

*****学校

课程设计任务书

题目： 基于 ETAP 的电力系统分析与计算

院 系 _____
专 业 发电厂及电力系统
班 级 _____
学 生 姓 名 _____
指 导 教 师 _____
日 期 2014-12-18

《课程设计》任务书

课程名称: 基于 ETAP 的电力系统分析与计算

教研室:

指导教师:

学生姓名		学号		专业班级	
设计题目	基于 ETAP 的电力系统分析与计算				
设计 技术 参数	详细参数见附件一				
设计 要求	拟通过本设计, 掌握以下技能: 1、 利用 ETAP 录入电力系统各元件的参数, 并学会使用 ETAP 的潮流计算、短路计算、稳定性分析等模块; 2、 对潮流计算结果进行分析, 明确各节点类型并寻找功率分点; 3、 找出电力系统电压中枢点, 针对其提出合理的调压措施; 4、 对三相短路的计算结果进行简要分析, 并以此为依据选择开关设备; 5、 运行暂态稳定分析模块, 分析各种措施对系统暂态稳定性的影响; 6、 编制课程设计说明书。				
参 考 资 料	1、《电力系统》第三版, 李霜主编, 重庆大学出版社 2、《电机学》第二版, 张小兰主编, 重庆大学出版社 3、《发电厂 变电站电气设备》, 黄益华主编, 重庆大学出版社 4、《电力工程电气设备手册》(电气一次部分), 中国电力出版社 5、《电力工程电气设计手册》(电气一次部分), 西北电力设计院				
周次	第一周		第二周		
应 完 成 内 容	录入元件参数、潮流计算及结果分析、找出电压中枢点并采取调压措施		短路计算及选择开关设备、暂态稳定分析、编制课程设计说明书		
指导教师 签字			教研室主任签 字		

说明: 1、此表一式三份, 系、学生各一份, 报送实践部一份。

2、学生那份任务书要求装订到课程设计报告前面。

本次设计进程安排如下表:

原创力文档
 max.book118.com
 预览与源文档一致, 下载高清无水印

	内容安排	时间（天）
1	下达任务、讲述任务基本要求、录入参数	1
2	运行潮流计算模块并对结果进行分析	2
2	找出电压中枢点并采取调压措施	2
3	短路电流计算、开关设备选择	2
4	暂态稳定分析	1
5	课程设计说明书编写	2

课程设计说明书

题目：基于 ETAP 的电力系统分析与计算

院 系 _____
专 业 发电厂及电力系统 _____
班 级 _____
学 生 姓 名 _____
指 导 教 师 _____
日 期 2014-12-18 _____

基于 ETAP 的电力系统分析与计算

目录

1 绪论.....	- 5 -
1.1 电力系统.....	- 5 -
1.1.1 电力系统的概念.....	- 5 -
1.1.2 电力网的分类.....	- 5 -
1.2 ETAP.....	- 7 -
1.2.1 ETAP 的作用.....	- 7 -
1.2.2 ETAP 的发展.....	- 8 -
第二章 基于 ETAP 的电力系统潮流计算与分析.....	- 11 -
2.1.概述.....	- 11 -
2.1.1 潮流计算的内容和目的.....	- 11 -
2.2 潮流计算.....	- 11 -
2.2.1 简单开式网络潮流计算.....	- 11 -
2.2.2 复杂的闭式网络.....	- 12 -
2.2.3 ETAP 软件应用于潮流计算的特点.....	- 12 -
2.2.4 ETAP 软件的优点.....	- 13 -
2.3 潮流计算的结果和分析.....	- 14 -

2.3.1 潮流计算结果图	- 14 -
2.3.2 潮流计算结果分析	- 15 -
第三章 调压	- 19 -
3.1.概述	- 19 -
3.1.1 电压偏移及电压调整	- 19 -
3.1.2 中枢点的电压管理	- 20 -
3.2.1 调压的措施	- 21 -
3.2.2 调压的实例分析	- 22 -
第四章 短路计算和设备选择	- 25 -
4.1 短路的概念	- 25 -
4.2 短路的分类、概率及危害	- 25 -
4.3 短路计算和分析的目的	- 26 -
4.4 ETAP 用于短路计算的优势和长处	- 27 -
第五章 电力系统的稳定性	- 29 -
5.1 概述	- 29 -
5.1.1 稳定性问题的提出及基本概念	- 29 -
5.1.1 稳定性的分类	- 29 -
5.1.3 同步发电机的转子运动方程	- 30 -
5.1.4 简单电力系统的静态稳定分析	- 31 -
5.2 提高稳定性的措施	- 32 -
5.2.1 提高静态稳定性的措施	- 32 -
6 结论	- 34 -
7 参考文献	- 35 -
附录	- 36 -

【摘要】：随着电力行业的不断发展，人们对电力供应的要求越来越高，为了方便、精确地进行潮流计算本文介绍了一个面向用户的电力系统模拟计算高级应用软件 ETAP，该软件能够计算母线电压，支路功率因数，电流，和整个电力系统的潮流。并对潮流计算的结果进行分析，通过短路计算来选择设备，并采取相应的措施维持系统的稳定性。

【关键词】 Etap、电力系统、潮流计算、分析、短路计算、选择设备、稳定性

1 绪论

1.1 电力系统

1.1.1 电力系统的概念

电能是各行各业生产建设和居民生活的重要能源,它易于输送,便于集中、分配和控制,容易转化为其他形式的能量,因此得以广泛使用.电力工业是国民经济中的各行各业,它是衡量一个国家现代化水平的标志之一.发电厂把其他形式的能量转化成电能,电能经过变压器和不同电压的输电线路输送并被分配给用户,再通过各种用电设备转换成合适用户需要的各种能量,这些生产、输送、分配和消费电能的各种电气设备连接在一起而组成的整体部分称为电力系统.电力系统中加上各种类型发电厂的动力部分,就成为动力系统,如火电厂的汽轮机、锅炉、供热管道和热用户,水电厂的水轮机和水库等动力部分,就称为动力系统.电力网是电力系统中输送和分配电能的部分,它包括升、降压变压器和各种电压等级的输电线路.在交流电力系统中,发电机、变压器、输电设备都是三相的,这些设备的连接情况可以用电力系统接线图来表示.为简单起见,电力系统接线图都是化成单线的.

1.1.2 电力网的分类

电力网按其供电范围的大小和电压等级的高低可分为地方电力网、区域电力网、及超高压远距离输电网络 3 种类型.地方电力网是指电压不超过 110KV,输送距离在几十千米内的电力网,主要是指一般城市、工矿区、农村

配电网络。区域电力网的电压等级为 110~220kV，它把范围较广地区的发电厂联系在一起，通过较长的输电线路向较大范围内的各种用户输送电能。目前，我国各省（区）电压为 110~220KV 级的高压电力网都属于这种类型。超高压远距离输电网络主要由电压为 330KV 和 500KV 的远距离输电线路组成，它担负着将远距离大容量发电厂的电能送往负荷中心的任务，往往同时还联系几个区域电力网以形成跨省（区）甚至国与国之间的联合电力系统。

自 1831 年法拉第发现电磁感应定律后，人们就开始利用电能为人民服务，起初发电、输电、配电和用电都是直流，但发展受到了许多限制。直至 1891 年生产出了三相异步电动机、三相变压器，建立了交流电力系统才奠定了近代输电技术的基础。电力系统由电能的生产、输送、分配、和消费各个环节组成一个整体，与别的工业系统相比较电力系统具有：电能不能大量储存；电力系统的暂态过程非常短暂；与国民经济的各个部门及人民生活有着及围密切的关系。对于这些特点，对电力系统提出了要求：保证安全可靠的发供电是电力系统运行的首要要求；保证良好的电能质量，电压和频率是电气设备设计和制造的基本技术参数，也是衡量电能质量的两个基本指标。努力提高电力系统运行的经济性，要尽量降低网损，还要防止环境污染。为提高供电的可靠性可采用有备用接线。

原创力文档
max.book118.com
预览与源文档一致 下载高清无水印

我国应用较为普通的电力系统仿真软件包是 **EMTP**，**PSS/E**，**BPA**，**PSASP** 以及一些基于它们的内核经过改进或者二次开发的程序。在美国应用最为广泛的电力系统软件 ETAP 除了要拥有直观而友好的操作界面、强大而完善的计算分析功能、以及开放式数据库连接等，同时最好还能拥有实时监测、在线模拟和管理控制等功能。

