

基于日电量平衡的自动发电控制策略

吴军基, 孙 奇, 杨 伟

(南京理工大学 动力工程学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 针对目前自动发电控制 AGC(Automatic Generation Control)领域平衡控制较难实现的问题, 提出了基于日电量平衡的自动发电控制策略。首先, 设定功率偏差、电量百分数以及速度权重因子, 在满足调节目标值区域控制偏差 ACE(Area Control Error)的基础上, 使投入 AGC 控制的发电机组实际运行总发电量与计划总电量接近平衡, 保持实际的每日 24 h 有功负荷曲线与计划负荷曲线尽量一致。利用速度权重因子修正发电量, 在满足响应速度的同时实施动态优化调节。利用江苏电网实际运行数据进行了仿真, 结果表明, 该策略能够很好地完成 ACE 调节目标, 达到了实现日电量平衡控制的理想效果。

关键词: 功率偏差; 速度权重因子; 日电量平衡; 控制策略; 自动发电控制; 区域控制偏差

中图分类号: TM 76; TP 273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6047(2006)05-0015-04

1 数学模型

1.1 机组功率偏差

在自动发电控制过程中, 需要针对一天中的任意时段(前 N 个小时内, $N < 24$), 计算第 i 台机组的实际发电功率 P_{fi} 与该时刻的计划基点功率 P_{bi} 之间的功率偏差 P_{dist} , 并根据功率偏差 P_{dist} 的大小进行排序。对第 i 台机组的功率偏差定义如下:

$$P_{dist} = \frac{P_{fi} - P_{bi}}{P_{bi}} \times 100\% \quad (1)$$

1.2 电量百分数

调整发电机出力时, 对一天中前 N 个小时每台机组的实际发电量 W_{fiN} 进行累加计算, 并计算出占这台机组预测 24 h 总发电量 W_{bi24} 的百分值 W_i , 然后进行排序。对第 i 台机组的 W_i 定义如下:

$$W_i = \frac{W_{fiN}}{W_{bi24}} \times 100\% \quad (2)$$

1.3 速度权重因子

为使在事故情况或区域控制偏差 ACE(Area Control Error)值远大于正常值情况下, 自动发电控制 AGC(Automatic Generation Control)系统能够迅速调节, 该策略设定了速度权重因子, 定义为

$$\beta_v = \frac{|ACE|}{L_0} \times \frac{v_i - v_{sys}}{v_{sys}} \times 100\% \quad (3)$$

式中 v_{sys} 为整个 AGC 系统调节的平均速度; v_i 为参与 AGC 调节的第 i 台机组调节速度; L_0 为区域电网间交换功率的上限值, 该值一般由电网交易中心给定, 区域电网也可根据自身的情况予以制定; $|ACE|/L_0$ 为 ACE 值的偏差程度,

$|ACE|$ 越大, 说明区域电网有功缺额越大, 频率危机越严重, 需要更快的速度改变发电机出力。

2 控制策略实现

按照 AGC 系统调节目标值 ACE 的大小, 可以将 AGC 系统调节区域分为死区、正常调节区和加速调节区 3 部分, 对应不同的调节区, 采取不同的控制策略^[1]。如图 1 所示。

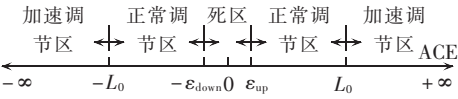


图 1 AGC 调节区域划分

Fig.1 Division of AGC regulation areas

2.1 调节死区

当 $-\epsilon_{down} \leq ACE \leq \epsilon_{up}$ 时, AGC 系统不予调节。其中, ϵ_{down} 和 ϵ_{up} 限定了调节死区的下限和上限, 规定了死区范围, 是事先给定的较小的 ACE 值, 一般在 20~30 MW 之间, 该范围内的波动对电网的平衡控制影响不大, 因此可以将调节过程忽略^[2-3]。

