



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107134787 A

(43)申请公布日 2017. 09. 05

(21)申请号 201710493335.5

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2017.06.23

H02J 3/14(2006.01)

H02H 7/26(2006.01)

(71)申请人 国网江苏省电力公司电力科学研究院

地址 211103 江苏省南京市江宁区帕威尔路1号

申请人 国网江苏省电力公司
国家电网公司
南京国电南自电网自动化有限公司
国电南瑞科技股份有限公司
江苏省电力试验研究院有限公司

(72)发明人 杨毅 袁宇波 李兆拓 李祝昆
李虎成 徐伟 高磊 张小易

(74)专利代理机构 南京纵横知识产权代理有限公司 32224

代理人 董建林

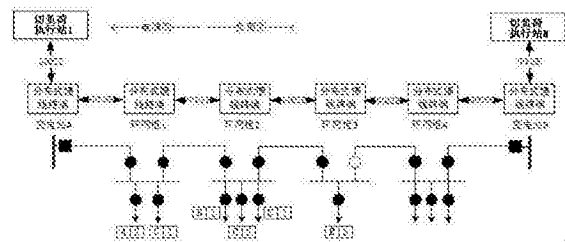
权利要求书3页 说明书13页 附图4页

(54)发明名称

基于分布式馈线自动化的紧急精准切负荷控制系统和切负荷方法

(57)摘要

本发明公开一种基于分布式馈线自动化的紧急精准切负荷控制系统和切负荷方法,包括区域电网频率控制总站、切负荷控制主站、多个切负荷控制子站、多个切负荷执行站和分布式馈线自动化子系统;分布式馈线自动化子系统包括多个设置于各10kV馈线的电源站和各配网支路的分布式馈线终端。本发明运用分层自治的思想,将切负荷量层层计算并定位到底层的馈线终端,完成需切负荷量与实际切除负荷量的匹配。同时本发明改变了传统电网安全稳控装置以110kV线路为对象的集中切负荷控制思路,而以10kV可中断负荷为切负荷控制对象,实现了大规模10kV配网层毫秒级的精准切负荷控制,解决了110kV集中切负荷的欠切或者过切问题,可缓解多直流受端电网双极闭锁故障后的频率失稳问题,确保大电网的安全稳定运行。



1. 一种基于分布式馈线自动化的紧急精准切负荷控制系统,其特征是,包括区域电网频率控制总站、切负荷控制主站、多个切负荷控制子站、多个切负荷执行站和分布式馈线自动化子系统;各切负荷控制子站分别连接1个以上切负荷执行站;

区域电网包括多条10kV馈线,各10kV馈线包括电源站和多个配网支路;分布式馈线自动化子系统包括多个分布式馈线终端,各10kV馈线的电源站和各配网支路分别对应设有一个分布式馈线终端;各配网支路的分布式馈线终端可控制所在配网支路中开关设备的通断,从而接入或切除所在配网支路中的负荷;所述各配网支路的分布式馈线终端分别获取所在配网支路的可切负荷容量,传输至电源站的分布式馈线终端;

各切负荷执行站分别从1个以上10kV馈线电源站的分布式馈线终端中获取相应10kV馈线的可切负荷容量数据,并统计所辖配网区域的总可切负荷容量数据并传输至切负荷控制子站;

各切负荷控制子站对所辖切负荷执行站上送的总可切负荷容量数据进行汇总,得到各切负荷控制子站所辖配网区域的总可切负荷容量数据,传输至切负荷控制主站;

切负荷控制主站根据各切负荷控制子站上送的总可切负荷容量数据,统计区域电网的总可切负荷容量,并上送至区域电网频率控制总站;

区域电网频率控制总站监测电网的直流功率损失,并根据接收到的区域总可切负荷容量数据和直流功率损失量,下发含有区域电网待切负荷总容量的切负荷总容量指令给切负荷控制主站;

切负荷控制主站根据接收到的切负荷总容量指令,向各切负荷控制子站下发对应各子站所辖区域配网的切负荷容量指令;切负荷控制子站根据接收到的切负荷容量指令,向下辖各切负荷执行站下发对应各切负荷执行站所辖区域配网的切负荷容量指令;各切负荷执行站根据接收到的切负荷容量指令,向下辖各10kV馈线电源站的分布式馈线终端下发对应相应10kV馈线的切负荷容量指令;各10kV馈线电源站的分布式馈线终端将接收到的切负荷指令传递至线上各配网支路的分布式馈线终端;各配网支路的分布式馈线终端根据接收到的切负荷指令控制所在配网支路中开关设备的通断,从而接入或切除所在配网支路中的负荷。

2. 根据权利要求1所述的基于分布式馈线自动化的紧急精准切负荷控制系统,其特征是,切负荷执行站设置于220kV变电站或110kV变电站,各切负荷执行站按照就近原则通过GOOSE网络与多个10kV馈线中电源站的分布式馈线终端连接通信。

3. 根据权利要求2所述的基于分布式馈线自动化的紧急精准切负荷控制系统,其特征是,各10kV馈线的多个分布式馈线终端通过GOOSE网络连接通信;

切负荷执行站与1个以上10kV馈线中电源站的分布式馈线终端之间采用GOOSE直连方式连接通信,或者采用GOOSE交换机组网方式连接通信。

4. 根据权利要求3所述的基于分布式馈线自动化的紧急精准切负荷控制系统,其特征是,所述各10kV馈线为环网型接线,包括多个环网柜,各环网柜节点分别设置一个分布式馈线终端;各10kV馈线中的多个分布式馈线终端从负荷侧到电源侧依次通过GOOSE网络连接通信;各配网支路的分布式馈线终端通过控制相应环网柜中出线开关的通断,从而接入或切除相应配网支路中的负荷。

5. 根据权利要求3所述的基于分布式馈线自动化的紧急精准切负荷控制系统,其特征

是,所述各10kV馈线为辐射型接线,包括对应多个配网支路的柱上开关,各柱上开关节点处分别设置一个分布式馈线终端;各配网支路的分布式馈线终端通过控制相应柱上开关的通断,从而接入或切除相应配网支路中的负荷。

6. 基于权利要求1至5所述紧急精准切负荷控制系统的切负荷方法,其特征是,包括:

S1, 根据各配网支路所带负荷的重要程度,将负荷划分为多个层级;

S2, 各配网支路对应的分布式馈线终端计算所在支路节点的各层级负荷容量数据,传输至所属10kV馈线的电源站分布式馈线终端;

S3, 各10kV馈线中电源站的分布式馈线终端汇总相应馈线上各支路节点的各层级负荷容量数据,上送至切负荷执行站;

S4, 切负荷执行站接收所辖各10kV馈线的各层级可切负荷总容量,统计所辖所有10kV馈线的各层级可切负荷总容量,上送至相应的切负荷控制子站;

切负荷控制子站接收所辖各切负荷执行站的各层级可切负荷总容量,统计所辖所有切负荷执行站的各层级可切负荷总容量,上送至切负荷控制主站;

切负荷控制主站接收所有切负荷控制子站的各层级可切负荷总容量,统计所辖配网区域内各层级可切负荷总容量上送至区域电网频率控制总站;

S5, 区域电网频率控制总站下发含有区域待切负荷总容量 P_{cut} 的切负荷总容量指令给切负荷控制主站;

S6, 切负荷控制主站根据切负荷总容量指令中的待切负荷总容量 P_{cut} 、配网区域内各层级负荷总容量以及各切负荷控制子站的各层级可切负荷总容量,为各切负荷控制子站分配待切负荷量并下发;

各切负荷控制子站根据切负荷控制总站分配的待切负荷量、所辖所有切负荷执行站的各层级负荷总容量以及所辖各切负荷执行站的各层级负荷总容量,为各切负荷执行站分配待切负荷量并下发;

各切负荷执行站根据切负荷控制子站分配的待切负荷量、所辖所有10kV馈线各层级负荷总容量以及所辖各10kV馈线的各层级负荷总容量,为各10kV馈线分配待切负荷量并下发至相应的10kV馈线电源站的分布式馈线终端;

各10kV馈线电源站的分布式馈线终端根据切负荷执行站下发的待切负荷量、馈线中各层级负荷总容量以及馈线中各配网支路的各层级负荷容量,向馈线中各配网支路的分布式馈线终端下发包括待切负荷层级和相应层级待切量的切负荷量指令;

各配网支路的分布式馈线终端根据接收到的切负荷量指令中的待切负荷层级和相应层级待切量,将配网支路所带相应容量的相应负荷进行切除。

7. 根据权利要求6所述的方法,其特征是,切负荷控制总站向所辖各切负荷控制子站分配待切负荷量的分配原则为:

定义切负荷控制子站的数量为M个,步骤S1中将负荷划分为N个层级,步骤S4中切负荷控制主站接收的第m个切负荷控制子站的第n层级可切负荷总容量为 P_{mn} ,切负荷控制总站所辖配网区域内第n层级的可切负荷量为 P_n ;

步骤S6中切负荷控制主站获取切负荷总容量指令后,比较区域待切负荷总容量 P_{cut} 与最低层级负荷总容量 P_1 或由低到高多个层级负荷总容量的大小关系:

若 $P_{cut} \leq P_1$,计算切负荷系数 $\alpha_1 = P_{cut}/P_1$,则为第m个切负荷控制子站分配的待切负荷量

为 $P_{\text{mcut}}=P_{\text{m1}}*\alpha_1$;

若 $P_{\text{cut}}\leq(P_1+P_2)$,且 $P_{\text{cut}}>P_1$,计算切负荷系数 $\alpha_1=(P_{\text{cut}}-P_1)/P_2$,则为第 m 个切负荷控制子站分配的待切负荷量为 $P_{\text{mcut}}=P_{\text{m1}}+P_{\text{m2}}*\alpha_1$;

