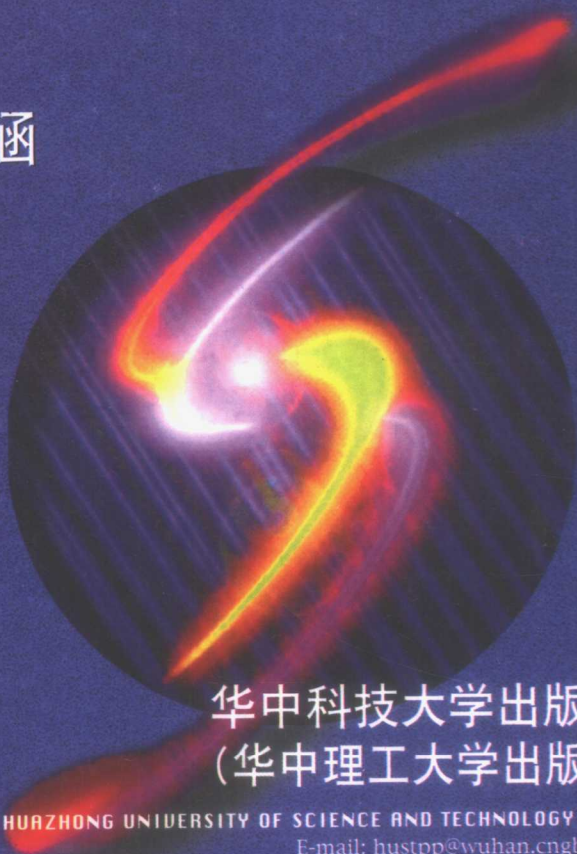




21世纪电气工程及其自动化系列教材

电力系统工程基础

主编 熊信银 张步涵



华中科技大学出版社
(华中理工大学出版社)

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

E-mail: hustpp@wuhan.cngb.com

电力系统工程基础

熊信银 张步涵 主编

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电力系统工程基础/熊信银 等主编
武汉:华中科技大学出版社, 2003年2月
ISBN 7-5609-2886-2

I. 电…
II. ①熊… ②张…
III. 电力系统-高等学校-教材
IV. TM7

电力系统工程基础

熊信银 张步涵 主编

责任编辑:李 德

责任校对:蔡晓璐

封面设计:潘 群

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

录 排:华中科技大学出版社照排室

印 刷:武汉市新华印刷有限责任公司



开本:787×960 1/16

印张:25.25

字数:487 000

版次:2003年2月第1版

印次:2003年2月第1次印刷

印数:1—4 000

ISBN 7-5609-2886-2/TM·89

定价:29.80元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

5

前 言

本书是根据加强基础、拓宽专业知识面的教学改革的需要而编写的,涉及到电力系统工程的各个方面,诸如电力系统的基本概念及知识,发电系统,输变电系统,配电系统,电力系统负荷,电力系统各元件参数及等值电路,电力系统的短路及潮流计算,电气主接线的设计,现代电力系统的运行,发、输、变、配电系统的二次系统,电力系统继电保护和现代电力系统的管理等。为加深对课程内容的理解,书中大部分章节附有例题、思考题和习题。本书可作为电类各专业的必修课程和电气工程及其自动化专业教材,也可作为机电类专业的参考书。

本文由华中科技大学电力系统及其自动化教研室组织编写,参加编写的有:熊信银(第一章、第十章第一节和第二节、第十二章及附录)、张步涵(第六、七及九章)、戴明鑫(第二、三及八章)、罗毅(第四、五章、第十章第三节、第十一章第六节)和曾克娥(第十一章第一节至第五节)。熊信银、张步涵担任主编,最后由熊信银负责全书的统稿。本书由华中科技大学胡能正教授主审,他对本书提出了很多宝贵意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促,书中错误及不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2002年10月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 电力系统基本概念	(1)
第二节 电能的质量指标	(6)
第三节 电力系统的电压等级	(9)
第四节 电力系统中性点接地	(13)
第五节 电力系统发展概况及前景	(20)
思考题	(29)
第二章 发电系统	(30)
第一节 能源及电能	(30)
第二节 火力发电厂	(32)
第三节 核电厂	(46)
第四节 水力发电厂	(54)
思考题	(58)
第三章 输变电系统	(59)
第一节 概述	(59)
第二节 输变电设备	(60)
第三节 电气一次接线	(67)
第四节 配电装置	(76)
第五节 保护接地及接零	(79)
第六节 高压直流输电	(83)
思考题	(87)
第四章 配电系统	(89)
第一节 概述	(89)
第二节 配电网主接线	(93)
第三节 配电网开关设备	(96)
第五章 电力系统负荷	(105)
第一节 电力系统负荷及负荷曲线	(105)
第二节 电力系统典型负荷	(110)
第六章 电力系统各元件参数及等值电路	(124)

