

华东电网电钟时间偏差分析

罗凯明, 孙勇, 侯勇

(华东电力调度中心, 上海 200002)

摘要: 随着电力市场的推进, 对电能质量有了新的要求。电钟时间是电能质量的标志之一, 与电网的频率密切相关, 会从频率的波动中引入偏差。准确的电钟时间能提供一个公平、合理的基准点, 使各电力公司之间的电量交易以及无意电量的偿还, 不会由于周波累计值的不同而产生利益不均的矛盾。通常电网的频率在 50 Hz 上下波动, 介绍了国内外电网中常用的电钟时间偏差调节手段和标准, 并在华东电网频率的基础上, 对电钟时间偏差进行分析计算, 结果显示: 华东电网频率普遍偏高, 电钟时间偏差较大, 有必要采取一定的调整电钟时间偏差的措施, 并对此提出了一些建议。

关键词: 频率; 自动发电控制; 电钟偏差; 电能质量; 电力市场

Time error correction in East China Grid

LUO Kai-ming, SUN Yong, HOU Yong

(East China Power Dispatching Center, Shanghai 20002, China)

Abstract: The deregulation of power industry led to some new features of power quality. Power grid time is one of the symbols of power quality. Power grid frequency is normally scheduled at 50.00 Hz and controlled to that value. The automatic generation control is imperfect and over time, the average frequency will be slightly above or below 50.00Hz resulting in mechanical electric clocks developing an error compared with true time. This paper specifies the procedure to be used for reducing the power grid time error to within acceptable limits of true time. The purpose of this correction is to ensure that time error corrections are conducted in a manner that does not adversely affect the reliability of the interconnection. By means of the analysis of the frequency of East China Grid, the results indicate that is necessary to draw a standard of time error corrections in East China Grid in the future. Finally, some suggestions are put forward.

Key words: frequency; automatic generation control; time error; power quality; power market

中图分类号: TM711

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)02-0072-04

0 引言

电钟时间偏差是由于电力系统频率偏差的累积而形成的。我国规定电力系统标准频率为 50 Hz。由于系统容量和实际情况的差异, 不同的电网对频率和电钟时间偏差范围有着不同的规定。通常, 对装机容量在 3 000 MW 及以上的系统, 频率允许偏差为 (50 ± 0.2) Hz, 电钟指示与标准时间偏差不大于 30 s; 装机容量在 3 000 MW 以下的系统, 频率允许偏差为 (50 ± 0.5) Hz, 电钟指示与标准时间偏差不大于 1 min。减少系统时钟偏差, 对装机容量在 3 000 MW 及以上的电力系统, 日累计时差不宜超过 ± 5 s, 这是电力系统自动发电控制的目标之一^[1]。

以前, 我国各电网电钟时间偏差控制的主要目

的在于, 保证社会上使用电钟计时的用户其时间的相对准确性。随着电子石英钟表的广泛使用, 以电钟计时不再是人们的选择, 我国各大电网调整电钟时间偏差的工作要求也逐渐淡化^[2]。

在电力走向市场化的今天, 控制电钟时间偏差既能作为提高电力系统周波质量的一种手段, 又能提供一个公平、合理的基准点, 使电力公司与电力用户在电量上的权益都能得到保证, 同时各电力公司之间的电量交易以及无意电量的偿还也不会由于周波累计值的不同而产生利益不均的矛盾^[3]。

本文详细分析了华东电网的频率数据, 并计算出日累计电钟时间偏差, 据此对华东电网电钟时间偏差调整工作提供一些可行的建议。

1 国内外研究现状

北美可靠性协会于 2005 年 1 月 15 日发布的新的手动调整电钟时间偏差标准。该标准将电钟时间偏差调整的主体分为两类: 平衡权威 BA (Balancing Authority) 和监控主体 ITM (Interconnection Time Monitor), BA 的任务是负责本区域的发用电平衡, 整合一切资源来为维持整个互联电网的实时频率, 其地位和功能相当于华东电网的各省市调; ITM 相当于华东网调, 负责监视互联电网的电钟时间偏差, 发起或终止电钟时间偏差修正^[4]。