若 $P_{\text{cut}}\leq(P_1+P_2+\dots+P_n)$,且 $P_{\text{cut}}>P_1+P_2+\dots+P_{n-1}$,计算切负荷系数 $\alpha_1=(P_{\text{cut}}-P_1-P_2-\dots-P_{n-1})/P_n$,则为第 m 个切负荷控制子站分配的待切负荷量为 $P_{\text{mcut}}=P_{\text{m1}}+P_{\text{m2}}+\dots+P_{\text{m}(n-1)}+P_{\text{mn}}*\alpha_1$ 。

8. 根据权利要求7所述的方法,其特征是,切负荷控制子站、切负荷执行站及各10kV馈线终端电源站的分布式馈线终端,向下分配待切负荷容量的分配原则的原理与切负荷控制总站的分配原则的原理相同。

9. 根据权利要求7所述的方法,其特征是,各馈线电源站的分布式馈线终端将含有各层级待切负荷量的切负荷指令从电源站向供电线路末端依次传输至各配网支路的分布式馈线终端;

各配网支路的分布式馈线终端在接收到切负荷指令时,按照指令中的待切负荷层级进行相应负荷的切除,然后将切负荷指令中的各层级待切负荷量减去本配网支路节点已切除的相应层级负荷量,更新切负荷指令,并将更新后的切负荷指令转发至下一相邻配网支路的分布式馈线终端,依此类推,直至切负荷指令中各层级的待切负荷量皆为0,则切负荷完成。

10. 根据权利要求7所述的方法,其特征是,当S1中10kV馈线中各配网支路所带负荷的层级相同,步骤S2中从10kV馈线的供电线路末端开始,各配网支路对应的分布式馈线终端依次计算相应配网支路节点所带负荷量以及节点负荷量占整条馈线总负荷量的百分比数据,传输至馈线电源站的分布式馈线终端;

电源站的分布式馈线终端接收馈线中各配网支路负荷量及各节点负荷百分比数据,将各配网支路负荷量数据传输至切负荷执行站;

切负荷执行站基于各馈线各配网支路节点的负荷容量数据,向馈线电源站的分布式馈线终端发送包含相应馈线中某一节点负荷容量数据的拓扑切负荷指令;

馈线电源站的分布式馈线终端接收拓扑切负荷指令,将拓扑切负荷指令依次传输至各配网支路节点的分布式馈线终端;

配网支路节点的分布式馈线终端将接收到的拓扑切负荷指令中的负荷容量数据与节点自身负荷量进行比较,若两者相等则切除本支路负荷。

11. 权利要求1至5所述紧急精准切负荷控制系统的IEC61850对象模型,其特征是,包括对应每个配网支路中分布式馈线终端的SERVER对象、LD逻辑设备、LN逻辑节点和服务访问点;服务访问点包括用于MMS服务的S1点和用于GOOSE服务的G1点;G1点建模一个SERVER类,采用发布者/订阅者通信模式,用于分布式馈线终端间的通信;

LD逻辑设备包括对应分布式馈线自动化功能的FDIR逻辑设备对象,逻辑设备对象FDIR包括LLN0、LPHD逻辑节点,以及对应分布式馈线自动化功能的OSFA逻辑节点、对应测试功能的TSFA逻辑节点、对应状态信息的MSFA逻辑节点和对应切负荷功能的ALDS逻辑节点。

基于分布式馈线自动化的紧急精准切负荷控制系统和切负荷方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统安全稳定控制技术领域,特别是一种基于分布式馈线自动化的紧急精准切负荷控制系统和切负荷方法。

背景技术

[0002] 随着高压交直流电网的快速发展以及大规模可再生能源不断接入电力系统,复杂大电网运行方式的时变性和复杂性问题日益凸显,极大地增加了电网的运行风险和控制难度。在我国,以江苏省为代表的东部沿海经济发达地区的电力负荷相对集中,而发电能力则由于当地能源资源和环境的限制相对匮乏,以致电网对外部电源依赖严重。近年来江苏特高压直流输电发展迅速,一定程度上缓解了电力短缺的问题。然而大规模直流输电工程落地也为电网的安全稳定运行带来新的挑战,因交流系统故障导致的换相失败是可能出现的主要问题。若换相失败导致多回直流同时发生双极闭锁,电网将出现大量有功缺额,从而出现电网频率下降,甚至可能导致系统频率崩溃。因此迫切需要对电网提供频率和电压支撑,必要时需采取紧急切负荷控制策略,以保证电网的安全运行。

[0003] 经济发达地区的大规模负荷也为电网灵活调控提供了巨大的潜力空间。若能紧急切除电网内的一定量负荷,则可减少故障发生后其他输电线路的功率传输,有利于频率快速恢复,预防区域电网发生连锁故障而崩溃。

[0004] 分布式馈线自动化系统(分布式FA)的每台终端仅与和其一次拓扑相接的终端进行通信,与非相邻终端的数据交互依靠相邻终端代理,各终端互为代理后则形成了全局数据交互通道。自动化信息沿交互通道逐级蔓延,实现全网信息的快速传递和共享。这个技术使单台终端可以接收到网格内的全部所需信息,同时又不必对网格内远处某点的变动做出修改,当网格内出现节点增删时,仅对其相邻区域产生影响,这样可在工程实施中对一次网架更新在最大限度维持原有状态下快速反应,同时随着网格内节点数量的增加,通信量仅以正比例加法的规模平滑增长,利于电网后期的规划发展。

[0005] 基于对等通信技术通过两两通信实现智能分布式FA全局数据交换方式,将通信限制在相邻终端两两之间,与非相邻终端的数据交互则依靠相邻终端代理,各终端互为代理后则形成了全局数据交互的通道。

[0006] 借鉴IEC61850标准在数字化变电站领域运行的成功经验,结合智能分布式FA系统的具体需求,以GOOSE作为智能分布式FA系统终端间数据通信的机制。GOOSE主要用于实现多配电终端之间的信息传递,具有较高的传输速率,GOOSE的可靠性、实时性、安全性可以满足智能分布式FA系统的数据传输性能要求。智能分布式系统基于“对等通讯”模式运行,其逻辑算法的核心为分布式保护、分布式馈线自动化,这些核心逻辑均建立在对等通讯基础之上,可以使系统在故障发生后的毫秒级时间之内完成故障隔离操作。利用GOOSE通讯可靠、实时的特性,将智能分布式FA系统的对等通讯建立在GOOSE网络的基础上,为智能分布式FA系统提供可靠的支撑,使智能分布式FA系统的高级控制逻辑算法可以稳定、实时的运

行,为整个系统的可靠运行奠定了基础。

发明内容

[0007] 本发明要解决的技术问题为:基于分布式馈线自动化技术实现多回直流故障时的紧急精准切负荷控制,以10kV可中断负荷为切负荷控制对象,实现快速批量的负荷精准控制,缓解多直流受端电网的频率失稳问题,确保大电网的安全稳定运行。

[0008] 本发明采取的技术方案为:一种基于分布式馈线自动化的紧急精准切负荷控制系统,包括区域电网频率控制总站、切负荷控制主站、多个切负荷控制子站、多个切负荷执行站和分布式馈线自动化子系统;各切负荷控制子站分别连接1个以上切负荷执行站;

[0009] 区域电网包括多条10kV馈线,各10kV馈线包括电源站和多个配网支路;分布式馈线自动化子系统包括多个分布式馈线终端,各10kV馈线的电源站和各配网支路分别对应设有一个分布式馈线终端;各配网支路的分布式馈线终端可控制所在配网支路中开关设备的通断,从而接入或切除所在配网支路中的负荷;所述各配网支路的分布式馈线终端分别获取所在配网支路的可切负荷容量,传输至电源站的分布式馈线终端;

[0010] 各切负荷执行站分别从1个以上10kV馈线电源站的分布式馈线终端中获取相应10kV馈线的可切负荷容量数据,并统计所辖配网区域的切负荷总容量数据传输至切负荷控制子站;

[0011] 各切负荷控制子站对所辖切负荷执行站上送的可切负荷总容量数据进行汇总,得到各切负荷控制子站所辖配网区域的切负荷总容量数据,传输至切负荷控制主站;

[0012] 切负荷控制主站根据各切负荷控制子站上送的可切负荷总容量数据,统计区域电网的切负荷总容量,并上送至区域电网频率控制总站;

[0013] 区域电网频率控制总站监测电网的直流功率损失,并根据接收到的区域总可切负荷容量数据和直流功率损失量,下发含有区域电网待切负荷总容量的切负荷总容量指令给切负荷控制主站;

[0014] 切负荷控制主站根据接收到的切负荷总容量指令,向各切负荷控制子站下发对应各子站所辖区域配网的切负荷容量指令;切负荷控制子站根据接收到的切负荷容量指令,向下辖各切负荷执行站下发对应各切负荷执行站所辖区域配网的切负荷容量指令;各切负荷执行站根据接收到的切负荷容量指令,向下辖各10kV馈线电源站的分布式馈线终端下发对应相应10kV馈线的切负荷容量指令;各10kV馈线电源站的分布式馈线终端将接收到的切负荷指令传递至线上各配网支路的分布式馈线终端;各配网支路的分布式馈线终端根据接收到的切负荷指令控制所在配网支路中开关设备的通断,从而接入或切除所在配网支路中的负荷。

[0015] 本发明中,分布式馈线终端、切负荷执行站和切负荷控制子站可采用微控制器实现,切负荷控制主站以及电网频率控制主站可采用CPU实现。分布式馈线终端可采用环网柜或柱上开关已安装的现有馈线终端FT,各馈线终端可以实时采集所在10kV专变出线的三相电压、三相电流值,在线计算该出线下线的实时可切负荷量,其对相应配网支路中负荷量的获取以及开关设备的通断控制为现有技术。电网频率控制主站可按照直流功率损失量制定包括区域待切负荷容量的控制策略,下发切负荷总容量指令给切负荷控制主站。

