



清 华 大 学

# 硕士学位论文摘要汇编

1.987

第 三 分 册

# 配电系统静态规划方法的研究

电力系统及其自动化专业研究生 何俊英 指导教师 王世纓

本文根据国内配电系统现状和发展规划的需要,在研究前人所做工作的基础上,提出了适合于我国情况的城市配电系统静态规划数学模型及新的计算方法——综合费用系数法,编制了相应的软件,用文献中的例题进行了对比计算,并对北京局部地区配电系统的二十年规划做了计算,得到比较满意的结果。本文对规划中如何施加电压约束条件也做了某些改进。

1987 年 11 月 4 日

## SCR 电驱动钻机电气系统的综合最优控制

电力系统及其自动化专业研究生 陈辉祥 指导教师 王仲鸿

SCR 电驱动钻机是目前世界上最先进的石油开采钻机,根据国内外有关资料介绍,SCR 电驱动钻机在其适应性、可靠性及综合经济效益方面有着其他类型钻机所无法比拟的优点,因此采用 SCR 电驱动钻机是目前国际上石油开采机械的发展趋势。国内在 SCR 电驱动钻机的生产仍然是一个空白,因此,国家把 SCR 电驱动钻机的研制列为重点科技项目之一。

SCR 电驱动钻机应用的技术关键在于电气系统的控制问题,即是提高并联运行的柴油发电机组带可控硅负荷系统的各种动态性能指标及机组间负荷均分配的问题。由于种种原因,国内对这些方面的问题仍然没有很好的解决。

本文对 SCR 电驱动钻机的电气系统的特点及主要要求作了分析,推出了柴油发电机组带变化负荷的数学模型。在这个数学模型基础上本文应用了线性最优控制理论,针对受控制系统的特点和要求,提出了无差输出调节器思想。对柴油发电机的转速和电压进行综合最优控制。这种综合最优控制器具有两个特点:能克服系统内受到的阶跃型干扰;能实现并联机组间均分负荷的要求。

在单机带负荷模型的基础上,本文首先从理论上探讨了实现综合最优控制的可性,然后在计算机上对实例进行了设计计算,并用设计出的综合最优控制规律,进行了单机带负荷系统和两机并联运行带负荷系统的数字仿真,数字仿真结果表明。在柴油发电机组并联带负荷运行系统中实现这种综合最优控制器具有良好的鲁棒性,对各种类型的负荷变化情况具有很佳的动态响应特性,稳态性能指标也达到了预定的要求。并实现了并联运行机组间的功率均匀分配要求。

在计算机设计结果的基础上。我们用装置实现了综合最优控制器,并在动模机组上进行了模拟试验,试验结果验证了数字仿真结果。同时也表明,该综合控制器方案在 SCR 电动驱动钻机电气系统的控制应用中是可行的,能够达到工程实际要求。

答辩日期:1988 年 6 月 3 日

# 电力系统分析与规划数据库的研究

电力系统及其自动化专业研究生 曹 炜 指导教师 韩英铎

随着电力系统计算技术的发展,现有的文件系统支持下的数据处理系统不能满足电力系统计算对数据管理的越来越高的要求。数据库技术是为了克服文件系统的弱点发展起来的。在电力系统实时领域,数据库已成为提高其监控系统性能的核心环节。但电力系统离线计算数据管理基本上仍停留在文件系统阶段。本文分析了造成上述状况的原因,对电力系统离线计算用数据库做了探索性研究,在 VAX 机上用数据管理软件 DATATRIEVE 为电力系统分析与规划建立了可为多计算程序共享的基于系统网络图的电网基本数据的关系型数据库(PSAPDB)及其应用系统。

作为一个实验性的数据库系统,本文主要在 BPA 潮流,暂态稳定程序和电网优化规划软件包(PTSP)的数据实体集上工作,对电力系统分析与规划数据实体及其间关系进行分析描述,提供电力系统分析与规划程序间的数据共享,减轻工程技术人员使用与维护数据的负担。数据库目前已有与 BPA 和 PTSP 程序的接口。

PSAPDB 数据库设计中,采用以 E-R 图为工具,用视图汇总法与关系模型方法相结合设计数据库。根据电力系统分析与规划数据的实际情况,通过舍弃一些次要属性和引入实体子类,数据库模式既可规范到 4NF,使数据修改简单,无冗余;形成用户视图时又只需较少的联接运算,减少了系统开销,具有一定特点。

PSAPDB 与计算程序的接口采用了比较现实可行的数据文件方式,以保留计算程序原输入输出和文件级的操作。与 BPA 程序的接口结合数据载入系统的开发,采用了 BPA 中转库加格式转换的方法,这样可以减少一些编码工作量,同时可方便已有 BPA 数据文件的用户,用 BPA 数据文件自动建库。PSAPDB 与 PTSP 程序的接口可不经格式转换,用 DATATRIEVE 的 PRINT 语句直接形成 PTSP 程序输入数据文件,与其它程序的接口,一般均可采用这种方式。

PSAPDB 应用系统数据库操作部分采用了具有一定通用性(改变数据库模式结构不需要改写菜单)的菜单式用户界面。在菜单引导下,用户可以在任意视图的任意子集合上操作。

PSAPDB 中存入了 1990 年华北网的网络结构、设备数据(400 个节点、500 个输电元件)试运行表明,通用关系型 DBMS 支持下的该数据库能存贮不同研究深度的数据、数学模型齐全、数据结构合理、数据独立性高、易于修改扩充、易于与计算程序接口、数据无冗余、操作灵活简单、查询效率与各方面功能能较好地满足现阶段我国电力系统分析与规划对数据管理的要求。

