

基于区域策略寻优的地区电网 AVC 系统

栗杰鹏,陈天华,杜磊,吴荣,杨科
(国电南瑞科技股份有限公司,江苏南京 210061)

摘要:目前传统地调自动电压控制系统(AVC)以母线电压、关口力率合格为控制目标的模式可提高系统电压、功率因数的合格率,但在降低系统网损等经济性上有所欠缺;而以相关无功优化算法为依据的控制模式能获得当前断面在经济上的理论最优解,但工程应用效果却不甚理想。以工程应用为导向,兼顾系统运行的安全性、稳定性与经济性,提出一种应用于地区电网 AVC 系统的区域策略寻优法,该方法能在区域内厂站间协调控制,相互支援,直接给出当前区域内的最优控制策略。多个地调的实际运行均取得较好的运行效果,表明算法的先进性,同时具有一定的推广价值。

关键词:自动电压控制;区域优化;策略寻优

中图分类号:TM761.1

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2013)03-0030-03

随着调度自动化水平的快速提高,自动电压控制系统(AVC)^[1]在最近10年内得到了广泛应用和推广。目前全国绝大部分省地调部署有AVC系统,甚至在一些经济较为发达、规模较大的县级电网中也开展了AVC系统建设,并实现了省地县AVC一体化协调控制。随着电网规模的扩展以及调度自动化系统的更新换代(最新一代智能调度决策支持系统的推广),未来若干年内AVC系统将成为地调调度自动化系统(EMS)的必选模块。目前地调AVC的控制策略算法普遍采用的是基于九区图或十七区图原理的专家控制算法,以母线电压、关口力率及厂站力率合格为控制目标,该算法比较简单实用,能有效提高系统电压、功率因数的合格率,但在优化系统网损等经济性上稍有不足;基于全网无功优化^[2,3]计算的AVC系统能为当前电网断面提供理论上的最优解,但在以离散变量为主的地调AVC系统中容易造成设备频繁动作,因此并未见有较多工程应用推广。文中综合考虑前述2种方法的优缺点,以工程应用为导向,满足对电压无功考核点的灵活设置,并兼顾系统运行的安全性、稳定性与经济性,提出并开发出一种基于区域策略寻优算法的地区电网AVC系统,并在实际运行中取得较好的效果。

1 区域策略寻优法

AVC系统结构如图1所示,主要包括量测处理、闭锁处理、自动分区、策略计算、遥控接口等,其中策略计算部分提供区域寻优及专家系统2种算法。对于地调级AVC,首先根据地区电网辐射型树状运行特点,将地区电网实时自动划分为若干个独立的控制区域,区域寻优算法以区域为控制对象,将区域内可控设备进行初步筛选以形成策略集,再以评估函数对策

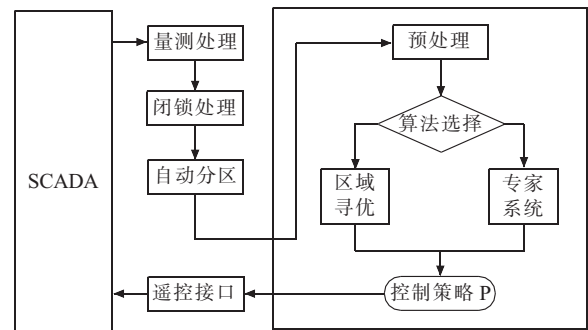


图1 AVC系统结构

略集进行策略寻优,从而获得最优的控制策略。

1.1 自动分区

当前我国地区电网主要呈以220kV(西北地区为330kV)母线为根节点辐射型树状运行的特点,结合无功电压的局部性、分散性,可将地区电网划分为若干以220kV(330kV)母线为根节点的独立控制区域。AVC系统根据从SCADA实时读取的开关刀闸遥信状态,自动识别各母线及设备的上下级拓扑关系,形成分区。各分区通过220kV线路相联系,分区间电压无功弱耦合,分区内部电压无功强耦合。区域结构如图2所示。

