



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105024397 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 04

(21) 申请号 201510367644. 9

H02J 13/00(2006. 01)

(22) 申请日 2015. 06. 29

(71) 申请人 国网山东省电力公司电力科学研究院

地址 250022 山东省济南市市中区望岳路  
2000 号

申请人 国家电网公司

(72) 发明人 任敬国 李可军 彭飞 陈玉峰  
姚金霞 崔超 李秀卫 郑建  
袁海燕 王辉 王斌 李杰 王建  
朱庆东 白德盟

(74) 专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限公司 37221

代理人 张勇

(51) Int. Cl.

H02J 3/38(2006. 01)

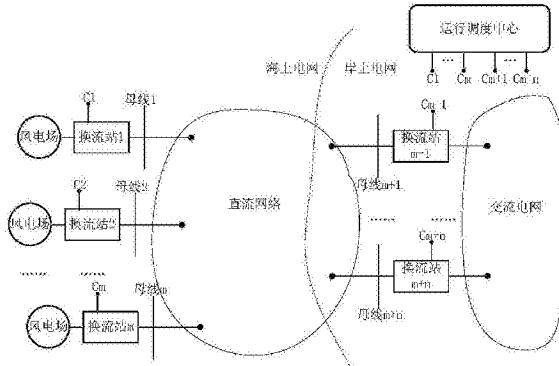
权利要求书3页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的动态模拟系统

(57) 摘要

本发明公开了一种海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的动态模拟系统，给出了并网系统主电路框架，完善了监控系统的设计方案，提出了基于中央监控系统和换流站监控系统双层结构的监控系统构架，给出了风机模拟装置监控系统与换流站监控系统的接口方案，设计了 VSC-MTDC 输电系统网侧换流站间的协调控制方法。本发明有益效果是为海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的系统方案、控制系统设计、控制策略研究、动态响应特性分析提供一个可靠方便的研究平台，为系统工程开发和调试提供一个良好的测试环境。



1. 一种海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的动态模拟系统, 其特征是 : 包括运行调度中心、换流站、海上风电场、直流网络和交流网络, 其中 :

所述运行调度中心设置有中央监控系统, 用于负责海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的实时监视与控制;

所述换流站, 包括风电场换流站和网侧换流站, 均设有监控系统, 包括换流站监控主站、监控终端、数据采集终端、站内 GPS 时钟模块以及站内网络, 所述换流站监控主站用于换流站内所有设备的实时监测与控制, 实时上传状态信息至中央监控系统并接收中央监控系统下发的指令; 所述监控终端可通过数据采集电路采集换流站的实时状态信息, 通过固态开关监控电路实时地监测、控制固态开关, 通过全控型半导体开关器件的监控电路来实现开关器件的监测与控制, 通过其通信模块可实时上传状态信息并接收换流站监控主站的下发指令; 所述数据采集终端用于实时地采集换流站的交、直流电气量状态信息; 所述站内 GPS 时钟模块用于换流站监控系统的精确定时, 所述站内网络负责实现换流站监控计算机与监控终端、数据采集终端间的通信;

所述海上风电场包括若干台风机模拟装置, 且接入换流站的交流侧母线;

所述直流网络采用直流线路构成相应的辐射状或环状网络结构, 所述交流母线与无穷大电源或普通电网、发电机、变压器、线路以及综合负荷相连。

2. 如权利要求 1 所述的一种海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的动态模拟系统, 其特征是 : 所述中央监控系统设备有前置数据服务器、数据服务器、应用程序服务器、SCADA 服务器、工作站、集中显示屏以及通信网络, 其中 :

所述前置数据服务器, 用于监控数据的预处理、筛选和格式化;

所述数据服务器, 用于数据的储存和管理;

所述应用程序服务器, 用于储存和运行应用程序;

所述 SCADA 服务器, 用于实现并网系统的实时监视与控制;

所述工作站是人机交互的硬件设备, 作为进行监视和控制的工作平台;

所述通信网络, 用于实现运行调度中心内部各设备间、与换流站监控系统间的数据传输与交互。

3. 如权利要求 1 所述的一种海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的动态模拟系统, 其特征是 : 所述风电场换流站包括主电路和监控系统, 其中, 主电路包括交流母线, 交流母线上连接有正极、负极系统, 正极、负极系统结构对称, 均包括换流变压器、限流电阻、交流电抗器、电压源型换流器、直流电容器、直流线路、接地点、电压互感器、电流互感器和固态开关, 换流变压器连接交流母线, 交流母线连接换流变压器, 换流变压器的另一侧连接限流电阻, 限流电阻串联交流电抗器, 交流电抗器连接电压源型换流器, 电压源型换流器并联有直流电容器, 直流电容器一端连接电压互感器和直流线路, 另一侧与另一个直流电容器相连。

4. 如权利要求 1 所述的一种海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的动态模拟系统, 其特征是 : 所述风电机组采用鼠笼式异步风电机组、双馈感应风电机组或永磁直驱同步风电机组中的一种或几种。

5. 如权利要求 1 所述的一种海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的动态模拟系统, 其特征是 : 所述风机模拟装置中采用直流调速机模拟海上风电机组的原动机, 所述风机模拟装置具备独立的监控系统, 并预留有接口与换流站监控系统进行信息交互。

6. 如权利要求 1 所述的一种海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的动态模拟系统, 其特征是 : 所述中央监控系统采用客户端 / 服务器的架构, 包括实时监测模块、控制模块、辅助决策模块、故障录波与分析模块、通信模块以及外部接口模块, 其中 :

