

一次调频对电网频率特性影响及频率 相关稳控措施研究

胡立锦^{1,2}, 杨永全¹, 常喜强³, 张新燕², 姚秀萍³

(1. 重庆电力公司建设分公司 重庆 410021; 2. 新疆大学电气工程学院 新疆 乌鲁木齐 830047;
3. 新疆电力调度通信中心 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要: 一次调频对电网频率特性的影响与一次调频系统各项主要技术指标及参数的整定值密切相关。通过理论研究, 讨论一次调频不同技术指标和参数整定对电网频率特性影响程度的大小和趋势, 并结合运行大电网建立合理的仿真系统进行仿真计算分析, 得出有益于提高电网频率稳定性的一次调频措施和建议。

关键词: 一次调频; 频率特性; 稳定性; 仿真计算

Abstract: The influence of primary frequency modulation on grid frequency characteristic is closely related to main technical indexes and parameter setting values of the primary frequency modulation system. Through the theoretical research, the influence degree and trends caused by different technical indexes and parameter setting values are discussed. Then, the simulation analysis and calculation are carried out on a reasonable simulation system within the large grid which is in operation. The simulation results give some measures and proposal which is beneficial to the improvement of the frequency stability.

Key words: primary frequency modulation; frequency characteristic; stability; simulation calculation

中图分类号: TM712 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2013)04-0010-05

0 引言

一次调频指的是当电网频率超出一定范围时, 电网频率的变化将使电网中参与一次调频的发电机组能在短时间内自动快速增加或减少负荷, 利用机组的蓄热来快速响应电网频率的变化, 以使电网频率重新趋于新平衡、稳定的能力。它是防止电网频率大幅波动、维护电网频率稳定的重要手段^[1]。

随着电网跨区域互联、直流输电容量的不断增加以及风能、核能等电源的飞速发展, 相对降低了电网的自调节能力, 大规模接入的风电机组甚至引入了额外的随机功率扰动, 使电网稳定性进一步恶化。合理规范并分析发电机组一次调频主要技术指标变化对电网频率特性的影响, 保障机组良好的一次调频能力, 对电网的安全稳定运行和未来智能电网环境下的优化调度具有重要的意义^[3-5]。

近年来, 对发电机组一次调频特性的研究多集中在对一次调频能力在线估计^[4]的试验研究^[5]和对一次调频稳定性的研究等两方面。文献^[6]中针

对单机不稳定机组并网后可能稳定这一现象进行了动态分析, 证明了当电网有足够的一次调频稳定储备时, 单机不稳的机组并入电网运行时, 其自身的不稳定随之消失, 但在一定程度上降低了电网的一次调频稳定性。文献^[7]理论分析了调差系数设置与电网频率稳定性和调频能力的关联关系。文献^[8]阐述了机组一次调频应具备的特征, 并以此为基础给出了评价机组一次调频性能的4个指标; 讨论了有效扰动的必备因素, 自动发电控制对一次调频效果评价的影响及处理方法等问题。

这里以静态评价方法为基础, 具体分析发电机组一次调频主要技术指标变化对电网频率特性的影响, 寻找调差系数、频率偏差死区和负荷调节范围等因素与电网频率的关系, 并以某地区实际运行电网为例建立仿真模型, 参考电网具体要求进行仿真分析, 对电网发电机组一次调频系统的参数设置提出建议。

1 一次调频基本原理

现代发电机组调节系统的控制回路一般如图 1

基金项目: 国家自然科学基金项目(50767003, 50867004)

所示,其中 δ 为机组的转速不等率(亦称调差系数)。正常情况下,当电网的频率在给定的死区范围内时,机组将严格按照AGC或手动负荷指令控制发电机组的出力。一旦电网出现负荷扰动,不平衡的功率将促使频率快速变化,当电网频率越过死区范围时,一次调频回路投入运行,同时将根据转速不等率的设置,改变机组的出力,维护电网的稳定和平衡。图2为发电机一次调频的作用图,当功率波动为 $P_{L1} \rightarrow P_{L2} \rightarrow P_{L1}$ 时,平衡运行点变化为 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ 。

