(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104143775 B
(45)授权公告日 2016.04.20

(21)申请号 201410406539.7

(22)申请日 2014.08.18

(73)专利权人 国家电网公司
地址 100031 北京市西城区西长安街86号
专利权人 国网智能电网研究院

(72)发明人 戴朝波

(74)专利代理机构 北京安博达知识产权代理有限公司 11271
代理人 徐国文

(51)Int.Cl.
H02B 7/06(2006.01)
H02B 1/04(2006.01)

(56)对比文件
CN 103138171 A,2013.06.05,
CN 103973121 A,2014.08.06,
CN 103986122 A,2014.08.13,
CN 103986138 A,2014.08.13,
CN 103944410 A,2014.07.23,
张志强.基于IGCT的新型智能固态断路器仿真与设计.《中国优秀硕士学位论文全文数据库工程科技Ⅱ辑》.2008,(第10期),

审查员 赵冰

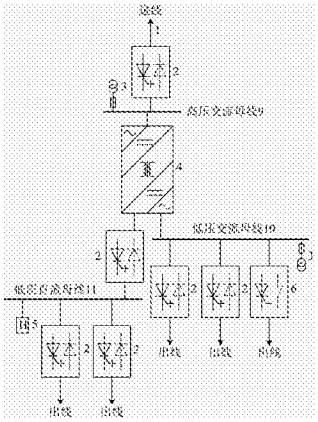
权利要求书2页 说明书8页 附图7页

(54)发明名称

一种电力电子变电站

(57)摘要

本发明提供了一种电力电子变电站,电力电子变压器的高压侧直接接入高压交流母线;电力电子变压器的低压侧一端直接接入低压交流母线,另一端通过固态断路器接入低压直流母线;高压交流母线包括设有固态断路器的交流进线;低压交流母线包括分别设有固态断路器和复合开关的交流出线;低压直流母线包括设有固态断路器的直流出线;变电站的控制系统包括变电站调度层、设备间协调保护层和单设备控制保护层。与现有技术相比,本发明提供的一种电力电子变电站,能够实现故障的快速隔离,提高电网精确控制能力,提升电网安全稳定运行水平;同时改变变电站现有结构形式,减少主设备体积,简化主设备配置,大幅降低占地面积,而且具有良好的可扩展性。



CN 104143775 B

1.一种电力电子变电站，所述变电站包括连接于高压交流母线和低压交流母线之间的变压器，其特征在于，所述变压器为电力电子变压器；所述电力电子变压器的高压侧直接接入所述高压交流母线；所述电力电子变压器的低压侧一端直接接入所述低压交流母线，另一端通过固态断路器接入低压直流母线；

所述变电站的控制系统包括变电站调度层、设备间协调保护层和单设备控制保护层；

所述高压交流母线包括设有所述固态断路器的交流进线；所述低压交流母线包括分别设有所述固态断路器和复合开关的交流出线；所述低压直流母线包括设有所述固态断路器的直流出线；

并联电容器通过所述复合开关接入所述低压交流母线；

电压相同的所述高压交流母线之间、所述低压交流母线之间、低压直流母线之间均通过所述固态断路器或固态限流器连接；

所述复合开关包括并联在机械开关两端的电力电子器件支路；所述电力电子器件支路包括串联的电力电子器件单元；所述电力电子器件单元包括两个反向并联的半控型电力电子器件。

2.如权利要求1所述的一种电力电子变电站，其特征在于，所述电力电子变压器为AC/DC/AC型电力电子变压器。

3.如权利要求1所述的一种电力电子变电站，其特征在于，所述固态断路器的功率模块包括两个可关断单元、附加二极管、阻尼电路和避雷器；所述可关断单元串联后分别并联在所述阻尼电路和所述避雷器两端；所述可关断单元包括反向并联在电力电子器件两端的二极管，所述附加二极管并联在所述二极管两端。

4.如权利要求1所述的一种电力电子变电站，其特征在于，所述固态断路器的功率模块包括两个可关断单元、附加二极管、阻尼电路和避雷器；每个所述可关断单元串联所述附加二极管后并联在所述避雷器两端；所述可关断单元包括反向并联在电力电子器件两端的二极管，所述阻尼电路并联在所述二极管两端。

5.如权利要求1所述的一种电力电子变电站，其特征在于，所述固态断路器的功率模块包括两个可关断单元、四个附加二极管组成的全桥电路和阻尼电路；所述可关断单元串联后连接在反向连接的附加二极管的连接点之间；所述可关断单元包括分别并联在电力电子器件两端的非线性电阻和阻尼电路，所述阻尼电路包括串联的电阻和电容，所述电阻两端并联有二极管。

6.如权利要求1所述的一种电力电子变电站，其特征在于，所述固态限流器的功率模块包括两个可关断单元、附加二极管、阻尼电路、避雷器和限流电抗器；可关断单元串联后分别并联在阻尼电路、避雷器和限流电抗器的两端；所述可关断单元包括反向并联在电力电子器件两端的二极管，所述附加二极管并联在所述二极管两端。

7.如权利要求1所述的一种电力电子变电站，其特征在于，所述固态限流器的功率模块包括两个可关断单元、附加二极管、阻尼电路、避雷器和限流电抗器；每个可关断单元串联所述附加二极管后分别并联在所述避雷器和所述限流电抗器的两端；所述可关断单元包括反向并联在电力电子器件两端的二极管，所述阻尼电路并联在所述二极管两端。

8.如权利要求3-7任一项所述的一种电力电子变电站，其特征在于，所述附加二极管采用标准恢复二极管和碳化硅二极管中的任意一种。

9. 如权利要求 1 所述的一种电力电子变电站，其特征在于，电力电子变压器、固态断路器、固态限流器和复合开关的两端均设置有隔离开关。

10. 如权利要求 1 所述的一种电力电子变电站，其特征在于，所述变电站调度层，用于接收上级电网的调节控制指令对交直流混合配电网进行调控；

所述设备间协调保护层，用于监控分布式电源、储能装置和负荷，并依据所述变电站调度层发送的调控指令调整所述分布式电源和储能装置的工作状态；

所述单设备控制保护层包括电力电子变电站的就地保护设备和就地控制器。

一种电力电子变电站

技术领域

[0001] 本发明涉及一种变电站，具体涉及一种基于电力电子技术的变电站。

背景技术

[0002] 变电站是电力系统中变换电压等级、接受和分配电能、控制电力流向和调整电压的电力设施，它通过电力变压器将各级电压的电网联系起来。变电站包括电力变压器，开闭电路的开关设备，汇集电流的母线，计量和控制用的互感器、仪表、继电保护装置和防雷保护装置以及调度通信装置、无功补偿设备等。

