

并网电厂管理考核系统中 AGC 调节性能补偿措施

李 娜¹ 朱 锋² 张翔辉² 郭明恩²

1. 华能青岛热电有限公司 山东青岛 266409

2. 华能日照电厂 山东日照 276826

摘要: 针对并网电厂实际运行阶段中自动发电控制 (AGC) 系统的功能特性和其对整个电力系统稳定性能以及电能质量产生的深远影响, 本文进行了细致而深入的探究。由于电力系统是一个复杂且动态变化的网络, AGC 系统的调节性能对于维持电网频率恒定、电压水平合格以及各区域间功率平衡等关键指标具有重要意义。当前 AGC 技术在电力行业中存在的响应速度、调节精度和适应复杂工况的能力等方面的不足, 提出了一套全面且有效的补偿措施, 并将其融入到并网电厂管理考核系统之中, 以期提高 AGC 调节性能, 优化电力调度效率, 增强电网稳定性及电能质量。

关键词: AGC; 调节性能; 补偿措施; 并网电厂管理

为了确保电力系统的安全稳定运行, 提高电网频率的稳定性, AGC 在电力系统中扮演着至关重要的角色。作为电力系统频率调节的重要手段, 其优秀的调节性能对于保障电网的安全稳定运行至关重要。在现代电力系统中, AGC 能够及时监测并精确调整单元出力, 以适应负荷波动导致的频率波动, 从而实现整个电网的动态平衡, 但是也有很多因素是不可忽视的。比如, 随着时间的推移, 器件的性能会发生变化, 这主要表现为控制器的硬件损耗和软件算法性能的降低; 另外, 受外部环境 (如极端天气、自然灾害等) 的影响, 电力市场交易规则的调整, 以及新能源接入导致的调度复杂性增加, 使得 AGC 原本的调节能力降低。针对上述问题, 需要从技术层面深入研究并实施有效的补偿措施, 增强 AGC 的抗干扰与自适应能力, 建立柔性调度机制与应急预案, 保障 AGC 在多种复杂工况下的高效稳定调控, 为电网安全运行提供技术支持。

1. AGC 的基本原理

自动发电控制 (AGC) 能够监控并调节电网的频率, 保证机组功率与负载的平衡, 向用户提供高质量的稳定电能, 是一项非常重要的工作。随着电网规模的逐步扩大, 新能源的波动性越来越大, 使得电网的频率波动更为频繁。同时, 频率是衡量电网电能质量的一个重要指标, 它关系到电网的稳定运行, 也关系到各类电气设备的运行安全性和可靠性。因此, 在频率发生变化时, 应采取措施加以调节, 使其误差不得超过给定值。电网调频就是当电网的频率偏离容许的偏差

范围时, 通过协调各机组的出力来达到负荷需求, 达到新的有功均衡。一次调频依赖于机组自身的特点, 当电网频率变化时, 机组转子之间会出现速度差异, 因此, 调速器会自动调整转速, 以使机组重新回到原来的稳定状态。但是, 一次频率调整的大小仅依赖于机组本身的特点, 有时无法彻底消除, 调整后的频率也会偏离标准值^[4]。为此, 必须对机组进行二次调频, 通过调整机组的频率特征曲线, 使得机组的有功功率满足新的要求, 从而使机组的频率重新回到稳态, 而二次调频通常是通过电网或电厂的 AGC 完成的。

2. AGC 调节综合性能指标

AGC 机组综合调节性能的三个核心衡量指标分别是响应时间、调节速率和调节精度。首先, 记录下机组接收到调整指令的起始时间点; 随后, 在机组开始执行指令后, 对其调节速率进行实时监测; 最后, 在目标值达成并保持一段时间稳定后, 计算并评估其调节精度^[1]。

