



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109802424 B

(45) 授权公告日 2022. 07. 22

(21) 申请号 201910178138.3

(22) 申请日 2019.03.08

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109802424 A

(43) 申请公布日 2019.05.24

(73) 专利权人 南京南瑞继保电气有限公司

地址 211102 江苏省南京市江宁区苏源大道69号

专利权人 南京南瑞继保工程技术有限公司

(72) 发明人 赵文强 黄志岭 王永平 侍乔明

王冰倩 唐俊 卢宇

(51) Int. Cl.

H02J 3/36 (2006.01)

审查员 郭丽雅

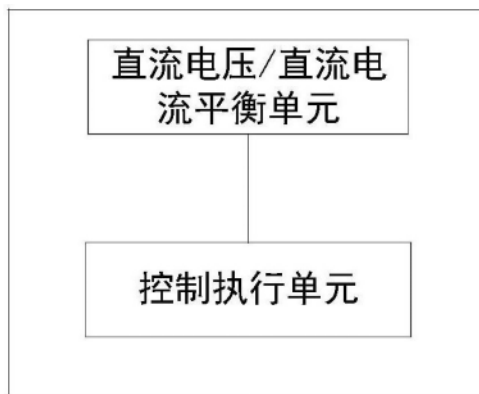
权利要求书4页 说明书12页 附图3页

### (54) 发明名称

一种混合直流输电系统换流器投入协调配合方法及装置

### (57) 摘要

本发明公开一种混合直流输电系统换流器投入协调配合方法及装置,包含直流电压/直流电流平衡环节和控制执行环节;直流电压/直流电流平衡环节用于对需要投入的换流器所连接的换流变压器阀侧交流电压进行计算并产生需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值;控制执行环节用于依据换流变压器档位控制目标值对需要投入的换流器所连接的换流变压器档位进行调节控制。本发明同时公开了相应的装置。本发明能够有效解决混合换流器间的直流电压及直流电流协调控制问题,实现多混合换流器的功率协调控制,同时兼顾系统的稳态和暂态性能。



1. 一种混合直流输电系统换流器投入协调配合方法,其特征在于,所述方法用于混合直流输电系统,包含直流电压/直流电流平衡环节、控制执行环节;

所述直流电压/直流电流平衡环节,用于依据当前运行方式并结合当前运行直流功率与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系或直流电压与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系对需要投入的换流器所连接的换流变压器阀侧交流电压进行计算并产生需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值;所述当前运行直流功率与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系是指当前运行直流功率与换流变压器阀侧交流电压之间存在如下等式关系:

$$U_{dR} = U_{diOR} * (\cos\alpha - (d_x + d_r) * \frac{I_d}{I_{dN}} * \frac{U_{diON}}{U_{diOR}}) - U_T$$

$$U_{dI} = U_{diOI} * (\cos\gamma - (d_x - d_r) * \frac{I_d}{I_{dN}} * \frac{U_{diON}}{U_{diOI}}) + U_T$$

$$U_{diOR} = 1.35 * U_{vR}$$

$$U_{diOI} = 1.35 * U_{vI};$$

上式中, $U_{dR}$ 为整流运行时的直流电压值, $U_{dI}$ 为逆变运行时的直流电压值, $\alpha$ 为触发角参考值, $\gamma$ 为熄弧角参考值, $d_x$ 为相对感性压降, $d_r$ 为相对阻性压降, $I_d$ 为直流电流实测值, $I_{dN}$ 为额定直流电流, $U_{diON}$ 为额定空载直流电压, $U_{diOR}$ 为整流运行时的实际空载直流电压, $U_{diOI}$ 为逆变运行时的实际空载直流电压, $U_T$ 为换流阀正向压降, $U_{vR}$ 为整流站换流变压器的阀侧交流线电压有效值, $U_{vI}$ 为逆变站换流变压器的阀侧交流线电压有效值;

所述控制执行环节,用于依据换流变压器档位控制目标值对需要投入的换流器所连接的换流变压器档位进行调节控制。

2. 如权利要求1所述的一种混合直流输电系统换流器投入协调配合方法,其特征在于,在直流电压/直流电流平衡环节之后还包括校正环节,用于依据当前实测的交流电压值与额定交流电压值之间的差异对直流电压/直流电流平衡环节计算并产生的需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值进行校正,并产生校正量,所述换流变压器档位控制目标值乘以校正量产生校正后的换流变压器档位控制目标值;

所述控制执行环节,用于依据校正后的换流变压器档位控制目标值对需要投入的换流器所连接的换流变压器档位进行调节控制。

3. 如权利要求1所述的一种混合直流输电系统换流器投入协调配合方法,其特征在于,在直流电压/直流电流平衡环节之后还包括通信环节,用于串联的换流器之间信息的传送及交换;所述需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值通过通信环节传送给需要投入的换流器的控制单元。

4. 如权利要求2所述的一种混合直流输电系统换流器投入协调配合方法,其特征在于,在校正环节之后还包括通信环节,用于串联的换流器之间信息的传送及交换;所述校正后的换流变压器档位控制目标值通过通信环节传送给需要投入的换流器的控制单元。

5. 如权利要求4所述的一种混合直流输电系统换流器投入协调配合方法,其特征在于,所述直流电压/直流电流平衡环节、所述校正环节和所述通信环节设置于需要投入的换流器控制单元;或者设置于在运的换流器控制单元;或者设置于需要投入的换流器控制单元

和在运的换流器控制单元。

6. 如权利要求2所述的一种混合直流输电系统换流器投入协调配合方法,其特征在於,当需要投入的换流器是电压源型换流器时:

所述直流电压/直流电流平衡环节,产生的换流变压器档位控制目标值为电压源型换流器所连接的换流变压器阀侧交流线电压有效值;

所述校正环节,产生的校正量为实测的交流电压值与额定交流电压值之间的比值;

所述换流变压器档位控制目标值乘以校正量产生校正后的换流变压器档位控制目标值,供电压源型换流器执行。

7. 如权利要求2所述的一种混合直流输电系统换流器投入协调配合方法,其特征在於,当需要投入的换流器是晶闸管换流器时:

所述直流电压/直流电流平衡环节,产生的换流变压器档位控制目标值为晶闸管换流器的理想空载直流电压值;

所述校正环节,产生的校正量为实测的交流电压值与额定交流电压值之间的比值;

所述换流变压器档位控制目标值乘以校正量产生校正后的换流变压器档位控制目标值,供晶闸管换流器执行。

8. 如权利要求1所述的一种混合直流输电系统换流器投入协调配合方法,其特征在於,所述直流电压与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系是指直流侧电压与换流变压器阀侧交流电压之间所存在的调制比关系。

9. 如权利要求1所述的一种混合直流输电系统换流器投入协调配合方法,其特征在於,所述 $U_{dR}$ 为整流运行时的直流电压值, $U_{dI}$ 为逆变运行时的直流电压值是指 $U_{dR}$ 为整流运行方式时实测的换流器两端的直流电压值, $U_{dI}$ 为逆变运行方式时实测的换流器两端的直流电压值;或者 $U_{dR}$ 为整流运行方式时换流器两端的直流电压参考值, $U_{dI}$ 为逆变运行方式时换流器两端的直流电压参考值。

10. 如权利要求1所述的一种混合直流输电系统换流器投入协调配合方法,其特征在於,所述直流电压/直流电流平衡环节,当N个换流器采用直流电压或直流电流平衡运行方式时,需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值相同。

11. 如权利要求1所述的一种混合直流输电系统换流器投入协调配合方法,其特征在於,所述直流电压/直流电流平衡环节,当N个换流器采用直流电压或直流电流不平衡运行方式时,各需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值按设定的不平衡比例折算所得值。

12. 一种混合直流输电系统换流器投入协调配合装置,用于混合直流输电系统,其特征在於,所述装置包括直流电压/直流电流平衡单元和控制执行单元;