[0003] 常规变电站包括一次设备和二次设备。一次设备，一般采用单相或三相电磁式电力变压器进行电压等级变换；采用电气－机械式断路器在电力系统正常运行情况下用来合上或断开电路，故障时在继电保护装置控制下自动把故障设备和线路断开，还可具有自动重合闸的功能；电力系统发生故障时，利用传统限流电抗器的电感特性抑制系统的短路电流，以降低断路器的额定遮断电流。二次设备，通常采用变电站综合自动化系统；变电站综合自动化系统是利用先进的计算机技术、现代电子技术、通信技术和信息处理技术等实现对变电站二次设备的功能进行重新组合、优化设计，对变电站全部设备的运行情况执行监视、测量、控制和协调的一种综合性的自动化系统；通过变电站综合自动化系统内各设备间相互交换信息，数据共享，完成变电站运行监视和控制任务。常规变电站中按变电站的控制层次和控制对象设置全站控制级（站级）和就地单元控制级（段级）的二层式分布控制系统结构。站级系统大致包括站控系统、站监视系统、站工程师工作台及同调度中心的通信系统。段级在横向按站内一次设备面向对象的分布式配置，在功能分配上，本着尽量下放的原则，即凡是可以在本间隔就地完成的功能决不依赖通讯网，特殊功能例外，如分散式录波及小电流接地选线等功能的实现。

[0004] 现代电力系统主要包括下述特点：

[0005] ①：电网规模日益扩大；

[0006] 工业的发展和社会的进步，促使电网的容量和覆盖地域不断扩大。目前世界上已经形成以北美联合电网、欧洲大陆互联电网和我国电网为代表的多个超大规模电力系统。随着三峡电站和特高压输电工程等的建成投运，已经初步形成以西北部巨型水力、火力发电机群为电源，特／超高压远距离输送和东南部大规模受端电网为主要特征的超大型互联电网。超大规模电力系统结构复杂、覆盖区域广阔，如何保证其安全、稳定和经济运行是一个突出问题。

[0007] ②：分布式发电技术迅速发展；

[0008] 当今世界日趋关注环境保护和可持续发展等问题。传统的煤、石油、天然气等矿物能源储量有限，积极利用新能源和可再生能源发电已成为社会发展的不二选择，光伏发电、风力发电以及小水电等日益受到重视，在整个能源消耗中的比重逐步上升。与现有的大型基地式集中发电厂相比，这些发电形式大多属于小型的分布式电源，通常称之为分布式发电。分布式发电是指满足终端用户的特殊需求、接在用户侧附近的小型发电系统，是存在于

传统公共电网以外，任何能发电的系统。分布式发电包括内燃机、微型燃汽轮机、燃料电池、小型水力发电系统、太阳能、风能、垃圾及生物质发电等的发电系统。分布式发电技术被认为是缓和电能生产与环境保护之间的矛盾，解决化石、煤等能源日益枯竭问题，提高电力系统可靠性和灵活性的有效方式。建设一个大电网与分布式发电相结合的混合供电系统将是未来电力工业持续发展的方向。

[0009] 目前，分布式发电技术主要有：基于化石能源的微型燃气轮机技术、燃料电池；基于可再生能源的光伏发电技术、风力发电技术、地热发电技术、波浪发电技术等；基于生物质能的生物质直燃发电、生物质气化发电和沼气发电。这些形式各异的分布式发电技术，由于自身固有的特点，发出的电能往往与传统集中式发电设备发出的电能形式不一样，如：风力发电提供的是频率会随机波动的交流电，光伏发电和燃料电池发电提供的是直流电。因此，电力系统的电源由传统的工频交流形式变成了多种形式并存，如直流电源、交流变频电源等。由于电网和绝大多数用电负荷都只能接受工频交流电，所以，各种分布式发电系统生产的电能不能直接供给负荷或接入电网，而要经由电能变换装置转换成工频交流电后才能被利用。如何将这些电源安全地接入系统或者供给用户，都涉及一系列的大功率、高效、高质量的能量转换和控制问题。

[0010] 电力电子技术是利用电力电子器件实现电能变换的技术。且大功率电力电子变流技术被认为是解决目前分布式发电系统的电能变换和传输问题的最有效手段之一。目前分布式发电系统电能变换和传输所采用的方法是：

[0011] ①：利用电力电子变换器实现电能从直流、变频交流或高频交流到工频交流(50Hz 或 60Hz) 的变换；

[0012] ②：利用工频电力变压器实现电压隔离和变换。

[0013] 该变换和传输模式存在以下几点不足：需要的设备多，变压器的体积大，若采用油浸式变压器则存在油污染问题，同时功能较单一，控制不灵活，为提高电能质量需要附加其他无功补偿或滤波装置。

[0014] 随着现代工业技术的发展，电力系统中非线性负荷和敏感性负荷大量增加。非线性负荷主要由两大类构成，一类是瞬时突变的负荷，如电机的启动、变压器激磁等；另一类是周期性的非线性负荷，如电弧炉、电焊机等。各种非线性负荷大规模的应用导致了电网电压和电流波形的严重失真，造成电网电能质量不断恶化，影响了供、用电设备的安全经济运行。另一方面，各种对电能质量要求越来越高。因此，现代电力系统的电能质量问题日益突出。

[0015] 在电力系统面对这些新挑战的背景下，作为电力系统最基本的电力设施，过于单一的功能使得其不足之处也越来越明显，变电站一次设备体积庞大，制造难度大，变电站面积及征地投资巨大，变压器绝缘油对环境存在威胁；变压器空载损耗较高，而负载时输出电压随负荷波动；负荷侧发生故障时，变压器不能隔离故障，将波及电源侧；带非线性负载时，畸变电流通过变压器耦合进入电网，会对电网造成污染；电源侧电压受到干扰时，又会传递到负荷侧，导致对敏感负荷的影响；变压器铁芯饱和时，会产生谐波，在投入电网时还会造成较大的励磁涌流。此外，直流输电单极大地方式运行时，直流地电流通过电力变压器中性点，造成电力变压器铁心偏磁饱和，电力变压器的输出谐波、振动和噪声增大。

[0016] 电力电子变压器 (Power Electronic Transformer，PET) 是指采用电力电子换流

器及中高频变压器实现的新型变压器，它在完成常规变压器变压、隔离和能量传递等功能的同时，还可完成潮流控制和电能质量调节等功能。如何从功能上对传统的变电站进行革新，以电力电子技术为核心，用电力电子变压器、固态断路器、固态限流器和复合开关等电力电子设备取代传统变电站的主要设备，完成电压等级变换、电能传输及设备保护控制等变电站的主要功能，实现变电站技术的一次重大飞跃，使其满足现代乃至未来电力系统的各种新要求。

发明内容

[0017] 为了满足现有技术的需要，本发明提供了一种电力电子变电站，所述变电站包括连接于高压交流母线和低压交流母线之间的变压器，所述变压器为电力电子变压器；所述电力电子变压器的高压侧直接接入所述高压交流母线；所述电力电子变压器的低压侧一端直接接入所述低压交流母线，另一端通过固态断路器接入低压直流母线；

