

电网厂站端自动电压控制技术应用研究

李玉齐, 支晓晨, 邱文俊, 张顺仁, 朱琦文, 李超

(上海明华电力科技有限公司, 上海 200090)

摘要:自动电压控制(Automatic Voltage Control,以下简称 AVC)保证电网节点电压合格率,对电网稳定提供有效支撑。笔者结合厂站端 AVC 子站控制原理,对厂站端 AVC 系统控制策略进行了分析,并进行安全约束功能设计,最后提出厂站端 AVC 动态与联调的调试技术要求,对抽水蓄能电站等电网厂站端 AVC 安全约束功能设计与 AVC 调试技术应用具有指导意义。

关键词:AVC 子站控制原理;AVC 系统控制策略;安全约束功能设计;AVC 动态与联调;AVC 调试

中图分类号:TM734.4

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2024)01-0127-05

Research on Application of Automatic Voltage Control Technology at the Substation of the Power Grid

LI Yuqi, ZHI Xiaochen, QIU Wenjun, ZHANG Shunren, ZHU Qiwen, LI Chao

(Shanghai Minghua Electric Power Science Technology Co. Ltd., Shanghai 200090)

Abstract: Automatic voltage control (AVC) ensures voltage qualification rate of power grid nodes and provides effective support for power grid stability. Combined with the control principle of substation AVC, the author analyzed the control strategy of AVC system, and designed the safety constraint function. Finally, the author proposed the debugging technical requirements for the substation AVC dynamic and joint debugging, which has guiding significance for the design of safety restraint function and the debugging technology of substation AVC in pumped storage power station.

Keywords: AVC substation control principle; AVC System control strategy; Safety restraint function design; AVC dynamics and joint debugging; AVC debugging

0 引言

AVC 技术是在确保电网系统安全、稳定、经济运行的前提下,提升电网电能质量的有效手段。电厂通过 AVC 调节满足调度的要求,获得相应的考核奖励,并对电网提供强有力的支撑。抽水蓄能电站方面,抽蓄电站与常规电站相比,优势显著^[1]:抽蓄机组启动与工况转换速度快,能在较短时间内达到所需工况;抽蓄机组在发电、发电调相、抽水调相、抽水等工况均能有效调节机组电压。抽蓄电站在电网系统中承担事故备用、调频、调峰,以及黑启动等作用,有效利用抽蓄机组在无功调节方面的能力优势,可确保电网系统稳定可靠,进一步提升电网系统电能质量、无功平衡与经济性等。在我国电网系统光伏、风电等新能源接入比例与日俱增的情况下,抽蓄电站在维持电网

安全稳定方面有着不可或缺的地位。

电网厂站端建立适合抽蓄机组的 AVC 子站系统且配置完备的无功/电压调节能力,实现抽蓄多机组、多工况条件下的无功/电压自动控制,对支撑电网电压稳定和提高电网电压的调节能力具有重要实际意义。

1 厂站端 AVC 子站控制原理

厂站端 AVC 子站系统接收电网调度 AVC 主站下发的出口母线电压/无功指令,按一定的无功控制策略^[2]把总无功功率合理分配给各机组,机组通过励磁系统(Automatic Voltage Regulator,简称 AVR)调节励磁,实现母线电压的自动控制。

厂站 AVC 子站系统采用串级控制、渐次逼近的控制方法,通过多次轮循采样进行无功调节的方式,最终达到目标值。按调度下发的母线电

收稿日期:2023-03-10

压/无功调整指令,厂站端 AVC 子站主要控制过程原理^[3] AVC 子站控制原理结构图见图 1。

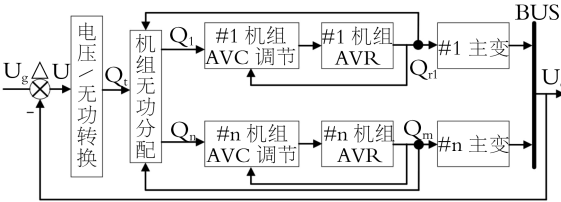


图1 AVC子站控制原理结构图

按电网调度 AVC 主站下发的出口母线电压/无功调节指令的顺序执行,厂站端 AVC 子站控制系统的整个控制过程主要分三个环节实现^[4]:

(1)出口母线电压目标转换至总无功目标指令。电网调度 AVC 主站下发的出口母线电压目标值 U_g 为闭环调节回路中厂站出口母线电压的目标值。出口母线电压目标值 U_g 与负反馈量(受控母线 BUS 电压实测值 U_c)作差的电压偏差量 ΔU ,作为出口母线电压相应闭环调节回路的输入,厂站内总无功目标指令值 Q_i 由该输入经电压/无功转换所得。

(2)厂站内分配总无功目标计算。将全部非受控机组无功实发值之和 $\sum_{j=1}^{n-1} Q_j$ 与全厂无功目标值 Q_i 作差,所得差值作为全厂受控机组应分担的无功指令之和 $\sum_{i=1}^l Q_i$,再按照选定的无功分配策略将 $\sum_{i=1}^l Q_i$ 分配至各受控机组,生成单机组无功调节指令 Q_i 。

(3)执行单机组无功目标指令。给定单机组无功调节指令 Q_i ,在单机组无功闭环调节回路中 Q_i 与机组无功实测值 Q_{ri} 作差,得到单机组无功闭环调节回路的输入量。并将该差值转换为相应增磁、减脉冲信号下发至 AVR 调节机组无功出力,以改变机组的机端电压值,间接改变受控母线 BUS 电压值,达到调节母线电压的目的。

2 厂站端 AVC 系统控制策略

2.1 全厂站目标总无功计算

根据文献[5],厂站 AVC 子站系统按电网调度 AVC 主站所发电压目标值与厂站实际出口母线电压的差值进行无功分配,计算如下:

$$Q_{\text{real}} - Q_{m\Sigma} = K_f \times \Delta V \tag{1}$$

式中: Q_{real} 为厂站端全厂实发无功; ΔV 为电网调

度 AVC 主站下发电压目标值与厂站出口母线电压的差值; K_f 为调压系数; $Q_{m\Sigma}$ 为维持母线电压所需总无功功率。

2.2 机组无功分配策略

发电厂站端机组数量一般大于 1,AVC 子站系统作为全厂无功调节中心,需按无功分配策略输出调节指令至各机组。AVC 子站无功分配策略主要有等功率因数分配、等无功容量分配、等无功裕度分配和平均分配四种。四种无功分配策略如下:

(1)等功率因数分配策略。等功率因数以功率因数相同为原则分配无功至各受控机组,各受控机组无功分配量与其有功出力存在线性关系,调节至各受控机组无功上、下极限范围内。已知各受控机组当前有功与全厂站无功目标值,按无功分配策略调节完成后全厂站总功率因数如下:

$$\cos\varphi = \frac{\sum P_i^2}{\sqrt{\sum P_i^2 + Q_{m\Sigma}^2}} \tag{2}$$

$$Q_i = P_i \times \frac{\sqrt{1 - (\cos\varphi)^2}}{\cos\varphi} \tag{3}$$

式中: Q_i 为分配至第 i 台受控机组无功目标值。

用等功率因数分配策略,可使各机组之间内部环流减少,产生的功率损耗相对减少。

(2)等无功裕度分配策略。等无功裕度分配是根据各受控机组的无功裕度大小进行无功分配。

1)若调度下发电压目标值高于出口母线电压,即要求各受控机组增加无功出力,其大小根据各受控机组的无功容量大小进行分配。各受控机组所分配无功:

$$Q_i = Q_{m\Sigma} \times \frac{Q_{i\max} - Q_{Gi}}{\sum_{i=1}^n (Q_{i\max} - Q_{Gi})}, \tag{4}$$

