

电力系统运行动态监视的可视化设计与实现

王 波¹ 杨洪耕²

(1. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 210061; 2. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要: 基于新一代的智能电网调度技术支持系统的可视化技术平台对电力系统运行动态监视的可视化功能进行了整体方案的设计与应用效果的实现。详细介绍了基于 WAMS 系统功能的电网动态监视可视化功能实现的整体流程框架、总体界面设计以及各应用功能的可视化效果等。在江苏智能电网调度系统中的应用表明, 该电网运行动态监视可视化功能能够实现对电力系统动态运行状态高效、精准的监视与告警, 能够让运行人员快速、直观地掌握重要的电网动态运行信息。

关键词: 智能电网调度; WAMS; 动态监视; 可视化; 动态运行信息

Abstract: Based on the new generation of visualization platform of the dispatching technical support system for smart power grid, an overall scheme design and application implementation of the visualization for power system dynamic monitoring is presented. The overall visualization process framework, the overall interface design and the visual effects of each application function for power system dynamic monitoring based on wide-area measurement system (WAMS) are introduced in detail. Its application to the dispatching system of Jiangsu smart power grid show that the visualization functions can realize an efficient and accurate monitoring and alarming for the dynamic operating condition of power system and help the operators to grasp the important operation information of power system quickly and intuitively.

Key words: smart power grid dispatching; WAMS; dynamic monitoring; visualization; dynamic operation information

中图分类号: TM732 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2014)01-0013-06

0 引 言

随着电网的发展和电力市场的推进, 电力系统运行的复杂程度日益增大, 作为电网动态实时监测的新技术和重要手段, 广域测量系统(wide-area measurement system, WAMS)对电网的安全稳定运行发挥了重要的作用。然而在目前现有的基于 WAMS 应用功能的电网运行动态监视系统中, 由于反映系统运行状态及电网事件各类关联信息相对分散, 使得调度员不得不通过频繁的界面操作与切换才能获取电网动态运行状态以及处理事件的完整信息, 缺少有效、直观的显示方式来表现复杂、大量的动态关联信息, 影响了调度决策和事件处理。

近年来, 随着可视化技术的发展及其在电力系统中的逐步应用, 为解决电网动态运行监控的上述问题提供了新颖而可行的手段。基于南瑞公司在新一代智能调度技术支持系统上开发的可视化平台提出电网运行动态监视完整应用功能的可视化整体设计与实现方案。它通过将电网运行动态越限信息、

扰动信息、低频振荡等事故信息与可视化平台相整合, 借助于信息面板、事件总揽和多主题窗口的分层、分级展示, 实现了电网事件的一键式浏览与查阅, 便于调度人员从整体上快速把握当前电网的运行状态, 很好地满足了调度运行监控对事件关联信息的图形化需求, 为使用人员提供了直观、快速的事件处理手段。

1 可视化功能设计

1.1 整体功能框架

基于 WAMS 系统应用功能的电网运行动态监视可视化功能主要可分为两部分, 即: 告警信息的汇总可视化展示和非告警类应用功能可视化展示。电网运行动态监视各相关后台应用通过将各自的告警信息或重要运行信息发送给对应的可视化功能模块实现各自可视化效果的展示, 其整体功能流程如图 1 所示。

其中, “告警信息汇总可视化展示”汇集罗列了当前整个 WAMS 系统主要应用功能的重要告警信

息,使得运行人员一目了然地掌握当前 WAMS 系统的所有应用告警情况,目前主要包括:动态越限监视可视化(电压越限、功率越限、相对相角越限、功角越限、频率越限)、在线扰动识别可视化(短路扰动、非全相运行、非周期并网、直流闭锁)、低频振荡可视化以及动态电压/频率裕度可视化。