[0018] 所述变电站的控制系统包括变电站调度层、设备间协调保护层和单设备控制保护层。

[0019] 优选的，所述高压交流母线包括设有所述固态断路器的交流进线；所述低压交流母线包括分别设有所述固态断路器和复合开关的交流出线；所述低压直流母线包括设有所述固态断路器的直流出线；

[0020] 优选的，所述电力电子变压器为 AC/DC/AC 型电力电子变压器；

[0021] 优选的，并联电容器通过所述复合开关接入所述低压交流母线；

[0022] 优选的，电压相同的所述高压交流母线之间、所述低压交流母线之间与低压直流母线之间均通过所述固态断路器或固态限流器连接；

[0023] 优选的，所述固态断路器的功率模块包括两个可关断单元、附加二极管、阻尼电路和避雷器；所述可关断单元串联后分别并联在所述阻尼电路和所述避雷器两端；所述可关断单元包括反向并联在电力电子器件两端的二极管，所述附加二极管并联在所述二极管两端；

[0024] 优选的，所述固态断路器的功率模块包括两个可关断单元、附加二极管、阻尼电路和避雷器；每个所述可关断单元串联所述附加二极管后并联在所述避雷器两端；所述可关断单元包括反向并联在电力电子器件两端的二极管，所述阻尼电路并联在所述二极管两端；

[0025] 优选的，所述固态断路器的功率模块包括两个可关断单元、四个附加二极管组成的全桥电路和阻尼电路；所述可关断单元串联后连接在反向连接的附加二极管的连接点之间；所述可关断单元包括分别并联在电力电子器件两端的非线性电阻和阻尼电路，所述阻尼电路包括串联的电阻和电容，所述电阻两端并联有二极管；

[0026] 优选的，所述固态限流器的功率模块包括两个可关断单元、附加二极管、阻尼电路、避雷器和限流电抗器；所述可关断单元串联后分别并联在阻尼电路、避雷器和限流电抗器的两端；所述可关断单元包括反向并联在电力电子器件两端的二极管，所述附加二极管并联在所述二极管两端；

[0027] 优选的，所述固态限流器的功率模块包括两个可关断单元、附加二极管、阻尼电路、避雷器和限流电抗器；每个所述可关断单元串联所述附加二极管后分别并联在所述避

雷器和所述限流电抗器的两端；所述可关断单元包括反向并联在电力电子器件两端的二极管，所述阻尼电路并联在所述二极管两端；

[0028] 优选的，所述复合开关包括并联在机械开关两端的电力电子器件支路；所述电力电子器件支路包括串联的电力电子器件单元；所述电力电子器件单元包括两个反向并联的半控型电力电子器件；

[0029] 优选的，所述附加二极管采用标准恢复二极管和碳化硅二极管中的任意一种；

[0030] 优选的，电力电子变压器、固态断路器、固态限流器和复合开关的两端均设置有隔离开关；

[0031] 优选的，所述变电站调度层，用于接收上级电网的调节控制指令对交直流混合配电网进行调控；

[0032] 所述设备间协调保护层，用于监控分布式电源、储能装置和负荷，并依据所述变电站调度层发送的调控指令调整所述分布式电源和储能装置的工作状态；

[0033] 所述单设备控制保护层包括电力电子变电站的就地保护设备和就地控制器。

[0034] 与最接近的现有技术相比，本发明的优异效果是：

[0035] 1、本发明提供的一种电力电子变电站，采用电力电子变压器、固态断路器、固态限流器、复合开关等电力电子设备，能够实现故障的快速隔离，提高电网精确控制能力，提升电网安全稳定运行水平；同时改变变电站现有结构形式，减少主设备体积，简化主设备配置，大幅降低占地面积，而且具有良好的可扩展性；

[0036] 2、本发明提供的一种电力电子变电站，采用电力电子变压器来实现电能变换功能，可以实现输出电压的闭环控制，保持较高的输出电压调整率；同时将电网与用户隔离开来，既能消除网侧电压的波动、波形失真和频率波动，又能抑制由用户端产生的无功、谐波、瞬时短路对供电电网的影响；电力电子变压器可以利用空气自然冷却、强迫风冷或水冷等方式，省去常规变压器的绝缘油，从而减少污染，维护相对简单，安全好，符合新一代变电站的发展要求；

[0037] 3、本发明提供的一种电力电子变电站，采用固态断路器来实现线路的开断功能，其开通／关断时间仅为微秒量级，因此具有动作控制灵活、速度快的特点；而且开通／关断过程不产生过电压和过电流，大幅度降低设备的绝缘水平和动热稳定性的要求；同时开断过程没有电弧，断路器寿命长，特别适合智能变电站发展要求，固态断路器的应用也可以取消隔离开关，所以开关设备数量大大减少，节省了设备占地；

[0038] 4、本发明提供的一种电力电子变电站，由于电力电子变压器兼有断路器的功能，大功率电力电子器件可以瞬时（微秒级）关断故障大电流，因此在高压交流母线和低压交流母线间无需固态断路器，所以开关设备数量大大减少，节省了设备占地；

[0039] 5、本发明提供的一种电力电子变电站，采用复合开关，在稳态运行时由机械开关承载负载电流，在投切并联电容器等设备时，由晶闸管阀辅助机械开关进行并联电容器的投切过程，确保并联电容器的平稳投入和退出；复合开关降低了并联电容器稳态运行的有功功率损耗，减少了并联电容器投切过程中对电网的冲击。

附图说明

[0040] 下面结合附图对本发明进一步说明。

[0041] 图 1 是 :本发明实施例中电力电子变电站的主接线图 ;

[0042] 图 2 是 :本发明实施例中 AC/AC 型电力电子变压器工作原理图 ;

[0043] 图 3 是 :本发明实施例中 AC/DC/AC 型电力电子变压器工作原理图 ;

[0044] 图 4 是 :本发明实施例中并联二极管的固态断路器功率模块原理图 ;

[0045] 图 5 是 :本发明实施例中串联二极管的固态断路器功率模块原理图 ;

[0046] 图 6 是 :本发明实施例中全桥整流的固态断路器功率模块原理图 ;

[0047] 图 7 是 :本发明实施例中基于晶闸管的复合开关原理图 ;

[0048] 图 8 是 :本发明实施例中带隔离刀闸的电力电子变电站主接线图 ;

[0049] 图 9 是 :本发明实施例中常规变电站主接线图 ;

[0050] 图 10 是 :本发明实施例中电力电子变电站的应用主接线图 ;

[0051] 图 11 是 :本发明实施例中并联二极管的固态限流器功率模块原理图 ;

[0052] 图 12 是 :本发明实施例中串联二极管的固态限流器功率模块原理图 ;

