

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: X2012230025

UDC _____

厦 门 大 学

工 程 硕 士 学 位 论 文

HZ 电网自动电压控制 (AVC) 系统的设计 与实现

Design and Implementation of HZ Power Grid Automatic
Voltage Control (AVC) System

赵 青

指 导 教 师 : 邱 明 助 理 教 授

专 业 名 称 : 软 件 工 程

论 文 提 交 日 期 : 2014 年 10 月

论 文 答 辩 日 期 : 2014 年 11 月

学 位 授 予 日 期 : 年 月

指 导 教 师 : _____

答 辩 委 员 会 主 席 : _____

2014 年 10 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

() 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

() 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

电压是衡量电能质量的一项重要指标，电压值过高或者过低后都会对电力设备造成不好的影响，过低会使电机不能启动，过高会使电机损坏，严重的情况下会对各个领域的工农业生产造成一定程度的危害。为了进一步提高电力系统的无功和电压质量，降低电能在运输过程中的线损，大部分供电公司在变电站、配电房等厂站的母线侧都会酌情配置若干经过计算的合适容量的无功补偿装置，而在变电站中主要是通过调节主变压器高中低三侧的分接开关和电容器组的投切配合来控制母线电压以达到调节系统电压的目的，传统的电压质量控制系统在改善电压方面发挥了重要作用，但其对电压的调节仅局限于一个变电站内的电压控制，没有对整个电网系统包括发电厂、换流站、变电站进行全面协调的电压控制和无功管理，而 AVC 电网自动电压控制系统应运而生了，它能够基于全局考虑，对整个电网起到电压控制的作用，所以 AVC 系统逐渐应用到各供电企业。本文将结合 HZ 电网对自动电压控制系统的研究和运用进行探讨。

如今，HZ 电网不仅是农业负荷，工业负荷的需求也在不断增加，HZ 电网结构及无功潮流分布越来越复杂，如果只是和过去一样单凭老的管理模式下维护人员个人、人工手动控制调节电压和无功潮流的方式已无法满足电网发展的需求，因此建设 AVC 系统实现全网无功电压最优化控制成为迫切的需要。本文通过介绍了自动电压控制系统的需求分析，然后根据需求进行系统的整体设计，最后以达到系统实现的目的。

关键词：无功管理；电压自动控制；系统设计

ABSTRACT

Voltage is an important indicator for measuring power quality, the deviation of voltage from normal range will increase adverse impact on electric power equipment, even do large harm to social areas such as industrial and agricultural production once the deviation is large, so in order to improve the power system voltage quality, reduce the line loss of power grid, power supply enterprises always install a certain capacity of reactive power compensation device in the busbar side of the substation and distribution of power plant, for the voltage regulation level of substation, it mainly regulate through the main transformer tap and capacitor banks which will cooperate to control the busbar voltage the traditional VQC system played an important role in improving voltage area, but the voltage regulation is limited by only substation voltage control, which is difficult for overall voltage control of the entire power grid. While the AVC (automatic voltage control system) is based on overall power grid consideration, in this context, the AVC system will gradually applied to each power supply enterprise. This thesis will mainly discuss the AVC (automatic voltage control system) power grid control system strategy.

Nowadays, HZ industrial power grid load demand is increasing. With the growth of the power grid scale, HZ power grid structure has become increasingly complex, if only rely on traditional management mode, operating crew locally, dispersely, manually control and adjust the voltage and reactive power current mode is no longer able to adapt to the new power grid development, so the construction of automatic voltage control (AVC) system to realize entire power grid reactive voltage optimization control become urgent needs. This thesis mainly introduce space truss structure, operation principle and the county-level power supply network of HZ power grid, as well as the trend analysis of reactive power, power grid of subsection Analysis and reactive voltage control measures.