所述直流电压/直流电流平衡单元,用于依据当前运行方式并结合当前运行直流功率与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系或直流电压与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系对需要投入的换流器所连接的换流变压器阀侧交流电压进行计算并产生需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值;所述当前运行直流功率与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系是指当前运行直流功率与换流变压器阀侧交流电压之间存在如下等式关系:

$$U_{dR} = U_{di0R} * (\cos\alpha - (d_x + d_r) * \frac{I_d}{I_{dN}} * \frac{U_{di0N}}{U_{di0R}}) - U_T$$

$$U_{dI} = U_{di0I} * (\cos\gamma - (d_x - d_r) * \frac{I_d}{I_{dN}} * \frac{U_{di0N}}{U_{di0I}}) + U_T$$

$$U_{di0R} = 1.35 * U_{vR}$$

$$U_{di0I} = 1.35 * U_{vI};$$

上式中,  $U_{dR}$  为整流运行时的直流电压值,  $U_{dI}$  为逆变运行时的直流电压值,  $\alpha$  为触发角参考值,  $\gamma$  为熄弧角参考值,  $d_x$  为相对感性压降,  $d_r$  为相对阻性压降,  $I_d$  为直流电流实测值,  $I_{dN}$  为额定直流电流,  $U_{di0N}$  为额定空载直流电压,  $U_{di0R}$  为整流运行时的实际空载直流电压,  $U_{di0I}$  为逆变运行时的实际空载直流电压,  $U_T$  为换流阀正向压降,  $U_{vR}$  为整流站换流变压器的阀侧交流线电压有效值,  $U_{vI}$  为逆变站换流变压器的阀侧交流线电压有效值;

所述控制执行单元, 用于依据换流变压器档位控制目标值对需要投入的换流器所连接的换流变压器档位进行调节控制。

13. 如权利要求12所述的一种混合直流输电系统换流器投入协调配合装置, 其特征在于, 所述装置还包括校正单元, 设置于直流电压/直流电流平衡单元之后, 用于依据当前实测的交流电压值与额定交流电压值之间的差异对直流电压/直流电流平衡环节计算并产生的需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值进行校正, 并产生校正量, 所述换流变压器档位控制目标值乘以校正量产生校正后的换流变压器档位控制目标值;

所述控制执行单元, 依据校正后的换流变压器档位控制目标值对需要投入的换流器所连接的换流变压器档位进行调节控制。

14. 如权利要求12所述的一种混合直流输电系统换流器投入协调配合装置, 其特征在于, 所述装置还包括通信单元, 设置于直流电压/直流电流平衡单元之后, 用于串联的换流器之间信息的传送及交换; 所述需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值通过通信单元传送给需要投入的换流器的控制单元。

15. 如权利要求13所述的一种混合直流输电系统换流器投入协调配合装置, 其特征在于, 所述装置还包括通信单元, 设置于校正单元之后, 用于串联的换流器之间信息的传送及交换; 所述校正后的换流变压器档位控制目标值通过通信单元传送给需要投入的换流器的控制单元。

16. 如权利要求12所述的一种混合直流输电系统换流器投入协调配合装置, 其特征在于, 所述混合直流输电系统包括用于连接送端交流电网的整流换流站、用于连接受端交流电网的逆变换流站以及用于连接整流换流站和逆变换流站的直流输电线路, 所述整流换流站包括至少一组晶闸管换流器单元, 所述逆变换流站包括至少一组电压源型换流器单元;

晶闸管换流器单元包括晶闸管换流器与旁通开关, 二者并联连接; 或者包括晶闸管换流器与旁通开关及刀闸组件, 晶闸管换流器与旁通开关并联连接, 并联后的单元两端分别和连接刀闸的一端相连, 连接刀闸的另一端并联旁通刀闸;

晶闸管换流器单元交流侧包括相互串联的交流进线开关、换流变压器;

电压源型换流器单元交流侧包括相互串联的交流进线开关、换流变压器和充电电阻, 所述充电电阻的两端还并联旁路开关;

电压源型换流器单元包括电压源型换流器及其旁通电路; 或者包括电压源型换流器及

其旁通电路和刀闸组件,并且电压源型换流器及其旁通电路两端分别和连接刀闸的一端相连,连接刀闸的另一端并联旁通刀闸。

17.如权利要求12所述的一种混合直流输电系统换流器投入协调配合装置,其特征在于,所述直流电压与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系是指直流侧电压与换流变压器阀侧交流电压之间所存在的调制比关系。

18.如权利要求12所述的一种混合直流输电系统换流器投入协调配合装置,其特征在于,所述 $U_{dr}$ 为整流运行时的直流电压值, $U_{dt}$ 为逆变运行时的直流电压值是指 $U_{dr}$ 为整流运行方式时实测的换流器两端的直流电压值, $U_{dt}$ 为逆变运行方式时实测的换流器两端的直流电压值;或者 $U_{dr}$ 为整流运行方式时换流器两端的直流电压参考值, $U_{dt}$ 为逆变运行方式时换流器两端的直流电压参考值。

19.如权利要求13所述的一种混合直流输电系统换流器投入协调配合装置,其特征在于,当需要投入的换流器是电压源型换流器时:

所述直流电压/直流电流平衡单元,产生的换流变压器档位控制目标值为电压源型换流器所连接的换流变压器阀侧交流线电压有效值;

所述校正单元,产生的校正量为实测的交流电压值与额定交流电压值之间的比值;

所述换流变压器档位控制目标值乘以校正量产生校正后的换流变压器档位控制目标值,供电压源型换流器执行。

20.如权利要求13所述的一种混合直流输电系统换流器投入协调配合装置,其特征在于,当需要投入的换流器是晶闸管换流器时:

所述直流电压/直流电流平衡单元,产生的换流变压器档位控制目标值为晶闸管换流器的理想空载直流电压值;

所述校正单元,产生的校正量为实测的交流电压值与额定交流电压值之间的比值;

所述换流变压器档位控制目标值乘以校正量产生校正后的换流变压器档位控制目标值,供晶闸管换流器执行。

21.如权利要求12所述的一种混合直流输电系统换流器投入协调配合装置,其特征在于,所述直流电压/直流电流平衡单元,当N个换流器采用直流电压或直流电流平衡运行方式时,需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值相同。

22.如权利要求12所述的一种混合直流输电系统换流器投入协调配合装置,其特征在于,所述直流电压/直流电流平衡单元,当N个换流器采用直流电压或直流电流不平衡运行方式时,各需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值按设定的不平衡比例折算所得值。

## 一种混合直流输电系统换流器投入协调配合方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明属于混合直流输电领域,特别涉及一种混合直流输电系统换流器投入协调配合方法及装置。

### 背景技术

[0002] 高压直流输电系统可分为两种类型:基于晶闸管技术的常规直流输电系统(LCC-HVDC)和基于全控型电力电子器件技术的柔性直流输电系统(Flexible-HVDC)。其中,常规直流输电系统(LCC-HVDC)成本低、损耗小、运行技术成熟,目前,世界上正在运行的直流输电系统几乎都是LCC-HVDC系统,但常规直流输电系统(LCC-HVDC)存在逆变侧容易发生换相失败、对交流系统的依赖性强、吸收大量无功、换流站占地面积大等缺点。而新一代的柔性直流输电系统(Flexible-HVDC)则能够实现有功功率及无功功率解耦控制、可以向无源网络供电、结构紧凑占地面积小、不存在逆变侧换相失败问题等优点,但其存在成本高昂、损耗较大等缺陷。

[0003] 为了满足远距离大容量输电的要求,常规直流输电系统一般采用两个或多个换流器串联的技术来提升系统的直流电压等级和输送容量。与之相同,目前国内正在实施的混合直流输电工程采用整流侧为两个晶闸管换流器串联,逆变侧为两个电压源型换流器串联或者多个电压源型换流器并联后与一个晶闸管换流器串联的拓扑结构。

