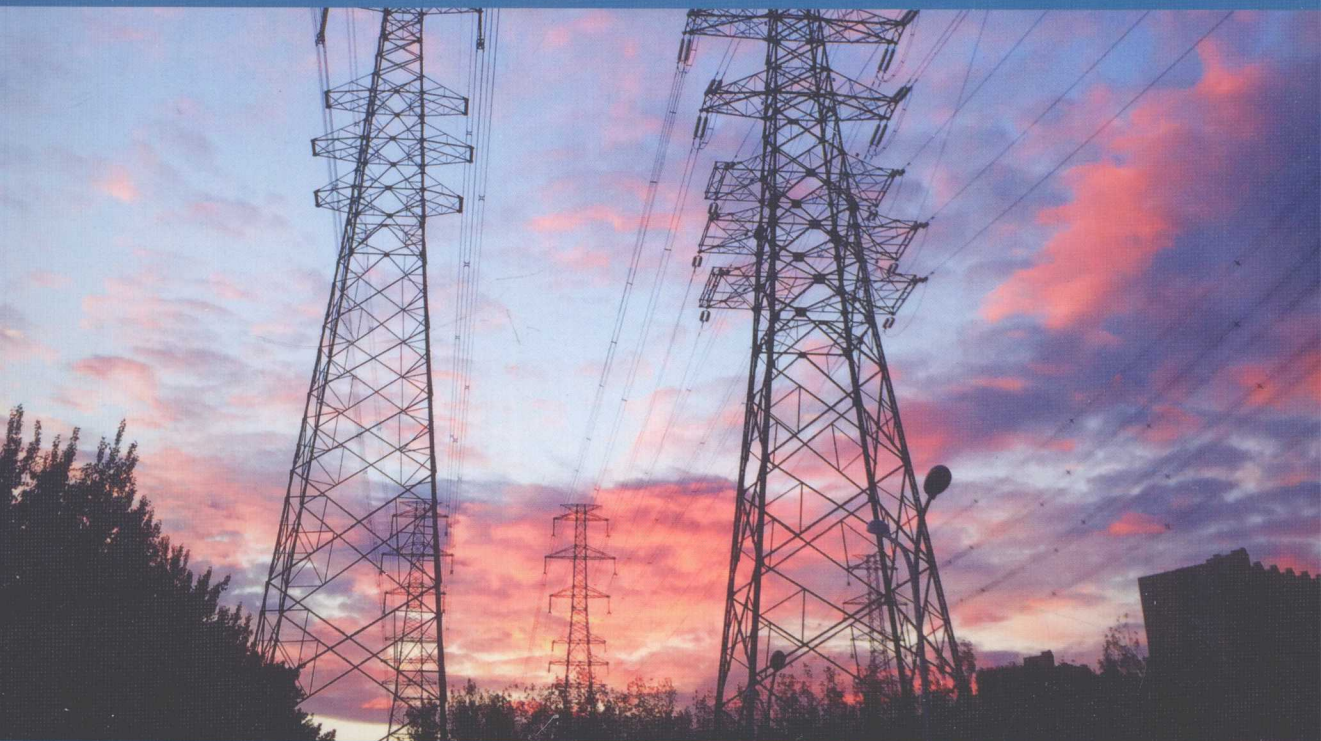




“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材配套教材



FUNDAMENTALS OF ELECTRICAL ENGINEERING

电气工程基础

习题集

唐 飞 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材配套教材

电气工程基础

习题集

主编 唐 飞

编写 刘涤尘 彭 辉 赵 洁

主审 涂光瑜



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为《电气工程基础》(上、下册)的配套参考书,共分16章,逐章给出了教材内的习题,并对各章习题给出了详解,同时还补充了部分题及思考题并给出了解答。

本书可作为普通高等学校电气工程及其自动化专业以及其他相关专业的教学参考,也可供教学人员、自学人员和有关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电气工程基础习题集/唐飞主编. —北京:中国电力出版社,2016.9

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材配套教材

ISBN 978-7-5123-9308-0

I. ①电… II. ①唐… III. ①电气工程—高等学校—习题集
IV. ①TM-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第100336号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016年9月第一版 2016年9月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 15.25印张 372千字

定价 31.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

由中国电力出版社出版的《电气工程基础》(上、下册)教材,涵盖了原电力系统及其自动化专业、电气工程及其自动化专业的《发电厂电气部分》《电力系统分析》《高电压技术》《电力系统继电保护》《电力系统自动装置》《电力系统通信》和《电力电子技术》等多门主干课程的基础教学内容,并将它们有机地融合为一体,是一门宽口径、厚基础的专业基础教材;也是在“电工基础”“电机学”“电子技术”“计算机技术”等基础课程后的一门大型专业平台课。《电气工程基础》教材介绍了电力系统的组成及其主要设备和接线方式、远距离输电技术、简单的潮流和短路计算方法及电力系统稳定的基本概念、电力系统运行中的过电流和过电压保护、电能质量的控制以及电力系统中的通信和自动控制等内容。