答辩日期:1988 年 6 月 3 日

# 变电站微机保护、监测综合控制系统

电力系统及其自动化专业研究生 刘建政 指导教师 王世纘

变电站利用计算机进行保护、控制、监测等旨在提高其运行的可靠性、经济性及其自动化水平,为此而研究设计了变电站微机保护、监测综合控制系统,并且已成功地应用于某 35KV 变电站。该系统能够完成全站线路的继电保护、单相接地探测选线、电压和无功综合控制、以及全站的运行监测、操作、正常自动抄表和事故记录等任务。

本论文介绍了变电站微机保护系统和监测系统的功能、硬件结构和软件流程,分析了微机保护采用交、直流采样输入方式的特点和适用场合,并对变电站采用集中保护、控制、监测综合系统中各计算机配置关系进行了论述。论文着重对工程上常用几种交流信号幅值算法进行了分析,并介绍了其仿真结果,同时其软件结构和硬构成的方案进行了论证和研究,使得保护装置能够更先进、更可靠,并且具有更加灵活的通用性。交流采样保护最为关键的是使用可靠的算法以最快的速度计算出电力系统的运行状态、精确地捕捉到系统的故障,来作出保护动作的决策,因此要求所采用的算法应具有准确度高、计算量小、窗口时间短、抗干扰性能强、以及具有暂态过渡过程平稳、响应速度快的特点。经过对常用的交流信号幅值算法的分析、仿真,推导出了能够抵御电力系统故障过渡过程影响的、不同于常用的积分算法和富氏算法。在分析了计算机集中保护特点的基础上,对电流、电压保护使用了有别于目前计算机保护中常用的多次重复确认的软件结构,编制了具有启动比较和动作比较以及闭锁比较的三重判据的保护软件结构,并从理论上分析了此软件结构的可靠性。同时为使软件和硬件对不同变电站具有一定的适用性做了一定的工作,并对提高软件和硬件的抗干扰能力作了简要论述。所设计的保护系统经过实验室静态实验测试已证明其动作的准确性,其响应速度达到了设计的要求,多次重复实验未出现误动和拒动现象。

理论分析和现场运行实践已证明变电站实施计算机继电保护、控制、监测是可行的,技术是可靠的,具有广阔的发展前景。

答辩日期:1988 年 6 月 6 日

# 交直流混合电力系统的潮流计算和无功优化方法

电力系统及其自动化专业研究生 杨 洪 指导教师 文学宏 陈寿孙

从世界上第一条工业性高压直流输电线路出现到现在,只有三十多年的时间,由于直流输电的技术经济特性,它在电力系统中得到了越来越广泛的应用。从我国的实际情况来看,直流输电有很好的应用前景,因此,开展这方面的研究工作很有必要。

交直流混合的电力系统中,直流输电系统可以分为二端和多端两大类,其中多端系统又可以分为并联和串联二种。

本文针对含有并联多端直流系统的交直流混合电力系统,研究了它的潮流计算和无功化问题。

从掌握的资料来看,国内对交直流混合系统的潮流研究,只限于二端系统,国外的研究已涉及到多端系统。其计算方法,分为联立法和交替法二种。本文在分析比较了各种方法以后,选择了 C.M.Ong 等人的交替法,在此基础上,编制了相应的潮流计算程序。该程序计算速度快,精度高。

同时,本文进一步研究了混合电力系统的无功优化问题。为了选择合适的优化方法,本文首先分析了种种现有的优化方法以及交直流混合电力系统无功优化的特点,指出:非线性规划法较难于处理函数不等式约束,线性规划法则对各种约束都能较为方便地处理;交直流混合电力系统无功优化,在按控制变量空间寻优的情况下,将出现大量函数不等式约束。因此,为了方便地处理大量出现的函数不等式约束,本文选择了线性规划法作为混合系统无功优化的方法。

本文推导了混合系统的线性优化模型,利用对偶线性规划法编制了混合系统无功优化的程序。该程序采用了稀疏技术,因而计算速度较快。内存较省。

最后,利用该程序计算了一个典型的交直流混合系统的无功优化潮流。结果表明:线性规划法可以较好地适应于交直流混合系统的无功优化。

答辩日期: 1988.6.7

## 电力系统电压及无功功率控制的分解优化方法研究

电力系统及其自动化专业研究生 胡翔勇      指导教师 陈寿孙

电力系统电压及无功功率的分布是否合理对电力系统的安全经济运行和用户的正常生产和生活都有重大影响,因此电压及无功功率的优化控制的研究具有重要意义。

电压及无功功率优化控制的研究可分为集中优化方法和分解优化方法两大类。集中优化方法相对比较成熟,但由于存在随着系统规模的增大计算时间以更快的非线性速率增加的问题,要在计算时间上有所突破存在很大的困难。分解优化方法正是基于这一问题而提出,但目前尚处于探索阶段,有一些问题还没有得到很好的解决。

本文在 J.Zaborszky 提出的电压及无功功率控制的特征模型的基础上,根据电压及无功功率控制的特点,按电压及无功功率控制在灵敏度意义下的有效作用范围进行子系统划分,从而将一个高维的问题分解为一系列低维的子问题进行求解,并且有效地避免了一般分解优化方法复杂的协调过程。