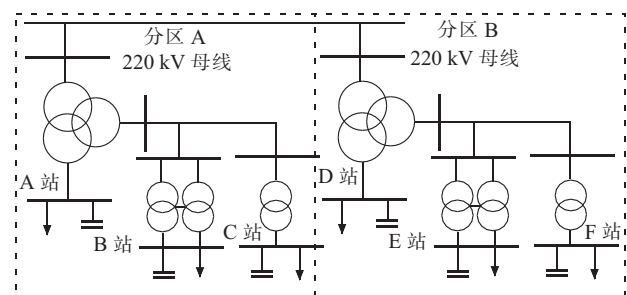


图2 地区电网典型区域结构

区域形成后,分别针对各区域进行计算和策略寻优,具有以下可见优势:(1)可降低对全网量测精确度及全网状态估计合格率的依赖,避免因部分分区量测质量差和参数不准确而影响全网数据断面;(2)减小

计算模型,降低计算规模,提高运算速度。

1.2 状态预处理和策略集生成

1.2.1 状态预处理

在区域生成后,分别对各区域进行预处理。首先依据系统定义的 AVC 相关保护信号与告警闭锁信号等检测设备状态,将不可控的设备置闭锁状态位,其逻辑关系如图 3 所示。

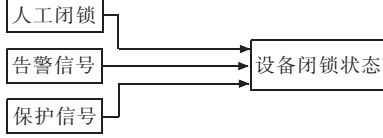


图 3 设备闭锁逻辑结构

其次,依据电网安全运行规则制定以下预处理规则,进一步对可控设备进行筛选:

- (1) 设备人工设置不参与控制或有闭锁信号时,不参与控制;
- (2) 设备未到设定动作时间间隔时,不参与控制;
- (3) 关口无功过补时,分区内不可增无功(投电容或切电抗);
- (4) 关口无功欠补时,分区内不可减无功(切电容或投电抗);
- (5) 主网(关口 220 kV 或 330 kV 母线)电压低,不可升 220 kV,330 kV 主变档位或减无功;
- (6) 主网(关口 220 kV 或 330 kV 母线)电压高,不可降 220 kV,330 kV 主变档位或增无功;
- (7) 并列运行主变中有一台闭锁时,均不可控;
- (8) 同一控制节点,电容器与电抗器不可以同时投入;
- (9) 同一母线上容抗器容量、状态相同时,循环投切平均分配动作次数;
- (10) 单周期只允许变压器调一档。

1.2.2 策略集生成

上述预处理完成后,将区域内可控设备按照设定的单周期分区最大允许可动设备数 N_{\max} 进行排列组合,形成策略集。每一条策略包含控制设备及其控制方向(变压器为升、降,容抗器为投、切),控制设备个数分别从 1 到 N_{\max} 。策略集示意如图 4 所示。

1.3 策略寻优

1.3.1 评估函数设计

以区域网损最小为目标^[4,5],将节点电压和无功越限以罚函数的形式加入到评估函数中,同时将控制设备动作次数还原为经济成本,扩展的评估函数为:

$$F = \lambda_1 P_{\text{loss}} + \sum_{i=1}^{n_1} \lambda_u (V_i - V_{i\text{lim}})^2 + \lambda_g (Q_G - Q_{g\text{lim}})^2 + \sum_{i=1}^{n_2} \lambda_q (Q_i - Q_{i\text{lim}})^2 + \sum_{i=1}^{n_3} \lambda_T (\Delta X_{T_i})^2 + \sum_{i=1}^{n_4} \lambda_C (\Delta X_{C_i})^2 \quad (1)$$