[0053] 图 13 是 :本发明实施例中电力电子变电站的控制系统结构图。

具体实施方式

[0054] 下面详细描述本发明的实施例,所述实施例的示例在附图中示出,其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的,旨在用于解释本发明,而不能理解为对本发明的限制。

[0055] 一、本发明提供的电力电子变电站,一次设备体积小、占地小、投资少并且一、二次设备动作调控能力强、稳定性高。如图 1 所示电力电子变电站包括通过固态断路器连接于高压交流母线和低压交流母线之间的电力电子变压器 ;具体为 :

[0056] 电力电子变压器的高压侧直接接入高压交流母线 9 ;电力电子变压器的低压侧一端直接接入低压交流母线 10,另一端通过固态断路器接入低压直流母线 11 ;

[0057] 高压交流母线 9 包括设有固态断路器的交流进线 1 ;低压交流母线 10 包括分别设有固态断路器 2 和复合开关 6 的交流出线 ;低压直流母线 11 包括设有固态断路器 2 的直流出线 ;

[0058] 并联电容器通过复合开关 6 接入低压交流母线 10 ;

[0059] 电压相同的高压交流母线 9 之间、低压交流母线 10 之间与低压直流母线 11 之间均通过固态断路器或固态限流器连接。

[0060] 1、设置低压直流母线 11 的目的为 :

[0061] 随着城市规模的迅速增长和信息技术的高速发展,电网中的敏感负荷、重要负荷及非线性负荷越来越多,交流配电网将面临线路损耗大、供电走廊紧张,以及电压瞬时跌落、电压波动、电网谐波、三相不平衡现象加剧等一系列电能质量问题。同时直流配电网具有提高供电容量、减少线路损耗、改善用户侧电能质量、隔离交直流故障,以及可再生能源灵活、便捷接入等一系列优点。因此交直流混合配电系统已成为配电网的重要发展趋势。因此,在含直流环节的电力电子变压器中引出了低压直流母线 11,便于与交直流混合配电系统中的直流相连接,同时也便于各类储能设备根据各自的经济性、便捷性等实际情况,选择接入直流母线或交流母线。

[0062] 2、电力电子变压器的高压侧直接接入高压交流母线 9,低压侧一端直接接入低压

交流母线 10 的目的为：

[0063] ①：简化变电站的结构、控制和保护；

[0064] ②：电力电子变压器在通过电力电子变换和电磁耦合实现常规变压器电压等级变换、电气隔离和能量传递等基本功能的基础上，还可以实现波形控制、潮流控制、电能质量控制等调节功能。由于电力电子变压器兼有断路器的功能，大功率电力电子器件可以瞬时（微秒级）关断故障大电流，因此在高压交流母线和低压交流母线间无需固态断路器。

[0065] 3、本发明中电力电子变压器采用 AC/DC/AC 型电力电子变压器；如图 2 所示无直流环节的电力电子变压器，即 AC/AC 型电力电子变压器，是将输入的工频交流在一次侧直接变换为高频交流电，经高频变压器耦合到二次侧后，直接还原成工频交流电。在这一过程中，一次侧的调制和二次侧的解调必须同步，因此 AC/AC 型电力电子变压器可控性不强，不能对电能质量进行改善并且一次侧功率因数不可调。如图 3 所示的含直流环节的电力电子变压器，即 AC/DC/AC 型电力电子变压器，是将输入的工频交流经整流器变换成直流，再通过逆变电路调制成为高频方波后加载至高频变压器一次侧绕组，并耦合到高频变压器的二次侧绕组，随后，高频方波被整流成直流电压，再逆变为所需要的交流输出。因此其可控性较强，能够保证变压器一、二次侧均有良好的电能质量。

[0066] 4、采用固态断路器来实现线路的开断功能，开通 / 关断时间仅为微秒量级，而且开通 / 关断过程不产生过电压和过电流，大幅度降低设备的绝缘水平和动热稳定性的要求；同时开断过程没有电弧，断路器寿命长。固态断路器由功率模块级联组成，包括：

[0067] (1) 如图 4 所示，并联附加二极管的功率模块包括两个可关断单元，附加二极管 D1、D2，阻尼电路和避雷器；可关断单元串联后分别并联在阻尼电路和避雷器两端；可关断单元包括反向并联在电力电子器件 IGCT1、IGCT2 两端的二极管，附加二极管并联在二极管两端。

[0068] (2) 如图 5 所示，串联附加二极管的功率模块包括两个可关断单元、附加二极管 D1、D2，阻尼电路和避雷器；每个可关断单元串联附加二极管后并联在避雷器两端；可关断单元包括反向并联在电力电子器件 IGCT1、IGCT2 两端的二极管，阻尼电路并联在二极管两端。

[0069] (3) 如图 6 所示，全桥功率模块包括两个可关断单元、四个附加二极管 D1、D2、D3、D4 组成的全桥电路和阻尼电路；可关断单元串联后连接在反向连接的附加二极管的连接点之间，即附加二极管 D1 和 D3 的连接点与附加二极管 D2 和 D4 的连接点；可关断单元包括分别并联在电力电子器件两端的非线性电阻 MOV1、MOV2 和阻尼电路，阻尼电路包括串联的电阻和电容，电阻两端并联有二极管。

[0070] (4) 附加二极管采用标准恢复二极管和碳化硅二极管中的任意一种。

[0071] 上述固态断路器功率模块降低了模块化固态断路器的正常运行时的有功功率损耗，减轻了模块化固态断路器的重量，缩小了体积，降低了成本。

[0072] 5、复合开关 6 的结构和功能为：

[0073] 复合开关包括并联在机械开关 K 两端的电力电子器件支路；电力电子器件支路包括串联的电力电子器件单元；电力电子器件单元包括两个反向并联的半控型电力电子器件。如图 7 所示，在稳态运行时由机械开关 K 承载负载电流，在投切并联电容器等设备时，由晶闸管阀辅助机械开关 K 进行并联电容器的投切过程，确保并联电容器的平稳投入和退

出；复合开关降低了并联电容器稳态运行的有功功率损耗，同时减少了并联电容器投切过程中对电网的冲击。

[0074] 6、本实施例中带隔离刀闸的电力电子变电站如图 8 所示：

[0075] 如图 9 所示常规变电站是在断路器的两侧设置隔离开关，在断路器维护工作完成之前，隔离开关有“明显断开点”；如果电力电子变压器、固态断路器和复合开关等电力电子设备内部没有相应隔离开关，则不能形成“明显断开点”，因此在电力电子变压器、固态断路器和复合开关的两侧都配置隔离刀闸。