1.2 ETAP

1.2.1 ETAP 的作用

美国 OTI 是 ETAP 的设计者和开发者，OTI 有着丰富的电力及电气系统应用软件开发经验。1983 年发行的第一代产品称为电气暂态分析程序 ETAP（DOS 环境），它树立了国际电力及电气系统设计和分析软件的标准。

目前，OTI 依托雄厚的专业技术人才和领先的工程和软件技术已远销全世界近 100 多个国家，在全球拥有 4,000 多家用户，50,000 多个授权许可证持有者，已广泛应用于电力系统的各个阶段。美国 64 家核电站有 60 家（占总数的 94%）使用了 ETAP，也是美国唯一用于高危险行业的电气工程软件。

ETAP 是功能全面的综合型电力及电气分析计算软件，能为发电、输配电和工业电力电气系统的规划、设计、分析、计算、运行、模拟提供全面的分析平台和解决方案。

ETAP 是在既定的质量保证程序下开发的，也是世界上最有影响力的电力软件之一。作为完全集成化的企业解决方案，ETAP 扩展为实时智能电力管理系统，用来监测、控制、模拟系统运行，使系统自动化和最优化。

1.2.2 ETAP 的发展

ETAP 是一种非常全面的工程解决方案，可以进行设计，仿真，进行发电、传输、配电和独立电力系统等方面的分析。ETAP 包括潮流计算、短路计算、弧闪分析、继保配合、继保动作确认、电机起动、暂态稳定、谐波分

析、可靠性分析、最优潮流、补偿电容器最佳位置、不平衡潮流计算、地下电缆系统稳态、接地网设计、低压配电系统、直流系统潮流、短路分析、蓄电池充放电分析、用户自定义动态模型、电机动态模型参数估计、发电机启动、传输线弧垂、张力分析等分析计算功能。

ETAP 基础包是软件的一套核心工具，嵌入到分析模块中，并且工程数据库是开放的，可以生成、合并、用户自定义，还可以管理系统模型。核心工具能够帮助用户利用无限制的母线和元件快速而简单地搭建三相及单相的直流和交流系统单线图，元件包括仪表设备和基础设备元件。基于设备厂商公布的数据，工程数据库提供完整的验证和确认数据。

基础包包括一个智能单线图、元件编辑器、配置管理器、报告管理器、工程及案例编辑器、多维数据库、主题管理器、数据交换、用户权限管理器。嵌入的分析模块如电缆载流量、电缆容量、传输线常数，提供集成并独立的计算功能来设计、分析和设备选型

Etap 由欧特艾远东计算机技术有限公司开发的，它在全世界拥有超过 70 个销售和技术支持中心，拥有高学历的专业人员，享有国际声誉的专家，在 ANSI 和 IEC 标准委员会中起着积极作用。OTI 的宗旨是结合最高标准的尖端技术和质量，提供最先进的产品和最优秀的技术服务，以满足用户的各种需要。它在一百多个国家拥有超过 50,000 个许可证。自 1991 年开始的质量保证程序，每年超过 4 次审查，完善的校验和验证的软件，完善的校验和验证的数据库。ETAP Real-Time 的优点：给出整个系统的集中解决方案，具备网络拓扑、设备额定和限值智能，智能单线图，强健的电气计算算法，精致的优化算法，强健的综合逻辑，预报系统响应，友好的图形化界面。ETAP

Real-Time 带来的收益：防止断电，最小化系统损耗，最小化能量成本，操作员培训，防止因操作员失误带来的损失，安全运行和避免处罚，延长设备寿命。高级监测功能：智能单线图和用户界面图形化监视，电气和非电气量监测，电压、电流、有功、无功、频率、分接头位置、开关状态、运行模式、温度、转速等，状态估计和负荷分配，运行、过程和性能监视，报警和预警管理根据要求控制趋势，多控制台 C-S 结构监视，OPC 接口实时仿真可以做的仿真计算的模块有：潮流分析，电动起动，短路计算，弧闪分析，继电保护配合，谐波分析，暂态稳定，可靠性估计等。

目前，ETAP 已经推广到国内电力、石油、石化、核电、冶金、钢铁、建材、船舶、教育等领域，ETAP 用户的工程应用水平正在不断得到提升。尤其在這些领域的工程设计部门，电力科研部门，高等院校，以及大型工业电力系统和地区公共电力系统的运行调度部门，ETAP 正在发挥越来越重要的作用。我国应用较为普通的电力系统仿真软件包是

EMTP，PSS/E，BPA，PSASP 以及一些基于它们的内核经过改进或者二次开发的程序。在美国应用最为广泛的电力系统软件 ETAP 除了要拥有直观而友好的操作界面、强大而完善的计算分析功能、以及开放式数据库连接等，同时最好还能拥有实时监测、在线模拟和管理控制等功能。

第二章 基于 ETAP 的电力系统潮流计算与分析

2.1.概述

2.1.1 潮流计算的内容和目的

潮流分析计算是研究和分析电力系统的基础,它主要内容有:

- ①电流和功率分布计算;
- ②电压降落和各节点电压计算;
- ③功率损耗计算;

潮流分析计算的目的有:

对于电力系统,无论是进行规划设计,还是对各种运行状态的分析研究,都需要进行潮流分析计算.潮流计算的目的:为电力系统规划设计提供接线、电气设备选择和导线截面选择的依据;

- ① 为制订电力系统运行方式和制订检修计划提供依据;
- ② 为继电保护、自动装置设计和整定计算提供依据;
- ③ 为调压计算、经济运行计算、短路和稳定计算提供必要的的数据。
- ④为调压计算、经济运行计算、短路和稳定计算提供必要的的数据;

在电力系统潮流分析计算时,对于简单网络,可采用手算方法;对于复杂网络,则可借助计算机进行计算。

2.2 潮流计算

2.1.1 简单开式网络潮流计算

简单开式网络潮流计算的步骤和内容如下：

- ①根据已知气线图作出网络等值电路图（有名值或标么值均可）；
- ②作出简化等值电路；
- ③逐段推断功率分布；
- ④逐段推算电压分布。

2.2.2 复杂的闭式网络

对于复杂的闭式网络，需要先通过网络变换将其简化为简单闭式网络的计算方法进行功率分布和电压分布的计算。

系统节点分类：

①PV 节点：这类节点的有功功率 P 和电压幅值 U 是给定的，节点的无功功率 Q 和电压的相位角 δ 是待求量；

②PQ 节点：这类节点的有功功率 P 和无功功率 Q 是给定的节点电压 U 和相位角 δ 是待求量；

③平衡节点：至少有一个，它的电压幅值和相位角给定，而它的有功功率和无功功率是待求量。

闭式网络功率分点,是指在该节点处功率是由两个方向流入,用倒三角表示.有功功率用实心,无功功率用虚心.通常无功功率是电压的最低点,所以网络一般在无功功率点拆开.

在进行环形网络的初步功率分布前,将网络从电源点分开.在计算出环形网络的初步功率分布之后要进行更为精确的潮流计算,必须先将网络从无功功率点分开.