[0004] 目前,在直流输电工程中,常规特高压直流输电系统中串联的两个晶闸管换流器,一个在运行,一个在停运时,停运的换流器的档位或者阀侧交流电压的有效值是时刻跟随在运行的换流器,从而保证停运换流器再次投入运行时能够快速达到与运行的换流器相同的运行工作点。这是因为晶闸管换流器的直流电压与阀侧交流电压的有效值成正比,而柔性直流输电系统电压源型换流器的直流电压与阀侧交流电压的有效值并无这种关系。由于两者的差异,这样在混合直流输电工程中尤其是串联的两个换流器中一个采用的是晶闸管换流器,一个采用的是电压源型换流器就存在不能快速到达运行工作点的问题,影响系统的稳定。

[0005] 对于混合直流输电系统目前并无有效的方法,只能降低系统要求,不对两个换流器进行协调,这意味着直流电压和直流功率需要较长时间才能达到调度要求的运行值,严重威胁系统安全。

[0006] 因此,本发明提供一种混合直流输电系统换流器投入协调配合方法及装置,能够有效解决混合换流器间的直流电压及直流电流协调控制问题,实现多混合换流器的功率协调控制,同时兼顾系统的稳态和暂态性能,更精准的实现混合直流输电系统的功率电压控制。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的是:提供一种混合直流输电系统换流器投入协调配合方法及装置,能够有效解决混合换流器间的直流电压及直流电流协调控制问题,实现多混合换流器的功

率协调控制,同时兼顾系统的稳态和暂态性能,更精准的实现混合直流输电系统的功率电压控制。

[0008] 为了达成上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0009] 一种混合直流输电系统换流器投入协调配合方法,所述方法用于混合直流输电系统,包含直流电压/直流电流平衡环节和控制执行环节;

[0010] 所述直流电压/直流电流平衡环节,用于依据当前运行方式并结合当前运行直流功率与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系或直流电压与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系对需要投入的换流器所连接的换流变压器阀侧交流电压进行计算并产生需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值;

[0011] 所述控制执行环节,用于依据换流变压器档位控制目标值对需要投入的换流器所连接的换流变压器档位进行调节控制。

[0012] 优选地,在直流电压/直流电流平衡环节之后还包括校正环节,用于依据当前实测的交流电压值与额定交流电压值之间的差异对直流电压/直流电流平衡环节计算并产生的需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值进行校正,并产生校正量,所述换流变压器档位控制目标值乘以校正量产生校正后的换流变压器档位控制目标值;

[0013] 所述控制执行环节,用于依据校正后的换流变压器档位控制目标值对需要投入的换流器所连接的换流变压器档位进行调节控制。

[0014] 优选地,在直流电压/直流电流平衡环节之后还包括通信环节,用于串联的换流器之间信息的传送及交换;所述需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值通过通信环节传送给需要投入的换流器的控制单元。

[0015] 优选地,在校正环节之后还包括通信环节,用于串联的换流器之间信息的传送及交换;所述校正后的换流变压器档位控制目标值通过通信环节传送给需要投入的换流器的控制单元。

[0016] 优选地,所述直流电压/直流电流平衡环节、所述校正环节和所述通信环节设置于需要投入的换流器控制单元;或者设置于在运的换流器控制单元;或者设置于需要投入的换流器控制单元和在运的换流器控制单元。

[0017] 优选地,当需要投入的换流器是电压源型换流器时:

[0018] 所述直流电压/直流电流平衡环节,产生的换流变压器档位控制目标值为电压源型换流器所连接的换流变压器阀侧交流线电压有效值;

[0019] 所述校正环节,产生的校正量为实测的交流电压值与额定交流电压值之间的比值;

[0020] 所述换流变压器档位控制目标值乘以校正量产生校正后的换流变压器档位控制目标值,供电压源型换流器执行。

[0021] 优选地,当需要投入的换流器是晶闸管换流器时:

[0022] 所述直流电压/直流电流平衡环节,产生的换流变压器档位控制目标值为晶闸管换流器的理想空载直流电压值;

[0023] 所述校正环节,产生的校正量为实测的交流电压值与额定交流电压值之间的比值;

[0024] 所述换流变压器档位控制目标值乘以校正量产生校正后的换流变压器档位控制

目标值,供晶闸管换流器执行。

[0025] 优选地,所述直流电压与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系是指直流侧电压与换流变压器阀侧交流电压之间所存在的调制比关系。

[0026] 优选地,所述当前运行直流功率与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系是指当前运行直流功率与换流变压器阀侧交流电压之间存在如下等式关系:

$$[0027] \quad U_{dR} = U_{di0R} * (\cos \alpha - (d_x + d_r) * \frac{I_d}{I_{dN}} * \frac{U_{di0N}}{U_{di0R}}) - U_T$$

$$[0028] \quad U_{dI} = U_{di0I} * (\cos \gamma - (d_x - d_r) * \frac{I_d}{I_{dN}} * \frac{U_{di0N}}{U_{di0I}}) + U_T$$

$$[0029] \quad U_{di0R} = 1.35 * U_{vR}$$

$$[0030] \quad U_{di0I} = 1.35 * U_{vI};$$

[0031] 上式中, $U_{dR}$ 为整流运行时的直流电压值, $U_{dI}$ 为逆变运行时的直流电压值, $\alpha$ 为触发电角参考值, $\gamma$ 为熄弧角参考值, $d_x$ 为相对感性压降, $d_r$ 为相对阻性压降, $I_d$ 为直流电流实测值, $I_{dN}$ 为额定直流电流, $U_{di0N}$ 为额定空载直流电压, $U_{di0R}$ 为整流运行时的实际空载直流电压, $U_{di0I}$ 为逆变运行时的实际空载直流电压, $U_T$ 为换流阀正向压降, $U_{vR}$ 为整流站换流变压器的阀侧交流线电压有效值, $U_{vI}$ 为逆变站换流变压器的阀侧交流线电压有效值。

[0032] 优选地,所述 $U_{dR}$ 为整流运行时的直流电压值, $U_{dI}$ 为逆变运行时的直流电压值是指 $U_{dR}$ 为整流运行方式时实测的换流器两端的直流电压值, $U_{dI}$ 为逆变运行方式时实测的换流器两端的直流电压值;或者 $U_{dR}$ 为整流运行方式时换流器两端的直流电压参考值, $U_{dI}$ 为逆变运行方式时换流器两端的直流电压参考值。

[0033] 优选地,所述直流电压/直流电流平衡环节,当N个换流器采用直流电压或直流电流平衡运行方式时,需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值相同。

[0034] 优选地,所述直流电压/直流电流平衡环节,当N个换流器采用直流电压或直流电流不平衡运行方式时,各需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值按设定的不平衡比例折算所得值。

[0035] 另外,本发明还提供一种混合直流输电系统换流器投入协调配合装置,用于混合直流输电系统,

[0036] 其特征在于:所述装置包括直流电压/直流电流平衡单元和控制执行单元;

[0037] 所述直流电压/直流电流平衡单元,用于依据当前运行方式并结合当前运行直流功率与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系或直流电压与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系对需要投入的换流器所连接的换流变压器阀侧交流电压进行计算并产生需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值;

[0038] 所述控制执行单元,用于依据换流变压器档位控制目标值对需要投入的换流器所连接的换流变压器档位进行调节控制。

[0039] 优选地,所述装置还包括校正单元,设置于直流电压/直流电流平衡单元之后,用于依据当前实测的交流电压值与额定交流电压值之间的差异对直流电压/直流电流平衡环节计算并产生的需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值进行校正,并产生校正量,所述换流变压器档位控制目标值乘以校正量产生校正后的换流变压器档位控制目标值。