KeyWords: Reactive Power Management; Automatic Voltage Control; System Design

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 国内外研究现状	1
1.2.1 国内研究现状	1
1.2.2 国外研究现状	2
1.3 研究目标和内容	4
1.3.1 研究目标	4
1.3.2 研究内容	4
第二章 系统需求分析	5
2.1 可行性分析	5
2.2 功能需求分析	6
2.2.1 系统用户用例分析	6
2.2.2 系统业务流程分析	9
2.2.3 系统控制流程分析	13
2.3 非功能需求	16
2.4 安全需求分析	17
2.4.1 系统网络安全需求	17
2.4.2 系统应用安全需求	17
2.5 本章小结	18
第三章 系统设计	19
3.1 系统控制目标	19
3.2 系统设计原则	20
3.3 系统硬件、软件结构	21
3.3.1 系统硬件结构	21
3.3.2 系统软件结构	23
3.4 系统运行基础	24
3.4.1 主站 SCADA 系统通过验收	24

3.4.2 所处电力系统分析软件层次	24
3.5 系统架构设计	25
3.6 系统功能模块设计	25
3.6.1 数据服务模块	25
3.6.2 决策支持模块	26
3.6.3 决策处理模块	29
3.6.4 人机界面模块	33
3.7 数据库设计	33
3.7.1 数据库 E-R 图	33
3.7.2 部分表设计	37
3.8 本章小结	40
第四章 系统实现	41
4.1 AVC 系统各查询界面	41
4.2 系统模型创建及设置	46
4.2.1 变电站建模	47
4.2.2 系统级参数设置	54
4.2.3 设备级闭锁设置	55
4.2.4 通道测试	57
4.3 系统实施效果	60
4.4 本章小结	61
第五章 总结与展望	62
5.1 总结	62
5.2 展望	63
参考文献	65
致 谢	67

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Background and Significance	1
1.2 Research Status	1
1.2.1 Domestic Research Status	1
1.2.2 Foreign Research Status	2
1.3 Target and Content	4
1.3.1 Target	4
1.3.2 Content	4
Chapter 2 Requirements Analysis	5
2.1 Feasibility Analysis	5
2.2 Functional Requirements	6
2.2.1 Use Case Analysis	6
2.2.2 Business Process Analysis	9
2.2.3 Control Process Analysis	13
2.3 Non-Functional Requirements	16
2.4 Safety Requirements	17
2.4.1 Network Security Requirements	17
2.4.2 Application Security Requirements	17
2.5 Summary	18
Chapter 3 System Design	19
3.1 Control Objectives	19
3.2 Design Guidelines	20
3.3 Hardware and Software Structure	21
3.3.1 Hardware Structure	21
3.3.2 Software Structure	23
3.4 Running Basis	24
3.4.1 SCADA System Through the Acceptance	24
3.4.2 Analysis Software Level	24
3.5 Architecture Design	25
3.6 Function Module Design	25
3.6.1 Data Service Module	25
3.6.2 Decision Support Module	26

3.6.3 Decision Processing Module	29
3.6.4 Man-machine Interface Module.....	33
3.7 Database Design	33
3.7.1 E-R Design.....	33
3.7.2 Table Design	37
3.8 Summary.....	40
Chapter 4 System Implementation	41
4.1 Query Interface	41
4.2 Model Creation and Settings	46
4.2.1 Substation Modeling	47
4.2.2 System Level Parameter Settings	54
4.2.3 Equipment Level Locking Settings.....	55
4.2.4 Channel Test.....	57
4.3 Effect.....	60
4.4 Summary.....	61
Chapter 5 Conclusions and Outlooks	62
5.1 Conclusions	62
5.2 Outlooks	63
References.....	65
Acknowledgements	67