[0016] 优选的,切负荷执行站设置于220kV变电站或110kV变电站,各切负荷执行站按照

就近原则通过GOOSE网络与多个10kV馈线中电源站的分布式馈线终端连接通信。就近原则即对于一10kV馈线来说,该馈线电源站的分布式馈线终端仅与距离最近的切负荷执行站之间进行通信,包括负荷量数据的上传和切负荷指令的下发。

[0017] 优选的,切负荷控制主站和各切负荷子站设置于500kV变电站,切负荷执行站、切负荷子站与切负荷控制主站之间通过2M电力专用通道连接通信。

[0018] 优选的,切负荷执行站与1个以上10kV馈线中电源站的分布式馈线终端之间采用GOOSE直连方式连接通信,或者采用GOOSE交换机组网方式连接通信。

[0019] 优选的,本发明中各10kV馈线的多个分布式馈线终端通过GOOSE网络连接通信。分布式馈线自动化的相邻数据通信机制,使得各配网支路的分布式馈线终端能够把可切负荷量数据传输给相邻分布式馈线终端,10kV馈线的变电站(即电源站)的分布式馈线终端计算该条馈线总的可切负荷容量,通过GOOSE网络上报就近切负荷执行站。

[0020] 作为一种具体实施方式,所述各10kV馈线为环网型接线,包括多个环网柜,各环网柜节点分别设置一个分布式馈线终端;各10kV馈线中的多个分布式馈线终端从负荷侧到电源侧依次通过GOOSE网络连接通信;各配网支路的分布式馈线终端通过控制相应环网柜中出线开关的通断,从而接入或切除相应配网支路中的负荷。对于环网型接线,每个环网柜节点分别引出一个配网支路。

[0021] 作为另一种具体实施方式,所述各10kV馈线为辐射型接线,包括对应多个配网支路的柱上开关,各柱上开关节点处分别设置一个分布式馈线终端;各配网支路的分布式馈线终端通过控制相应柱上开关的通断,从而接入或切除相应配网支路中的负荷。

[0022] 本发明还公开一种基于上述基于分布式馈线自动化的紧急精准切负荷控制系统的切负荷方法,包括:

[0023] S1,根据各配网支路所带负荷的重要程度,将负荷划分为多个层级;

[0024] S2,各配网支路对应的分布式馈线终端计算所在支路节点各层级负荷容量数据,传输至所属10kV馈线的电源站分布式馈线终端;

[0025] S3,各10kV馈线中电源站的分布式馈线终端汇总相应馈线上各支路节点各层级负荷容量数据,上送至切负荷执行站;

[0026] S4,切负荷执行站接收所辖各10kV馈线的各层级可切负荷总容量,统计所辖所有10kV馈线的各层级可切负荷总容量,上送至相应的切负荷控制子站;

[0027] 切负荷控制子站接收所辖各切负荷执行站的各层级可切负荷总容量,统计所辖所有切负荷执行站的各层级可切负荷总容量,上送至切负荷控制主站;

[0028] 切负荷控制主站接收所有切负荷控制子站的各层级可切负荷总容量,统计所辖配网区域内各层级可切负荷总容量上送至区域电网频率控制总站;

[0029] S5,区域电网频率控制总站下发含有区域待切负荷总容量 P_{cut} 的切负荷总容量指令给切负荷控制主站;

[0030] S6,切负荷控制主站根据切负荷总容量指令中的待切负荷总容量 P_{cut} 、配网区域内各层级负荷总容量以及各切负荷控制子站的各层级可切负荷总容量,为各切负荷控制子站分配待切负荷量并下发;

[0031] 各切负荷控制子站根据切负荷控制总站分配的待切负荷量、所辖所有切负荷执行站的各层级负荷总容量以及所辖各切负荷执行站的各层级负荷总容量,为各切负荷执行站

分配待切负荷量并下发；

[0032] 各切负荷执行站根据切负荷控制子站分配的待切负荷量、所辖所有10kV馈线各层级负荷总容量以及所辖各10kV馈线的各层级负荷总容量，为各10kV馈线分配待切负荷量并下发至相应的10kV馈线电源站的分布式馈线终端；

[0033] 各10kV馈线电源站的分布式馈线终端根据切负荷执行站下发的待切负荷量、馈线中各层级负荷总容量以及馈线中各配网支路各层级负荷容量，向馈线中各配网支路的分布式馈线终端下发包括待切负荷层级和相应层级待切量的切负荷量指令；

[0034] 各配网支路的分布式馈线终端根据接收到的切负荷量指令中的待切负荷层级和相应层级待切量，将配网支路所带相应容量的相应负荷进行切除。

[0035] 优选的，步骤S2中，对于一个10kV馈线，其各配网支路的分布式馈线终端分别计算所在支路节点的各级负荷容量，且从供电线路末端的分布式馈线终端开始向电源侧逐个累加各级负荷容量，进而使得电源站的分布式馈线终端获取该10kV馈线的各级负荷总容量。

[0036] 进一步的，步骤S6，切负荷控制总站接收切负荷总容量指令后，判断是否满足本站频率防误判据，若满足则继续进行负荷的切除步骤。判断是否满足本站频率防误判据即：检测500kV两段母线频率，若任一段母线频率低于“低频确认定值”，同时频率变化率满足“频率滑差定值”，并且达到“确认延时定值”，则认为满足频率防误判据。是否满足频率防误判据的具体判断过程为现有技术。

[0037] 优选的，切负荷控制总站向所辖各切负荷控制子站分配待切负荷量的分配原则为：

[0038] 定义切负荷控制子站的数量为M个，步骤S1中将负荷划分为N个层级，步骤S4中切负荷控制主站接收的第m个切负荷控制子站的第n层级可切负荷总容量为 P_{mn} ，切负荷控制总站所辖配网区域内第n层级的可切负荷量为 P_n ；

[0039] 步骤S6中切负荷控制主站获取切负荷总容量指令后，比较区域待切负荷总容量 P_{cut} 与最低层级负荷总容量 P_1 或由低到高多个层级负荷总容量的大小关系：

[0040] 若 $P_{cut} \leq P_1$ ，计算切负荷系数 $\alpha_1 = P_{cut}/P_1$ ，则为第m个切负荷控制子站分配的待切负荷量为 $P_{mcut} = P_{m1} * \alpha_1$ ；

[0041] 若 $P_{cut} \leq (P_1 + P_2)$ ，且 $P_{cut} > P_1$ ，计算切负荷系数 $\alpha_1 = (P_{cut} - P_1) / P_2$ ，则为第m个切负荷控制子站分配的待切负荷量为 $P_{mcut} = P_{m1} + P_{m2} * \alpha_1$ ；

[0042] 若 $P_{cut} \leq (P_1 + P_2 + \dots + P_n)$ ，且 $P_{cut} > P_1 + P_2 + \dots + P_{n-1}$ ，计算切负荷系数 $\alpha_1 = (P_{cut} - P_1 - P_2 - \dots - P_{n-1}) / P_n$ ，则为第m个切负荷控制子站分配的待切负荷量为 $P_{mcut} = P_{m1} + P_{m2} + \dots + P_{m(n-1)} + P_{mn} * \alpha_1$ 。依此类推，即在分配切负荷量时从第1层级开始依次分配，可保证切负荷对电网负荷用户的影响最小。

[0043] 所述最低层级负荷即重要程度最低的负荷。

[0044] 优选的，切负荷控制子站、切负荷执行站及各10kV馈线终端电源站的分布式馈线终端，向下分配待切负荷容量的分配原则的原理与切负荷控制总站的分配原则的原理相同。

[0045] 切负荷控制子站的切负荷量分配规则为：

[0046] 定义其中第m个切负荷控制子站所辖切负荷执行站的数量为I，其中第i个切负荷执行站的第n级可切负荷量为 P_{in} ，所有I个切负荷执行站上送的第n层级可切负荷总容量为

P_n' ;

[0047] 若 $P_{\text{mcut}} \leq P_1'$, 计算切负荷系数 $\alpha_2 = P_{\text{mcut}}/P_1'$, 则为第*i*个切负荷执行站分配的待切负荷量为 $P_{\text{icut}} = P_{i1} * \alpha_2$;

[0048] 若 $P_{\text{mcut}} \leq (P_1' + P_2')$, 且 $P_{\text{mcut}} > P_1'$, 计算切负荷系数 $\alpha_2 = (P_{\text{mcut}} - P_1')/P_2'$, 则为第*i*个切负荷执行站分配的待切负荷量为 $P_{\text{icut}} = P_{i1} + P_{i2} * \alpha_2$;

[0049] 若 $P_{\text{mcut}} \leq (P_1' + P_2' + \dots + P_n')$, 且 $P_{\text{mcut}} > (P_1' + P_2' + \dots + P_{n-1}')$, 计算切负荷系数 $\alpha_2 = (P_{\text{mcut}} - P_1' - P_2' - \dots - P_{n-1}')/P_n'$, 则为第*i*个切负荷执行站分配的待切负荷量为 $P_{\text{icut}} = P_{i1} + P_{i2} + \dots + P_{i(n-1)} + P_{in} * \alpha_2$ 。

[0050] 各切负荷执行站的切负荷量分配规则为:

[0051] 定义其中第*i*各切负荷执行站所辖10kV馈线数量为*J*条, 其中第*j*条10kV馈线的第*n*级可切负荷量为 P_{jn} , 所有*J*条10kV馈线上送的第*n*层级可切负荷总容量为 P_n'' ;