[0040] 所述控制执行单元,依据校正后的换流变压器档位控制目标值对需要投入的换流器所连接的换流变压器档位进行调节控制。

[0041] 优选地,所述装置还包括通信单元,设置于直流电压/直流电流平衡单元之后,用于串联的换流器之间信息的传送及交换;所述需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值通过通信单元传送给需要投入的换流器的控制单元。

[0042] 优选地,所述装置还包括通信单元,设置于校正单元之后,用于串联的换流器之间信息的传送及交换;所述校正后的换流变压器档位控制目标值通过通信单元传送给需要投入的换流器的控制单元。

[0043] 优选地,所述混合直流输电系统包括用于连接送端交流电网的整流换流站、用于连接受端交流电网的逆变换流站以及用于连接整流换流站和逆变换流站的直流输电线路,所述整流换流站包括至少一组晶闸管换流器单元,所述逆变换流站包括至少一组电压源型换流器单元;

[0044] 晶闸管换流器单元包括晶闸管换流器与旁通开关,二者并联连接;或者包括晶闸管换流器与旁通开关及刀闸组件,晶闸管换流器与旁通开关并联连接,并联后的单元两端分别和连接刀闸的一端相连,连接刀闸的另一端并联旁通刀闸;

[0045] 晶闸管换流器单元交流侧包括相互串联的交流进线开关、换流变压器;

[0046] 电压源型换流器单元交流侧包括相互串联的交流进线开关、换流变压器和充电电阻,所述充电电阻的两端还并联旁路开关;

[0047] 电压源型换流器单元包括电压源型换流器及其旁通电路;或者包括电压源型换流器及其旁通电路和刀闸组件,并且电压源型换流器及其旁通电路两端分别和连接刀闸的一端相连,连接刀闸的另一端并联旁通刀闸。

[0048] 优选地,所述直流电压与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系是指直流侧电压与换流变压器阀侧交流电压之间所存在的调制比关系。

[0049] 优选地,所述当前运行直流功率与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系是指当前运行直流功率与换流变压器阀侧交流电压之间存在如下等式关系:

$$[0050] \quad U_{dR} = U_{di0R} * (\cos \alpha - (d_x + d_r) * \frac{I_d}{I_{dN}} * \frac{U_{di0N}}{U_{di0R}}) - U_T$$

$$[0051] \quad U_{dI} = U_{di0I} * (\cos \gamma - (d_x - d_r) * \frac{I_d}{I_{dN}} * \frac{U_{di0N}}{U_{di0I}}) + U_T$$

$$[0052] \quad U_{di0R} = 1.35 * U_{vR}$$

$$[0053] \quad U_{di0I} = 1.35 * U_{vI};$$

[0054] 上式中, $U_{dR}$ 为整流运行时的直流电压值, $U_{dI}$ 为逆变运行时的直流电压值, $\alpha$ 为触发角参考值, $\gamma$ 为熄弧角参考值, $d_x$ 为相对感性压降, $d_r$ 为相对阻性压降, $I_d$ 为直流电流实测值, $I_{dN}$ 为额定直流电流, $U_{di0N}$ 为额定空载直流电压, $U_{di0R}$ 为整流运行时的实际空载直流电压, $U_{di0I}$ 为逆变运行时的实际空载直流电压, $U_T$ 为换流阀正向压降, $U_{vR}$ 为整流站换流变压器的阀侧交流线电压有效值, $U_{vI}$ 为逆变站换流变压器的阀侧交流线电压有效值。

[0055] 优选地,所述 $U_{dR}$ 为整流运行时的直流电压值, $U_{dI}$ 为逆变运行时的直流电压值是指 $U_{dR}$ 为整流运行方式时实测的换流器两端的直流电压值, $U_{dI}$ 为逆变运行方式时实测的换流器两端的直流电压值;或者 $U_{dR}$ 为整流运行方式时换流器两端的直流电压参考值, $U_{dI}$ 为逆变

运行方式时换流器两端的直流电压参考值。

[0056] 优选地,当需要投入的换流器是电压源型换流器时:

[0057] 所述直流电压/直流电流平衡单元,产生的换流变压器档位控制目标值为电压源型换流器所连接的换流变压器阀侧交流线电压有效值;

[0058] 所述校正单元,产生的校正量为实测的交流电压值与额定交流电压值之间的比值;

[0059] 所述换流变压器档位控制目标值乘以校正量产生校正后的换流变压器档位控制目标值,供电压源型换流器执行。

[0060] 优选地,当需要投入的换流器是晶闸管换流器时:

[0061] 所述直流电压/直流电流平衡单元,产生的换流变压器档位控制目标值为晶闸管换流器的理想空载直流电压值;

[0062] 所述校正单元,产生的校正量为实测的交流电压值与额定交流电压值之间的比值;

[0063] 所述换流变压器档位控制目标值乘以校正量产生校正后的换流变压器档位控制目标值,供晶闸管换流器执行。

[0064] 优选地,所述直流电压/直流电流平衡单元,当N个换流器采用直流电压或直流电流平衡运行方式时,需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值相同。

[0065] 优选地,所述直流电压/直流电流平衡单元,当N个换流器采用直流电压或直流电流不平衡运行方式时,各需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值按设定的不平衡比例折算所得值。

[0066] 本发明的有益效果:本发明能够有效解决混合换流器间的直流电压及直流电流协调控制问题,实现多混合换流器的功率协调控制,同时兼顾系统的稳态和暂态性能,更精准的实现混合直流输电系统的功率电压控制。

## 附图说明

[0067] 图1为本发明的混合直流输电系统换流器投入协调配合装置实施例一;

[0068] 图2为本发明的混合直流输电系统换流器投入协调配合装置实施例二;

[0069] 图3为本发明的混合直流输电系统换流器投入协调配合装置实施例二;

[0070] 图4是整流站由晶闸管换流器,逆变站由两种混合直流换流器组成的两端混合特高压直流输电系统;

[0071] 图5是整流站由晶闸管换流器,逆变站由两种混合直流换流器组成的混合级联多端特高压直流输电系统;

[0072] 图6是整流站1和整流站2由晶闸管换流器,逆变侧由电压源型换流器组成的混合三端直流输电系统;

[0073] 图7是整流站由晶闸管换流器,逆变站1由晶闸管换流器,逆变站2由电压源型换流器并联组成的混合三端直流输电系统;

[0074] 图8是整流站由晶闸管换流器,逆变站1和逆变站2均由电压源型换流器并联组成的混合三端直流输电系统。

## 具体实施方式

[0075] 下面结合附图和具体的实施例对本发明技术方案作进一步的详细描述,以使本领域的技术人员可以更好的理解本发明并能予以实施,但所举实施例不作为对本发明的限定。其中,相同的组件使用相同的附图标记。

[0076] 本发明提出了一种混合直流输电系统换流器投入协调配合方法,所述方法用于混合直流输电系统,包含直流电压/直流电流平衡环节和控制执行环节;

[0077] 所述直流电压/直流电流平衡环节,用于依据当前运行方式并结合当前运行直流功率与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系或直流电压与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系,对需要投入的换流器所连接的换流变压器阀侧交流电压进行计算并产生需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值;

[0078] 所述控制执行环节,用于依据换流变压器档位控制目标值对需要投入的换流器所连接的换流变压器档位进行调节控制。

[0079] 在另一个实施例中,在直流电压/直流电流平衡环节之后还包括通信环节,用于串联的换流器之间信息的传送及交换;所述需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值通过通信环节传送给需要投入的换流器的控制单元。

[0080] 在另一个实施例实施例中,在直流电压/直流电流平衡环节之后还包括校正环节,用于依据当前实测的交流电压值与额定交流电压值之间的差异对直流电压/直流电流平衡环节计算并产生的需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值进行校正,并产生校正量,所述换流变压器档位控制目标值乘以校正量产生校正后的换流变压器档位控制目标值。所述控制执行环节,用于依据校正后的换流变压器档位控制目标值对需要投入的换流器所连接的换流变压器档位进行调节控制。