《电气工程基础》(上、下册)教材涵盖知识面广、内容丰富,为了便于教学使用和读者阅读,有助于学习和掌握《电气工程基础》课程的基本概念、基本理论和基本分析方法,并有助于拓宽思路、加深理解,特编写了本习题集。本习题集除了《电气工程基础》教材中的习题外还补充了部分习题并给出了解答。本习题集的章节与习题内容兼顾了三次出版的《电气工程基础》(上、下册)教材的主要内容,仅作了小部分章节的顺序调整。

在本习题集的编写过程中,武汉大学研究生张谦、徐君茹、宋春丽、魏大千、韩翔宇、王亚俊、冀星沛、周雨田、徐雨田、赵一婕、汪颂军、赵婷、罗曼等同学为书稿的资料整理、修改和校对做了部分工作。华中科技大学涂光瑜教授审阅了全书,并提出了意见。在此一并向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,敬请广大读者批评指正,并提出宝贵意见。

编 者

2016年6月

目 录

前言

第1章	概述	1
第2章	电力系统的负荷	10
第3章	电力系统主设备	22
第4章	电力系统的接线方式	48
第5章	电力系统稳态分析	65
第6章	电力系统的对称故障分析	80
第7章	电力系统元件的序阻抗和等值网络	88
第8章	电力系统不对称故障分析	102
第9章	电力系统稳定的基本概念	125
第10章	远距离输电	129
第11章	电力系统内部过电压	141
第12章	电力系统防雷保护	152
第13章	电力系统继电保护	165
第14章	发电厂、变电站的控制与信号系统	183
第15章	电力系统自动控制技术	198
第16章	电力系统通信	206

第 1 章 概 述

1.1 简述我国电力工业的现状和发展前景。

答 新中国成立以来我国的电力工业得到了飞速的发展,在电源建设、电网建设和电源结构建设等方面均取得了世人瞩目的成就。目前我国电力工业已进入“大机组”“大电网”“超高压”“高自动化”的发展阶段。截至 2015 年,全国装机容量为 15.2 亿 kW,同比增长 10.5%。其中,火电装机容量为 99 021 万 kW,增长 7.8%;水电装机容量为 31 937 万 kW,增长 4.9%;核电装机容量为 2608 万 kW,增长 29.9%;并网风电装机容量为 12 934 万 kW,增长 33.5%;并网太阳能发电装机容量为 4318 万 kW,增长 73.7%。年发电量为 5.73 万亿 kW·h,同比增长 3.4%,均居世界前列。不过与发达国家相比仍有较大差距,主要体现在,我国电力工业的分布和发展还很不平衡,管理水平和技术水平都有待提高。截至 2015 年 2 月,我国人均发电装机历史性突破 1kW,而美国已超过 3kW。因此,电力工业还需持续、稳步地发展。

我国电力工业的发展方针是:一方面优先开发水电、积极发展火电、稳步发展核电,因地制宜地利用其他可再生能源发电,搞好水电的“西电东送”和火电的“北电南送”建设;另一方面,要继续深化电力体制改革,稳妥、规范、有序推进综合所有制改革,形成科学的管理体系。实施厂网分开,实行竞价上网,建立竞争、开放、规范的电力市场。

我国的电力发展布局和前景为:优先开发水电,积极有序发展新能源发电,安全高效发展核电,优化发展煤电,高效发展天然气发电,推进更大范围内电力资源优化配置,加快建设新一代电网。

1.2 电力工业在我国国民经济中的地位如何?

答 现代社会中,电能是工业、农业、交通和国防等各行各业不可缺少的动力,也是人们日常生活须臾不可离开的能源。电能已成为支撑现代社会文明的物质基础之一,社会文明越发达,人类的生产和生活就越离不开电。因此,电力工业是国民经济的一项基础产业,也是国民经济发展的先行产业,是一个庞大而复杂的系统工程,电力工业的发展水平已成为反映一个国家经济发达程度的重要标志。

1.3 动力系统、电力系统及电力网各由哪些部分组成?

答 动力系统是由带动发电机转动的动力部分(包括各种原动机)、发电机组、升压变电站、输电线路、降压变电站和负荷等环节构成的整体;电力系统是由发电机、电力网和负荷组成的统一体;电力网则是由各类升压变电站、输电线路和降压变电站组成的电能传输和分配的网络。其示意图如图 1-1 所示。

1.4 电力系统运行的特点是什么?

