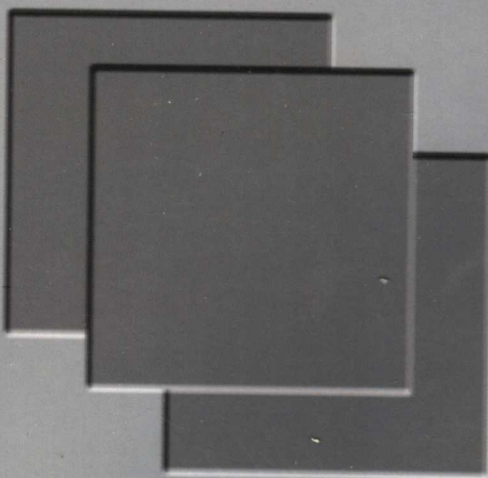




全国高职高专电气类精品规划教材

电力系统基础

主编 陈光会 王 敏



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

全国高职高专电气类精品规划教材

电力系统基础

主 编 陈光会 王 敏

副主编 余光华 李家坤 易天福 周 俊



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材是根据高职高专电气类“电力系统基础”课程教学要求编写的教材。各章节的编写均从高职高专的职业技术教育特点出发,精心编排了主要知识内容,使读者易于学习和掌握,具有简洁精练的实用特性。全书共分8章,内容包括电力系统概述、各元件的等值电路、潮流分布计算、频率调整与电压调整、系统经济运行、对称故障分析和不对称故障分析、电力系统运行稳定性分析等,并在每章后面附有小结和习题帮助读者复习和练习。

本教材主要适用于高职高专电气工程和供用电等专业的教学,或作为高等院校、成人教育等相关专业学习该课程的辅助教材,也可供从事电力系统工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统基础/陈光会,王敏主编. —北京:中国水利水电出版社,2004

全国高职高专电气类精品规划教材

ISBN 7-5084-2343-7

I. 电... II. ①陈... ②王... III. 电力系统—高等学校:技术学校—教材 IV. TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第089181号

书 名	全国高职高专电气类精品规划教材 电力系统基础
作 者	主编 陈光会 王敏
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京安锐思技贸有限公司
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×960mm 16开本 19.25印张 376千字
版 次	2004年9月第1版 2005年5月第2次印刷
印 数	5101—8100册
定 价	29.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

教育部在《2003-2007 年教育振兴行动计划》中提出要实施“职业教育与创新工程”，大力发展职业教育，大量培养高素质的技能型特别是高技能人才，并强调要以就业为导向，转变办学模式，大力推动职业教育。因此，高职高专教育的人才培养模式应体现以培养技术应用能力为主线 and 全面推进素质教育的要求。教材是体现教学内容和教学方法的知识载体，进行教学活动的基本工具；是深化教育教学改革，保障和提高教学质量的重要支柱和基础。因此，教材建设是高职高专教育的一项基础性工程，必须适应高职高专教育改革与发展的需要。

为贯彻这一思想，2003 年 12 月，在福建厦门，中国水利水电出版社组织全国 14 家高职高专学校共同研讨高职高专教学的目前状况、特色及发展趋势，并决定编写一批符合当前高职高专教学特色的教材，于是就有了《全国高职高专电气类精品规划教材》。

《全国高职高专电气类精品规划教材》是为适应高职高专教育改革与发展的需要，以培养技术应用为主线的技能型特别是高技能人才的系列教材。为了确保教材的编写质量，参与编写人员都是经过院校推荐、编委会答辩并聘任的，有着丰富的教学和实践经验，其中主编都有编写教材的经历。教材较好地反映了当前电气技术的先进水平和最新岗位要求，体现了培养学生的技术应用能力和推进素质教育的要求，具有创新特色。同时，结合教育部两年制高职教育的试点推行，编委会也对各门教材提出了