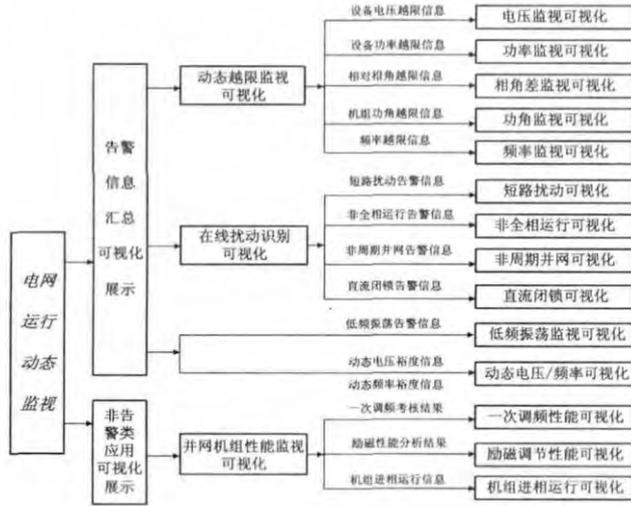


图 1 电网运行动态监视可视化整体功能流程

而“非告警类应用功能可视化展示”是指该类应用信息不参与“电网动态监视”整体可视化告警状态的判断与展示,目前主要为并网机组性能监视可视化功能,包括:一次调频性能监视可视化、励磁调节性能监视可视化以及机组进相运行监视可视化的展示。

1.2 总体界面设计

基于新一代智能调度技术支持系统的南瑞可视化平台框架,电网运行动态监视可视化总体界面功能主要由 4 部分组成,如图 2 所示。

(1) 告警信息总览面板

它通过不同颜色实时反映电网运行动态监视整体应用功能状态。

当动态监视无任何类型告警信息时,面板显示为绿色;而当该出现任一般性告警时,显示为黄色,出现严重告警时显示为红色;而当该应用运行状态异常时则显示为灰色,如图 2 中标识区域 1。

(2) 动态告警信息树

在界面左侧以树形层次结构汇总展示各类电网动态运行告警信息,以关键设备或时间为节点分层、分级关联详细告警信息,如越限设备、厂站、实际值、限值、越限率以及各类性能参数等等,并对不同程度告警进行醒目的颜色区分,如图 2 中标识区域 2。

(3) 地理潮流图

实现以中间地理潮流图为主要展示场景的电网动态越限告警信息、WAMS 重要运行信息等各种可视化效果展示(如设备动态定位、气泡、公告板、3D 柱图、饼图、仪表图、等高线渲染等等),如图 2 中标识区域 3。

