



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104348158 A

(43) 申请公布日 2015. 02. 11

(21) 申请号 201410659765. 6

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2014. 11. 18

H02J 3/06 (2006. 01)

H02J 3/18 (2006. 01)

(71) 申请人 国家电网公司

地址 100031 北京市西城区西长安街 86 号

申请人 国网冀北电力有限公司张家口供电公司

北京清大高科系统控制有限公司

(72) 发明人 于磊 汤磊 王双 韩宇龙

谷文旗 常晓慧 谢旭 王阳

王祖光 付启 穆亮 李云 王磊

郭庆来

(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

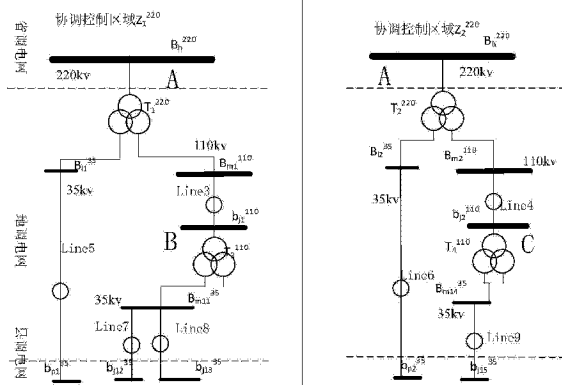
权利要求书2页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

地县一体化自动电压控制中协调控制区的自动生成方法

(57) 摘要

本发明涉及地县一体化自动电压控制中协调控制区的自动生成方法,属于电力系统自动电压控制技术领域。该方法包括:生成地区电网 220kV 变压器所连接的 110kV 电网的模型,并生成协调控制区;将地区电网 220kV 变压器低压侧绕组所连接的 35kV 变电站加入到已经生成的协调控制区中;生成地区电网 110kV 变压器所连接的县级 35kV 电网的模型,并产生 110kV 协调子控制区;将产生的 110kV 协调子控制区加入已经生成的协调控制区中。本发明方法能够快速、自动形成用于地县一体化自动电压控制的协调控制区,满足地县电网上下级变电站协调无功电压控制的要求。



1. 一种地县一体化自动电压控制中协调控制区的自动生成方法,其特征在于,该方法事先确定控制周期,具体步骤如下:

1) 当控制周期到来时,生成地县电网 220kV 变压器所连接的 110kV 电网的模型,并产生 220kV 协调控制区,具体包括如下子步骤:

1 - a) 从地县一体化调度自动化系统获取完整的地县一体化电网模型;

1 - b) 对完整的电网模型进行处理,删除 110kV 电压等级以外的全部输电线路;删除 110kV 电压等级以外的全部隔离开关和断路器;删除 110kV 电压等级内全部处于分状态的隔离开关和断路器模型后,形成 110kV 电网的模型;

1 - c) 对 110kV 电网模型进行拓扑着色编码,形成若干拓扑岛,每个拓扑岛包括了若干在电气上连接在一起的导电设备;

1 - d) 依次检查全部拓扑岛,如某拓扑岛  $i$  中含有 220kV 变压器和 110kV 变电站,则将对对应于该拓扑岛  $i$  建立一个 220kV 协调控制区,记为  $Z_i^{220}$ ,  $Z_i^{220}$  表示含有 220kV 和 110kV 电压等级的拓扑岛  $i$  所形成的有电气联系的 220kV 协调控制区域;

1 - e) 对处于拓扑岛  $i$  上的 220kV 变压器进行处理:将 220kV 变压器记为  $T_n^{220}$ ,  $T_n^{220}$  为拓扑岛  $i$  所形成的 220kV 协调控制区域中  $n$  个 220kV 变压器,将  $T_n^{220}$  加入到  $Z_i^{220}$  中;将 220kV 变压器  $T_n^{220}$  高压侧绕组通过闭合的母联开关所连接的通过闭合的母联开关并列运行的母线合并为一条,记为  $B_h^{220}$ ,  $B_h^{220}$  表示 220kV 变压器高压侧 220kV 电压等级的  $h$  条逻辑母线,将  $B_h^{220}$  加入到  $Z_i^{220}$  中;将 220kV 变压器中压侧绕组所连接的通过闭合的母联开关并列运行的母线合并为一条,记为  $B_m^{110}$ ,  $B_m^{110}$  表示 220kV 变压器中压侧 110kV 电压等级的  $m$  条逻辑母线,将  $B_m^{110}$  加入到  $Z_i^{220}$  中;将 220kV 变压器低压侧绕组所连接的通过闭合的母联开关并列运行的母线合并为一条,记为  $B_l^{35}$ ,  $B_l^{35}$  表示 220kV 变压器中压侧 35kV 电压等级的  $m$  条逻辑母线,将  $B_l^{35}$  加入到  $Z_i^{220}$  中;

1 - f) 对处于拓扑岛  $i$  上的 110kV 变电站进行处理:将 110kV 变电站高压侧母线记为  $b_j^{110}$ ,  $b_j^{110}$  表示 110kV 变压器高压侧 110kV 电压等级的  $j$  条母线,将  $b_j^{110}$  加入到  $Z_i^{220}$  中;

2) 将地县电网 220kV 变压器低压侧绕组所连接的 35kV 变电站加入到已经生成的协调控制区中,具体包括如下子步骤:

2 - a) 再次从地县一体化调度自动化系统获取完整的地县一体化电网模型;

2 - b) 对完整的电网模型进行处理,删除 35kV 电压等级以外的全部输电线路;删除 35kV 电压等级以外的全部隔离开关和断路器;删除 35kV 电压等级内全部处于分状态的隔离开关和断路器后,形成 35kV 电网的模型;

2 - c) 对 35kV 电网的模型进行拓扑着色编码,形成若干拓扑岛,每个拓扑岛包括了若干在电气上连接在一起的导电设备;

2 - d) 依次检查全部拓扑岛,如某拓扑岛中含有 220kV 变压器和 35kV 变电站,记该

220kV 变压器为  $T_x^{220}$  ,  $T_x^{220}$  表示含有 220kV 和 35kV 电压等级的拓扑岛中的 x 个变压器, 检查在步骤 1) 中已经产生全部 220kV 协调控制区, 如果找到某 220kV 协调控制区  $Z_i^{220}$  满足:  $T_x^{220} \in Z_i^{220}$  , 则将该拓扑岛内的 35kV 变电站高压侧母线通过闭合的母联开关并列运行的母线合并为一条, 记为  $b_p^{35}$  ,  $b_p^{35}$  表示含有 220kV 变压器低压侧 35kV 电压等级的 p 条逻辑母线, 将  $b_p^{35}$  加入到  $Z_i^{220}$  中;

3) 生成地区电网 110kV 变压器所连接的县级 35kV 电网的模型, 并产生 110kV 协调子控制区, 具体包括如下子步骤:

3 - a) 再次从地县一体化调度自动化系统获取完整的地县一体化电网模型;

3 - b) 对完整的电网模型进行处理, 删除 35kV 电压等级以外的全部输电线路; 删除 35kV 电压等级以外的全部隔离开关和断路器; 删除 35kV 电压等级内全部处于分状态的隔离开关和断路器后, 形成 35kV 电网的模型;

3 - c) 对 35kV 电网的模型进行拓扑着色编码, 形成若干拓扑岛, 每个拓扑岛包括了若干在电气上连接在一起的导电设备;

3 - d) 依次检查全部拓扑岛, 如某拓扑岛 k 中含有 110kV 变压器和 35kV 变电站, 则将对对应于该拓扑岛 k 建立一个 110kV 子协调控制区, 记为  $z_k^{110}$  ,  $z_k^{110}$  表示 110kV 变电站中含有 110kV 和 35kV 电压等级的拓扑岛所形成的有电气联系的子协调控制区;

3 - e) 对处于拓扑岛 k 上的 110kV 变压器进行处理, 将 110kV 变压器记为  $T_n^{110}$  ,  $T_n^{110}$  表示拓扑岛 k 所形成的 110kV 协调控制区域中 n 个 110kV 变压器, 将  $T_n^{110}$  加入到  $z_k^{110}$  中, 将 110kV 变压器高压侧绕组所连接母线通过闭合的母联开关并列运行的母线合并为一条, 记为  $B_h^{110}$  , 将  $B_h^{110}$  加入到  $z_k^{110}$  中; 将 110kV 变压器中压侧绕组所连接母线通过闭合的母联开关并列运行的母线合并为一条, 记为  $B_m^{35}$  ,  $B_m^{35}$  表示含有 110kV 变压器中压侧 35kV 电压等级的 m 条逻辑母线, 将  $B_m^{35}$  加入到  $z_k^{110}$  中;

3 - f) 对处于拓扑岛 k 上的 35kV 变电站进行处理, 将 35kV 变电站高压侧母线通过闭合的母联开关并列运行的母线合并为一条, 记为  $b_j^{35}$  ,  $b_j^{35}$  表示 35kV 变电站中高压侧逻辑母线, 将  $b_j^{35}$  加入到  $z_k^{110}$  中;

4) 将步骤 3) 中生成的 110kV 协调子控制区加入到步骤 1) 中生成的 220kV 协调控制区, 具体方法是: 依次检查步骤 3) 中生成的全部 110kV 协调子控制区  $z_k^{110}$  : 对  $z_k^{110}$  中的  $B_h^{110}$  , 如果能够找到某个  $Z_i^{220}$  中的  $b_j^{110}$  同时满足:

$$(B_h^{110} \in z_k^{110}) \wedge (B_h^{110} = b_j^{110}) \wedge (b_j^{110} \in Z_i^{220}) , \text{ 则将 } z_k^{110} \text{ 加入到 } Z_i^{220} \text{ 中;}$$

5) 在下个控制周期到来时, 返回步骤 1) 开始新一轮协调控制区的自动生成。

## 地县一体化自动电压控制中协调控制区的自动生成方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于电力系统自动电压控制技术领域,给出了地县一体化自动电压控制中,通过对电网进行多级拓扑分析自动生成协调控制区的方法。

### 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,其基本原理是通过协调控制发电机无功出力、变压器分接头和无功补偿设备,实现电网内无功电压的合理分布。

[0003] AVC 系统的主站部分是在电力系统控制中心基于软件程序实现的,这要求其必须与电力系统本身的调度管理体制保持一致。中国互联电网规模十分庞大,其运行由分层分区的多级调度机构来负责管理,省(市)级电网调度控制中心、(以下简称省调)和地区电网调度控制中心(以下简称地调)、县(区)级电网调度控制中心(以下简称县调)是其中比较有代表性的三个调度级别。通常情况下,省调负责管理省内 500/220kV 电网,地调负责管理地区内 110 电网,县调负责管理县级 35kV 电网。

[0004] 在县级 35kV 电网中,对 35kV 变电站母线电压控制在传统上主要依靠 35kV 变电站值班员手工完成,工作繁复,操作量大。同时由于缺乏与上级地调 AVC 的协调控制,经常造成无功补偿设备和变压器分接头的频繁动作,以及地区电网和县级电网之间无功的不合理流动。随着电网调度自动化技术的发展,目前在地区电网中已经开始建设地县一体化调度自动化系统。王玉琴在《地县一体化调度自动化技术研究与实践》(山东大学硕士论文,2013 年)中详细说明了地县一体化调度自动化系统的主要技术方案和实现方式,吴涛在《地县一体化的调度自动化系统的研究与设计》(浙江大学硕士论文,2012 年)中详细说明了地县一体化调度自动化系统的广域信息采集和数据共享的关键技术。在目前已经建设的地县一体化调度自动化系统中,地调侧的电网监控系统中已经具备了县级 35kV 电网的模型和运行状态;同时,随着县级电网自动化水平的逐步提高,县级电网的 35kV 变电站已经具备了对变压器分接头和无功补偿设备进行远程自动控制的条件。在地调建设地县一体化的自动电压无功控制系统的技术条件已经具备。

[0005] 地县一体化自动电压无功控制系统的控制模型包含了地区电网和地区内的县级电网,以地、县电网整体的安全经济优质为控制目标,可以充分考虑地区电网和县级电网紧密的电气联系,充分考虑县级电网的无功控制手段,进行包括县级电网在内的地区电网全局的优化决策,从而实现地、县电网无功电压的整体协调控制。在保证电压合格的基础上,优化无功流动,显著降低设备动作次数,提高电网的无功裕度和电压稳定性,降低网损。这种方法即实现了地、县电网无功电压控制的协调,又避免了在县调建设独立 AVC 系统造成的重复投资,具有巨大的社会效益。

[0006] 地县一体化自动电压控制系统在硬件结构上包括在地调配置的 AVC 服务器、维护工作站和监控工作站,以及在各个县调配置的远程监控维护工作站。AVC 的控制策略由地调

AVC 服务器集中计算并直接下发到 220kV、110kV 和 35kV 的各变电站,由变电站监控系统执行。由于地县一体化 AVC 系统的控制对象包括了地调调度的 220kV、110kV 站内的调压设备,以及县调调度的 35kV 站内的调压设备,而这些变电站在电气上是上下级互相联系的,对相互之间响应显著,因此在计算控制策略时需要在地县电网所包含的各级变电站进行统一考虑,实现上下级无功电压协调控制。

[0007] 目前在我国的电力系统运行中,地区和县级电网均采用辐射方式运行,对地区电网而言,其 220kV 变电站之间具有线路互相连接,而 110kV 变电站仅与上级 220kV 变电站连接,110kV 变电站之间没有线路互相连接;对县级电网,35kV 变电站仅与上级 110kV 变电站连接,35kV 变电站之间没有线路互相连接。这种运行方式下,从 220kV 变电站高压侧母线出发,形成了含 220kV-110kV-35kV 各电压等级变电站的辐射运行分区区域。