第一章 绪论

1.1 研究背景及意义

电压是衡量电能质量的一项重要指标，电压值过高或者过低后都会对电力设备造成不好的影响，过低会使电机不能启动，过高会使电机损坏，严重的情况下会对各个领域的工农业生产造成一定程度的危害。为了进一步提高电力系统的无功和电压质量，降低电能在运输过程中的线损，大部分供电公司在变电站、配电房等厂站的母线侧都会酌情配置若干经过计算的合适容量的无功补偿装置，而在变电站中主要是通过调节主变压器高中低三侧的分接开关和电容器组的投切配合来控制母线电压以达到调节系统电压的目的，传统的电压质量控制在改善电压方面发挥了重要作用，但其对电压的调节仅局限于一个变电站内的电压控制，没有对整个电网系统包括发电厂、换流站、变电站进行全面协调的电压控制和无功管理，而电网自动电压控制系统应运而生了，它能够基于全局考虑，对整个电网起到电压控制的作用，所以自动电压控制（AVC）系统逐渐应用到各供电企业。本文将结合 HZ 电网对自动电压控制系统的设计与实现进行探讨。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国内研究现状

目前，在我国已经能够较好实现的 AVC 系统总的来说可以分为以下二类：第一类是两级电压控制模式，也就是电力调度控制中心统一决策，将控制方案直接下发到控制设备，完成全局的电压控制。其代表有陕西省电力公司、河北省电力公司等。这种控制模式的优点是系统结构简单，容易实现；不足是对能量管理系统（EMS）的高级应用软件依赖性很强，运行可靠性不高。

第二类是三级电压控制模式，即调度控制中心以协调全网经济性和安全性为目标进行统一决策；二级区域控制中心以在电网动态过程中尽可能逼近控制中心下发的控制决策为目标，兼顾区域无功动态储备和均衡，仅收集区域内少量的数据采集与监视控制系统（SCADA）采集数据作为决策的输入信息，以区

域为基本单元完成电压闭环控制；一级电压控制器安装在厂站中，执行二级区域控制中心下发的控制命令，实现电压的自动调节。其代表有浙江省电力公司等。优点是对 EMS 高级应用软件依赖性不强，运行可靠性高，能较好的协调系统经济性和安全性之间的关系，控制过程与长期以来的无功电压控制实践相一致；缺点是结构较直接电压控制模式为复杂。

1.2.2 国外研究现状

通过阅读大量的文献和资料，在国外的研究中主要是德国 RWE 电力公司和法国 EDF 电力公司的电压控制系统较为典型，下面结合这两个公司的电压控制系统进行简单介绍：

一是两级电压控制系统的代表：德国 RWE 电力公司。在他们的自动电压控制系统中，无功潮流和电压的计算是直接通过一级电压控制器完成的，在计算完成后，直接将计算结果通过内网传送到各变电站或者发电厂，然后由变电站执行操作，如图 1-1 所示。

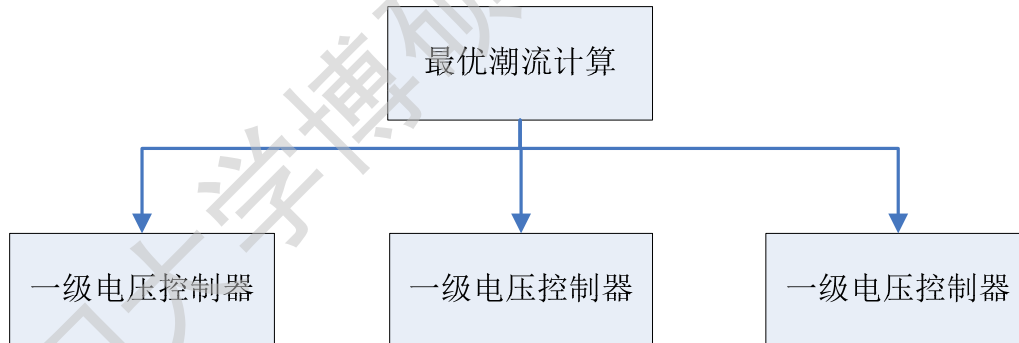


图 1-1 两级自动电压控制的模式

这种模式运行较简单，所以存在以下不足之处：

EMS 的软硬件对运行质量及设施都有较高要求，哪个环节出了问题都能导致 OPF 运行不正常，对设计和运行质量要求都很高，任何问题都能影响到 OPF 通道测算结果。所以如果完全靠 OPF 系统，AVC 系统将难以保证正常运行。OPF 主要考虑电压上下限约束和网损最小化，具有良好的优化计算功能。因此，完全用 OPF 系统无法保持电网电压稳定运行。