[0081] 在校正环节之后还包括通信环节,用于串联的换流器之间信息的传送及交换;所述校正后的换流变压器档位控制目标值通过通信环节传送给需要投入的换流器的控制单元。

[0082] 所述直流电压/直流电流平衡环节,所述校正环节和所述通信环节设置于需要投入的换流器控制单元;或者设置于在运的换流器控制单元;或者设置于需要投入的换流器控制单元和在运的换流器控制单元。

[0083] 当需要投入的换流器是电压源型换流器时:

[0084] 所述直流电压/直流电流平衡环节,产生的换流变压器档位控制目标值为电压源型换流器所连接的换流变压器阀侧交流线电压有效值;

[0085] 所述校正环节,产生的校正量为实测的交流电压值与额定交流电压值之间的比值;

[0086] 所述换流变压器档位控制目标值乘以校正量产生校正后的换流变压器档位控制目标值,供电压源型换流器执行。

[0087] 当需要投入的换流器是晶闸管换流器时:

[0088] 所述直流电压/直流电流平衡环节,产生的换流变压器档位控制目标值为晶闸管换流器的理想空载直流电压值;

[0089] 所述校正环节,产生的校正量为实测的交流电压值与额定交流电压值之间的比值;

[0090] 所述换流变压器档位控制目标值乘以校正量产生校正后的换流变压器档位控制目标值,供晶闸管换流器执行。

[0091] 所述直流电压与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系是指直流侧电压与换流变压器阀侧交流电压之间所存在的调制比关系。

[0092] 所述当前运行直流功率与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系是指当前运行直流功率与换流变压器阀侧交流电压之间存在如下等式关系:

$$[0093] \quad U_{dR} = U_{di0R} * (\cos \alpha - (d_x + d_r) * \frac{I_d}{I_{dN}} * \frac{U_{di0N}}{U_{di0R}}) - U_T$$

$$[0094] \quad U_{dI} = U_{di0I} * (\cos \gamma - (d_x - d_r) * \frac{I_d}{I_{dN}} * \frac{U_{di0N}}{U_{di0I}}) + U_T$$

$$[0095] \quad U_{di0R} = 1.35 * U_{vR}$$

$$[0096] \quad U_{di0I} = 1.35 * U_{vI};$$

[0097] 上式中, $U_{dR}$ 为整流运行时的直流电压值, $U_{dI}$ 为逆变运行时的直流电压值, $\alpha$ 为触发角参考值, $\gamma$ 为熄弧角参考值, $d_x$ 为相对感性压降, $d_r$ 为相对阻性压降, $I_d$ 为直流电流实测值, $I_{dN}$ 为额定直流电流, $U_{di0N}$ 为额定空载直流电压, $U_{di0R}$ 为整流运行时的实际空载直流电压, $U_{di0I}$ 为逆变运行时的实际空载直流电压, $U_T$ 为换流阀正向压降, $U_{vR}$ 为整流站换流变压器的阀侧交流线电压有效值, $U_{vI}$ 为逆变站换流变压器的阀侧交流线电压有效值。

[0098] 所述 $U_{dR}$ 为整流运行时的直流电压值, $U_{dI}$ 为逆变运行时的直流电压值是指 $U_{dR}$ 为整流运行方式时实测的换流器两端的直流电压值, $U_{dI}$ 为逆变运行方式时实测的换流器两端的直流电压值;或者 $U_{dR}$ 为整流运行方式时换流器两端的直流电压参考值, $U_{dI}$ 为逆变运行方式时换流器两端的直流电压参考值。

[0099] 所述直流电压/直流电流平衡环节,当N个换流器采用直流电压或直流电流平衡运行方式时,需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值相同。

[0100] 所述直流电压/直流电流平衡环节,当N个换流器采用直流电压或直流电流不平衡运行方式时,各需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值按设定的不平衡比例折算所得值。

[0101] 图1所示为本发明混合直流输电系统换流器投入协调配合装置,用于混合直流输电系统,包括直流电压/直流电流平衡单元和控制执行单元;所述直流电压/直流电流平衡单元,用于依据当前运行方式并结合当前运行直流功率与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系或直流电压与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系对需要投入的换流器所连接的换流变压器阀侧交流电压进行计算并产生需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值;

[0102] 所述控制执行单元,用于依据换流变压器档位控制目标值对需要投入的换流器所连接的换流变压器档位进行调节控制。

[0103] 在如图2所示的另一个实施例中,混合直流输电系统换流器投入协调配合装置还包括通信单元,设置于直流电压/直流电流平衡单元之后,用于串联的换流器之间信息的传送及交换;所述需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值通过通信单元传送给需要投入的换流器的控制单元。控制执行单元,依据换流变压器档位控制目标值对需要

投入的换流器所连接的换流变压器档位进行调节控制。

[0104] 在如图3所示的另一个实施例中,混合直流输电系统换流器投入协调配合装置还包括校正单元,设置于直流电压/直流电流平衡单元之后,用于依据当前实测的交流电压值与额定交流电压值之间的差异对直流电压/直流电流平衡环节计算并产生的需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值进行校正,并产生校正量,所述换流变压器档位控制目标值乘以校正量产生校正后的换流变压器档位控制目标值。

[0105] 还包括通信单元,设置于校正单元之后,用于串联的换流器之间信息的传送及交换;所述校正后的换流变压器档位控制目标值通过通信单元传送给需要投入的换流器的控制单元。

[0106] 控制执行单元,依据校正后的换流变压器档位控制目标值对需要投入的换流器所连接的换流变压器档位进行调节控制。

[0107] 在本实施例中,所述混合直流输电系统包括用于连接送端交流电网的整流换流站、用于连接受端交流电网的逆变换流站以及用于连接整流换流站和逆变换流站的直流输电线路,所述整流换流站包括至少一组晶闸管换流器单元,所述逆变换流站包括至少一组电压源型换流器单元;

[0108] 晶闸管换流器单元包括晶闸管换流器与旁通开关,二者并联连接;或者包括晶闸管换流器与旁通开关及刀闸组件,晶闸管换流器与旁通开关并联连接,并联后的单元两端分别和连接刀闸的一端相连,连接刀闸的另一端并联旁通刀闸;

[0109] 晶闸管换流器单元交流侧包括相互串联的交流进线开关、换流变压器;

[0110] 电压源型换流器单元交流侧包括相互串联的交流进线开关、换流变压器和充电电阻,所述充电电阻的两端还并联旁路开关;

[0111] 电压源型换流器单元包括电压源型换流器及其旁通电路;或者包括电压源型换流器及其旁通电路和刀闸组件,并且电压源型换流器及其旁通电路两端分别和连接刀闸的一端相连,连接刀闸的另一端并联旁通刀闸。

[0112] 在本实施例中,所述直流电压与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系是指直流侧电压与换流变压器阀侧交流电压之间所存在的调制比关系。

[0113] 在本实施例中,所述当前运行直流功率与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系是指当前运行直流功率与换流变压器阀侧交流电压之间存在如下等式关系:

$$[0114] \quad U_{dR} = U_{di0R} * (\cos \alpha - (d_x + d_r) * \frac{I_d}{I_{dN}} * \frac{U_{di0N}}{U_{di0R}}) - U_T$$

$$[0115] \quad U_{dI} = U_{di0I} * (\cos \gamma - (d_x - d_r) * \frac{I_d}{I_{dN}} * \frac{U_{di0N}}{U_{di0I}}) + U_T$$

$$[0116] \quad U_{di0R} = 1.35 * U_{vR}$$

$$[0117] \quad U_{di0I} = 1.35 * U_{vI};$$

[0118] 上式中, $U_{dR}$ 为整流运行时的直流电压值, $U_{dI}$ 为逆变运行时的直流电压值, $\alpha$ 为触发角参考值, $\gamma$ 为熄弧角参考值, $d_x$ 为相对感性压降, $d_r$ 为相对阻性压降, $I_d$ 为直流电流实测值, $I_{dN}$ 为额定直流电流, $U_{di0N}$ 为额定空载直流电压, $U_{di0R}$ 为整流运行时的实际空载直流电压, $U_{di0I}$ 为逆变运行时的实际空载直流电压, $U_T$ 为换流阀正向压降, $U_{vR}$ 为整流站换流变压器