第一节	电力系统各元件一相等值电路的概念	(124)
第二节	架空输电线路的正序参数及等值电路	(127)
第三节	变压器的正序参数及等值电路	(131)
第四节	发电机与负荷的正序参数及等值电路	(140)
第五节	电力系统各元件的序参数	(141)
第六节	标幺制	(147)
	思考题与习题	(154)
第七章	电力系统的短路与潮流计算	(156)
第一节	电力系统的短路故障	(156)
第二节	无限大功率电源供电网络的三相短路	(158)
第三节	网络简化与转移电抗的计算	(164)
第四节	有限容量系统供电网络三相短路电流的实用计算	(170)
第五节	电力系统各序网络的建立	(180)
第六节	电力系统不对称短路的计算	(186)
第七节	电力网的电压和功率分布计算	(193)
	思考题与习题	(206)
第八章	电气主接线的设计	(209)
第一节	概述	(209)
第二节	主变压器和主接线的选择	(209)
第三节	载流导体的发热和电动力	(212)
第四节	电气设备的选择	(219)
第五节	设备选择举例	(231)
	思考题与习题	(236)
第九章	现代电力系统的运行	(238)
第一节	电力系统有功功率与频率的调整	(238)
第二节	电力系统无功功率与电压的调整	(243)
第三节	电力网运行的经济性	(254)
第四节	电力系统运行的稳定性	(259)
	思考题与习题	(277)
第十章	发、输、变、配电系统的二次系统	(280)
第一节	基本概念	(280)
第二节	断路器的控制和信号回路	(284)
第三节	重合器的操动机构	(293)
	思考题	(295)
第十一章	电力系统继电保护	(296)

第一节 基础知识·····	(296)
第二节 线路的电流保护·····	(305)
第三节 输电线路的自动重合闸·····	(324)
第四节 电力变压器的保护·····	(332)
第五节 电动机保护·····	(339)
第六节 分段器与重合器的配合·····	(344)
思考题与习题·····	(348)
第十二章 现代电力系统的管理·····	(351)
第一节 概述·····	(351)
第二节 电力企业计划管理·····	(360)
第三节 电力企业生产管理·····	(376)
思考题与习题·····	(386)
附录 I 各种常用架空线路导线的规格·····	(387)
附录 II 架空线路导线的电抗和电纳·····	(389)
附录 III 短路电流周期分量计算曲线数字表·····	(390)
附录 IV 导体及电气设备技术数据·····	(394)
参考文献·····	(397)

第一章 绪 论

第一节 电力系统基本概念

一、电力系统的定义

电能对人类非常重要。它给黑夜带来光明,给人类带来幸福,没有电能的世界是不可想象的。

电能是现代社会文明的基础。它为现代工业、现代农业、现代科学技术和现代国防提供必不可少的动力,是人民生活中不可缺少的重要能源,在国民经济中占有十分重要的地位。

煤、石油、天然气、水等随自然演化生成的动力资源是能源的直接提供者,称为一次能源。电能是由一次能源转换而成的,称为二次能源。

发电厂是生产电能的工厂,它把不同种类的一次能源转换成电能。

由发电厂生产的电能,经过由变压器和输电线路组成的网络输送到城市、农村和工矿企业供给用户的用电设备消耗。变电所是联系发电厂和用户的中间环节,一般安装有变压器及其控制和保护装置,起着变换和分配电能的作用。由变电所和不同电压等级输电线路组成的网络,称为电力网。

由发电厂内的发电机、电力网内的变压器和输电线路以及用户的各种用电设备,按照一定的规律连接而组成的统一整体,称为电力系统。在电力系统的基础上,还把发电厂的动力部分,例如火力发电厂的锅炉、汽轮机,水力发电厂的水库、水轮机以及核动力发电厂的反应堆等都包含在内的系统,则称之为动力系统。这里,以水电系统为例来说明动力系统、电力系统和电力网三者之间的关系,如图 1-1 所示。