[0052] 若 $P_{\text{icut}} \leq P_1''$, 计算切负荷系数 $\alpha_3 = P_{\text{icut}}/P_1''$, 则为第*j*条10kV馈线分配的待切负荷量为 $P_{\text{jcut}} = P_{j1} * \alpha_3$;

[0053] 若 $P_{\text{icut}} \leq (P_1'' + P_2'')$, 且 $P_{\text{icut}} > P_1''$, 计算切负荷系数 $\alpha_3 = (P_{\text{icut}} - P_1'')/P_2''$, 则为第*j*条10kV馈线分配的待切负荷量为 $P_{\text{jcut}} = P_{j1} + P_{j2} * \alpha_3$;

[0054] 若 $P_{\text{icut}} \leq (P_1'' + P_2'' + \dots + P_n'')$, 且 $P_{\text{icut}} > (P_1'' + P_2'' + \dots + P_{n-1}'')$, 计算切负荷系数 $\alpha_3 = (P_{\text{icut}} - P_1'' - P_2'' - \dots - P_{n-1}'')/P_n''$, 则为第*j*条10kV馈线分配的待切负荷量为 $P_{\text{jcut}} = P_{j1} + P_{j2} + \dots + P_{j(n-1)} + P_{jn} * \alpha_3$ 。

[0055] 优选的, 各馈线电源站的分布式馈线终端将含有各层级待切负荷量的切负荷指令从电源站向供电线路末端依次传输至各配网支路的分布式馈线终端;

[0056] 各配网支路的分布式馈线终端在接收到切负荷指令时, 按照指令中的待切负荷层级进行相应负荷的切除, 然后将切负荷指令中的各层级待切负荷量减去本配网支路节点已切除的相应层级负荷量, 更新切负荷指令, 并将更新后的切负荷指令转发至下一相邻配网支路的分布式馈线终端, 依此类推, 直至切负荷指令中各层级的待切负荷量皆为0, 则切负荷完成。

[0057] 作为另一种待切负荷量分配方式, 各10kV馈线电源站的分布式馈线终端接收本馈线待切负荷量后, 为本馈线内各配网支路分配切负荷量的规则为:

[0058] 定义第*j*条10kV馈线包括*K*条配网支路, 第*k*条配网支路的第*n*级可切负荷量为 P_{kn} , *K*条配网支路中第*n*级的可切负荷总容量为 P_n''' ;

[0059] 若 $P_{\text{jcut}} \leq P_1'''$, 计算切负荷系数 $\alpha_4 = P_{\text{jcut}}/P_1'''$, 则为第*k*条配网支路分配的待切负荷量为 $P_{\text{kcut}} = P_{k1} * \alpha_4$;

[0060] 若 $P_{\text{jcut}} \leq (P_1''' + P_2''')$, 且 $P_{\text{jcut}} > P_1'''$, 计算切负荷系数 $\alpha_4 = (P_{\text{jcut}} - P_1''')/P_2'''$, 则为第*k*条配网支路分配的待切负荷量为 $P_{\text{kcut}} = P_{k1} + P_{k2} * \alpha_4$;

[0061] 若 $P_{\text{jcut}} \leq (P_1''' + P_2''' + \dots + P_n''')$, 且 $P_{\text{jcut}} > (P_1''' + P_2''' + \dots + P_{n-1}''')$, 计算切负荷系数 $\alpha_4 = (P_{\text{jcut}} - P_1''' - P_2''' - \dots - P_{n-1}''')/P_n'''$, 则为第*k*条配网支路分配的待切负荷量为 $P_{\text{kcut}} = P_{k1} + P_{k2} + \dots + P_{k(n-1)} + P_{kn} * \alpha_4$ 。

[0062] 各配网支路对应的分布式馈线终端根据接收的待切负荷量对所带相应负荷进行切除, 如 $P_{\text{kcut}} = P_{k1} + P_{k2} * \alpha_4$, 则相应配网支路上的第1层级负荷全部切除, 第二层级负荷按照切负荷系数比例进行切除。

[0063] 以上叙述了馈线范围内可切负荷重要程度不同的情况,采用的是优先级模式的切负荷方法。若馈线范围内可切负荷的重要程度相同,即层级相同,则采用拓扑工作模式进行切负荷。

[0064] 当S1中10kV馈线中各配网支路所带负荷的层级相同,步骤S2中从10kV馈线的供电线路末端开始,各配网支路对应的分布式馈线终端依次计算相应配网支路节点所带负荷量以及节点负荷量占整条馈线总负荷量的百分比数据,传输至馈线电源站的分布式馈线终端;

[0065] 电源站的分布式馈线终端接收馈线中各配网支路负荷量及各节点负荷百分比数据,将各配网支路负荷量数据传输至切负荷执行站;

[0066] 切负荷执行站基于各馈线各配网支路节点的负荷容量数据,向馈线电源站的分布式馈线终端发送包含相应馈线中某一节点负荷容量数据的拓扑切负荷指令;

[0067] 馈线电源站的分布式馈线终端接收拓扑切负荷指令,将拓扑切负荷指令依次传输至各配网支路节点的分布式馈线终端;

[0068] 配网支路节点的分布式馈线终端将接收到的拓扑切负荷指令中的负荷容量数据与节点自身负荷量进行比较,若两者相等则切除本支路负荷。

[0069] 上述优先级切负荷模式与拓扑切负荷模式可结合应用,优先级模式适用于包含环网柜节点的10kV配电网,拓扑模式适用于辐射状接线、“N-1”接线、多分段多联络接线、网格化接线等多种配电网拓扑结构。拓扑模式将配电网内的柱上开关、环网柜等开关设备视为拓扑节点。

[0070] 优选的,考虑分布式新能源发电,当某10kV馈线上有分布式新能源给电网供电,且该10kV馈线的可切负荷总容量小于分布式新能源的发电功率,则不切除该分布式新能源向电网传输电能的发电馈线开关。

[0071] 优选的,若配网支路上存在其他可转供电源点或备用电源点,在电源点状态及容量满足转供条件时,分布式馈线终端可将失电区域负荷转供,恢复因切负荷造成的停电。

[0072] 根据IEC 61850的建模思想,本发明对紧急精准切负荷控制系统建立IEC61850对象模型,模型包括对应每个配网支路中分布式馈线终端的SERVER对象、LD逻辑设备、LN逻辑节点和服务访问点;服务访问点包括用于MMS服务的S1点和用于GOOSE服务的G1点;G1点建模一个SERVER类,采用发布者/订阅者通信模式,用于分布式馈线终端间的通信;

[0073] LD逻辑设备包括对应分布式馈线自动化功能的FDIR逻辑设备对象,逻辑设备对象FDIR包括LLN0、LPHD逻辑节点,以及对应分布式馈线自动化功能的OSFA逻辑节点、对应测试功能的TSFA逻辑节点、对应状态信息的MSFA逻辑节点和对应切负荷功能的ALDS逻辑节点。LLN0、LPHD逻辑节点为现有技术中LD常见的逻辑节点。根据上述建模思想进行本发明控制系统的建模为现有技术。

[0074] 有益效果

[0075] 本发明改变了传统电网安全稳控装置以110kV线路为对象的集中切负荷控制思路,通过挖掘配网层的负荷特性,融合基于GOOSE通信协议的分布式馈线自动化系统,当特高压多直流发生双极闭锁故障等电网紧急情况下,以10kV可中断负荷为切负荷控制对象,实现了大规模10kV配网层毫秒级的精准切负荷控制,缓解了110kV集中切负荷由于控制颗粒度大,易造成欠切或者过切的问题,满足负荷控制“快速”、“友好”和“精准”的要求,可解

决多直流受端电网直流双极闭锁故障后的频率失稳问题,确保大电网的安全稳定运行。

附图说明

- [0076] 图1所示为本发明控制系统结构框图;
- [0077] 图2所示为优先级模式负荷分级;
- [0078] 图3所示为优先级模式负荷分级累加上送;
- [0079] 图4所示为优先级模式切除C级负荷;
- [0080] 图5所示为拓扑模式各节点计算参量;
- [0081] 图6所示为拓扑模式负荷转换上送;
- [0082] 图7所示为拓扑模式切除负荷;
- [0083] 图8所示为拓扑模式被切负荷转供。

具体实施方式

- [0084] 以下结合附图和具体实施例进一步描述。
- [0085] 特高压直流换相失败导致多回直流同时发生双极闭锁,电网将出现大量有功缺额,出现电网频率下降,甚至可能导致系统频率崩溃。特高压多直流故障时采取大规模紧急切负荷措施是缓解电网频率跌落的必要手段之一。但集中切负荷控制措施属于离散控制,控制颗粒度大,易造成欠切或者过切,且集中切负荷容易触发国务院599号令《电力安全事故应急处置和调查处理条例》,造成较大的经济损失和社会影响。
- [0086] 参考图1所示,本发明基于分布式馈线自动化的紧急精准切负荷控制系统,包括区域电网频率控制总站、切负荷控制主站、多个切负荷控制子站、多个切负荷执行站和分布式馈线自动化子系统;各切负荷控制子站分别连接1个以上切负荷执行站;
- [0087] 区域电网包括多条10kV馈线,各10kV馈线包括电源站和多个配网支路;分布式馈线自动化子系统包括多个分布式馈线终端,各10kV馈线的电源站和各配网支路分别对应设有一个分布式馈线终端;各配网支路的分布式馈线终端可控制所在配网支路中开关设备的通断,从而接入或切除所在配网支路中的负荷;所述各配网支路的分布式馈线终端分别获取所在配网支路的可切负荷容量,传输至电源站的分布式馈线终端;
- [0088] 各切负荷执行站分别从1个以上10kV馈线电源站的分布式馈线终端中获取相应10kV馈线的可切负荷容量数据,并统计所辖配网区域的可切负荷总容量数据传输至切负荷控制子站;
- [0089] 各切负荷控制子站对所辖切负荷执行站上送的可切负荷总容量数据进行汇总,得到各切负荷控制子站所辖配网区域的可切负荷总容量数据,传输至切负荷控制主站;
- [0090] 切负荷控制主站根据各切负荷控制子站上送的可切负荷总容量数据,统计区域电网的可切负荷总容量,并上送至区域电网频率控制总站;
- [0091] 区域电网频率控制总站监测电网的直流功率损失,并根据接收到的区域总可切负荷容量数据和直流功率损失量,下发含有区域电网待切负荷总容量的切负荷总容量指令给切负荷控制主站;
- [0092] 切负荷控制主站根据接收到的切负荷总容量指令,向各切负荷控制子站下发对应各子站所辖区域配网的切负荷容量指令;切负荷控制子站根据接收到的切负荷容量指令,