答 电力系统的运行主要有以下特点:

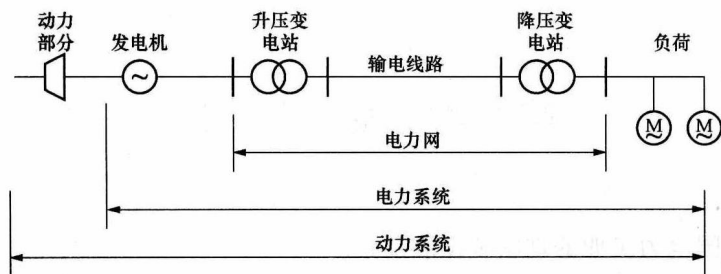


图 1-1 系统示意图 (习题 1.3 解答附图)

(1) 电能不能大量储存, 电能的生产和使用同时完成。在任一时刻, 系统的发电量只能取决于同一时刻用户的用电量。因此, 在系统中必须保持电能的生产、输送和使用处于一种动态的平衡。

(2) 正常输电过程和故障过程都非常迅速。电能是以电磁波的形式传播的, 所以不论是正常的输电过程还是发生故障的过程都极为迅速, 因此, 为了保证电力系统的正常运行, 必须设置完善的自动控制和保护系统。

(3) 具有较强的地区性特点。电力系统的规模越来越大, 其覆盖的地区也越来越广, 各地区的自然资源情况存在较大差别, 因此制定电力系统的发展和运行规划时必须充分考虑地区特点。

(4) 与国民经济各部门关系密切。电能被广泛地应用于国民经济的各个部门和人们生活的各个方面, 且整个社会对电能的依赖性也越来越强, 电力供应不足和电力系统故障造成的停电, 给国民经济造成的损失和对人们日常生活的影响也越来越严重。

1.5 电力系统的运行有何要求?

答 对电力系统运行的基本要求有:

(1) 保证供电的安全可靠性。这是对电力系统运行的最基本要求。从发电到输电再到配电, 每个环节都必须保证安全可靠, 不发生故障, 以保证连续不断地为用户提供电能。为此, 电力系统各部门应加强现代化管理, 提高设备的运行和维护质量。

(2) 保证电能的良好质量。电力系统不仅要满足用户对电能的需求, 还要保证电能的良好质量。频率、电压和波形是电能质量的三个基本指标, 其额定值是电气设备设计的最佳运行参数。电力系统要保证这三个指标符合其额定范围的规定。

(3) 保证电力系统运行的稳定性。电力系统在运行中不可避免地会发生短路事故, 此时系统的负荷将发生突变。当电力系统的稳定性较差, 或对事故处理不当时, 会导致整个系统的全面瓦解。因此稳定问题是影响大型电力系统运行可靠性的一个重要因素。

(4) 保证运行人员和电气设备工作的安全。这是电力系统运行的基本原则, 为此要求不断提高运行人员的技术水平和保持电气设备始终处于完好状态。

(5) 保证电力系统运行的经济性。电能成本的降低不仅会使各用电部门的成本降低, 更重要的是节省了能量资源, 因此会带来巨大的经济效益和长远的社会效益。

(6) 减少污染, 保护生态环境。要求采用新技术、新方法, 减少火电厂的温室气体排放和加大对废气、废物的无害化处理, 最大限度地采用可再生清洁能源发电。

综上所述,对电力系统运行的基本要求可以概括为“安全、可靠、优质、经济、环保”。

1.6 一个具体的电力系统可以用哪些基本参量加以描述?

答 可用总装机容量、年发电量、最大负荷、年用电量、额定频率和最高电压等级来描述。

(1) 总装机容量。系统中所有发电机组额定有功功率的总和,以 MW 计。

(2) 年发电量。系统中所有发电机组全年所发电量的总和,以 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 计。

(3) 最大负荷。规定时间(一天、一月或一年)内系统中总有功负荷的最大值,以 MW 计。

(4) 年用电量。系统中所有用户全年所用电量的总和,以 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 计。

(5) 额定频率。电力系统频率的额定值,我国电力系统的额定频率为 50Hz。

(6) 最高电压等级。电力系统中最高电压等级的电力线路的额定电压,以 kV 计。

1.7 试述电力系统电能质量的主要指标及达标的基本措施。

答 频率、电压和波形是电能质量的三个基本指标。频率方面,我国规定电力系统的额定频率为 50Hz,大容量系统允许频率偏差 $\pm 0.2\text{Hz}$,中小容量系统允许频率偏差 $\pm 0.5\text{Hz}$;电压方面,35kV 及以上的线路额定电压允许偏差 $\pm 5\%$,10kV 线路额定电压允许偏差 $\pm 7\%$,380/220V 线路额定电压允许偏差 $\pm 7\%$;波形方面,10kV 线路电压总谐波畸变率不大于 4%,380/220V 线路电压总谐波畸变率不大于 5%。

电力系统的负荷是不断变化的,系统的电压和频率必然会随之变动。这就要求调度必须时刻注意电压、频率的变化情况和系统有功、无功负荷的平衡情况,随时通过自动装置快速、及时地调节发电机的励磁电流或原动力,停止或启动备用电源及切除部分负荷等,使电力系统中发出的有功和无功功率分别与负荷的有功和无功功率保持平衡,以保持系统额定电压和额定频率的稳定。波形质量问题主要由谐波污染引起,为保证波形质量就必须限制系统中电压、电流的谐波成分。采取以上措施可以确保电能质量。

1.8 我国标准额定电压等级有哪些?发电机、变压器和电力网的额定电压的选用原则是什么?