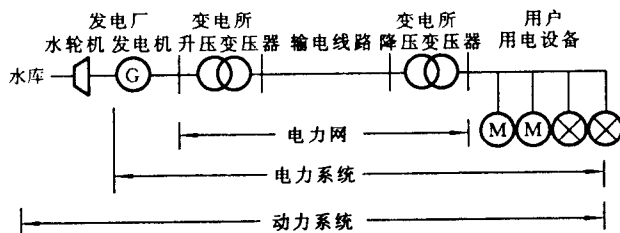


图 1-1 电力网、电力系统和动力系统

由图 1-1 可以看出,由发电机生产的电能,为减少输送过程中的电能损耗,一般先经过变电所的升压变压器将电压升高后,再通过输电线路送入电力系统。由于用户用电设备的额定电压较低,因此电能送到用户地区后要经过变电所的降压变压器将电压降低后供给用户用电设备消耗。

电力网通常按电压等级的高低、供电范围的大小分为:地方电力网、区域电力网和超高压远距离输电网,如图 1-2 所示。地方电力网是指电压 35kV 及以下,供电半径在 20~50km 以内的电力网。一般企业、工矿和农村乡镇配电网络属于地方电力网。电压等级在 35kV 以上,供电半径超过 50km,联系较多发电厂的电力网,称为区域电力网,电压等级为 110~220kV 的网络,就属于这种类型的电力网。电压等级为 330~500kV 的网络,一般是由远距离输电线路连接而成的,通常称为超高压远距离输电网,它的主要任务是把远处发电厂生产的电能输送到负荷中心,同时还联系若干区域电力网形成跨省、跨地区的大型电力系统,例如我国的东北、华北、华东、华中、西北和南方等网络,就属于这一类型的电力网。

变电所是联系发电厂和用户的中间环节,起着变换和分配电能的作用。根据变电所在电力系统中的地位,可分为下述几种类型。

1. 枢纽变电所

枢纽变电所是指位于电力系统的枢纽点,高压侧电压为 330~500kV,连接电力系统高压和中压的几个部分,汇集多个电源的变电所。全所一旦停电后,将引起整个系统解列,甚至使部分系统瘫痪。

2. 中间变电所

中间变电所是指以交换潮流或使长距离输电线路分段为主,同时降低电压给所在区域负荷供电的变电所。一般汇集 2~3 个电源,电压为 220~330kV。全所一旦停电后,将引起区域电力网解列。

3. 地区变电所

地区变电所是一个地区或城市的主要变电所。地区变电所是以向地区或城市用户供电为主,高压侧电压一般为 110~220kV 的变电所。全所一旦停电后,将使该地区中断供电。

4. 终端电站所

终端变电所是在输电线路的终端,连接负荷点,直接向用户供电,高压侧电压为 110kV 的变电所。全所一旦停电后,将使用户中断供电。

由图 1-2 可以看出,水力发电厂一般距负荷中心较远,它所生产的电能经过变压器升高电压后,通过远距离输电线路送入电力系统。火力发电厂可建在负荷中心,也可建在煤矿附近。建在负荷中心的火力发电厂,除供给地方负荷外,还可通过区域电力网与电力系统交换功率,实现余缺互补。

由图 1-2 还可以看出,变电所 A 有两台三绕组变压器将三个不同电压等级的输电

线路联系在一起,处于十分重要的地位,称为枢纽变电所。变电所 B 为中间变电所,一方面接受火力发电厂送来的电能转送给系统,另一方面又向附近用户供电。变电所 C 为地区变电所。变电所 D 为终端变电所,只给一个局部地区供电。