向下辖各切负荷执行站下发对应各切负荷执行站所辖区域配网的切负荷容量指令；各切负荷执行站根据接收到的切负荷容量指令，向下辖各10kV馈线电源站的分布式馈线终端下发对应相应10kV馈线的切负荷容量指令；各10kV馈线电源站的分布式馈线终端将接收到的切负荷指令传递至线上各配网支路的分布式馈线终端；各配网支路的分布式馈线终端根据接收到的切负荷指令控制所在配网支路中开关设备的通断，从而接入或切除所在配网支路中的负荷。

[0093] 基于上述基于分布式馈线自动化的紧急精准切负荷控制系统的切负荷方法，包括：

[0094] S1，根据各配网支路所带负荷的重要程度，将负荷划分为多个层级；

[0095] S2，各配网支路对应的分布式馈线终端计算所在支路节点各层级负荷容量数据，传输至所属10kV馈线的电源站分布式馈线终端；

[0096] S3，各10kV馈线中电源站的分布式馈线终端汇总相应馈线上各支路节点各层级负荷容量数据，上送至切负荷执行站；

[0097] S4，切负荷执行站接收所辖各10kV馈线各层级可切负荷总容量，统计所辖所有10kV馈线各层级可切负荷总容量，上送至相应的切负荷控制子站；

[0098] 切负荷控制子站接收所辖各切负荷执行站各层级可切负荷总容量，统计所辖所有切负荷执行站各层级可切负荷总容量，上送至切负荷控制主站；

[0099] 切负荷控制主站接收所有切负荷控制子站各层级可切负荷总容量，统计所辖配网区域内各层级可切负荷总容量上送至区域电网频率控制总站；

[0100] S5，区域电网频率控制总站下发含有区域待切负荷总容量 P_{cut} 的切负荷总容量指令给切负荷控制主站；

[0101] S6，切负荷控制主站根据切负荷总容量指令中的待切负荷总容量 P_{cut} 、配网区域内各层级负荷总容量以及各切负荷控制子站各层级可切负荷总容量，为各切负荷控制子站分配待切负荷量并下发；

[0102] 各切负荷控制子站根据切负荷控制总站分配的待切负荷量、所辖所有切负荷执行站各层级负荷总容量以及所辖各切负荷执行站各层级负荷总容量，为各切负荷执行站分配待切负荷量并下发；

[0103] 各切负荷执行站根据切负荷控制子站分配的待切负荷量、所辖所有10kV馈线各层级负荷总容量以及所辖各10kV馈线各层级负荷总容量，为各10kV馈线分配待切负荷量并下发至相应的10kV馈线电源站的分布式馈线终端；

[0104] 各10kV馈线电源站的分布式馈线终端根据切负荷执行站下发的待切负荷量、馈线中各层级负荷总容量以及馈线中各配网支路各层级负荷容量，为各配网支路的分布式馈线终端分配包括待切负荷层级和相应层级待切量的切负荷指令并下发；

[0105] 各配网支路的分布式馈线终端根据接收到的切负荷指令中的待切负荷层级和相应层级待切量，将配网支路所带相应容量的相应负荷进行切除。

[0106] 实施例1

[0107] 如图1所示，系统按照区域电网频率控制总站、切负荷控制主站、切负荷控制子站、切负荷执行站和分布式馈线自动化子系统5层架构设计，具体功能如下：

[0108] 区域电网频率控制总站：电网频率控制总站可以设置在特高压换流站，在大功率

直流功率损失后,电网频率控制总站负责按直流功率损失量制定控制策略,按照多直流协调控制、抽水蓄能机组控制、快速切负荷控制的优先级,下发切负荷总容量指令给切负荷控制主站。

[0109] 切负荷控制主站:切负荷控制主站可以设置在500kV变电站,控制装置双套配置,通过与切负荷控制子站通信,统计整个所辖地区总可切负荷容量,并将地区可切负荷总量上送至电网频率控制总站;接收电网频率控制总站切负荷容量指令,若满足本站频率防误判据,切除各分区相应层级负荷。判断是否满足本站频率防误判据即:检测本站500kV两段母线频率,若任一段母线频率低于“低频确认定值”,同时频率变化率满足“频率滑差定值”,并且达到“确认延时定值”,则认为满足频率防误判据。

[0110] 切负荷控制子站:可以在多个500kV变电站设置切负荷控制子站,各站均双套配置、并列运行。双套装置均通过2M电力专用通道分别与切负荷控制主站两套装置通信,以及通过2M电力专用通道与下属的各切负荷执行站进行通信。

[0111] 切负荷控制主站和各切负荷子站设置于500kV变电站,切负荷执行站、切负荷子站与切负荷控制主站之间通过2M电力专用通道连接通信。

[0112] 切负荷执行站:接收分布式馈线自动化子系统中馈线终端(FT)上传的10kV馈线可切负荷容量,下发切负荷指令给分布式馈线自动化子系统中的各可切馈线自动化终端。

[0113] 切负荷执行站设置于220kV变电站或者110kV变电站,按就近原则与多个10kV变电站的电源站分布式馈线终端之间通过GOOSE网络连接通信。

[0114] 分布式馈线自动化子系统:该子系统可以包括数条变电站10kV馈线(手拉手或辐射型),每条馈线包含多个配网支路,分布式馈线终端分布在变电站10kV馈线出线开关、配网环网柜(10kV出线开关)或柱上开关中,各分布式馈线终端可以实时采集所在10kV专变出线的三相电压和三相电流值,在线计算该出线下方的实时可切负荷量,并利用分布式馈线自动化相邻数据通信机制把可切负荷量数据传输给相邻变电站10kV馈线终端,变电站10kV馈线终端计算该条馈线总的可切负荷量上报就近切负荷执行站。切负荷执行站可以通过交换机组网方式或光纤直联两种方式下发切负荷指令给分布式馈线自动化子系统中的馈线终端。

[0115] 考虑分布式新能源发电,当某馈线上有分布式新能源给电网供电,若可切负荷总量小于发电功率,则不切该条线路新能源发电馈线开关。

[0116] 实施例2基于IEC 61850的紧急精准切负荷控制系统模型

[0117] 根据IEC 61850的建模思想,分布式馈线自动化子系统中的每个终端设备包含SERVER对象、LD逻辑设备和LN逻辑节点。建模包含2个服务访问点:S1(MMS服务)和G1(GOOSE服务),在G1访问点建模一个SERVER类,采用订阅者/发布者通信模式,用于馈线终端间通信。分布式馈线自动化功能建立专有的LD,实例名为“FDIR”,FDIR对象除了包含LD常见的LLN0和LPHD两个LN外,还包含OSFA(分布式馈线自动化功能)、TSFA(测试功能)、MSFA(状态信息)三个逻辑节点。为实现紧急精准切负荷控制功能,新增加ALDS(切负荷功能)逻辑节点。

[0118] 表1基于IEC 61850的切负荷控制功能逻辑节点

[0119]

ALDS				
属性名	属性类型	说明	T	M/O
数据				
公用逻辑节点信息				
LLNO		逻辑节点应继承公用逻辑节点类全部指定数据		
状态信息				

[0120]

ShedA	ACD	优先级模式切负荷启动(切 A 级负荷)		M
ShedB	ACD	优先级模式切负荷启动(切 B 级负荷)		M
ShedC	ACD	优先级模式切负荷启动(切 C 级负荷)		M
TopoShed	ACD	拓扑模式切负荷启动		M
Opt	ACT	动作		O
测量信息				
ALvLoad	MV	A 级负荷容量		M
BLvLoad	MV	B 级负荷容量		M
CLvLoad	MV	C 级负荷容量		M
TotalLoad	MV	负荷总容量		M
ShedLoad	MV	待切负荷容量		M
LoadsPerct	MV	拓扑节点负荷百分比		M
定值				
TopoRstDI	ING	拓扑模式负荷转供延时(ms)		O

[0121] 实施例3基于分布式馈线自动化的紧急精准切负荷控制系统的工作模式

[0122] 基于分布式馈线自动化的紧急精准切负荷控制系统提供两种工作模式,优先级模式和拓扑模式。两种模式可单独使用,也可以相互配合使用。

[0123] 3-1 优先级模式

[0124] 优先级模式适用于包含环网柜节点的10kV配电网。如图2所示,根据环网柜配电支路所带负荷的重要程度,将负荷划分为多个层级,例如A级负荷、B级负荷、C级负荷。该模式可以切除供电区域内指定等级负荷,实现基于负荷优先级的精准切负荷。

[0125] 如图3所示,装设在环网柜处的分布式馈线终端计算所在节点各级负荷容量,从供电线路末端开始向电源侧逐级累加各级负荷容量,电源端分布式馈线终端将汇总负荷上送至切负荷执行站。