所述实时监测模块, 用于负责实时地收集、监视与显示各换流站及其交流侧电网的状态信息和运行信息, 并负责非正常运行设备、故障设备的告警 ;

所述控制模块, 接收电力系统调度中心发出的控制指令, 实现 VSC-MTDC 输电并网系统的启停控制、换流站控制模式的选择、换流站控制指令值计算、紧急控制和辅助控制 ;

所述辅助决策模块, 利用离线计算和在线计算两种手段, 结合相应电网分析理论, 实现直流系统运行状态的计算和预测、系统静态稳定性分析、系统暂态稳定性分析、系统可靠性评估和系统安全性评估 ;

所述故障录波与分析模块, 用于记录各换流站上传的所有数据信息, 并进行数据回放、故障分析、故障诊断和打印报表 ;

所述通信模块, 用于显示直流系统各层次网络的运行状态, 并提供自检、调试与测试 ;

所述外部接口模块包括人机接口和开放接口, 人机接口用于管理员访问、程序调试以及程序错误处理的系统软件维护工作, 开放接口用于为高级应用程序访问中央监控系统提供统一规范的接口。

7. 如权利要求 1 所述的一种海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的动态模拟系统, 其特征是 : 所述换流站的监控系统, 包括实时监测模块、控制模块、故障录波与分析模块以及通信模块, 其中 :

所述实时监测模块用于实时地监测风电场换流站的换流器、阀组、冷却系统、通信系统的运行状态以及其他附属设备运行状态 ;

所述风电场实时监测模块能够接收风电场监控系统传输的实时信息, 检测风电场的并网点电压和电流、气象信息和设备运行状态 ;

所述控制模块包括设备投切控制、换流站的控制模式切换、多种控制模式下的指令值计算、触发控制和阀组控制 ;

所述故障录波与分析模块, 用于记录换流站内的所有数据信息, 并提供数据回放、故障分析、故障诊断和打印报表 ;

所述通信模块用于本地换流站与上层系统间、本地换流站内通信网络的运行状态, 并提供自检、调试与测试的网络维护功能 ;

所述风电场侧换流站的监控系统还设有风电场实时监测模块, 可整合至实时监测模块。

8. 一种基于权利要求 1-7 中任一项所述的系统的集中式控制方法, 其特征是 : 包括 : 指定一个网侧换流站的有功类控制器为定直流电压控制, 其他网侧换流站的有功类控制器均采用定有功功率控制, 并且根据直流运行状态实时地接受中央监控系统所下发的有功功率指令值, 以维持直流系统有功功率平衡。

9. 一种基于权利要求 1-7 中任一项所述的系统的分布式控制方法, 其特征是 : 包括 : 指定一个网侧换流站的有功类控制器为定直流电压控制, 其他网侧换流站的有功类控制器均采用有功功率下降控制, 各网侧换流站在初始指令值下无需实时地接受中央监控系统所下发的指令值即可维持直流系统的有功功率平衡, 中央监控系统通过对系统的优化计算来实

时地下发网侧换流站的下降控制斜率参考值。

10. 一种基于权利要求 1-7 中任一项所述的系统的混合分布式控制方法，其特征是：包括：指定一个网侧换流站的有功类控制器为定直流电压控制，其他网侧换流站至少有一个的有功类控制器采用有功功率下降控制，其余网侧换流站的有功类控制器采用定有功功率控制，中央监控系统进行系统优化计算后所下发的指令值为网侧换流站的有功功率指令值或下降控制斜率参考值。

## 海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的动态模拟系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种海上风电经 VSC-MTDC(多端柔性直流)输电并网系统的动态模拟系统。

### 背景技术

[0002] 在化石能源供应紧张和环境污染日益加剧的多重压力下,风能等可再生能源发电得以迅速地发展,尤其是大规模近海风电场的开发已经成为了国际上风能利用的大趋势。

[0003] 然而,由于海上风电场远离海岸,且海边的电网大多为网架末端,海边电网较为虚弱,因此,海上风电并网对所连接的电网稳定性和电能质量等产生了很大的影响。同时,由于交流电缆受过大容性电流的限制,无法实现这些海上风电场的远距离供电。基于以上两种因素,VSC-MTDC 输电方式成为了大型海上风电场并网的最佳方式,因此其相关研究受到了广泛的关注。专利号为 201110308466.4 的中国专利:“海上风电经柔性直流输电并网系统的动模装置”,公开了一种海上风电经柔性直流输电并网系统的动模专利,该专利给出了并网系统的主电路和控制电路设计方法。专利号为 201220206525.7 的中国专利:“海上风电场并网的轻型直流输电系统”,公开了一种轻型直流输电系统设计方案,该专利给出了一种大容量的换流站主电路设计方案。专利号为 200810038541.8 的中国专利:“海上风电柔性直流输电变流器控制系统”,公开了一种换流站的控制系统,该专利给出了不依赖于通信的整流站和换流站的控制策略涉及方法。以上专利及现有技术存在的缺陷是:

[0004] 1. 201110308466.4 中国专利仅给出了海上风电经两端柔性直流输电系统的动模装置,没有提出多端柔性直流输电并网系统动模装置的设计方案,没有涉及到多端柔性直流输电并网系统的直流电压控制和优化控制。

[0005] 2. 201220206525.7 中国专利仅给出了一种由移相变压器及多个功率单元直流侧输出端级联构成的大容量换流器的主电路设计方案,是一种两端柔性直流输电系统的主电路设计,没有涉及到多端柔性直流输电系统的主电路和控制系统设计。

[0006] 3. 200810038541.8 中国专利仅给出了海上风电经两端柔性直流输电系统换流站的控制策略,没有涉及到实时通信在控制过程中的应用,没有涉及到多端柔性直流输电系统的控制系统设计。

