150

基于广域响应的大电网暂态稳定判别技术 仿真软件的开发与应用

赵晋泉¹,章玉杰¹,张 盼¹,金小明²,付 超²,李鸿鑫² (1. 河海大学 可再生能源发电技术教育部工程研究中心,江苏 南京 210098; 2. 南方电网科学研究院,广东 广州 510080)

摘要:基于广域响应的暂态稳定实时判别与紧急控制技术是当前电力系统稳定领域的研究热点。开发了一种基于广域响应的大电网暂态稳定判别技术仿真软件。给出了软件框架结构、功能模块和工程应用情况。该软件以电网实际受扰量测数据或离线时域仿真软件结果作为输入,实现了多种基于响应的暂态稳定 判别技术的评估与可视化展示,具有方便的文件管理、可扩展暂态稳定判别以及算例批量计算等功能。工程 应用表明所开发软件具有较好的工程实用价值。

关键词: 电力系统; 暂态稳定; 广域响应; 暂态失稳判别; 仿真软件; 可视化评估 中图分类号: TM 712 文献标识码: A DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2016.07.023

0 引言

近年来随着相量测量单元(PMU)在电力系统的 广泛应用,构建实时的广域安全防御控制系统成为 可能,利用广域量测系统(WAMS)进行暂态稳定的 实时预警和紧急控制技术成为研究热点之一^[1-5]。

目前基于广域响应的电力系统安全稳定控制技术的研究已取得很多理论成果^[6-17]。比较有代表性的有:文献[12]提出的基于受扰轨迹相平面几何特征识别的暂态失稳判别方法;文献[13]提出的基于受扰严重单机识别和暂态不平衡能量变化率的暂态失稳判别技术;文献[14]提出的基于扩展等面积准则(EEAC)理论的暂态失稳判别技术;文献[15]提出的基于轨迹特征根的暂态稳定实用判据;文献[16]提出的基于受扰电压轨迹时域积分的暂态失稳判别方法。

上述技术目前尚未得到实际工程应用。为实现 工程应用,需要分析暂态稳定判别所需要广域量测 的完备性、判别的准确性和快速性以及紧急控制策 略的生成等问题。因此,必须对上述各种判别技术 在实际电网大量运行方式和故障情形下的适用性和 有效性进行比较分析。但目前尚没有一个能够对上 述各判别技术进行仿真对比的分析软件。为此,基 于现有理论研究成果,开发了基于广域响应的大电网

收稿日期:2015-07-05;修回日期:2016-05-13

暂态稳定判别技术仿真软件,实现了对各种技术全 方位的对比分析,提高了安稳分析人员的工作效率。 本文主要介绍该软件的框架结构、功能模块以及工 程应用情况。

1 软件总体功能框架结构

为满足各种暂稳判别技术的对比分析以及判别 结果可视化输出的功能需求,设计了如图1所示的软 件框架结构。



图丨软件结构性朱图

Fig.1 Block diagram of software structure

按照各模块间相互独立、易于扩展的思想,将软件框架分为数据层、核心层和应用层。数据层包含 了支持实测数据和离线数据2种数据源的通用数据 接口模块,可实现反映系统暂态稳定特性状态量的 提取,为核心层提供暂稳判别所需要的输入数据;核 心层包含了多种基于响应的暂态稳定判别技术模 块,通过数据层获取系统受扰轨迹,进行暂态稳定判

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51077042);华北电力 大学新能源电力系统国家重点实验室开放课题资助 (LAPS14005)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51077042) and North China Electric Power University Open Foundation of State Key Lab of Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Sources(LAPS14005)

别计算,并将结果输出为文件;应用层负责与用户进 行交互,提供观测发电机和母线选择、参数门槛值设 置、算例批量计算以及仿真结果可视化输出等功能。

软件主要特征如下:提供通用的数据接口,支持 实际量测数据文件和时域仿真软件结果文件,数据 兼容性好;采用对话框形式的文档编辑和参数设置 模式,人机交互性好;采用工程-方式的文件管理模 式,管理算例文件更方便;实用的曲线图绘制模块, 支持曲线--图例双向识别和鼠标动态跟踪曲线坐标 功能;支持故障算例批量计算功能,计算结果自动汇 总输出到文件,提高了工作效率;基于组件技术的可 扩展暂态稳定判别模块,各暂态稳定判别模块间相 互独立,便于模块的扩展与升级;能够在多平台上编 译运行,既可以作为离线分析软件,又可以灵活地嵌 入现有的电网调度控制系统中作为高级应用模块在 线运行。软件集成示意图如图 2 所示。