2.1 指标定义

1) 响应时间

根据“两项细则”中的相关规定, 发电机组的实际响应时间若超出标准响应时间, 则会受到相应的处罚; 反之, 若实际响应时间少于标准响应时间, 则可获得补偿。基于这一原则, 构造第 i 次调节的响应时间指标 K_{1i} :

$$k_{1i} = 2 - \frac{T_{E1} - T_{S1}}{T_N}$$

式中: T_{S1} 第 i 次机组调节开始时刻; T_{E1} 机组第一次跨

过与调节方法相同的调节死点所对应的时刻； T_N 机组额定容量。

2) 调节速率

根据“两个细则”的规定，当调节速率低于机组规定的标准调节速率时，将会面临处罚；反之，若调节速率超过机组标准调节速率，则可以获得补偿。因此，第 i 次调节的调节速率 K_{2i} 可表达为：

$$k_{2i} = \begin{cases} \frac{P_{Ei} - P_{Si}}{(T_{Ei} - T_{Si})VN}, & P_d \notin (P_{Ei}, P_{Si}) \\ \frac{P_{Ei} - P_{Si}}{[(T_{Ei} - T_{Si}) - T_d]VN}, & P_d \in (P_{Ei}, P_{Si}) \end{cases}$$

式中： P_{Ei} 调节结束出力； P_{Si} 调节开始出力； T_{E2} 和 T_{S2} 分别为调节结束和开始时间； P_d 为机组启停磨临界点功率； T_d 为启停磨消耗的时间； VN 为机组标准调节速率，单位 MW/min。

3) 调节精度

“两个细则”中明确指出，当调节偏差超过机组额定容量的 1% 时，将对相关方进行处罚；而若调节偏差低于机组额定容量的 1%，则会给予相应补偿，因此可构造第 i 次调节的调节精度 K_{3i} 如下：

$$k_{3i} = 2 - \frac{\int_{T_{S3}}^{T_{E3}} |P_i(t) - P_i| dt}{0.01P_N}$$

式中： T_{S3} 第 1 次进入调节死区的时间； T_{E3} 为新的 AGC 指令设点命令时刻； P_i 为该时段内的设点指令值； P_N 为机组额定容量。在计算响应时间和调节精度对应的衡量指标时，若得到的数值低于 0.1，甚至出现负值的情况，统一将其处理为 0.1 作为有效指标值。

2.2 AGC 综合性能指标 K_p

目前我国普遍采用的 AGC（自动发电控制）调节性能评估体系，大多倾向于采用加权求和算法进行评价：即将调节容量、调节速率以及调节偏差经由加权计算后合并，在评估 AGC 机组的调节效能时，主要依据其调节容量、调节速率、调节精度及响应时间这四个关键输入参数进行综合考量。然而，实际上采用加权求和方法来评估 AGC 调节效能存在一定的局限性，具体表现为：

1) 各机组所获得的综合性能指标 K_p 值之间的差距较小，导致无法有效地利用奖惩机制来激励不同机组提升其 AGC 调节性能。

2) 在现行加权求和评估体系下，即使某一机组在响应时间、调整速度、调整精度等方面优于其他方面，则有可能获得更高的综合性能指数 K_p 。这意味着，即使单项指标表现优异，也可能无法全面反映整体性能。

3) 在加权求和法中，权重设定的过程较为复杂且关键，因为每个具体指标所对应的权重将直接影响最终计算出的综合性能指标 K_p 值。在寻找适用于所有情况的普适性权重分配方案时，困难在于确保在评价过程中既能充分体现各项指标的重要性，又能确保奖惩措施的合理性^[1]。鉴于当前指标计算中存在的问题，建议采用乘法公式来求解 K_p 。第 i 次调节的性能指标计算表达式：

$$K_{p,i} = K_{1i}K_{2i}K_{3i}$$

3. 存在的问题及原因分析

3.1 AGC 的影响因素

(1) AGC 运行速度过快降低设备使用寿命

AGC 调节速率的增加能够在最短的时间内将机组的工作状况调节到预定值，但是，加速 AGC 调节的速率需要它的灵敏度始终处于很高的水平，在高灵敏度的情况下，机组的调速器也要进行高转速的工作，这就会造成设备在工作中的高压，从而加快了机械设备的总体损失，同时，由于自身的惯性，在掉电后，机组也不一定能够完全停转。为保证电网经济效益，对机组负载分布算法进行优化，可有效地减少调整次数，将机组输出功率调整到振动区以外，可有效地减小设备的振动和损耗，延长设备的使用寿命。