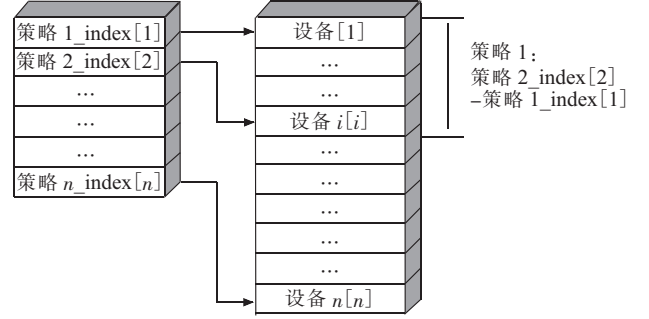


图 4 策略集结构示意图

$$V_{i\text{lim}} = \begin{cases} V_{i\text{max}} & V_i > V_{i\text{max}} \\ V_i & V_{i\text{min}} \leq V_i \leq V_{i\text{max}} \\ V_{i\text{min}} & V_i < V_{i\text{min}} \end{cases} \quad (2)$$

$$Q_{g\text{lim}} = \begin{cases} Q_{g\text{max}} & Q_g > Q_{g\text{max}} \\ Q_g & Q_{g\text{min}} \leq Q_g \leq Q_{g\text{max}} \\ Q_{g\text{min}} & Q_g < Q_{g\text{min}} \end{cases} \quad (3)$$

$$Q_{i\text{lim}} = \begin{cases} Q_{i\text{max}} & Q_i > Q_{i\text{max}} \\ Q_i & Q_{i\text{min}} \leq Q_i \leq Q_{i\text{max}} \\ Q_{i\text{min}} & Q_i < Q_{i\text{min}} \end{cases} \quad (4)$$

式中: P_{loss} 为系统的有功损耗; n_1, n_2, n_3, n_4 分别为电压考核节点个数、无功考核节点个数、可调主变数、可控容抗器数; $V_i, V_{i\text{lim}}, V_{i\text{max}}, V_{i\text{min}}$ 分别为各电压考核点的电压、电压越限值、电压上限、电压下限; $Q_g, Q_{g\text{lim}}, Q_{g\text{max}}, Q_{g\text{min}}$ 分别为当前关口的无功值、无功越限值、无功上限值和下限值; $Q_i, Q_{i\text{lim}}, Q_{i\text{max}}, Q_{i\text{min}}$ 分别为各无功考核点的无功值、无功越限值、无功上限值和下限值; $\lambda_u, \lambda_g, \lambda_q, \lambda_1$ 分别为电压罚因子、关口无功罚因子、单站无功罚因子、网损罚因子; $\lambda_T, \Delta X_T$ 分别为主变分头的调节罚因子和可动作次数; $\lambda_C, \Delta X_C$ 分别为容抗器的调节罚因子和可动作次数。上述罚因子为开放参数,可根据电压、无功或网损优先级要求进行设置。

1.3.2 策略寻优

以分区根节点的 220 kV 或 330 kV 母线为平衡节点,取当前状态估计断面作为基态潮流数据,依次按照策略集中每一策略所含设备动作方向修改相应遥测遥信值,潮流计算完成后,依据评估函数计算当前策略的状态值。循环上述过程,得到与策略集相对应的状态值集,策略集中使得状态值为最小的策略即为此分区当前状态下的最优策略。策略寻优流程如图 5 所示。

2 工程应用

2.1 设计实现

AVC 系统基于 EMS 一体化设计实现,数据通信上与 SCADA 实现无缝衔接,AVC 采用主备服务器运

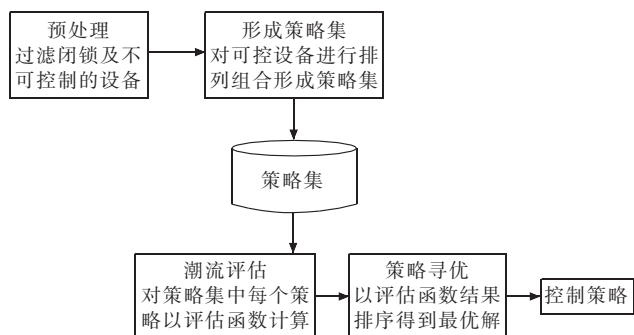


图5 区域寻优算法流程

行方式。在算法设计上也具有主备2种算法,默认模式下优先采用区域寻优法,如果寻优失败可自动切换至传统的基于专家系统的算法,保证系统的运行可靠性。

2.2 运行分析

基于上述策略寻优法的AVC系统已在国内多个地区电网上投入实时闭环运行,具有区域优化计算、算法灵活切换、实用可靠等优点,特别在厂站间协调控制,相互支援方面具有一定的先进性。以图2所示的区域接线图进行分析,当B站需调节而自己又无可调设备时,C站可进行支援,很好地诠释了区域内厂站间的协调控制,达到区域的最优控制。