在 J.Zaborszky 的方法中,进行系统分解的灵敏度判据靠人为给定,而不同结构和规模的系统,其灵敏度矩阵元素的大小和分布有很大的差别,因此在实际应用时,存在灵敏度判据难以确定,或者因为大量反复的试算分析所包含的过多的工作量而使工作难以进行的问题。本文针对这一问题提出了灵敏度判据的自动搜索算法,它能够适应不同的系统结构和规模,迅速给出满足要求的灵敏度判据,从而成功地解决了系统分解的问题。

本文还针对 J. Zaborzky 的方法中分组算法没有考虑收敛性要求和时间函数  $T(n)$  不易求得, 以及算法对子系统维数给定依赖性强, 当子系统维数给定不合适, 分组无法完成的问题, 提出了以耦合程度为准则的分组算法。它很好地兼顾了子系统的收敛性和优化计算时间两方面的要求, 避开了时间函数  $T(n)$  的求取, 同时算法对子系统维数给定有很好的适应性。

本文还提出了按自然区域进行分组的算法, 并且和按耦合程度分组的算法相兼容, 从而能更好地满足实际应用的需要。

本文在算法上采取了一些有效的措施, 使计算量大为减少, 有效地避免了解的振荡和变量的频繁越限, 收敛性得到很大改善。

用本文方法对两个实际系统算例的计算表明, 本文提出的电压及无功功率控制的分解优化方法是成功的且有效的, 收敛性好, 计算速度快, 较之同类型(采用相同的优化算法)的集中优化方法有明显的改善。

计算结果还表明, 电压及无功功率的优化控制在提高系统运行的安全性和经济性方面效果都是显著的。不仅可以改善系统的运行条件, 提高电压质量, 而且能明显地降低系统网损。用本文算法编制的计算程序通用性好, 适应性强, 可望在实际电压及无功功率调度控制方面加以应用。

答辩日期: 1988.6.7

## 无功潮流规划专家系统

电力系统及其自动化专业研究生 曾 云 指导教师 王世纛

电力系统无功潮流规划旨在通过无功补偿等调节手段使系统保持良好的电压水平。为此而设计的称为 LES 的专家系统采用回溯式控制策略使之完全自动化。本文详细介绍了 LES 的原理、结构及在 IBM-AT 机上的具体实现, 并提供了算例。本文还就人工智能在电力系统中的应用、发展电力系统计算机图形学以及提高电力系统软件水平等几个方面的问题提出了一些观点。

无功潮流规划专家系统 LES 主要由 ILFE、PEAR 及 PSD 三个软件组成。其中推理机 ILFE 是核心部分, 在 ILFE 里, 文章详细讨论了如何将人工智能回溯式控制策略引入到 LES 的控制系统中进行无功潮流规划进程的控制, 解决了其中的具体细节问题。由潮流灵敏度分析导出的三个结论被成功地引入到 LES 中进行规则排序和控制变量修正量的是。考虑到电力系统无功潮流规划的特殊性, 即规划排序基本上与过程状态量无关, 回溯策略中的规则选择与规则排序两步被提到规划之前进行, 因而提高了控制系统的效率。文章还就控制系统中耗散值处理、潮流计算特殊点等问题进行了讨论。

与一般软件的文件输入与过程输入的输入方式不同, LES 采用了一种新的输入方式, 称为“程序输入”。用户将规划要求写成程序的形式然后由 LES 接受——这就是专为 LES 设计的 PEAR 软件。它有两个用途, 一是为一般用户提供一个信息输入的

工具,一是为专家提供一个知识获取的接口。

电力系统绘图软件 PSD 是 LES 的输出系统,同时它又是一个可与其它应用程序接口使用的独立软件。作为 LES 的输出系统,它可以根据用户在 PEAR 中所提要求以图形方式显示规划的全过程和结果。作为一个独立软件,它可以将实用程序的潮流结果自动显示出来,同时还具备交互绘制电力系统图形、显示控制、图块编辑、汉字编辑、打印输出、潮流计算等多种功能。

此外,LES 还包括由综合数据库与规则集组成的知识库系统。知识库用于存贮由专业知识演化而成的以 IF—TEN 结构组成的规则集,同时包括状态变量、控制变量、变量约束以及回溯过程中控制系统中有关的进程量值。

LES 建立在 IBM—AT 微机基础上的微机工作站上。由 DoS、dBASE III PLUS、AU+oCAD、AU+oLISP 及 FORTRAN 等五种语言支持。

对 IEEE—30 节点系统的无功潮流规划验证了 LES 的正确、并表明将回溯策略、灵敏度分析等引入到无功潮流规划专家系统的理论和实际编程是有效的。

答辩日期:1988 年 6 月 7 日

## AC/DC 电力系统低频振荡的选择模式分析

电力系统及其自动化专业研究生 江 毅 指导教师 张宝霖

随着电力系统的发展,大功率、远距离输电线以及大型发电机组、快速励磁调节器的投入,在某些因素诱发之下,系统可能出现频率很低(0.2~2.5Hz)、衰减很慢或不衰减的功率振荡,部分发电机出现较严重的相互摇摆,且持续时间较长,甚至达到使系统解列的程度,严重地威胁到电力系统的稳定运行。因此,研究和发​​展电力系统低频振荡分析及相应控制措施设计的计算工具,对电力系统的稳定运行具有非常现实的意义。

