



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107516901 B

(45)授权公告日 2020.04.07

(21)申请号 201710749934.9

(22)申请日 2017.08.28

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107516901 A

(43)申请公布日 2017.12.26

(73)专利权人 中国南方电网有限责任公司  
地址 510663 广东省广州市科学城科翔路  
11号

专利权人 北京清大高科系统控制有限公司

(72)发明人 胡亚平 周华锋 汤磊 胡荣  
赵化时 聂涌泉 刘永锋 李小江  
王志南 章平

(74)专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事  
务所(普通合伙) 11201

代理人 廖元秋

(51)Int.Cl.

H02J 3/06(2006.01)

H02J 3/18(2006.01)

(56)对比文件

CN 101267114 A,2008.09.17,

CN 103762602 A,2014.04.30,

CN 104167740 A,2014.11.26,

US 2010100250 A1,2010.04.22,

审查员 陈新红

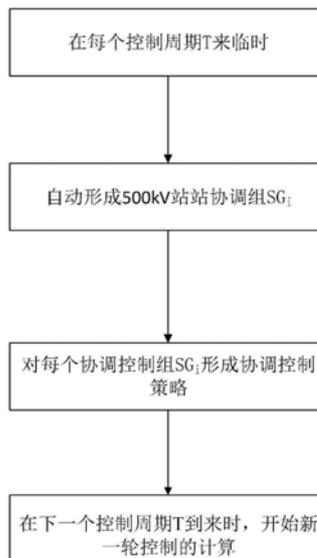
权利要求书2页 说明书8页 附图1页

(54)发明名称

自动电压控制中500kV变电站之间协调电压  
控制方法

(57)摘要

本发明涉及一种自动电压控制中500kV变  
电站之间协调电压控制方法,属于电力系统自动电  
压控制技术领域。该方法在每个控制周期T来临  
时,计算得到电网的灵敏度矩阵和站站协调系数  
矩阵;对电网中参与自动电压控制的每个500kV  
变电站,形成相应的500kV变电站协调组;然后根  
据站站协调组内各变电站的电压越限情况以及  
无功资源情况,计算生成该变电站协助相邻其他  
变电站调压的站站协调电压控制策略。采用本方  
法可充分利用电网中配置的无功设备,消除电网  
中的母线电压越限,提高电网电压稳定性和电压  
质量。



1. 一种自动电压控制中500kV变电站之间协调电压控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 预先设定电网的控制周期T;

2) 在每个控制周期T来临时,计算得到电网的灵敏度矩阵和站站协调系数矩阵;具体步骤如下:

2-1) 基于潮流模型计算得到500kV变电站高压侧母线之间的无功电压灵敏度 $S_{ij}$ , $S_{ij}$ 表示在第i座变电站的500kV母线上注入单位无功,对应的第j座变电站的500kV母线电压的变化量;以电网中全部的500kV变电站集合 $S_{500}$ 为对象,求出全部的 $S_{ij}$ 并形成 $n*n$ 阶灵敏度矩阵表达式如下:

$$S_{cv} = \begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} & \dots & S_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{n1} & S_{n2} & S_{n3} & S_{n4} & \dots & S_{nn} \end{vmatrix}$$

其中, $S_{cv}$ 为灵敏度矩阵, $n$ 为电网中500kV变电站个数;

2-2) 定义站站协调系数 $X_{ij}$ 如下:

$$X_{ij} = \frac{S_{ij}}{S_{ii}}$$

当 $i = j$ 时, $X_{ij} = 1$ ;得到站站协调系数矩阵如下:

$$X_{cv} = \begin{vmatrix} 1 & X_{12} & X_{13} & X_{14} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & 1 & X_{23} & X_{24} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{n1} & X_{n2} & X_{n3} & X_{n4} & \dots & 1 \end{vmatrix}$$

其中, $X_{ij} \neq X_{ji}$ 且有:

$$0 < X_{ij} < 1.0, 0 < X_{ji} < 1.0$$

3) 基于步骤2)得到的站站协调系数矩阵,对电网中参与自动电压控制的任一500kV变电站i,形成相应的500kV变电站站站协调组 $SG_i$ ;具体步骤如下:

定义与第i座500kV变电站进行协调的其他变电站的集合为第i座500kV变电站站站协调组 $SG_i$ ,表达式如下:

$$SG_i = \{S_j, X_{ij} > X_m, j \in S_{500}, j \neq i\}$$

其中, $X_m$ 为门槛参数, $0 < X_m < 1.0$ ;

4) 对步骤3)生成的站站协调组 $SG_i$ ,形成协调电压控制策略;具体步骤如下:

4-1) 定义集合 $T_0$ 为保存消除电压越下限的站站协调电压控制策略的受控500kV变电站的集合, $T_1$ 为保存消除电压越上限的站站协调电压控制策略的受控500kV变电站的集合,两个集合分别初始化为空;

4-2) 对变电站i,首先检查该站内是否有母线电压越限的情况,具体步骤如下:

4-2-1) 如果变电站i内电压大于或小于给定的电压上限或下限,则消除站内电压越限,该变电站不参与站站协调电压控制,重新返回步骤3),继续计算下一个变电站的站站协调

电压控制策略；

4-2-2) 如果变电站 $i$ 内电压不越限,则进入步骤4-3),计算变电站 $i$ 的站站协调电压控制策略；

4-3) 建立用于记录站站协调控制需求数量的计数器 $N_0$ 和 $N_1$ ,初始时令 $N_0=N_1=0$ ；

4-4) 对变电站 $i$ 的站站协调组 $SG_i$ 中的每个变电站 $j$ ,执行如下步骤：

4-4-1) 如果变电站 $j$ 内500kV母线电压出现越上限的情况,并且变电站 $j$ 内已无可减少的无功资源,同时集合 $T_1$ 中不包含变电站 $j$ ,则记录 $N_1=N_1+1$ ；

4-4-2) 如果变电站 $j$ 内500kV母线电压出现越下限的情况,并且变电站 $j$ 内已无可增加的无功资源,同时集合 $T_0$ 中不包含变电站 $j$ ,则记录 $N_0=N_0+1$ ；

4-5) 遍历变电站 $i$ 的站站协调组 $SG_i$ 中的全部变电站后,检查计数器 $N_0$ 、 $N_1$ ：

4-5-1) 如果 $N_1>0$ 且 $N_0=0$ ,则在变电站 $i$ 中生成减无功控制策略为降低500kV母线电压,把该控制策略记录到控制策略表中,并将 $SG_i$ 中的全部变电站 $j$ 存入集合 $T_1$ 中；

4-5-2) 如果 $N_0>0$ 且 $N_1=0$ ,则在变电站 $i$ 中生成增无功控制策略为增加500kV母线电压,把该控制策略记录到控制策略表中,并将 $SG_i$ 中的全部变电站 $j$ 存入集合 $T_0$ 中；

4-5-3) 如果 $N_1=0$ 且 $N_0=0$ ,则变电站 $i$ 不协助 $SG_i$ 中其他变电站进行电压校正调节；

4-5-4) 如果 $N_1>0$ 且 $N_0>0$ ,则说明在 $SG_i$ 中需要协助校正调压的变电站有多座并且其电压调节方向不同,变电站 $i$ 无法进行站站协调电压控制；

5) 重新返回步骤3),继续计算下一个变电站的站站协调电压控制策略,直至电网中全部500kV变电站处理完毕；

6) 在下一个控制周期 $T$ 到来时,重新返回步骤2),开始新一轮的站站协调电压控制策略的计算。

## 自动电压控制中500kV变电站之间协调电压控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于电力系统自动电压控制技术领域,特别涉及一种自动电压控制中500kV变电站之间协调电压控制方法。

### 背景技术

[0002] 自动电压控制(以下简称AVC, Automatic Voltage Control) 系统是实现电网安全(提高电压稳定裕度)、经济(降低网络损耗)、优质(提高电压合格率)运行的重要手段。AVC系统架构在电网能量管理系统(EMS)之上,能够利用电网实时运行数据,从电网全局优化的角度科学决策出最佳的无功电压调整方案,自动下发给电厂、变电站以及下级电网调度机构执行。AVC系统以电压安全和优质为约束,以系统运行经济性为目标,连续闭环地进行电压的实时优化控制,实现了无功电压协调控制方案的在线生成、实时下发、闭环自动控制等一整套分析、决策、控制,以及再分析,再决策、再控制的无功电压实时追踪控制问题,能够有效地克服传统的电网无功电压控制手段存在的不足,提高电网安全稳定经济运行的水平。

[0003] 孙宏斌、张伯明、郭庆来在《基于软分区的全局电压优化控制系统设计》(电力系统自动化,2003年,第27卷第8期,16-20页)中说明了大电网自动电压控制的体系结构。该方法采用基于“软分区”的三级自动电压控制架构,实现大电网的自动电压控制。其中:三级控制为全局无功优化计算,充分考虑各种可调节的无功手段,通过最优潮流计算给出全网协调的母线电压优化控制目标;二级控制为分区解耦的控制策略计算:将电网自动划分为解耦的各个区域,每个区域内选择若干中枢母线,对每个分区分别计算分区内各种无功资源的控制策略,以追随三级控制给出的区内的中枢母线优化目标;一级控制为厂站端的就地控制,执行AVC主站给出的电压或无功控制指令。

