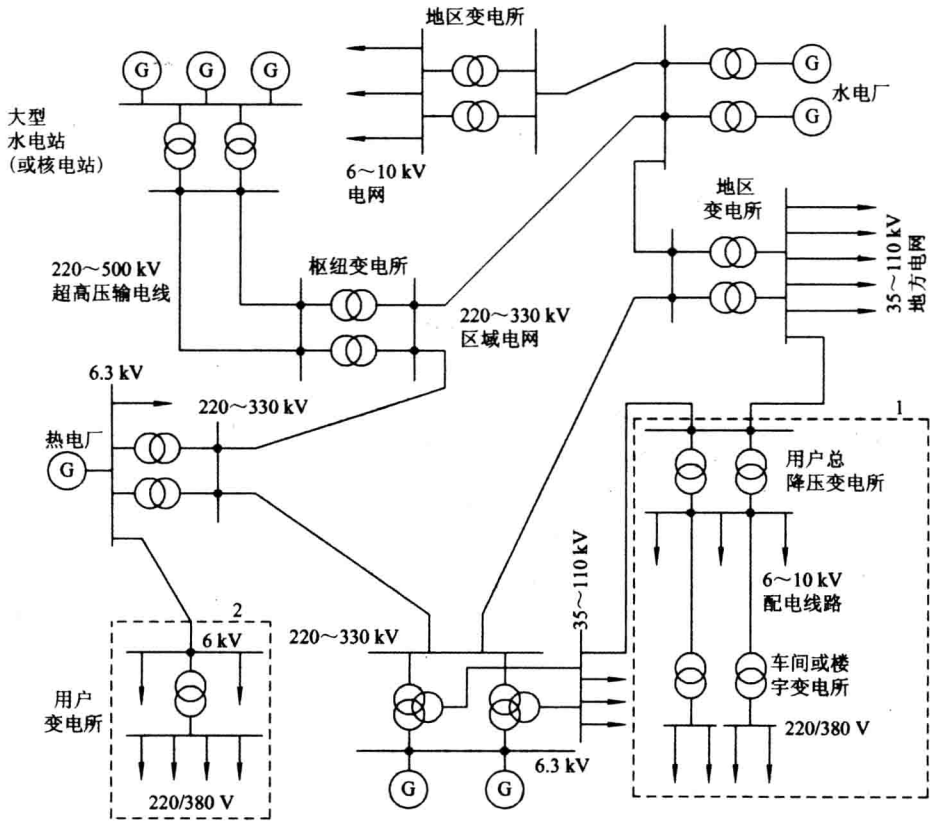


图 1-2 典型电力系统的系统图

以经济合理地利用一次能源,降低发电成本,减少电能损耗,提高电能质量,还可实现电能的灵活调节和调度,从而大大提高供电的可靠性。

下面我们将对电力系统的各主要部分作一介绍。

1. 发电厂

发电厂是将煤、石油、水能、核能、风能、太阳能等各种一次能源转变成电能的一种特殊工厂。根据利用的一次能源的不同,发电厂可分为火力发电厂、水力发电厂、核能发电厂、风力发电厂、潮汐发电厂等。此外,还有地热发电、太阳能发电、垃圾发电和沼气发电等能源转换方式。目前,我国和世界大多数国家仍以火力发电、水力发电和核能发电为主。

(1) 火力发电厂是利用煤、石油、天然气等作为燃料来生产电能的工厂。其主要设备有锅炉、汽轮机、发电机等。其基本生产过程为:燃料在锅炉的炉膛中燃烧,加热锅炉中的水使之变成高温高压蒸汽,进入汽轮机,推动汽轮机的转子旋转,汽轮机带动联轴的发电机旋转发电。其能量转换过程为:燃烧的化学能—热能—机械能—电能。

(2) 水力发电厂是利用江河水流的位能来生产电能的工厂。水力发电厂主要由水库、水轮机和发电机组成。其基本生产过程为:从河流较高处或水库内引水,利用水的压力或流速使水轮机旋转,水轮机带动发电机旋转发电。其能量转换过程为:水流位能—机械能—电能。

(3) 核能发电厂是利用原子核的裂变能来生产电能的工厂。主要设备有反应堆、汽机、发电机等。其生产过程与火力发电厂基本相同,只是用核反应堆代替了燃煤锅炉,以少量的核燃料代替了煤炭。其能量转换过程为:核裂变能—热能—机械能—电能。