[0007] 为了实现用于海上风电并网时 VSC-MTDC 输电系统运行与控制策略的研究,需要在实验室环境下建立其动态模拟系统。

### 发明内容

[0008] 本发明为了解决上述问题,提出了海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的动态模拟系统,本装置可以为海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的系统方案、控制系统设计、控制策略研究、动态响应特性分析提供一个可靠方便的研究平台,为系统工程开发和调试提供一个良好的测试环境。

[0009] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0010] 一种海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的动态模拟系统,包括运行调度中心、换流站、海上风电场、直流网络和交流网络,其中:

[0011] 所述运行调度中心设置有中央监控系统,用于负责海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的实时监视与控制;

[0012] 所述换流站,包括风电场换流站和网侧换流站,均设有监控系统,包括换流站监控主站、监控终端、数据采集终端、站内 GPS 时钟模块以及站内网络,所述换流站监控主站用于换流站内所有设备的实时监测与控制,实时上传状态信息至中央监控系统并接收中央监控系统下发的指令;所述监控终端可通过数据采集电路采集换流站的实时状态信息,通过固态开关监控电路实时地监测、控制固态开关,通过全控型半导体开关器件的监控电路来实现开关器件的监测与控制,通过其通信模块可实时上传状态信息并接收换流站监控主站的下发指令;所述数据采集终端用于实时地采集换流站的交、直流电气量状态信息;所述站内 GPS 时钟模块用于换流站监控系统的精确定时,所述站内网络负责实现换流站监控计算机与监控终端、数据采集终端间的通信;

[0013] 所述海上风电场包括若干台风机模拟装置,且接入换流站的交流侧母线;

[0014] 所述直流网络采用直流线路构成相应的辐射状或环状网络结构,所述交流母线与无穷大电源或普通电网、发电机、变压器、线路以及综合负荷相连。

[0015] 所述中央监控系统设备有前置数据服务器、数据服务器、应用程序服务器、SCADA 服务器、工作站、集中显示屏以及通信网络,其中:

[0016] 所述前置数据服务器,用于监控数据的预处理、筛选和格式化;

[0017] 所述数据服务器,用于数据的储存和管理;

[0018] 所述应用程序服务器,用于储存和运行应用程序;

[0019] 所述 SCADA 服务器,用于实现并网系统的实时监视与控制;

[0020] 所述工作站是人机交互的硬件设备,作为进行监视和控制的工作平台;

[0021] 所述通信网络,用于实现运行调度中心内部各设备间、与换流站监控系统间的数据传输与交互。

[0022] 所述风电场换流站包括主电路和监控系统,其中,主电路包括交流母线,交流母线上连接有正极、负极系统,正极、负极系统结构对称,均包括换流变压器、限流电阻、交流电抗器、电压源型换流器、直流电容器、直流线路、接地处、电压互感器、电流互感器和固态开关,换流变压器连接交流母线,交流母线连接换流变压器,换流变压器的另一侧连接限流电阻,限流电阻串联交流电抗器,交流电抗器连接电压源型换流器,电压源型换流器并联有直流电容器,直流电容器一端连接电压互感器和直流线路,另一侧与另一个直流电容器相连。

[0023] 所述风电机组采用鼠笼式异步风电机组、双馈感应风电机组或永磁直驱同步风电机组中的一种或几种。

[0024] 所述风机模拟装置中采用直流调速机模拟海上风电机组的原动机,所述风机模拟装置具备独立的监控系统,并预留有接口与换流站监控系统进行信息交互。

[0025] 所述中央监控系统采用客户端 / 服务器的架构,包括实时监测模块、控制模块、辅助决策模块、故障录波与分析模块、通信模块以及外部接口模块,其中:

[0026] 所述实时监测模块,用于负责实时地收集、监视与显示各换流站及其交流侧电网的状态信息和运行信息,并负责非正常运行设备、故障设备的告警;

- [0027] 所述控制模块,接收电力系统调度中心发出的控制指令,实现VSC-MTDC输电并网系统的启停控制、换流站控制模式的选择、换流站控制指令值计算、紧急控制和辅助控制;
- [0028] 所述辅助决策模块,利用离线计算和在线计算两种手段,结合相应电网分析理论,实现直流系统运行状态的计算和预测、系统静态稳定性分析、系统暂态稳定性分析、系统可靠性评估和系统安全性评估;
- [0029] 所述故障录波与分析模块,用于记录各换流站上传的所有数据信息,并进行数据回放、故障分析、故障诊断和打印报表;
- [0030] 所述通信模块,用于显示直流系统各层次网络的运行状态,并提供自检、调试与测试;
- [0031] 所述外部接口模块包括人机接口和开放接口,人机接口用于管理员访问、程序调试以及程序错误处理的系统软件维护工作,开放接口用于为高级应用程序访问中央监控系统提供统一规范的接口。
- [0032] 所述换流站的监控系统,包括实时监测模块、控制模块、故障录波与分析模块以及通信模块,其中:
- [0033] 所述实时监测模块用于实时地监测风电场换流站的换流器、阀组、冷却系统、通信系统的运行状态以及其他附属设备运行状态;
- [0034] 所述风电场实时监测模块能够接收风电场监控系统传输的实时信息,检测风电场的并网点电压和电流、气象信息和设备运行状态;
- [0035] 所述控制模块包括设备投切控制、换流站的控制模式切换、多种控制模式下的指令值计算、触发控制和阀组控制;
- [0036] 所述故障录波与分析模块,用于记录换流站内的所有数据信息,并提供数据回放、故障分析、故障诊断和打印报表;
- [0037] 所述通信模块用于本地换流站与上层系统间、本地换流站内通信网络的运行状态,并提供自检、调试与测试的网络维护功能。
- [0038] 所述风电场侧换流站的监控系统还设有风电场实时监测模块,可整合至实时监测模块。
- [0039] 一种基于上述系统的集中式控制方法,包括:指定一个网侧换流站的有功类控制器为定直流电压控制,其他网侧换流站的有功类控制器均采用定有功功率控制,并且根据直流运行状态实时地接受中央监控系统所下发的有功功率指令值,以维持直流系统有功功率平衡。
- [0040] 一种基于上述系统的分布式控制方法,包括:指定一个网侧换流站的有功类控制器为定直流电压控制,其他网侧换流站的有功类控制器均采用有功功率下降控制,各网侧换流站在初始指令值下无需实时地接受中央监控系统所下发的指令值即可维持直流系统的有功功率平衡,中央监控系统通过对系统的优化计算来实时地下发网侧换流站的下降控制斜率参考值。
- [0041] 一种基于上述系统的混合分布式控制方法,包括:指定一个网侧换流站的有功类控制器为定直流电压控制,其他网侧换流站至少有一个的有功类控制器采用有功功率下降控制,其余网侧换流站的有功类控制器采用定有功功率控制,中央监控系统进行系统优化计算后所下发的指令值为网侧换流站的有功功率指令值或下降控制斜率参考值。