OPF 优化计算功能较长，数据较多。如果系统发生大的波动，例如突然下

降等，AVC 将无法及时响应，也就不能平衡。总的来说 RWE 公司的两级电压控制系统还是较为简单，投资也相对较小。所以，在欧洲大多数的电力公司都采用法国 EDF 电力公司提出的三级电压控制模式，具体介绍如下：

二是三级电压控制系统的代表：法国 EDF 电力公司。在 1970 年左右，法国的电力公司就开始组织大批的电力专家开始探索新的电压控制技术，经过了 20 多年的研究和开发，又经过了 10 多年的系统应用和实践，终于基本定型了三级电压控制模式。目前这是国际上众多电力专家和学者认可的常用电压控制系统之一，也被广泛运用在各个国家的电力系统中。其基本模式如图 1-2 所示。

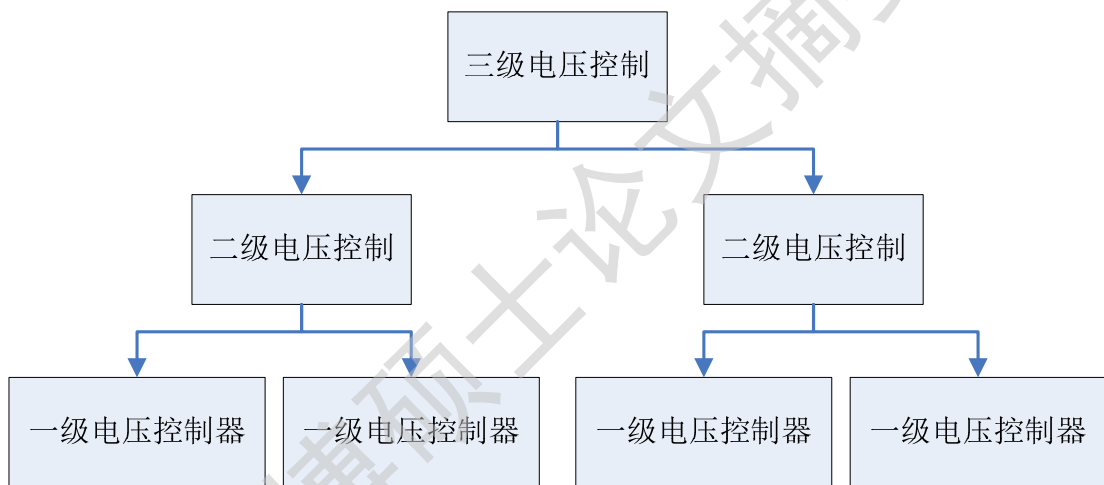


图 1-2 三级自动电压控制的模式

如图 1-2 所示，整个控制系统分为三个层次：分别是一至三级电压控制系统。一级电压控制为本地控制，在这种控制模式下，供电网络被划分成几个小的只需要使用本地语言的控制区域。由控制器下发指令给分接开关和电容器组，这种模式可以用几秒钟的时间来完成一次对电压的控制。二级电压控制的过程更为复杂，而且所需要的时间也更长，一般情况下需要消耗几分钟，以保证经过调整后的联络母线的电压等于设定值。三级电压控制是这种三级自动电压控制模式中的最高级控制，它可以对全系统的经济运行进行优化，并保证稳定指标，给二级电压控制做保障。在三级电压控制中要有各种协调、稳定因素，利用了整个系统的信息来进行优化，通常它的控制时间在几十分钟到小时。在电压控制中，每层都有它的控制目的。低层受到上一层的信号目标在传到下一层执行目标。

到了 1995 年左右，有众多的学者和专家关注到了之前讲到的“硬分区”的现象，甚至还有专家提出了通过协调二级电压控制来解决对日益耦合的区域的电压控制，他们的一个重要的理念就是 CSVC 的输入量中包含联络线之前的无功潮流，从而计算这个地方对另外区域以及本区域控制的影响。