2.2.3 ETAP 软件应用于潮流计算的特点

ETAP 优化潮流计算程序的目标函数、控制变量与约束条件皆十分丰富，而且还可以根据不同需要选择多个选项并以加权系数来组合它们。

目标函数有：系统有功或无功损耗最小、系统发电机燃料总成本最小、投入的并补或串补设备最少，外系统送入的有功功率最小、甩负荷最小化、系统环流最小化、电压安全指标最大、潮流安全指标最大、最小化母线的电压幅值差异等。

系统控制变量有：发电机有功出力、发电机机端电压、其他母线的电压、变压器有载调压分接头、并联电容器投入运行的数目等。

由于优化潮流计算的复杂性，有时可能会遇到目标方程、约束、电力系统平衡方程抵触，这很可能会导致计算最终不收敛，ETAP 对此提供了多种不可行处理。如释放发电机电压约束、释放负荷母线电压约束、释放所有电压约束、忽略和继续、或退出计算。

2.2.4 ETAP 软件的优点

(1) 综合性

以一个统一的符合现实观念的并具有开放性的数据平台为基础，可进行电力系统的各个专业方向和应用领域中的定量计算与定性分析，并具有简单直观的优点。

(2) 数学模型多样

在同一分析领域中，对同类元件提供多种数学模型，使用者可根据需要在多种模型中进行选择。在其自定义动态模块中可允许用户自己增加数据库中没有的数学模型。

(3) 电气操作直观

可直观的接入开关设备、各种继电保护设备，使在计算机上的操作与现实更相近。

(4) 使用简单、上手快

人机界面非常友好，所用的原始资料输入都以图形编辑方式。对于同一版的原始数据，可提供不同的外观显示，以方便用户强调不同的内容。计算结果的输出也提供多种方式，如单线图上显示，分类计算报告，曲线图显示。由于此方面的优点，就可以使计算人员将主要精力放在数学模型的选择和计算结果的分析归纳上。

2.3 潮流计算的结果和分析

2.3.1 潮流计算结果图

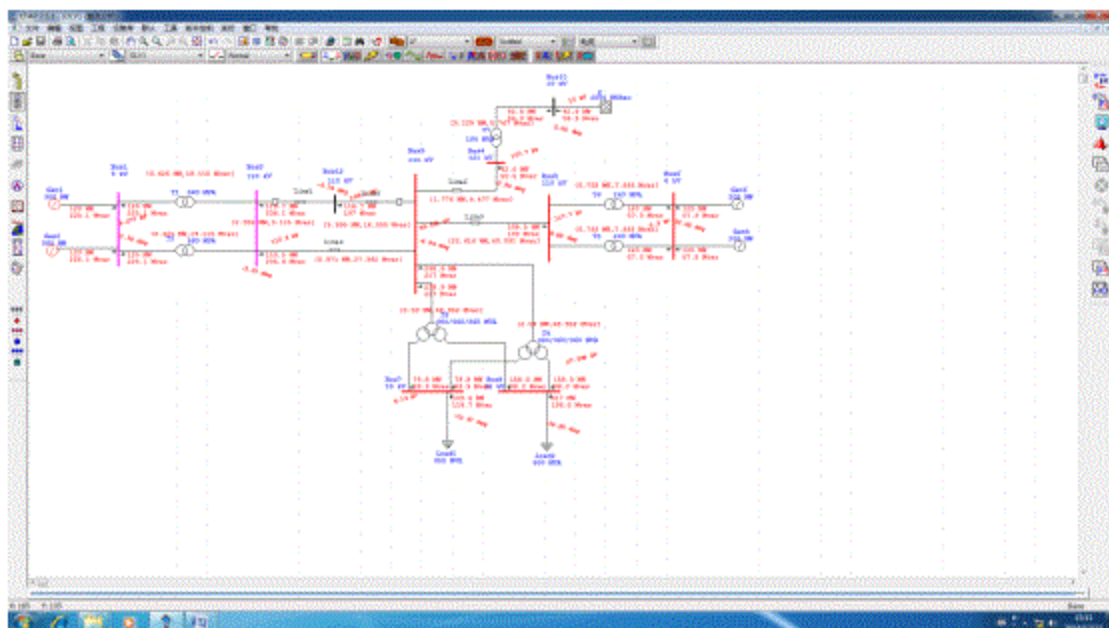


图 2.1 最大负荷潮流计算结果图

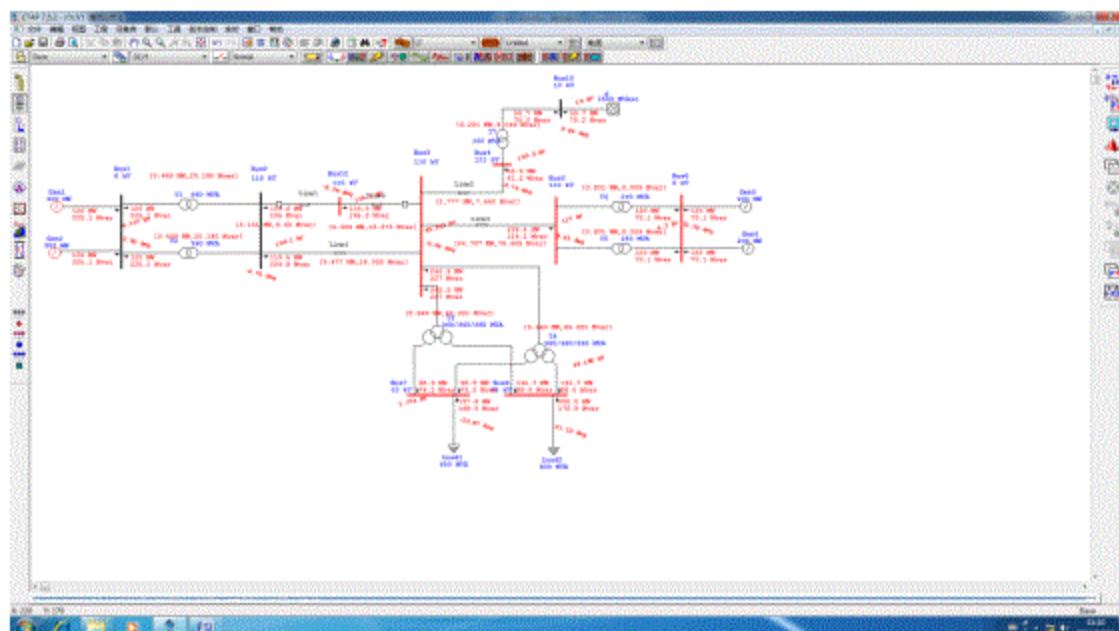


图 2.2 最小负荷潮流计算结果图

2.3.2 潮流计算结果分析

一、最小负荷

1 系统节点

PV 节点: Bus1, Bus6

PQ 节点: Bus2, Bus3, Bus12, Bus4, Bus5, Bus7, Bus8,

平衡节点: Bus10

表 2.1 支路损耗及末端功率

输电线 路	功率损耗 (MW)	末端功率 (MW)	变压器 支路	功率损耗 (MW)	末端功率 (MW)
Line1	3.161	116.439	T1	0.449	119.551
Line2	2.777	50.723	T2	0.449	119.551
Line3	24.707	213.693	T3	0.643	142.7(中)
					98.8(低)
Line4	9.477	110.023	T4	0.643	142.7(中)

					98.8(低)
Line6	6.333	110.267	T5	0.801	119.199
			T6	0.801	119.199
			T7	0.201	53.5

表 2.2 系统节点参数

节点	额定电压 (kV)	实际电压(kV)	电压偏移(%)
Bus1	6	6.107	1.78
Bus2	110	109.1	-0.82
Bus3	110	95.245	-13.41
Bus4	121	105.9	-12.48
Bus5	110	117	6.36
Bus6	6	6.3	5
Bus7	10	7.774	-22.26
Bus8	35	26.186	-25.18
Bus10	10	10	0
Bus12	110	104.5	-5

原创力文档
max.book118.com
预览与源文档一致, 下载高清无水印

表 2.3 系统线路电压损耗

电压损耗 (%)	
Bus2——Bus12	4.18
Bus12——Bus3	8.41
Bus2——Bus3	12.6
Bus4——Bus3	9.69
Bus5——Bus3	19.78

表 2.4 系统功率分点

有功功率分点	Bus3
无功功率分点	Bus3

表 2.5 系统各发电机、负荷功率因数

功率因数 $\cos \varphi$	
Gen1	0.47
Gen2	0.47
Gen3	0.86
Gen4	0.86
Load1	0.80
Load2	0.80

表 2.6.网损

网络总输入功率(MW)	网络总输出功率(MW)	网损率
533.7	483.3	0.094

二.最大负荷

表 2.7、系统线路及变压器的效率（最大负荷）

	首端功率/有功(MW)	末端功率(MW)	损耗(MW)
Line1	119.6	116.5	2.992
Line2	53.7	53.5	1.776
Line3	238.4	213.693	22.616
Line4	119.5	110.023	8.971
Line5	238.9	238.31	0.59
Line6	116.7	-361.1	5.995
T1	120	119.575	0.425
T2	120	119.575	0.425
T3	238.9	238.31	0.59
T4	238.9	238.31	0.59
T5	120	119.267	0.733
T6	120	119.267	0.733
T7	42.6	42.472	0.128