[0008] 图 1 给出了一个典型的地、县电网的运行方式。图中,一个辐射运行区域的根节点是省调电网的 220kV 变压器高压侧绕组所连接的 220kV 母线,其通过中压侧绕组 (110kV) 和低压侧绕组 (35kV) 连接下级地调电网;中压侧绕组连接的 110kV 母线引出若干 110kV 线路,连接到下级 110kV 变电站;低压侧绕组连接的 35kV 母线上接有电容器和电抗器 (图中未示出),在有些情况下,35kV 母线也可以引出若干 35kV 线路,连接到下级县调电网的 35kV 变电站,这些 35kV 变电站的内的低压 10kV 母线接有无功设备。220kV 变压器均配置有载调压分接头 (图中未示出)。

[0009] 在 220kV 主变中压侧 110kV 母线通过 110kV 线路所连接的下级 110kV 变电站中,一般情况下变电站配置三绕组变压器,各绕组电压等级为 110kV/35kV/10kV,变压器低压侧绕组连接的 10kV 母线接有电容器、电抗器等无功设备,变压器中压侧绕组连接的 35kV 母线引出若干 35kV 线路,连接到下级 35kV 变电站,在这些 35kV 变电站内的低压 10kV 母线连接有电容器、电抗器等无功设备。110kV 变电站和县级 35kV 变电站内的变压器均配置有载调压分接头。

[0010] 从上述分析可以看到,从 220kV 根母线出发,形成了跨 220kV-110kV-35kV 三个电压等级的整体辐射状运行区域。在该区域中,每个电压等级的变电站均具有无功电压调节设备,包括变压器有载调压分接头和低压侧电容器、电抗器。在无功电压控制中,上级变电站的电压调节对下级变电站母线电压具有显著的影响,而下级变电站的无功调节对上级变电站的无功具有显著的影响,在进行地县一体化自动电压控制中,需要将这样的区域作为电压控制的对象进行整体考虑,考虑区域内上下级变电站的协调控制。

[0011] 将上述地县一体化电网模型中,从 220kV 母线出发,所包含的下级 110kV、35kV 变电站的完整区域,定义为地县一体化协调控制区。为了表述方便,将协调控制区  $Z_i^{220}$  表示为如式 (1) 的形式:

$$[0012] \quad Z_i^{220} (T_n^{220}, B_h^{220}, B_m^{110}, B_l^{35}, b_j^{110}, b_p^{35}, z_k^{110}) \quad (1)$$

[0013] 其中:

[0014]  $T_n^{220}$ : 220kV 变压器,总计 N 台,  $n = 1. 2. 3. \dots N$ ;

[0015]  $B_h^{220}$ : 220kV 主变高压侧绕组所连接的 220kV 母线 (通过闭合的母联开关并列运行的母线合并为一条,下同),总计 H 条,  $h = 1. 2. 3. \dots H$ ;

[0016]  $B_m^{110}$ : 220kV 主变中压侧绕组所连接的 110kV 母线总计 M 条,  $m = 1. 2. 3. \dots M$ 。

[0017]  $B_l^{35}$ : 220kV 主变低压侧绕组所连接的 35kV 母线总计 L 条,  $l = 1. 2. 3. \dots L$ 。

[0018]  $b_j^{110}$ :  $B_m^{110}$  所连接的下级 110kV 变电站的高压侧母线总计 J 条,  $j = 1. 2. 3. \dots J$ 。

[0019]  $b_p^{35}$ :  $B_l^{35}$  所连接的下级 35kV 变电站的高压侧母线总计 P 条  $p = 1. 2. 3. \dots P$ 。

[0020]  $z_k^{110}$ , 每个 110kV 变电站高压侧母线  $b_j^{110}$  所连接的 110-35kV 子区域, 一个  $b_j^{110}$  可能带一个或多个  $z_k^{110}$ ,  $k = 1. 2. 3. \dots K$  即  $K \geq J$ 。

[0021] 而每个子区域  $z_k^{110}$  进一步定义为式 (2) 所示:

$$z_k^{110} (T_n^{110}, B_h^{110}, B_m^{35}, b_j^{35}), \quad (2)$$

[0023]  $T_n^{110}$ : 110kV 主变, 总计  $N'$  台,  $n = 1. 2. 3. \dots N'$ 。

[0024]  $B_h^{110}$ : 110kV 主变高压侧绕组所连接的 110kV 母线, 总计  $H'$  条,  $h = 1. 2. 3. \dots H'$ 。

[0025]  $B_m^{35}$ : 110kV 主变中压侧绕组所连接的 35kV 母线, 总计  $M'$  条,  $m = 1. 2. 3. \dots M'$ 。

[0026]  $b_j^{35}$ :  $B_m^{35}$  连接的下级 35kV 变电站的高压侧母线总计  $J'$  条,  $p = 1. 2. 3. \dots J'$ 。

[0027] 由于电网的运行方式经常发生变化, 协调控制区  $Z_i^{220}$  中的元素随着运行方式经常发生变化, 无法预先由人工设定。因此在 AVC 系统中, 需要实时自动生成地县一体化协调控制分区  $Z_i^{220}$ 。从已经公开的文献发现, 目前尚无方法能够实时在线实时自动生成地县一体化的协调控制区。

[0028] 本发明内容中涉及到对电网拓扑结构的描述, 在行业标准《能量管理系统应用程序接口 (EMS-API) 第 301 部分: 公共信息模型 (CIM) 基础》(DL/T 890. 301-2004) 中对电网设备的连接方式给出了规范化的描述方法, 主要内容如下。

[0029] 为了描述设备建立连接关系, 定义了导电设备 (ConductingEquipment)、连接端子 (Terminal)、连接节点 (ConnectivityNode) 和拓扑岛 (TopologicalIsland), 分别如下:

[0030] 导电设备: 电力系统的组成部分, 是为输送电流或与导电连接相关而设计的, 一般包括输电线路、变压器、变压器绕组、物理母线、隔离开关、断路器、电容器、电抗器等。

[0031] 连接端点: 导电设备的电气连接点, 一个导电设备可以有 1 个或多个连接端点, 变压器绕组具有 1 个连接端点, 隔离开关和断路器具有 2 个连接端点, 无功补偿设备具有 1 个连接端点、母线具有 1 个连接端点。

[0032] 连接节点: 连接节点是这样的一些点, 在这些点上导电设备的连接端点通过零阻抗连接在一起。一个连接节点可以包含任何数目的连接端点, 从而表明这些连接端点所属的导电设备连接在一起。

[0033] 拓扑岛: 网络的一个电气连接的子集, 包含电气连接在一起的导电设备、连端点和连接节点。拓扑岛会随着当前网络状态的变化 (即隔离开关、断路器等改变状态) 而变化。