[0042] 本发明的有益效果为：

[0043] 本发明设计了并网系统主电路和监控系统，提出了基于中央监控系统和换流站监控系统双层结构的监控系统构架，给出了海上风电场监控系统与换流站监控系统的接口方案，设计了 VSC-MTDC 输电系统网侧换流站间的协调控制方法，为海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的运行与控制策略研究提供了一种准确可靠的动模装置平台。

## 附图说明

[0044] 图 1 为海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的系统结构图；

[0045] 图 2 为风电场换流站的主电路结构图；

[0046] 图 3 为网侧换流站的主电路结构图；

[0047] 图 4 为海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的监控系统结构图；

[0048] 图中，1 为换流站的交流侧母线，2 为换流变压器，3 为限流电阻，4 为交流电抗器，5 为电压源型换流器，6 为直流电容器，7 为直流线路，8 为直流接地极，C<sub>1</sub> ~ C<sub>m</sub> 为运行调度中心的中央监控系统与风电场换流站的换流站监控系统间的通信通道，C<sub>m+1</sub> ~ C<sub>m+n</sub> 为运行调度中心的中央监控系统与网侧换流站的换流站监控系统间的通信通道，V<sub>1</sub> ~ V<sub>8</sub> 为换流站监控系统采集的电压信号，I<sub>1</sub> ~ I<sub>8</sub> 为换流站监控系统采集的电流信号，K<sub>1</sub> ~ K<sub>8</sub> 为固态开关的状态信号和控制信号，E<sub>1</sub> ~ E<sub>2</sub> 为换流器开关器件的状态信号，T<sub>1</sub> ~ T<sub>2</sub> 为换流器开关器件的触发信号，S<sub>1</sub> ~ S<sub>i</sub> 为换流站监控系统与风机模拟装置监控系统的交互信号，R<sub>1</sub> ~ R<sub>j</sub> 为备用信号接口。

## 具体实施方式：

[0049] 下面结合附图与实施例对本发明作进一步说明。

[0050] 一种海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的动模装置，包括运行调度中心、换流站、海上风电场、直流网络和交流网络。

[0051] 运行调度中心设置中央监控系统，负责海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的实时监视与控制。所述中央监控系统设备有前置数据服务器、数据服务器、应用程序服务器、SCADA 服务器、工作站、集中显示屏以及通信网络。所述前置数据服务器用于数据的预处理、筛选和格式化；所述数据服务器用于数据的储存和管理；所述应用程序服务器用来储存和运行各种应用程序；所述 SCADA 服务器用来实现并网系统的实时监视与控制功能；所述工作站是人机交互的硬件设备，是调度人员进行监视和控制的工作平台；所述通信网络用于实现运行调度中心内部各设备间、与换流站监控系统间的数据传输与交互。

[0052] 换流站主要分为风电场换流站和网侧换流站两种，两种换流站均由主电路及其监控系统组成，且均可采用相同或者类似的主电路和监控系统结构。所述换流站主电路包括交流母线、换流变压器、限流电阻、交流电抗器、电压源型换流器、直流电容器、直流线路、接地极、电压互感器、电流互感器和固态开关；所述电压源型换流器可采用两电平、三电平或多电平的电路结构，其开关器件采用全控型电力电子器件，如 IGBT（绝缘栅双极型晶体管）、IGCT（集成门极换流晶闸管）、GTO（门极可关断晶闸管）或 MOSFET（金属氧化层半导体场效晶体管）；所述直流线路采用等效电阻或 T 型、π 型集中模型进行物理等值。

[0053] 换流站监控系统设备包括换流站监控主站、监控终端、数据采集终端、站内 GPS 时

钟模块以及站内网络。所述换流站监控主站主要负责换流站内所有设备的实时监测与控制,实时上传状态信息至中央监控系统并接收中央监控系统下发的指令。所述监控终端可通过数据采集电路采集换流站的实时状态信息,通过固态开关监控电路实时地监测、控制固态开关,通过全控型半导体开关器件的监控电路来实现开关器件的监测与控制,通过其通信模块可实时上传状态信息并接收换流站监控主站的下发指令。所述数据采集终端用于实时地采集换流站的交、直流电气量状态信息。所述站内 GPS 时钟模块主要负责换流站监控系统的精确定时。所述站内网络负责实现换流站监控计算机与监控终端、数据采集终端间的通信。