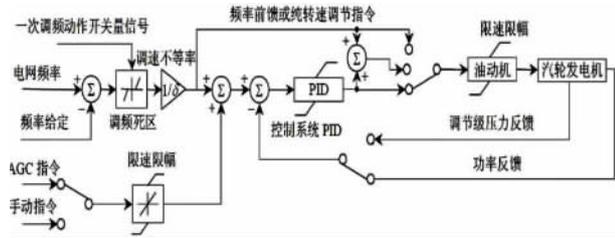


图1 机组调节控制系统框图

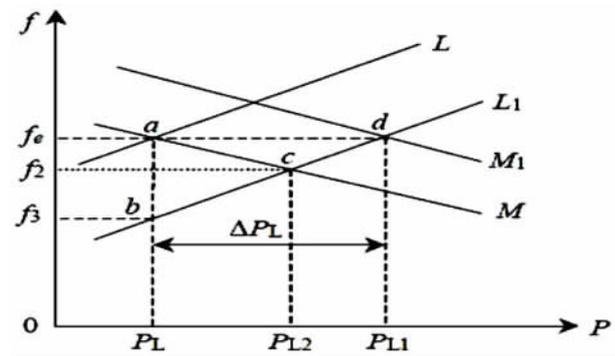


图2 电力系统的功率-频率关系

2 一次调频指标对电网频率特性影响分析

2.1 频率偏差死区作用分析

调速系统设置死区有两个用途:其一是当设置的死区较小时,可以过滤转速小扰动信号,使机组功率稳定;其二是当设置死区较大时,使机组不参与电网一次调频,只带基本负荷。调速器死区设置过小及过大都是不合理的,死区过小,轻微的频率偏差都会引起调速器动作,导致机组频繁调节;死区过大,即使发生较大功率缺额时调速器也不动作,将影响系统一次调频。当频率偏差超过死区边界时,调频死区估计值为

$$\Delta f_D = |f_i - f_N| \quad (1)$$

当频率偏差重归死区边界时,调频死区估计值为

$$\Delta f_d = |f_i - f_N| \quad (2)$$

考虑调频指令信号的延迟因素,一般定义 Δf_D 与 Δf_d 的加权平均值作为系统实际死区值以配合调速器死区设定。

2.2 调差系数作用分析

发电机随电网频率波动发出功率的单位变化量为单位调节功率,其倒数即为调差系数,用 δ 表示,即

$$\delta = -\frac{\Delta p_{GN}}{f_N \Delta P_G} \times 100\% = \frac{f_0 - f_N}{f_N} \times 100\% \quad (3)$$

当单台机组在同一同步器下运行时,转速由初始值 n_0 变为额定值 n_N 的变化量与额定值 n_N 比值的百分比为系统的调速不等率,可以推导出调速不等率在数值上等于调差系数。

$$\begin{aligned} \frac{n_0 - n_N}{n_N} \times 100\% &\xrightarrow{n = \frac{60f}{P}} \frac{60f_0/P - 60f_N/P}{60f_N/P} \times 100\% \\ &= \frac{f_0 - f_N}{f_N} \times 100\% = \delta \end{aligned} \quad (4)$$

对于复杂的电网系统调差系数决定了系统频率与负荷之间的关系,对系统中各发电机组进行等值可得

$$\begin{aligned} \Delta P_{\Sigma} &= \sum_{i=1}^M \Delta P_{Gi} = -\frac{\Delta f}{f_N} \times \sum_{i=1}^M \frac{P_{GiN}}{\delta_i} \\ &= -\frac{\Delta f}{\delta_{\Sigma}^* f_N} P_{\Sigma N} \end{aligned} \quad (5)$$

在电网出现负荷扰动时,较小的 δ 可以获得调频机组较大的功率支持,但不利于机组自身的稳定;反之较大的 δ 不利于电网应对突发扰动或事故时的频率稳定,但有利于机组自身设备的稳定运行。实际中需考虑机组响应一次调频指令的程度和出现功率超调而过分低估或高估调速不等率 δ 数值的情况对计算结果精确度的影响。

2.3 负荷调节范围影响分析

设置机组一次调频最大幅度是因为快速大幅度变负荷危及到机组的安全运行。对于燃煤发电机组,机组通过调速器(DEH)快速一次调频变负荷的最大幅度应通过试验确定,主要以汽轮机调门快速变化时主蒸汽压力、温度等与机组安全运行参数的允许变化幅度和速率为依据。而对于已投入AGC控制回路的系统在系统发生扰动时,往往容易引起AGC指令的变化,使机组的一次调频动作与AGC指令变化的响应叠加在一起,此时还应考虑AGC指令对系统的影响。