互联电网中的 BA, 都应该参与电钟时间偏差的调整, 此项工作应在 ITM 的指导下统一进行, 持续时间至少是一个小时, 且各 BA 的调整速率要保持一致。中途如果由于系统的可靠性降低, 考虑到系统的安全性, ITM 必须暂时中止调整电钟时间偏差。此后, 当频率大于等于 50 Hz, 且持续 10 min 以上时, 可重新开始继续调整电钟时间偏差; 或者当频率小于等于 50 Hz, 且持续 10 min 以上时, 亦可重新开始修正电钟时间偏差。BA 手动修正电钟时间偏差的手段有两种:

1) 调整频率。即以频率为控制目标, 根据 ITM 的指示偏离 50 Hz 运行, 一般为(50±0.02) Hz。通常, 电力系统调频的控制目标值为 50 Hz, 即采用一切手段使电网的运行频率恢复到 50 Hz; 而对于电钟时间偏差调节而言, 此时的调频则是为了减小电钟时间偏差, 故意驱使电网频率短时偏离 50 Hz 运行, 通常以(50±0.02) Hz 为控制目标值。

2) 计划调整。即以功率为控制目标值, 当调频难以生效时, 电网中的各 BA 根据频率折算后的数值来调整其送受电计划。

ITM 每年至少校准电钟偏差测量装置一次, 每次电钟时间偏差的手动调整均作记录; 每月一号, ITM 公布全网电钟时间偏差(精确到 0.01 s), 以便各 BA 有统一的修正标准。

亚洲的南亚电网也有类似的电钟时间偏差调整规定^[5]。我国目前只有南方电网因与香港联网仍有调整电钟偏差的工作要求。

2 华东电网电钟时间偏差

2.1 电钟时间数据分析方法

目前华东电网频率取样时间为 1 s, GPS 标准时钟频率 f_0 为 50 Hz, 即 1 s 走了 50 个周期, 而实际

电网频率 f_i 总会与标准频率 f_0 相偏差, 当实际频率 f_i 大于 f_0 时, 电钟走得较快, 1 s 不止走了 50 个周期; 当实际频率 f_i 小于 f_0 时, 电钟走得较慢, 1 s 走了不到 50 个周期。

据此计算电钟偏差如下:

1 s 的电钟频率差值:

$$\Delta f_i = f_i - f_0 \quad (1)$$

表示在 1 s 的时间范围内, 电钟比 50 个周期多走的周期数(本文取频率高为正)。

而 GPS 标准时钟的一个周期为 0.02 s, 所以在 1 s 的范围内, 电钟时间与 GPS 标准时间的差值为:

$$\Delta t_i = 0.02 \times \Delta f_i \quad (2)$$

一天共计 86 400 s, 频率取样数据 f_i 用数组表示为:

$$F = \{f_1, f_2, \dots, f_{86400}\} \quad (3)$$

实际频率 f_i 与标准频率 f_0 的差值用数组 ΔF 表示为:

$$\begin{aligned} \Delta F &= \{f_1 - f_0, f_2 - f_0, \dots, f_{86400} - f_0\} = \\ &\{f_1 - 50, f_2 - 50, \dots, f_{86400} - 50\} \\ \Delta F &= \{\Delta f_1, \Delta f_2, \dots, \Delta f_{86400}\} \end{aligned} \quad (4)$$

因此电钟与标准时钟偏差表示为:

$$\begin{aligned} \Delta T &= \{\Delta f_1 \times 0.02, \Delta f_2 \times 0.02, \dots, \Delta f_{86400} \times 0.02\} \\ \Delta T &= \{\Delta T_1, \Delta T_2, \dots, \Delta T_{86400}\} \end{aligned} \quad (5)$$