答 我国国家标准规定的额定电压等级有 3、6、10、20、35、63、110、220、330、500、750、1000kV 等,均指三相交流系统的线电压,以及直流 $\pm 500\text{kV}$ 与 $\pm 800\text{kV}$ 和 $\pm 1100\text{kV}$ 等。

由于发电机总是接在线路的首端,所以其额定电压应比电网的额定电压高 5%,用于补偿电网上的电压损失。规定变压器一次绕组的额定电压规定等于电网的额定电压,但是当变压器的一次绕组直接与发电机的出线端相连时,其一次绕组的额定电压应与发电机的额定电压相同;变压器二次绕组的额定电压应比同级电网的额定电压高 10%,当变压器的二次侧输电距离较短,或变压器阻抗较小时,变压器二次绕组的额定电压可比同级电网的额定电压高 5%。国家标准规定各级电网电压在用户处的电压偏差不得超过 $\pm 5\%$,故在运行中通常可允许线路首端的电压比额定电压高 5%,而线路末端的电压比额定电压低 5%,即电力线路从首端至末端的电压损失允许为 10%。

1.9 电力系统为什么不采用一个统一的电压等级，而要设置多级电压？

答 三相功率和线电压、线电流之间的固定关系为：当功率一定时电压越高电流越小，导线的载流面积越小，导线投资越小；但电压越高对绝缘要求越高，杆塔、变压器、断路器等绝缘设备投资越大。综合考虑，对应一定的输送功率和输送距离应有一个最合理的线路电压。但从设备制造角度考虑，又不应任意确定线路电压。对电力系统的额定电压应根据输送容量和输送距离，结合电力发展情况，在进行技术经济比较的基础上合理规划、正确选择。为了保证生产的系列性和电力工业的有序，并考虑到现有的实际情况和进一步发展，我国用国家标准规定了电力网的标准电压等级。

1.10 什么是电力系统的一次系统？

答 电力系统的一次系统是由电能生产、变换、输送、分配、消费所涉及的发电机、变压器、电力线路和用电设备联系在一起的整体。

1.11 什么是电力系统的二次系统？

答 电力系统的二次系统是由信号检测、继电保护、调度控制和自动装置等设备所组成的系统，用于保证电力系统安全、经济、可靠运行和保证电能质量。

1.12 一次系统与二次系统的界限是什么？

答 一次系统与二次系统之间由电压互感器和电流互感器相连接，互感器的一次侧接于主电路，二次侧接于二次电路。

1.13 互感器属于一次设备还是二次设备？

答 由于互感器的一次侧与高电压、大电流相连，因此属于一次设备。

1.14 电网按其供电范围的大小和电压等级的高低分为哪几类？

答 电网按其供电范围的大小和电压等级的高低可分为地方电网、区域电网和超高压或特高压电网三种类型。

1.15 什么是地方电网？

答 地方电网是指电压等级在 35~110kV，输电距离在 50km 以内的中压电力网，一般是给城区、农村、工矿区供电的网络。

1.16 什么是区域电网？

答 区域电网是指电压等级在 110~220kV，输电距离在 50~300km 之间的电网。它可以将较大范围内的发电厂联系起来，通过较长的高压输电线路向较大范围内的各种类型的用户输送电能。

1.17 什么是超高压或特高压电网？

答 超高压电网是指电压等级在 330~750kV，特高压电网是指交流电压等级在 1000kV 及以上或直流 ± 800 kV 及以上，输电距离在 300~1000km 或者更远距离的电网。主要用来将地处远方的大型发电厂生产的电能送往电力负荷中心，同时可以将几个区域电网连接成跨省（区）的联合电力系统。

1.18 什么是输电网?

答 输电网由电力系统中电压等级最高的一级或两级输电线路组成,主要任务是将各种大型发电厂的电能安全、可靠、经济地输送到分布在不同地区的多个负荷中心。

1.19 输电网的设计应满足哪些要求?

答 输电网的设计应满足:供电的可靠性要高;满足电力系统运行稳定性的要求;便于系统实现经济调度;具有灵活的运行方式且适应系统发展的需要;需考虑电网投资及管理运行费用,并比较不同接线方案下的网损等。

1.20 什么是配电网?配电网有哪些类型、特点、功能与发展趋势?

答 配电网是由架空线路、电缆、杆塔、配电变压器、隔离开关、无功补偿器及一些附属设施等组成的,在电网中起重要分配电能作用的网络。一般只覆盖某一地区(城市、工矿区),主要功能是将输电网送来的电能及本地区小发电厂所发电能经变电站转换成合适的电压等级配送到地区的各类用户的电网称为配电网。

1.21 配电网的设计应满足哪些要求?

答 配电网的设计应满足:接线简单明了,结构合理,便于运行及维护检修,减少占用城市空间;供电可靠性和安全性高;尽可能做到中心变电站有来自不同地点的两个电压;至少满足“N-1”法则;符合配电网自动化发展的要求等。

1.22 配电网如何按电压等级分类?