2. 变电所

变电所的功能是接受电能、变换电压和分配电能。变电所由电力变压器、配电装置和二次装置等构成。按变电所的性质和任务不同,将其分为升压变电所和降压变电所。升压变电所通常紧靠发电厂,降压变电所通常远离发电厂而靠近负荷中心。根据变电所在电力系统中所处的地位和作用,可将其分为枢纽变电所、地区变电所和用户变电所。枢纽变电所位于电力系统的枢纽点,联系多个电源,出线回路多,变电容量大,电压等级一般为330 kV或330 kV以上;地区变电所一般用于地区或中、小城市配电网,其电压等级一般为110~220 kV;用户变电所位于配电线路的终端,接近负荷处,高压侧为10~110 kV引入线,经降压后向用户供电。

3. 电力网

电力网是由变电所和不同电压等级的输电线路组成的,其作用是输送、控制和分配电能。按供电范围、输送功率和电压等级的不同,电力网可分为地方网、区域网和远距离网三类。电压为110 kV及110 kV以下的电力网,其电压较低,输送功率小,线路距离短,主要供电给地方变电所,称为地方网;电压在110 kV以上的电力网,其传输距离和传输功率都比较大,一般供电给大型区域性变电所,称为区域网;供电距离在300 km以上,电压在330 kV及330 kV以上的电力网,称为远距离网。如果仅从电压的高低来划分,则电力网可分为低压网(1 kV以下)、中压网(1~20 kV)、高压网(35~220 kV)及超高压网(330 kV及330 kV以上)。

4. 电能用户

所有消耗电能的单位均称为电能用户,从大的方面可将其分为工业电能用户和民用电能用户。

1.1.2 供配电系统

供配电系统是工业企业供配电系统和民用建筑供配电系统的总称。供配电系统是电力系统的重要组成部分,是电力系统的电能用户。对用电单位来讲,供配电系统的范围是指从电源线路进入用户起到高低压用电设备进线端止的整个电路系统,它由变配电所、配电线路和用电设备构成。图1-2中虚线框1、2为供配电系统示意图。

对不同容量或类型的电能用户,供配电系统的组成是不相同的。对大型用户及某些电源进线电压为35 kV及35 kV以上的中型用户,供配电系统一般要经过两次降压,也就是在电源进厂以后,先经过总降压变电所,将35 kV及35 kV以上的电源电压降为6~10 kV的配电电压,然后通过高压配电线路将电能送到各个车间变电所,也有的经高压配电所再送到车间变电所,最后经配电变压器降为一般低压用电设备所需的电压。图1-3所示为具有总降压变电所的供配电系统简图。

对电源进线电压为6~10 kV的中型用户,一般电能先经高压配电所集中,再由高压配电线路将电能分送到各车间变电所,或由高压配电线路直接供给高压用电设备。车间变电所内装有电力变压器,可将6~10 kV的