$i = (1, 2, 3, \dots, n)$

2)若调度下发电压目标值低于出口母线电压,即要求各受控机组减少无功出力,其大小根据各受控机组的无功容量大小进行分配。各受控机组所分配无功:

$$Q_i = Q_{m\Sigma} \times \frac{Q_{Gi} - Q_{i\min}}{\sum_{i=1}^n (Q_{Gi} - Q_{i\min})}, \tag{5}$$

$i = (1, 2, 3, \dots, n)$

式中: n 为参与无功调节受控机组台数; Q_i 为分配至第 i 台受控机组的无功目标值; $Q_{m\Sigma}$ 为待分配无功功率; Q_{Gi} 为第 i 台机组实际无功出力; $Q_{i\min}$ 为第 i 台受控机组无功下限; $Q_{i\max}$ 为第 i 台受控机组无功上限。

(3)等无功容量分配策略。等无功容量分配,是根据各受控机组的无功容量大小进行无功分配,以确保各受控机组无功容量与所分配的无功大小成线性关系:

$$Q_i=Q_{m\Sigma}\times\frac{Q_{i\max}}{\sum_{i=1}^nQ_{i\max}},i=(1,2,3,\cdots,n)\quad(6)$$

式中: n 为参与无功调节受控机组台数; $Q_{m\Sigma}$ 为待分配无功功率; $Q_{i\max}$ 为第 i 台机组最大无功容量; Q_i 为分配至第 i 台受控机组的无功目标值。

(4)平均分配策略。平均分配是把全厂总无功平均地分配给参与无功分配的各受控机组。

$$Q_i-\frac{Q_{m\Sigma}}{n}=0,i=(1,2,3,\cdots,n)\quad(7)$$

式中: $Q_{m\Sigma}$ 为待分配无功功率; n 为参与无功调节受控机组台数; Q_i 为分配至第 i 台受控机组无功目标值。

厂站端 AVC 系统响应调度/电站层下发的控制指令(如恒母线电压、恒无功、电压曲线),计算该指令与实际测量值的偏差得出厂站端电压/无功目标值,再由 AVC 无功分配策略分配至各受控机组。无论采用哪种无功分配策略,在分配无功时均应保证:1)各机组稳定运行为前提;2)各受控机组应尽可能同步调节,能保持一定的调节裕度;3)机组机端电压不超过安全极限范围。

上述四种无功分配策略,不同厂站适用的策略不尽相同。其中,抽水蓄能电站机组具有发电调相、发电、抽水调相、抽水共四种工况,机组在这四种工况下,均可吸收无功降低电网电压;也可以发出无功,提高电网电压,以达到调节电网电压的目的。不同厂站适用的无功分配策略见表 1。

采用抽蓄机组调节无功时,应优先采用发电(或抽水)工况进相(或滞相)运行的方式,次之考虑调相方式^[6]。当抽蓄机组不发电(或抽水)的时候,使用抽蓄机组在调相(如发电调相、抽水调相)

工况下调节无功,是一种有效简便的电压调控方法。调相运行会导致电能损耗增加,应注意使用方法;尽量减少调相运行持续时间;优先采用发电调相,其次采用抽水调相。

表 1 不同厂站适用的无功分配策略

序号	厂站 AVC	适用无功分配策略
1	火电厂、燃机电厂	等功率因数、等无功裕度、等无功容量、平均
2	风电厂、光伏厂站	等功率因数、等无功裕度、等无功容量、平均
3	水电站、抽水蓄能电站	等无功裕度、等无功容量
4	核电站	平均

尽管抽蓄机组在发电调相、发电、抽水调相、抽水这四种工况下均可吸收(或发出)无功来调节电网电压,但受控机组在各工况下无功调节能力随受控机组的运行特性而异,因而厂站端 AVC 子系统进行无功分配应充分考虑机组 P-Q 曲线限制。