[0076] 7、本实施例中两进线的电力电子变电站的结构为：

[0077] 如图 10 所示，每一路进线 1 分别经过一个固态断路器 2 连接到高压交流母线 9；高压交流母线 9 接线方式为单母线分段以保证供电可靠，中间由分段固态断路器 2 连接；对应于每一路进线 1，高压交流母线 9 的一侧并联一个交流电压互感器 3，以测量电源进线电压值。每一路进线 1 再经过电力电子变压器 4 直接连接出线侧的低压交流母线 10，经过固态断路器 2 后和低压直流母线 11 相连接。低压交流母线 10 同样为单母线分段，中间由固态限流器 8 或固态断路器 2 连接。

[0078] 对应于每一路进线 1，低压交流母线 10 引出三路交流电源出线，且在低压交流母线 10 的一侧并联交流电压互感器 3。每一路交流出线都设置一个固态断路器 2 或复合开关 6。并联电容器 7 可通过复合开关 6 连接到低压交流母线 10。对应于每一路进线 1，低压直流母线 11 引出两路直流电源出线，且在低压直流母线 11 一侧并联直流电源互感器 5。两个低压直流母线 11 可通过固态断路器 2 连接或各自独立运行。

[0079] 8、固态限流器由功率模块级联组成，包括：

[0080] (1) 如图 11 所示，固态限流器的功率模块包括两个可关断单元、附加二极管、阻尼电路、避雷器和限流电抗器；可关断单元串联后分别并联在阻尼电路、避雷器和限流电抗器的两端；可关断单元包括反向并联在电力电子器件两端的二极管，附加二极管并联在二极管两端。

[0081] (2) 如图 12 所示，固态限流器的功率模块包括两个可关断单元、附加二极管、阻尼电路、避雷器和限流电抗器；每个可关断单元串联所述附加二极管后分别并联在避雷器和限流电抗器的两端；可关断单元包括反向并联在电力电子器件两端的二极管，阻尼电路并联在二极管两端。

[0082] (3) 附加二极管采用标准恢复二极管和碳化硅二极管中的任意一种。

[0083] 上述固态限流器功率模块降低了模块化固态限流器正常运行时的有功功率损耗，减轻了模块化固态限流器的重量，缩小了体积，降低了成本。

[0084] 9、本实施例中变电站的控制系统包括变电站调度层、设备间协调保护层和单设备控制保护层；如图 13 所示：

[0085] 变电站调度层，从变电站及其相应的交直流混合配电网的安全、经济运行的角度协调调度交直流混合配电网，并接收上级电网的调节控制指令对交直流混合配电网进行调控；①：电力电子变电站对于大电网表现为单一可控、可灵活调度的单元，既可以与大电网并网运行，也可在大电网故障或需要时与大电网断开运行；

[0086] ②：在特殊情况（如发生地震、暴风雪、洪水等意外灾害情况）下，电力电子变电站可作为备用电源向大电网提供有效支撑，加速大电网的故障恢复；

[0087] ③：在大电网用电紧张时，电力电子变电站可用所配置的储能进行削峰填谷，从而避免大电网在较大范围内拉闸限电，减少大电网的备用容量；

[0088] ④：电力电子变电站正常运行时参与大电网经济运行调度，提高整个电网的运行经济性。

[0089] 设备间协调保护层，用于监控分布式电源、储能装置和负荷，并依据变电站调度层发送的调控指令调整分布式电源和储能装置的工作状态；是整个电力电子变电站控制系统的核心部分，集中管理分布式发电电源、储能装置和各类负荷，完成对整个电力电子变电站和交直流混合配电网的监视和控制，实施经济调度，优化协调各分布式发电和储能装置，实现削峰填谷以平滑负荷曲线，实现交直流混合配电网的优化运行。

[0090] 单设备控制保护层包括电力电子变电站的接地保护设备和接地控制器，具体包括电力电子变压器、固态断路器、复合开关、固态限流器、储能装置、燃料电池、风力发电和光伏发电等。