2 软件主要功能模块

2.1 发电机功角预测模块

发电机功角受扰轨迹预测是快速识别系统暂态 稳定性的基础。软件设计了发电机功角预测模块, 实现了多种基于曲线拟合轨迹外推技术^[8-11],主要包括:多项式预测技术、自回归预测技术、三角函数拟 合技术以及基于灰色模型的预测技术。暂态稳定判 别所采用的功角预测技术、模型阶数、数据窗以及预 测窗时长均可由用户设定。

2.2 暂态稳定判别技术仿真模块

本节简单介绍最大功角差、同调群间隙角、相平面 轨迹凹凸性、单机能量函数、基于实测轨迹的 EEAC、 轨迹特征根和受扰电压轨迹积分 7 种基于响应的暂 态稳定判别技术的算法实现,各方法所需要的输入数 据和门槛值如表 1 所示。

2.2.1 最大功角差判别技术模块

以系统各观测发电机受扰后的功角为输入数据,

表 1 各判别方法输入量 Table 1 Inputs of different detection methods

| 方法名称 | 输入量 | 门槛值 |
|------------------|----------------------------|--------------------|
| 最大 功角差 | 发电机功角 | 功角差门槛值 |
| 同调群 间隙角 | 发电机功角、 惯性时间常数 | 间隙角门槛值 |
| 相轨迹 凹凸性 | 发电机功角、惯性时间 常数、机械功率、电磁功率 | 无 |
| 单机能量 函数 | 发电机功角、惯性时间 常数、机械功率、电磁功率 | 无 |
| 基于实测 轨迹的 EEAC | 发电机功角、惯性时间 常数、机械功率、电磁功率 | 无 |
| 基于轨迹特征 根的实用判据 | 发电机功角、惯性时间 常数、机械功率、电磁功率 | 无 |
| 受扰电压 轨迹积分 | 母线三相电压幅值 | 起始积分电压、 电压积分门槛值 |

根据当前时刻和历史观测窗数据,对发电机功角进 行滚动预测。在当前时刻及预测时长内,对发电机 功角进行排序;当功角值最大发电机与功角值最小发 电机的功角差大于预设门槛值时,判定系统暂态失稳。 2.2.2 基于相轨迹凹凸性的判别技术模块

根据文献[12]提出的基于轨迹几何特征的暂态 失稳识别方法,以系统各观测发电机惯性时间常数以 及受扰后的功角、机械功率和电磁功率为输入数据, 对观测发电机群进行两机等值分群计算,再进一步等 效为单机无穷大(OMIB)系统。计算功角-角加速度 平面凹凸指标、不平衡功率-功角平面凹凸指标和不 平衡功率-时间凹凸指标;当计算功角-角加速度平面 凹凸指标呈现凸性时,系统有失稳倾向;当不平衡功 率-功角平面凹凸指标呈现凸性时,系统即将失稳; 当不平衡功率-时间凹凸指标呈现凸性时,判定系统 暂态失稳。

2.2.3 基于单机能量函数的判别技术模块

根据文献[13]提出的基于暂态能量变化率的电 力系统多摆稳定性分析方法,以系统各观测发电机惯 性时间常数以及受扰后的功角、机械功率和电磁功率 为输入数据,利用受扰初期发电机的相对动能数值大 小和反映网络拓扑变化的发电机电磁功率变化率来 识别受扰最严重发电机。通过计算受扰最严重发电 机功角加速度和能量变化率,判断系统是否失稳。 判定系统失稳时,记录失稳时刻受扰最严重发电机信 息及其功角加速度和能量变化率。