(2) AGC 难以满足调节速率考核的要求

当机组处于 AGC 模式时，其输出功率会发生很大的变化，有时候调度下达的负荷调整命令的间隔不到 1 分钟，经常会出现这样的情况，即在一个负载命令还没有被调整到位的时候，就已经接收到了下一个负载命令，因此很长一段时间内，机组都会在增大或减小的过程中不断地进行调整。由于机组本身具有“反调”作用，在调整某些小负载命令时，很难使其达到规范要求的速度。同时，AGC 命令频繁变动，使机组输出功率发生波动，使机组在过振动、摆度较大的区域时，可能出现过长时间处于振动区的现象，严重影响了机组的安全、经济性能。同时，由于振动区的存在，AGC 系统存在着调整速度不符合要求的问题。

(3) AGC 调节方式简单, 影响调节的速度和精度

当前大部分电站的调速器采用的是调压脉冲, 而调压指令所形成的增减脉动指令要经过几次变换后, 再作用到调速器上, 再通过导叶开度来调节机组输出。在切换过程中, 由于存在多个监测、调整机构, 从而降低了调整的精度, 使其无法获得最佳的控制效果, 从而造成机组 AGC 的调速速度及调整精度无法达到预期的目的。而发电企业在运行过程中, 由于其运行方式单一, 若不考虑机组的调节特性, 很难达到“两个细则”中有关规定的要求。

3.2 AGC 调节系统是一种间接式调节结构

AGC 调节系统的核心运行机制是, 首先通过实时监测获取调度中心设定的有功功率目标值, 上位机完成 AGC 计算后, 将分配好的各单元有功功率指令发送至现地 LCU。接着, 在各现地 LCU 内部的 PID 计算模块执行闭环控制处理, 生成相应的有功功率调节脉冲, 该脉冲用于调整调速器的工作状态, 从而改变导叶和桨叶的开度。AGC 调控系统结构为“监视 AGC 分配 - 现地 LCU 有功 PID 控制 - 调速器脉动”的结构, 在 AGC 调节系统中引入现地 LCU 有功 PID 控制, 导致有功调节响应存在滞后现象。由于调速器作为随动系统, 在开度控制模式下, 仅依据监测输出的调整脉冲信号来转换为导叶和桨叶的开度设定值进行调节。然而, 无论机组有功功率如何变化, 调速器在这种情况下运行于开环状态, 这就容易造成调节过程中出现超调问题。另外, 机组的实际有功功率变化通常滞后于导叶开度的调整。当 LCU PID 模块实时监测并据此作出响应时, 已落后于实际有功功率的变化进程, 这无疑对 AGC 调节的精确性造成了消极影响。

3.3 AGC 调节系统调节参数难以满足调节要求

采用实时监测现地 LCUPID 模块进行有功闭环调节, 通常, 当前 CUPID 模块的脉宽和调整周期已固定, 但是, 在不同的单元水头条件下, 相同的导叶开度对应着单元的有功功率, 在一定的水头条件下, 被控单元的有功功率与导叶开度存在着非线性关系, 因此, 在水头变化和不同有功功率范围内, 监测系统的 pid 控制难以通过一组或少数组参数来完成, 有时在调试完成后仅能满足当时的有功调节需求, 但过了几天或几个小时, 由于水头变化、调速系统的工况变化等原因, pid 参数不再能与调节系统的运行状态相匹配, 因此, 在调节负荷时, 可能会发生超调。

4. AGC 调节性能补偿措施

4.1 采用调速器功率闭环直接调节模式

若能省去通过现地 LCUPID 操作模块这一中间环节, 将 AGC 分配的有功功率设定值直接发送至调速器, 并由调速器按照特定的控制规则对机组的有功功率进行调节, 可克服现有调节质量较差, 监测系统仅按 AGC 分配的结果向调速器发送有功设定值, 并通过 PID 计算实现有功与当前有功之间的偏差, 实现对导叶接力器、桨继器的实时调节, 从而实现有功功率的快速调节, 同时减少监测系统对负载的主动调控, 从而提高电力调控的效率。