3 仿真实例分析

某地区孤立电网结构如图3所示,电网通过220 kV新邵阳变电站与主电网相连。地区电网夏季外送极限方式下,外送功率为130 MW,占全网发电负荷比例为15.7%;冬季受电极限方式下,输入极限功率130 MW,占全网发电负荷比例为14.9%。

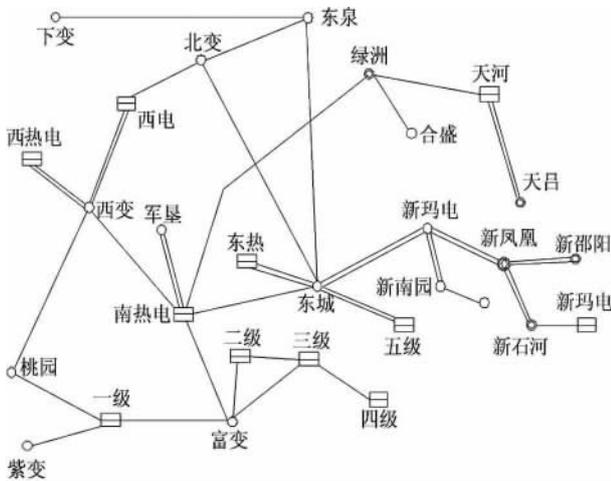


图3 某地区电网结构图

两个极限方式下,如果不考虑系统低频减载和低压减载措施,在发生城东—新玛线路三相短路跳双回线故障后,当火电机组转速不等率、调频死区、调频负荷范围采用不同定值时,仿真并分析孤网频率及发电机原动机功率变化情况。

3.1 调差系数对系统频率特性的影响分析

调差系数是反映机组调频能力的重要指标,既反映了机组一次调频能力的强弱,又表明了稳定性的好坏。调差系数越大,机组对电网的调频能力越小,机组运行越稳定;调差系数越小,机组对电网的调频能力越强,但机组运行的稳定性差。当调差系数一般设置为3%~6%变化时,得到系统稳定计算曲线如图4、图5所示。

受电极限方式下,从图4中可以看到,如果火电机组调差系数取为3%,则机组功率会产生较大的过调,频率上升超过51.5 Hz,导致发电机OPC保护动作,系统频率恢复时间较长,稳定性较差。火电机组调差系数取为5%或者6%,对系统频率的调节能力和调节过程相差不大,系统恢复频率均在49.5 Hz以上。

外送极限方式下,从图5中可以看到,如果火电机组调差系数取为3%,则系统频率波动较大,稳定

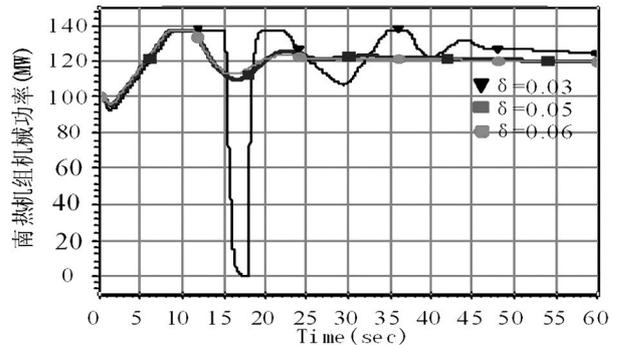
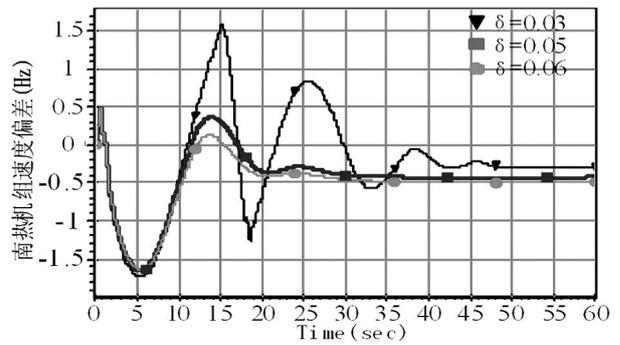