表
最大负
统节点

2.8、（
荷）系
参数

节点	额定电压 (kV)	实际电压(kV)	电压偏移(%)
Bus1	6	6.107	1.68
Bus2	110	109.1	-0.82
Bus3	110	95.245	-13.41
Bus4	121	105.9	-12.48
Bus5	110	117	6.356
Bus6	6	6.3	5
Bus7	10	7.774	-26.26
Bus8	35	26.186	-28.18
Bus10	10	10	0
Bus12	110	104.5	-5

表 2.9 (最大负荷) 系统线路电压损耗

电压损耗 (%)	
Bus2——Bus12	4.18
Bus12——Bus3	8.41
Bus2——Bus3	12.6

表 2.10 (最大负荷) 系统

功率分点

有功功率分点	Bus3、
无功功率分点	Bus3

表 2.11 网损

表 2.12（最大负荷）系统各发电机负荷功率因数

网络总输入功率(MW)	网络总输出功率(MW)	网损率
533	483.3	0.093

功率因数 $\cos\varphi$	
Gen1	0.47
Gen2	0.47
Gen3	0.90
Gen4	0.90
Load1	0.8
Load2	0.8

原创力文档
max.book118.com
预览与源文档一致, 下载高清无水印

第三章 调压

3.1.概述

电压是表征电能质量的一项重要指标。电力系统节点的供电电压相对其额定值偏移过大，就会使用户电气设备的性能恶化。如照明负荷在电压偏低时，发光不足，会影响人们的视力，降低生产及工作的效率，日光灯还会产生不启动现象，并且使电气设备的发热量降低，从而降低生产效率。电压偏高时，又会缩短灯管的寿命。异步电动机在电压偏低时，一方面使由它带动的生产设备运行不正常，电压过低，电动机可能制动，生产设备就会停运；另一方面，电动机滑差加大，定子电流显著增加，绕组温度升高，会加速老化，影响电动机寿命，严重情况下会使电动机烧毁电压偏高时，又会缩短灯管的寿命，电压偏高又会使绝缘受到损害。电压偏移过大，对广泛使用的电子设备的使用效率和寿命也有影响，如电视机在电压偏低时屏幕显示不稳定，电压偏高将使显像管寿命缩短，等等。

3.1.1 电压偏移及电压调整

电压质量也影响电力系统自身的安全运行及经济性。电力网运行电压偏低，就会使网络的功率损耗及电能损耗增加，电压过低就可能破坏电力系统运行的稳定性，电压过高又可能使各种电气设备的绝缘受到损害，使带铁芯的设备饱和，产生谐波并引起谐振，在超高压网络中还将增加电晕损耗。

电力系统在正常运行中，负荷随时在发生变化，电力系统的运行方式也

常有变化. 它们都将使网络中的潮流发生变化, 从而使网络中的损耗及相应节点的电压也随之变化各节点电压在运行过程中对其额定电压总会有一定偏移只要电压偏移在允许的范围内就能保证用户及电力系统的正常运行. 规定的各类用户允许电压偏移在正常运行状态下:

①35kV 及以下电压供电用户为 0%~10%:

②10 及千伏以下电压供电用户为+7%, -7%:

③220kV 为电压供电用户-10%~5%。

特殊用户按供电合同商定的数值确定。事故状况下, 允许在上述数值上再加 5%但正偏移最大不能超过+10%。

3.1.2 中枢点的电压管理

电力系统进行调压的目的就是要采取各种措施, 使用户处的电压偏移保持在规定的范围内。但由于电力系统结构复杂, 负荷极多, 不可能对每个用户设备电压都进行监视和调整。因此, 电力系统电压的监视和调整通常只选择一些关键性的母线(节点)来完成。

这些关键性的母线称为电压中枢点, 只要能控制电压中枢点的电压, 就可以控制系统中大部分负荷的电压偏移。于是, 电力系统电压调整问题就转变为保持中枢点的电压偏移不超出给定范围的问题。

电压偏低、偏高的危害: 发光不足影响人们的视力, 降低生产及工作的效率, 日光灯还会产生不启动现象; 电压偏高会缩短灯的寿命。

(1) 电压中枢点的选择

电压中枢点一般选择区域性水、火电厂的高压母线, 枢纽变电所次母线, 有大量地方负荷的发电厂母线, 城市直降变电所的二次母

线。中枢点设置的数量应不少于全网 220kV 及以上电压等级变电所总数的 7%。

(2) 中枢点的调压方式

中枢点的调压方式分为逆调压、顺调压和恒调压 3 类。

- 1) 逆调压一般采用“逆调压”方式的中枢点，在最大负荷时保持电压比线路额定电压高 5%；在最小负荷时，电压只有下降至线路的额定电压。此种方式大多能满足用户的要求，故一般采用这种方法。
- 2) 顺调压在最大负荷时允许电压低一些，但不得低于线路额定电压的 102.5%，在最小负荷时允许中枢点电压高一些，但不得高于线路额定电压的 107.5%。无功调整手段不足时可以采用这种方法。
- 3) 恒调压如果负荷变动较小，线路电压损耗也较小，这种情况只需把中枢点的电压保持在比线路额定电压高 2%~5%，不必随负荷的变化调整中枢点的电压仍可保证负荷点的电压质量。这种方式可称为常调压。

3.2.1 调压的措施

(1) 改变发电机端电压调压

发电机的电压调整是借助于调整发电机的励磁电压，以改变发电机转子绕组的励磁电流，从而改变发电机定子端电压。这种调整手段是一种不需耗费投资，且是最直接的调压方式。

(2) 改变变压器变比调压

为了调整电压，双绕组变压器的高压绕组和三绕组的高、中压绕组均备

有若干分接头供选择使用。其中普通变压器（又称无励磁条压变压器）只能在停电的情况下改变分接头，因此每出现最大负荷和最小负荷时电压偏移都不会超出允许范围。

（3）其他调压措施

- 1) 串联电容补偿调压；
- 2) 并联电容补偿调压；
- 3) 同步调相机调压；
- 4) 改变变压器运行台数调压；
- 5) 超高压并联电抗器调压；

3.2.2 调压的实例分析

1) 在最大负荷时,实行逆调压,使电压比额定电压高 5%, 采取措施: 调节机端电压, 多发出有功功率, 调整为 200MW; 改变 T7 的变比, 调整二次侧高 5%; 调节 T3, T4 变压器, 调整高压侧分接头降低 8.125%;最后采取并联电容器的方式, 给 Load1 并联每组 5000 kvar, 共 15 组的电容器, 给 Load2 并联每组 5000 kvar, 共 65 组的电容器。

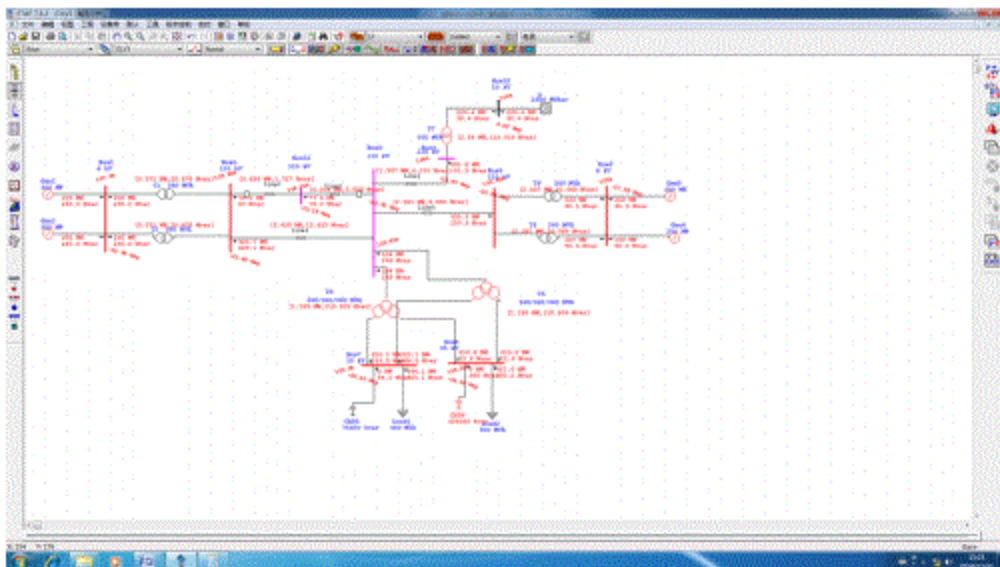


图 3.1 最大负荷时的调压措施

2) 在最小负荷时, 实行逆调压, 使电压降低至线路的额定电压, 采取措施: 调节机端电压, 多发出有功功率, 调整为 200MW; 改变 T7 的变比, 调整二次侧高 5%; 调节 T3, T4 变压器, 调整高压侧分接头升高 5%; 最后采取并联电容器的方式, 给 Load1 并联每组 2000 kvar, 共 40 组的电容器, 给 Load2 并联每组 5000 kvar, 共 55 组的电容器。