[0004] AVC系统的主站部分是在电网控制中心基于软件程序实现的自动电压控制方法,其对电网的电压控制方法主要有对电厂发电机无功控制方法以及对变电站的无功设备控制方法2类。其中对电厂的发电机无功控制方法,目前采用的主要方式是:调度中心的AVC系统通过无功优化计算得到电厂各机组的无功调节量后,通过无功电压灵敏度将机组无功调整量转换为电厂高压侧母线电压的控制目标值,主站通过数据通信通道向电厂的AVC子站系统发送电厂高压侧母线的电压控制目标值,电厂的AVC子站接收到目标值后,根据当前电厂内各台发电机的运行状态,采用步进方式调整发电机发出的无功,直到高压侧母线达到AVC主站下发的设定值,发电机发出的无功增加/减少时,高压侧母线电压升高/降低。对变电站的控制方法为对无功补偿设备的投切指令以及变压器有载调压分接头的调节指令。无功设备主要包括电容器和电抗器,当投入电容器或切除电抗器时,母线电压升高;当切除电容器或投入电抗器后,母线电压降低。变压器有载调压分接头一般装载在变压器高压侧绕组,分接头档位升高时中低压母线电压升高,反之降低。AVC主站下发投入或切除无功设备的指令以及分接头升降指令,变电站内的自动化监控系统根据接收的指令,完成站内无功设备的投切或分接头的调节。

[0005] 自动电压控制涉及到无功电压灵敏度的计算,无功电压灵敏度的物理意义为在某母线上增加注入单位无功后,电网中各母线的电压变化。孙宏斌,张伯明,相年德在《准稳态的灵敏度分析方法》(中国电机工程学报,1999年4月V19N4,pp.9-13)中提出了准稳态灵敏度方法,与常规的静态的灵敏度分析方法不同,准稳态灵敏度方法考虑了电力系统准稳态的物理响应,计及系统控制前后新旧稳态间的总变化,有效提高了灵敏度分析的精度。该方法基于电力系统的PQ解耦模型,当发电机安装有自动电压调节器(AVR)时,可认为该发电机节点为PV节点;而当发电机装有自动无功功率调节(AQR)或自动功率因数调节(APFR)时,可认为该发电机节点与普通负荷节点相同均为PQ节点。此外,将负荷电压静特性考虑成节点电压的一次或二次曲线。这样所建立的潮流模型就自然地将这些准稳态的物理响应加以考虑,从而基于潮流模型计算出的灵敏度即为准稳态的灵敏度。电网AVC系统中计算电厂、变电站控制策略均采用上述准稳态灵敏度方法。

[0006] 目前自动电压控制中500kV变电站控制是根据三级优化控制给出的区域中枢母线电压的控制值,采用灵敏度算法求出与此区域内所有的变电站的母线控制目标值。在变电站的二级电压控制中,系统需要根据变电站的设备运行情况,结合三级控制给出的母线电压控制目标进行综合分析,对离散设备的控制结果进行预估,确定是否可控并生成具体设备的控制策略,下发给变电站的综合自动化系统执行。在已有的算法中,并没有体现出500kV站和站之间的协调控制,即一个站内电压越限并且没有可控制手段时,相邻变电站进行协助调整,消除电压越限。

## 发明内容

[0007] 本发明的目的在于为克服已有技术的不足之处,提出一种自动电压控制中500kV变电站之间协调电压控制方法。本发明充分利用电网中各变电站中配置的无功设备,消除电网中的母线电压越限,提高电网电压稳定性和电压质量。

[0008] 本发明提出的一种自动电压控制中500kV变电站之间协调电压控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0009] 1) 预先设定电网的控制周期T;

[0010] 2) 在每个控制周期T来临时,计算得到电网的灵敏度矩阵和站站协调系数矩阵;具体步骤如下:

[0011] 2-1) 基于潮流模型计算得到500kV变电站高压侧母线之间的无功电压灵敏度 $S_{ij}$ , $S_{ij}$ 表示在第i座变电站的500kV母线上注入单位无功,对应的第j座变电站的500kV母线电压的变化量;以电网中全部的500kV变电站集合 $S_{500}$ 为对象,求出全部的 $S_{ij}$ 并形成 $n*n$ 阶灵敏度矩阵表达式如下:

$$[0012] \quad S_{cv} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} & \dots & S_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{n1} & S_{n2} & S_{n3} & S_{n4} & \dots & S_{nn} \end{bmatrix}$$

[0013] 其中, $S_{cv}$ 为灵敏度矩阵, $S_{ij}$ 为变电站i的500kV母线对变电站j的500kV母线的电压灵敏度, $n$ 为电网中500kV变电站个数;