[0126] 切负荷执行站可向电源站分布式馈线终端下发切A级负荷、切B级负荷、切C级负荷指令。如图4所示,指令向负荷侧节点传递,分布式馈线终端接收到指令后会切除所在节点对应等级负荷,并向负荷侧继续传递,直至供电区域内所有对应等级负荷全部切除。

[0127] 3-2 拓扑模式

[0128] 拓扑模式适用于辐射状接线、“N-1”接线、多分段多联络接线、网格化接线等多种配电网拓扑结构。拓扑模式将配电网内的柱上开关、环网柜等开关设备视为拓扑节点,分布式馈线终端计算所在节点向负荷侧提供的负荷容量,并计算该负荷容量占本线路当前全部负荷的百分比,如图5所示。

[0129] 参考图6,线路上的分布式馈线终端从供电线路末端开始向电源侧汇总各节点负荷百分比,电源端分布式馈线终端将各节点负荷百分比数据还原为实际负荷容量,并将其

上送至切负荷执行站。

[0130] 切负荷执行站可从线路节点负荷容量表中选择某一容量向电源端分布式馈线终端下发,同时下发拓扑模式切负荷指令,参考图7所示,容量和指令向负荷侧节点传递。分布式馈线终端接收到指令后,比较接收容量与自身计算容量,两者相等时跳开开关切除负荷。

[0131] 若线路上存在其他可转供电源点或备用电源点,在电源点状态及容量满足转供条件时,分布式馈线自动化系统可将失电区域负荷转供,恢复因切负荷造成的停电。

[0132] 实施例4基于分布式馈线自动化的紧急精准切负荷控制系统切负荷策略

[0133] 本发明提出的基于分布式馈线自动化的精准紧急切负荷控制系统切负荷策略,优化传统稳控系统按优先级划分的集中切负荷策略,运用分层自治的思想,将切负荷策略分散到各层,每层只对下一层负责,将切负荷量层层计算并定位到底层的馈线终端,完成需切负荷量 P_{cut} 与实际切除负荷量的匹配。将可切负荷按负荷重要程度分为6级,整个切负荷策略如下:

[0134] 按系统层级,具体切负荷策略实现如下:

[0135] 1. 电网频率控制总站:电网频率控制总站接收切负荷控制主站的可控负荷总量,下发需切负荷量 P_{cut} 指令给切负荷控制主站。

[0136] 2. 切负荷控制主站:本站接收所有切负荷控制子站6层级可切负荷容量,统计每个切负荷控制子站各层级切负荷量,定义切负荷控制子站的数量为 M 个,切负荷控制主站接收的第 m 个切负荷控制子站的第 n 层级可切负荷总容量为 P_{mn} ,切负荷控制总站所辖配网区域内第 n 层级的可切负荷量为 P_n ;

[0137] 切负荷控制主站获取切负荷总容量指令后,比较区域待切负荷总容量 P_{cut} 与最低层级负荷总容量 P_1 或由低到高多个层级负荷总容量的大小关系:

[0138] 若 $P_{cut} \leq P_1$,计算切负荷系数 $\alpha_1 = P_{cut}/P_1$,则为第 m 个切负荷控制子站分配的待切负荷量为 $P_{mcut} = P_{m1} * \alpha_1$;

[0139] 若 $P_{cut} \leq (P_1 + P_2)$,且 $P_{cut} > P_1$,计算切负荷系数 $\alpha_1 = (P_{cut} - P_1) / P_2$,则为第 m 个切负荷控制子站分配的待切负荷量为 $P_{mcut} = P_{m1} + P_{m2} * \alpha_1$;

[0140] 若 $P_{cut} \leq (P_1 + P_2 + \dots + P_n)$,且 $P_{cut} > P_1 + P_2 + \dots + P_{n-1}$,计算切负荷系数 $\alpha_1 = (P_{cut} - P_1 - P_2 - \dots - P_{n-1}) / P_n$,则为第 m 个切负荷控制子站分配的待切负荷量为 $P_{mcut} = P_{m1} + P_{m2} + \dots + P_{m(n-1)} + P_{mn} * \alpha_1$ 。依此类推,即在分配切负荷量时从第1层级开始依次分配,可保证切负荷对电网负荷用户的影响最小。

[0141] 若 $P_{cut} \geq (P_1 + P_2 + \dots + P_6)$,在满足本站防误判据的条件下,则切除配网区域内所有负荷。

[0142] 依此类推,即从第1层级开始依次切除,并将各切负荷控制子站的切负荷量下发。

[0143] 3. 切负荷控制子站:本站接收下辖切负荷执行站各6层级可切负荷容量。统计每个执行站各层级切负荷量,定义第 m 个切负荷控制子站所辖切负荷执行站的数量为 I ,其中第 i 个切负荷执行站的第 n 级可切负荷量为 P_{in} ,所有 I 个切负荷执行站上送的第 n 层级可切负荷总容量为 P_n' ;

[0144] 若 $P_{mcut} \leq P_1'$,计算切负荷系数 $\alpha_2 = P_{mcut}/P_1'$,则为第 i 个切负荷执行站分配的待切负荷量为 $P_{icut} = P_{i1} * \alpha_2$;

[0145] 若 $P_{mcut} \leq (P_1' + P_2')$,且 $P_{mcut} > P_1'$,计算切负荷系数 $\alpha_2 = (P_{mcut} - P_1') / P_2'$,则为第 i 个

切负荷执行站分配的待切负荷量为 $P_{icut}=P_{i1}+P_{i2}*\alpha_2$;

[0146] 若 $P_{mcut} \leq (P_1'+P_2'+\dots+P_n')$, 且 $P_{mcut} > (P_1'+P_2'+\dots+P_{n-1}')$, 计算切负荷系数 $\alpha_2 = (P_{mcut}-P_1'-P_2'-\dots-P_{n-1}')/P_n'$, 则为第 i 个切负荷执行站分配的待切负荷量为 $P_{icut}=P_{i1}+P_{i2}+\dots+P_{i(n-1)}+P_{in}*\alpha_2$ 。

[0147] 4. 切负荷执行站: 本站接收下辖各馈线自动化子系统各6层级可切负荷容量, 统计各子系统各层级切负荷量, 接收子站下发的切负荷量, 定义第 i 各切负荷执行站所辖10kV馈线数量为 J 条, 其中第 j 条10kV馈线的第 n 级可切负荷量为 P_{jn} , 所有 J 条10kV馈线上送的第 n 层级可切负荷总容量为 P_n'' ;

[0148] 若 $P_{icut} \leq P_1''$, 计算切负荷系数 $\alpha_3 = P_{icut}/P_1''$, 则为第 j 条10kV馈线分配的待切负荷量为 $P_{jcut} = P_{j1}*\alpha_3$;

[0149] 若 $P_{icut} \leq (P_1''+P_2'')$, 且 $P_{icut} > P_1''$, 计算切负荷系数 $\alpha_3 = (P_{icut}-P_1'')/P_2''$, 则为第 j 条10kV馈线分配的待切负荷量为 $P_{jcut} = P_{j1}+P_{j2}*\alpha_3$;

[0150] 若 $P_{icut} \leq (P_1''+P_2''+\dots+P_n'')$, 且 $P_{icut} > (P_1''+P_2''+\dots+P_{n-1}'')$, 计算切负荷系数 $\alpha_3 = (P_{icut}-P_1''-P_2''-\dots-P_{n-1}'')/P_n''$, 则为第 j 条10kV馈线分配的待切负荷量为 $P_{jcut} = P_{j1}+P_{j2}+\dots+P_{j(n-1)}+P_{jn}*\alpha_3$ 。

[0151] 5. 分布式馈线自动化子系统:

[0152] (1) 一般按照优先级的工作模式切负荷。与切负荷执行站相邻的电源站分布式馈线终端接收下辖配网支路各6层级可切负荷容量, 切负荷执行站将各馈线待切负荷量下发至各馈线电源站的分布式馈线终端。

[0153] 如某馈线上第1层级总可切量 P_{j1} 、第2层级总可切量 P_{j2} 、第3层级总可切量 P_{j3} 、第4层级总可切量 P_{j4} 、第5层级总可切量 P_{j5} 、第6层级总可切量 P_{j6} , 若 $(P_{j1}+P_{j2}) \leq P_{jcut} < (P_{j1}+P_{j2}+P_{j3})$, 则相应馈线的待切负荷量第1层级为 P_{j1} , 第2层级为 P_{j2} , 第3层级为 $(P_{jcut}-P_{j1}-P_{j2})$, 第4层级为0, 第5层级为0, 第6层级为0。

[0154] 电源站的分布式馈线终端将含有各层级待切负荷量的切负荷指令从电源站向供电线路末端依次传输至各配网支路的分布式馈线终端;

[0155] 各配网支路的分布式馈线终端在接收到切负荷指令时, 按照指令中的待切负荷层级进行相应负荷的切除, 然后将切负荷指令中的各层级待切负荷量减去本配网支路节点已切除的相应层级负荷量, 更新切负荷指令, 并将更新后的切负荷指令转发至下一相邻配网支路的分布式馈线终端, 依此类推, 直至切负荷指令中各层级的待切负荷量皆为0, 则切负荷完成。

[0156] 各馈线电源站的分布式馈线终端也可以按照以下规则进行切负荷容量的分配。

[0157] 各10kV馈线电源站的分布式馈线终端接收本馈线待切负荷量后, 为本馈线内各配网支路分配切负荷量的规则为:

[0158] 定义第 j 条10kV馈线包括 K 条配网支路, 第 k 条配网支路的第 n 级可切负荷量为 P_{kn} , K 条配网支路中第 n 级的可切负荷总容量为 P_n''' ;