的阀侧交流线电压有效值,  $U_{VI}$  为逆变站换流变压器的阀侧交流线电压有效值。

[0119] 在本实施例中, 所述  $U_{dR}$  为整流运行时的直流电压值,  $U_{dI}$  为逆变运行时的直流电压值是指  $U_{dR}$  为整流运行方式时实测的换流器两端的直流电压值,  $U_{dI}$  为逆变运行方式时实测的换流器两端的直流电压值; 或者  $U_{dR}$  为整流运行方式时换流器两端的直流电压参考值,  $U_{dI}$  为逆变运行方式时换流器两端的直流电压参考值。

[0120] 在本实施例中, 当需要投入的换流器是电压源型换流器时:

[0121] 所述直流电压/直流电流平衡单元, 产生的换流变压器档位控制目标值为电压源型换流器所连接的换流变压器阀侧交流线电压有效值;

[0122] 所述校正单元, 产生的校正量为实测的交流电压值与额定交流电压值之间的比值;

[0123] 所述换流变压器档位控制目标值乘以校正量产生校正后的换流变压器档位控制目标值, 供电压源型换流器执行。

[0124] 优选地, 当需要投入的换流器是晶闸管换流器时:

[0125] 所述直流电压/直流电流平衡单元, 产生的换流变压器档位控制目标值为晶闸管换流器的理想空载直流电压值;

[0126] 所述校正单元, 产生的校正量为实测的交流电压值与额定交流电压值之间的比值;

[0127] 所述换流变压器档位控制目标值乘以校正量产生校正后的换流变压器档位控制目标值, 供晶闸管换流器执行。

[0128] 在本实施例中, 所述直流电压/直流电流平衡单元, 当  $N$  个换流器采用直流电压或直流电流平衡运行方式时, 需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值相同。

[0129] 在本实施例中, 所述直流电压/直流电流平衡单元, 当  $N$  个换流器采用直流电压或直流电流不平衡运行方式时, 各需要投入的换流器所连接的换流变压器档位控制目标值按设定的不平衡比例折算所得值。

[0130] 下面结合具体混合直流输电系统进行说明。

[0131] 如图4所示, 混合直流输电系统包括: 整流换流站和逆变换流站, 两者通过两条直流输电线路相连, 其中: 整流换流站用于将送端交流电网的三相交流电转换为直流电后通过直流输电线路传送给逆变换流站, 送端交流电网进站的母线上可连接有无源滤波器, 也可能没有, 需根据系统工程条件来确定, 当送端由晶闸管换流器组成时, 一般需要装设无源滤波器, 有时还需要装设无功补偿电容器。图4中整流换流站由两组晶闸管换流器单元串联组成, 其串关节点连接接地极, 串联后的正负两端均通过平波电抗器与直流输电线路相连接; 同时在直流线路与大地之间装设有直流滤波器。

[0132] 晶闸管换流器单元采用十二脉动桥式电路; 其中, 每个桥臂均由若干个晶闸管串联构成, 晶闸管换流器采用定直流功率控制策略控制。晶闸管换流器通过一台接线方式分别为  $Y0/Y/\Delta$  的三绕组变压器与送端交流电网连接。变压器能够对送端交流系统的三相交流电进行电压等级变换, 以适应所需的直流电压等级, 变压器副边接线方式的不同为十二脉动桥式晶闸管换流器的上下两个六脉动换流桥提供相角差为  $30^\circ$  的三相交流电, 以减少流入电网的谐波电流。

[0133] 逆变换流站用于将直流电转换为三相交流电后输送给受端交流电网, 其由四个换

流站构成,包括站2,站3,站4和站5,站2与站3,站4,站5串联连接。站2由两组晶闸管换流器组成,晶闸管换流器通过一台接线方式分别为Y0/Y/Δ的三绕组变压器与受端交流电网连接,晶闸管换流器采用定直流电压控制。站3,站4,站5三站并联连接,每站均由两组电压源型换流器串联组成,其串关节点连接接地极,电压源型换流器通过一台接线方式为Y0/Δ的双绕组变压器与受端交流电网连接,其中站3的电压源型换流器采用定直流电压和定无功功率控制策略控制,站4的电压源型换流器采用定交流功率和定无功功率控制策略控制,站5的电压源型换流器采用定交流功率和定无功功率控制策略控制。

[0134] 当整流站和逆变站仅只有低端换流器在运行时,即整流站低端晶闸管换流器和逆变站低端3个电压源型换流器在额定直流电压400kV,额定直流功率2000MW运行,此时若需要投入两站高端的晶闸管换流器,则为了保证混合直流输电系统在高端晶闸管换流器投入后能够快速的进入稳态,由于晶闸管换流器产生的直流电压与其所连接的换流变压器的阀侧交流电压的有效值成正比,因此对于整流站的高端晶闸管换流器来说,其所连接的换流变压器的阀侧交流电压最好能与低端的晶闸管换流器的一样,这样其就能保证最快进入稳态。而对于逆变站的高端晶闸管换流器来说,由于其低端换流器为电压源型换流器,其控制直流电压的特性与高端晶闸管换流器完全不一样,换流变压器阀侧交流电压的控制目的也完全不一样,因此高端晶闸管换流器不能直接跟随低端的电压源型换流器所连接的换流变压器的阀侧交流电压。对此本发明提供了一种协调配合方法:包括直流电压/直流电流平衡环节,依据当前的高低端换流器平衡的运行方式并结合当前运行直流功率与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系对需要投入的晶闸管换流器所连接的换流变压器阀侧交流电压进行计算并产生需要投入的晶闸管换流器所连接的换流变压器档位控制目标值;本实施例中,具体的依据以下两个公式进行计算:

$$[0135] \quad U_{dI} = U_{di0I} * (\cos \gamma - (d_x - d_r) * \frac{I_d}{I_{dN}} * \frac{U_{di0N}}{U_{di0I}}) + U_T ;$$

$$[0136] \quad U_{di0I} = 1.35 * U_V$$

[0137] 上两式中, $U_V$ 为换流变压器的阀侧交流线电压有效值, $U_{dI}$ 为逆变运行时的直流电压值,一般可以通过实际测量得到,或者为直流电压参考值,考虑直流线路电阻的压降后一般为380kV左右, $\gamma$ 为熄弧角参考值,一般为17度, $d_x$ 为相对感性压降,一般为定值,在0.1左右, $d_r$ 为相对阻性压降,一般为定值,在0.003左右, $I_d$ 为直流电流实测值, $I_{dN}$ 为额定直流电流,一般为定值,考虑为5000A, $U_{di0N}$ 为额定空载直流电压,一般为定值,考虑为226.01kV, $U_{di0I}$ 为逆变运行时的实际空载直流电压, $U_T$ 为换流阀正向压降,一般为定值,0.3kV。由于上式计算的电压是一个六脉动晶闸管换流器两端的电压,而实际工程中一般为12脉动晶闸管换流器,因此有:

$$[0138] \quad 190 = U_{di0I} * (\cos 17 - (0.1 - 0.003) * \frac{5000}{5000} * \frac{226.01}{U_{di0I}}) + 0.3$$