(4) 多主题窗口

在界面右侧或下方,配合动态告警信息树的

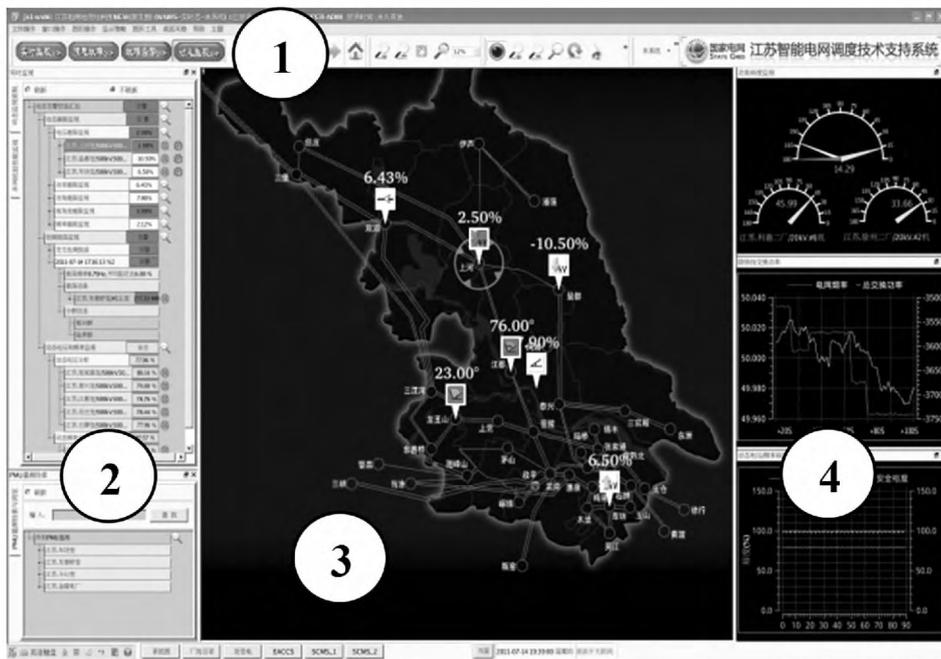


图 2 电网运行动态监视可视化总体界面

同告警类型、不同告警设备,主题窗口联动切换展示与该告警事件相关的其他关联信息,如相关统计列表信息、动态曲线、柱状图、罗盘图等等,如图 2 中标识区域 4。

下面将具体介绍电网运行动态监视的各主要可视化功能实现效果。

2 可视化功能实现与应用

2.1 动态越限监视可视化

动态越限监视可视化功能旨在利用可视化的手段展显基本 PMU 量测数据的越限告警情况,使得调度人员能够快速过滤并重点关注当前系统的重要越限信息。它主要包括:电压越限告警可视化、功率越限告警可视化、相对相角越限告警可视化、功角越限告警可视化、频率越限告警可视化等信息的展示。

当动态越限监视可视化模块实时监测到上述类型的相关 PMU 数据越限时,在可视化界面告警动态信息树上“动态越限监视”相关越限分类节点将出现醒目的告警状态。通过点击各类越限层次节点及下属节点可展开相关详细越限信息,如越限设备、所属厂站、当前值、限额及越限率等。

点击各越限分类节点右侧图标 1(相关图标效果见图 9 所示)按钮时,在地理潮流图上以该越限类公告板效果标识越限设备分布情况如图 2 所示。例如:图标 2 标识线路功率的一般越限,图标 3 和 4 则分别标识机组功角的一般越限与母线电压的严重越限情况。

当鼠标悬停至越限标识图标时,还将显示详细越限提示信息。点击具体越限设备右侧图标 5 按钮时将以悬浮窗口形式展示所选越限设备的实时越限 PMU 数据曲线。点击具体越限设备右侧的图标 6 按钮,将在地理潮流图上对该越限设备进行动画定位显示。

除了上述 PMU 数据基本越限告警信息展示以外,动态越限监视可视化模块还实现了对全网层面整体动态运行状态的展示功能。主要包括:全网 PMU 厂站分布与工况状态、全网 PMU 电压云图、全网 PMU 频率云图、全网电压相角分布以及全网机组功角裕度分布、PMU 布点及其运行状态等电网总体层面信息的可视化展示功能,图 3 展示了全网电压相角分布效果(局部),它使用动态罗盘图元的渐变

背景色与指针偏移位置直观地标识了全网母线电压相角的分布情况。



图 3 全网电压相角分布可视化效果

2.2 电网扰动识别可视化

电网扰动识别可视化通过采用可视化技术,实现短路扰动、非全相运行、非同期并网以及直流闭锁功能的可视化效果,以提高调度运行人员对电网扰动监视的敏感度与可观测能力。

当电网发生上述相关类型扰动时,在可视化界面左侧的“电网扰动识别”告警动态树将出现醒目的告警状态,同时相关扰动类型层次节点及下属节点下将罗列出对应的扰动信息,具体如下。

- (1) 短路扰动: 扰动时间、扰动设备、相位、短路电流值;
- (2) 非全相运行: 扰动时间、扰动设备、相位;
- (3) 非周期并网: 并网时间、扰动设备、电压差以及相角差;
- (4) 直流闭锁: 闭锁时间、直流极以及闭锁功率。