2.3 AVC 系统控制方式与控制模式

2.3.1 AVC 系统控制方式

AVC 系统控制方式主要分远方/现地方式,以及 AVC 定值/曲线方式两种。

(1)AVC 远方/现地方式。厂站 AVC 子系统将机组所分配无功下发至 AVR,由 AVC 远方(闭环)/现地(开环)决定。闭环方式下,机组无功分配指令自动下发至 AVR 调节无功;开环方式下,机组无功分配指令仅在监控显示,但未出口下发至机组 AVR^[7]。

厂站 AVC 子系统处于现地方式时,运行人员在 AVC 监控设定电压/无功设定值,此时闭锁调度下发电压/无功设定值。厂站 AVC 子系统处于远方方式时,电压/无功设定值由调度通过调度数据网下发,此时闭锁厂站的电压/无功设定值^[8]。调度 AVC 主站实时向厂站端 AVC 子站上位机下发厂站出口母线电压/无功目标值,AVC 子站上位机根据该电压/无功目标值计算各机组无功出力,下发至 AVC 子站下位机,再由 AVC 子站下位机通过分散控制系统(distributed control systems,简称 DCS)或抽蓄的现地控制单元(Remote Terminal Unit,简称 LCU)向机组的 AVR 发送增磁、减磁脉冲信号以调节机组无功出力。最终使厂站出口母线电压或机组无功出力趋

近目标值,厂站 AVC 子站与调度 AVC 主站通过调度数据网形成闭环控制。

(2)AVC 定值/曲线方式。AVC 定值/曲线方式,即:厂站 AVC 系统在定值方式时,厂站 AVC 系统的远方(或现地)方式决定电压/无功设定值。若厂站 AVC 系统处于远方方式,则由调度 AVC 主站下发厂站电压/无功设定值;若厂站 AVC 系统在现地方式,则在厂站 AVC 系统监控设定电压/无功设定值。

厂站 AVC 系统处于曲线方式时,由当日当前时刻的电压曲线值决定电压/无功设定值。今日、明日电压曲线,可由厂站运行人员手动设定或调度 AVC 主站经调度数据网下发。在零点时刻,监控明日曲线将自动覆盖今日曲线。

2.3.2 AVC 系统控制模式

厂站端 AVC 子站系统分两种模式控制厂站无功出力,即单机控制模式和全厂控制模式。

在单机控制模式时,厂站 AVC 子站系统接收调度 AVC 主站下发至各受控机组的无功目标值,AVC 系统通过 DCS 系统(或 LCU,水电、抽蓄是 LCU)或直接向机组 AVR 发送增磁、减磁脉冲信号以调节机组无功出力,最终使各受控机组的无功出力趋近或达到下发的目标值。

在全厂控制模式时,厂站 AVC 子站系统接收调度 AVC 主站下发的厂站出口母线电压/无功目标值,计算厂站出口的总无功,将该无功按无功分配策略合理分配给各受控机组。厂站 AVC 子站系统经 DCS(或 LCU)或直接向机组 AVR 发送增磁、减磁信号以调节机组无功出力,使厂站出口母线电压趋近或达到下发的目标值,实现全厂站多机组电压/无功自动控制。

3 厂站端 AVC 动态与联调

开展厂站端 AVC 动态与联调试验,先对安全约束功能进行设计,再通过 AVC 动态与联调试验验证各项安全约束功能与配置是否正确有效以及无功控制策略是否能正确有效响应调度调控。

3.1 安全约束功能设计

机组进行 AVC 动态与联调,需进行相关安全约束功能设计。厂站端 AVC 子站系统安全与约束功能如下:

(1)AVC 子站应设置厂用电压、机端电压、母线/出口母线电压,以及机组无功等单向闭锁值。

当运行数据越单向闭锁值时,AVC 子站应闭锁该方向的调控功能。

(2)AVC 子站应对厂用母线电压、机端电压、母线/出口母线电压,以及机组无功等设置单向反调值。当运行数据越过单向反调值时,AVC 子站应反向调控至实时运行数据拉回该方向闭锁值内。