然后，经过将近半个世纪的运用和研究，很多学者一直研究也没有把这个问题解决。此外，因为三级控制模式很复杂，还需要投入很多的人财物来设计和研究为数不少的子控制器。经过论证，也不太适应我国快速发展的电网的实际情况。

1.3 研究目标和内容

1.3.1 研究目标

通过对 HZ 电网自动电压控制（AVC）系统的应用的研究，对 AVC 系统在原理上、表象上等有进一步认识，提高 HZ 电网的无功电压相关指标：电压合格率、系统线损率、电容器日平均调整次数、主变分接开关平均调整次数。

1.3.2 研究内容

本论文主要研究 HZ 电网自动电压控制（AVC）系统的应用、设计和实现等内容，论文的主要安排按照以下章节来进行：

第一章阐述本文研究的背景和意义，通过阅读大量的国内外关于自动电压控制（AVC）系统的文献和资料，了解研究和应用现状。

第二章主要介绍系统需求的分析，简单说就是为什么要设计软件，结合 HZ 电网实际，包括可行性分析、功能需求分析、非功能需求分析、安全需求分析等。

第三章介绍 HZ 电网自动电压控制（AVC）系统的设计。主要包括 AVC 系统的控制目标、系统硬件、软件的结构、系统的设计原则、系统运行基础、系统主架构的设计、系统功能模块的设计和数据库的设计。

第四章介绍 HZ 电网自动电压控制（AVC）系统操作界面的实现，包含主目录界面、运行参数界面、维护界面等相关界面的操作和使用。

第五章进行总结和展望。

第二章 系统需求分析

系统开发工作中的最重要环节之一是系统需求分析，即确定系统的功能。系统需求分析的目的是将用户的需求以及解决需求的方法确定下来。满足供电公司调度员等相关用户对于自动调整电压、减少工作量是自动电压控制系统开发的目的，为了达到这个目的，就要对系统的总体目标和用户工作方式有充分理解。

2.1 可行性分析

可行性分析工作主要是在系统进行正式开发之前，需要对整个开发过程中的各种影响因素作一个详细的分析。该系统是否具有开发的必要性，开发所产生的投入能否与收益相吻合。对整个系统必须从技术可行性、经济可行性等进行分析和研究，从而确保系统完成之后能够具有稳定的收益。接下来将主要从以下几个方面对整个自动电压控制系统开发的可行性进行详细的分析：

1、经济可行性：对此项目的经济型进行可行性分析。目前通过开发 AVC 系统所需要的财力远比安排值班员 24 小时值班手动调制电压无功要经济实惠，系统需要在后台一次性安装 AVC 系统调制压板，连接工作电脑后台进行远程操作，系统开发后大大节省了人力、财力、物力，不需要安排值班员 24 小时倒班进行操作，所以 AVC 系统的经济性是可行的。

2、技术可行性：技术可行性是通过技术手段来解决问题。技术的可行性分析主要是分析此项技术的开发是否具有可操作性，以及开发后是否易操作、维护等，同时开发系统软件也要同时兼备硬件设施的支持。在 AVC 系统软件开发过程中，该系统是由 Open3000、Linux 及 Fzavc1-1 等程序软件组成，主站控制器本区域内控制发电机的自动励磁调节器（AVR）、有载调压分接头（OLTC）及可投切的电容器组成，一般对各分站操作控制时间来回在几秒内能完成。所以，AVC 系统在技术上是具备可操作性、可行性的。

3、管理可行性：在该系统日常管理中，系统最高权限人员可以对系统中各站调压现状进行编辑，系统管理人员可以及时监控各站电压，并通过该系统远程操作电容器来调整电网电压，还可以及时对信息进行查询、记录。每个系统