一天内电钟的偏差为数组的元素和, 即:

$$\sum_{i=1}^{86400} \Delta T_i = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \dots + \Delta T_{86400} \quad (6)$$

表 1 电钟时间偏差计算结果

Tab.1 Computation result of time error

日期 (2006年)	累计电钟时 间偏差/s	日期 (2006年)	累计电钟时 间偏差/s
07月01日	5.836 1	07月17日	6.387 0
07月02日	6.184 5	07月18日	2.241 5
07月03日	4.733 3	07月19日	5.177 5
07月04日	3.263 2	07月20日	4.467 6
07月05日	7.430 1	07月21日	5.795 9
07月06日	3.722 9	07月22日	4.609 0
07月07日	5.750 8	07月23日	11.277 5
07月08日	5.905 2	07月24日	5.257 9
07月09日	5.816 6	07月25日	6.591 6
07月10日	5.526 5	07月26日	7.256 7
07月11日	2.101 5	07月27日	5.316 1
07月12日	5.077 5	07月28日	4.343 1
07月13日	5.348 2	07月29日	2.410 7
07月14日	8.584 7	07月30日	4.752 6
07月15日	9.870 4	07月31日	7.736 9
07月16日	10.655		

2.2 取样计算结果

根据上述算法, 编制 Matlab 程序计算华东电网 7 月 1 日到 7 月 31 日电钟偏差时间, 7 月为华东电网夏季负荷高峰月, 用电较为紧张, 理论上说, 电网频率应该偏低。但是, 上述结果表明, 7 月华东电网电钟比较 GPS 标准时钟而言较快。即电网的频率在这段时间内普遍偏高, 一个周期所需时间小于 20 ms。其中, 全月仅有 9 天的日累计电钟时间偏差小于 5 s, 没有一天的电钟时间偏差为负值。这种情况出现在用电紧张的夏季高峰, 说明华东电网现行的 CPS 考核标准虽然能将频率实时地约束在一定的合格范围内, 却未考虑对频率持续偏高或偏低的约束, 这点恰恰从电钟时间累计偏差中体现了出来, 因此, 华东电网有必要采取相应的电钟时间偏差调整措施来应对这一问题。

图 1~4 示意了全月电钟时间偏差最小的 7 月 11 日, 和全月电钟时间偏差最大的 7 月 23 日的电网频率分布。

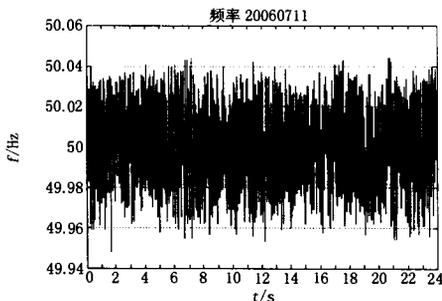


图 1 07 月 11 日电网频率

Fig.1 Data of frequency on 17, July

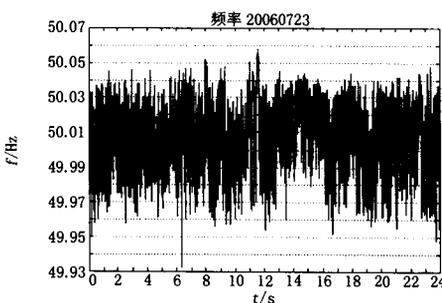


图 2 07 月 23 日电网频率

Fig.2 Data of frequency on 23, July

图 1、2 的横坐标为时间, 单位秒, 总长度为一 天 24 小时; 纵坐标为频率值, 单位赫兹。图 3、4 横坐标为频率范围, 单位赫兹; 纵坐标为频率出现次数, 也可理解为一天中, 某一频率范围出现的

累计秒数, 单位秒。例如图 4 中, 表明频率在 50.00~50.01 Hz 之间的总秒数约为 20 000 s。由图可见, 7 月 23 日电网频率超过 50 Hz 运行的时间明显要大于 7 月 11 日。