[0054] 海上风电场可采用单台或几台风机模拟装置,且接入换流站的交流侧母线。所述风电机组可采用鼠笼式异步风电机组、双馈感应风电机组或永磁直驱同步风电机组中的一种或几种。所述风机模拟装置中采用直流调速机模拟海上风电机组的原动机。所述风机模拟装置具备独立的监控系统,并预留有接口与换流站监控系统进行信息交互。

[0055] 直流网络可采用直流线路构成相应的辐射状或环状网络结构。所述交流电网可采用动模实验室模拟电网的一条交流母线,所述交流母线可与无穷大电源或普通电网、发电机、变压器、线路以及综合负荷相连。

[0056] 海上风电经 VSC-MTDC 输电并网系统的监控系统由两部分构成,中央监控系统和换流站监控系统。

[0057] 中央监控系统采用客户端 / 服务器的软件架构,应用软件包括实时监测模块、控制模块、辅助决策模块、故障录波与分析模块、通信模块以及外部接口模块。所述实时监测模块负责实时地收集、监视与显示各换流站及其交流侧电网的状态信息和运行信息,并负责非正常运行设备、故障设备的告警。所述控制模块主要作用是接收电力系统调度中心发出的控制指令,实现 VSC-MTDC 输电并网系统的启停控制、换流站控制模式的选择、换流站控制指令值计算、紧急控制、辅助控制等等。所述辅助决策模块主要是利用离线计算和在线计算两种手段,结合相应电网分析理论,实现直流系统运行状态的计算和预测、系统静态稳定性分析、系统暂态稳定性分析、系统可靠性评估、系统安全性评估等功能,为调度人员提供决策支撑。所述故障录波与分析模块能够记录各换流站上传的所有数据信息,并提供数据回放、故障分析、故障诊断和打印报表等功能。所述通信模块主要用于显示直流系统各层次网络的运行状态,并提供自检、调试与测试等网络维护功能。所述外部接口模块主要包括人机接口和开放接口,人机接口主要用于管理员访问、程序调试以及程序错误处理等系统软件维护工作,开放接口主要用于为高级应用程序访问中央监控系统提供统一规范的接口。

[0058] 换流站监控计算机装设有监控软件,所述监控软件包括实时监测模块、控制模块、故障录波与分析模块以及通信模块;另外,对于风电场侧换流站的监控软件还设有风电场实时监测模块,可整合至实时监测模块。所述实时监测模块用于实时地监测风电场换流站的换流器、阀组、冷却系统、通信系统的运行状态以及其他附属设备运行状态;所述风电场实时监测模块能够接收风电场监控系统传输的实时信息,检测风电场的并网点电压和电流、气象信息、设备运行状态等。所述控制模块包括设备投切控制、换流站的控制模式切换、多种控制模式下的指令值计算、触发控制、阀组控制等。所述故障录波与分析模块能够记录换流站内的所有数据信息,并提供数据回放、故障分析、故障诊断和打印报表等功能。所述

通信模块主要用于本地换流站与上层系统间、本地换流站内通信网络的运行状态，并提供自检、调试与测试等网络维护功能。

[0059] 换流站控制模式分为风电场换流站控制模式和网侧换流站控制模式。所述风电场换流站控制模式为有功-频率控制和无穷大电源控制。所述网侧换流站控制模式又可按照有功类控制器和无功类控制器进行分类。按有功类控制器分类，网侧换流站控制包括定直流电压控制、定有功功率控制、有功功率下降控制、定直流电流控制、直流电流下降控制和频率下降控制。按无功类控制器分类，网侧换流站控制包括定无功功率控制和交流电压控制。

[0060] 如图1所示，换流站 $1 \sim m$ 均为风电场换流站，与风机模拟装置相连接；换流站 $m+1 \sim m+n$ 均为网侧换流站，与交流电网相连接；运行调度中心通过通信信道 $C_1 \sim C_m$ 与风电场换流站 $1 \sim m$ 相连接，通过通信信道 $C_{m+1} \sim C_{m+n}$ 与网侧换流站相连接；直流网络可根据实际需求搭建成辐射状或环状等网络结构，直流线路采用等效电阻或T型、π型集中模型进行物理等值；交流电网采用采用动模实验室模拟电网的一条交流母线，该交流母线可与无穷大电源或普通电网、发电机、变压器、线路以及综合负荷相连，以用来模式实际电网。

[0061] 如图2和图3所示，换流站的主电路主要由正极系统和负极系统构成，其主要元件包括换流站交流侧母线1、换流变压器2、限流电阻3、交流电抗器4、换流器5、直流电容器6、直流线路7和接地点8组成。交流母线1分别通过固态开关K1、K5与正、负极的换流变压器2相连接，并通过电流互感器测量两电路的电流信号I1、I5，通过电压互感器检测交流母线电压信号V1、V5。换流变压器2分别通过固态开关K2、K6与限流电阻3相连接，并通过电流互感器测量两电路的电流信号I2、I6，通过电压互感器测量换流器阀侧电压信号V2、V6。正、负极的限流电阻3分别与固态开关K3、K7并联，并与正、负极的交流电抗器4相连接，最终与正、负极的电压源型换流器5相连接。通过电压互感器和电流互感器分别测量正、负极电压源型换流器5的交流出口电压V3、V7和流出电流I3、I7。正、负极电压源型换流器5的直流侧均接入直流电容器6。正极电压源型换流器5的直流侧正极与固态开关K4、直流线路7相连接，负极与接地点8相连接，并采用电压互感器测量其正极直流电压V4，采用电流互感器测量其正极电流I4。负极正极电压源型换流器5的直流侧负极与固态开关K8、直流线路7相连接，正极与接地点8相连接，并采用电压互感器测量其负极直流电压V8，采用电流互感器测量其负极电流I8。