当点击具体扰动设备右侧的图标 1 按钮时,将在地理潮流图上使用相关扰动类型公告板效果图标 7 标识扰动设备分布情况,使用公告板图标 8 标识由该扰动引起的潮流突变设备分布情况,如图 4 所示。

当鼠标悬停至扰动信息图标时,将显示详细扰动提示信息。同时,根据不同扰动类型,多主题窗口将联动切换,展示扰动关联信息,具体为如下。

- (5) 短路扰动: 相关首/末端厂站图以及扰动时刻该设备的三相电压、电流扰动曲线;
- (6) 非全相运行: 相关首/末端厂站图以及非全相运行线路的三相电压、电流变化曲线;

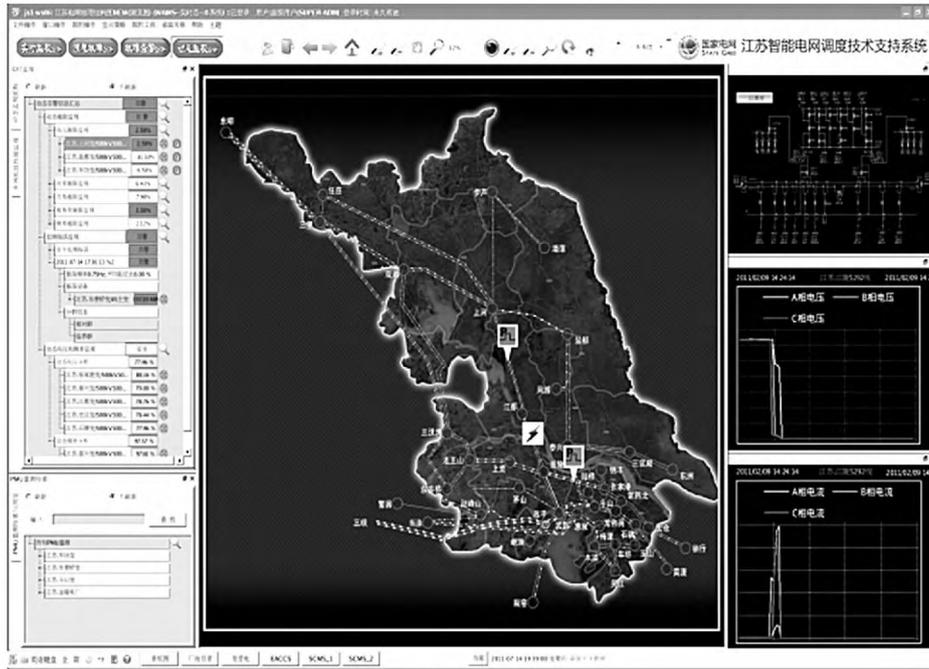


图 4 短路扰动可视化效果

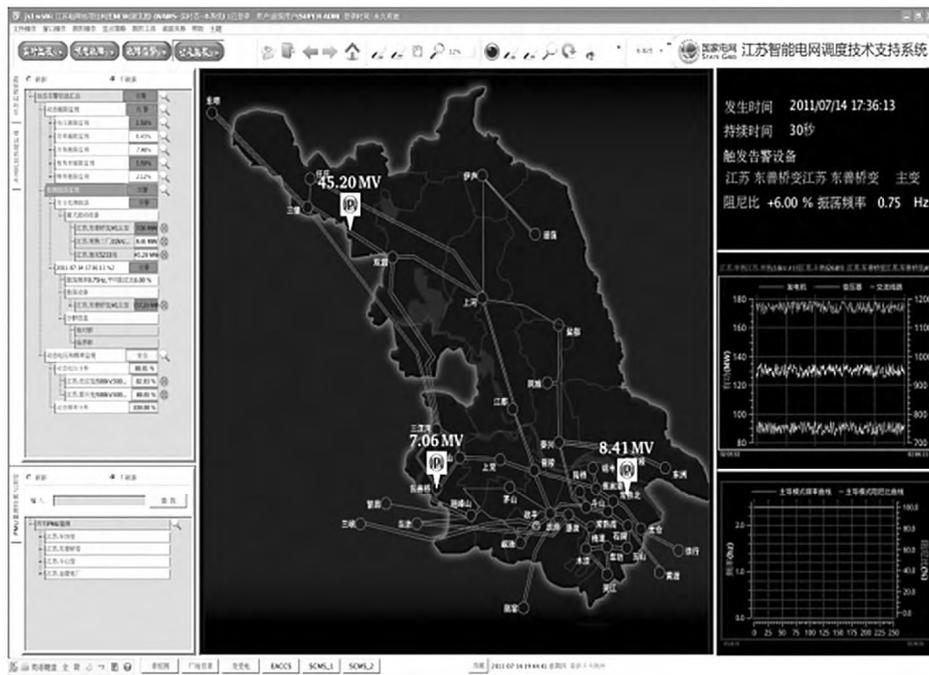


图 5 低频振荡监视可视化效果

(7) 非周期并网: 相关首/末端厂站图以及并网时刻的电压和相角差曲线;

(8) 直流闭锁: 相关厂站图以及直流极或附近功率突变曲线。

同样, 点击具体扰动设备右侧的图标 6 按钮, 可实现扰动设备动态定位展示。

2.3 低频振荡可视化

低频振荡监视可视化功能主要展示振荡主导模

式和相应的振荡设备信息, 以帮助调度人员快速深入地掌握振荡事故信息便于进一步的事事故处理, 如图 5 所示。

在电网正常情况下, 低频振荡监视可视化模块在地理潮流图上使用多个绿色图标 9 标识当前系统中实时功率波动最大的 1 台发电机、1 条交流线路和 1 台变压器的分布情况。图标上方数据能够反映当前各个振荡设备的功率波动数据。同时, 右侧多

主题窗口自动切换显示为上述功率波动设备对应的实时功率趋势曲线。