[0159] 若 $P_{jcut} \leq P_1'''$, 计算切负荷系数 $\alpha_4 = P_{jcut}/P_1'''$, 则为第 k 条配网支路分配的待切负荷量为 $P_{kcut} = P_{k1}*\alpha_4$;

[0160] 若 $P_{jcut} \leq (P_1''' + P_2''')$, 且 $P_{jcut} > P_1'''$, 计算切负荷系数 $\alpha_4 = (P_{jcut}-P_1''')/P_2'''$, 则为第 k 条配网支路分配的待切负荷量为 $P_{kcut} = P_{k1}+P_{k2}*\alpha_4$;

[0161] 若 $P_{jcut} \leq (P_1'' + P_2'' + \dots + P_n'')$, 且 $P_{jcut} > P_1'' + P_2'' + \dots + P_{n-1}''$, 计算切负荷系数 $\alpha_4 = (P_{jcut} - P_1'' - P_2'' - \dots - P_{n-1}'') / P_n''$, 则为第k条配网支路分配的待切负荷量为 $P_{kcut} = P_{k1} + P_{k2} + \dots + P_{k(n-1)} + P_{kn} * \alpha_4$ 。

[0162] (2) 若馈线范围内的可切负荷优先等级相同, 则采用拓扑工作模式切负荷。

[0163] 当10kV馈线中各配网支路所带负荷的层级相同, 从10kV馈线的供电线路末端开始, 各配网支路对应的分布式馈线终端依次计算相应配网支路节点所带负荷量以及节点负荷量占整条馈线总负荷量的百分比数据, 传输至馈线电源站的分布式馈线终端;

[0164] 电源站的分布式馈线终端接收馈线中各配网支路负荷量及各节点负荷百分比数据, 将各配网支路负荷量数据传输至切负荷执行站;

[0165] 切负荷执行站基于各馈线各配网支路节点的负荷容量数据, 向馈线电源站的分布式馈线终端发送包含相应馈线中某一节点负荷容量数据的拓扑切负荷指令;

[0166] 馈线电源站的分布式馈线终端接收拓扑切负荷指令, 将拓扑切负荷指令依次传输至各配网支路节点的分布式馈线终端;

[0167] 配网支路节点的分布式馈线终端将接收到的拓扑切负荷指令中的负荷容量数据与节点自身负荷量进行比较, 若两者相等则切除本支路负荷。

[0168] 以上所述仅是本发明的优选实施方式, 应当指出, 对于本技术领域的普通技术人员来说, 在不脱离本发明技术原理的前提下, 还可以做出若干改进和变形, 这些改进和变形也应视为本发明的保护范围。