2.2 正常调节区

当 $\epsilon < |ACE| \leq L_0$ 时, 定义为 AGC 系统的正常调节区, 调节程序进入正常调节区环节。该区域不需要考虑速度加权因子 β_v 的影响, 在该区域内的具体控制过程如下:

a. 先根据该时间段的实际发电功率和计划发电功率以及实际发电量和计划日发电量^[4-6], 结合式(1)(2)计算各投入 AGC 的发电企业的功率偏差 P_{dist} 或电量百分数 W_i ;

b. 当 ACE 为正值时, 即需要 AGC 系统增加出力时, 对 P_{dist} 或 W_i 从小到大排序, 并按从小到大的顺序选取 AGC 调节机组, 对选中的机组按照其最大

可调节能力分配容量或按等额分摊 ACE 值的方式调整容量,如果 P_{dist} 或 W_i 的值相同,则按照调节速度排序,速度快的机组优先被调节;

c. 当 ACE 为负值时,即需要 AGC 系统减少出力时,对 P_{dist} 或 W_i 从大到小排序,并按从大到小的顺序选取 AGC 调节机组,对选中的机组按照其最大调节能力或等额分摊 ACE 值的方式进行容量的重新分配,如果 P_{dist} 或 W_i 的值相同,就按照调节速度排序,此时,调节速度快的机组比调节速度慢的机组更具有改变出力的优先权。

2.3 加速调节区

当 $L_0 < |ACE|$ 时,定义为 AGC 系统的加速调节区^[7],程序进入加速调节区环节。该区域必须考虑速度加权因子 β_v 对调节的影响,下面是具体控制过程。

a. 先根据给定的参数计算各投入 AGC 的发电企业的功率偏差 P_{dist} 或电量百分数 W_i 以及速度权重因子 β_v 。

b. 当 ACE 的值大于零时,即要迅速增加出力时,需要对 P_{dist} 或 W_i 作出如下修正:

$$P_{\text{dist}}^* = P_{\text{dist}} + \beta_v \tag{4}$$

$$W_i^* = W_i + \beta_v \tag{5}$$

式中 β_v 是速度加权因子。

再对 P_{dist}^* 或 W_i^* 从小到大排序,并按次序选取 AGC 调节机组,根据机组调节余量和区域控制偏差进行机组出力的重新调整。

c. 当 ACE 的值小于零时,要迅速减少出力,需要对 P_{dist} 或 W_i 作出如下修正:

$$P_{\text{dist}}^* = P_{\text{dist}} - \beta_v \tag{6}$$

$$W_i^* = W_i - \beta_v \tag{7}$$

然后,对 P_{dist}^* 或 W_i^* 从大到小排序,并从大到小选取 AGC 调节机组,对选中的机组按照前述方式进行容量的再次分配,各机组分摊的容量用 P_i 表示。

调节程序框图如图 2 所示。

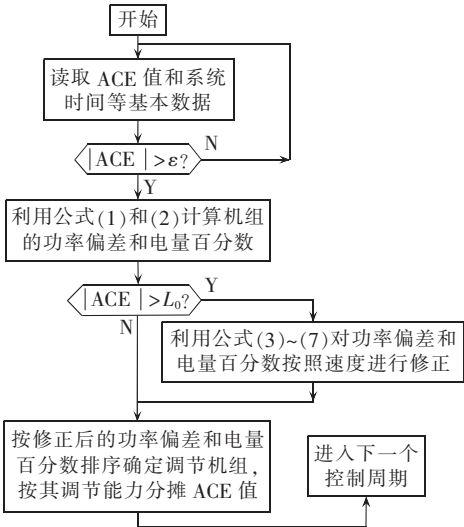


图 2 调节程序框图

Fig.2 Flowchart of regulation program

以上是基于日电量平衡的自动发电控制的 3 种调节策略,该策略采用了线性规划法中排队法的思想,在 AGC 机组的选取中,避开了常规的线性规划的大规模最优迭代,仅采用了简单的计算步骤,大大简化了繁杂的计算过程^[8-9]。