[0014] 2-2) 定义站站协调系数 $X_{ij}$ 如下:

$$[0015] \quad X_{ij} = \frac{S_{ij}}{S_{ii}}$$

[0016] 当 $i = j$ 时,  $X_{ij} = 1$ ; 得到站站协调系数矩阵如下:

$$[0017] \quad X_{cv} = \begin{pmatrix} 1 & X_{12} & X_{13} & X_{14} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & 1 & X_{23} & X_{24} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{n1} & X_{n2} & X_{n3} & X_{n4} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

[0018] 其中,  $X_{ij} \neq X_{ji}$  且有:

[0019]  $0 < X_{ij} < 1.0, 0 < X_{ji} < 1.0$

[0020] 3) 基于步骤2) 得到的站站协调系数矩阵, 对电网中参与自动电压控制的任一500kV变电站 $i$ , 形成相应的500kV变电站站站协调组 $SG_i$ ; 具体步骤如下:

[0021] 定义与第 $i$ 座500kV变电站进行协调的其他变电站的集合为第 $i$ 座500kV变电站站站协调组 $SG_{ii}$ , 表达式如下:

[0022]  $SG_i = \{S_j, X_{ij} > X_m, j \in S_{500}, j \neq i\}$

[0023] 其中,  $X_m$ 为门槛参数,  $0 < X_m < 1.0$ ;

[0024] 4) 对步骤3) 生成的站站协调组 $SG_i$ , 形成协调电压控制策略; 具体步骤如下:

[0025] 4-1) 定义集合 $T_0$ 为保存消除电压越下限的站站协调电压控制策略的受控500kV变电站的集合,  $T_1$ 为保存消除电压越上限的站站协调电压控制策略的受控500kV变电站的集合, 两个集合分别初始化为空;

[0026] 4-2) 对变电站 $i$ , 首先检查该站内是否有母线电压越限的情况, 具体步骤如下:

[0027] 4-2-1) 如果变电站 $i$ 内电压大于或小于给定的电压上限或下限, 则消除站内电压越限, 该变电站不参与站站协调电压控制, 重新返回步骤3), 继续计算下一个变电站的站站协调电压控制策略;

[0028] 4-2-2) 如果变电站 $i$ 内电压不越限, 则进入步骤4-3), 计算变电站 $i$ 的站站协调电压控制策略;

[0029] 4-3) 建立用于记录站站协调控制需求数量的计数器 $N_0$ 和 $N_1$ , 初始时令 $N_0 = N_1 = 0$ ;

[0030] 4-4) 对变电站 $i$ 的站站协调组 $SG_i$ 中的每个变电站 $j$ , 执行如下步骤:

[0031] 4-4-1) 如果变电站 $j$ 内500kV母线电压出现越上限的情况, 并且变电站 $j$ 内已无可减少的无功资源, 同时集合 $T_1$ 中不包含变电站 $j$ , 则记录 $N_1 = N_1 + 1$ ;

[0032] 4-4-2) 如果变电站 $j$ 内500kV母线电压出现越下限的情况, 并且变电站 $j$ 内已无可增加的无功资源, 同时集合 $T_0$ 中不包含变电站 $j$ , 则记录 $N_0 = N_0 + 1$ ;

[0033] 4-5) 遍历变电站 $i$ 的站站协调组 $SG_i$ 中的全部变电站后, 检查计数器 $N_0$ 、 $N_1$ :

[0034] 4-5-1) 如果 $N_1 > 0$ 且 $N_0 = 0$ , 则在变电站 $i$ 中生成减无功控制策略为降低500kV母线电压, 将该控制策略记录到控制策略表中, 并将 $SG_i$ 中的全部变电站 $j$ 存入中集合 $T_1$ 中;

[0035] 4-5-2) 如果 $N_0 > 0$ 且 $N_1 = 0$ , 则在变电站 $i$ 中生成增无功控制策略为增加500kV母线电压, 将该控制策略记录到控制策略表中, 并将 $SG_i$ 中的全部变电站 $j$ 存入中集合 $T_0$ 中;

[0036] 4-5-3) 如果 $N_1 = 0$ 且 $N_0 = 0$ , 则变电站 $i$ 不协助 $SG_i$ 中其他变电站进行电压校正调节;

[0037] 4-5-4) 如果 $N_1 > 0$ 且 $N_0 > 0$ , 则说明在 $SG_i$ 中需要协助校正调压的变电站有多座并且其电压调节方向不同, 变电站 $i$ 无法进行站站协调电压控制;

[0038] 5) 重新返回步骤3), 继续计算下一个变电站的站站协调电压控制策略, 直至电网中全部500kV变电站处理完毕;