满足这一发展需要的内容编写要求，可以说，这套教材既能适应三年制高职高专教育的要求，也适应两年制高职高专教育的要求。

《全国高职高专电气类精品规划教材》的出版，是对高职高专教材建设的一次有益探讨，因为时间仓促，教材可能存在一些不妥之处，敬请读者批评指正。

《全国高职高专电气类精品规划教材》编委会

2004年8月

前

言

近年来,在国家大力推进高等职业教育的形势下,我国的高职高专教育发展势头十分迅猛,但与之相配套的高职高专教材建设却远远滞后。一些学校由于挑选不到合适的教材,不得不选用本科的教材甚至在使用中专的教材,这给高职高专教育的发展带来了不利的影响。

2003年12月,在福建召开了由全国14家高职高专学校参加的《全国高职高专电气类精品规划教材》编审会,在本次会议上制定了要建设好高职高专电气类精品规划教材的目标,提出了要高质量做好高职高专教材建设的具体要求。本教材就是根据这次会议的要求而编写的。

“电力系统基础”课程本身是电气类专业的专业课,又是学习后续专业课程的基础。因此围绕着如何更好地为高职高专的教育服务,体现高职高专教学的“实用性、应用性”特点,在编写时,尽量做到知识内容的简洁、适用,力求让学生建立起基本的电力系统概念,掌握最必要的专业知识,同时又删除或简化了过多的理论推导和计算。每一部分均设有本章的主要知识点和重点内容辅导以及本章的习题,以便于学生更好地学习和理解相关知识。

本教材由广西水利电力职业技术学院陈光会编写第1、2章,福建水利电力职业技术学院余光华编写第3章,长江工程职业技术学院李家坤编写第4章,广东水利电力职业技术学院王敏编写第5、8章,四川水利职业技术学院易天福编写第6章,四川电力职业技术学院周俊编写第7章,全书由陈光会、王敏统稿并担任主编。

限于编者水平有限，加上时间仓促，书中难免存在错误和不当之处，
恳请广大读者批评指正。

编 者

2004年8月

目 录

序

前言

第1章 电力系统概述	1
1.1 电力系统的基本组成和特点	1
1.2 电气设备和电力网的额定电压	3
1.3 电力网的接线方式及负荷的分类	7
1.4 电力线路的结构	8
小结	14
思考题与习题	15
第2章 电力系统的等值电路和参数计算	16
2.1 电力线路的参数及其等值电路	16
2.2 变压器的参数及其等值电路	23
2.3 发电机和负荷的参数及等值电路	31
2.4 标么值	34
2.5 电力系统的等值电路	37
小结	43
思考题与习题	44
第3章 电力系统潮流分析与计算	47
3.1 基本概念	48
3.2 开式网络的潮流分析	55
3.3 简单闭式网络的潮流分析	58
3.4 复杂供电网络的潮流计算	71
3.5 电力系统潮流的计算机算法	75
小结	87
思考题与习题	88

第 4 章 电力系统频率调整和电压调整	91
4.1 概述	91
4.2 电力系统有功功率平衡和频率调整	92
4.3 电力系统无功功率平衡和电压管理	103
4.4 电力系统的电压调整	111
小结	123
思考题与习题	124
第 5 章 电力系统的经济运行	126
5.1 概述	126
5.2 电力系统的负荷	127
5.3 电力网的电能损耗	131
5.4 降低电力网电能损耗的措施	137
5.5 电力线路导线截面的选择	144
小结	153
思考题与习题	154
第 6 章 电力系统对称故障的分析计算	156
6.1 电力系统故障概述	156
6.2 无限大容量电源供电系统的三相短路	160
6.3 同步发电机突然三相短路的分析	164
6.4 电力系统三相短路电流的实用计算	174
6.5 运算曲线法的应用	194
小结	204
思考题与习题	205
第 7 章 电力系统不对称故障的分析计算	207
7.1 对称分量法与不对称故障概述	207
7.2 电力系统的元件序参数及等值电路	214
7.3 电力系统不对称故障的分析计算	226
7.4 不对称短路时网络中电流和电压的分布	237
7.5 电力系统的非全相运行计算	240
小结	244
思考题与习题	245