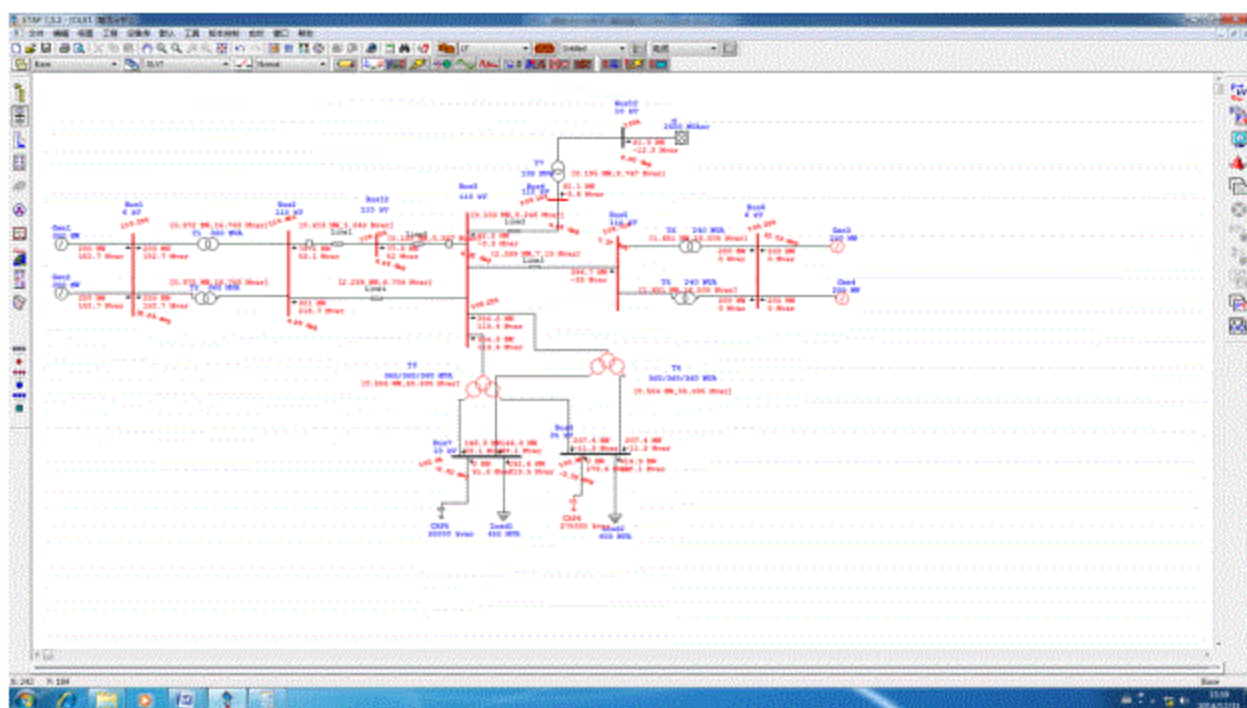


图 3.2 最小负荷时的调压措施

第四章 短路计算和设备选择

了解电力系统短路的种类和危害以及进行短路分析的目的和作用;掌握短路电流计算步骤,能计算转移阻抗、短路和总阻抗。

4.1 短路的概念

电力系统在运行中会因为各种不同的原因而发生各种不同类型的故障,对电力系统危害较严重的有短路、断路及各种复杂故障。所谓短路,是指电力系统正常运行情况以外的一切相与相、相与地之间的非正常连接。

4.2 短路的分类、概率及危害

电力系统短路故障的基本类型由:三相短路、两相短路、单相接地、两相短路接地;

在 110kV 及以上电压等级,中性点直接接地的电力网中以单相接地发生的几率最大,占全部故障的 75%以上。三相短路的概率最低;

危害:

①电力系统发生短路故障时,故障处的短路电流可达到额定电流的几倍至十几倍,在 6~10kV 容量的电力网中,短路电流可达几十至几百千安。当巨大的短路电流流过导体时,将使导体严重过热,从而使绝缘损坏甚至可能使导体熔化,或者由于短路电流产生的电动力使设备变形或损坏。发生短路

时往往还会产生电弧，从而可能烧毁设备并可能引起火灾。

② 短路故障后往往会使系统中的潮流发生突变，这可能会引起系统中的某些部分发生震荡，破坏系统并联运行的稳定性，甚至引起系统的全面瓦解。

③ 电力系统在发生不对称接地短路故障时，将会产生零序和负序电流，造成对邻近的通信线路和电子装置的干扰，还会使发电机振动和局部过热。在某些情况下还会引起铁磁谐振或工频电压升高。

4.3 短路计算和分析的目的

考虑到短路故障对电力系统运行的严重危害性,为了保证系统的正常运行,在设计和运行中应使电力系统能克服短路故障造成的危害.为此要进行一系列的短路电流计算,为选择电力系统的接线方式和电气设备,选择和整定继电保护装置等准备必要地技术数据.事实上短路分析和计算一直是电力系统计算的基本问题之一,由于短路计算对电力系统的设计,制造,安装,调试,运行和维护等方面都有影响,为此必须了解短路电流产生和变化的基本规律,掌握短路分析和计算的基本方法,在实际工程中,短路计算的目的如下:

(1)选择电气设备

电气设备在运行中必须满足动稳定和热稳定的要求,而设备的动稳定校验和热稳定校验则是以短路计算结果为依据的.

(2)选择合适的电气主接线方案

在设计电气主接线时,有时可能由于短路电流太大而需选择贵重的电气设备,使投资较大,技术经济性好,为此就需采取限制短路电流的措施或其他方法选择可靠而经济的主接线方案.

(3)为继电保护的整定计算提供依据

继电保护装置的设计中,常需多种运行方式下的短路电流作为整定计算和灵敏度计算的依据.

(4).其他方面

电力系统中心点接地的方式的选择,变压器接地的位置和台数,对邻近的通信系统产生较大的干扰,接地装置的跨步电压,接地电压的计算都需要以多种运行方式的短路电流值为依据.

4.4ETAP 用于短路计算的优势和长处

ETAP 短路分析程序分析了电力系统中三相,单相,线一地,线一线,线一线一地情况下故障的影响。该程序分析计算系统中总的短路电流和单个电动机、发电机以及连接点的作用。用 ETAP 的 IEC 标准短路电流计算模块对小系统算例进行仿真计算,并和传统实用计算结果比较。计算结果表明,调整某些设置后 ETAP 的计算结果与实用计算结果更加接近。

4.5 短路计算结果及分析

1.短路电流的计算步骤:

- a.制定等效网络;
- b.等效网络的简化;
- c.计算指定时刻短路点发生某种短路时的短路电流;
- d.计算网络中各支路的短路电流和各母线的电压

2 结果.