而当电网发生低频振荡时,在可视化界面的“低频振荡监视”告警动态树节点将以醒目的告警状态显示,并将罗列出相关低频振荡信息。通过点击低频振荡事件时间层次节点及下属节点可展示详细振荡信息,主要包括:振荡设备名称、振荡发生时间、振荡消失时间、持续时间、最大功率波动值、最大值及最大值时刻、最小值及最小值时刻、平均模式频率、触发告警设备、分群信息等。

当点击具体振荡设备右侧的图标 1 按钮时,将在地理潮流图上以低频振荡类公告板效果图标 10 标识该振荡设备分布以及机组分群信息情况,当鼠标悬停至振荡设备图标时,还将显示详细振荡提示信息。同时,右侧多主题窗口中联动切换显示该振荡设备的相关有功或无功角振荡曲线、低频振荡模式曲线(主导模式频率、主导模式阻尼比)等。

2.4 动态电压和频率监视可视化

动态电压和频率监视可视化主要展示电网中电压和频率动态偏移的可接受性,评估电网实际运行过程中的动态安全性。

当电网正常情况下,该可视化模块在地理潮流图上实时标识出当前系统中最小的动态频率裕度图标 11 和最小的动态电压裕度图标 12 设备分布情况。图标上方的数据反映了对应的裕度数值。

在电网异常情况下,主屏潮流图上将使用上述红色 V/F 图标标识裕度告警设备信息及其位置分布,并在可视化界面的“动态电压频率”告警动态树上以醒目的告警状态显示,并罗列出对应动态电压与频率裕度告警信息,主要包括:系统电压状态、电压裕度最小母线及其电压裕度;系统频率状态、频率裕度最小母线及其频率裕度。

同时,在多主题窗口中联动切换显示电网动态电压/频率汇总信息、最小电压裕度以及最小频率裕度趋势曲线。因为动态电压和频率监视可视化效果与低频振荡监视可视化效果相似,这里不在例举。