第 8 章 电力系统运行稳定性概述	247
8.1 概述	247
8.2 同步发电机的机电特性	248
8.3 电力系统静态稳定性	252
8.4 电力系统暂态稳定性	265
小 结	279
思考题与习题	280
附录 I 电力线路、变压器特性数据表	281
附录 II 短路电流运算曲线	293
参考文献	298

电力系统概述

本章将介绍电力系统的一些基本概念和电力系统的基本特点。

1.1 电力系统的基本组成和特点

1.1.1 电力系统的组成

众所周知，电能是现代社会不可缺少的能源，人们在生产和生活中大量使用着各种各样利用电能工作的设备。由于电能传输、控制、转换等方面的便捷性，使得电能的应用越来越广泛。通常人们是把电能的生产、输送、分配和使用的各个环节或部门统称为电力系统。

图 1-1 所示为一个简单电力系统的电力生产和使用过程示意图。首先是在发电厂内，由汽轮机、发电机将其他形式的能源转化为电能，然后通过升压变压器将电压升高，经过高压输电线路将电能输送到用电地区或城市的变电所，由其中的降压变压器使电压下降，再通过电压较低的配电线路分配给各个用户来进行用电。

通过图 1-1，我们得到以下几个重要的概念：

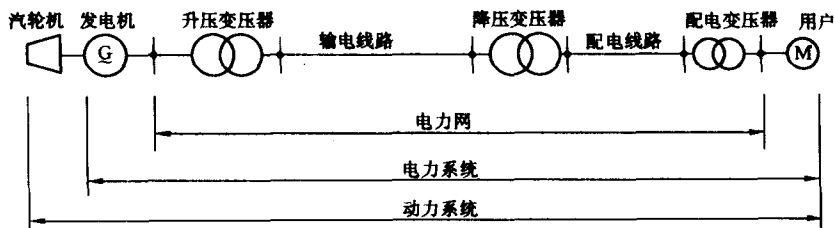


图 1-1 动力系统、电力系统、电力网示意图

(1) 电力系统。除锅炉、汽轮机或水轮机等动力部分以外的这样一个由发电机、变压器、输配电线路和用户电器等各种电气设备连接在一起而形成的生产、输送分配和消耗电能的整体称为电力系统。

(2) 动力系统。如果将上述的电力系统加上各种类型发电厂中的动力部分，如热力部分（锅炉汽机）、水力部分、原子能反应堆部分等就统称为动力系统。

(3) 电力网。一般所说的电力网是指在上述电力系统中去掉发电厂的发电机部分和末端的用电设备后所剩余的部分。换言之，就是由各种电压等级的变压器和输、配电线路所构成的用于变换和输送、分配电能的部分称为电力网。

现代的电力系统，都是由许许多多的发电厂、变电站和输配电线路相互连接着一起来构成联合运行的系统，很少有孤立运行的电力系统。如图 1-2 所示为有多个电源的电力系统示意图。

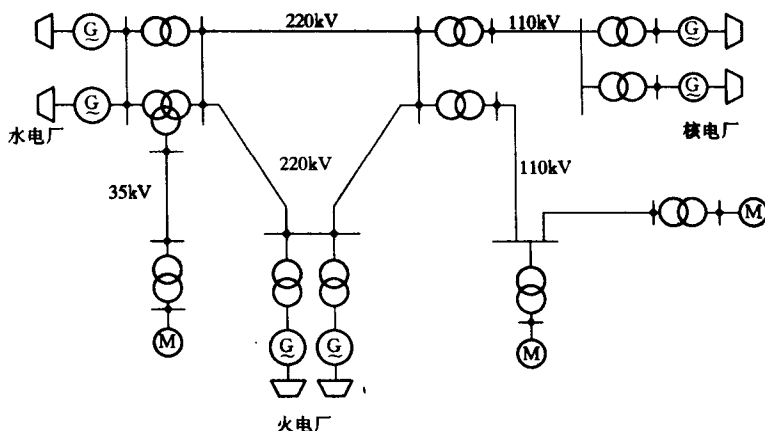


图 1-2 有多个电源的电力系统示意图

联合运行的电力系统在技术和经济上比孤立运行的电力系统有许多明显的优势，如：可以更充分合理地利用能源提高经济效益；能够采用大型机组以降低造价和燃料消耗，加快建设速度；各部分之间可以互相调剂支援电量，从而减少系统总备用容量；还可以利用地区时差及水火电之间的调节，取得错峰和调峰效益等。