本文全面详细地综述,分析和比较了各种低频振荡分析方法的特点,并结合选择模式分析法(SMA 法)计算系统低频振荡模式(系统状态矩阵的特征值)的优缺点,从理论上系统地整理了针对 SMA 法的不足而提出的相应改进措施。并以一个 10 机系统为例,用改进前后的 SMA 法以及 QR 法分别进行了低频振荡模式计算比较,结果表明改进的 SMA 法具有计算时间短、迭代次数少、收敛速度快、收敛性好、计算精度高的优点,并且便于进行增加系统低频振荡阻尼的附加控制器(PSS、HVDC 功率调制器、SVC 附加控制器)的综合设计。

本文在全面阅读、吸收前几届研究生编制的交直流混合电力系统动态稳定计算软件包(共 17000 句左右)的基础之上,根据该软件包的初步的科研性特点,进行了许多的勘误、修改和完善工作,使该软件包以一种通用性欠佳的科研使用程序向产品化的生产使用程序转变,改善了软件的计算正确性和使用的方便灵活性,经多方使用,效果比较满意,并且已经向电力生产部门推广,在数家电力部门使用。

在此基础上,结合我国电力生产部门多使用美国 BPA 潮流和暂态稳定计算程序的特点,将上述电力系统动态稳定计算软件与 BPA 进行接口处理,用 BPA 潮流程

序代替原清华编制的潮流程序,用 BPA 的暂态稳定计算程序进行系统大、小干扰的时域仿真校验计算,初步达到了预定目的。

本文对三峡规划系统(24 机)的低频振荡稳定性问题进行了计算分析,结果发现振荡问题主要出现在华中系统内部以三峡机组为核心的部分区域、机组之间。针对系统弱阻尼的振荡模式,本文进行了多机 PSS 及多机 PSS 和 HVDC 功率调制器的协调设计,结果表明按本软件包进行的附加控制器(PSS、HVDC 功率调制)安装地点选择和综合设计,有效地抑制了系统主要振荡模式的振荡,并且对其它模式的阻尼没有产生明显不利的影响,其设计效果比较满足,达到了预期的设计要求。

答辩日期:1988.6.7

## 利用自动调整罚因子方法计算 电力系统有功校正对策

电力系统及其自动化专业研究生 蒋少平 指导教师 相年德

本文首先介绍了电力系统静态安全分析中的一些基本概念及提高电力系统运行安全性的基本措施,综述了安全分析的几种主要模型及方法,然后研究了用 Householder 公式进行电力系统单一支路开断、多条支路开断情况下的开断模拟方法。其中多条支路开断又分为两种开断模拟方法,一种为循环递推方法,一种为集中计算方法。前一方法适合于开断支路在三条以下的情况,后一种方法适合于开断支路超过三条以上的情况。

本文的主要工作为提出了一个电力系统有功校正模型及与之相对应的算法。模型利用了电力系统有功校正问题中约束量与控制量之间所具有的增量线性化关系,把约束方程简化成线性约束方程,目标函数直接选用二次型目标函数,整个模型实际为二次规划模型,但解法采用自动调整罚因子算法。

该算法的基本思想为把约束方程乘以罚因子作为惩罚项引入原模型的目标函数得到新的目标函数,对新目标函数求导,求出现有条件下(状态一定,罚因子一定)控制量的最佳调整量。然后根据控制量调整之后的结果,调整罚因子值,回到初始状态再一次计算控制量的调整量,通过罚因子的调整使某一状态下控制量的调整量逐步优化,得到该状态下的最佳校正结果。该算法有以下两个特点:

① 每次迭代可以把所有越界支路均引入目标函数,也可以引入其中几条,这样使校正计算更具有灵活性,同时也可使计算的迭代次数减小。

② 参与校正的控制量根据约束量与控制量之间的灵敏度关系来确定,其数目每次迭代可以有所不同。一般选择对越界支路最灵敏的控制量参与校正,这样可使校正对策更有效。本方法中控制量的多少与计算量的大小有直接关系,因此通过压缩每次迭代参与校正的控制量的数目,可使每次迭代的计算量下降。

最后根据算法编制了程序,在程序中利用了稀疏矩阵技术,压缩了计算内存。

用于 IEEE30 节点试验系统的计算结果表明,该方法具有收敛性好,计算速度快,内存占用量小的特点,对于在线计算校正对策很有吸引力。

答辩日期:1988 年 6 月 7 日

## 以 MC68000 微机为基础的直流输电 物理模型控制器的研究

电力系统及其自动化专业研究生 魏勤华 指导教师 周荣光

直流输电已经出现在我国电力系统之中,它对于我们来说是一个比较新的技术,因此,对换流桥控制器及交直流混合电力系统的研究刻不容缓。然而,我们对直流系统的静、暂态特性的了解远没有象对交流系统了解得那么深刻,因而不能仅仅依靠基于现有水平的数学模型的计算机数字仿真来研究直流系统,而应该采用对直流系统进行物理模拟实验研究和计算机数字仿真分析相结合的方法。基于这种考虑,本论文把研制以微机控制器为核心的直流输电物理模型作为选题。

本文论述了该直流输电物理模型微机控制器的各种控制方式所采用的控制原理、控制器的调节特性以及控制器的主要控制功能;详细地叙述了微机控制器硬件电路的功能和工作原理;对微机控制器的硬、软件设计方案也作了简解;还讨论了微机控制器的抗干扰能力和运行可靠性的提高方法,对论文工作中探索出来的该控制器的干扰防范措施和硬、软件容错技术作了介绍;最后给出了该微机控制器控制下的直流输电物理模拟系统与交流电力系统动态模拟实验室联机后的各种试验的结果及必要的分析。