答 电压等级为 380/220V 的配电网为低压配电网,电压等级为 6、10kV 和 20kV (苏州)的配电网为中压配电网,电压等级为 110、60、35kV 的配电网为高压配电网。

1.23 试述火电厂的基本生产过程及其特点。

答 火电厂通过固体、液体、气体燃料的化学能来生产电能。其生产过程如下:首先原煤由输煤皮带送入煤斗,通过磨煤机磨成煤粉,再由排粉风机将煤粉混同热空气经喷燃器送入锅炉的燃烧室燃烧,加热燃烧室四周水冷壁管中的水,使之变成蒸汽,此蒸汽再经过过热器变为高温高压的过热蒸汽,再经过主蒸汽管道进入汽轮机,推动汽轮机的转子旋转,带动连轴的发电机发电。在汽轮机内做完功的蒸汽经凝汽器放出汽化热而凝结成水后,由凝结水泵送入低压加热器和除氧器进行加热和除氧,除氧后由水泵打入高压加热器进行加热,再经省煤器进一步提高温度后重新进入锅炉的水冷壁管中,如此往复,循环使用。火电厂的特点是:布局灵活、一次性建设投资少、动力设备繁多,停运到开机耗时长。其缺点是:燃料需要量极大,同时还大量排放废气、粉尘和废渣,会对城市环境造成污染。

1.24 试述水电厂的基本生产过程及其特点。

答 水电厂利用河流所蕴藏的水能资源来发电。水电厂分为堤坝式和引水式等,其中以堤坝式水电厂应用最为普遍。以堤坝式为例,水电厂的生产过程为:拦河坝将上游水位提高,形成水库,水库的水在高落差的作用下经压力水管高速进入螺旋形涡壳推动水轮机转子旋转,水轮机的转子带动同轴发电机旋转发电。与火电厂相比,水电厂的生产过程相对简单,水能成本低廉,无污染,水电厂易于实现自动化控制和管理,能适应负荷的急剧变化,

调峰能力强,且水电厂的兴建还可以同时解决防洪、灌溉、航运等多方面的问题,从而实现江河的综合利用。但是水电建设也存在投资大、建设工期长、受季节水量变化影响较大等问题,且建设水电的过程中还会涉及淹没农田、移民、破坏自然和人文景观及生态平衡等一系列问题,都需要统筹考虑、合理解决。

1.25 试述核电厂的基本生产过程及其特点。

答 核电厂利用核能发电,核能发电的过程与火力发电的过程类似,只是其热能是利用置于核反应堆中的核燃料在发生核裂变时释放出的能量而得到的。核电厂的主要优点是可以大量节省煤、石油等日益枯竭的化石类燃料,但其单机容量大,核反应堆安全要求高,且核反应迅速、不易控制,此外还存在核辐射泄漏风险。

1.26 新能源发电主要有哪些发电形式?有何优点?

答 新能源发电主要有风力发电、太阳能发电、地热发电、潮汐发电、生物质能发电等。其优点是一方面能促进能源的多样性,增加能源供应;另一方面对保护生态环境,实现社会、经济的可持续发展具有重要意义。

1.27 什么是变电站?

答 变电站是电力系统中变换电压、接受和分配电能、控制电力的流向和调整电压的电力设施,是输电和配电的集结点,通过变压器将各级电压的电网联系起来。

通常来说,为了把发电厂发出来的电能输送到较远的地方,必须把电压升高为高压电,到用户附近再按需要把电压降低,这种升降电压的工作靠变电站来完成。在电力系统中起着电能汇集、变换和分配的作用,是电力系统的重要组成部分。

1.28 变电站的主要设备有哪些?

答 变电站的主要设备包括变换电压用的变压器,开闭电路用的开关设备,汇集和分配电能用的母线,计量和控制用的互感器、仪表、继电保护等自动化装置,防御过电压用的防雷装置,通信装置和无功补偿装置等。

1.29 根据变电站在电力系统中的作用和地位,可将其分为哪几类?

答 根据变电站在电力系统中的作用和地位,可将其分为枢纽变电站、中间变电站和终端变电站三种基本类型。随着电力技术的发展,变电站还可以分为传统变电站、数字化变电站、主动变电站、智能变电站。

1.30 什么是枢纽变电站?

答 枢纽变电站处于电力系统的中枢地位,它连接电力系统高压和中压的几个部分,汇集多个电源,并具有多条联络线路,其高压侧电压为 330kV 及以上。枢纽变电站一旦出现全站停电,将会引起系统解列,甚至出现瘫痪。

1.31 什么是中间变电站?

答 中间变电站是指将发电厂或枢纽变电站与负荷中心联系起来的变电站,一般汇集 2~3 个电源,起系统交换功率或使长距离输电线路分段的作用。它可以向附近用户输送电

能,也可以中转一部分电能到其他电力负荷中心。

1.32 什么是终端变电站?

答 终端变电站处于电力网的末端,一般是降压变电站,也称为末端变电站。它直接向本地负荷供电,而不再向其他地区输送电能。终端变电站出现全部停电时,只影响用电用户,对电力系统的运行影响不大。

1.33 电力工业的发展趋势是什么?