(3)AVC 子站应对机端电流、机组有功等设置双向闭锁值,当实时运行数据越过双向闭锁值之一时,AVC 子站应双向闭锁调控功能。

(4)AVC 子站应设置厂用电压、母线/出口母线电压、机端电压、机端电流、机组有功、机组无功有效值,当运行数据越过有效值时,AVC 子站应自动退出并报警。

反调限值范围应大于闭锁限值,两者差值称为闭锁反调死区(记为 $\xi, \xi > 0$)。应注意在电气量越限反调时,需设置闭锁死区、反调死区,以防厂站端 AVC 子站系统反复震荡调节。当所测量电气量越过低限值时,AVC 应可靠减磁闭锁;当所测量电气量超过高限值时,AVC 应可靠增磁闭锁。记厂用母线电压,母线/出口母线电压、机端电压,机组无功对应的高闭锁值为 $X_{\max}$,对应的低闭锁值为 $X_{\min}$,对应的实测值为 $X_{real}^{[9]}$,则有:

1)当实测电气量达到高限值时,AVC 应可靠增磁闭锁,同时输出减磁脉冲进行反向调节。其中:

高闭锁条件:

$$X_{real} \geq X_{\max}$$

高反调条件:

$$X_{real} \geq X_{\max} + \xi$$

2)当实测电气量达到低限边际时,AVC 应可靠减磁闭锁,同时输出增磁脉冲进行反向调节。其中:

低闭锁条件:

$$X_{real} \leq X_{\min}$$

低反调条件:

$$X_{real} \leq X_{\min} - \xi$$

当某台受控机组的电气量出现越限闭锁反调时,应考虑闭锁反调后机组的无功出力。并将该无功出力从厂站总无功调控目标中剔除后,将目标无功分配至其他受控机组,其他受控机组按既定无功调控策略调节无功,分担该台机组的无功

缺口。

由工程现场运行经验可知,常见的电气量异常情况有:所采集模拟量数据过小或过大,数据间差距超出合理范围,以及励磁状态异常等。针对异常情况设定相应闭锁值,采取相应调控措施;主要有单向闭锁、双向闭锁、越限反调、自动退出等调控措施。具体归纳为:

①自动闭锁。实时运行数据越过其限值范围,厂站 AVC 子站受控机组应自动闭锁调节,且单向闭锁、双向闭锁均可在数据恢复正常后自动复归。AVC 自动闭锁见表 2。

表 2 AVC 自动闭锁

序号	闭锁参数项	AVC 下位机 自动闭锁操作
1	母线电压高限值/低限值、 机组无功高限值/低限值、 机端电压高限值/低限值、 厂用电母线电压高限值/低限值	单向闭锁
2	机组有功高限值/低限值、 机端电流高限值/低限值	双向闭锁

②自动反调。实时运行数据越过其反调值范围,AVC 子站应自动启动反调功能,直至将运行数据反调至闭锁限值以内时停止反调。AVC 自动反调见表 3。

表 3 AVC 自动反调

序号	反调参数项	AVC 下位机 反调操作
1	母线电压反调高值、机组无功反调高值、机端电压反调高值、厂用电母线电压反调高值	增磁闭锁、 减磁反调
2	母线电压反调低值、机组无功反调低值、机端电压反调低值、厂用电母线电压反调低值	减磁闭锁、 增磁反调
3	机组有功反调高值/低值、 机端电流反调高值/低值	双向闭锁、 无反调节

③自动退出。在 AVC 子站检测到 AVR 异常或其他信息符合退出 AVC 时,为保护系统安全需强制退出 AVC 功能。AVC 子站发生系统内部故障;实时运行数据出现连续三个数据刷新周期超出数据有效范围或不刷新;出现 AVR 异常信号时,厂站 AVC 子站相应受控机组 AVC 调节应自动退出并告警。AVC 自动退出见表 4。