图4 受电极限方式机组调差系数对孤网影响曲线

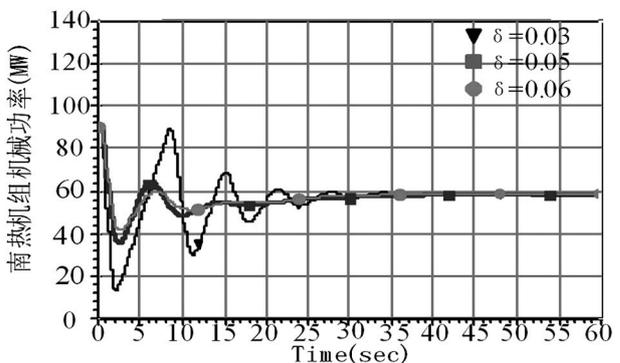
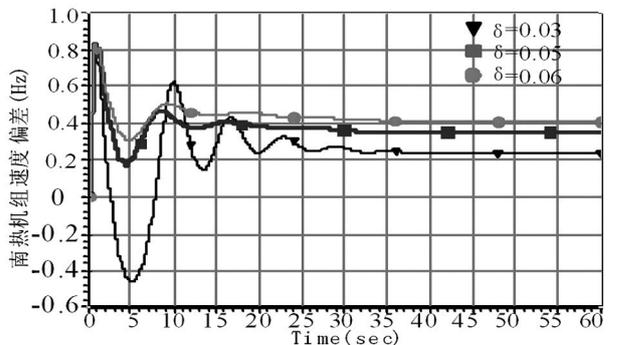


图5 外送极限方式机组调差系数对孤网影响曲线。火电机组调差系数取为5%或者6%,对系统频率的调节能力和调节过程相差不大,系统恢复频率均在50.5 Hz以下。

3.2 调频偏差死区对系统频率特性的影响分析

不同死区设置仿真曲线如图6、图7所示。

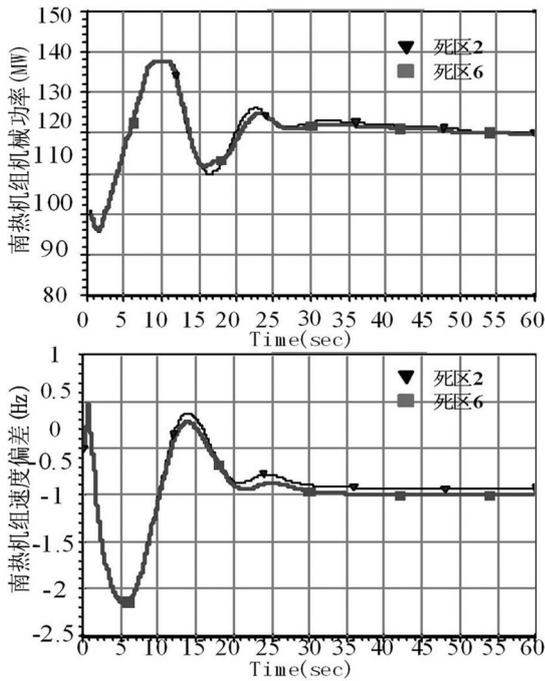


图6 受电极限方式机组死区设置对孤网影响曲线

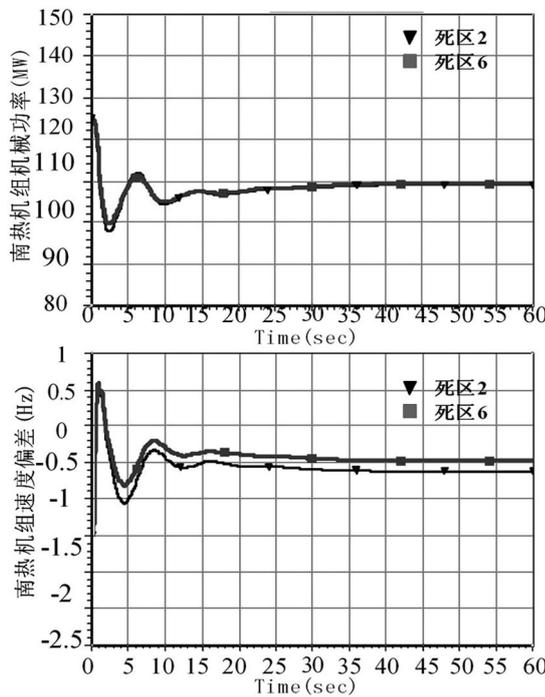


图7 外送极限方式机组死区设置对孤网影响曲线

电网机组目前实际调速器死区设置分别为5转(天河机组)和2转(其他机组)。由图6、图7中可以看到,参照该地区电网一次调频管理规定,孤岛电网机组调速器死区设置为2转(电液型)或者6转(机械、液压),对发电机功率调节和孤网频率变化影响都不大。因此,目前机组的实际设置可继续采用,若进一步调查及核实天河机组的调速器类型和死区设置,还是能在一定程度上改善电网性能。