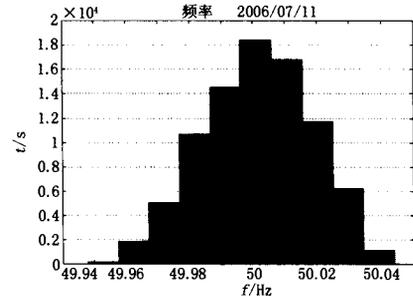


图 3 07 月 11 日频率分布

Fig.3 Distribution of frequency on 11, July

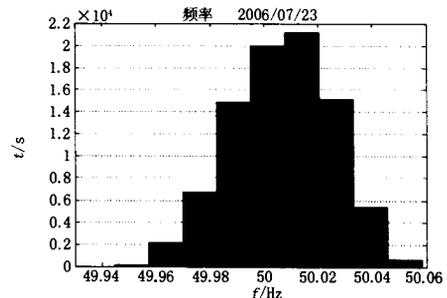


图 4 07 月 23 日频率分布

Fig.4 Distribution of frequency on 23, July

3 电钟时间偏差调整的方法

3.1 自动发电控制

自动发电控制 AGC (Automatic Generating Control) 着重解决电力系统在运行中的频率调节和负荷分配问题, 以及与相邻电力系统间按计划进行功率交换。自动发电控制对电力系统频率进行监视和调整。当频率偏离额定值后, 调节发电机的出力以使电力系统的有功功率达到新的平衡, 从而使频率能维持在允许范围之内。

一个大电力系统是由几个区域电力系统通过联络线互联构成。各区域电力系统按预定计划进行功率交换。每一个区域电力系统的负荷、线路损耗与联络线净交换功率之和必须与该地区的发电出力相等。

AGC 控制模式有一次控制模式和二次控制模式两种, 后者又可分为: 时间偏差校正模式和联络线累积电量偏差校正模式。因此, 可以在 AGC 中对电

钟时间与 GPS 时间之间的偏差进行自动修正。该方式的基本原理是在频率及联络线功率偏移控制方式的基础上, 增加了对时间偏差进行修正的功能。其区域控制偏差为^[6,7]:

$$ACE = \Delta P_t - K_t \Delta f - K_t \Delta t$$

式中: Δt 为时间偏差, K_t 为时间偏差修正系数。当 Δt 超过规定值时 (一般规定为 ± 5 s), 可以按设定的 K_t 值折算成校正控制量。一般将 $K_t \Delta t$ 设定为 0.01~0.05 Hz, 这相当于用 7~1.4 h 可校正 Δt 等于 5 s 到 0 s。在校正 Δt 时各互联电网应协调统一校正。

此外, 采用自动修正时差及交换电能差控制方式, 可以兼顾对时间偏差与交换电能差的修正, 使时间偏差与交换电能差在允许的范围内。其区域控制偏差为:

$$ACE = \Delta P_t - K_t \Delta f - K_t \Delta t - K_e \Delta W$$

可以校正由 ΔP_t 产生的随机电量误差 ΔW 和由 Δf 产生的时差 Δt , 当随机电量 ΔW 积累到一定值时, 可按峰、谷时段所积累的电量在规定的 h 小时内进行补偿。在校正 ΔW 时各互联电网也应协调统一校正。

根据电力系统运行的需要选定控制方式后, 自动发电控制程序即可算出区域控制偏差, 确定发电机组基点功率, 计算发电机组承担的调节分量, 确定发电机组应发有功功率, 发出相应的控制指令。

3.2 手动修正电钟时间偏差

无论电网的 AGC 是否加入修正电钟时间偏差分量, 由于电网频率的波动, 电钟时间偏差总会累计超过一定限值, 所以电网仍然需要手动修正电钟时间偏差。

以上文提到的北美可靠性协会标准 (BAL-004-0) 最具代表性, 需要制定相应的手动修正电钟时间偏差规范, 相应的起始时间、调节方法, 以及不同的控制区域的调节系数等, 都需要在实际运行中, 深入研究分析, 提取合适的参数。