3.2 厂站端 AVC 动态与联调调试

厂站端 AVC 动态与联调调试,主要分厂站端 AVC 动态试验与 AVC 子站厂站内联调试验两部分。

表 4 AVC 自动退出

序号	退出参数项	退出操作
1	母线电压有效高值、厂用电母线电压有效高值、 机端电压有效高值、机端电流有效高值、 机组有功有效高值、机组无功有效高值	相应机组 AVC 子站 自动退出
2	母线电压有效低值、厂用电母线电压有效低值、 机端电压有效低值、机端电流有效低值、 机组有功有效低值、机组无功有效低值	

3.2.1 厂站端 AVC 动态试验

根据文献[10],动态试验有开环动态试验与动态闭环试验。

(1)开环动态试验。在 AVC 子站系统装置的出口压板未投入情况下,通过参数设置验证各种异常工况时,AVC 控制逻辑、装置闭锁功能是否正确有效。其中,AVC 调控功能试验如母线电压与母线电压的偏差与死区范围、AVC 指令越限、AVC 指令超步长等;AVC 限制功能试验如母线电压、无功功率、机端电压、厂用母线电压高闭锁与低闭锁,有功功率、机端电流双向闭锁等。

(2)闭环动态试验。在厂站 AVC 子站系统装置的出口压板投入情况下,通过 AVC 调控速度整定试验,获取机组 AVR 无功调节响应数据,以确定 AVC 子站输出控制的相关基本参数,计算增磁、减磁脉冲对无功的影响变动量,机组状态趋稳时间。据此提出设置 AVC 脉冲间隔、LCU (或 DCS)输出增磁、减磁脉宽的合理建议,供厂站 AVC 子站装置参数整定。

机组 AVC 动态调试试验,确认厂站端 AVC 子站是否具备厂站内联合调试的试验条件。

3.2.2 AVC 子站厂站内联调试验

AVC 子站厂站内联调试验是保障电网厂站端 AVC 子站运行策略完整、可控能控、符合调度技术要求的重要有效手段。

通过厂站端机组无功分配策略试验,确认 AVC 子站四种无功控制策略是否有效,分配目标及控制过程是否正确。根据不同无功控制策略确认受控机组无功协调能力,AVC 子站能可靠响应且跟随电网调度 AVC 主站的运行计划曲线;通

(下转第 142 页)

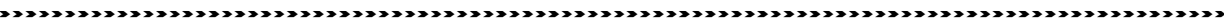
程与下游水位之差越小,地下水越容易进入量水堰;防渗墙深度约大,地下水越容易进入量水堰。

在下游水位为 673.50 m 时,量水堰高程为 675.0 m 和 674.5 m 时,量水堰防渗墙深度分别达到 60 m 和 40 m,量水堰才能发挥预警作用,投资成本过高;量水堰高程为 674.0 m 时设计较浅的防渗墙量水堰即可发挥预警作用。

确定瀑布沟大坝坝后新增量水堰采用悬挂式防渗墙结构,防渗墙底部深入原河床地面线以下 10 m,量水堰底高程为 673 m,顶高程为 674 m,实施过程中根据瀑布沟大坝下游新增设的六个长观孔测量水位变化和现场施工情况进行适当调整。

参考文献:

[1] 刘菊莲. 防渗墙对某水库地下渗流场影响研究[J]. 海河水利, 2022, 233(1): 97-100.



(上接第 131 页)

过 AVC 子站就地闭环运行试验,确认 AVC 调控能力是否满足要求,调控过程是否正确。完成 AVC 子站厂站内联调试,AVC 子站无功控制策略有效,且能正确响应调度 AVC 主站的调控指令。

4 结 语

根据 AVC 技术现有理论与现场工程技术经验,对自动电压控制技术无功分配策略总结,并设计安全约束功能。在工程应用方面为厂站端 AVC 子站无功分配策略、安全约束功能设计,以及 AVC 动态与 AVC 联调试提供了参考。抽水蓄能电站是支撑电网系统安全、稳定、经济运行的有效途径,是支撑可再生能源、新能源大规模发展的重要保障。抽水蓄能中长期发展规划装机容量倍增,将推动我国抽水蓄能事业高质量发展。未来强化自动电压控制技术在抽水蓄能电站领域的研究,对在全国各区域电网调度开展自动电压控制规范化应用具有重要意义。