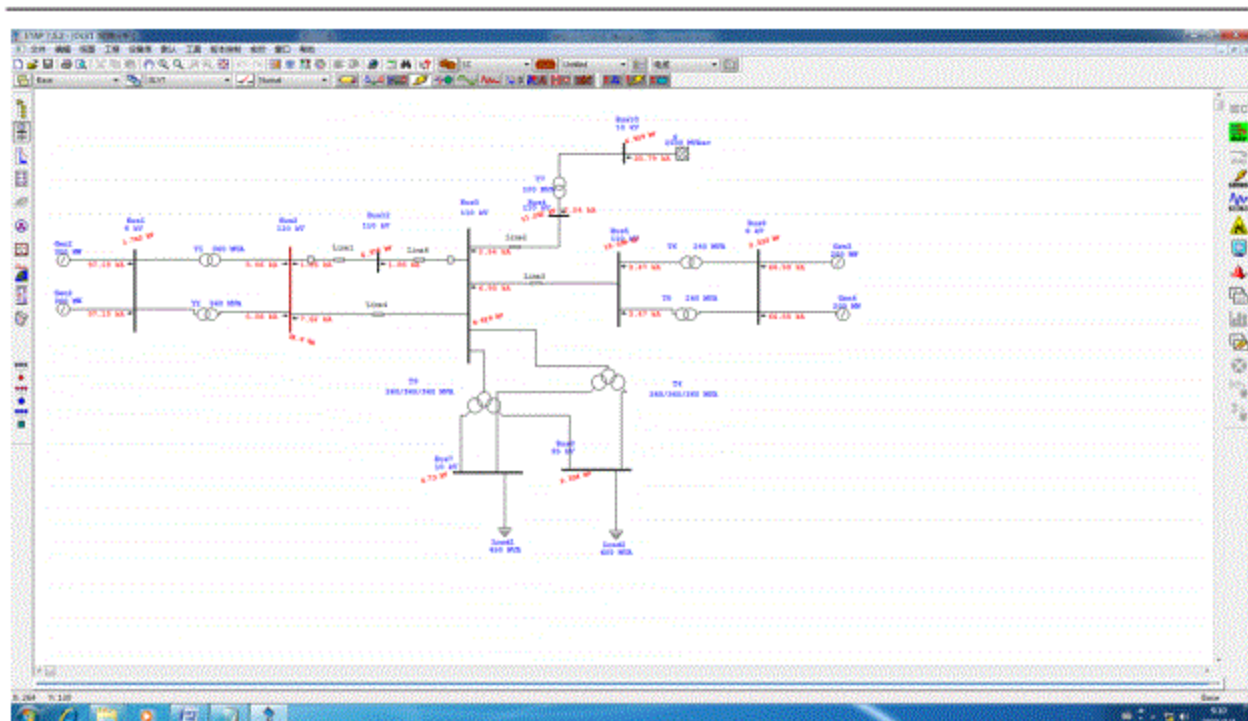


图 4.1 Bus 2 短路

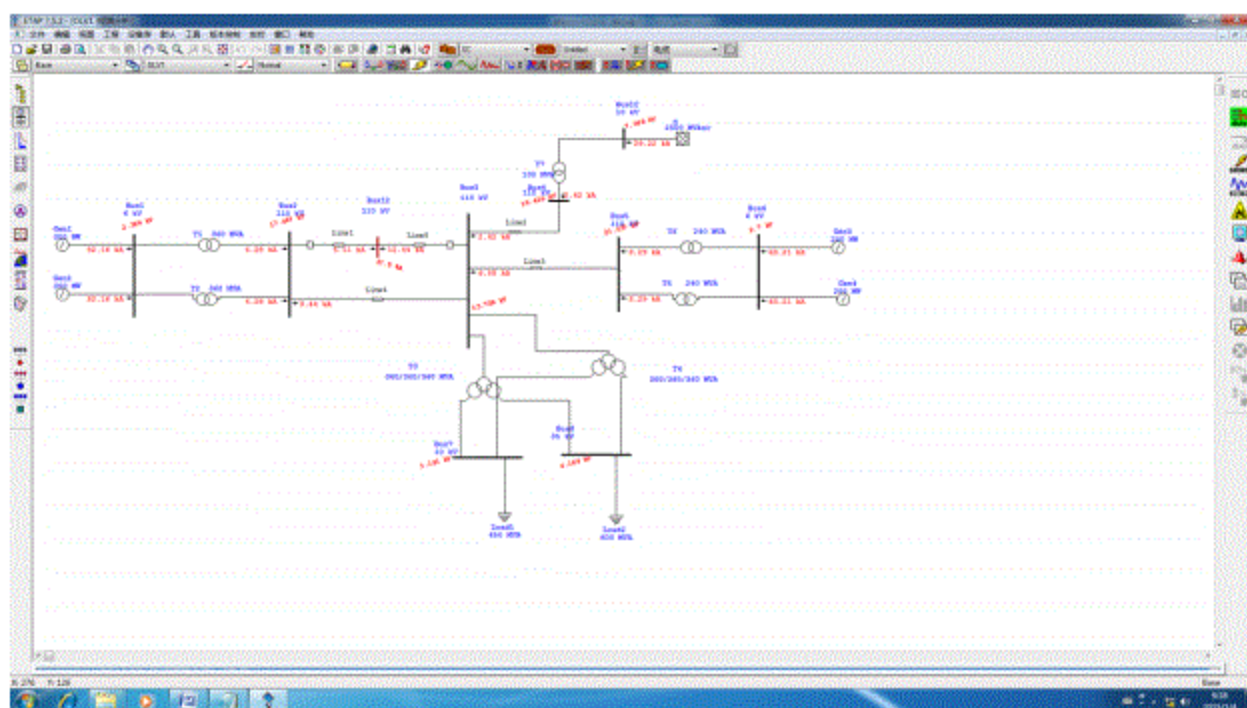


图 4.2 Bus 12 短路

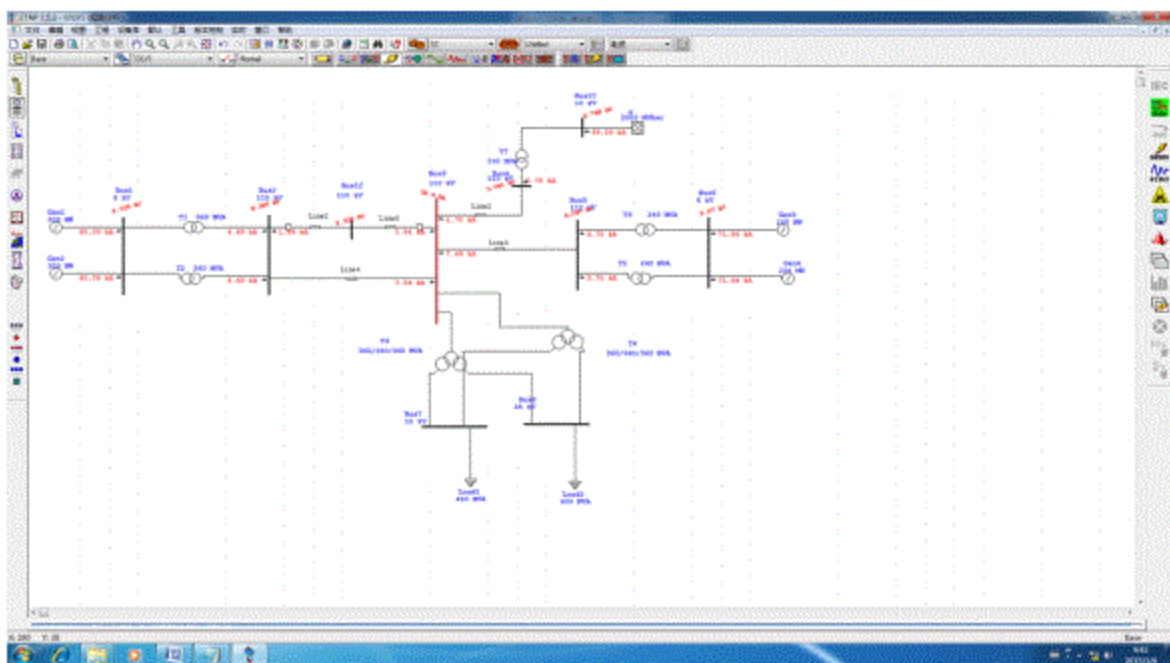


图 4.3 Bus3 短路

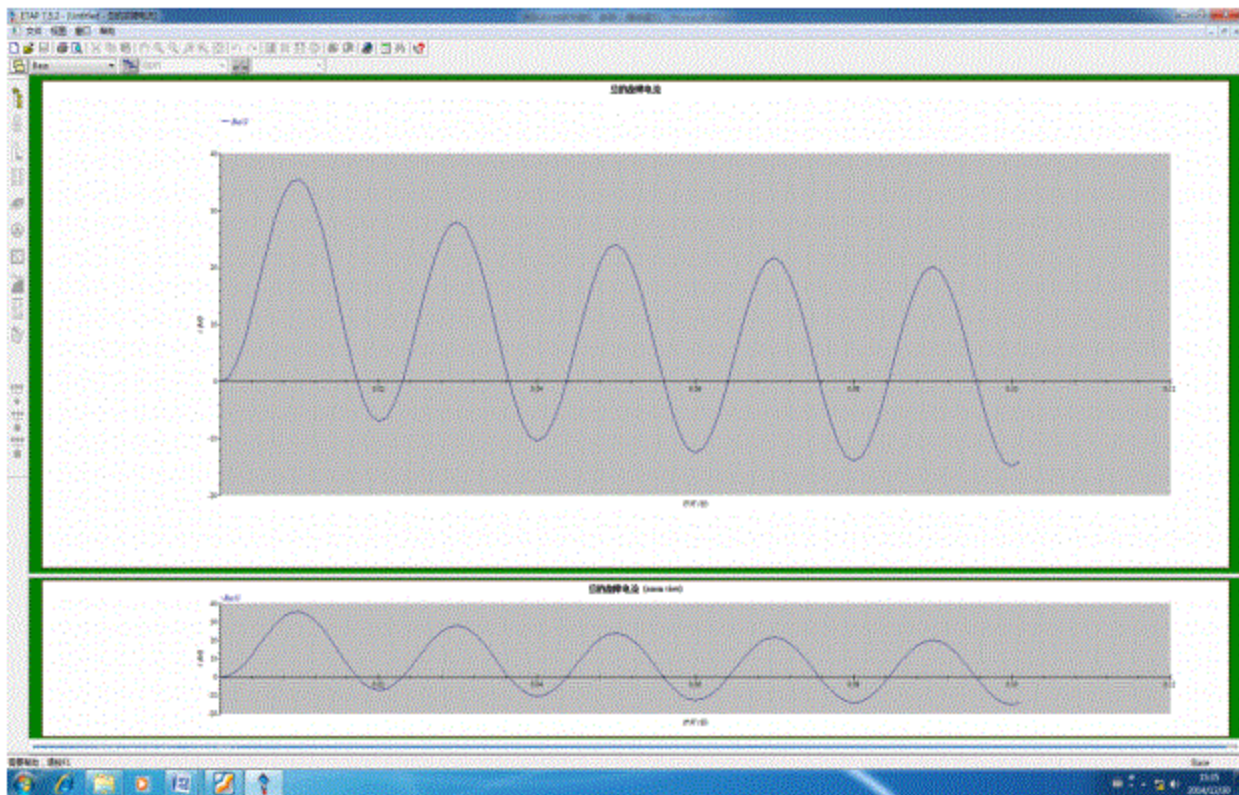


图 4.4 短路全电流图

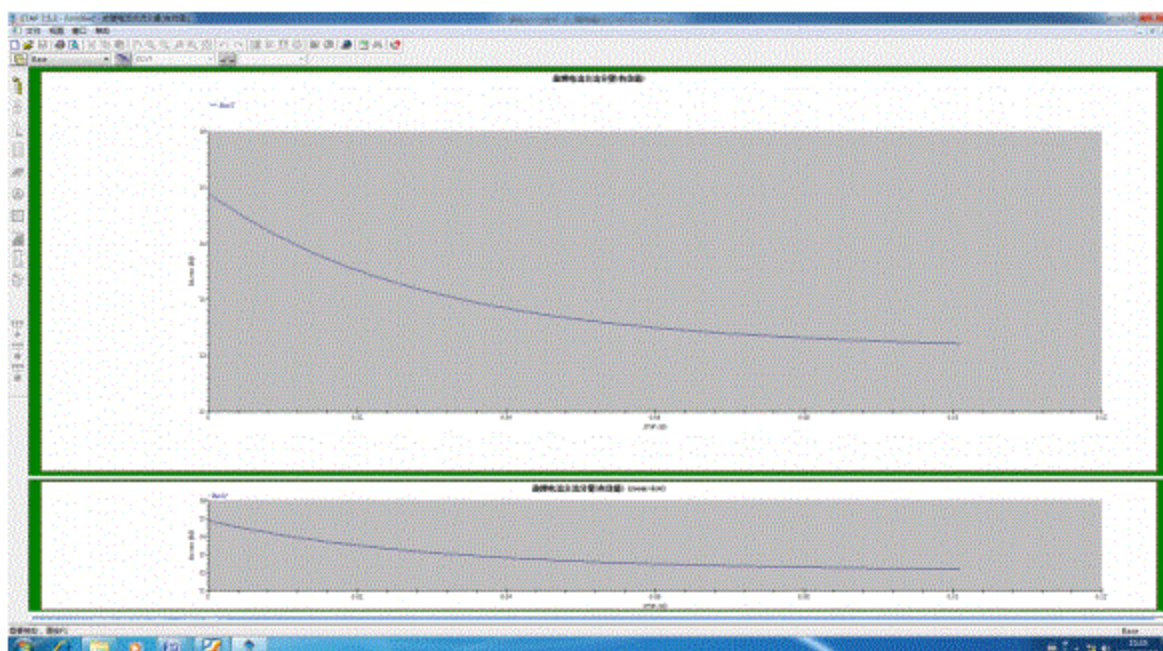


图 4.5 短路电流周期分量图

3 分析

表 4.1 Bus 12 短路电流周期分量有效值和短路冲击电流

	Line 1	Line2
	有名值 (KA)	有名值 (KA)
短路电流周期分量有效值	10.68	10.17
短路冲击电流	27.18	27.23
短路容量	10.68	10.17
短路冲击电流标么值	标么值	
	0.273	0.260

注：冲击系数为 1.80

$$I_p = I_{p*} \times I_B; \quad I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3}U_B} \quad \text{短路容量标么值为: } S_{d*} = I_{p*} = 0.872$$

$$\text{短路冲击电流: } I_p = \sqrt{2} I_{im}$$

$$\text{短路容量的有名值为: } S_d = S_{d*} \times S_B \quad I_{f*} \times S_B$$

4. 设备的选择