2.5 一次调频动作性能评价可视化

当电网发生频率扰动且变化达到一次调频响应门槛时,在“并网机组性能监视”页面的动态告警信息树上将看到全网机组一次调频响应性能评价与统计情况,主要按照各评价等级(优秀、良好、中等、较差、反调节、无效、免考核等)分类,并包含各评价等

级统计结果信息(机组台数、台数百分比、总容量、总容量百分比)以及具体涉及机组的罗列。

当点击具体评价等级节点右侧图标 1 按钮时,将在地理潮流图上使用反映该一次调频评价等级可视化图标(如图标 13~16)展示该评价等级所属机组分布情况,鼠标悬停具体图标将显示机组详细一次调节评价信息。同时,右侧的多主题窗口则联动切换展示一次调频响应的系统总交换功率与系统频率曲线、系统响应概况信息、全网调频特性情况。

除此之外,当点击“一次调频性能监视”根节点侧的图标 1 按钮时,将在地理潮流图上使用饼图显示全网范围内一次调频电厂全部机组本次一次调频考核情况的统计,如图 6 所示。图 6 中使用饼图的绿色份额标识所关联电厂一次调频动作评价合格机组所占百分比,使用黄色份额标识不合格机组百分比,而使用蓝色份额标识免考核机组百分比。



图 6 PMU 电厂一次调频评价统计的可视化

2.6 励磁调节监视可视化

该可视化模块主要实现了对由电网扰动引起的励磁系统的动态调节响应过程与调节性能分析结果的可视化展示。

当实际运行机组由于电压扰动而引起其励磁系统调节动作时,将在动态信息树的“励磁调节性能监视”节点下方按照机组罗列其对应励磁系统调节性能分析结果,主要包括:扰动发生时间、扰动前调节精度、扰动后调节精度、暂态电压调整率、最大电压倍数、励磁电压响应时间、最大励磁电压、最大励磁电流等信息、PSS/AVR 投退情况等。

当点击具体励磁调节机组右侧的图标 1 按钮时,在地理潮流图上采用励磁调节动作图标(如图标 17~19)可视化地展示励磁调节状态与分布情况。当鼠标悬停至相应图标时,将采用提示窗显示励磁调节详细性能参数提示。同时,该可视化模块