## 发明内容

[0034] 本发明的目的是为克服已有技术的不足之处,提出一种地县一体化自动电压控制中协调控制区的自动生成方法。该方法通过对电网进行多级拓扑着色编码,实时自动生成协调控制区,能够满足地县一体化自动电压控制中上下级协调控制的要求。

[0035] 本方法提出的一种地县一体化自动电压控制中协调控制区的自动生成方法,其特征在于,该方法事先确定控制周期,具体步骤如下:

[0036] 1) 当控制周期到来时,生成地县电网 220kV 变压器所连接的 110kV 电网的模型,并产生 220kV 协调控制区,具体包括如下子步骤:

[0037] 1 - a) 从地县一体化调度自动化系统获取完整的地县一体化电网模型;

[0038] 1 - b) 对完整的电网模型进行处理,删除 110kV 电压等级以外的全部输电线路;删除 110kV 电压等级以外的全部隔离开关和断路器;删除 110kV 电压等级内全部处于分状态的隔离开关和断路器后,形成 110kV 电网的模型;

[0039] 1 - c) 对 110kV 电网模型进行拓扑着色编码,形成若干拓扑岛,每个拓扑岛包括了若干在电气上连接在一起的导电设备;

[0040] 1 - d) 依次检查全部拓扑岛,如某拓扑岛  $i$  中含有 220kV 变压器和 110kV 变电站,则将对应用于该拓扑岛  $i$  建立一个 220kV 协调控制区,记为  $Z_i^{220}$ ,  $Z_i^{220}$  表示含有 220kV 和 110kV 电压等级的拓扑岛  $i$  所形成的有电气联系的 220kV 协调控制区域;

[0041] 1 - e) 对处于拓扑岛  $i$  上的 220kV 变压器进行处理:将 220kV 变压器记为  $T_n^{220}$ ,  $T_n^{220}$  为拓扑岛  $i$  所形成的 220kV 协调控制区域中  $n$  个 220kV 变压器,将  $T_n^{220}$  加入到  $Z_i^{220}$  中;将 220kV 变压器  $T_n^{220}$  高压侧绕组通过闭合的母联开关所连接的通过闭合的母联开关并列运行的母线合并为一条,记为  $B_h^{220}$ ,  $B_h^{220}$  表示 220kV 变压器高压侧 220kV 电压等级的  $h$  条逻辑母线,将  $B_h^{220}$  加入到  $Z_i^{220}$  中;将 220kV 变压器中压侧绕组所连接的通过闭合的母联开关并列运行的母线合并为一条,记为  $B_m^{110}$ ,  $B_m^{110}$  表示 220kV 变压器中压侧 110kV 电压等级的  $m$  条逻辑母线,将  $B_m^{110}$  加入到  $Z_i^{220}$  中;将 220kV 变压器低压侧绕组所连接的通过闭合的母联开关并列运行的母线合并为一条,记为  $B_l^{35}$ ,  $B_l^{35}$  表示 220kV 变压器中压侧 35kV 电压等级的  $m$  条逻辑母线,将  $B_l^{35}$  加入到  $Z_i^{220}$  中;

[0042] 1 - f) 对处于拓扑岛  $i$  上的 110kV 变电站进行处理:将 110kV 变电站高压侧母线记为  $b_j^{110}$ ,  $b_j^{110}$  表示 110kV 变压器高压侧 110kV 电压等级的  $j$  条母线,将  $b_j^{110}$  加入到  $Z_i^{220}$  中;

[0043] 2) 将地县电网 220kV 变压器低压侧绕组所连接的 35kV 变电站加入到已经生成的协调控制区中,具体包括如下子步骤:

[0044] 2 - a) 再次从地县一体化调度自动化系统获取完整的地县一体化电网模型;

[0045] 2 - b) 对完整的电网模型进行处理,删除 35kV 电压等级以外的全部输电线路;删除 35kV 电压等级以外的全部隔离开关和断路器;删除 35kV 电压等级内全部处于分状态的隔离开关和断路器后,形成 35kV 电网的模型;

[0046] 2 - c) 对 35kV 电网的模型进行拓扑着色编码,形成若干拓扑岛,每个拓扑岛包括了

若干在电气上连接在一起的导电设备；

[0047] 2 - d) 依次检查全部拓扑岛,如某拓扑岛中含有 220kV 变压器和 35kV 变电站,记该 220kV 变压器为  $T_x^{220}$ ,  $T_x^{220}$  表示含有 220kV 和 35kV 电压等级的拓扑岛中的 x 个变压器,检查在步骤 1) 中已经产生的全部 220kV 协调控制区,如果找到某 220kV 协调控制区  $Z_i^{220}$  满足:  $T_x^{220} \in Z_i^{220}$ , 则将该拓扑岛内的 35kV 变电站高压侧母线通过闭合的母联开关并列运行的母线合并为一条,记为  $b_p^{35}$ ,  $b_p^{35}$  表示含有 220kV 变压器低压侧 35kV 电压等级的 p 条逻辑母线,将  $b_p^{35}$  加入到  $Z_i^{220}$  中;

[0048] 3) 生成地区电网 110kV 变压器所连接的县级 35kV 电网的模型,并产生 110kV 协调子控制区,具体包括如下子步骤:

[0049] 3 - a) 再次从地县一体化调度自动化系统获取完整的地县一体化电网模型;

[0050] 3 - b) 对完整的电网模型进行处理,删除 35kV 电压等级以外的全部输电线路;删除 35kV 电压等级以外的全部隔离开关和断路器;删除 35kV 电压等级内全部处于分状态的隔离开关和断路器后,形成 35kV 电网的模型;

[0051] 3 - c) 对 35kV 电网的模型进行拓扑着色编码,形成若干拓扑岛,每个拓扑岛包括了若干在电气上连接在一起的导电设备;

[0052] 3 - d) 依次检查全部拓扑岛,如某拓扑岛 k 中含有 110kV 变压器和 35kV 变电站,则将对应用于该拓扑岛 k 建立一个 110kV 子协调控制区,记为  $z_k^{110}$ ,  $z_k^{110}$  表示 110kV 变电站中含有 110kV 和 35kV 电压等级的拓扑岛所形成的有电气联系的子协调控制区;

[0053] 3 - e) 对处于拓扑岛 k 上的 110kV 变压器进行处理,将 110kV 变压器记为  $T_n^{110}$ ,  $T_n^{110}$  表示拓扑岛 k 所形成的 110kV 协调控制区域中 n 个 110kV 变压器,将  $T_n^{110}$  加入到  $z_k^{110}$  中,将 110kV 变压器高压侧绕组所连接母线通过闭合的母联开关并列运行的母线合并为一条,记为  $B_h^{110}$ ,将  $B_h^{110}$  加入到  $z_k^{110}$  中;将 110kV 变压器中压侧绕组所连接母线通过闭合的母联开关并列运行的母线合并为一条,记为  $B_m^{35}$ ,  $B_m^{35}$  表示含有 110kV 变压器中压侧 35kV 电压等级的 m 条逻辑母线,将  $B_m^{35}$  加入到  $z_k^{110}$  中;