[0062] 如图2和图3所示，风电场换流站监控系统和网侧换流站监控系统均通过V1～V8监测正负极系统的电压信号，通过I1～I8监测正负极系统的电流信号，通过K1～K8监测固态开关状态并实现其控制，通过E1～E2来监测正、负极电压源型换流器的状态，通过T1～T2来控制正、负极电压源型换流器，通过R1～Rj来预留扩展接口。

[0063] 如图2所示，风电场换流站监控系统还通过S1～Si接口与风机模拟装置监控系统通信，以获取风机模拟装置的实时信息，并实现风机模拟装置的协调控制。

[0064] 如图4所示，海上风电经VSC-MTDC输电并网系统动模装置的监控系统分为两个层次：中央监控系统和换流站监控系统。

[0065] 中央监控系统是唯一的，采用多服务器构架结构，服务器主要包括前置数据服务器、数据服务器、应用程序服务器和SCADA服务器。前置数据服务器主要用来处理各换流站实时上传的所有数据信息，并对错误数据信息进行筛选和修正，修正后的海量数据通过数

据库管理系统存入数据服务器。数据服务器主要用来存储和管理所有的数据信息。为保证数据安全,前置数据服务器和数据服务器采用“1+1”冗余配置,且采用热备用方式。应用程序服务器主要用来提供实现系统应用软件以及运行点计算程序等辅助决策程序的存储和运行。SCADA 服务器主要用来保证中央监控系统的实时运行,同时,为保证直流系统中央监控系统的可靠性,SCADA 服务器采用“1+1”冗余配置,且采用热备用方式。

[0066] 换流站监控系统包括换流站监控主站、换流器监控终端、开关监控终端、交流电气量数据采集终端、直流电气量数据采集终端、站内 GPS 时钟模块以及站内网络。换流站监控主站主要负责所有站内设备进行实时地监视和控制,实时地上传换流站状态信息和运行信息至中央监控系统,并接收中央监控系统下发的指令值,经过计算后下发至各站内设备。换流器监控终端主要负责接收换流站监控主站的触发指令值,计算转换为阀组的触发脉冲值,并实时地监视阀组的运行状态。开关监控终端负责接收换流站监控主站的动作指令值,实现固态开关的开合控制,并实时地监控固态开关的运行状态。交流电气量数据采集终端负责实时地采集换流器交流侧母线、换流变压器阀侧以及换流器出口的交流电压值,采集换流变两侧以及换流器出口的交流电流值,并全部上传至换流站监控主站。直流电气量数据采集终端负责实时地采集直流侧正负极的直流电压和电流信息,并上传至换流站监控主站。站内 GPS 时钟模块主要负责换流站监控系统的精确定时,保证数据信息和控制指令的时间定位。对于通信网络方面,换流站内采用局域网通信方式,调度运行中心与换流站间采用基于 TCP/IP 协议的网络通信方式;站内网络可采用 RS485、现场总线或 TCP/IP 协议中的一种或几种,负责实现换流站监控主站计算机与监控终端、数据采集终端间的通信。

[0067] 下面对海上风电经 VSCVSC-MTDC 输电并网系统网侧换流站间协调控制方法进行详细地描述(可假定网侧换流站 m+1 为定直流电压控制换流站):集中控制模式下,换流站 m+2 ~ m+n 这 n-1 个换流站的有功类控制器采用定有功功率控制;分布式控制模式下,换流站 m+2 ~ m+n 这 n-1 个换流站的有功类控制器采用有功功率下降控制;混合分布式控制模式下(假定有 2 个网侧换流站采用有功功率下降控制),换流站 m+2 ~ m+3 这 2 个换流站的有功类控制器采用有功功率下降控制,换流站 m+4 ~ m+n 这 n-3 个换流站的有功类控制器采用定有功功率控制。

[0068] 以上三种控制模式下,中央监控系统进行系统运行状态的实时优化,下发有功功率指令值或下降控制斜率参考值至网侧换流站的换流站监控系统;接着,网侧换流站监控系统通过换流站监控主机计算得到相应的触发指令,下发至换流器监控模块,并最终实现换流器的触发控制。在分布式控制模式和混合分布控制模式下,当网侧换流站监控主机监测到与中央监控系统间的通信出现中断时,网侧换流站监控系统不再接受上层的实时指令值,直接根据本地控制器的有功功率下降控制,实现系统的有功功率传输与平衡。

[0069] 上述虽然结合附图对本发明的具体实施方式进行了描述,但并非对本发明保护范围的限制,所属领域技术人员应该明白,在本发明的技术方案的基础上,本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本发明的保护范围以内。