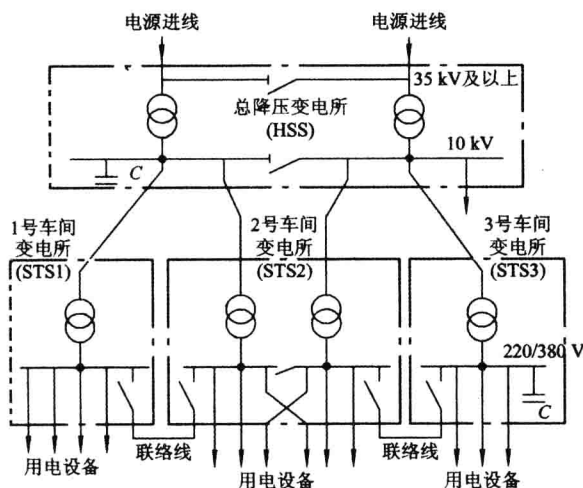


图 1-3 具有总降压变电所的供配电系统简图

高压降为一般低压用电设备所需的电压(如 220/380 V),然后由低压配电路将电能分送给各用电设备使用。图 1-4 所示为具有高压配电所的供配电系统简图。

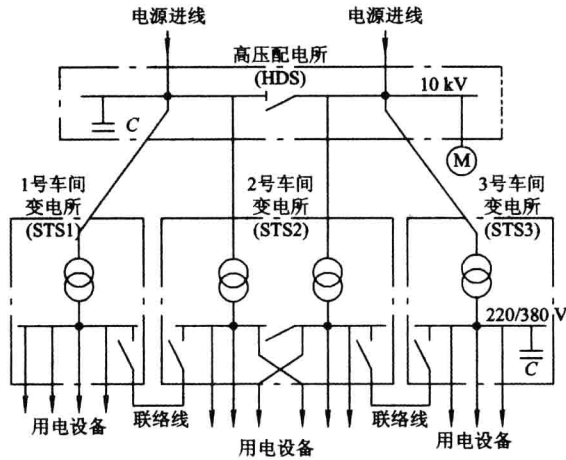


图 1-4 具有高压配电所的供配电系统简图

对于小型用户,由于所需容量一般不超过 $1\,000\text{ kV}\cdot\text{A}$ 或比 $1\,000\text{ kV}\cdot\text{A}$ 稍多,因此通常只设一个降压变电所,将 $6\sim 10\text{ kV}$ 电压降为低压用电设备所需的电压,如图 1-5 所示。当用户所需容量不大于 $160\text{ kV}\cdot\text{A}$ 时,一般采用低压电源进线,此时用户只需设一个低压配电间,如图 1-6 所示。

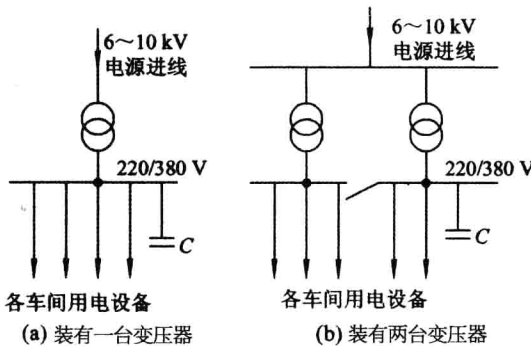


图 1-5 只有一个降压变电所的供配电系统简图

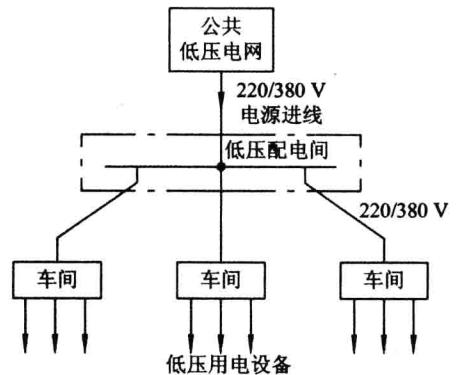


图 1-6 低压进线的供配电系统简图

1.2 电力系统的电压

1.2.1 三相交流电网和电力设备的额定电压

电力系统的额定电压是我国根据国民经济发展的需要以及电力工业的现有水平,经过全面的技术分析后确定的。电力系统的额定电压分为不同的等级。按照国家标准 GB 156—2003《标准电压》规定,我国三相交流电网和电力设备的额定电压等级如表 1-1 所示。

表 1-1 我国三相交流电网和电气设备的额定电压等级

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	0.40	0.38	0.40
	0.66	0.69	0.66	0.69
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, 15.75, 18, 20, 22, 24, 26	13.8, 15.75, 18, 20, 22, 24, 26	—
	35	—	35	38.5
	66	—	66	72.6
	110	—	110	121
	220	—	220	242
330	—	330	363	
500	—	500	550	
750	—	750	825(800)	

1. 电网的额定电压

电网的额定电压必须符合国家规定的电压等级。当电网的电压选定后,其他各类电力设备的额定电压即可根据电网的电压来确定。

2. 用电设备的额定电压

由于线路通过电流时要产生电压降,因此线路上各点的电压都略有不同,如图 1-7 中虚线所示。但是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,而只能按线路首端与末端的平均电压即电网的额定电压 U_N 来制造。因此规定用电设备的额定电压与同级电网的额定电压相同。