2.2.4 基于实测轨迹的 EEAC 判别技术模块

根据文献[14]提出的基于实测摇摆曲线的 EEAC 暂态稳定量化评估方法,以系统各观测发电机惯性 时间常数以及受扰后的功角、机械功率和电磁功率 为输入数据,对各观测发电机群进行两机等值分群计 算,进一步等效为 OMIB 系统。判断当前时刻是否 到达动态鞍点(DSP)或首摆最远点(FEP),若为 DSP 则判定系统失稳,若遇到 FEP 则判定系统稳定。 2.2.5 基于同调机群间隙角的判别技术模块

系统暂态失稳通常表现为两群失稳模式,当两 群惯量中心功角差超过一定数值时,可判定系统失 去同步。以系统各观测发电机惯性时间常数以及受 扰后的功角为输入数据,对发电机群进行分群,得到 两机等值系统,并计算两群惯量中心功角差;当两群 惯量中心功角差超过预设门槛值时,判定系统失稳。 2.2.6 基于轨迹特征根的判别技术模块

根据文献[15]提出的基于轨迹特征根的暂态稳 定判别方法,以系统各观测发电机惯性时间常数以 及受扰后的功角、机械功率和电磁功率为输入数据, 判断当前时刻是否有发电机满足系统状态矩阵出现 实部为正特征根的等价条件。若没有发电机满足, 则判定系统稳定,否则进一步判断功角最大发电机 是否有远离系统惯量中心的运动趋势,若是则判定 系统失稳。

2.2.7 基于受扰电压轨迹的判别技术模块

根据文献[16-17]提出的基于受扰电压轨迹判 别暂态失稳的工程化方法,以系统各观测母线三相电 压幅值为输入数据,按如下步骤进行暂稳判别。

a. 通过数据接口模块获取系统受扰后各观测母 线三相电压幅值,并识别电压正常下坠过程,保证故 障发生到清除时段内不进行电压积分计算。

b. 判断当前时刻三相电压幅值是否低于预设门 槛值(起始积分电压),若低于则进行复合积分计算, 包括加权下坠速率和面积补偿。

c.判断当前时刻电压积分值是否大于预设电压积分门槛值,若大于则判定系统暂态失稳,并记录失稳时刻电压积分值;若电压幅值回升至起始积分电压之上并持续一定时间,判定系统恢复稳定。

2.3 紧急切机控制仿真模块

判别系统失稳后,需要对系统失稳后的安稳切 机策略进行仿真分析。为此,软件设计了如图 3 所 示紧急切机控制仿真模块。可针对不同的运行工况 和故障情形选择不同的切除发电机形成紧急切机策 略,并通过仿真平台对切机策略进行仿真。



图 3 暂态稳定控制结构示意图 Fig.3 Schematic diagram of transient stability control

2.4 通用数据接口模块

为满足实际离线分析计算中多种数据源的需要,软件开发了如图4所示的通用数据接口模块,支持实际量测和仿真软件结果2种数据源。对于电网 实际量测数据源,通过WAMS实测数据文件获取系 统发电机功角、功率、母线电压等信息;对于仿真软 件数据源,通过数据源文件获取发电机参数和母线 分区、电压等级等信息,通过仿真结果文件获取发电 机功角、功率和母线电压等信息。



图 4 通用数据接口模块

Fig.4 General data interfacing module

2.5 观测发电机和母线选择模块

电力系统广域实时量测信息是海量的,但工程 实用化要求通过对电网少量观测点的观测实现暂态 稳定性判别,那么哪些观测点是具体电网受扰特征 最敏感点是运行人员最关心的问题之一。为此,软 件设计了发电机和母线观测点选择模块,可供用户形 成不同的发电机和母线观测方案,对各种暂稳判别技 术在不同方式、不同观测方案下的适用性和有效性 进行仿真分析。

2.6 文档编辑与文件管理模块

软件支持传统的文本编辑方式,同时添加了可 供用户直观勾选的图形化文档编辑模块。以图形列 表形式给出系统发电机和母线信息,用户可直观地 从列表中勾选发电机和母线,形成观测发电机和母线 文件。为了有效地对算例文件进行管理,软件设计 采用工程-方式模式的文件管理模块。一个工程中 可以包含多个故障,每个故障包含该数据文件和结 果文件。可通过加载、卸载方式等操作管理工程中 包含的方式,加载、卸载文件等操作管理方式中包含 的文件。