3.3 负荷调节范围对系统频率特性的影响分析

图8、图9为不同运行方式下改变一次调频限幅比例电网影响曲线。

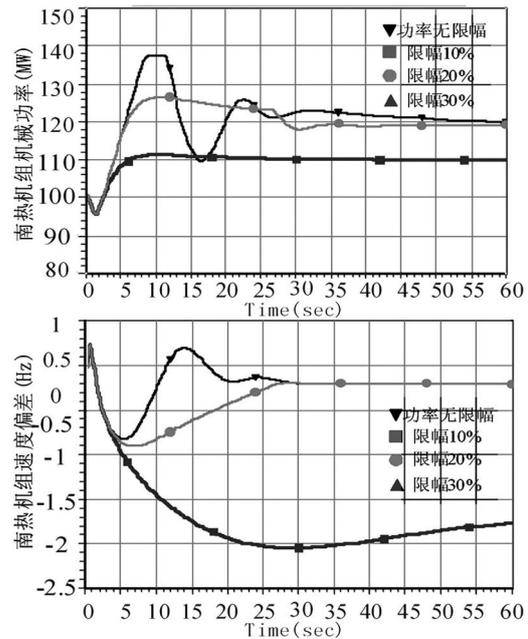


图8 电极限方式机组限幅对孤网影响曲线

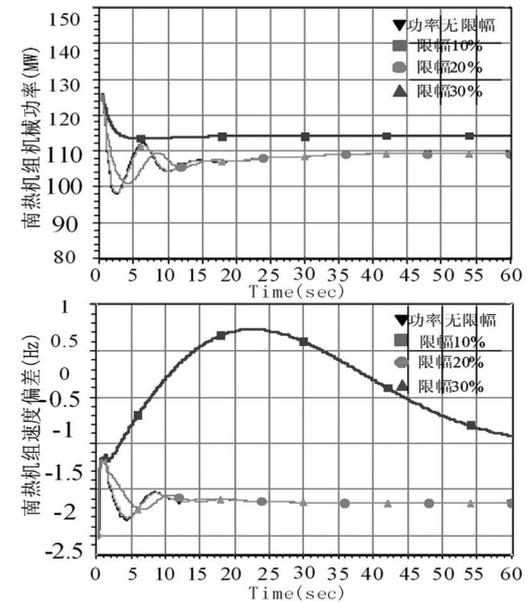


图9 外送极限方式机组限幅对孤网影响曲线

电网受电极限方式下,如果一次调频向上限幅10%,则发生联络线断开故障后,即使全部机组功率全部上调10%,仍然不能弥补电网功率缺额,孤网频率将停留在47 Hz以下,还需要采取低频减载措施才能保证系统频率稳定。外送极限方式下,如果一次调频向下限幅10%,则发生联络线断开故障后,即使全部机组功率全部减少出力10%,孤网仍有剩余功率,系统频率最高大于52 Hz,将引发电机OPC保护动作,因此还需要采取高周切机措施防止OPC动作以及使系统频率恢复。

从图8中可以看到,设置较大的一次调频限幅,可以在较大范围内调节机组功率,有利于系统频率的恢复。极限方式下,电网机组限幅20%可以满足孤网对系统频率调节的需求。但电网目前除天河电厂外,其他火电厂发电机组大都为供热机组,在考虑供电的同时,需保证稳定的供热,因此一次调频幅度不能设置的过大;非供热火电机组受锅炉蓄热能力限制,向上调频幅度亦不能过大。