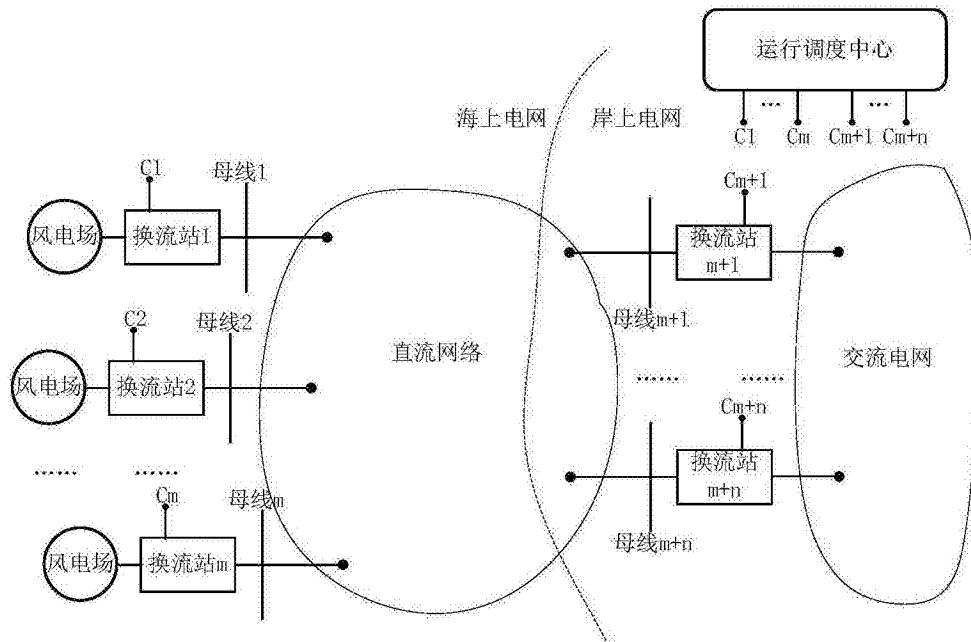


图 1

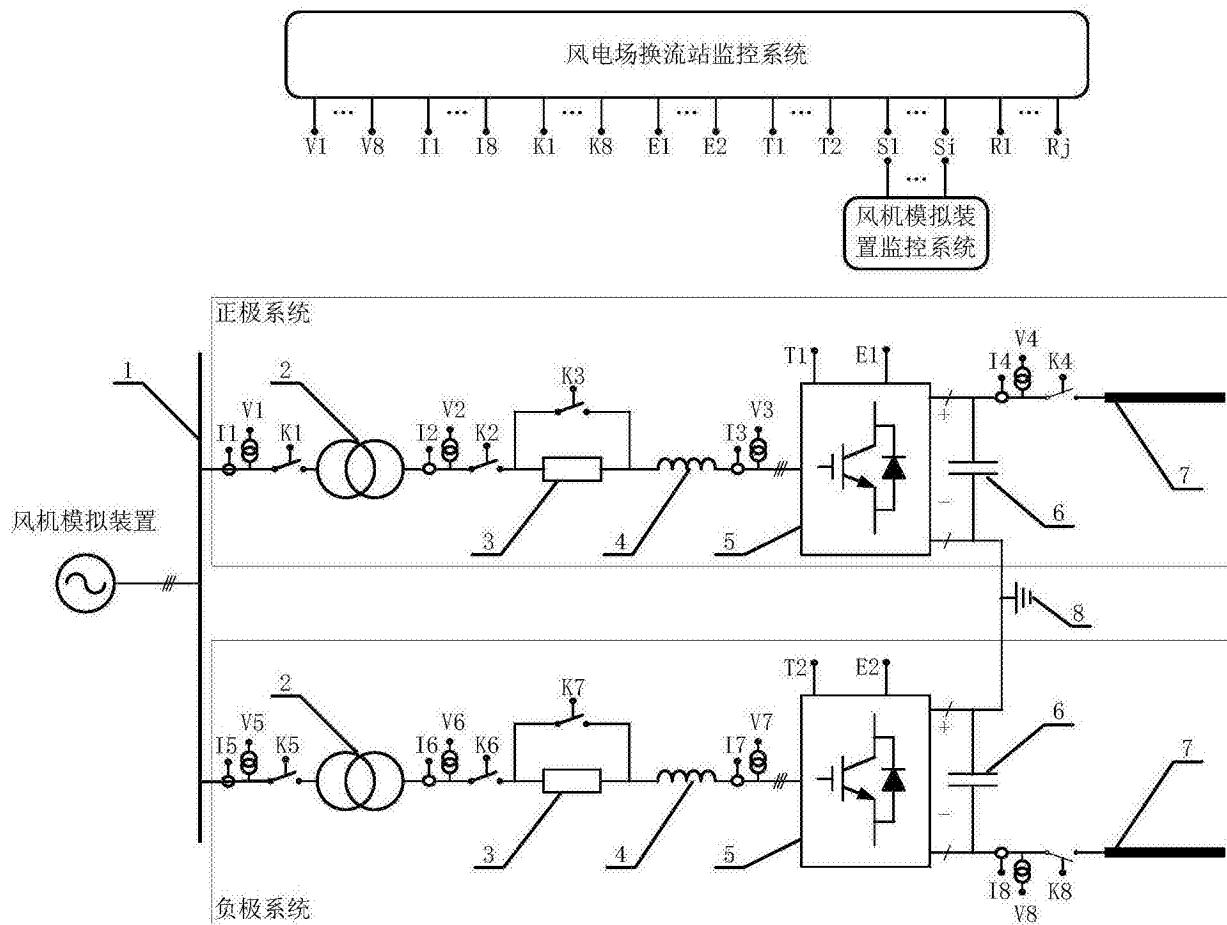


图 2