2.7 仿真结果及可视化输出模块

为了便于对暂稳判别结果的统一查看以及后期 的研究、整理,软件设计了可视化结果输出模块。暂 稳判别计算完成后,将各暂稳判别技术的判别结果 和曲线序列化输出到结果文件中。判别结果包括各 暂稳判别技术的详细判别参数信息,如关键发电机、 关键母线等信息。如图 5 所示,判别曲线均通过时 间标线直观地给出了失稳判别时刻,具备曲线--图例 双向识别和鼠标动态跟踪曲线坐标功能。

152



图 5 失稳判别结果示意图

Fig.5 Schematic results of instability detection

2.8 故障算例批量计算模块

实际中,运行人员需通过大量算例仿真来分析 对比各判别技术的适用性和有效性。为提高工作效 率,软件设计了故障算例批量计算模块,可一次性计 算 20 个故障算例。批量计算完成后自动将结果汇 总输出到 Excel 文件,并形成报表,包含方式名称、故 障名称、各暂态稳定判别技术的暂态稳定判别结果、 观测发电机和母线、紧急控制采取的切机量等信息。

3 工程应用情况

软件采用 VC++2010 开发,已在南方电网科学研究院得到应用。

3.1 贵州六盘水地区电网安稳方案的确定

本文所开发软件在贵州六盘水电网国家科技支 撑计划"规模化小水电群与风光气发电联合运行控 制关键技术研究及示范"项目示范工程的安稳技术 方案确定中发挥了重要作用。以南方电网 2014 年 丰大方式为基础计算方式,对六盘水电网 14 种典型 故障,采用 BPA 软件仿真结果模拟广域量测数据 (广域量测周期为 0.02 s),对不同观测方案(可观测 机组 22 个,可观测母线站点 28 个)、不同门槛值设 置、不同水火风电出力、非对称故障以及三相非金属 性短路等 102 个故障案例各判别技术的适用性和有 效性进行对比分析。由于篇幅所限,这里仅给出野 北线三永故障案例的仿真结果,如表 2 所示。

通过本软件对所有案例的仿真分析,运行人员综 合比较了各种技术的暂稳判别准确性、快速性和工 程实施可行性,确定采用"基于受扰电压轨迹的暂态 失稳判别技术"进行工程示范,并确定了稳控系统的 母线观测方案(观测站为:双龙、六枝、台沙和黄家山 220 kV 变电站)。

3.2 南方电网两广断面安稳案例分析

对南方电网两广断面故障案例进行分析,进一步 验证本文软件的有效性和实用性,运行方式为 2014 年丰大极限方式。利用软件算例批量计算模块对 50 个故障案例进行了仿真计算,部分计算结果见表 3。 表 2 野北线三永故障案例各方法暂稳判别信息 Table 2 Information of transient stability detection by different methods for three-phase