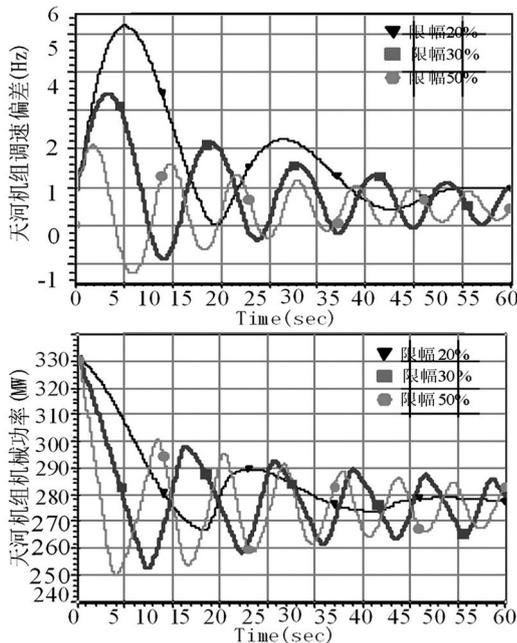


图10 机组限幅对天河系统影响曲线

天河电厂只通过1条220kV线路接入系统,发生单机带天铝负荷的可能性较大,且在此情况下,只有通过调节天河机组出力,才有可能保证天铝负荷的供电并维持单机带负荷系统的频率在正常水平。图10为发生天河—绿洲220kV线路三相故障后,在天河机组采用不同限幅定值下单机带负荷系统的频率和机组出力变化情况。从图中可以看到,当天河机组向下限幅整定为20%时,由于压出力速度较慢,孤网初始频率波动最高值超过55Hz,机组OPC保护将动作立即关停机组;当天河机组向下限幅整定为50%时,孤网初始频率波动最低值又低于49Hz,如果天铝厂内配置低频减载装置,则部分负荷将被低频切除;当天河机组向下限幅整定为30%时,孤网频率波动最高53.5Hz、最低49.1Hz、稳态值约在50.5Hz,能够满足系统对频率的要求,同时波动过程中又不致引起稳控装置的动作,但需要引起注意的是,在单机带负荷运行情况下,天河机组OPC保护的51.5Hz保护功能不能够投入,否则OPC反复动作,孤网频率最低到30Hz以下,天河机组不能够带负荷稳定运行。

4 结 论

电网能源结构、地理布局、运行方式、机组参数等的多元化使得电网频率特性的可控性和可预见性大幅降低,对电网频率特性及其主要影响因素进行研究具有不可言喻的必要性和价值。从影响频率特性的一次调频方式入手,讨论和分析不同一次调频评价指标对电网频率特性的影响规律,结合某地区实际电网仿真并得出以下结论。

(1) 调差系数较大时频率下降较大,调速系统能调出的有功功率较少,系统的稳定性较好,调差系数设置过小容易引起系统波动加剧,不利于系统恢复稳定,在满足系统其他参数整定的前提下可以适当调高调差系数以优化系统频率响应程度。

(2) 死区设置对电网频率特性影响较小,一般满足设置:电液型汽轮机调节控制系统的火电机组和燃机死区控制在 $\pm 0.033\text{ Hz}$ ($\pm 2\text{ r/min}$)内;机械、液压调节控制系统的火电机组和燃机死区控制在 $\pm 0.10\text{ Hz}$ ($\pm 6\text{ r/min}$)内;水电机组死区控制在 $\pm 0.05\text{ Hz}$ 内。若要进一步提高死区设置的准确性需根据当地电网实际和相关技术标准进行试验整定。

(3) 燃煤机组由于锅炉蓄热能力有限,燃烧调整需要较长时间,在加负荷方面以6%~10%为宜;当不平衡功率超过一次调频负荷上限,通过低周减载保证电网频率在允许范围。在减负荷方面可以将一次调频下限设置为-50%,防止OPC反复动作造成机组和电网振荡;若不平衡功率大于50%,还应采用其他电网稳定措施。

参考文献

- [1] 刘念,谢驰,滕福生. 电力系统安全稳定问题研究[J]. 四川电力技术, 2004, 28(1): 1-6.
- [2] 于达仁,郭钰锋,徐基豫. 发电机组并网运行一次调频的稳定性[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(9): 59-63.
- [3] 高林,戴义平,马庆中,等. 特高压线路解列后区域互联电网一次调频稳定性研究[J]. 电网技术, 2009, 33(20): 27-32.
- [4] 段南,李国胜,王玉山. 大型火电机组一次调频功能投入的研究[J]. 华北电力技术, 2003(10): 1-4.
- [5] 吴瑞涛,常澍平,肖利民. 电网调度侧一次调频在线监测系统的开发与应用[J]. 河北电力技术, 2008, 27(3): 15-22.