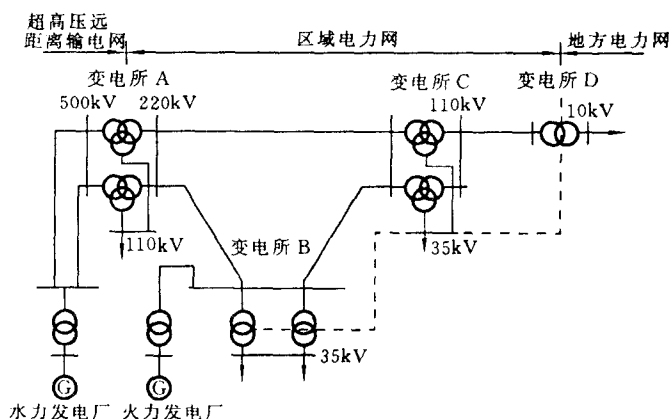


图 1-2 电力系统

二、电力系统的形成

在电力工业发展初期,发电厂的容量很小,且都建设在用户附近,各发电厂之间没有任何联系,彼此都是孤立运行的。随着工业、农业生产的发展,对电力需求日益增多,对供电质量也提出了更高的要求。这样,不但要建设许多大容量的发电厂以满足日益增长的电能需求,而且对供电可靠性的要求也高了。显而易见,单个孤立运行的发电厂是无法解决这些难题的。例如,一个孤立运行的发电厂,一旦出了故障,用户将中断供电。此外,发电用的动力资源和电能用户往往不在一个地区,水能资源集中在河流水位落差较大的地方,燃料资源集中在煤、石油、天然气的矿区;而大工业、大城市和其他用电部门则因其原料产地、消费中心或受历史、地理条件的限制,可能与动力资源所在地区相隔很远,这样,水电只能通过高压输电线路把电能输送到用户地区才能利用。火电厂虽然能通过燃料运输而在用户地区建设发电厂,但随着机组容量的增大,运输燃料常常不如输电经济。于是就出现了所谓坑口发电厂,即把火电厂建在矿区,通过升压变电所、高压输电线路以及降压变电所把电能送到离电厂很远的用户地区。凡此种种,都要将各个孤立运行的发电厂通过输电线路和变电所互相连接起来,以达到相互支援,提高供电可靠性和相互备用的目的。随着高压输电技术的发展,在地理上相隔一定距离的发电厂就逐步连接起来并列运行,其规模越来越大,开始在一个地区之内,后来发展到地区之间互相连接,形成庞大的电力系统。

三、电力系统的特点

电能的生产、变换、输送、分配及使用和其他工业不同,它具有下述特点。

1. 电能不能大量存储

在电力系统中,电能的生产、变换、输送、分配和使用是同时进行的。发电厂在任何时刻生产的电能必须等于该时刻用电设备消耗的电能与变换、输送和分配环节中损耗的电能之和,即发电容量和用电容量随时应保持平衡,因而不论是转换能量的原动机或发电机,或是输送、分配电能的变压器或输电线路以及用电设备等,只要其中任何一个元件发生故障,都将影响系统的正常工作。

迄今为止,尽管人们对电能的存储进行了大量的研究,并在一些新的存储方式上(如超导储能、燃料电池储能等)取得了某些突破性的进展,但是仍未解决经济的、高效率的以及大容量电能的存储问题。因此,电能不能大量存储是电能生产的最大特点。

2. 过渡过程十分短暂

电是以电磁波的形式传播的,传播速度为 $3 \times 10^5 \text{ km/s}$ 。电力系统正常运行时,负荷在不断地变化,发电容量跟踪作相应变化,以便适应负荷的需求。当电力系统运行情况发生变化时所引起的电磁方面和机电方面的过渡过程是十分短暂的。例如,用户用电设备的操作,电动机、电热设备的启停或负荷增减是很快的,变压器、输电线路的投入运行或切除都是在瞬间内完成的。当电力系统出现异常状态,例如短路故障、过电压、发电机失去稳定等过程,更是极其短暂,往往只能用微秒或毫秒来计量时间。因此,不论是正常运行时所进行的调整和切换等操作,还是故障时为切除故障部分或为将故障限制在一定范围内以迅速恢复供电所进行的一系列操作,仅仅依靠人工操作是不能达到满意效果的,甚至是不可能的。因而,必须采用各种自动装置,远动装置,保护装置和计算机技术来迅速而准确地完成各项调整和操作任务。

3. 电能生产与国民经济各部门和人民生活有着极为密切的关系

由于电能是洁净的能源,具有使用灵活、易于转换,控制方便等优点,国民经济各部门广泛使用电能作为生产的动力。现代工业、现代农业、交通运输、通信等都广泛用电能作为动力来进行生产,把电力系统视为各工业企业的“动力车间”。此外,在日常生活中人们广泛使用各种家用电器用电。因此,电能生产与国民经济各部门和人民生活关系密切,息息相关。随着社会现代化的进展,各部门中的电气化程度愈来愈高,因而电能供给的中断或不足,不仅将直接影响工业、农业生产,造成人民生活秩序紊乱,在某种情况下甚至会酿成极其严重的社会性灾难。