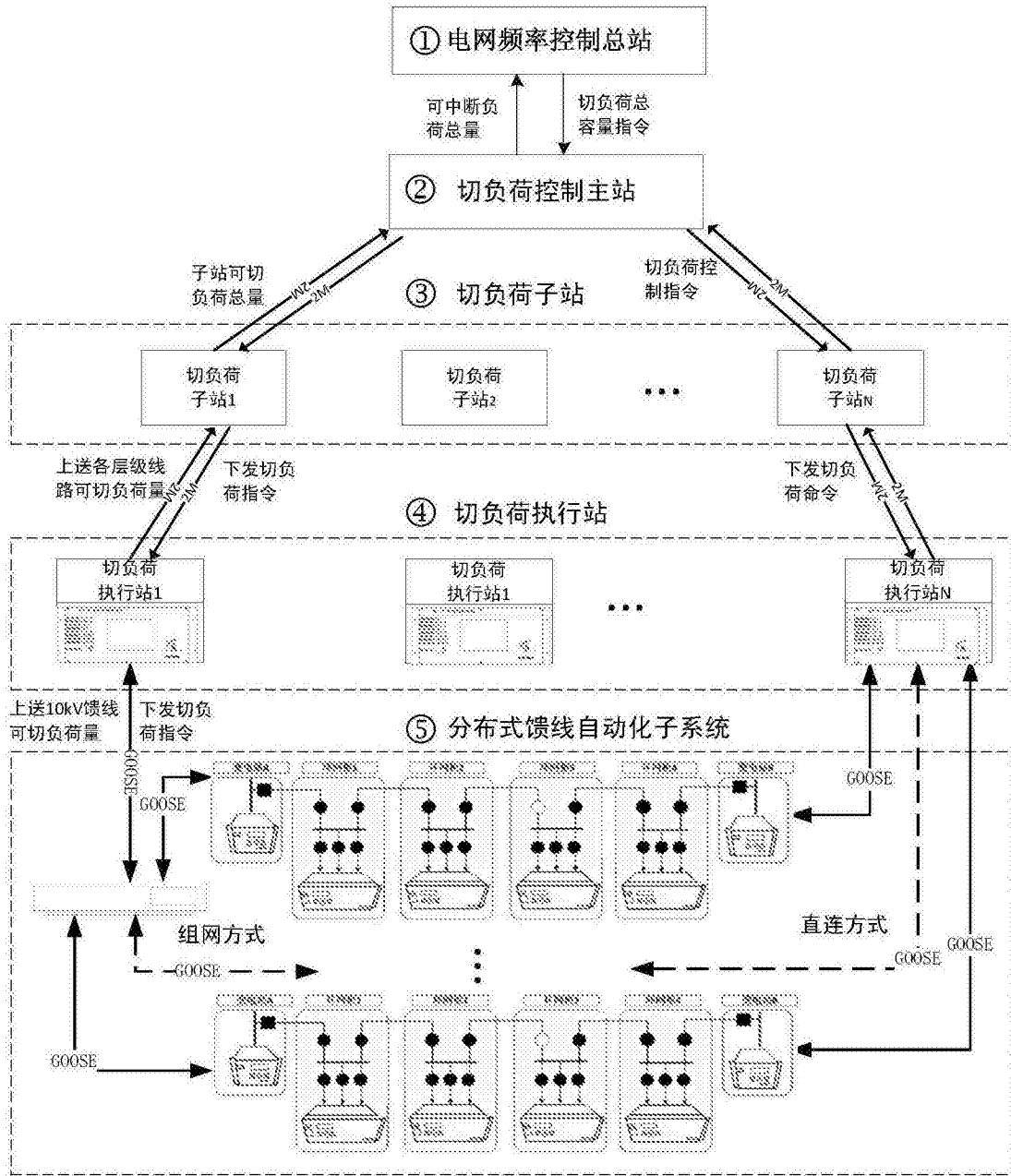


图1

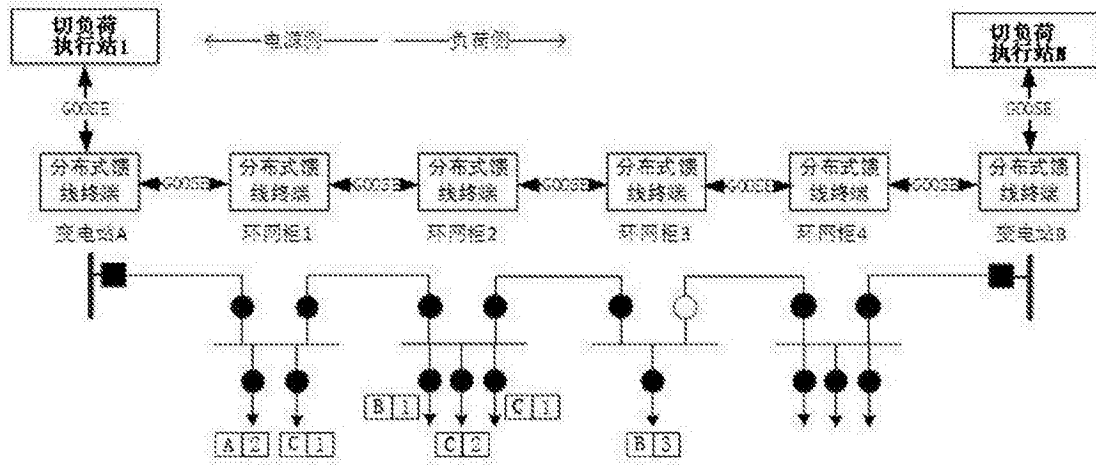


图2

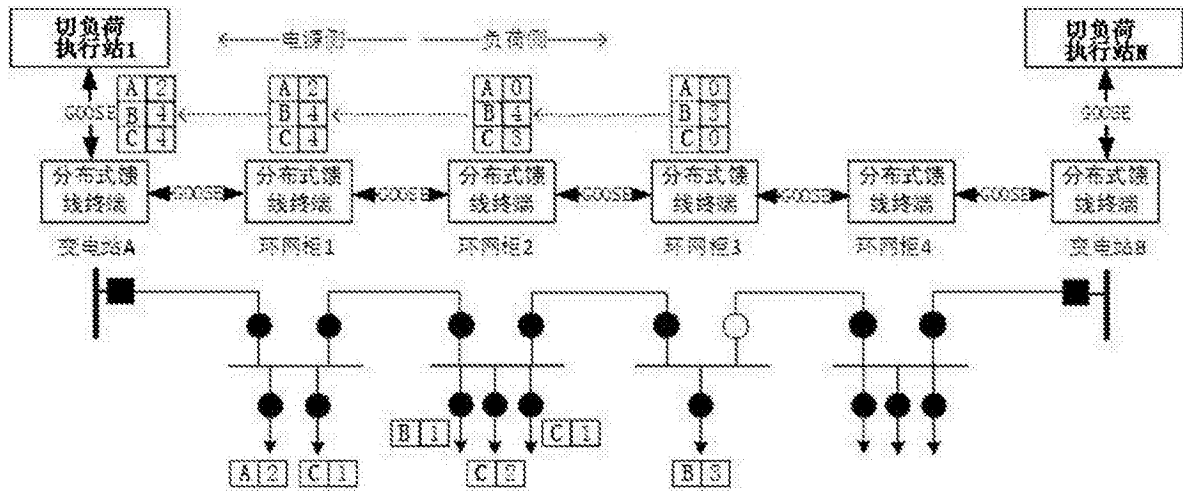


图3

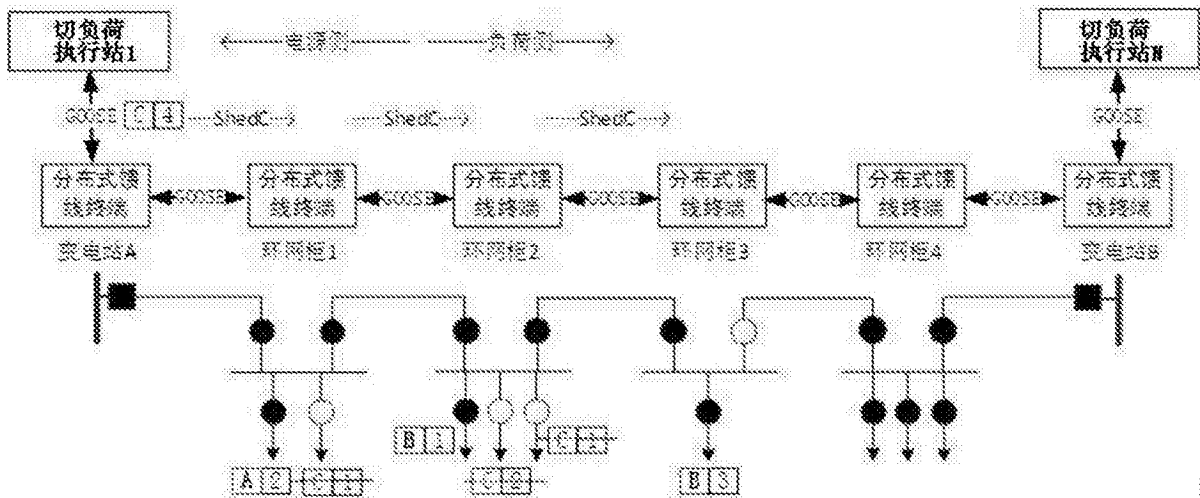


图4

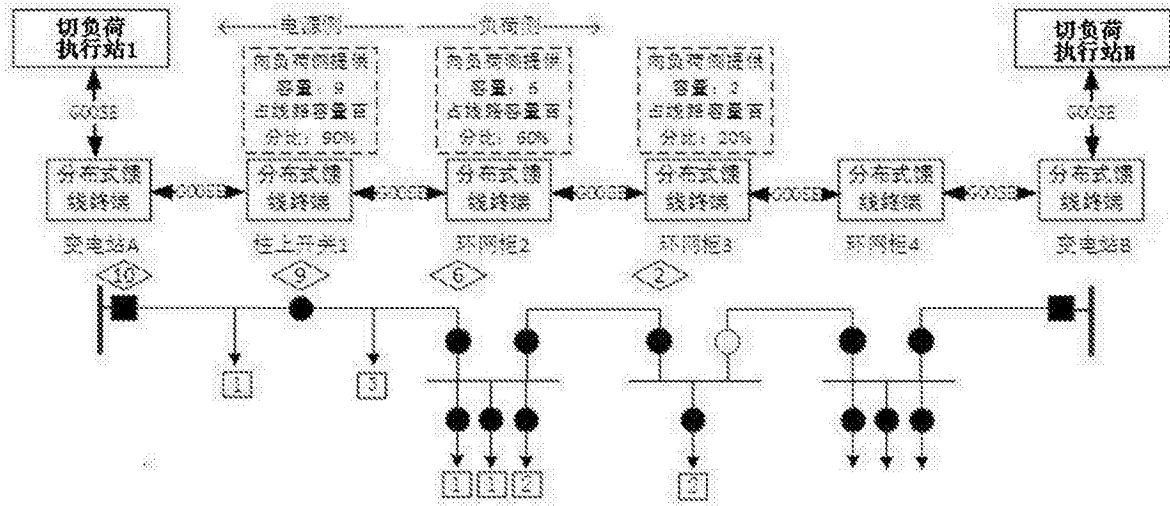


图5

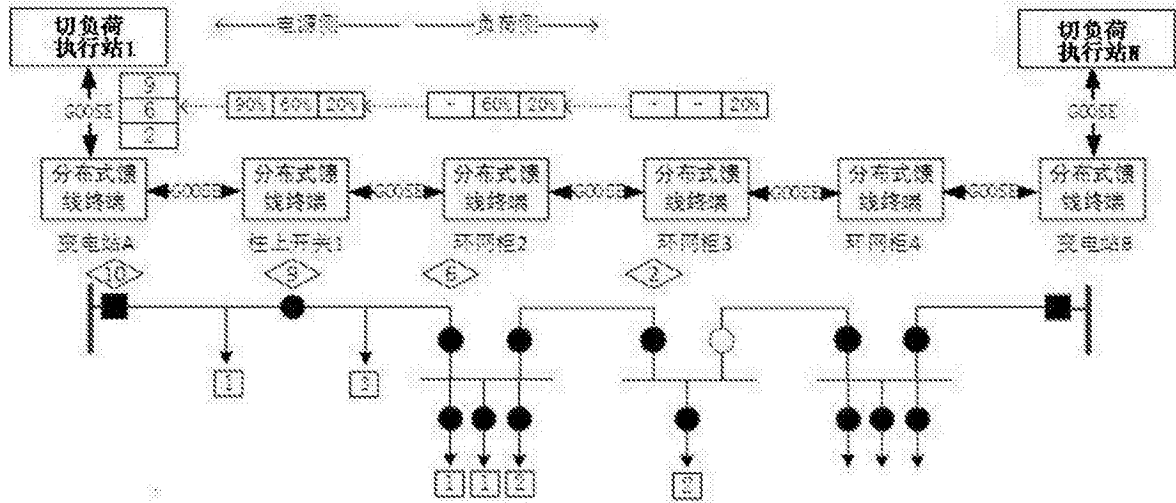


图6

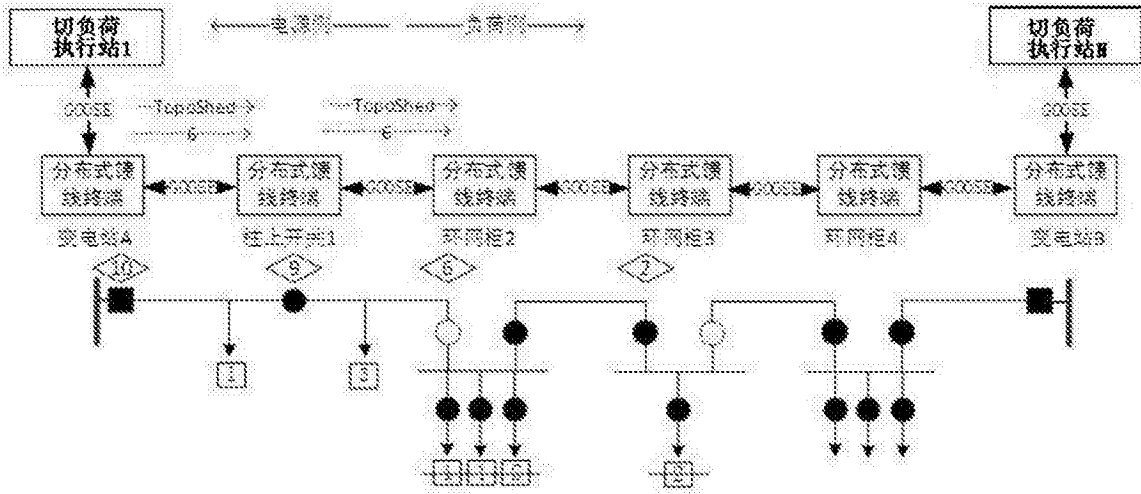


图7

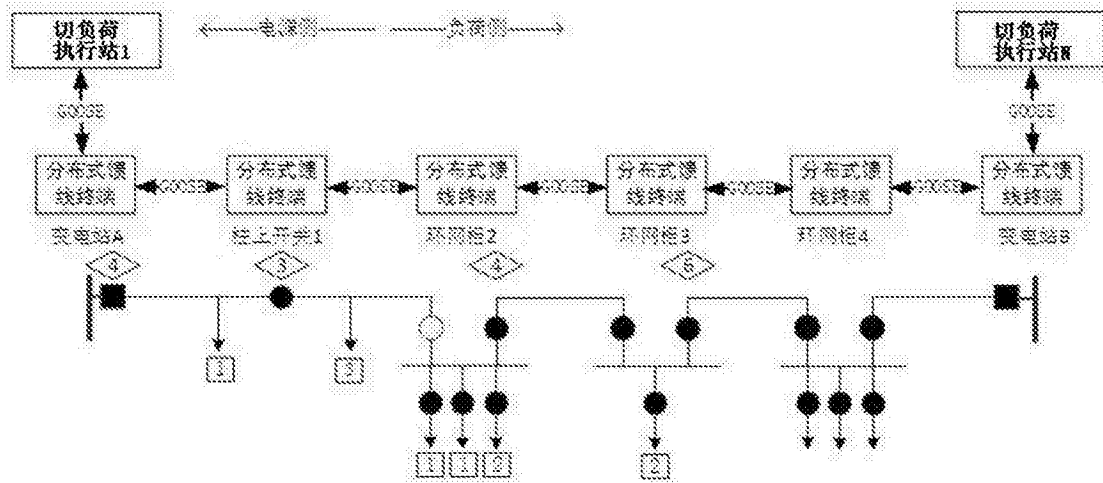


图8