比较典型的案例是安徽某地调,之前采用传统的地调AVC系统,经过系统升级改造之后,进行升级前后3个月的系统运行效益分析。

(1) 电压质量方面,升级前后负荷侧10kV母线电压合格率平均值均在99.7%以上,全网合格率则由之前的98.5%提高到99.1%;

(2) 设备动作次数方面,电容平均控制次数由4.6降至3.8,主变由2.9减少至2.3,进一步降低了设备的动作次数,提高了设备的利用率和使用寿命;

(3) 优化网损方面,进一步减少了支路无功传输,线损率降低0.08%,关口功率因数在高峰时均能保持在0.98以上。

2.3 工程应用中需注意的问题

区域策略寻优算法本质为潮流寻优法,比较依赖于状态估计,且对数据精度有一定的要求,在数据精度较差或潮流计算不收敛时,寻优计算就会失败,一方面系统此时可自动切换至专家算法以保证实时控制系统的稳定可靠性,另一方面需要系统维护人员提高基础自动化水平。

3 结束语

应用于地区电网AVC系统的区域寻优策略算法是地调AVC控制策略的一种新思路,在区域优化及协调控制上具有一定的先进性。实际应用表明,在提高电压合格率、减少设备动作次数、降低网损等方面有更好的效果。

参考文献:

- [1] 黄华,高宗和,戴则梅,等.基于控制模式的地区电网AVC系统的设计及应用[J].电力系统自动化,2005,29(15):77-80.
- [2] 赵美莲,赖业宁,刘海涛,等.实时无功优化研究及其在线实现[J].电力系统保护与控制,2009,37(23):79-83.
- [3] 唐寅生,李碧君.电力系统OPF全网最优无功的经济压差 ΔU_J 算法及其应用[J].中国电力,2000,33(9):42-44.
- [4] 张建,牛震,刘晓东,等.快速多目标无功优化方法在实际系统中的应用[J].四川电力技术,2009,32(1):79-83.
- [5] 董岳昕,杨洪耕.一种适应于地区电网无功优化控制的新方法[J].电力系统保护与控制,2010,38(14):49-54.

作者简介:

栗杰鹏(1986),男,山西长治人,工程师,从事自动电压控制的研究开发和工程化工作;

陈天华(1981),男,江苏南通人,工程师,从事自动电压控制的研究开发和工程化工作;

杜磊(1983),男,山东高唐人,工程师,从事自动电压控制的研究开发和工程化工作。

吴荣(1972),女,江苏盐城人,助理工程师,从事电力系统软件技术支持和市场化工作;

杨科(1986),男,江苏宜兴人,助理工程师,从事自动电压控制的研究开发和工程化工作。

AVC System for Regional Power Grid Based on Regional Strategy Optimization

LI Jie-peng, CHEN Tian-hua, DU Lei, WU Rong, YANG Ke

(NARI Technology Development Co. Ltd., Nanjing 210061, China)

Abstract: The conventional Automatic Voltage Control (AVC) system, in which the bus voltage and gate power factor are set as control targets, can improve the qualified rate of voltage and power factor. However, it is lack of economy in reducing the network losses; On the other hand, the reactive power optimization algorithm that minimizing the network losses can obtain the optimal solution in theory, but it is too ideal to apply in engineering. This paper proposes a zone strategy-optimization method for the purpose of engineering applications in regional power grid, also considering the security, stability and economy. This method can obtain the coordination control effect between substations, and get optimal strategy for current zone. Multiple engineering applications achieved good operating results, showing that the algorithm is advanced and has a certain popularization value.

Key words: automatic voltage control; zone optimal; strategy-optimization