该控制策略具有算法简单、调节精度高、调节速度快的明显优点,适合于实时的电力系统控制尤其是自动发电控制。

3 算例分析

该算例的计算数据取自江苏电网 2005 年 4 月 21 日的全天发电实绩(时段为 0:00~24:00,其中每 5 分钟设置 1 个采样点)。AGC 电厂的数据取自苏南地区的利港电厂、夏港电厂、华能苏州电厂、太仓环保电厂及戚墅堰电厂。在计算过程中,分别以 A、B、C、D、E 电厂予以表示,其基本参数如表 1 所示。

表 1 AGC 电厂的基本参数
Tab.1 Parameters of AGC power plants

名称	调节下限/MW	调节上限/MW	加负荷速度/%	减负荷速度/%	额定容量/MW	备注
A	540	750	2.23	1.76	1050	低档 AGC 调节区
	750	1050	2.35	2.21	1050	高档 AGC 调节区
B	520	850	2.63	2.42	850	
C	960	1470	2.01	1.82	1470	
D	140	220	2.11	2.05	220	
E	400	630	2.10	2.00	630	

具体计算过程如下:

a. 调节区域的设定。在计算中,将调节死区 ε 范围设定为 $[-30 \text{ MW}, 30 \text{ MW}]$,如图 3 所示。

b. 调节时间段的设定。在计算中,每 5 分钟作为 1 个控制周期,可以设定 0:00~23:00 为动态调节时段,23:00~24:00 为电量偿还时段。

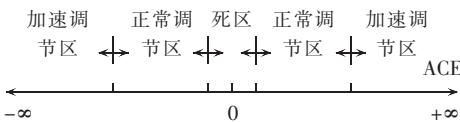


图 3 仿真 AGC 调节区域划分
Fig.3 Division of simulative AGC regulation areas

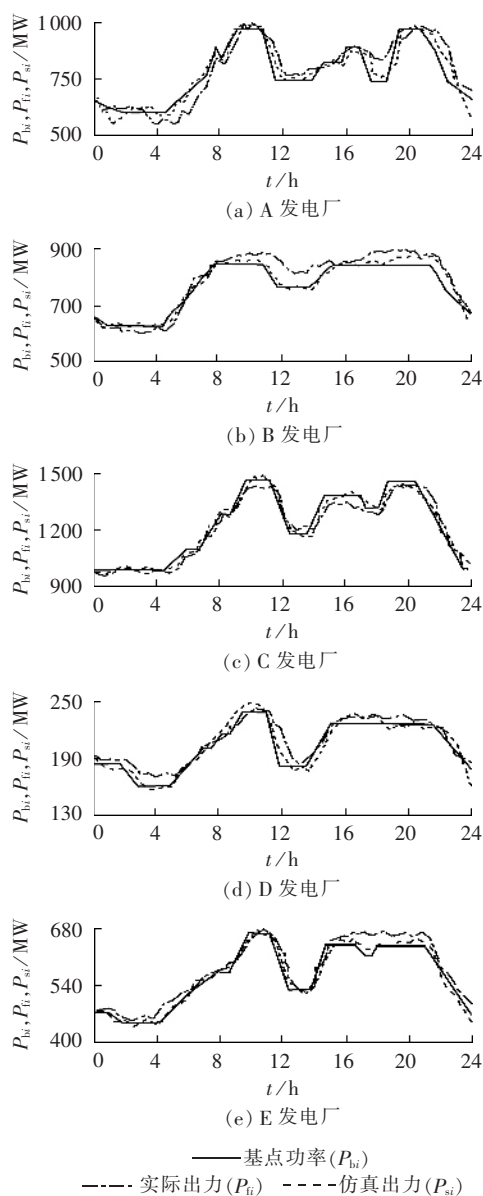


图 4 5 个发电厂仿真结果曲线

Fig.4 Simulative waveforms of five power plants

5 结语

本文针对目前 AGC 领域平衡控制较难实现的问题,提出了基于日电量平衡的控制策略,该策略具有调节精度高、调节速度快的优点。实现过程中,通过设定功率偏差 P_{dist} 、电量百分数 W_i 以及速度权重因子 β ,使得 AGC 机组出力分配牢牢追踪计划电量以及计划基点功率曲线。利用江苏电网实际运行数据对该策略进行了仿真,仿真结果表明,该策略能够很好地完成 ACE 调节目标,同时,达到了实现日电量平衡控制的理想效果。

参考文献:

[1] JALEELI N,VANSLYCK L,EWART D. Understanding automatic generation control[J]. **IEEE Trans on Power Systems**,1992,7(3):1106-1122.