4. 电力系统的地区性特点较强

由于电力系统的电源结构与能源资源分布情况和特点有关,而负荷结构却与工业布局、城市规划、电气化水平等有关,至于输电线路的电压等级、线路配置等则和电源与负荷间的距离、负荷的集中程度等有关,因而各个电力系统的组成情况将不尽相同,甚

至可能很不一样。例如,有的系统内水能资源丰富是以水力发电厂为主,而有的系统内煤、油或天然气资源丰富是以火力发电厂为主,有的系统电源与负荷距离近,联系紧密,而有的系统却正好相反,等等。因而,在做电力系统规划设计时,必须运用系统分析方法,采用优化技术和人工智能技术,针对具体系统的情况和特点进行,如果盲目地搬用其他系统或国外系统的一些经验而不加以仔细分析,则必将违反客观规律,酿成错误。

四、对电力系统的要求

1. 保证供电可靠

保证供电可靠是电力系统运行中的一项极为重要的任务。中断用户供电,会使生产停顿,生活混乱,甚至危及人身和设备的安全,给国民经济造成极大损失。停电给国民经济所造成的损失远远超过电力系统本身少售电能所造成的损失,一般认为,由于停电引起国民经济的损失平均值约为电力系统本身少售电能损失的三四十倍。因此,电力系统运行的首要任务是满足用户对供电可靠的要求。

造成对用户中断供电的原因很多,诸如,可能是由于电力系统的设备发生了故障,例如发电机、变压器、输电线路等发生了故障,也可能是系统运行的全面瓦解,例如稳定性遭到破坏导致系统瓦解。前者属于局部事故,停电范围和造成的损失相对较小,后者是全局性事故,停电范围大,重新恢复供电需要很长时间,造成的损失可能很大。

保证供电可靠,首先要求系统元件(如发电机、变压器和输电线路等)的运行具有足够的可靠性,元件发生事故不仅直接造成供电中断,而且可能发展成为全局性的事故。运行经验表明,电力系统的全局性事故往往是由于局部性事故扩展而造成的。其次,要求提高系统运行的稳定性,增强系统的抗干扰能力,保证不发生或不轻易发生造成大面积停电的系统瓦解事故。为此,要不断提高运行人员的技术水平和责任心,防止误操作的发生,在事故发生后应尽量采取措施以防止事故扩大,还要采用现代化的监测、控制和保护装置等。

2. 保证良好的电能质量

衡量电能质量的主要指标是电压、频率和波形,而在电力系统正常运行时,主要保证电压和频率的偏差不超过规定的范围,详见本章第二节。

3. 为用户提供充足的电力

电力系统要为国民经济的各个部门提供充足的电力、最大限度地满足用户的用电需求,首先应按照电力先行的原则做好电力系统发展的规划设计,加快电力工业建设以确保电力工业的建设优先于其他工业部门。其次,要提高运行操作水平,加强现有设备的维护,进行科学管理,以充分发挥潜力,防止事故的发生,减少事故次数。

4. 提高电力系统运行经济性

电能是国民经济各生产部门的主要动力,电能生产消耗的能源在我国能源总消耗中占的比重也很大,因此提高电能生产的经济性具有十分重要的意义。

在保证供电可靠和良好电能质量的前提下,进行优化调度,最大限度地提高电力系统运行的经济性,为用户提供充足的、廉价的电能。为此,可以采取的措施有:安装大容量的发电机组,充分发挥水电在系统中的作用,尽量降低发电厂的煤耗率(或水耗率),合理分配各发电厂间的负荷,减少厂用电和网损等。

上述对电力系统的要求,是相互联系的,有的也是相互矛盾的,应从实际出发,采取切实可行的措施,提高系统安全经济运行水平。一般地讲,一个可靠性指标差的电力系统就谈不上优质和经济,而电能质量差的电力系统也不会是可靠的和经济的。对可靠和优质的要求,有时又会与经济性发生矛盾,因此,在考虑满足其中一项要求时,必须兼顾其他三项要求。