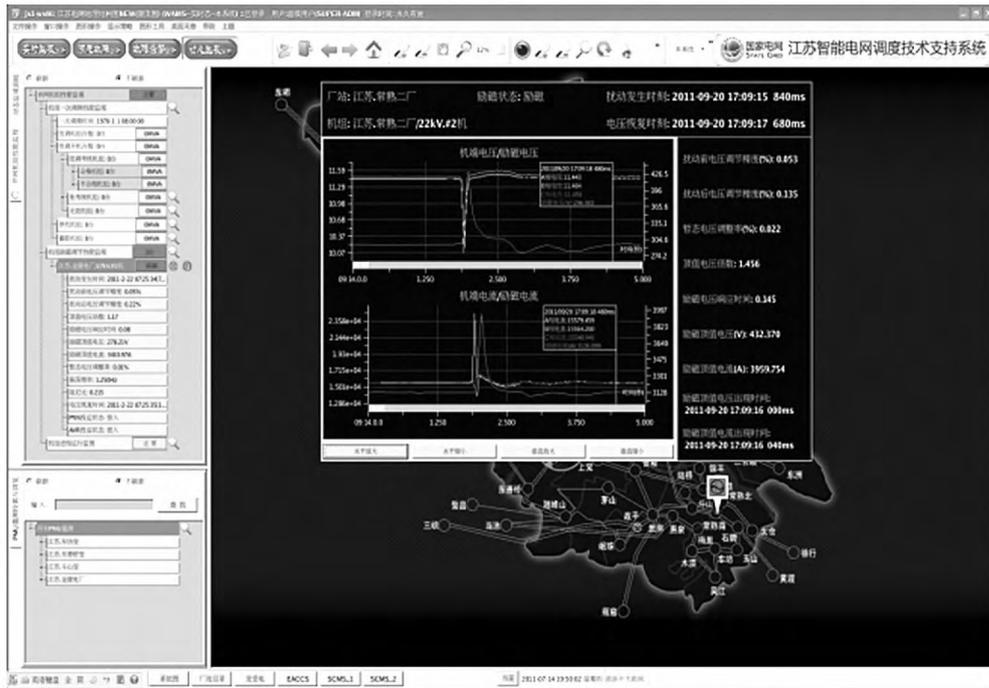


图 7 励磁系统调节性能监视可视化

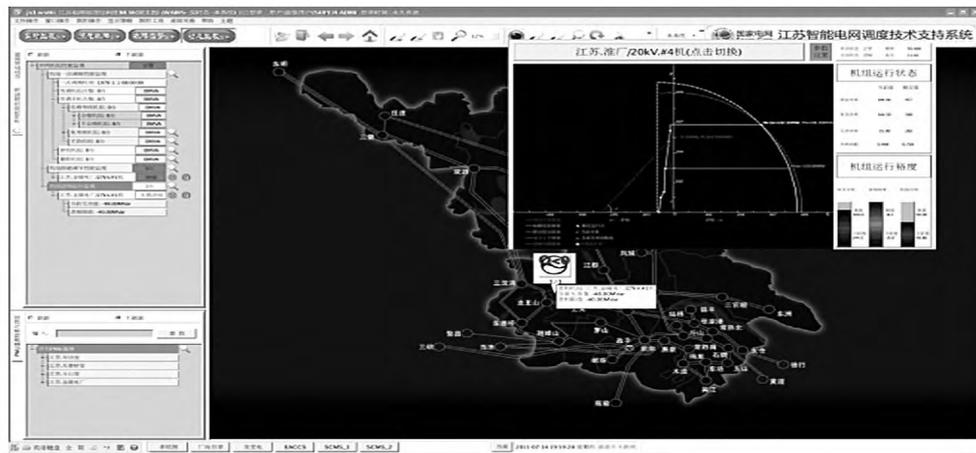


图 8 机组进相运行监视可视化

还将以悬浮窗口的方式展示所选励磁调节机组的本次励磁调节详细动态响应过程,包括机端三相电压、电流扰动曲线;励磁电压、励磁电流调节响应曲线以及该机组励磁系统调节性能参数分析结果,如图 7 所示。

2.7 机组进相运行可视化

当系统中监测到机组进相运行时,点击“机组进相运行”动态信息树节点,将展开当前全网进相运行机组的详细运行情况,并按机组罗列相关进相状态参数,主要包括:开始进相时间、进相持续时间、进相深度、无功积分电量等信息。

当点击“机组进相运行监视”节点右侧的图标 1

按钮时,该可视化模块在地理潮流图上将使用可视化图标 20 标识当前全网进相运行机组的状态与分布情况,当鼠标悬停至相应图标时,还将显示详细进相信息提示。

点击具体进相运行机组右侧的图标 1 按钮时,将以悬浮窗口的方式展示该机组当前 PQ 运行图,并突出进相限制曲线/低励曲线等信息,如图 8 所示。

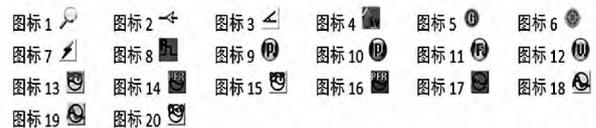


图 9 图标显示样式

(下转第 38 页)

根据辨识出的系统模型和噪声模型,以及所设计的控制器,按照式(25)和式(26)重新设计得到如图3所示最优输入信号谱和最优预滤波器幅频特性。

两者都具有明显的低通特性,在主导振荡频率 0.58 Hz 及以下频率有较大值,截止频率在 0.8 Hz 左右,比本辨识实验中采用的截止频率 2 Hz 略低。可见,由于电力系统呈低通特性,且低频振荡频率小于 2 Hz,因此将输入信号谱和预滤波器设计为低通特性,截止频率取为高于低频振荡频率,是一种适用性较强的设计方案。