目前我国正在建设以三峡电厂为中心的全国联网的电力系统。

1.1.2 电力系统运行生产的特点

(1) 电力系统的电能生产、输送、分配和使用过程是同时进行，缺一不可的。由





于目前尚不能大量地、廉价地储存电能，所以发电厂生产出的电能等于用户所消耗的电能与输送分配过程中的电能损耗之和。简而言之，用户及网络消耗多少电能，电厂就只能生产多少电能，反之亦然。

(2) 电力系统的运行生产与国民经济及人民生活关系密切，影响重大。作为当今社会的主要能源，电能的使用无处不在。如果电能供应不足或中断将直接影响工业农业生产，给人民生活带来诸多不便。例如，国内外发生的几次大面积停电事故都造成了十分巨大的经济损失。

(3) 电力系统运行中发生变化的速度很快，即过渡过程非常短促。电力系统中各元件的投、切和电能输送过程几乎都在瞬间进行，即电力系统从一种运行状态过渡到另一种运行状态的过程非常短促。例如用户端出现负荷增加或减少以及发生短路事故等变化时，在电源端马上就有相应的反映。

1.1.3 对电力系统的基本要求

(1) 保证安全可靠地供电。安全可靠地供电是电力系统首先要满足的要求，因为一旦供电中断将使工农业生产停顿，社会生活混乱，甚至会危及人身和设备的安全，造成十分严重的后果。

(2) 保证合格的电能质量。电气设备对电能也有质量指标的要求，如果电能质量不合格，用电器将不能正常使用。电能质量主要由交流电的频率、电压和波形等指标来衡量，供给用户的电能必须保证在规定的额定值允许变化范围内。

(3) 力求系统运行的经济性。电力系统的运行生产与其他生产企业一样也要考虑经济效益。电力系统应在保证可靠性和良好质量的同时，力争降低生产成本。电力系统运行的经济性可从合理分配各发电厂间的负荷，降低燃料消耗率和厂用电率，降低电力网的电能损耗等多个方面来考虑。

总之，对电力系统的基本要求可简单概括为安全、优质、经济。

1.2 电气设备和电力网的额定电压

1.2.1 额定电压的概念

电气设备所使用的电压都有规定，一般称为额定电压。额定电压是国家有关部门根据技术经济比较而规定的标准电压，规定额定电压也是为了使电力设备能标准化、系列化制造，便于设备的运行、维护、管理等。电力系统中的发电机、变压器、线路、用电设备等都有明确的额定电压值，当它们在额定电压下运行时，其技术与经济



性能将达到最好的效果。各种元件的额定电压值如表 1-1 所示。

1.2.2 电力系统中各元件额定电压的规定

(1) 电力线路额定电压规定。在传输电能过程中由于线路阻抗中要产生电压损耗, 所以沿线路各点的电压是不同的, 线路首端电压一般高于末端电压。为了使接在线路末端的用电设备得到相应的额定电压, 就规定电网线路的额定电压与用电设备的额定电压相同。因为一般沿线路的电压损耗不超过 10%, 如果线路首端的电压为额定电压的 1.05 倍, 那么线路末端的电压就不会低于额定电压的 0.95 倍, 而一般用电设备的允许电压偏移为 $\pm 5\%$, 这样一来, 各用电设备就能在允许电压范围内运行。

根据上述要求, 电力线路的额定电压规定为 220、380V 以及 3、6、10、35、63、110、220、330、500kV 和 750 kV。

(2) 发电机额定电压规定。发电机一般接在线路的首端, 因此, 发电机的额定电压应比线路额定电压高 5%, 即

$$U_{GN} = (1 + 5\%)U_N \quad (1-1)$$

式中 U_{GN} ——发电机的额定电压;