short circuit fault of Yemazhai-Beijiao line

| | 方法名称 | 判别 结果/s | 参数名称 | 参数值 | |
|------------------|----------------------|------------------|-----------------|----------------------------------|--|
| | | 1.54 | 功角差门槛值 | 180° | |
| | | | 失稳时刻功角差 | 180.58° | |
| | 基于最大 功角差的 判别技术 | | 关键发电机(领先) | 野马寨1号机 | |
| | | | 关键发电机(滞后) | 纳雍1号机 | |
| | 71/11/2/1- | | 最大功角差 | 357.91° | |
| | | | 最大功角差时刻 | 2.72 s | |
| | 同调群 | 2.02 | 间隙角门槛值 | 150° | |
| | 间隙角 | | 失稳时刻间隙角 | 156.7528° | |
| 实测轨迹 E 判别技: | 实测轨迹 EEAC | 1.72 | 功率不平衡量 | 15.8657 MW | |
| | 判别技术 | 1.72 | 功角角速度 | $3.0980~\mathrm{rad}/\mathrm{s}$ | |
| 基于相轨迹凹 凸性判别技术 | | | 功角-角加速度 凹凸指标 | 0.0005 | |
| | 2.28 | 不平衡功率_功角 凹凸指标 | 0.3162 | | |
| | | 不平衡功率_时间 凹凸指标 | 24.3630 | | |
| | 基于单机能量 | 1.96 | 单机功角加速度 | $-0.0041 \text{ rad}/\text{s}^2$ | |
| | 函数判别技术 | | 单机能量变化率 | $282.7081~\mathrm{MW/s}$ | |
| 基于根 | 基于轨迹特征 | 0.88 | 关键发电机 | 野马寨1号机 | |
| | 根判别技术 | | 功角加速度 | $0.2462 \ rad/s^2$ | |
| 基于 | | 0.74 | 关键母线 | 双龙 | |
| | 基于电压轨迹 | | 起始积分电压 | 0.85 p.u. | |
| | 积分判别技术 | | 电压积分门槛值 | 0.03 | |
| | | | 失稳时刻电压积分值 | 0.0304 | |

表 3 南方电网故障案例批量计算结果列表

Table 3 Results of fault batch calculation for China Southern Power Grid

| 故障 | 失稳判别时刻/s | | | | | | |
|------|----------|------|------|------|------|------|------|
| 案例 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 案例1 | 1.22 | 1.58 | 1.06 | 1.16 | 2.76 | 2.82 | 1.10 |
| 案例 2 | 1.86 | 2.60 | 1.18 | 1.40 | 0 | 1.40 | 0.96 |
| 案例 3 | 0.68 | 0.66 | 0.84 | 0.88 | 1.58 | 0.56 | 0.56 |
| 案例 4 | 1.96 | 1.04 | 1.00 | 1.40 | 3.58 | 1.40 | 0.80 |

注:1表示最大功角差;2表示同调群间隙角;3表示 相轨迹凹凸性;4表示实测轨迹 EEAC;5表示单 机能量函数;6表示轨迹特征根;7表示电压轨迹 积分;判别结果0代表稳定。

研究表明,当发生直流闭锁或短路接地等严重 故障时,电网主要呈现东西部发电机组失步特征,失 步振荡中心一般位于两广传输断面上通道,两广断 面各 500 kV 变电站判别情况如表 4 所示。

表 4 两广断面各母线观测站点暂稳判别情况 Table 4 Information of transient stability detection at different observation substations in Guangdong-Guangxi section

| 观测 | | 失稳判别 | 別时刻/s | |
|-----|------|------|-------|------|
| 站点 | 案例1 | 案例 2 | 案例 3 | 案例4 |
| 柳东 | 1.28 | 1.38 | 0.56 | 1.52 |
| 桂林 | 1.10 | 0.96 | 1.16 | 0.80 |
| 贺州 | 1.32 | 1.28 | 0.60 | 1.56 |
| 梧州 | 1.26 | 1.12 | 2.26 | 1.28 |
| 贤令山 | 1.20 | 1.20 | 0.70 | 1.32 |

4 结语

基于广域响应的电力系统安全稳定技术是当前 安稳技术领域的研究热点问题。本文基于现有理论 研究成果,开发了基于广域响应的大电网暂态稳定判 别技术仿真软件,以实际量测数据或时域仿真软件结 果文件作为输入,实现了多种基于响应的暂态稳定 判别技术的可视化评估。实际工程应用表明,该软 件可满足不同运行方式和故障情形下暂态稳定判别 技术的仿真要求,是分析比较各种基于响应的暂态稳 定判别技术的有效工具,提高了安稳系统设计人员的 工作效率,对于基于响应的暂态稳定判别技术在实 际工程中的应用具有现实意义。

需要指出的是,单纯依靠本文软件的仿真来确 定安稳技术及其工程实现方式存在一定风险,需结 合其他因素综合考虑。计及工程实施中的通信时 延、坏数据以及算法耗时等因素的影响将是本文软 件改进的方向。

参考文献:

[1] 鞠平,郑世宇,徐群,等. 广域测量系统研究综述[J]. 电力自动化 设备,2004,24(7):37-40.