基于 PPC 比例控制加  $\alpha$  反馈积分控制环的定电流控制既能保证定电流控制的稳定性,又能保证定电流控制有确定的控制点;基于 PFC 积分控制并以反馈控制和予测控相结合、经济调节与安全调节相协调的定熄弧角控制能在逆变器不易发生换相失败的前提下经济运行,且稳态控制误差较小;随电压变化的电流限制控制有利于直流系统故障时减小故障能量和故障的切除以及当逆变器交流母线故障时减小逆变器换相失败的可能性。

目前,该微机控制器控制下的直流输电模拟系统已经在清华大学电力系统动模实验室成功地投入运行。运行试验表明:由于采用了性能优越的 MC68000 十六位微机,在该控制器的控制下,直流输电系统稳态运行稳定、实时监控方便、易于改变控制参数及控制方式;暂态过程中控制器动态性能好,直流系统无过压现象产生,电流超调小,电流、电压变化平滑;该控制器比之非微型机控制器具有控制方式灵活、添加控制功能方便、硬件电路简单因而可靠性高的优点,比之 Z80 型微机控制器则控制速度更快、控制功能更强、控制精度更高;现有的交流系统动模和该微机控制器控制下的 HVDC 物理模拟系统相结合,能基本满足换流桥和交直流混合电力系统的实验研究对实验手段的要求,可用来研究诸如直流功率调制、利用 HVDC 提高电力系统的动态稳定性等交直流混合系统的静态及暂态特性研究课题。

答辩日期:1988 年 6 月 7 日

# 核电站仿真器电气系统软件的开发与改进

电力系统及其自动化专业研究生 邓小文      指导教师 顾永昌

本论文的研究课题属国家七五计划的攻关项目的一部分,也是清华大学电机系发电教研组与清华大学核电站培训中心的一个合作项目。研究目的是对该培训中心引进的美国 ShearonHarris 核电站培训仿真器电气系统软件进行开发与改进。

本论文对仿真器电气系统软件、数学模型及其所实现的功能进行了研究和详细的描述,指出了原仿真器电气系统数学模型的缺陷与不足,并根据电站的实际运行情况提出了改进意见。在此基础上,改正了发电机无功仪表输出的不合理。

核电站培训中心计划在八五计划期间,将设计适合我国国情的核电站培训仿真器,应此要求,本论文对电气系统数学模型及软件进行了改进。由于仿真系统软件包尚处于开发阶段,要实现单独修改电气系统软件,必须将电气系统软件从整个仿真系统软件包中分割出来进行单独运行、修改与校验。本论文实现了将电气系统软件从整个仿真系统软件中分割出来单独运行和修改,所采用的分割方法与技巧,对软件包的全面开发、改进有参考价值和实用价值。

在电气系统改进模型中,采用我国常用的 20 万汽轮发电机组的标么参数;考虑到电气系统原数学模型过于简单,难以真实模拟电站的动态特性,因而在发电机动态模型中考虑了暂态的变化,并采用转子运动方程来描述转子运动的机械暂态过程,模型中增加了饱和效应与阻尼效应的影响,采用了与发电机相配套的国产多种励磁系统,并采用同步发电机的异步数学模型来模拟失磁故障,取代原模型中央磁故障的不符合实际情况的模拟;改进模型的逻辑部分仍以汇编语言编程,而动态部分也以 FORTRAN 语言编程。改进软件单独运行结果的各项技术指标达到设计要求。

为将改进软件移入原仿真器中进行联运校验,提出了联运的方法,并对联运引起核电站停堆的原因进行了分析与研究,指出了在仿真系统软件包全面改造后,电气系统改进软件的联运的可行性。电气系统改进软件为八五计划设计新的仿真器创造了条件

答辩日期:1988 年 6 月 8 日

## 水火联合电力系统中期优化调度

电力系统及其自动化专业研究生 左长春      指导教师 相平德

水火联合电力系统优化调度就是要在调度周期内,最优地安排各水、火电厂的负荷分配,使全网的发电成本最小。

根据调度周期的长短,可分为长期、中期和短期优化调度。长期一般以年为周期,中期一般以月为周期,短期一般以日为周期。

目前国内研究应用较多的是日优化调度,可节省煤耗 1% 左右。中期调度调节的范围更广,可望获得更高的经济效益。

本文要解决的是以东北电网为对象、以月为周期的中期优化调度问题，其结果就是要确定各厂的每日发电量。

为考虑负荷的峰谷变化，每日的负荷分成两个台阶；水电厂发电水耗特性用分段线性表示，火电厂分段线性的煤耗微增特性  $P \sim \lambda$  ( $\lambda$  是煤耗微增率) 表示，通过合成的方式，使计算大为简化。实践表明本模型具有较强的适应性。

在算法上，本文应用大系统分解协调原理来解决水火协调问题。火电系统根据传统的等微增法则优化。水电优化上，由于应用本文提出的平均流法可以很容易地获得一个很好的初始解，因此可以用快速的原始网流法。并且采用与火电相协调的最佳导优步长，大大改善了算法的收敛性。

应用本文提出的算法和模型设计的实用化程序，具有较强的功能：

1. 能够方便地处理弃水情况；
2. 能够方便地处理机组维修；
3. 能够考虑水头变化对水电厂出力的影响；
4. 能够考虑水电厂出力对下游航运的影响；
5. 能够考虑水库末水位的后期效益；
6. 具有十分齐全的表格及图形输出。