U_N ——电力线路的额定电压。

根据上式及其他技术经济条件所确定的发电机额定电压为 3.15、6.3、10.5、13.8、15.75、18kV 和 20kV 等。

(3) 变压器的额定电压。变压器是将一种电压变换成另一种电压的设备。与其他设备不同的是变压器本身就具有两个(或两个以上)电压级, 所以变压器实际上是每个绕组都有其额定电压。即双绕组变压器有高、低两个额定电压, 三绕组变压器有高、中、低三个额定电压。

对变压器的额定电压规定一般是按照接受电能的一次侧电压和输出电能的二次侧电压来区分规定的: 一次绕组相当于用电设备, 其额定电压应等于所连电力线路的额定电压(当变压器直接和发电机相连时, 应等于发电机额定电压)。变压器二次侧相当于线路的首端(电源端), 而线路首端要求至少比线路额定电压高 5%, 另外变压器自身内部也有约 5%左右的阻抗电压降, 因此, 变压器二次侧额定电压一般应比线路额定电压高 10%。只有当变压器的漏抗较小(一般高压侧电压小于等于 35kV 且短路电压百分值小于等于 7.5%)或二次绕组所连线路较短的时候, 二次侧额定电压可以比线路额定电压高 5%。

变压器额定电压数值如表 1-1 所示。



表 1-1

电力系统各元件额定电压 (kV)

电力线路和用电设备额定电压	电力线路平均额定电压	交流发电机额定电压	变压器额定电压	
			一次绕组	二次绕组
3	3.15	3.15	3 及 3.15	3 及 3.15
6	6.3	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
10	10.5	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
		13.8	13.8	
		15.75	15.75	
		18	18	
35	37	20	35	38.5
60	63		60	66
110	115		110	121
220	230		220	242
330	345		330	363
500	525		500	550
750	800		750	825

注 表中所列均为线电压值。

1.2.3 电力线路的平均额定电压

电力线路平均额定电压规定等于电力线路首末两端所连接的电气设备额定电压的平均值, 即

$$U_{av} = \frac{U_N + 1.1U_N}{2} = 1.05U_N \quad (1-2)$$

式中 U_N ——电力线路的额定电压。

根据上式计算, 目前我国电力网平均额定电压规定为: 3.15、6.3、10.5、37、63、115、230、345、525kV 和 800kV。

有时为简化计算, 也取变压器各侧绕组的额定电压等于各侧所连线路的平均额定电压, 这样变压器的变比也就等于其两侧线路的平均额定电压之比。

上述各类额定电压数值列在表 1-1 中备查。

【例 1-1】 如图 1-3 所示电力系统, 线路额定电压已知, 试求发电机、变压器的额定电压。

解: (1) 发电机 G 的 U_N 应比其相连的 10kV 网络高 5%, 即发电机额定电压为 10.5kV。

(2) 升压变压器 T1 的一次侧与发电机直接相连, 故其一次侧电压应等于发电机额定电压 10.5kV; 该变压器的二次侧分别与 110kV 和 220kV 线路相连, 其额定电



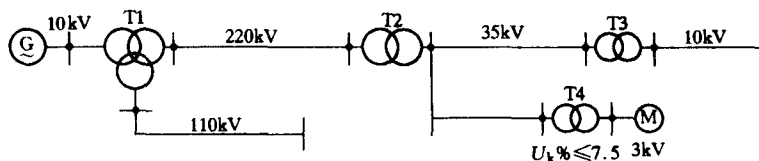


图 1-3 [例 1-1] 电力系统图

压均应分别高于线路 10%；所以 T1 的变比确定为 242/121/10.5kV。

(3) 降压变压器 T2 的一次侧与 220kV 线路相连，二次侧与 35kV 线路相连，因此可以确定 T2 的额定电压变比为 220/38.5kV。

(4) 降压变压器 T3 一次侧与 35kV 线路相连，二次侧与 10kV 线路相连，也可以确定 T3 的额定电压变比为 35/11kV。

(5) 降压变压器 T4 一次侧与 35kV 线路相连，二次侧直接与 3kV 设备相连，且 T4 的短路电压百分数 $U_k\% \leq 7.5$ ，因此确定它的额定电压变比为 35/3.15kV。