3.3 华东电网宜采用的方法

华东电网、省市调的 AGC 软件都是按现在实行的 CPS 考核标准设计, 其 ACE 计算公式较为简单: $ACE = \Delta P_t + K_t \Delta f$ 。加入电钟时间偏差修正分量后, 需要对 EMS 中的 AGC 控制策略进行调整。通常而言, 对 AGC 软件的改造是比较困难的。

国际上较为成熟的方法是, 将无意交换电量考核和电钟时间偏差修正考虑到现行 CPS 考核中, 构

建新的 ACE 计算公式^[9]。但是, 由于华东电网现行的无意交换电量不是采用同时段电量返还的方法来处理, 该方法不能推行。因此, 目前而言, 华东电网采用手动修正电钟时间偏差不失为一种切实可行的方法。

4 结论及展望

通过对华东电网的计算分析表明, 电网的日累计电钟时间偏差偏大, 从一个侧面反映了电网的运行质量。

随着电力市场化的不断进展, 各公司的联络线口子计划越来越多地由各种类型的交易组成。市场交易要求买卖双方如期如数履行电量合同, 但是电网的性质决定它又是瞬息万变的, 建立在电钟累计偏差基本为零基础上的无意电量的累积与定期补偿能比较好地解决这个矛盾。因此, 华东电网采用手动修正电钟时间偏差, 是可行且必要的。

参考文献

- [1] DL5003-91, 电力系统调度自动化设计技术规程[S]. DL5003-91, Specifications for the Design of Dispatching Automation in Electric Power Systems[S].
- [2] 李瑞庆, 陈灵. 北美联合电网区域控制偏差方式[J]. 华东电力, 1999, 27(9): 46-48. LI Rui-qing, CHEN Ling. Area Control Error Modes Adopted by Northern America Interconnected Power System[J]. East China Electric Power, 1999, 27(9): 46-48.
- [3] 林静怀, 王晓春. 控制策略标准在福建区域联络线控制与考核中的应用[J]. 电网技术, 2004, 28(4): 51-54. LIN Jing-huai, WANG Xiao-chun. Application of Control Performance Standard in Control and Valuation of Area Tie-line in Fujian Power System[J]. Power System Technology, 2004, 28(4): 51-54.
- [4] North American Electric Reliability Council. Reliability Standards for the Bulk Electric Systems of North America[EB/OL]. Available: <http://www.nerlc.org>.
- [5] SARI. Regional Energy and Trade Laws in South Asia[EB/OL]. Available: <http://www.sari-energy.org>.
- [6] 郗郢, 王晓春. 自动发电控制系统的原理与应用[J]. 东北电力技术, 2001, (2): 42-44. XI Zhi, WANG Xiao-chun. The Principle and Application of AGC System[J]. Northeast Electric Power Technology, 2001, (2): 42-44.
- [7] George Gross. Analysis of Load Frequency Control Performance Assessment Criteria[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2001, (16).
- [8] 高宗和, 滕贤亮, 涂力群. 互联电网 AGC 分层控制与 CPS 控制策略[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(1): 78-81.

(下转第 82 页 continued on page 82)

探头相当灵敏,用一般的手电筒的光线照后均可触发,因此厂家一般配有母线电源开关过电流闭锁装置。对开关母线室有观察孔,此电流闭锁定值应大于最大一台电机启动时流过母线电源开关的总电流值,以防止电机启动的同时(电厂电机启动相对比较频繁)运行维护人员打开母线照明灯或用电筒检查母线引起的误动。另外,对采用备用投或快切的母线接线方式,电弧光保护动作后应闭锁母线的备用投或快切装置。