[0139] 计算得到 $U_{di0I} = 221.293\text{kV}$ , $U_V = 163.92\text{kV}$ 。

[0140] 若上式计算出的换流变压器阀侧交流线电压有效值作为档位的控制目标值,则此时不需要进行校正,此换流变压器档位控制目标值通过通信环节传送给需要投入的晶闸管换流器的控制单元或者晶闸管换流器的控制单元自己计算完成后,对其所连换流变压器档位进行调节控制。

[0141] 若上式计算出的换流变压器阀侧交流线电压有效值通过换流变压器的变比转换为档位作为档位控制目标值,则还需要考虑实际交流电压与额定交流电压之间的差异,当实际交流电压与额定交流电压之间的差异较大时需要通过校正环节进行校正,校正环节产生的校正量一般可以用额定交流电压值与实际交流电压值的比值表示,如525kV/500kV。上述换流变压器档位控制目标值乘以校正量后产生校正后的换流变压器档位控制目标值。此换流变压器档位控制目标值通过通信环节传送给需要投入的晶闸管换流器的控制单元或者晶闸管换流器的控制单元自己计算完成后,对其所连换流变压器档位进行调节控制。

[0142] 当整流站和逆变站仅只有高端换流器在运行时,即整流站高端晶闸管换流器和逆变站高端晶闸管换流器在额定直流电压400kV,额定直流功率2000MW运行,此时若需要投入两站低端换流器,则为了保证混合直流输电系统在低端晶闸管换流器和电压源型换流器投入后能够快速进入稳态,由于晶闸管换流器产生的直流电压与其所连接的换流变压器的阀侧交流电压的有效值成正比,因此对于整流站的低端晶闸管换流器来说,其所连接的换流变压器的阀侧交流电压最好能与高端的晶闸管换流器的一样,这样其就能保证最快进入稳态。而对于逆变站的低端电压源型换流器来说,由于其高端换流器为晶闸管换流器,其控制直流电压的特性与低端电压源型换流器完全不一样,换流变压器阀侧交流电压的控制目的也完全不一样,因此低端电压源型换流器不能直接跟随高端的晶闸管换流器所连接的换流变压器的阀侧交流电压。对此本发明提供了一种协调配合方法:包括直流电压/直流电流平衡环节,用于依据当前运行方式并结合当前运行直流电压与换流变压器阀侧交流电压之间的折算关系对需要投入的电压源型换流器所连接的换流变压器阀侧交流电压进行计算并产生需要投入的电压源型换流器所连接的换流变压器档位控制目标值;本实施例中,具体的依据以下公式进行计算:

$$[0143] \quad U_{vM} = 0.5 * M * U_{dI}$$

[0144] 上式中, $U_{vM}$ 为换流变压器的阀侧交流相电压峰值, $U_{dI}$ 为逆变运行时的直流电压值,一般可以通过实际测量得到,或者为直流电压参考值,考虑直流线路电阻的压降后一般为380kV左右,M为电压源型换流器运行时的调制比,实际运行中为了防止调制比超过限制值,一般需要通过调节所连接的换流变压器的档位来降低阀侧交流相电压峰值实现。因此在知道运行的直流电压和调制比后,可以算出此时的阀侧交流相电压峰值, $U_{vM} = 0.5 * 0.9 * 380 = 171\text{kV}$ ,则换流变压器阀侧交流线电压有效值为209.46kV。

[0145] 若上式计算出的换流变压器阀侧交流线电压有效值作为档位的控制目标值,则此时不需要进行校正,此换流变压器档位控制目标值通过通信环节传送给需要投入的电压源型换流器的控制单元或者电压源型换流器的控制单元自己计算完成后,对其所连接的换流变压器档位进行调节控制。

[0146] 若上式计算出的换流变压器阀侧交流线电压有效值通过换流变压器的变比转换为档位作为档位控制目标值,则还需要考虑实际交流电压与额定交流电压之间的差异,当实际交流电压与额定交流电压之间的差异较大时需要通过校正环节进行校正,校正环节产生的校正量一般可以用额定交流电压值与实际交流电压值的比值表示,如525kV/500kV。上述换流变压器档位控制目标值乘以校正量后产生校正后的换流变压器档位控制目标值。此换流变压器档位控制目标值通过通信环节传送给需要投入的电压源型换流器的控制单元或者电压源型换流器的控制单元自己计算完成后,对其所连接的换流变压器档位进行调节

控制。

[0147] 本发明提供的方案适用于如图4和图5所示的混合直流输电系统,但不限于这两种输电系统,如图6,图7,图8所示的混合三端直流输电系统也适用于本发明,本发明适用于所有的整流侧存在晶闸管换流器,逆变侧存在电压源型换流器的混合直流输电系统。

[0148] 本发明的有益效果:本发明能够有效解决混合换流器间的直流电压及直流电流协调控制问题,实现多混合换流器的功率协调控制,同时兼顾系统的稳态和暂态性能,更精准的实现混合直流输电系统的功率电压控制。

[0149] 以上仅为本发明的优选实施例,并非因此限制本发明的专利范围,凡是利用本发明说明书及附图内容所作的等效结构或者等效流程变换,或者直接或间接运用在其他相关的技术领域,均同理包括在本发明的专利保护范围内。