东北电网是一个具有多河流、多梯级水电厂的大规模水火联合电力系统。水电比重很大，约占总装机容量的 25% (按所用例题的时间计算)。本算法以库恩—图克定理为最优准则，收敛判据严格，对于上述的复杂例题计算表明，本算法具有合理、快速的特点，是能够满足生产实际要求的。

答辩日期：1988 年 6 月 8 日

## 大型同步发电机励磁系统参数 在线辨识研究

电力系统及其自动化专业研究生 白建华 指导教师 沈善德 刘 取

在线辨识电力系统元件(如发电机、励磁系统、调速系统等)的模型参数，对电力系统稳定分析及控制具有重要意义。本文针对大型同步发电机励磁系统开展参数在线辨识研究工作。

采用伪码 (PRBS) 信号作为扰动信号；利用辨识理论中的功率谱分析结合快速富里叶变换 (FFT) 获取系统的频率响应函数。该方法对系统影响小，测试时间短；且具有信息滤波的功能，能有效地削弱随机噪声对计算结果的影响。采用频域最小二乘曲线拟合技术求取系统的传递函数，比用 Bode 图手工工作图求取传递函数更为准确，且能拟合各种形式的高阶传递函数。

为适应现场测试的要求，设计和装配了专用的量测接口装置，该装置具有抗干扰能力强、响应灵敏的特点。装置具有很高的输入阻抗，它的接入不影响励磁系统的正常工

作。利用频域曲线拟合技术所编制的传递函数拟合程序具有很强的实用性，能消除量测设备对计算结果的影响。

文中给出了朝阳电厂二十万瓩汽轮发电机和白山电厂三十万瓩水轮发电机励磁系统参数的在线辨别结果。校验表明，所拟合出的参数正确可信。现场实验的成功完成，开创了国内在线辨识大型同步发电机励磁系统参数的先例。

就发电机而言，由于饱和与涡流的影响，如采用相同的数学模型，则在不同的运行状态下，其中的参数会有不同的数值。文中给出了动模实验结果，空载情况下，发电机励磁回路的时间常数随着励磁的增加而显著减小。所以进行分析计算时，应选用研究工况下的实测参数，才能使计算结果正确可信。本文还讨论了交流励磁机——整流器系统的传递函数模型阶次，理论分析和实验验证均表明，用二阶传递函数等效较用一阶惯性环节等效更能反映实际情况。动模实验表明，采用本文提出的参数测试方法，可以进行励磁系统开环放大倍数的量测。

本文最后指出，时域最小二乘参数辨识法，由于具有很多优点，因而也是一种值得深入研究的参数辨识法。

答辩日期：1988 年 6 月 8 日

## 随机生产模拟在电力系统年度生产计划中的应用

电机系统及其自动化专业研究生 李 由 指导教师 相年德

本论文研究了随机生产模拟在电力系统年度生产计划中的应用，并编制了一套实用程序。

本论文它所探讨的年度生产计划的目的可以概括如下：

在年度预测负荷和预计水电站来水能量已知的情况下合理地安排该年度的水火各电厂的发电量，使得在满足系统负荷需要和一定的可靠性指标的条件下系统的发电成本最小。

用随机生产模拟技术帮助制订年度生产计划可以更真实地反映电力系统的实际情况，提高计划制订的准确性、快速性、可行性和经济效益。

随机生产模拟技术是六十年代发展起来的一种用于电力系统规划的算法。它主要考虑了发电机组的随机强迫停运对系统负荷及机组本身的影响，计算出机组的期望发电电能，期望发电煤耗和系统的期望发电成本、系统的可靠性指标及系统的不可供应电能。

本论文概述了随机生产模拟技术的发展过程，叙述了其一般模型及理论，并分析了几种主要算法的优缺点。

本论文对常用的随机生产模拟算法作了较大改进，要点如下：

1. 本论文推出一种新的水电安排方式。使多水电系统的水电安排可一次性完成，从而完全避免了多水电系统水火电站交替安排，反复试探的过程。
2. 在上述基础上，实现了火电机组成组化安排，使火电的处理简化。
3. 水火机组都采用了可调分段模型，提高了模拟计算的灵活性和准确性。火电机

组不同段的安排顺序采用不同的经济指标确定,提高了模拟的经济性。

4. 主要卷积应用了快速付利叶变换(FFT),大大提高了计算速度。

运用随机生产模拟技术制订年度生产计划的关键在于合理地分配水电站的发电电能及相应的水电站的安排,使水能得到充分的利用,以此降低系统的生产成本。由于电力系统的复杂性,最佳年度计划方案不可能一次得到,一般要通过多种方案的比较选择得出。因此,用随机生产模拟技术制订年度生产计划的过程是一个反复计划比较的过程。

根据本论文改进算法所研制的程序采用了模块化结构,逻辑简明,可靠性高,同时,由于改进算法的特点,程序具有计算方式灵活,计算速度快,精度比较合理,输入输出方便等优点,实现了年度计划要求的经济分配的目的。