9 关于励磁系统的过电压保护值的选取

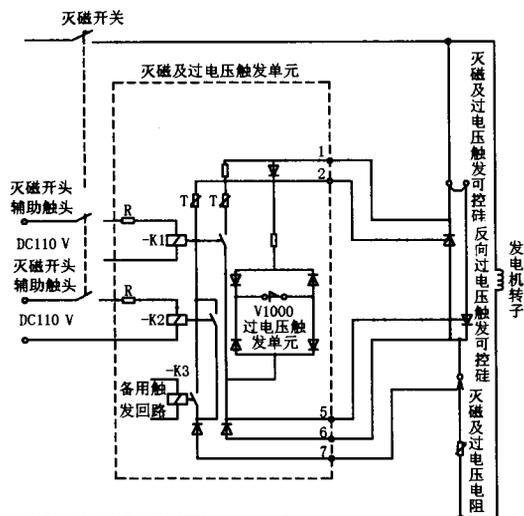


图2 灭磁和过电压原理图

Fig.2 Schematic diagram of the field overvoltage and the discharge equipment

汕尾600 MW机组励磁系统为自并励系统,励磁系统选用的是ABB公司的UNITROL 5000。该励磁系统灭磁时的原理(见图2)为:当磁场开关断开时,通过磁场开关辅助触点动作于K1和K2继电器, K1和K2的辅助触点导通后,通过V3二极管上的电压触发可控硅二极管V1, V1导通灭磁SiC电阻进行灭磁。

该励磁系统在转子发生过电压时的释能原理:当发生正向过电压时,正向过电压通过V3、V4、V7触发V1000过电压触发单元, V1000导通后,加于V8二极管的反向电压使V2可控硅导通从而接通SiC电阻进行释能以消除过电压;当发生反向过电压时,反向过电压通过V8、V6、V5触发V1000过电压触发单元, V1000导通后,加于V3二极管的反向电压使V1可控硅导通从而接通SiC电阻进行释能以消除过电压。对励磁系统灭磁电阻的选择在《大型汽轮发电机自并励静止励磁系统技术条件》中5.5条规定:在强励状态下灭磁时发电机转子过电压值不应超过4~6倍励磁额定电压值。同时规定转子过电压保护电阻的选取应使发电机转子过电压保护动作值应高于强励后灭磁和异步运行时的励磁电压值。以上规定是针对灭磁电阻和过电压电阻没有共用(国内很多励磁厂家灭磁电阻和过电压电阻分开的)的情况。但是,国外如ABB的励磁系统、英国RR公司励磁系统的灭磁和过电压保护共用一个SiC电阻,只是灭磁和过电压的触发回路不同(见图2)。此SiC电阻的阻值只能按一个原则选取,从保护发电机转子的角度来考虑按前者即稍低值来选取,取2 200 V值设定。

参考文献

- [1] 继电保护和安全自动装置技术规程[Z]. Technical Code for Relaying Protection and Security Automatic Equipment[Z].
- [2] 大型发电机变压器继电保护整定导则[Z]. Guide of Calculating Setting of Relay Protection for Large Generator and Transformer[Z].

收稿日期:2006-08-10; 修回日期:2006-11-21

作者简介:

孙浩波(1970-),男,大学本科,高级工程师,从事继电保护运行、维修、检验、工程设计审查、技术管理等工作。E-mail:ydswhb@163.com

(上接第75页 continued from page 75)

GAO Zong-he, TENG Xian-liang, TU Li-qun. Hierarchical AGC Mode and CPS Control Strategy for Interconnected Power Systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(1): 78-81.

- [9] Illian H F. Conforming WECC Auto Time Error Correction to CPS1. The NAESB Inadvertent Inter Change Payback Task Force[EB/OL]. Available: <http://www.naesb.org>.

收稿日期:2006-09-04; 修回日期:2006-10-07

作者简介:

罗凯明(1978-),男,硕士,助理工程师,从事电网调度运行工作; E-mail:luo_km@ec.sp.com.cn

孙勇(1972-),男,硕士,工程师,从事电网调度运行工作;

侯勇(1976-),男,硕士,工程师,从事电网调度运行工作。