1.2.4 各级电压电力网的适用范围

根据三相输电功率关系式 $S = \sqrt{3}IU$ 分析可知，输送功率 S 一定时，输电的电压 U 越高，线路上的电流 I 就越小，就可采用小截面的导线从而减少导线的投资。但另一方面，电压如果越高对设备的绝缘要求自然也越高，从而又导致线路杆塔等设备的投资也越大。因此综合起来考虑，对应于一定的输电距离和输送功率，就必然有一个在技术和经济上都较为合理的电压等级。

根据技术经济条件所得到的各级电压电力网的经济输送容量、输送距离如表 1-2 所示。

表 1-2 电力网的经济输送容量和输送距离

额定电压 (kV)	输送容量 (MW)	输送距离 (km)
3	0.1~1.0	1~3
6	0.1~1.2	4~15
10	0.2~2.0	6~20
35	2.0~10	20~50
110	10~50	30~150
220	100~200	100~300
330	200~500	200~600
500	400~1000	150~850





1.3 电力网的接线方式及负荷的分类

1.3.1 电力网的接线方式

电力网的接线方式一般分为无备用接线和有备用接线两类。

(1) 无备用接线。它包括有单回路放射式、干线式、链式等网络接线，其网络构成非常简单方便，设备投资少，如图 1-4 所示。很显然，这类接线中的每一个负荷都只能从一个方向取得电能，因此当其中某段线路发生故障时，都将使一部分用户断电，供电的可靠性稍差，因此这类接线一般只适宜于向不太重要的负荷供电。

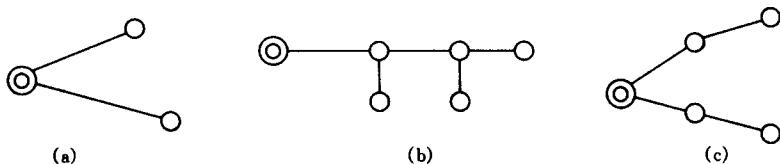


图 1-4 无备用接线

(a) 放射式；(b) 干线式；(c) 链式

(2) 有备用接线。它包括有双回路放射式、干线式、链式以及环式和两端供电网等网络接线，如图 1-5 所示。显然，其网络设备投资相对无备用接线要高。但这类接线中的每一个负荷都能从两个方向取得电能，因此当其中某条线路发生故障时，其中的用户都能从另一个方向获得电能，从而避免了供电中断，因此这类接线多用于供电

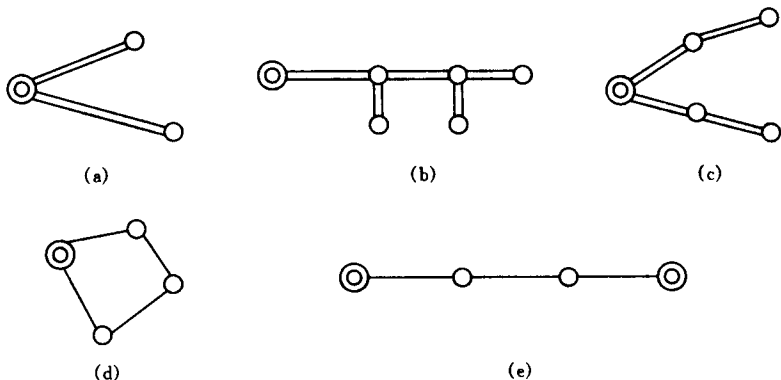


图 1-5 有备用接线

(a) 放射式；(b) 干线式；(c) 链式；(d) 环式；(e) 两端供电网