本论文在实用方面做了一定的工作。并对东北电网两个典型目的生产状况进行了模拟,结果比较合理。

答辩日期:1988年6月8日

## 水轮发电机组水机电整体数学 模型及稳定性研究

电力系统及其自动化专业研究生 刘宪林 指导教师 刘 取

随着水电事业的发展,水轮发电机组的稳定研究日益显得迫切。水轮发电机组的稳定问题是一涉及到多种水机电因素的复杂问题。过去研究这一问题所使用的模型,或采用刚性水击和理热水轮机的假设,或忽略电力系统、发电机和励磁系统的重要作用,都是不全面的,不能适合实际分析的需要。针对以上情况,本文提出了包括引水系统、水轮机、调速器、发电机、励磁系统和电力系统各部分模型在内的考虑弹性水击的水机电整体数学模型。与上述模型相配合,运用状态空间——特征根法对水轮发电机组的稳定性进行了全面综合的分析。分析表明,并网运行机组的稳定性受机电模式的支配,机电模式的阻尼除受励磁系统和发电机运行条件和工况的影响外,还受引水系统水击的不利影响,当引水系统水击与机电摇摆共振时,这种影响最为严重。这一结论说明,不区分具体情况,笼统地采用刚性水击的假设是不合理的。分析还表明,独立运行机组的稳定性受机水模式的支配,水流惯性时间常数越大,机水模式的阻尼越差,除此之外,通过改善励磁系统特性也可显著地影响其阻尼。这一结论为采用励磁控制手段解决独立运行机组稳定性问题提供了理论依据。

本文为建立水机电整体数学模型,提出了引水系统弹性水击电等效模型。这一模型不仅可用于均匀单管引水系统分析,还可方便地用于分段不均匀单管系统和多元引水系统,无论是模型的应用范围还是使用方便性均较传统水击模型有显著的优点。

本文还提出了直流侧叠加的自复励半导体励磁系统和励磁系统电压调差电路的数学模型。这些模型填补了这方面的空白。这些模型可以方便地与同步发电机线性化模型相结合,即电流复励和电压调差作用可分别等效于改变同步发电机线性化模型中的线性化常

数  $K_3$ 、 $K_4$ 、 $K_5$ 、 $K_6$ 。研究表明,对并网运行机组,直流侧叠加的自复励系统其电流复励的作用和三相(或二相)正调差恶化机组的阻尼,而单相正调差(以 $-i_a$ 为补偿电流)却改善机组的阻尼。

应用本文提出的模型,对广西二个水电站的不稳定问题进行了分析,澄清了两电站的不稳定原因,取得了与现场一致的结果。

本文的工作为进一步开展水轮发电机组的稳定性研究奠定了基础。使用本文提出的水机电整体模型得出了使用传统模型不可能得到的一些有意义的结论。计算结果证明了该模型的必要性和正确性。

答辩日期:1988年6月8日

## 静补和调相机对电力系统稳定性作用的比较研究

电力系统及其自动化专业研究生 白玉兰 指导教师 刘 取

近年来,动态无功补偿装置对电力系统多方面的作用,受到了国内外普遍重视,静补和调相机是其两种具体形式。对二者作用大小的比较一直是有争议的。本文从电力系统无功功率及无功补偿的概念出发,对两者的数学模型、作用机理做了较深入的剖析,选择了一典型系统,对它们在电力系统稳定性方面的作用进行了较全面、深入的分析、比较,揭示了在电力系统动态过程中各自的优缺点,同时研究了实际应用中,补偿装置装设地点、容量、调节系统参数的选择问题,借助于一些简单系统对二者在电力系统其它方面的作用做了定性的分析、比较,得出了以下结论。

(1) 静补和调相机作为动态无功补偿装置的两种形式,对提高电力系统稳定性均有明显的作用。

(2) 通过节点电压灵敏度的计算,可以确定出系统中最薄弱的环节及最危险的扰动。从而选择补偿装置的装设位置。

(3) 暂态过程中,静补的容量越大,它能发挥作用的潜力越大。但过大容量的静补在故障切除时会给系统带来过电压。用“斜率——偏差”法确定的静补容量比较接近于无穷大容量的 SVS 所起的作用。用“灵敏度——偏差”法确定的静补容量可以满足电压偏差较小时系统对无功的需求,调相机在暂态过程中的无功出力如果不考虑设备过负荷的问题,与其额定容量没有直接关系,其大小主要由外部电压偏差、强励顶值倍数决定。在故障时间较长(本例中为 0.2 秒),静补有足够的容量,电压降落不大时,静补的无功出力往往大于调相机的,因而对系统的作用也较大;而在故障时间不太长(本例中 0.1 秒),静补容量不足,电压降低很大时,调相机的无功出力就大于静补,对系统的作用也较大。

(4) 暂态过程中,静补、调相机无功出力的快速性是相对的,暂态过程中调相机的无功出力分为两部分:几乎没有延时的,由外界电压的变化决定的瞬时无功出力,由电压调节器控制的。通过改变励磁电流而得到的延时无功出力,静补的无功出力有延时,其时间常数由控制回路的时间常数决定,比调相机的瞬时无功出力稍慢,但比调相机的

延时无功出力快得多。

(5) 当电压过低, 静补运行在其线性范围以外时, 此时静补就成为固定电容器, 电压越低, 系统越需要无功时, 它向系统输送的无功越小, 可称之为电压负调节效应。而调相机正好相反, 外界电压越低, 它向系统输送的无功越大, 当交流系统无功比较缺及直流输电逆变侧电压有可能产生较大幅度的降低时, 为了防止电压崩溃, 所装的无功补偿装置中调相机应占有一定的比例。

(6) 在今后大多数情况下, 静补取代调相机可能是必然趋势, 但静补完全取代调相机是不可能的。兼有调相机的电源性、静补的快速性的一种新装置会成为电力系统的理想的无功补偿装置。