按额定开断电流选择断路器：断路器的额定开断电流不小于次暂态短路电流，即 CB1 的额定开断电流不小于 5.11kA，CB2 的额定开断电流不小于 12.44kA. 按额定电压选择断路器：断路器的额定电压不小于装设断路器回路所在电网的额定电压，即 CB1，CB2 的额定电压不小于 110kV。按额定电流选择：断路器的额定电流不小于装设断路器回路的最大持续工作电流，即 CB1、CB2 的额定电流不小于 15.3kA。故 CB1 型号为 LW₆-110 II/3150，CB2 型号为 LW-110 I /2500。

5.1 概述

本章的主要内容：

- 1、 电力系统功角稳定性的基本概念
- 2 、 同步发电机的机电特性
- 3 、 简单电力系统的静态稳定
- 4、 简单电力系统的暂态稳定

5.1.1 稳定性问题的提出及基本概念

电磁暂态过程：认为整个系统处于同步运行的状态，未考虑负荷和发电机功率的变化。实际上，电力系统时刻遭受干扰或扰动，其稳定运行状态将被打破，之后会经历一个动态过程。电力系统的稳定性问题就是研究这些动态过程的结局如何，是否会危及系统的正常运行。根据电力系统遭受干扰的不同情况，稳定性问题可分为静态稳定性、暂态稳定性和动态稳定性等几种类型。

5.1.1 稳定性的分类

1) 静态稳定性：是指电力系统受到小干扰，如负荷的随机涨落、汽轮机蒸汽压力的波动、发电机端电压发生小的偏移等，不发生周期性的失步，自动恢复到起始运行状态的能力。

2) 暂态稳定性：是指电力系统受到大干扰后，如个别原件突然退出工作、输电线路因发生短路事故被切除等，各同步发电机能保持同步运行，并过渡到新的运行状态的能力。

3) 动态稳定性：是指电力系统受到静态、动态稳定性相比较，实质上是同一性质的问题，只是动态稳定性的要求更高，所得的结果也更准确。

5.1.3 同步发电机的转子运动方程

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\delta}{dt} &= \omega - \omega_0 \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{\omega_0}{T_J} (P_T - P_{em}) \end{aligned} \right\}$$