4 结 论

电力系统降阶的可行性是能够用低阶模型来辨识系统的基础。基于模式可控可观性分析,提出了面向广域阻尼控制器设计的电力系统可降阶原理,并提出了 H_{∞}/H_2 范数下的降阶误差分析方法,以及降阶原理估计和 BIC 准则结合的模型定阶方法。进一步地,针对广域阻尼控制器设计,提出了辨识实验中的最优激励信号和最优预滤波器设计方法,并指出采用具有低通特性的激励信号谱和预滤波器是一种实用的设计方案。四机两区系统上进行的仿真表

(上接第 18 页)

3 结 论

基于智能电网调度支持系统的可视化平台,结合现有 WAMS 系统应用功能,设计并实现了电网运行动态监视完整的可视化功能。

通过实时获取电网运行相关的动态告警信息,该可视化功能将不同类型的电网动态运行信息与告警进行汇集与综合展示,实现对电力系统动态运行状态高效、精准的监视与告警。从实际应用中的效果来看,它能够使得运行人员快速、直观地掌握电网动态运行情况,提高调度运行人员对电网动态越限、电网扰动、低频振荡等重要电网事件以及机组并网性能评价等的响应速度与决策处理能力。

参考文献

[1] 李丹,韩福坤,郭子明,等. 华北电网广域实时动态监测系统[J]. 电网技术, 2004, 28(23): 52-56.

明了上述方法和理论的有效性。

参考文献

[1] 谢小荣,肖晋宇,童陆园,等. 采用广域测量信号的互联电网区间阻尼控制[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(2): 37-40.
[2] Lennart Ljung. System Identification—Theory for the User(2nd ed) [M]. USA: Prentice Hall, 2002.
[3] Kamwa I, Luc Gerin-Lajoie. State-space System Identification-toward MIMO Models for Modal Analysis and Optimization of Bulk Power Systems [J]. IEEE Trans. on Power Systems, 2000, 15(1): 326-335.
[4] Lu Chao, Li Licheng, He Jingbo, et al. Optimal Coordinate Design of Multiple HVDC Modulation Controllers based on MIMO System Identification [C]. 2007 IEEE PES General Meeting, 2007: 1-8.
[5] Xie Xiaorong, Lu Chao. Optimization and Coordination of Wide-area Damping Controls for Enhancing the Transfer Capability of Interconnected Power Systems [J]. Electric Power Systems Research, 2008, 78: 1099-1108.
[6] Kundur P. Power System Stability and Control [M]. New York: McGraw-Hill, 2001.

(收稿日期: 2013-11-04)

[2] 曹路,汪德星,岑宗浩. 广域测量系统在华东电网中的应用[J]. 电力设备, 2005, 6(12): 38-41.
[3] 干磊,康河文,何敏. 基于广域测量系统的电压稳定动态监测[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 152-155.
[4] 周喜超,智勇,郑伟,等. 基于 WAMS 系统的甘肃陇南电网大负荷扰动试验[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(12): 129-131.
[5] 沈国辉,余东香,孙湃,等. 电力系统可视化技术研究及应用[J]. 电网技术, 2009, 33(17): 31-36.
[6] 李大勇,马冬雪,王晓宁,等. 电网信息可视化应用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(23): 156-158.
[7] 王庆红. 电力系统可视化技术及其在南方电网的应用[J]. 南方电网技术, 2006, 2(3): 40-44.

作者简介:

王波(1981), 硕士, 高级工程师, 从事的主要工作为广域相量测量系统相关研究与开发;

杨洪耕(1949), 教授, 博导, 长期从事电能质量、电网扰动和谐波的研究工作。

(收稿日期: 2013-07-23)