JU Ping,ZHENG Shiyu,XU Qun,et al. Survey of wide area measurement system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004,24(7):37-40.

- [2] 张保会, 广域动态信息条件下电网安全紧急控制的研究[J]. 电力自动化设备,2005,25(8):1-8.
 ZHANG Baohui. Study on network security,stability and emergency control system based on wide area dynamic information[J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25
- (8):1-8.
 [3] 薛禹胜,徐伟,DONG Zhaoyang,等. 关于广域量测系统及广域控制保护系统的评述[J]. 电力系统自动化,2007,31(15):1-5.
 XUE Yuesheng,XU Wei,DONG Zhaoyang,et al. A review of wide area measurement system and wide area control system[J].
 Automation of Electric Power Systems,2007,31(15):1-5.
- [4] 汤涌. 基于响应的电力系统广域安全稳定控制[J]. 中国电机工 程学报,2014,34(29):5041-5050.
 TANG Yong. Response-based wide area control for power system security and stability[J]. Proceedings of the CSEE,2014,34(29): 5041-5050.
- [5] 吴为,汤涌,孙华东,等. 基于广域量测信息的电力系统暂态稳定 研究综述[J]. 电网技术,2012,36(9):81-87.

WU Wei, TANG Yong, SUN Huadong, et al. A survey on research of power system transient stability based on wide-area measurement information [J]. Power System Technology, 2012, 36 (9):81-87.

- [6] 吴为,汤涌,孙华东,等.利用实测响应信息的暂态功角失稳实时 判别方法[J].中国电机工程学报,2013,33(34):171-179.
 WU Wei,TANG Yong,SUN Huadong, et al. Real-time transient stability criterion based on post-disturbance response data [J]. Proceedings of the CSEE,2013,33(34):171-179.
- [7] 顾卓远,汤涌,孙华东,等. 一种基于转速差--功角差变化趋势的

暂态功角稳定辨识方法[J]. 中国电机工程学报,2013,33(31): 65-72.

GU Zhuoyuan, TANG Yong, SUN Huadong, et al. An identification method for power system transient angle stability based on trend of rotor speed difference-angle difference[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(31):65-72.

[8] 孙建华. 一种电力系统暂态稳定性快速实时预测方法[J]. 中国电机工程学报,1993,13(6):60-66.

SUN Jianhua. Transient stability real-time prediction for multimachine power systems by using observation[J]. Proceedings of the CSEE, 1993, 13(6):60-66.

[9] 李国庆. 电力系统暂态稳定预测控制的研究[J]. 电力系统自动 化,1994,18(3):25-31.

LI Guoqing. Study on prediction control for transient stability of power systems[J]. Automation of Electric Power Systems,1994,18 (3):25-31.

- [10] 宋方方,毕天妹,杨奇逊. 基于 WAMS 的电力系统受扰轨迹预测[J]. 电力系统自动化,2006,30(23):27-32.
 SONG Fangfang,BI Tianshu,YANG Qixun. Perturbed trajectory prediction based on wide area measurement systems[J]. Automation of Electric Power Systems,2006,30(23):27-32.
- [11] 邓晖,赵晋泉,吴小辰,等. 基于改进灰色 Verhulst 模型的受扰
 轨迹实时预测方法[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(9):18-23.

DENG Hui,ZHAO Jinquan,WU Xiaochen,et al. A novel postfault rotor-angle trajectory prediction method based on modified gray Verhulst model[J]. Power System Protection and Control, 2012,40(9):18-23.

[12] 谢欢,张保会,李钢,等. 基于广域发电机状态信息的电力系统
 暂态不稳定性实时预测[J]. 电力自动化设备,2009,29(7):28-32.

XIE Huan,ZHANG Baohui,LI Gang,et al. Real-time prediction of transient instability based on wide-area information of generator state[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29 (7):28-32.