第二节 电能的质量指标

衡量电能质量的主要指标有电压、频率和波形。

一、电压

电压质量对各类用电设备的安全经济运行都有直接的影响。电力系统中主要的用电设备有照明、异步电动机、电热装置和电子设备等。

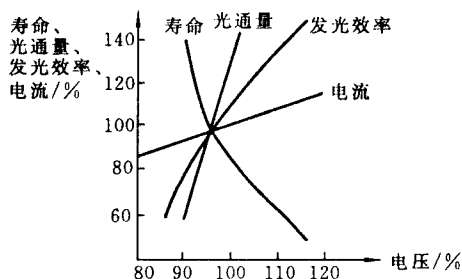


图 1-3 照明负荷(白炽灯)的电压特性
(图中的 100% 表示额定值)

图 1-3 表示照明负荷(白炽灯)的电压特性。从图 1-3 可以看出,照明负荷(白炽灯)对电压的变化是很敏感的。当电压降低时,白炽灯的发光效率和光通量都急剧下降;而当电压升高时,白炽灯的使用寿命将会缩短。例如,当供电电压比白炽灯的额定电压低 10% 时,光通量减少 30%,而当供电电压比白炽灯的额定电压高 5% 时,白炽灯的使用寿命缩减一半。

图 1-4 表示异步电动机的电压特性,即当输出功率一定时,异步电动机的定子电流、功率

因数和效率随电压而变化的曲线。从图 1-4 可以看出,当端电压下降时,定子电流增加很快。当电压降低时,电动机转距将显著减小,这是因为异步电动机的最大转矩与其端电压的平方成正比,以致转差增大,使得定子电流和转子电流都显著增大,引起电动机的温度升高,甚至可能烧毁电动机。反之,当电压过高时,对于电动机、变压器一类具有激磁铁芯的电气设备而言,铁芯磁通密度将增大以致饱和,激磁电流和铁耗都大为增加,致使电机过热,效率降低,波形畸变,甚至可能导致发生谐波谐振。

对电热装置来说,其消耗的功率也与电压的平方成正比,过高的电压将损坏设备,

过低的电压则达不到所需要的温度。

此外,对计算机、电视、广播、通信、雷达等设备中的各种半导体器件、集成电路、磁芯装置等的特性,对电压都极其敏感,电压过高或过低都将使其特性严重变差影响正常工作。例如,就电视机和收音机来讲,电压过高将会使它们损坏,而电压过低则影响它们的接收灵敏度以及收看、收听的效果。

由于上述各类用电设备的工作情况都与电压的变化有着极为密切的关系,故在运行中必须规定电压的容许变化范围,这也就是电压的质量标准。据统计,目前世界上许多国家根据运行实践规定的电压允许变化范围都为额定电压的 $\pm 5\%$,少数国家也有高到 $\pm 10\%$,或低到 $\pm 3\%$ 。

衡量电压的质量指标通常包括供电电压允许偏差、电压允许波动和闪变、三相供电电压允许不平衡度,如表 1-1 所示。

由于电力网中存在电压损失,为了保证电压质量合乎要求,需要采取一定的措施,关于这方面的内容将在第九章中介绍。

二、频率

频率的偏差同样会影响电力用户的正常工作。对于电动机来说,频率降低将使电动机的转速下降,从而使生产率降低,并影响电动机的使用寿命;反之,频率增高将使电动机的转速上升,增加功率消耗,使经济性降低。特别是某些对转速要求较严格的工业部门(如纺织、造纸等),频率的偏差将严重影响产品质量,甚至产生大量废品。另外,频率偏差对发电厂本身将产生更为严重的影响。例如,火力发电厂内锅炉的给水泵和风机之类的离心式机械,当频率降低时其出力将急剧下降,从而迫使锅炉的出力大为减少,甚至引起紧急停炉,这样势必进一步减少系统发电出力,导致系统频率进一步下降。另外,在频率降低的情况下运行时,汽轮机叶片将因振动加大而产生裂纹,或断掉,缩短汽轮机的使用寿命。如果系统频率急剧下降的趋势不能及时得到制止,势必造成恶性循环以致整个系统发生崩溃。

此外,频率的变化还将影响到电钟的正确运行以及计算机、自动控制装置等电子设备的准确工作等。

目前世界各国对频率变化的允许偏差的规定不一样,有些国家规定为不超过 $\pm 0.5\text{Hz}$,也有一些国家规定为不超过 $\pm (0.1 \sim 0.2)\text{Hz}$ 。