[0054] 3 - f) 对处于拓扑岛 k 上的 35kV 变电站进行处理,将 35kV 变电站高压侧母线通过闭合的母联开关并列运行的母线合并为一条,记为  $b_j^{35}$ ,  $b_j^{35}$  表示 35kV 变电站中高压侧逻辑母线,将  $b_j^{35}$  加入到  $z_k^{110}$  中;

[0055] 4) 将步骤 3) 中生成的 110kV 协调子控制区加入到步骤 1) 中生成的 220kV 协调控制区,具体方法是:依次检查步骤 3) 中生成的全部 110kV 协调子控制区  $z_k^{110}$ : 对  $z_k^{110}$  中的  $B_h^{110}$ ,如果能够找到某个  $Z_i^{220}$  中的  $b_j^{110}$  满足:  $(B_h^{110} \in z_k^{110}) \wedge (B_h^{110} = b_j^{110}) \wedge (b_j^{110} \in Z_i^{220})$ , 即三个条件同时满足,则将  $z_k^{110}$  加入到  $Z_i^{220}$  中;

[0056] 5) 在下一个控制周期到来时,返回步骤 1) 开始新一轮协调控制区的自动生成。



[0057] 本发明最大的特点在于通过对电网进行多级拓扑着色编码,可以实时快速并自动形成用于地县一体化自动电压控制的协调控制区,克服了现有的地县两级调度协调不够导致电压不符合要求或者无功的不合理流动,从而满足了地县电网上下级变电站协调无功电压控制的要求。

#### 附图说明

[0058] 图 1 是地区和县级电网辐射运行区域的示意图。

[0059] 图 2 是基于本发明的实施例的电网结构图。

[0060] 图 3 是基于本发明的实施例的协调控制区模型图。

#### 具体实施方式

[0061] 下面以图 2 所示的电网为例,介绍本发明的一个具体实施例。本实施例的基本情况如下:

[0062] 本实施例选择一个实际的 220kV-110kV-35kV 的区域,图 2 将实际的复杂的模型进行了简化处理,保留了典型的电网结构。这个区域涵盖了地调管辖的 220kV 变电站和 110 变电站以及县调管辖范围的 35kV 变电站,符合本发明关于地县一体化所需要覆盖的区域。其中 220kV 变电站的低压侧 35kV 母线连接有 35kV 的变电站,中压侧 110kV 母线带有 110kV 变电站,并且该 110kV 变电站中的低压侧 35kV 母线也连接有 35kV 的变电站。

[0063] 本实施例方法中事先确定控制周期,此周期可根据实际情况和需求人工设定,本实施例确定地县一体化自动电压控制的周期为 5 分钟,本实施例方法包括以下步骤:

[0064] 1) 当控制周期到来时,生成地区电网 220kV 变压器所连接的 110kV 电网的模型,并产生协调控制区,该步骤包括如下子步骤:

[0065] 1-a) 从地县一体化调度自动化系统获取完整的电网模型。本实施例中为获取的地县一体化的模型,如图 2) 所述。图 2 中 bus1-bus2 是 220kV 的母线,Line<sub>1</sub>-Line<sub>2</sub> 是 220kV 线路,220kV 母线的母联开关 Breaker1 为闭合状态。Bus3-bus6 是 110kV 的母线,lin3-line4 是 110kV 线路,breaker2 是 110kV 的母联开关,为断开状态。Bus7-bus14 是 35kV 的母线,lin5-line9 是 35kV 线路,breaker3 是 35kV 的母联开关,为断开状态。T<sub>1</sub>-T<sub>2</sub> 是 220/110/35kV 的变压器。T<sub>1</sub>-T<sub>2</sub> 是 110/35/10kV 的变压器。T<sub>5</sub>-T<sub>9</sub> 是 35/10kV 的变压器。A-H 为 8 个厂站为三个厂站,其中 A 厂站为 220kV 站,其中有两台 220/110/35kV 的变压器 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>;低压侧 35kV 侧的两条母线的母联开关断开,其中两条分别的出线都带有 35kV 的变电站 G 和 F;中压侧 110kV 侧有两根通过母联相连的母线 bus3 和 bus4,各条母线分别带有 110kV 的变电站 B 和 C。110kV 的变电站 B 中有 1 台 110/35/10kV 的变压器 T<sub>3</sub>,中压侧 35kV 母线带有两个 35kV 的变电站 E 和 D;110 变电站 C 中有 1 台 110/35/10kV 的变压器 T<sub>4</sub>,中压侧 35kV 母线带有一个 35kV 的变电站 H。

[0066] 1 - b) 对完整的电网模型进行处理,删除 110kV 电压等级以外的全部输电线路模型;删除 110kV 电压等级以外的全部隔离开关和断路器;删除 110kV 电压等级内全部处于分状态的离开关和断路器。本实施例中这样处理结束后形成 110kV 电网的模型为:T<sub>1</sub> - T<sub>4</sub> 四个主变、bus3 - bus6 四条 110kV 母线、line3 - line4 两条 110kV 线路。

[0067] 1 - c) 对 110kV 电网模型进行拓扑着色编码,形成若干拓扑岛,每个拓扑岛包括了

若干在电气上连接在一起的导电设备；本实施例中拓扑着色编码之后形成了 2 个拓扑岛分别为：

[0068] 1、 $T_1$ -bus3-line3-bus5

[0069] 2、 $T_2$ -bus4-line4-bus6

[0070] 1 - d) 依次检查全部拓扑岛，如某拓扑岛  $i$  中含有 220kV 变压器和 110kV 变电站，则将对应于该拓扑岛  $i$  建立一个 220kV 协调控制区，记为  $Z_i^{220}$ 。因为  $T_1$  和  $T_2$  都是 220kV 变压器，而 bus5、bus6、 $T_3$ 、 $T_4$  又都是 110kV 变电站的，则这两个拓扑岛都可以建立 220kV 协调控制区，分别为：