(7) 实际选择补偿装置时, 应该根据具体网络、具体目的、国内外生产现状, 进行技术、经济的比较, 研究后做出。

答辩日期: 1988 年 6 月 13 日

## 110KV 棒形悬式合成绝缘子的研制

高电压工程专业研究生 梁曦东 指导教师张仁豫 薛家麒

本文任务是研制 110kV、7 吨级棒形悬式合成绝缘子, 内容包括结构设计、材料配方筛选、生产工艺探索、试验方案确定等。现在合成绝缘子已研制出并通过了 IEC 的试验项目。

伞裙材料的斜面法耐漏电痕迹性已达国内外试验标准的最高等级 6kV 水平。玻璃钢芯棒的工频、冲击击穿强度分别达  $8\text{kVmm}^{-1}$  和  $15\text{kVmm}^{-1}$  以上(试样厚 10mm), 达到了与国外同类高质量芯棒相当的水平。经 96 小时热机试验、42 小时水煮试验后, 绝缘子安全通过了  $2065\text{kV}\mu\text{s}^{-1}$  陡度, 每段土 25 次的陡波试验(绝缘子分五段试验)和 30 分钟二频耐受试验。试验结果表明, 无需担心外绝缘的漏电痕迹问题, 无需担心芯棒及其与护套间界面的内绝缘强度问题, 合成绝缘子可以投入电力系统接受试运行的考验。

答辩日期: 1987 年 12 月 5 日

## 多级多弧道开关及大功率毫微秒装置的研制和测试

高电压工程专业研究生 温松涛 指导教师 白秀庭

我们安装和调试了 500kV 的高压毫微秒脉冲装置, 并在完成 1MV 多级多弧道开关设计的基础上, 对工作在直流和脉冲条件下的多级多弧道开关进行了测试, 同时还用模拟电荷法计算了开关的静电场分布。

高压毫微秒脉冲装置是由谐振变压器升压, 双同轴线成形的。调试结果表明输出脉冲幅值达 450kV, 输出脉冲半高宽为 30ns, 输出脉冲上开时间小于 10ns, 装置的输

出阻抗为  $50\Omega$ 。为测量输出脉冲建立了电阻分压器,其分压比约为  $1.1 \times 10^3$ ,其方波响应时间为  $2.5\text{ns}$ 。为测量脉冲输出电流建立了电流测量系统,其灵敏度为  $8.3\text{mV/A}$ ,其上升时间为  $15\text{ns}$ 。

多级多弧道开关设计耐压为  $1\text{MV}$ ,外型直径为  $22\text{cm}$ ,长为  $25\text{cm}$ 。开关由一个触发级和 15 个不触发间隙构成。在开关的绝缘外筒上加了均压环。由于开关的特殊设计使外筒与不触发级结构上匹配,因而可方便地改变不触发级的数量,或去掉触发级构成自触发的开关。

为得到开关的电场分布情况,我们用模拟电荷法计算了几种不同结构形式的开关在几个不同位置沿长度方向电场分布和开关的不均匀系数。计算结果表明开关在其中央部分之电场分布近似均匀,且不均匀系数随级数的增加而增加。从计算结果估算开关的直流自击穿电压得到带触发级的 16 级开关(WT—16 型)在充 2 大气压的  $\text{SF}_6$  时直流自击穿电压  $1.1\text{MV}$ 。

无触发间隙的开关的直流自击穿试验的结果表明开关在充空气、氮气时直流自击穿电压随气压的加大而增高的趋势较明显。而充氩气和氦气时直流自击穿电压对气压不很灵敏。15 级的无触发级开关在充 1.2 大气压  $\text{SF}_6$  时击穿电压为  $415\text{kV}$ ,比理论估算值  $490\text{kV}$  只低 15%。在充 1.6 大气压  $\text{SF}_6$  时电压加到  $570\text{kV}$ ,开关仍未击穿,由于条件有限电压没能往上加。

我们还测试了工作在脉冲状态下的多级多弧道开关。试验结果表明,充氮气时最低击穿电压随气压之增加而增高。比较同一气压下直流与脉冲的击穿电压可得脉冲击穿电压比直流自击穿电压高得多。开关的过压越高,击穿时延越小。且开关在脉冲击穿时形成多弧道,其弧道数不少于 5 根,最多可达 20 根。

答辩日期:1988 年 6 月 1 日

## 高压断路器操作特性的监测

高电压工程专业研究生 周 平      指导教师 王伯翰

机械故障是高压断路器及 GIS 运行中最常见的故障,断路器的操作特性是反映断路器机械性能的主要标志。操作特性的监测手段及方法的研究是断路器生产部门质量控制及运行部门故障监测诊断迫切需要解决的问题。

本文进行了高压断路器操作特性监测系统的设计研究。系统以微计算机作为中心智能环节,并采用了光纤式光栅行程传感及磁敏霍尔电流传感等新的传感技术,为带高电位测量和在线运行监测打下了基础。

针对电设备测试中存在的强电磁干扰等特点,监测系统的硬件及软件设计中采用了一些防干扰措施,较好地解决了现场测试中的干扰问题。另外本文对行程传感器及电流传感器的结构设计进行了全面的研究分析,提出了一些有参考价值的设计原则,这项工作在国内尚属首创,具有一定的独创性。除此之外,本系统还具有以下几个新的特点:①行程传感测量全部采用硬件方式,具有实时、迅速、抗干扰能力强等优点。②测试内容