答 电力工业的发展趋势是:节能减排、大力开发新能源、走绿色电力之路;建设以特高压为骨干网架的坚强电网;组成联合电力系统;加强智能电网的建设。

1.34 联合电力系统运行有何优点?

答 联合电力系统运行的优越性主要体现在以下几方面:

(1) 实现各电力系统间负荷的错峰。由于各电网地理位置、负荷特性和地区生活习惯等情况的不同,利用负荷的时间差、季节差,错开高峰用电,可削减负荷尖峰,联网后的最高负荷一定会比各地区的最高负荷之和要小,可以减少全系统总装机容量,从而节约电力建设投资。

(2) 提高供电可靠性,减少系统备用容量。联网后,各系统的备用容量可以相互支援,增强了抵御事故的能力,提高了供电可靠性。由于联网降低了电网的最大负荷,且系统容量的增大可使备用系数降低,因此也就降低了备用容量。

(3) 有利于安装单机容量更大的发电机组。电网互联后,系统总容量增大为安装大容量机组创造了条件,有利于降低造价、节约能源。

(4) 有利于进行电网的经济调度。电网互联后,可利用各电厂发电成本的差异进行宏观上与微观上的经济调度,使每个电厂和每个地区电网的发、供电成本都有所下降。

(5) 实现水电跨流域调度。电网互联后,可以使各电网互补余缺,相互调剂,如将红水河、长江和黄河水系进行跨流域调度,错开出现高峰负荷的时间和各流域的汛期,可减小备用容量,提高经济效益。

1.35 电网互联存在哪些问题?

答 故障会波及相邻电网,如果处理不当,会导致大面积停电;电网短路容量的增加,会造成断路器等设备因容量不够而需增加投资;需要进行联络线功率控制;联网互供电价可能不合理;联网效益在各地区间可能不能合理分配等。

1.36 什么是智能电网?

答 智能电网是将先进的传感量测技术、信息通信技术、分析决策技术和自动控制技术与能源电力技术以及电网基础设施等高度集成而形成的新型现代化电网。

1.37 试述智能电网的主要特征。

答 国家电网公司将智能电网的主要特征概括为:“坚强、自愈、兼容、经济、集成、优化”。

(1) 坚强。在电网发生大扰动和故障时,仍能保持对用户的供电能力,而不发生大面积

停电事故。在自然灾害、极端气候条件下或遭外力破坏时仍能保证电网的安全运行,具有确保电力信息安全的能力。

(2) 自愈。具有实时、在线和连续的安全评估和分析能力,强大的预期和预防控制能力,以及自动故障诊断、故障隔离和系统自我恢复的能力。

(3) 兼容。支持可再生能源的有序、合理接入,适应分布式电源和微电网的接入,能够实现与用户的交互和高效互动,满足用户多样化的电力需求,并提供对用户的增值服务。

(4) 经济。支持电力市场运营和电力交易的有效开展,实现资源的优化配置,降低电网损耗,提高能源利用效率。

(5) 集成。实现电网信息的高度集成和共享,采用统一的平台和模型,实现标准化、规范化和精细化管理。

(6) 优化。优化资产的利用,降低投资成本和运行维护成本。

1.38 智能电网与传统电网有何区别?

答 与传统电网相比,智能电网将进一步优化各级电网控制,构建结构扁平化、功能模块化、系统组态化的柔性体系构架,通过集中与分散相结合的模式,灵活变换网络结构、智能重组系统架构、优化配置系统效能、提升电网服务质量,实现与传统电网截然不同的运营理念和体系。

1.39 为什么要建设以特高压为骨干网架的坚强电网?

答 随着国民经济的持续快速发展和人民生活水平的不断提高,我国电力需求较快增长的趋势在较长时间内不会改变。同时,我国能源与生产力布局呈逆向分布,能源运输形势长期紧张。但目前我国电网发展相对滞后,在能源综合运输体系中的作用还不明显。这些在客观上要求加快转变电力发展方式,提升电网大范围优化配置能源的能力,建设以特高压电网为骨干网架的坚强智能电网是满足这一要求的必然选择。

特高压输电具有远距离、大容量、低损耗、高效率的优势,建设以特高压电网为骨干网架的坚强智能电网,能够促进大煤电、大水电、大核电、大型可再生能源基地的集约化开发利用。同时,特高压电网可以提升电网抵御突发性事件和严重故障的能力,进一步提高电力系统运行的可靠性和稳定性,使坚强智能电网建设具备坚实的网架基础。

因此,在现代电网建设中,必须以特高压电网为骨干网架,连接大型能源基地及主要负荷中心,以更好地保障国家能源供应和能源安全,满足经济社会快速发展的需要。

1.40 根据电力用户的重要性不同,可将其分为哪几类?