[2] 陈枫,陈利跃,孙维真,等. 浙江发电市场中的实时调度与 AGC 设计[J]. **电力系统自动化**,2000,24(20):59-61.
CHEN Feng,CHEN Li-yue,SUN Wei-zhen,et al. Design of real-time dispatch & AGC in Zhejiang power market [J]. **Automation of Electric Power Systems**,2000,24(20):59-61.

[3] KUMAR J. AGC simulator for price-based operation. Part I: case study results[J]. **IEEE Trans on PWRS**,1997,12(2):533-538.

[4] 徐兴伟,林伟. 互联电网控制性能标准下自动发电控制策略的选择[J]. **电网技术**,2003,27(10):32-34,77.
XU Xing-wei,LIN Wei. Selection of automatic generation control strategy under control performance standard for interconnected power grids[J]. **Power System Technology**,2003,27(10):32-34,77.

[5] MAREE A,BOLTON Z,JOHNKAYE R. Designing ancillary services markets for power system security[J]. **IEEE Trans on Power Systems**,2000,15(2):675-680.

[6] 于尔铿,刘广一,周京阳. 能量管理系统[M]. 北京:科学出版社,2001.

[7] CHOWN G A,GOETZE M. Implementation of regulation as an ancillary service in Eskom and the use of Eskom internal web for this service[J]. **IEEE Trans on Power Systems**,2000,15(3):1132-1136.

[8] 周京阳,于尔铿. 能量管理系统(EMS). 第 5 讲:自动发电控制[J]. **电力系统自动化**,1997,21(5):75-78.
ZHOU Jing-yang,YU Er-keng. Energy management system (EMS). Part five:automatic generation control[J]. **Automation of Electric Power Systems**,1997,21(5):75-78.

[9] HARRY S,ALEX P. Competitive procurement of ancillary services by an independent system operator[J]. **IEEE Trans on Power Systems**,1999,14(2):498-504.

[10] 李端超,江山立,陈家庚,等. AGC 机组调节效能定量评估与补偿方式研究[J]. **电网技术**,2001,25(8):15-19,44.

LI Duan-chao,JIANG Shan-li,CHEN Jia-geng,et al. Quantitative evaluation of regulation efficiency of generating sets with AGC and study on the compensation modes [J]. **Power System Technology**,2001,25(8):15-19,44.

[11] 苏晓生. 掌握 Matlab 6.0 及其工程应用[M]. 北京:科学出版社,2002.

(责任编辑:康鲁豫)

作者简介:

吴军基(1955-),男,河南社旗人,教授,博士研究生导师,从事电力系统及其自动化、电力市场等方面的教学与研究工作(E-mail:wjj807@mail.njust.edu.cn);

孙奇(1982-),男,江苏常州人,硕士研究生,研究方向为配电网自动化以及电力系统智能控制;

杨伟(1966-),男,江苏徐州人,副教授,主要从事电力系统运行、控制以及电力市场方面的研究(E-mail:weiyang@mail.njust.edu.cn)。

Automatic generation control strategy based on daily electric energy balance

WU Jun-ji, SUN Qi, YANG Wei

(Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: Aiming at balance control difficulty, an AGC (Automatic Generation Control) strategy based on the balance of daily electric energy is put forward. After the power error, power change percentage and speed weighting factor are set, the actual total generated energy controlled by automatic generation system is kept nearly equal to the planned total energy while the ACE (Area Control Error) is satisfied, as well as the actual 24-hour active power load curve to the planned one. The generated energy is corrected by velocity weighting factor to conduct dynamic regulation while the response speed is reached. Simulation is carried out with the practical operation data of Jiangsu power grid. Results show that the proposed strategy achieves the ACE regulation objective and realizes daily electric energy balance.

Key words: power deviation; velocity weighting factor; balance of daily electric energy; control strategy; AGC; ACE