(下转第65页)

信息类型将实时信息进行分类,再结合历史信息和设备运行情况,对保护的健康水平进行综合评价,判断设备是否处于异常状态。而专家分析系统根据继电保护装置的报警信息,利用推理原则进行推理分析,同时结合运行人员的经验判断来诊断保护装置可能的异常。

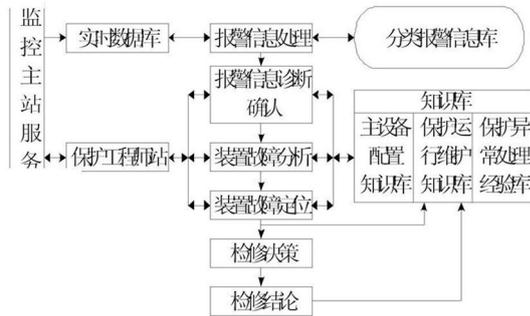


图5 保护状态检修系统工作流程图

4 结论

继电保护装置状态检修的应用正方兴未艾,在介绍了继电保护检修技术现状及状态检修技术应用难点的基础上,提出了实现继电保护状态检修的关键技术,分析了继电保护状态检修系统的基本结构和功能组成,为继电保护状态检修的实用化作出了一些尝试,希望能起到抛砖引玉的作用,促进继电保护装置状态检修早日实施。

参考文献

[1] 吴杰余,张哲,尹项根,等. 电气二次设备状态检修研究[J]. 继电器,2002,30(2): 22-24.

[2] 高翔,刘韶俊. 继电保护状态检修及实施探讨[J]. 继电器,2005,33(20): 23-27.

[3] 韩平,赵勇,李晓朋,等. 继电保护状态检修的实用化尝试[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(19): 92-95.

[4] 李永丽,李致中,杨维. 继电保护装置可靠性及其最佳检修周期的研究[J]. 中国电机工程学报,2001,21(6): 63-71.

[5] 丁茂生,王钢,贺文. 基于可靠性经济分析的继电保护最优检修间隔时间[J]. 中国电机工程学报,2007,27(25): 44-48.

[6] 李红宁,张勇军,吴国沛,等. 基于可靠性分析的微机继电保护设备最佳检周期研究[J]. 电力自动化设备,2007,27(9): 71-74,87.

[7] 沈晓凡,舒治淮,刘宇,等. 2008年国家电网公司继电保护装置运行情况[J]. 电网技术,2010,34(3): 173-177.

作者简介:

宋柯(1969),男,高级工程师,从事水电站生产管理工作;

何滔(1983),男,工程师,从事电力系统继电保护工作;

郑焯文(1990),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统继电保护。(收稿日期:2013-03-31)

(上接第14页)

[6] 杨冬,刘玉田,牛新生. 分区电网限流运行方式的综合决策方法[J]. 电力系统自动化,2010,34(12): 34-38.

[7] 竺炜,谭喜意,唐颖杰,等. 汽轮发电机组一次调频性能的分析[J]. 电力系统自动化,2008,32(24): 52-55.

[8] 金娜,刘文颖,曹银利,等. 大容量机组一次调频参数对电网频率特性的影响[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(1): 91-95.

[9] 于达仁,郭钰锋. 电网一次调频能力的在线估计[J]. 中国电机工程学报,2004,24(3): 72-76.

[10] 尹峰. CCS参与的火电机组一次调频能力试验研究[J]. 中国电力,2005,38(3): 74-77.

[11] 张江滨,李华,谢辉平. 水电机组并网运行频率调节系统的稳定性[J]. 电网技术,2009,33(9): 57-62.

[12] 刘明松,孙华东,何剑. 考虑暂态频率偏移的一次调频旋转备用优化方法[J]. 电网技术,2011,35(8): 129-133.

[13] 张江滨,李华,谢辉平. 基于发电机组出力曲线特征

的一次调频性能评价方法[J]. 电力系统自动化,2012,36(7): 99-103.

[14] 王珍意,谢一工,尹成全,等. 对CPS标准下AGC与一次调频配合问题的研究[J]. 电力系统保护与控制,2007,37(19): 22-25.

[15] 周德强. 基于最小一乘法的GM(1,1)模型及在负荷预测中的应用[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(1): 100-103.

作者简介:

胡立锦(1986),男,硕士,主要从事电力系统安全控制分析方面的研究;

杨永全(1973),男,高级工程师,主要从事风力发电技术方面的研究;

常喜强(1978),男,高级工程师,主要从事电力系统安全稳定分析工作;

张新燕(1964),女,博士,教授,博士生导师,研究方向为风力机控制、电气系统优化设计。

(收稿日期:2012-04-24)