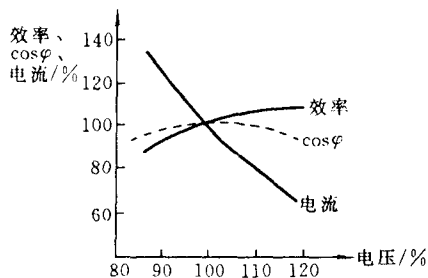


图 1-4 异步电动机的电压特性
(图中的 100% 表示额定值)

表 1-1 电压质量标准

名 称	允许限值	说 明
供电电压 允许偏差	1. 35kV 及以上为正负偏差绝对值之和不超过 10%； 2. 10kV 及以下三相供电为 $\pm 7\%$ ； 3. 220V 单相供电为 $+7\%$ ， -10%	衡量点为供用电产权分界处或电能计量点
电压允许 波动和闪 变	1. 电压波动： (1) 10kV 及以下 2.5%； (2) 35~110kV 为 2%； (3) 220kV 及以上 1.6% 2. 闪变 ΔU_{10} ： (1) 对照明要求较高，0.4% (推荐值)； (2) 一般照明负荷，0.6% (推荐值)	1. 衡量点为电网公共连接点 (PCC)，取实测 95% 概率值； 2. 给出闪变电压限值和频度的关系曲线，可以根据电压波动曲线查得允许值，并给出算例； 3. 对测量方法和测量仪器作出基本规定
三相供电 电压允许 不平衡度	1. 正常允许 2%，短时不超过 4%； 2. 每个用户一般不得超过 1.3%	1. 各级电压要求一样； 2. 衡量点为 PCC，取实测 95% 概率值或日累计超标不超过 72min，且每 30min 中超标不超过 5min； 3. 对测量方法和测量仪器做出规定； 4. 提供不平衡度算法

我国的技术标准规定电力系统额定频率为 50Hz，容量在 3000MW 及以上的系统，频率偏差不得超过 $\pm 0.2\text{Hz}$ ；在不足 3000MW 的系统，频率偏差不得超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ ，由此可见，频率变化的允许偏差为 $\pm (0.2 \sim 0.5)\text{Hz}$ 。我国的技术标准还规定，应保证电钟所示时间的准确性，3000MW 及以上系统，电钟在任何时间的偏差不应大于 $\pm 30\text{s}$ ；不足 3000MW 的系统，不应大于 $\pm 1\text{min}$ 。

根据频率的质量指标，要求同一电力系统在任何一瞬间的频率值必须保持一致。在系统稳态运行情况下，频率值决定于发电机组的转速。而机组的转速则主要决定于发电机组输出功率与输入功率的平衡情况。所以，要保证频率的偏差不超过规定值，首先应当维持电源与负荷间的有功功率平衡，其次还要采取一定的调频措施，即通过调节使有功功率保持平衡来维持系统频率的偏差在规定允许限值之内。

三、波形

通常，要求电力系统供电电压(或电流)的波形应为正弦波。为此，首先要求发电机

发出符合标准的正弦波电压。其次,在电能变换、输送和分配过程中不应使波形发生畸变,例如当变压器或电抗器铁芯饱和时,或变压器无三角形接法的绕组时,都可能导致波形畸变,此外,还应注意消除电力系统中由于具有非线性特性的用电设备产生的谐波,例如换流装置、电气铁道和电弧炉等产生的谐波电流。

当电源波形不是标准的正弦波形时,必然包含着多种高次谐波分量,这些谐波分量的出现将影响电动机的效率和正常运行,还可能使系统发生谐波谐振而危害电气设备的安全运行,例如由于谐波电流放大或谐振过电压烧坏变电所中无功补偿电容器的事故时有发生。此外,谐波分量还将影响电子设备的正常工作并造成对通信线路的干扰,以及其他不良后果等。