[0091] 最后应当说明的是：所描述的实施例仅是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

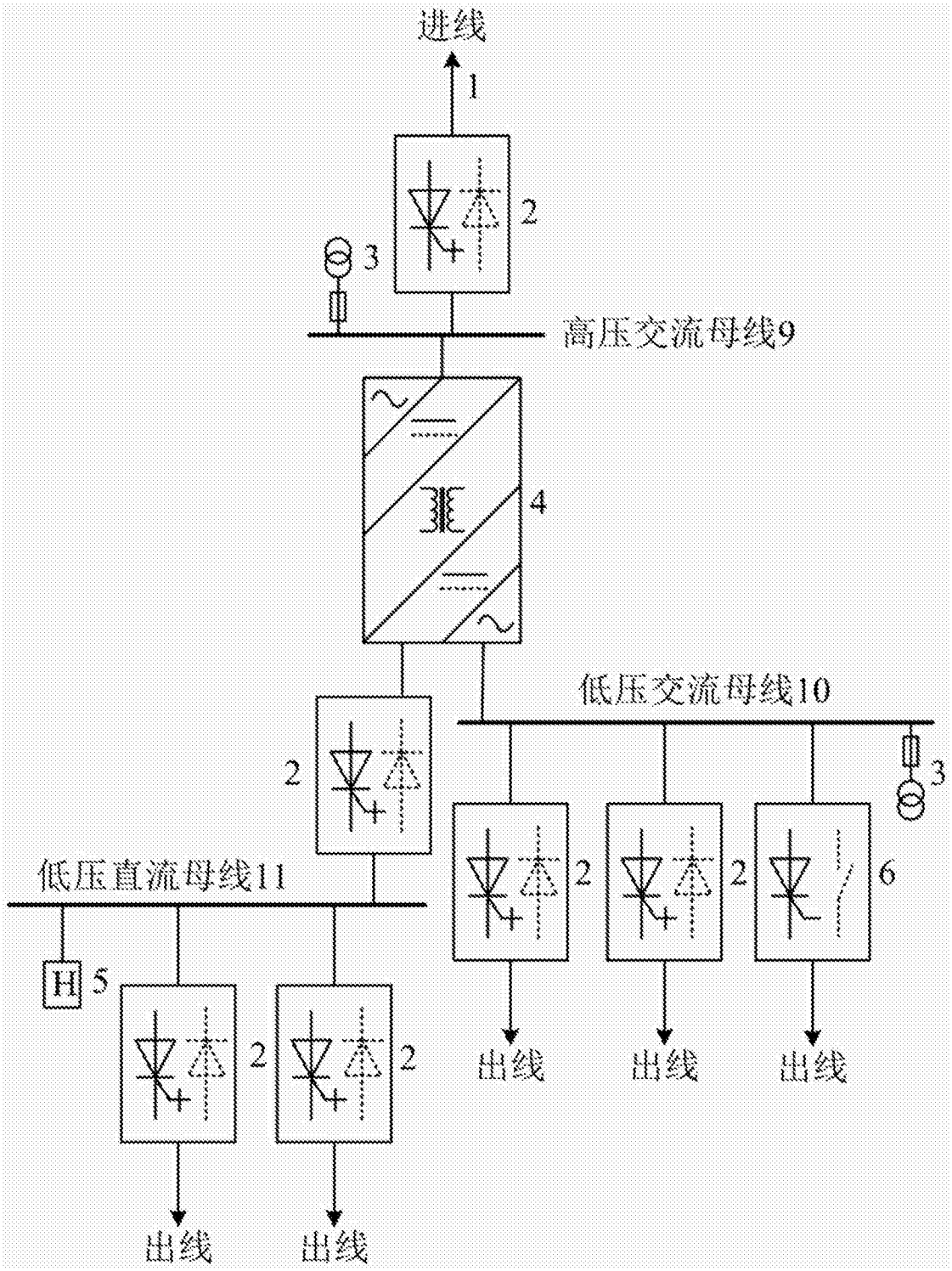


图 1

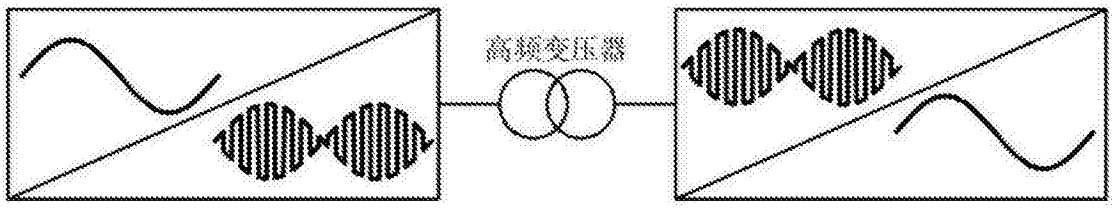

高频变压器

图 2

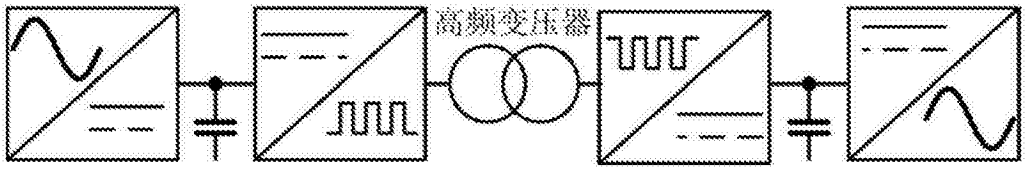

高频变压器

图 3

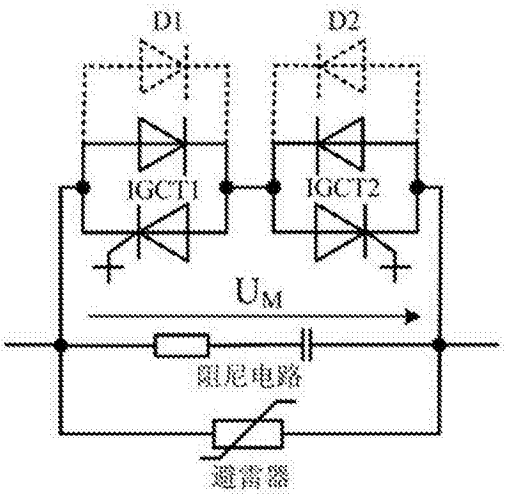

D1
D2
IGCT1
IGCT2
UM
阻尼电路
避雷器

图 4

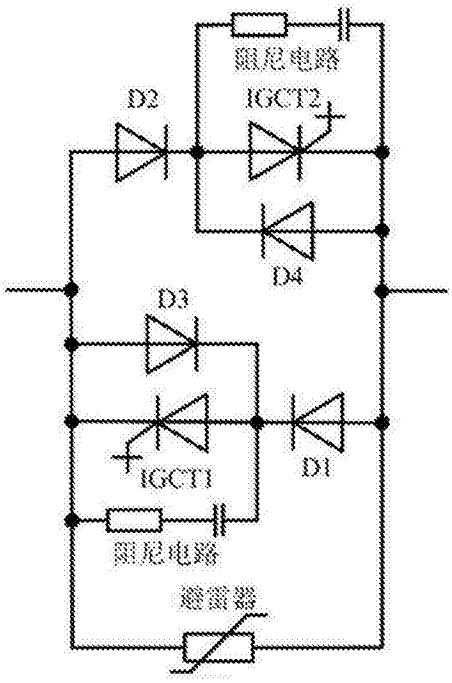