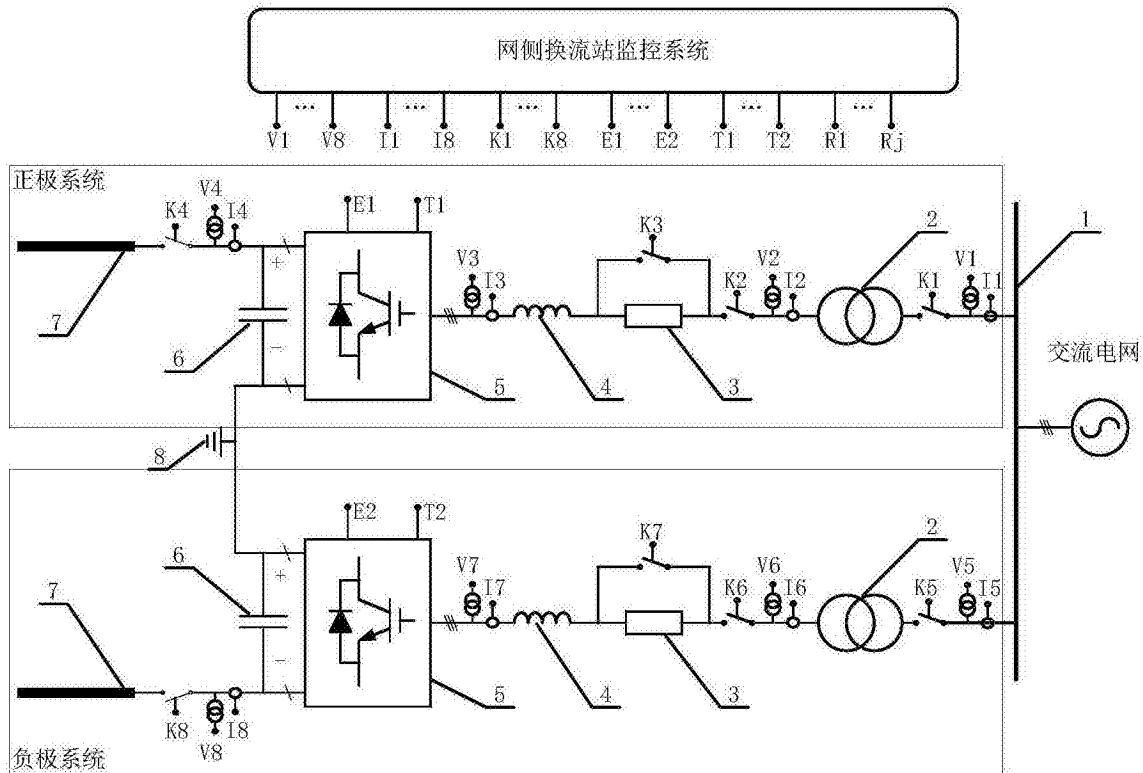


图 3

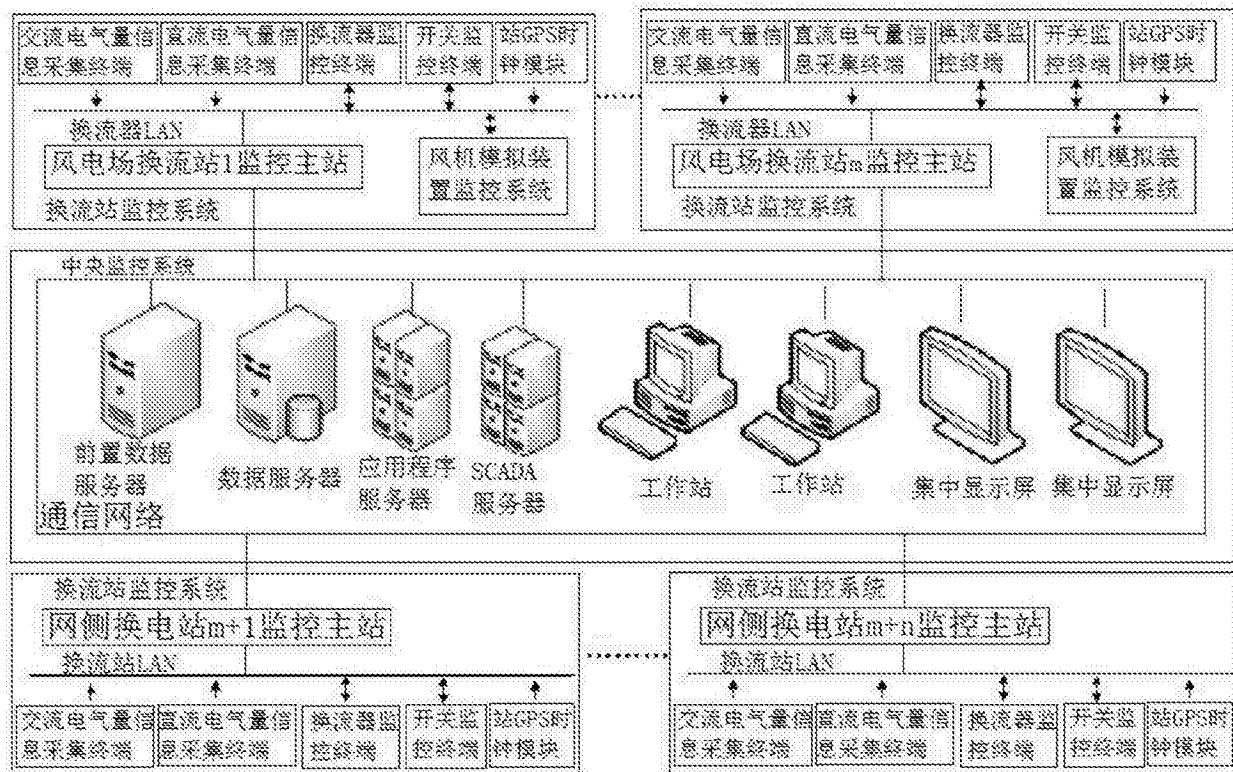


图 4