[0039] 6) 在下一个控制周期 $T$ 到来时, 重新返回步骤2), 开始新一轮的站站协调电压控制策略的计算。本发明的特点和有益效果在于:

[0040] 本发明实现了在变电站控制中, 对于电气联系紧密的变电站, 当某站电压越限且站内无功资源已经用尽时, 协调控制临近的变电站无功设备, 消除电压越限; 原有的二级电压控制方法中, 只是跟随三级电压给出的目标进行控制, 并没有精细化到500kV相邻站站进行协调控制。该方法可以充分利用电网中配置的无功设备, 提高电网电压稳定性和电压质量。

## 附图说明

[0041] 图1是本发明的方法流程框图。

[0042] 图2是本发明实施例变电站连接关系示意图。

## 具体实施方式

[0043] 本发明提出的自动电压控制中500kV变电站之间协调电压控制方法, 下面将结合附图以及具体实施例来详细说明本发明, 在此本发明的示意性实施例以及说明用来解释本发明, 但并不作为对本发明的限定。

[0044] 本发明提出的自动电压控制中500kV变电站之间协调电压控制方法, 其特征在于, 该方法通过在二级电压控制中, 对于电气联系紧密的变电站, 当某变电站电压越限同时站内无功资源已经用尽时, 协调控制临近的变电站无功设备, 以消除电压越限; 该方法总体流程如图1所示, 具体包括如下步骤:

[0045] 1) 预先设定电网的控制周期 $T$  ( $T$ 通常为5分钟);

[0046] 2) 在每个控制周期 $T$ 来临时, 计算得到电网的灵敏度矩阵和站站协调系数矩阵; 具体步骤如下:

[0047] 2-1) 基于潮流模型计算得到500kV变电站高压侧母线之间的无功电压灵敏度 $S_{ij}$ ,  $S_{ij}$ 表示在第 $i$ 座变电站的500kV母线上注入单位无功, 对应的第 $j$ 座变电站的500kV母线电压的变化量。以电网中全部的500kV变电站集合 $S_{500}$ 为对象, 求出全部的 $S_{ij}$ 并形成 $n \times n$ 阶灵敏度矩阵表达式如下:

$$[0048] \quad S_{cv} = \begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} & \dots & S_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{n1} & S_{n2} & S_{n3} & S_{n4} & \dots & S_{nn} \end{vmatrix}$$

[0049] 其中 $S_{cv}$ 为灵敏度矩阵,  $S_{ij}$ 为变电站 $i$ 的500kV母线对变电站 $j$ 的500kV母线的电压灵敏度,  $n$ 为电网中500kV变电站个数。

[0050] 2-2) 定义站站协调系数 $X_{ij}$ 如下:

$$[0051] \quad X_{ij} = \frac{S_{ij}}{S_{ii}}$$

[0052] 当 $i = j$ 时,  $X_{ij} = 1$ ; 从而可以得到站站协调系数矩阵如下:

$$[0053] \quad X_{cv} = \begin{pmatrix} 1 & X_{12} & X_{13} & X_{14} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & 1 & X_{23} & X_{24} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{n1} & X_{n2} & X_{n3} & X_{n4} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

[0054] 由于电网结构、电源布局的特点, 一般情况下有:  $X_{ij} \neq X_{ji}$  且有:

$$[0055] \quad 0 < X_{ij} < 1.0, 0 < X_{ji} < 1.0$$

[0056] 3) 基于步骤2) 得到的站站协调系数矩阵, 对电网中参与自动电压控制的任一500kV变电站 $i$ , 自动形成相应的500kV变电站站站协调组 $SG_i$ ; 具体步骤如下:

[0057] 定义与第 $i$ 座500kV变电站进行协调的其他变电站的集合为第 $i$ 座500kV变电站站站协调组 $SG_{ii}$ , 表达式如下:

$$[0058] \quad SG_i = \{S_j, X_{ij} > X_m, j \in S_{500}, j \neq i\}$$

[0059] 其中 $X_m$ 为可以设定的门槛参数,  $0 < X_m < 1.0$ , 该参数值体现了与变电站 $i$ 协调的其他变电站的电气联系的紧密程度(数值越大说明联系越紧密)。

[0060] 4) 对步骤3) 生成的站站协调组 $SG_i$ , 形成协调电压控制策略; 具体步骤如下:

[0061] 4-1) 定义集合 $T_0$ 为保存消除电压越下限的站站协调电压控制策略的受控500kV变电站的集合,  $T_1$ 为保存消除电压越上限的站站协调电压控制策略的受控500kV变电站的集合, 两个集合分别初始化为空;