阻尼电路
D2
IGCT2
D4
D3
IGCT1
D1
阻尼电路
避雷器

图 5

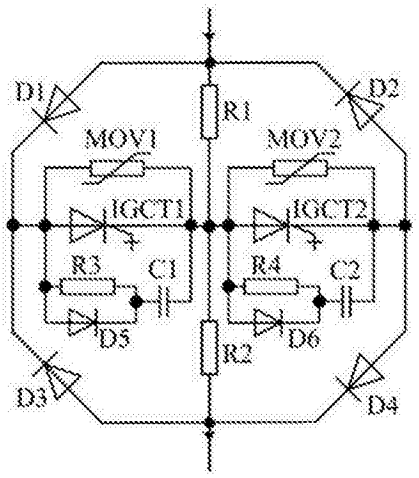


图 6

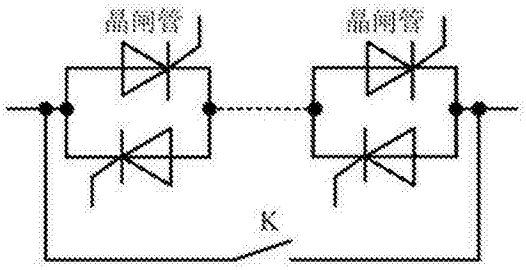


图 7

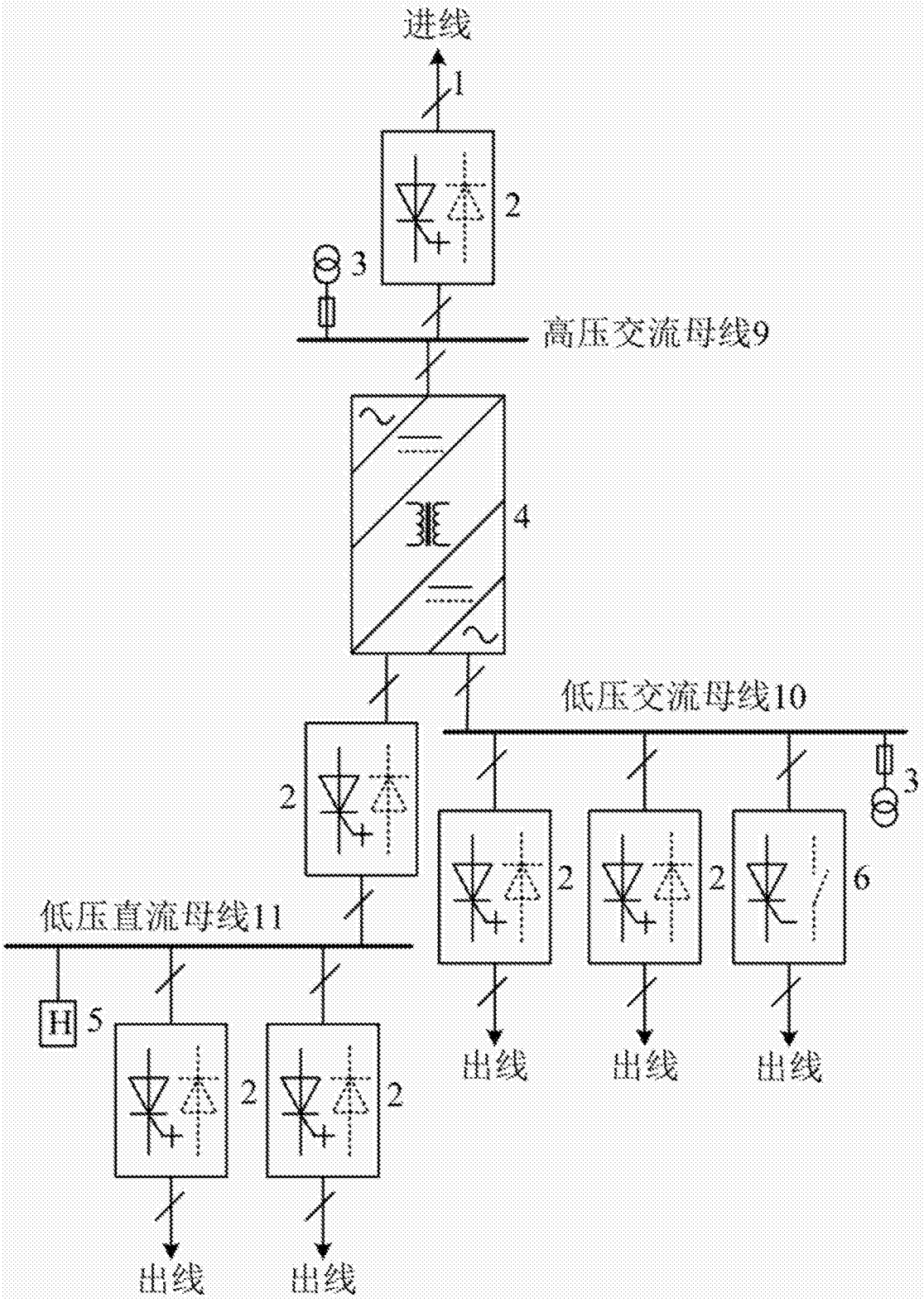


图 8

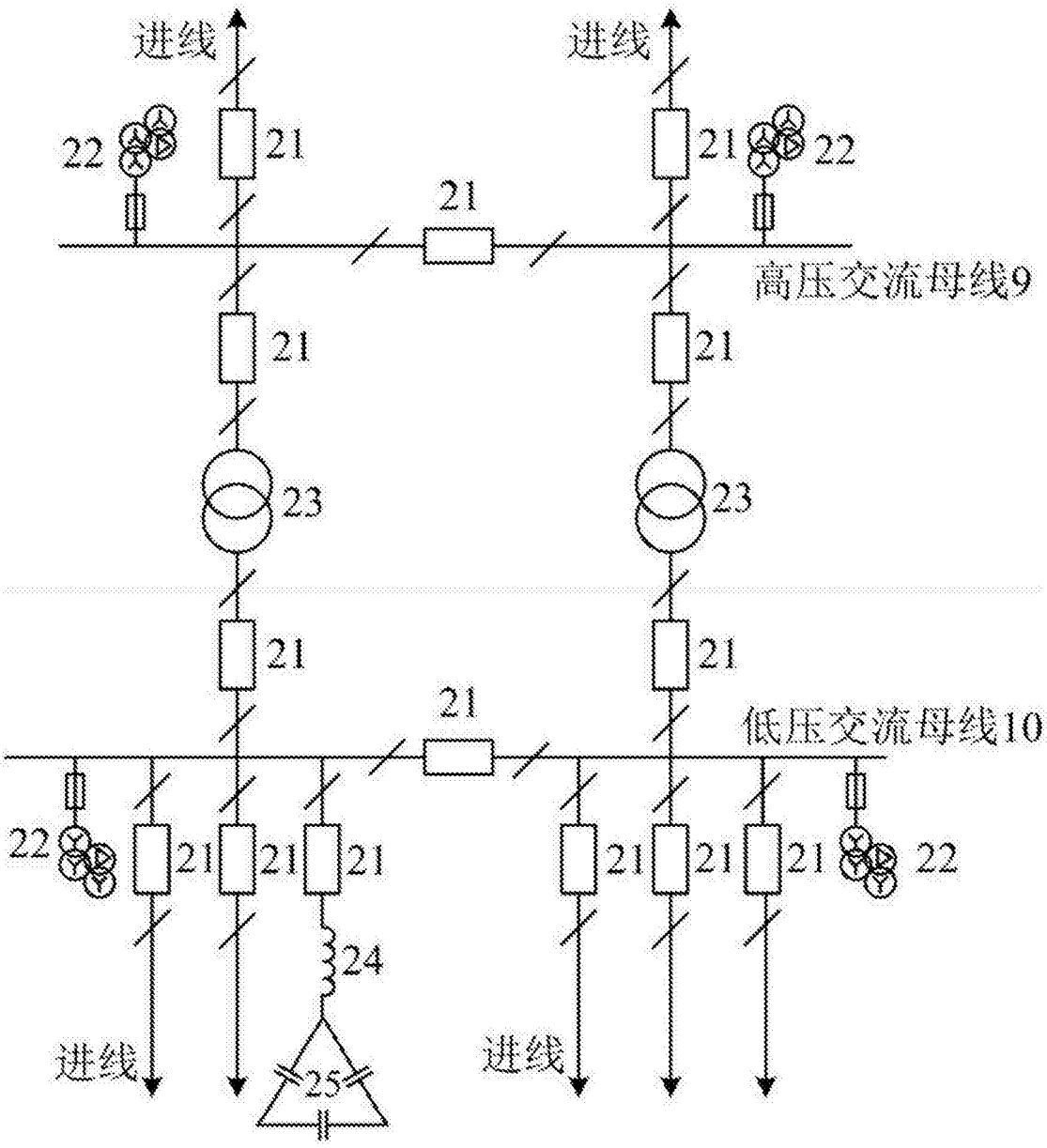

进线
进线
22
21
21
21
22
高压交流母线9
21
21
23
23
21
21
21
低压交流母线10
22
21
21
21
21
21
21
22
24
进线
进线
25