为了严格地保证波形的质量指标,在发电机、变压器等的设计、制造时都已经考虑并采取了相应的措施。因此,只要在运行中严格遵守有关规程的规定,则保证波形质量是可能的。但是,随着电力电子技术在电力系统中的应用和扩大,由其产生的谐波污染日趋严重,引起电能质量下降,威胁着电力系统和各种电气设备的安全经济运行。谐波与电压、频率等电能质量指标一样,是电力系统运行的一项重要指标。对电力系统来说,主要考核系统的谐波电压含有率。为了限制谐波电压分量,首先应限制各个非线性负荷所产生的谐波电流,其次是采取一些抑制谐波的措施。若要求限制电力系统谐波绝对为零并不合理,这会造成很大的投资负担。但是将谐波限制在一定范围内,使电力系统运行的各种电气设备能保证正常工作,免受干扰,是较为合理的。

第三节 电力系统的电压等级

电力系统中的发电机、变压器和开关等电气设备都是按照额定电压和额定频率来设计的,当这些电气设备在额定电压和额定频率下运行时,将具有最好的技术性能和经济指标。为此,各国根据本国国情制定出标准的额定电压和额定频率。我国采用的额定频率为 50Hz,这里主要讨论电力系统的电压等级。

电力系统的电压等级包括系统用的额定电压和最高电压,电气设备用的额定电压和最高电压。

一、电力系统额定电压和最高电压

输电线路中通过电流的大小是由传输的视在功率和电压决定的,输电线路的功率损耗是由电流和输电线路参数决定的。由三相功率 $S = \sqrt{3}UI$ 可知,在传输功率 S 一定的条件下,电压 U 愈高时,则电流 I 愈小,功率损耗也小,要求导线的截面积小,投资可减少;但是,电压 U 愈高,绝缘能力要求高,断路器、变压器和杆塔等设备的投资增加。综合考虑各种因素,对应一定传输功率和输送距离的输电线路应有一个合理的电压值,该电压值通常称为经济电压。

对一个国家来说,不可能建设一条输电线路就确定一个电压等级。因为那样会造成设备通用性差,备用设备增加,网络连接和管理都困难。因此,为了使电力系统和电气设备制造厂的生产标准化、系列化,电力系统的电压等级应有统一的标准。世界上每个国家都根据本国的技术经济条件,规定自己的电压等级标准。该电压等级标准称为电力系统额定电压,又称作电力网额定电压或线路额定电压。

电力系统正常运行时,在任何时间系统中任何一点上所出现的电压最高值(不包括系统的暂态和异常电压,例如系统的操作所引起的瞬时电压变化等),称为电力系统最高电压。

二、电气设备额定电压和最高电压

电气设备分为供电设备和受电设备。各种电气设备都是在一定条件下工作的。电气设备制造厂根据所规定的电气设备工作条件而确定的电压,称为电气设备的额定电压。电气设备的最高电压是考虑到设备的绝缘性能和与最高电压有关的其他性能(如变压器的激磁电流及电容器的损耗等)所确定的允许最高运行电压,其数值等于所在电力系统的最高电压值。

为了保证设备在偏离其额定电压允许值的范围内工作,在同一电力系统的额定电压下,电气设备的额定电压值是不相同的。例如,发电机容量越大,额定电压值越高。额定电压在 10.5kV 以下的发电机,其额定电压一般比相应的系统额定电压高 5%。又如,升压变压器低压绕组额定电压与发电机额定电压相同,其高压绕组额定电压比相应电力系统额定电压高 10%。而降压变压器高压绕组额定电压与相应电力系统额定电压相同,其低压绕组额定电压比电力系统额定电压高 5% 或 10%。这样规定电气设备的额定电压,往往是考虑到变压器约有 5% 的电压损耗,输电线路约有 10% 左右的电压损耗。

实际上要保证所有电气设备在允许的电压变动范围内工作是一件非常困难的事情。因为实际电力网接线复杂,输电距离有长有短,负荷又是随时变化的,使得电压的控制与调整极为复杂。因此,合理确定电气设备的额定电压将有利于电力系统电压的控制与调整。

三、电力系统电压等级

电力系统额定电压是根据技术经济上的合理性、电气制造工业的水平和发展趋势等各种因素而规定的。各种电气设备在额定电压下运行时,能获得最经济的效果。我国规定的额定电压分为低于 3kV 系统的额定电压和 3kV 及以上系统的额定电压两类。

1. 低于 3kV 系统的额定电压

低于 3kV 系统的额定电压包括三相与单相交流以及直流三种。

受电设备的额定电压与系统的额定电压是一致的。供电设备的额定电压,系指电源的额定电压,例如蓄电池、发电机和变压器二次绕组的额定电压等。直流电压为平均值,