[0062] 4-2) 对变电站 $i$ , 首先检查该站内是否有母线电压越限的情况, 具体步骤如下:

[0063] 4-2-1) 如果变电站 $i$ 内电压大于或小于给定的电压上限或下限, 则消除站内电压越限。当变电站内电压出现越线情况时, 说明该变电站无法参与站站协调电压控制, 则重新返回步骤3), 继续计算下一个变电站的的站站协调电压控制策略。

[0064] 4-2-2) 如果变电站 $i$ 内电压不越限, 则进入步骤4-3), 计算变电站 $i$ 的站站协调电压控制策略;

[0065] 4-3) 在计算变电站 $i$ 的站站协调电压控制策略时, 引入协调需求 $N_0$ 、 $N_1$ 变量记录站站协调控制需求数量, 初始时令 $N_0 = N_1 = 0$ ;

[0066] 4-4) 对变电站 $i$ 的站站协调组 $SG_i$ 中的每个变电站 $j$ , 执行如下步骤:

[0067] 4-4-1) 如果变电站 $j$ 内500kV母线电压出现越上限的情况, 并且变电站 $j$ 内已无可减少的无功资源(即低压侧全部电容器已退出、全部电抗器已投入), 同时集合 $T_1$ 中不包含变电站 $j$ , 则记录 $N_1 = N_1 + 1$ ;

[0068] 4-4-2) 如果变电站 $j$ 内500kV母线电压出现越下限的情况, 并且变电站 $j$ 内已无可增加的无功资源(即低压侧全部电抗器已退出、全部电容器已投入), 同时集合 $T_0$ 中不包含变电站 $j$ , 则记录 $N_0 = N_0 + 1$ ;

[0069] 4-5) 遍历变电站 $i$ 的站站协调组 $SG_i$ 中的全部变电站后, 检查计数器 $N_0$ 、 $N_1$ :

[0070] 4-5-1) 如果 $N_1 > 0$ 且 $N_0 = 0$ , 则在变电站 $i$ 中生成减无功控制策略为降低500kV母线电压, 把该控制策略记录到控制策略表中, 并将 $SG_i$ 中的全部变电站 $j$ 存入中集合 $T_1$ 中;

[0071] 4-5-2) 如果 $N_0 > 0$ 且 $N_1 = 0$ , 则在变电站 $i$ 中生成增无功控制策略为增加500kV母线电压, 把该控制策略记录到控制策略表中, 并将 $SG_i$ 中的全部变电站 $j$ 存入中集合 $T_0$ 中;

[0072] 4-5-3) 如果 $N_1 = 0$ 且 $N_0 = 0$ , 则变电站 $i$ 不需要协助 $SG_i$ 中其他变电站进行电压校正调节;

[0073] 4-5-4) 如果 $N_1 > 0$ 且 $N_0 > 0$ , 则说明在集合 $SG_i$ 中, 需要协助校正调压的变电站有多座并且其电压调节方向不同, 变电站 $i$ 无法进行站站电压协调控制;

[0074] 5) 重新返回步骤3), 继续计算下一个变电站 $i+1$ 的站站协调电压控制策略, 直至电网中全部500kV变电站处理完毕。

[0075] 6) 在下一个控制周期 $T$ 到来时, 重新返回步骤2), 开始新一轮的站站协调电压控制策略计算。

[0076] 本发明方法的工作原理在于:

[0077] 通过对现有的省调区域模型进行准稳态灵敏度计算, 获取当前的站与站之间的灵敏度, 通过灵敏度关系自动形成500kV站站协调组, 然后对每个协调组进行协调策略计算, 协调控制临近的变电站无功设备, 消除站内无功资源已经用尽的电压越限。

[0078] 实施例

[0079] 本实施例为对一个省调区域进行控制计算, 本实施例站站连接关系如图2所示, 该分区内包含5座500kV变电站, 分别为A、B、C、D、E; 默认设置E站有母线越上限, 但本站没有调节能力, A站没有越限情况, 还有调节能力, B、C、D没有越限情况, 没有调节能力;

[0080] 本发明提出的自动电压控制中500kV变电站之间协调电压控制方法, 包括以下步骤:

[0081] 1) 预先设定控制周期 $T$ , 本实施例中以每5分钟为一个控制周期;

[0082] 2) 在每个控制周期 $T$ 来临时, 计算得到电网的灵敏度矩阵和站站协调系数矩阵; 具体步骤如下:

[0083] 2-1) 基于潮流模型计算得到500kV变电站高压侧母线之间的无功电压灵敏度 $S_{ij}$ ,  $S_{ij}$ 物理意义为, 在第 $i$ 座变电站的500kV母线上注入单位无功, 对应的第 $j$ 座变电站的500kV母线电压的变化量。