图 9

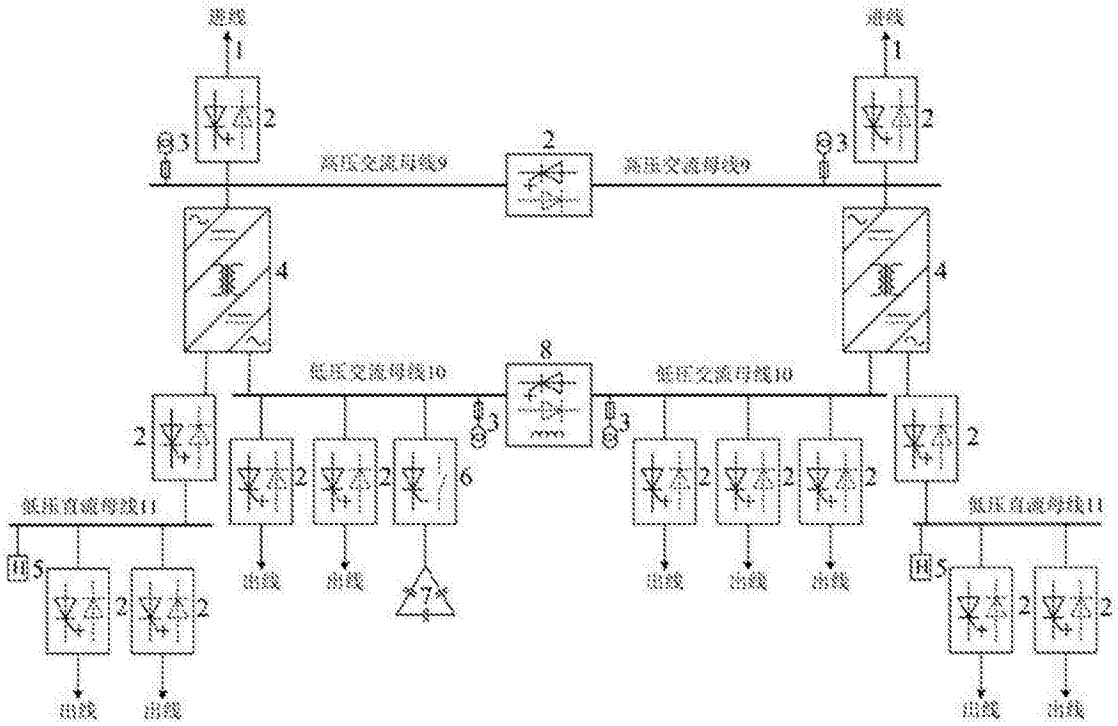


图 10

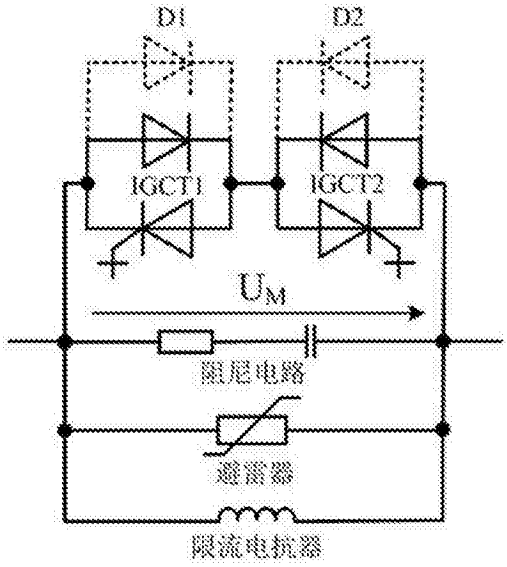

D1
D2
IGCT1
IGCT2
U_M
阻尼电路
避雷器
限流电抗器

图 11

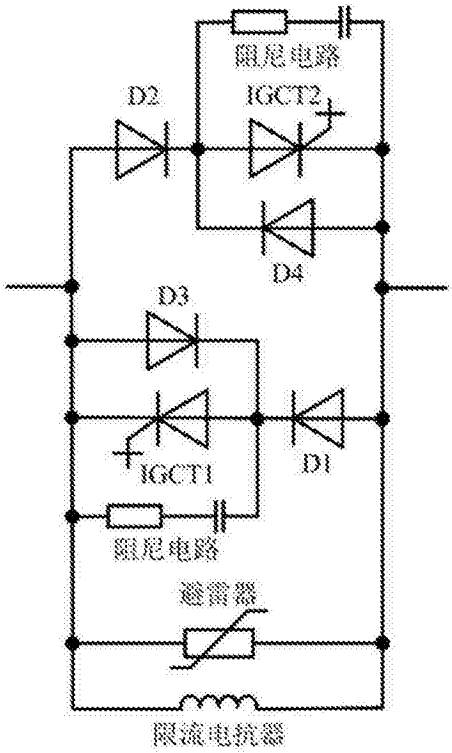

阻尼电路
D2
IGCT2
D4
D3
IGCT1
D1
阻尼电路
避雷器
限流电抗器

图 12

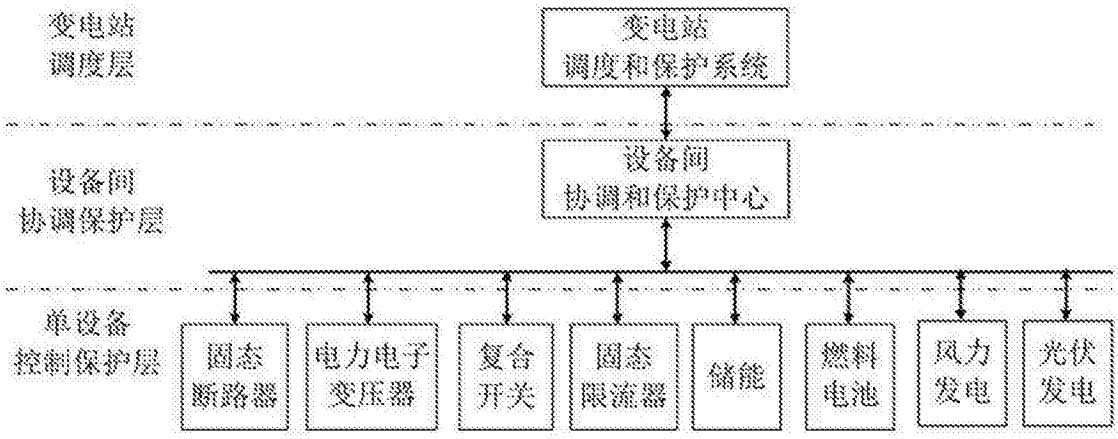

变电站
调度层
变电站
调度和保护系统
设备间
协调保护层
设备间
协调和保护中心
单设备
控制保护层
固态
断路器
电力电子
变压器
复合
开关
固态
限流器
储能
燃料
电池
风力
发电
光伏
发电

图 13