- [13] 宋方方,毕天姝,杨奇逊. 基于暂态能量变化率的电力系统多摆 稳定性判别新方法[J]. 中国电机工程学报,2007,27(16):13-18.
 SONG Fangfang,BI Tianshu,YANG Qixun. Multi-swing stability assessment approach based on variation rate of transient energy of power systems[J]. Proceedings of the CSEE,2007,27(16): 13-18.
- [14] 张鹏飞,薛禹胜,张启平,等. 基于 PMU 实测摇摆曲线的暂态稳定量化分析[J]. 电力系统自动化,2004,28(20):17-22.
 ZHANG Pengfei,XUE Yusheng,ZHANG Qiping, et al. Quantitative transient stability assessment method using phasor measurement[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28 (20):17-22.
- [15] 谭伟, 沈沉, 刘峰, 等. 基于轨迹特征根的暂态稳定实用判据[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(16):14-19.
 TAN Wei, SHEN Chen, LIU Feng, et al. A practical criterion for trajectory eigenvalues based transient stability analysis [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(16):14-19.
- [16] 邓晖,赵晋泉,吴小辰,等.基于受扰电压轨迹的电力系统暂态 失稳判别(一)机理与方法[J].电力系统自动化,2013,37(16): 27-32.

155

DENG Hui,ZHAO Jinquan,WU Xiaochen,et al. Transient stability detection of power system based on perturbed voltage trajectories part I theory and method[J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(16):27-32.

[17] 邓晖,赵晋泉,吴小辰,等.基于受扰电压轨迹的电力系统暂态
 失稳判别(二)算例分析[J].电力系统自动化,2013,37(17):
 58-63.

DENG Hui,ZHAO Jinquan,WU Xiaochen,et al. Transient stability detection of power system based on perturbed voltage trajectories part II case analysis[J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(17):58-63.

作者简介:



赵晋泉(1972—),男,山西阳泉人,教 授,博士,主要研究方向为电力系统稳定分 析与控制(**E-mail**:jgzhao2@tom.com);

章玉杰(1991—),男,江苏南通人,硕 士研究生,主要研究方向为电力系统稳定与 控制.

赵晋泉

张 盼(1992—),男,广西来宾人,硕士 研究生,主要研究方向为电力系统暂态稳定 分析与控制;

金小明(1963—),男,湖南邵阳人,教授级高级工程师, 主要研究方向为电力系统规划与直流输电技术。

Development and application of simulation software for large power system transient stability detection technologies based on wide-area response

ZHAO Jinquan¹, ZHANG Yujie¹, ZHANG Pan¹, JIN Xiaoming², FU Chao², LI Hongxin²

(1. Research Center for Renewable Energy Generation Engineering, Ministry of Education, Hohai University,

Nanjing 210098, China; 2. Electric Power Research Institute, CSG, Guangzhou 510080, China)

Abstract: The present research in the power system stability field is focused on the technologies based on wide-area response for the real-time detection and emergency control of transient stability. Simulation software is developed, which takes the actual measurements of disturbed power system or the simulative results of off-line time-domain simulation software as its inputs to assess and visualize different transient stability detection technologies based on wide-area response for large power system. Its framework structure, function modules, engineering applications and different features, such as easy file management, extensible transient stability detection, fault batch calculation, are presented. Applications show its better engineering value.

Key words: electric power systems; transient stability; wide-area response; transient instability detection; simulation software; visual assessment

(上接第 142 页 continued from page 142)

Design of digital controller for frequency-tuned series resonance power source

HUANG Xinbo, LIU Bin, ZHANG Zhouxiong, QIAO Weizhong, JI Linyao

(College of Electronics and Information, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

Abstract: The pole assignment algorithm is introduced based on the concept of state feedback and a dual-loop controller with the inner loop of filtering inductor current and the outer loop of filtering capacitor voltage is designed based on the load current feed-forward. A state observer is designed for observing the inductor current to avoid the direct measuring. Simulative and experimental results show that, the designed controller can ensure the sine-shape and stability of the output voltage of frequency-tuned series resonance power source quite well to accurately lock up the resonance frequency of HV loop during the frequency sweep and provide excellent sinusoidal input voltage for HV loop during AC voltage withstanding test.

Key words: series resonance; electric power supplies to apparatus; state feedback; pole assignment; AC voltage withstanding test