[0084] 本实施例中, 每个变电站的 $S_{ij}$ 的取值如表1所示:

[0085] 表1本实施例无功电压灵敏度 $S_{ij}$ 取值表

	A	B	C	D	E	
[0086]	A	0.0293	0.0267	0.0142	0.0145	0.0178
	B	0.0267	0.0529	0.0129	0.0132	0.0162
	C	0.0142	0.0129	0.0328	0.0149	0.0184
[0087]	D	0.0144	0.0131	0.0149	0.0319	0.0190
	E	0.0178	0.0161	0.0184	0.0191	0.0236

[0088] 对电网中全部的500kV变电站集合 $S_{500}$ 为对象, 求出全部的 $S_{ij}$ 并形成 $5 \times 5$ 阶灵敏度矩阵如下:

[0089] 
$$S_{cv} = \begin{pmatrix} 0.0293 & 0.0267 & 0.0142 & 0.0145 & 0.0178 \\ 0.0267 & 0.0529 & 0.0129 & 0.0132 & 0.0162 \\ 0.0142 & 0.0129 & 0.0328 & 0.0149 & 0.0184 \\ 0.0144 & 0.0131 & 0.0149 & 0.0319 & 0.0190 \\ 0.0178 & 0.0161 & 0.0184 & 0.0191 & 0.0236 \end{pmatrix}$$

[0090] 其中 $S_{cv}$ 为灵敏度矩阵, $S_{ij}$ 为*i*变电站对*j*变电站的灵敏度, $n$ 为电网中500kV变电站个数。

[0091] 2-2) 定义站站协调系数 $X_{ij}$ 如下:

[0092] 
$$X_{ij} = \frac{S_{ij}}{S_{ii}}$$

[0093] 当*i* = *j*时, $X_{ij}$  = 1;

[0094] 本实施例中站站协调系数取值如表2所示:

[0095] 表2本实施例站站协调系数 $X_{ij}$ 取值表

[0096]

	A	B	C	D	E
A	1.000	0.911	0.485	0.495	0.608
B	0.505	1.000	0.244	0.250	0.306
C	0.433	0.393	1.000	0.454	0.561
D	0.451	0.411	0.467	1.000	0.596
E	0.754	0.682	0.780	0.809	1.000

[0097] 从而可以得到站站协调系数矩阵如下:

[0098] 
$$X_{cv} = \begin{pmatrix} 1.000 & 0.911 & 0.485 & 0.495 & 0.608 \\ 0.505 & 1.000 & 0.244 & 0.250 & 0.306 \\ 0.433 & 0.393 & 1.000 & 0.454 & 0.561 \\ 0.451 & 0.411 & 0.467 & 1.000 & 0.596 \\ 0.754 & 0.682 & 0.780 & 0.809 & 1.000 \end{pmatrix}$$

[0099] 由于电网结构、电源布局的特点,一般情况下有: $X_{ij} \neq X_{ji}$ 且有:

[0100]  $0 < X_{ij} < 1.0, 0 < X_{ji} < 1.0$

[0101] 3) 基于步骤2) 得到的站站协调系数矩阵,对电网中参与自动电压控制的任一500kV变电站*i*,自动形成相应的500kV变电站站站协调组 $SG_i$ ;具体步骤如下:

[0102] 定义与第*i*座500kV变电站进行协调的其他变电站的集合为第*i*座500kV变电站站站协调组 $SG_i$ ,设定 $X_m = 0.5$ ,则可以确定的站站协调集合如下:

[0103] 
$$\begin{cases} SG_A = \{B, E\} \\ SG_B = \{A, E\} \\ SG_C = \{E\} \\ SG_D = \{E\} \\ SG_E = \{B, A, C, D\} \end{cases}$$

[0104] 其中 $X_m$ 为可以设定的门槛参数, $0 < X_m < 1.0$ ,该参数值体现了与变电站*i*协调的其他

变电站的电气联系的紧密程度。

[0105] 4) 对步骤3) 生成的站站协调组 $SG_i$ , 形成协调电压控制策略, 具体步骤如下:

[0106] 4-1) 定义集合 $T_0$ 为保存消除电压越下限的站站协调电压控制策略的受控500kV变电站的集合,  $T_1$ 为保存消除电压越上限的站站协调电压控制策略的受控500kV变电站的集合, 两个集合分别初始化为空;

[0107] 4-2) 对变电站 $i$ , 首先检查该站内是否有母线电压越限的情况:

[0108] 4-2) 对变电站 $i$ , 首先检查该站内是否有母线电压越限的情况, 具体步骤如下:

[0109] 4-2-1) 如果变电站 $i$ 内电压大于或小于给定的电压上限或下限, 则消除站内电压越限, 该变电站不参与站站协调电压控制, 重新3);