答 根据电力用户重要性的不同,可将电力用户划分为以下三类:

(1) 一类用户。指由于中断供电会造成人身伤亡的用户,或中断供电会在政治、经济上给国家造成重大损失的用户,或中断供电会影响国家重要部门的正常工作的用户。

(2) 二类用户。指由于中断供电会在政治、经济上造成较大损失的用户,或中断供电将影响重要单位的正常工作的用户。

(3) 三类用户。指短时停电不会造成严重后果的用户。

1.41 根据各类用户对供电可靠性的要求不同,应如何将其区别对待?

答 对一类用户通常应设置两路以上相互独立的电源供电,其中每一路电源的容量均应

保证在此电源单独供电的情况下就能满足用户的用电要求。确保当任一路电源发生故障或检修时,都不会中断对用户的供电;对二类用户应设专用供电线路,条件许可时也可采用双回路供电,并在电力供应出现不足时优先保证其电力供应。对三类用户,当系统发生事故、出现供电不足的情况时,应当首先切除这类用电负荷,以保证一、二类用户的用电。

1.42 什么是一次能源?什么是二次能源?

答 一次能源是指以现成形式存在于自然界的能源,如煤、石油、天然气、流水、风等。这些自然界演化而生成能源称为一次能源。二次能源是指由一次能源直接或间接转换而来的其他形式的能源,如电能、汽油、酒精等。

1.43 什么是电气?

答 电气是电能的生产、传输、分配、使用和电工设备制造等学科或工程领域的统称。

1.44 现代电力系统有哪些特征?

答 电力系统在技术上向着“大机组、大电网、高电压、高度自动化”的方向发展;数字化、网络化、信息化、智能化技术使电力系统的自动化水平日益提高;洁净煤技术、水电和核电等的发展越来越得到重视;新能源的不断开发利用,系统中含有大量的非线性元件并不断有如电动汽车充电桩、电力机车等新电力客户;建立健全的电力市场机制是提高效率、降低成本和促进电力资产的合理利用与发展的有效保证。

1.45 什么是电力系统安全运行?

答 电力系统安全运行是指所有运行电气设备处于正常状态,满足运行工况需要;系统的电压和频率及有功、无功均保持在规定的范围之内;所有发电机保持同步运行。

1.46 电力行业有哪些特点?

答 电力行业有三大特点:

(1) 公用事业。按发、供电的实际成本加一定的资金利润率来确定电价,而不是像一般商品那样,价格由市场供求规律来决定。

(2) 技术密集。生产的控制和调节必须依赖仪表和自动控制装置,必须实行高度自动化。电力系统的发、变、输、配电容量是大致固定的,而电力系统的用电负荷却是随时变化的。

(3) 资金密集。在美国、日本及很多国家,电力工业都是资本最大的行业,在各行业中,电力的固定资产占总资本的92%。

第2章 电力系统的负荷

2.1 某电力系统的日负荷曲线如图 2-1 所示。试作如下计算：

- (1) 系统的日平均负荷 P_{av} ；
- (2) 负荷率 k_m 和最小负荷系数 α ；
- (3) 峰谷差。

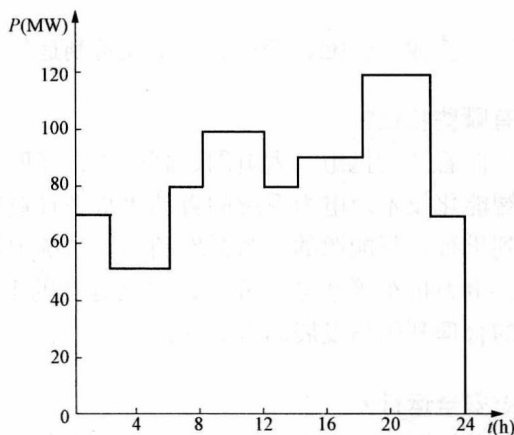


图 2-1 日负荷曲线图 (习题 2.1 附图)

解 (1) 系统的日平均负荷 P_{av} 为

$$\begin{aligned}
 P_{av} &= \frac{A_d}{24} = \frac{1}{24} \sum_{k=1}^8 P_k T_k \\
 &= \frac{1}{24} (70 \times 2 + 50 \times 4 + 80 \times 2 + 100 \times 4 + 80 \times 2 + 90 \times 4 + 120 \times 4 + 70 \times 2) \\
 &= 85 (\text{MW})
 \end{aligned}$$

式中: A_d 为电力系统日用电量, MW。

(2) 负荷率 k_m 和最小负荷系数 α 为

$$\begin{aligned}
 P_{\max} &= 120 (\text{MW}) \\
 k_m &= \frac{P_{av}}{P_{\max}} = \frac{85}{120} = 0.708 \\
 \alpha &= \frac{P_{\min}}{P_{\max}} = \frac{50}{120} = 0.42
 \end{aligned}$$

(3) 峰谷差

$$\begin{aligned}
 P_{\min} &= 50 (\text{MW}) \\
 P &= P_{\max} - P_{\min} = 120 - 50 = 70 (\text{MW})
 \end{aligned}$$