[0071]  $Z_1^{220}$ :  $T_1$ -bus3-line3-bus5

[0072]  $Z_2^{220}$ :  $T_2$ -bus4-line4-bus6

[0073] 1 - e) 对处于拓扑岛  $i$  上的 220kV 变压器进行处理，将 220kV 变压器（记为  $T_n^{220}$ ）加入  $Z_i^{220}$ ，将 220kV 变压器高压侧绕组所连接母线（通过闭合的母联开关并列运行的母线合并为一条，下同）（记为  $B_h^{220}$ ）加入到  $Z_i^{220}$  中；将 220kV 变压器中压侧绕组所连接母线（记为  $B_m^{110}$ ）加入  $Z_i^{220}$ ；将 220kV 变压器低压侧绕组所连接母线（记为  $B_l^{35}$ ）加入  $Z_i^{220}$ 。本实施例中将 220kV 变压器  $T_1$ 、 $T_2$  分别记为  $T_1^{220}$ 、 $T_2^{220}$ ；将 220kV 变压器高压侧绕组所连母线 bus1 和 bus2 由于母联闭合故合并为一条母线，记为  $B_h^{220}$ ；将中压侧绕组所连母线 bus3 和 bus4 分别记为  $B_{m1}^{110}$  和  $B_{m2}^{110}$ ；将低压侧绕组所连母线 bus7 和 bus8 分别记为  $B_{l1}^{35}$  和  $B_{l2}^{35}$ 。并且将这些都加入到对应的协调区域中，那么这两个拓扑岛分别生成两个协调区域：

[0074]

$$Z_1^{220}: B_h^{220} - T_1^{220} \begin{cases} B_{m1}^{110} - \text{line3} - \text{bus5} \\ B_{l1}^{35} \end{cases}$$

[0075]

$$Z_2^{220}: B_h^{220} - T_2^{220} \begin{cases} B_{m2}^{110} - \text{line4} - \text{bus6} \\ B_{l2}^{35} \end{cases}$$

[0076] 1 - f) 对处于拓扑岛  $i$  上的 110kV 变电站进行处理，将 110kV 变电站高压侧母线  $b_j^{110}$  加入  $Z_i^{220}$ 。本实施例中将拓扑岛 1 上的 110kV 变电站 B 的高压侧母线 Bus5 记为  $b_{j1}^{110}$  加入协调区域  $Z_1^{220}$ ；将拓扑岛 2 上的 110kV 变电站 C 的高压侧母线 Bus6 记为  $b_{j2}^{110}$  加入协调区域  $Z_2^{220}$ 。现在协调区域变为：

[0077]

$$Z_1^{220}: B_h^{220} - T_1^{220} \begin{cases} B_{m1}^{110} - \text{line3} - b_{j1}^{110} \\ B_{l1}^{35} \end{cases}$$

[0078]

$$Z_2^{220}: B_h^{220} - T_2^{220} \begin{cases} B_{m2}^{110} - \text{line4} - b_{j2}^{110} \\ B_{l2}^{35} \end{cases}$$

[0079] 2) 将地区电网 220kV 变压器低压侧绕组所连接的 35kV 变电站加入到已经生成的协调控制区中，该步骤包括如下子步骤：

[0080] 2-a) 从地县一体化调度自动化系统获取完整的电网模型。(如步骤 1 中的模型, 图 2 所示)

[0081] 2-b) 对完整的电网模型进行处理, 删除 35kV 电压等级以外的全部输电线路模型; 删除 35kV 电压等级以外的全部隔离开关和断路器; 删除 35kV 电压等级内全部处于分状态的隔离开关和断路器。本实施例这样处理结束后形成 35kV 电网的模型为: T1 - T2 两个 220/110/35kV 主变、T8 - T9 两个 35/10kV 主变、bus7 - bus10 四条 35kV 母线、line5 - line6 两条 35kV 线路。

[0082] 2-c) 对 35kV 电网的电网模型进行拓扑着色编号, 形成若干拓扑岛, 每个拓扑岛包括了若干在电气上连接在一起的导电设备。本实施例拓扑着色编码之后形成了 2 个拓扑岛分别为:

[0083] 1、T1-bus7-line5-bus9

[0084] 2、T2-bus8-line6-bus10

[0085] 2-d) 依次检查全部拓扑岛, 如某拓扑岛中含有 220kV 变压器和 35kV 变电站, 记该变压器为  $T_x^{220}$ , 检查在步骤 1) 中已经产生的全部协调控制区, 如果找到某协调控制区  $Z_i^{220}$  满足:  $T_x^{220} \in Z_i^{220}$ , 则将某拓扑岛内的 35kV 变电站高压侧母线 (记为  $b_p^{35}$ ) 加入到  $Z_i^{220}$  中。本实施例中拓扑岛 1 中的 220kV 主变 T1 在已经生产的协调控制区 Z1220 中包含, 则记 35kV 变电站 G 高压侧母线 bus9 为 bp135 并加入到 Z1220 中; 拓扑岛 2 中的 220kV 主变 T2 在已经生产的协调控制区 Z2220 中包含, 则记 35kV 变电站 F 高压侧母线 bus10 为 bp235 并加入到 Z2220 中。则现在两个拓扑岛分别生产的两个协调区为:

[0086]

$$Z_1^{220}: B_h^{220} - T_1^{220} \begin{cases} B_{m1}^{110} - \text{line3} - b_{j1}^{110} \\ B_{i1}^{35} - \text{line5} - b_{p1}^{35} \end{cases}$$

[0087]

$$Z_2^{220}: B_h^{220} - T_2^{220} \begin{cases} B_{m2}^{110} - \text{line4} - b_{j2}^{110} \\ B_{i2}^{35} - \text{line6} - b_{p2}^{35} \end{cases}$$

[0088] 3) 生成地区电网生成 110kV 主变所连接的县级 35kV 电网的模型, 并产生 110kV 协调子控制区, 该步骤包括如下子步骤:

[0089] 3-a) 从地县一体化调度自动化系统获取完整的电网模型。(如步骤 1 中的模型, 图 2 所示)

[0090] 3-b) 对完整的电网模型进行处理, 删除 35kV 电压等级以外的全部输电线路; 删除 35kV 电压等级以外的全部隔离开关和断路器; 删除 35kV 电压等级内全部处于分状态的隔离开关和断路器。本实施例中处理结束后形成 35kV 电网的模型为: T3 - T4 四个 110/35/10kV 主变、T5 - T7 三个 35/10kV 主变、bus11 - bus15 五条 35kV 母线、line7 - line9 三条 35kV 线路。

[0091] 3-c) 对 35kV 的电网模型进行拓扑着色编码, 形成若干拓扑岛, 每个拓扑岛包括了若干在电气上连接在一起的导电设备。本实施例拓扑着色编码之后形成了 3 个拓扑岛分别为:

[0092] 1、 $T_3$ -bus11-line7-bus12

[0093] 2、 $T_3$ -bus11-lin8-bus13

[0094] 3、 $T_4$ -bus14-lin9-bus15

[0095] 3-d) 依次检查全部拓扑岛,如某拓扑岛  $k$  中含有 110kV 变压器和 35kV 变电站,则将对应于该拓扑岛  $k$  建立一个 110kV 子协调控制区,记为  $z_k^{110}$ 。本实施例中三个拓扑岛都含有 110kV 变压器  $T_3$  或者  $T_4$ ,还有 35kV 变电站  $E$  或  $D$  或  $H$ ,都可以建立一个 110kV 子协调控制区,分别记为:

[0096]  $Z_1^{110}:T_3$ -bus11-line7-bus12

[0097]  $Z_2^{110}:T_3$ -bus11-line8-bus13

[0098]  $Z_3^{110}:T_4$ -bus14-line9-bus15

[0099] 3-e) 对处于拓扑岛  $k$  上的 110kV 变压器进行处理,将 110kV 变压器(记为  $T_n^{110}$ )加入  $z_k^{110}$ ,将 110kV 变压器高压侧绕组所连接母线(记为  $B_h^{110}$ )加入  $z_k^{110}$ ;将 110kV 变压器中压侧绕组所连接母线  $B_m^{35}$  加入  $z_k^{110}$ 。本实施例中将 110kV 变压器  $T_3$  记为  $T_3^{110}$ ,将  $T_4$  记为  $T_4^{110}$ ;将 110kV 变压器高压绕组所连母线 bus5 记为  $B_{h5}^{110}$ ,将 bus6 记为  $B_{h6}^{110}$ ;将 110kV 主变中压侧绕组所连母线 bus11 记为  $B_{m11}^{35}$ ,将 bus14 记为  $B_{m14}^{35}$ 。并将这些都加入到对应的协调控制子区域中:

[0100]  $Z_1^{110}:B_{h5}^{110} - T_3^{110}-B_{m11}^{35}$ -line7-bus12

[0101]  $Z_2^{110}:B_{h6}^{110} - T_3^{110}-B_{m11}^{35}$ -line8-bus13

[0102]  $Z_3^{110}:T_4^{110}-B_{m14}^{35}$ -line9-bus15

[0103] 3-f) 对处于拓扑岛  $k$  上的 35kV 变电站进行处理,将 35kV 变电站高压侧母线  $b_j^{35}$  加入  $z_k^{110}$ 。本实施例中将拓扑岛 1 上的 35kV 变电站  $E$  的高压侧母线 Bus12 记为  $b_{j12}^{35}$  加入协调区域  $Z_1^{110}$ ;将拓扑岛 2 上的 35kV 变电站  $D$  的高压侧母线 Bus13 记为  $b_{j13}^{35}$  加入协调区域  $Z_2^{110}$ ;将拓扑岛 3 上的 35kV 变电站  $H$  的高压侧母线 Bus15 记为  $b_{j15}^{35}$  加入协调区域  $Z_3^{110}$ 。现在协调区域变为:

[0104]  $Z_1^{110}:B_{h5}^{110} - T_3^{110}-B_{m11}^{35}$ -line7- $b_{j12}^{35}$

[0105]  $Z_2^{110}:B_{h6}^{110} - T_3^{110}-B_{m11}^{35}$ -line8- $b_{j13}^{35}$

[0106]  $Z_3^{110}:T_4^{110}-B_{m14}^{35}$ -line9- $b_{j15}^{35}$

[0107] 4) 将步骤 3) 中生成的 110kV 协调子控制区加入步骤 1) 中生成的 220kV 协调控制区,方法是:依次检查步骤 3) 中生成的全部  $z_k^{110}$ ;对  $z_k^{110}$  中的  $B_h^{110}$ ,如果能够找到某个  $Z_i^{220}$  中的  $b_j^{110}$  满足:  $(B_h^{110} \in z_k^{110}) \wedge (B_h^{110} = b_j^{110}) \wedge (b_j^{110} \in Z_i^{220})$ ,即三个条件同时满足,则将  $z_k^{110}$  加入到  $Z_i^{220}$  中。本实施例中在三个子区域中分别对应满足条件:

[0108] 1、 $Z_1^{110}$  中的  $B_{h5}^{110}$ ,能够找到  $Z_1^{220}$  中的  $b_{j1}^{110}$  满足:  $(B_{h5}^{110} \in Z_1^{110}) \wedge (B_{h5}^{110} = bus5 = b_{j1}^{110}) \wedge (b_{j1}^{110} \in Z_1^{220})$

[0109] 2、 $Z_2^{110}$  中的  $B_{h5}^{110}$ ,能够找到  $Z_1^{220}$  中的  $b_{j1}^{110}$  满足:  $(B_{h5}^{110} \in Z_1^{110}) \wedge (B_{h5}^{110} = bus5 = b_{j1}^{110}) \wedge (b_{j1}^{110} \in Z_1^{220})$

[0110] 3、 $Z_2^{110}$  中的  $B_{h6}^{110}$ , 能够找到  $Z_2^{220}$  中的  $b_{j2}^{110}$  满足:  $(B_{h6}^{110} \in Z_2^{110}) \wedge (B_{h6}^{110} = \text{bus6} = b_{j2}^{110}) \wedge (b_{j2}^{110} \in Z_2^{220})$

[0111] 故将协调控制子区域  $Z_1^{110}$  和  $Z_2^{110}$  加入到  $Z_1^{220}$  中, 将协调控制子区域  $Z_3^{110}$  加入到  $Z_2^{220}$  中, 故最终两个拓扑岛的协调控制区域, 如图 3 所示, 分别为:

[0112]

$$Z_1^{220}: B_h^{220} - T_1^{220} \begin{cases} B_{m1}^{110} - \text{line3} - b_{j1}^{110} - T_3^{110} - B_{m11}^{35} \begin{cases} \text{line7} - b_{j12}^{35} \\ \text{line8} - b_{j13}^{35} \end{cases} \\ B_{l1}^{35} - \text{line5} - b_{p1}^{35} \end{cases}$$

[0113]

$$Z_2^{220}: B_h^{220} - T_2^{220} \begin{cases} B_{m2}^{110} - \text{line4} - b_{j2}^{110} - T_4^{110} - B_{m14}^{35} - \text{line9} - b_{j15}^{35} \\ B_{l2}^{35} - \text{line6} - b_{p2}^{35} \end{cases}$$