[0110] 4-2-2) 如果变电站 $i$ 内电压不越限, 则进入步骤4-3), 计算变电站 $i$ 的站站协调电压控制策略;

[0111] 本实施例以当前变电站A为例该站内没有母线电压越限, 则进入步骤4-3);

[0112] 4-3) 在计算变电站A的站站协调电压控制策略时, 引入 $N_0$ 、 $N_1$ 变量记录站站协调控制需求, 初始时 $N_0=N_1=0$ ;

[0113] 4-4) 对变电站A的站站协调组 $SG_A$ 中的每个变电站, 执行如下步骤:

[0114] 变电站B内500kV母线电压没有出现越下限的情况, 不做计算; 变电站E站有母线越上限, 变电站A有调节能力, 变电站E内500kV母线电压出现越上限的情况, 并且变电站E内已无可减少的无功资源(即低压侧全部电容器已退出、全部电抗器已投入), 同时集合 $T_1$ 中不包含变电站E, 记录 $N_1=N_1+1$ ;

[0115] 4-5) 变电站A的站站协调组 $SG_A$ 中的全部变电站处理完成后, 检查计数器 $N_0$ 、 $N_1$ :

[0116]  $N_1>0$ 且 $N_0=0$ , 则在变电站A中生成减无功控制策略为降低500kV母线电压, 并将 $SG_A$ 中的全部变电站存入中集合 $T_1$ 中;

[0117] 5) 重新返回步骤3), 继续计算下一个变电站生成的协调组的站站协调电压控制策略, 直至全部500kV变电站处理完毕。

[0118] 6) 在下一个控制周期 $T$ 到来时, 重新返回步骤2), 开始新一轮站站协调电压控制策略的计算。

[0119] 以上对本发明实施例所提供的技术方案进行了详细介绍, 本文中应用了具体个例对本发明实施例的原理以及实施方式进行了阐述, 以上实施例的说明只适用于帮助理解本发明实施例的原理; 同时, 对于本领域的一般技术人员, 依据本发明实施例, 在具体实施方式以及应用范围上均会有改变之处, 综上所述, 本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

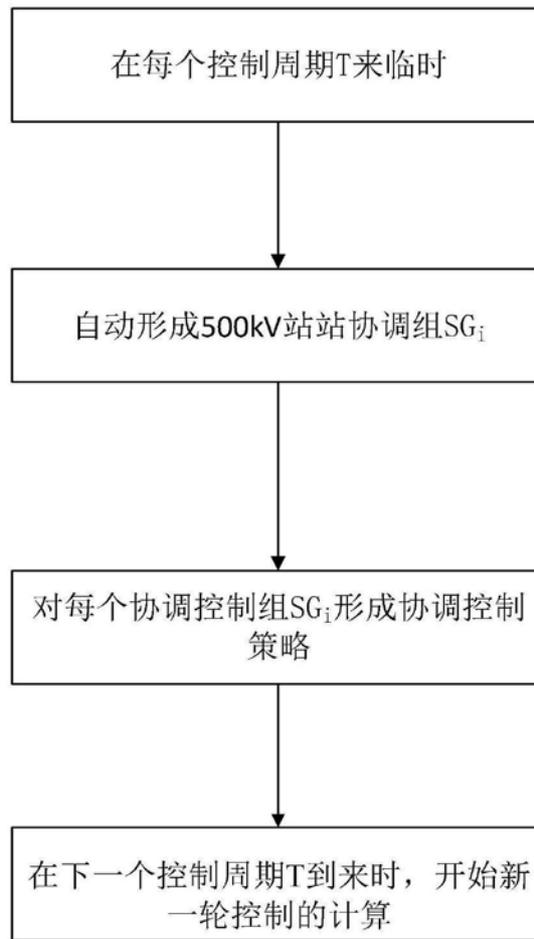


图1

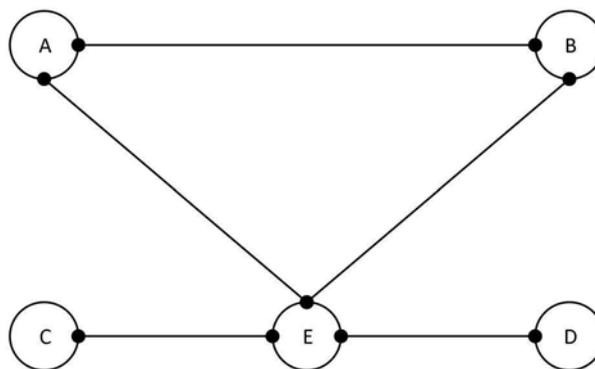


图2