2.2 何谓负荷特性？负荷特性如何分类？

答 电力系统综合负荷取用的功率一般会随系统运行参数（主要是电压 U 或频率 f ）的变化而变化，反映这种变化规律的曲线或数学表达式称为负荷特性。

负荷特性有静态特性和动态特性之分。反映电压和频率缓慢变化时负荷功率变化特性的为静态特性，反映电压和频率急剧变化时负荷功率变化特性的为动态特性。

2.3 何谓谐波含量、谐波总畸变率和谐波含有率？

答 谐波含量是指各次谐波平方和的开方，分为谐波电压含量和谐波电流含量。

谐波电压含量可表示为

$$U_H = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}$$

谐波电流含量可表示为

$$I_H = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}$$

谐波总畸变率（total harmonics distortion, THD）是指谐波含量与基波分量比值的百分数。由此可得：

电压总畸变率为

$$THD_U = \frac{U_H}{U_1} \times 100\%$$

电流总畸变率为

$$THD_I = \frac{I_H}{I_1} \times 100\%$$

谐波含有率是指周期性交流量中第 h 次谐波含量的方均根值与其基波分量的方均根值之比。

2.4 电力系统中有哪些主要谐波源？

答 根据负荷特点，电力系统的谐波源大致可分为以下两类：

- (1) 含电弧和铁磁非线性设备的谐波源。
- (2) 整流和换流电子器件所形成的谐波源。

2.5 电力系统中的谐波可能造成哪些危害？

答 电力系统中的谐波会对电网产生严重污染，影响电能质量，增加能量损耗，甚至危害电气设备和电力系统的安全运行。主要危害有：

(1) 谐波可使旋转电机附加损耗增加、出力降低，绝缘老化加速。谐波电流与基波磁场间的相互作用引起的振荡力矩严重时能使发电机产生机械共振，使汽轮机叶片疲劳损坏。当谐波电流在三相感应电动机内产生的附加旋转磁场与基波旋转磁场相反时，将降低电动机的效率，使电动机过热。在直流电机中，谐波除附加发热外，还会引起换相恶化和噪声。

(2) 谐波电流流入变压器时，将因集肤效应和邻近效应，在变压器绕组中产生附加损耗。谐波电压可使变压器的磁滞及涡流损耗增加。3次谐波及其倍数的谐波在变压器三角形接法的绕组中形成的环流会使变压器绕组过热。此外，谐波还会使变压器的噪声增大，使绝

缘材料中的电场强度增大,缩短变压器的使用寿命。

(3) 谐波电压作用在对频率敏感(频率越高,电抗越低)的电容元件上,如电容器和电缆等,会使之严重过电流,导致发热、介质老化,甚至损坏。

(4) 高次谐波电流流过串联电抗器时,会在串联电抗器上形成过高的压降,使电抗器的匝间绝缘受损。

(5) 谐波电流流过输电线(包括电缆)时,输电线的电阻会因集肤效应而增大,加大了线路的损耗。谐波电压的存在可能使导线的对地电压和相间电压增大,使线路的绝缘受到影响,或使线路的电晕问题变得严重。

(6) 谐波电压和谐波电流将对电工仪表的测量正确度产生影响。过大的高次谐波电流流入电能表,可能烧坏电流线圈;频率过高(达到1000Hz以上)时,电能表可能停转。

(7) 供电线路(尤其是电力机车连接的线路)中存在的高次谐波所产生的静电感应和电磁感应会对与之平行的通信线路产生声频干扰,影响通信质量。此外,谐波入侵电网,有可能会引起电力系统中继电保护的误动作,影响电力系统的安全运行,也可能对使用中的电子设备产生影响,出现如使计算机的计算出错等故障。

2.6 电力系统中的谐波抑制方法分为哪几类?具体措施有哪些?

答 抑制谐波的方法可分为预防性和补救性两类。

预防性措施:

(1) 增加电力变流器的脉冲数来削弱谐波;

(2) 用变压器绕组的三角形连接来隔离由发电机和变压器产生的 $3n$ 次谐波进入电力系统;

(3) 同步发电机中用短距线圈和分布绕组来减小谐波;

(4) 制定谐波管理规定。

补救性措施:

(1) 改变电容器组的安装位置或调整电容器组的无功输出功率;

(2) 在谐波源附近安装电力滤波器。

2.7 何谓电力系统的用户?

答 电力系统中接有为数众多、千差万别的用电设备,如异步电动机、同步电动机、各类电炉、整流设备、电子仪器、照明设施及家用电器等,统称为电力系统的用户。

2.8 何谓负荷、供电负荷和发电负荷?

答 电力系统用户用电设备所消耗电功率的总和称为电力系统的综合负荷,简称为负荷。负荷加上电力网的功率损耗称为电力系统的供电负荷。供电负荷与发电厂的厂用电之和称为电力系统的发电负荷。

2.9 何谓有功负荷?何谓无功负荷?

答 把电能转换为其他能量(机械能、光能、热能等)并在用电设备中真实消耗掉的功率称为有功负荷。

在电力负载中不做功的部分,只在感性负载中才消耗无功功率,即定子绕组为产生磁场