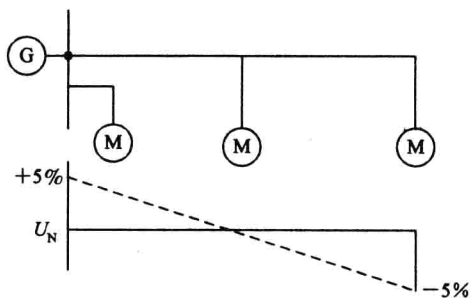


图 1-7 用电设备和发电机的额定电压说明

3. 发电机的额定电压

电力线路允许的电压偏差一般为 $\pm 5\%$,即整个线路允许有 10% 的电压损耗值,因此为了维持线路的平均电压在额定值,线路首端(电源端)电压可较线路额定电压高 5%,而线路末端电压则可较线路额定电压低 5%,如图 1-7 所示。所以规定发电机额定电压高于同级电网额定电压的 5%。

4. 电力变压器的额定电压

(1) 电力变压器一次侧绕组的额定电压的两种情况:当变压器直接与发电机相连时,如图 1-8 中的变压器 T1,其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的 5%;当变压器不与发电机相连而是连接在线路上时,如图 1-8 中的变压器 T2,则可看作是线路的用电设备,因此其一次绕组额定电压应与电网额定电压相同。

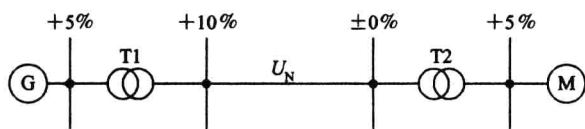


图 1-8 电力变压器的额定电压说明

(2) 电力变压器二次侧绕组的额定电压的两种情况:当变压器二次侧供电线路较长时,如图 1-8 中的变压器 T1,其额定电压高于同级电网额定电压的 10%,以此补偿变压器二次侧绕组内阻抗压降和线路上的电压损失;当变压器二次侧供电线路不太长时,如图 1-8 中的变压器 T2,其额定电压只需高于电网额定电压的 5% 即可,以此来补偿变压器内部 5% 的电压损耗。

【例 1-1】 已知如图 1-9 所示电力系统中线路的额定电压,试求发电机和变压器的额定电压。

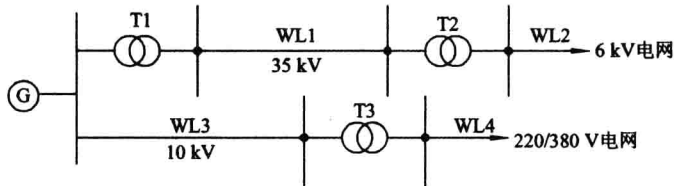


图 1-9 例 1-1 供电系统图

解: (1) 计算发电机 G 的额定电压。

发电机 G 的额定电压应高出同级电网 WL3 额定电压的 5%, 即

$$U_{N.G} = 1.05U_{N.WL3} = 1.05 \times 10 = 10.5 \text{ kV}$$

(2) 计算变压器 T1 的额定电压。

一次绕组的额定电压应等于发电机的额定电压, 即

$$U_{1N.T1} = U_{N.G} = 10.5 \text{ kV}$$

二次绕组的额定电压应高出远距离输电线路 WL1 额定电压的 10%, 即

$$U_{2N.T1} = 1.1U_{N.WL1} = 1.1 \times 35 = 38.5 \text{ kV}$$

因此, 变压器 T1 的额定电压为 10.5/38.5 kV。

(3) 计算变压器 T2 的额定电压。

一次绕组的额定电压应等于线路 WL1 的额定电压, 即

$$U_{1N.T2} = U_{N.WL1} = 35 \text{ kV}$$

二次绕组的额定电压应高出线路 WL2 额定电压的 10%, 即

$$U_{2N.T2} = 1.1U_{N.WL2} = 1.1 \times 6 = 6.6 \text{ kV}$$

因此, 变压器 T2 的额定电压为 35/6.6 kV。

(4) 计算变压器 T3 的额定电压。

一次绕组的额定电压应等于线路 WL3 的额定电压, 即

$$U_{1N.T3} = U_{N.WL3} = 10 \text{ kV}$$

二次绕组的额定电压应高出线路 WL4 额定电压 5%, 即

$$U_{2N.T3} = 1.05U_{N.WL4} = 1.05 \times 0.38 = 0.40 \text{ kV}$$

因此, 变压器 T3 的额定电压为 10/0.40 kV。

1.2.2 电压的分类及高低电压的划分

1. 电压的分类

按国标规定, 额定电压分为三类:

第一类额定电压为 100 V 及 100 V 以下, 如 12 V、24 V、36 V 等, 主要用于安全照明、潮湿工地