[0114] 5) 在下一个自动电压控制周期到来时, 返回步骤 1) 开始新的地县一体化协调控制区的自动生成。

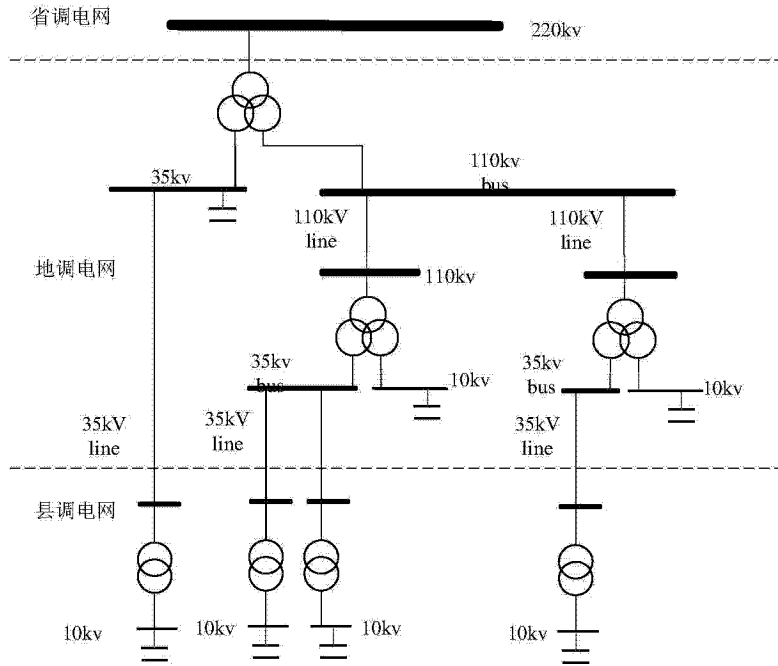


图 1

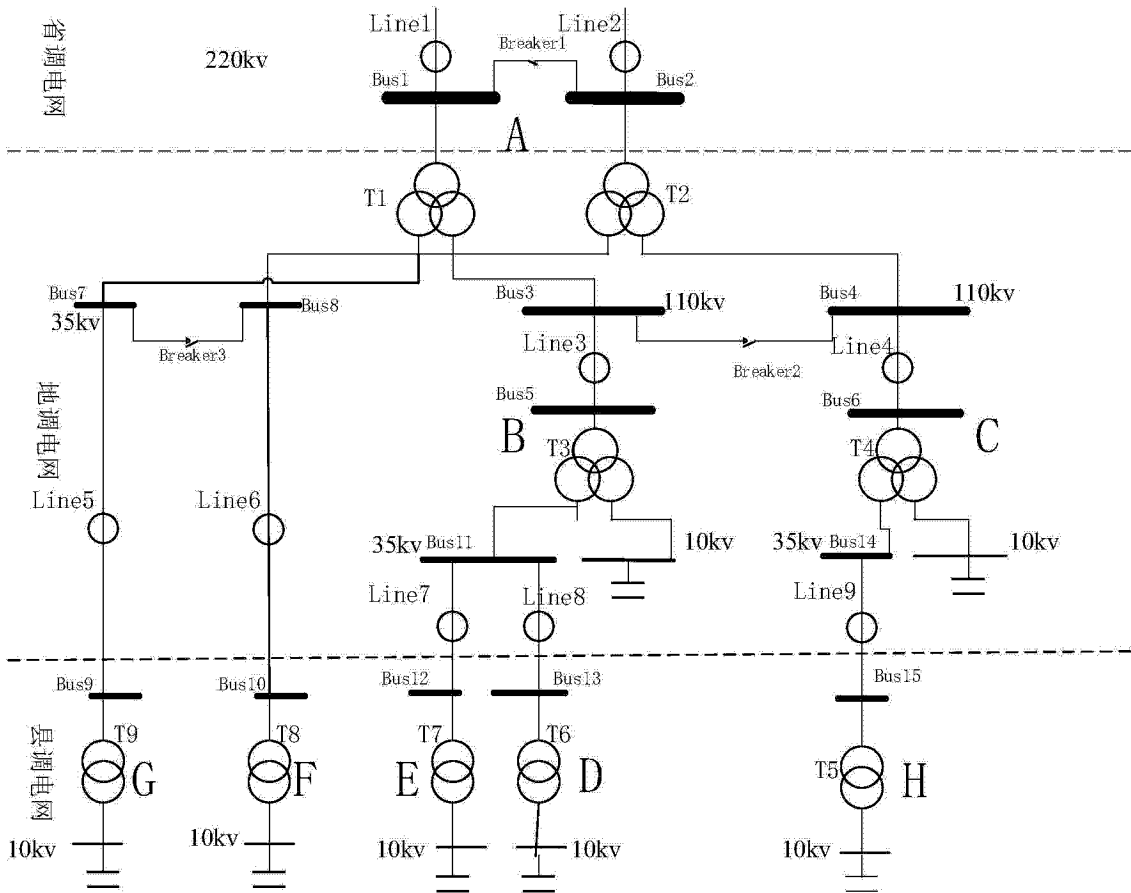


图 2

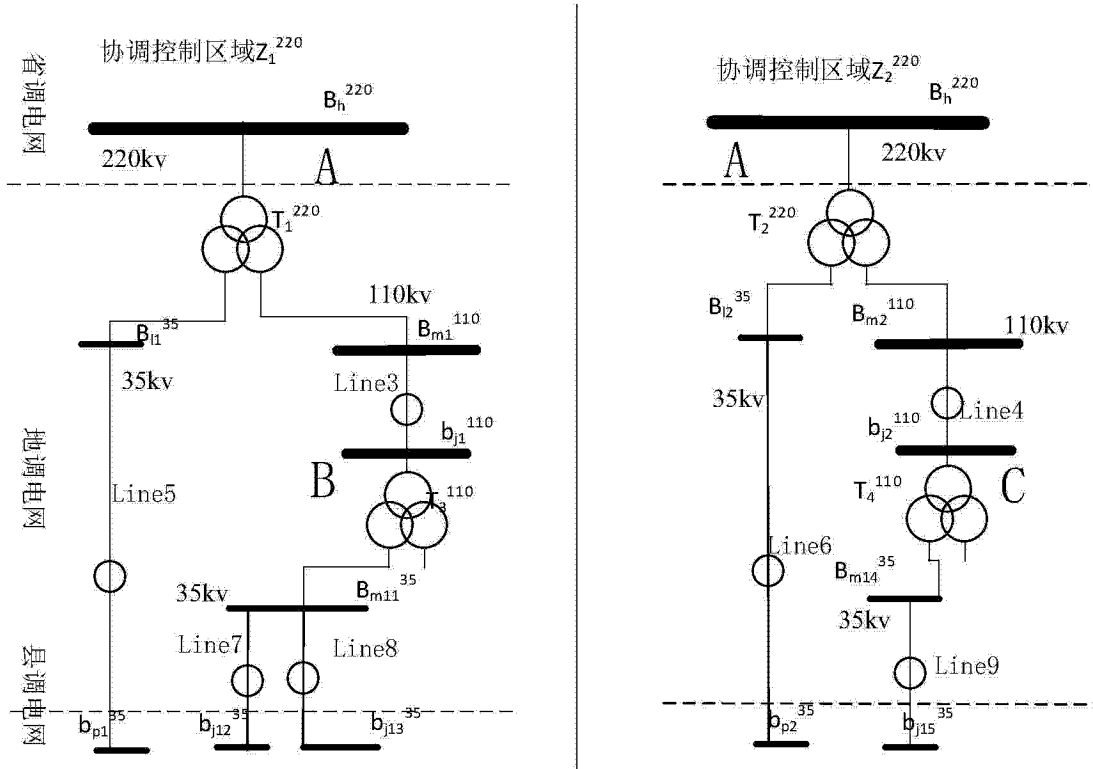


图 3