4.2 采用功率自适应参数

针对水电机组的有功功率随水头变化而变化的特点, 本项目拟将调节参数随水头调整的方法, 通过调整参数随水头调整, 使机组在不同水位下有功调整质量。银盘水发电厂在 2013 年 12 月和 2014 年 3 号机组的 AGC 调整系统中, 调整速度从 90 MW/MIN 提高到 125 MW/MIN, AGC 调整精度从 3.8% 提高到 $\pm 2\%$, 满足华中电网的两项规定。

(1) 增加有功功率模拟量

监测系统以 4-20 mA 的模数输出模式向调速器发送有功给定值, 然后调速器再将该值反馈给监测系统, 由监测系统对其进行比对, 若出现偏差, 则立即报警, 避免调速器接收到的设定值与监测下达的设定值不符。

(2) 增加投调速器功率模式、投调速器开度模式功能

在监测系统中加入两个脉冲类型的开度信号, 即投调速器功率调节和投调速器开度调节两个脉冲类型的开度, 分别用来控制所选调速器的调节模式, 并将其接入调速器对应的开度。在监测系统中加入两个开启信号, 即调速器处于功率调节状态, 调速器处于开度调节状态, 并将其发送到监视系统中, 以实现对目前调速器的实际调节状态的显示与判断。在监视系统中, 机组的发电流程是这样的: 当机组进入电网后, 自动调整调速器的功率。并在监视屏幕上添加了投调速器功率模式和投调速器开度模式的操作按键, 供操作人员人工操作。

(3) 增加功率调节模式, 进行功率闭环调节

在调速器控制过程中加入了功率调整方式, 将监测到的有功和实测的出力相比较, 以达到闭环调整的目的。在调速系统中, 利用比例积分的方法, 根据有功和当前有功之间的偏离程度, 分为三个阶段进行调整, 将功率偏差 ΔP 分为三个

阶段, $AP1 > AP2 > AP3$, 采用三级梯度, 斜率 $K1 > K2 > K3$, 将有功功率调节到给定的有功功率, 梯度越大, 实际功率越接近有功, 越快, 调整速度越快; 反之, 越小, 越慢, 控制越趋于单一, 越不会出现过度超调。

4.3 安全策略调速器

工作在功率模式时, 监测系统对监测系统的功率设置值与调速器返回的功率设置值进行实时对比, 若两者之间的差异超过 10% 的额定负载, 就会被判定为信号传输错误, 或者是调速器出现了故障, 监测系统将调速器的控制模式从供电模式转换到开通模式, 也就是通过监测系统实现了电力闭环调节^[2]。当调速器处于功率状态时, 监测系统会对监测系统收集到的功率实际值与有功功率设定值之间的偏离情况进行实时对比, 根据功率偏差的大小设定不同的延迟时间, 并对其进行延时报警, 以此来判定有功调整是否超时, 当超时, 监测系统将调速器的控制模式从供电模式转换到开通模式, 也就是监测系统实现了电力闭环调控。当调速器处于功率状态时, 当调速器检测到机组的有功故障时, 它就

会自动切换到开启状态, 并通过监测系统实现对有功的闭环调节。

5. 结束语

综上所述, 通过建立科学、合理的考核指标和激励机制, 全面评价电站 AGC 系统的响应速度、调节精度和追踪效果, 并根据实际情况制定相应的奖励和惩罚措施, 既能充分调动发电企业的积极性, 又能推动电力工业的科技进步和发展。本项目的研究成果将为提高电网的自动控制能力, 为构建绿色、高效、可靠的新型能源供给体系打下坚实的基础。因此, 全面认识并实施 AGC 调节性能补偿策略, 对于保证电网稳定与供电可靠, 有着重要的战略与现实意义。

参考文献

- [1] 李丹, 梁吉, 孙荣富, 等. 并网电厂管理考核系统中 AGC 调节性能补偿措施 [J]. 电力系统自动化, 2010(4):5. DOI: CNKI:SUN:DLXT.0.2010-04-023.
- [2] 李尚华, 叶晖, 吴成. 西北区域火电机组 AGC 性能指标分析及优化 [J]. 机电信息, 2023(2):12-14.