由式 2 知：若输入的机械功率大于输出的电磁功率（发电机转子上有过剩功率），则转速 ω 上升；

由式 1 知：若转速 ω 大于同步转速 ω_0 ，则功角 δ 增加。

同步发电机的电磁功率特性

根据相量图（实线）有：

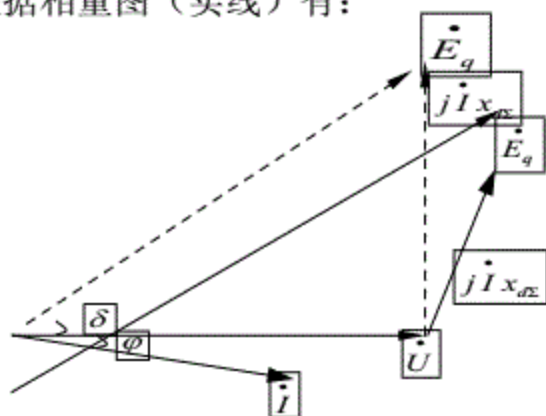


图 5.1

送端发电机送出电磁功率为：

$$E_q \sin \delta = I X_{d\Sigma} \cos \varphi$$

两式联立，得发电机的功角

特性方程：

$$P_{em} = IU \cos \varphi$$

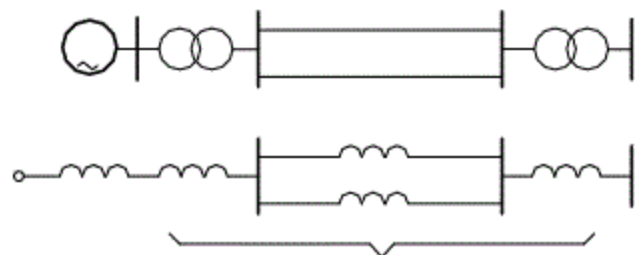


图 5.2

$$P_{E_q} = \frac{E_q U}{X_{d\Sigma}} \sin \delta$$

$$P_{E'} = \frac{E' U}{X_{d\Sigma}} \sin \delta'$$

$$P_{U_F} = \frac{U_F U}{X_C} \sin \delta_C$$

5.1.4 简单电力系统的静态稳定分析

同步发电机输出的电功率也有其自身的变化规律，它与发电机所连接的系统地参数有关，还与并列运行的发电机间的功角有关。这种关系被称为同步发电机的功角特性。

发电机的功角特性方程为：

$$P_{E_q} = \frac{E_q U}{X_{d\Sigma}} \sin \delta$$

同步发电机并列运行的稳定性在单机-无限大简单系统中，若发电机的励磁不可调，则 E_q 恒定，发电机输出的电磁功率为功角 δ 的函数：

发电机正常运行时输入的机械功率等于输出的电磁功率（供求平衡），功角特性曲线上有 a、b 两个功率平衡点，如下图：

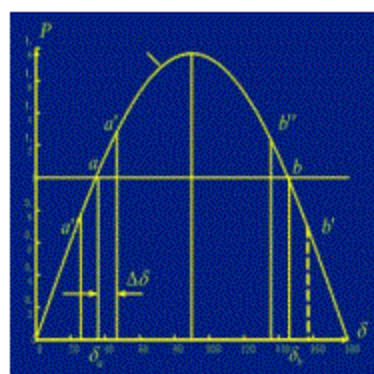


图 5.2

若不计调速器的作用， P_T 保持不变（对应图中横线）。

Case 1: a 点运行时，若有小的干扰，使得功角增加，则: $\delta \uparrow$ ， $a \rightarrow a'$ ， $P_{em} > P_T$ ， $\omega < \omega_0$ ， $\delta \downarrow$ ， $a' \rightarrow a$

Case 2: a 点运行时，若有小的干扰，使得功角减小，则：

$\delta \downarrow$ ， $a \rightarrow a''$ ， $P_T > P_{em}$ ， $\omega > \omega_0$ ， $\delta \uparrow$ ， $a'' \rightarrow a$

5.2 提高稳定性的措施

5.2.1 提高静态稳定性的措施

1. 采用自动调节励磁装置
2. 提高系统的运行电压
3. 降低系统电抗
 - 1) 采用分裂导线
 - 2) 采用串联电容补偿线路电抗
 - 3) 提高线路额定电压
4. 防止电压崩溃

5.2.2 提高暂态的措施

1. 快速切除断路故障
2. 采用自动重合闸装置
 - 1) 双回线路的三相重合闸
 - 2) 单回线路的单项重合闸
3. 提高发电机输出的电磁功率
 - 1) 对发电机进行强行励磁
 - 2) 电气制动
 - 3) 变压器中性点经小电阻接地
 - 4) 机械制动
4. 减少原动机输出的机械功率
 - 1) 采用连锁切机
 - 2) 汽轮发电机快速控制调速器门
5. 改善远距离输电线路的结构

-
- 1) 在线路中加设开关站
 - 2) 采用强行串联电容补偿
6. 正确制定电力系统运行参数的数值
- 1) 正确的规定输电线路的输送功率值
 - 2) 提高电力系统运行电压水平
 - 3) 尽可能使远方发电厂多发无功功率
7. 利用调度自动化系统提供的信息能及时调整运行方式

6 结论

通过两周的实训,对基于 ETAP 的潮流计算有了初步的了解,对潮流计算有了更深的认识。当我刚拿到题目是很迷茫,不知道从何下手,但在老师的讲解下我对自己要写什么,怎么写有了一个大概的框架。在写得过程中遇到了很多问题,通过自己翻书,查资料或问老师,我的问题也得到了解答。

本文主要是在 Etap 的基础上进行进行潮流计算,最主要的是看图,在明白图中每一个数据的意义的基础上计算短路冲击电流、电压偏移、电压损耗,判断功率分点、计算各支路的损耗及网损。通过分析图中的参数,为提高电力系统的经济运行,通过各种手段调压以减少无功,多发有功。而调压的手段要根据具体网络来确定,在以上网络中通过改变机端电压、改变分接头及并联电容器的方法进行调压。因为有了 Etap,所以计算比以前更方便了。

通过本次课程设计的实训不仅更进一步的了解了《电力系统》,学到了平时课堂上学不到的东西。经过两个星期的学习,我对短路、调压等更熟悉,而且在刘老师的指导下学会了如何写论文,对从未接触过论文的我有很大帮助。也为我将来的毕业设计奠定了基础。在输入各个元器件的过程中,由于自己的粗心忘了输入参数,导致运行时出现很多错误,但经过仔细检查找出了错误,因此觉得很有成就感。由于时间紧,在计算潮流分析时和同学分工合作,对效率有了很大的提高,在遇到问题时大家一起讨论、解决,借鉴别人的长处,增进了同学之间的交流,营造了良好的学习氛围。

总的来说,这次课程设计确实学到很多,不仅学到了很多知识,而且也锻炼了我遇到问题解决问题的勇气和能力,以及遇到挫折不达目的不罢休的韧性,这

在以后的工作与学习中将会非常重要。

7 参考文献

1. 李霜,伍家洁,黄惠《电力系统》；重庆，重庆大学出版社，2013。
2. 刘笙 《电力工程基础》；北京，科学出版社，2003。
3. 于永源 杨绮雯《电力系统分析》；北京，中国电力出版社，2004。
4. 杨淑英 《电力系统概论》；北京，中国电力出版社，2003。
5. 华智明 张瑞林《电力系统》；重庆，重庆大学出版社，2003。
6. 西安交通大学 《电力系统计算》；北京，水利电力出版社，1978。
7. 毛力夫 发电厂——《变电站电气设备》；北京，中国电力出版社，1999。
8. 黄静 《电力网及电力系统》；北京，中国电力出版社，1999。
9. 何仰赞，温增银等 《电力系统分析》；武汉，华中理工大学出版社，1996。

附录

电压偏移: $\Delta = U_1 - U_2 / U_N$

电压损耗: $m\% = (U_1 - U_N) / U_N$

功率因数: $\cos \varphi_2 = P/S$

功率损耗: $S = P + jQ$

功率分点: 该节点处的功率从两个方向流入

效率: $P = \text{有功功率} / \text{总功率}$

短路冲击电流: $I_f = I_{f*} \times I_B; \quad I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3}U_B}$

短路容量标么值为: $S_{d*} = I_{f*}$

短路容量的有名值为: $S_d = S_{d*} \times S_B \quad I_{f*} \times S_B$