参考文献:

[1] 梁彦, 冯凌云. 蓄能机组自动发电控制系统的关键技术研究与应用[J]. 西北水电, 2018(1): 86-88.
[2] 凌胜军, 马景浩. 浅析水电厂 AVC 控制策略[J]. 电气工程学报, 2017, 12(8): 50-54.
[3] 杨建波. 火电机组 AVC 一体化控制系统研发与应用[D]. 北京: 华北电力大学, 2017.
[4] 陈建鑫, 杨建波, 刘友宽, 等. 电厂侧子站系统设计[J]. 云南电力技术, 2016, 44(5): 60-63.

[2] 曲华斌, 王克磊, 杨震. 土石坝防渗墙嵌岩深度对坝体稳定性影响[J]. 水利技术监督, 2023(9): 192-194+202.
[3] 吴建纲. 数字量水堰[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2000, 28(2): 85-87.
[4] 卢陈涛, 马得莲, 滕玉楠. 珊溪水库增设量水堰关键技术方案研究[J]. 水科学与工程学报, 2018(1): 74-78.
[5] 栋良, 郎玲芳. 珊溪水库增设大坝量水堰工程措施研究[J]. 大坝与安全, 2017(06): 63-68.
[6] 盛金昌, 速宝玉, 詹美礼. 三维天然渗流场反演分析及工程应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2003(2): 203-207.
[7] 盛金昌, 赵坚, 速宝玉, 等. 复杂地质条件下超大型洞室群有限元网格的自动生成[J]. 水力发电学报, 2000(4): 79-85.

作者简介:

李先能(1976-),男,四川凉山人,中级工程师,本科,从事水利水电工程技术管理工作。

(编辑:吴永红)

[5] 秦绍俊. 自动电压无功控制系统(AVC)在聊城发电厂的应用研究[D]. 北京: 华北电力学, 2013.
[6] 蒋逸静. 天荒坪抽水蓄能电站的电压控制[J]. 华东电力, 2001(9): 8-10+52.
[7] 单鹏珠, 张柏, 李勇, 等. 张河湾抽水蓄能电站 AVC 子站系统设计及应用实现[J]. 电网与清洁能源, 2017, 33(04): 137-142.
[8] 单鹏珠, 俞鸿飞, 朱辰. 浙江电网水电厂 AVC 功能设计及其应用[J]. 水电自动化与大坝监测, 2010, 34(02): 6-8+16.
[9] 黄杨梁, 邵霞. 自动电压控制在抽水蓄能电站应用研究[J]. 水电与抽水蓄能, 2016, 2(02): 78-82.
[10] 潘文忠. 谏壁发电厂 2×1 000 MW 机组 AVC 系统研究与应用[D]. 南京: 南京理工大学, 2018.

作者简介:

李玉齐(1991-),男,湖北通城人,工程师,硕士研究生,从事电力检测与故障诊断、自动电压控制(AVC)、新能源、涉网试验等方面工作;
支晓晨(1988-),男,陕西渭南人,工程师,学士,从事电力检测与故障诊断、自动电压控制(AVC)、自动发电控制(AGC)、新能源、涉网试验等方面工作;
邱文俊(1986-),男,上海人,工程师,学士,从事电力检测与故障诊断、电力市场等方面工作;
张顺仁(1984-),男,江苏南通人,工程师,学士,从事电气计量、电能质量、励磁系统涉网试验等方面工作;
朱琦文(1987-),男,上海人,工程师,学士,从事电力检测与故障诊断、无功涉网试验等方面工作;
李超(1993-),男,黑龙江哈尔滨人,工程师,硕士研究生,从事电力检测与故障诊断、电力市场等方面工作。

(编辑:吴永红)