的开发都是为了有效提高工作效率，节省开支等，弥补现有工作方式的不足，所以该系统在管理上井然有序，提高工作便利，减少人力、财力成本，在管理上是可行性的。

由此可见，该系统在经济性、技术性、管理性上都是可行的。并且能大大减少工作中人力、财力等情况，真正做到低投资，高回报的理念。

2.2 功能需求分析

2.2.1 系统用户用例分析

系统用户是每个系统所服务的对象，所以，为了能够更好地分析出整个系统的功能，从系统用户的角度出发去分析的方法是可行的。

在自动电压控制系统中，主要包括有以下几类用户，分别是系统管理员、电力调度员、监控员以及自动化维护员。不同角色的用户需求不同，对应所拥有不同的权限，以下将对这几种不同角色一一进行详细分析。

1、系统管理员：如图 2-1 所示，系统管理员作为整个自动电压控制系统的管理者，具有最大的权限，该角色的主要任务是保障系统的稳定运行，同时进行系统运行基础数据的维护以及用户的管理配置，具体包括系统全局配置、系统用户管理、系统角色管理、用户权限管理、操作日志管理、数据库备份、系统登录以及修改个人信息等。

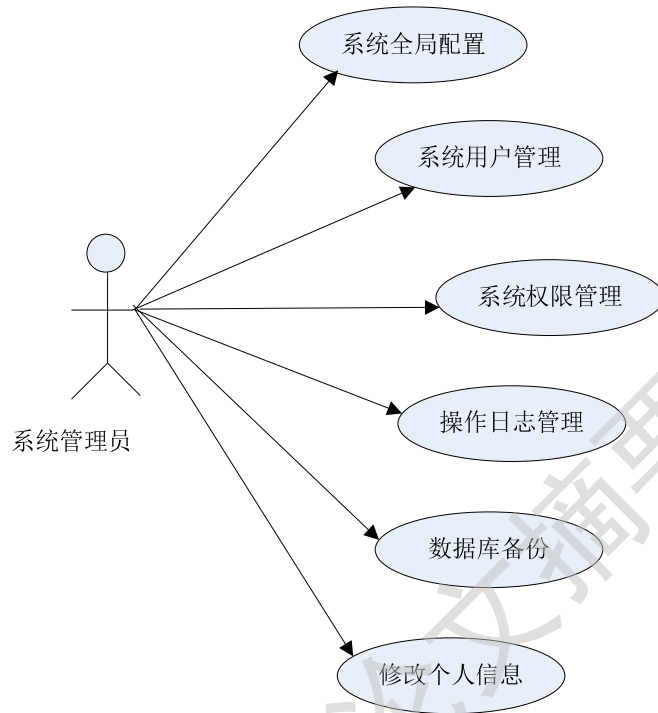


图 2-1 系统管理员用例图

2、电力调度员：如图 2-2 所示，电力调度员，该角色的主要任务是根据给出的即时电网的无功潮流和系统电压对全网的所有数据进行调整，具体包括查看电容器状态、查看变压器分接开关状态、查看全网运行情况、查看电压曲线、无功潮流等。

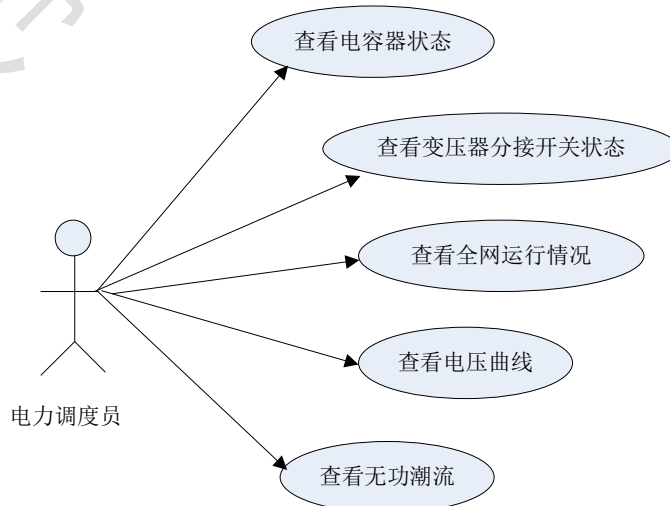


图 2-2 电力调度员用例图

3、电力监控员：如图 2-3 所示，监控员的主要任务是根据 Open3000 中给

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.