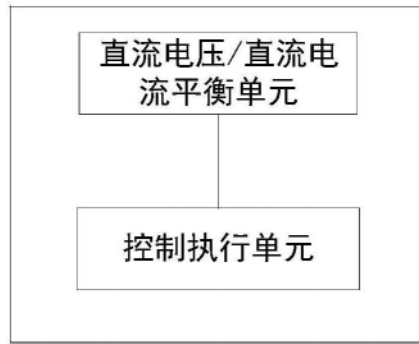


图1

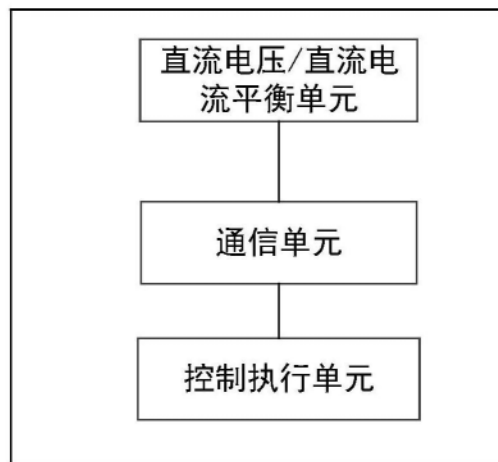


图2

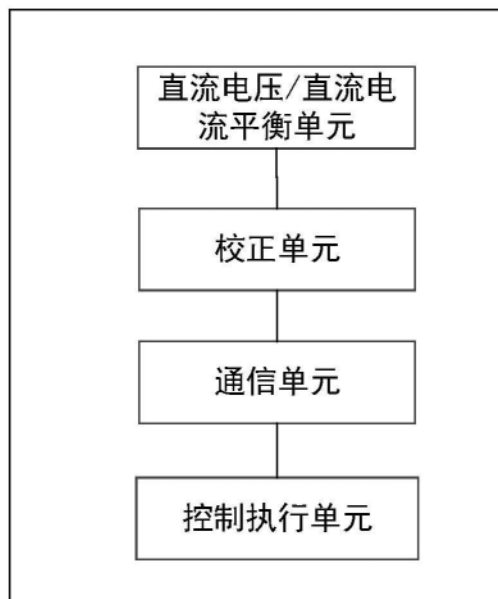


图3

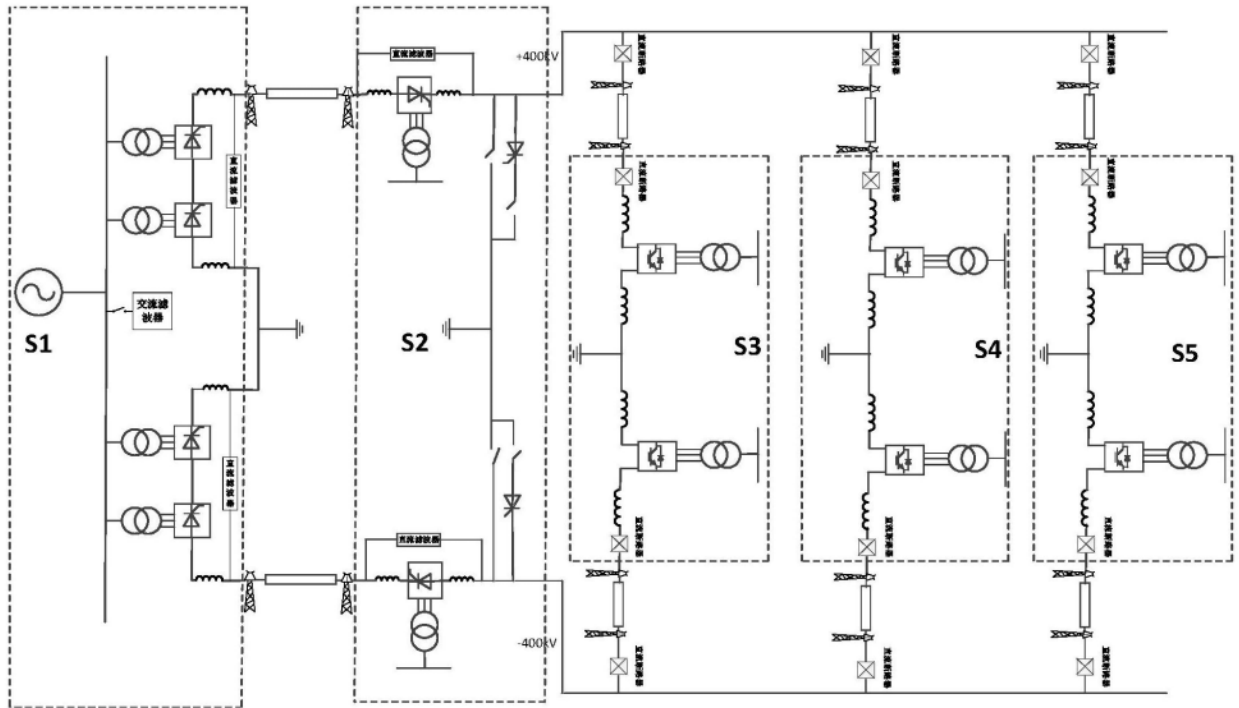


图4

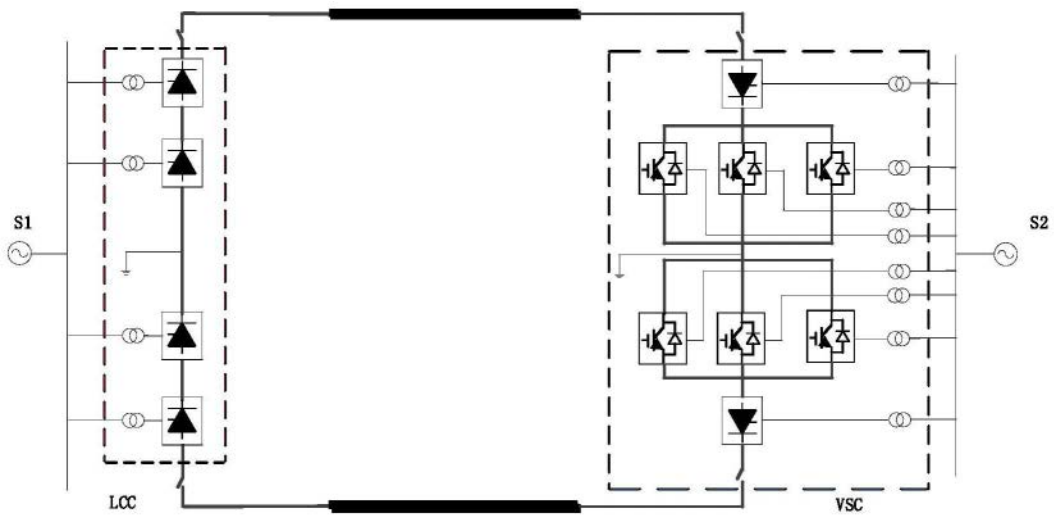


图5

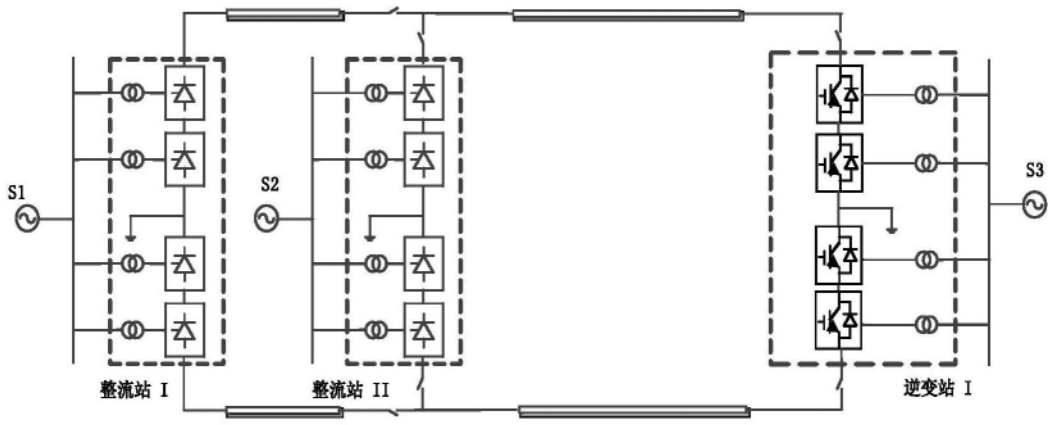


图6

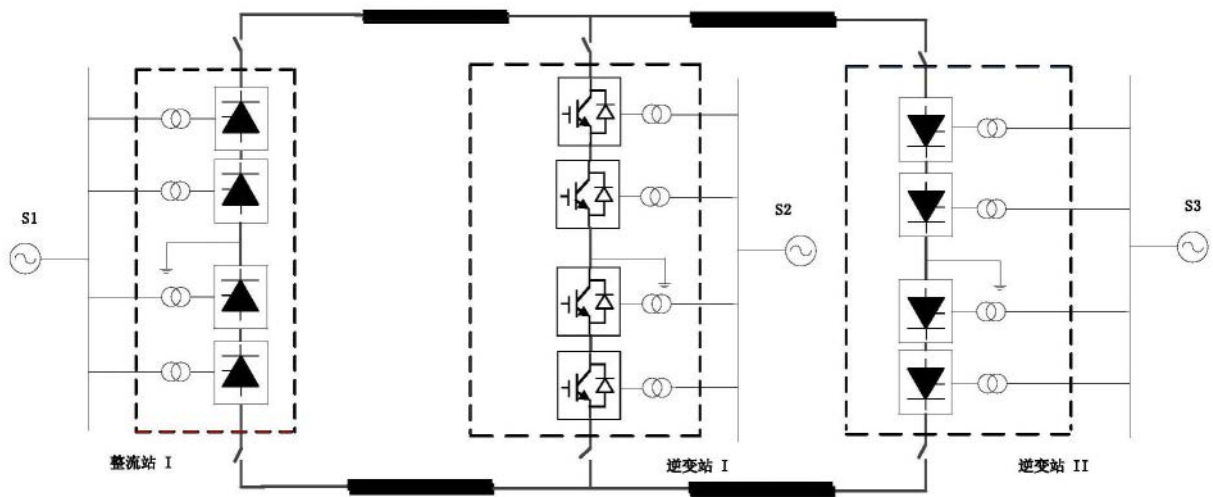


图7

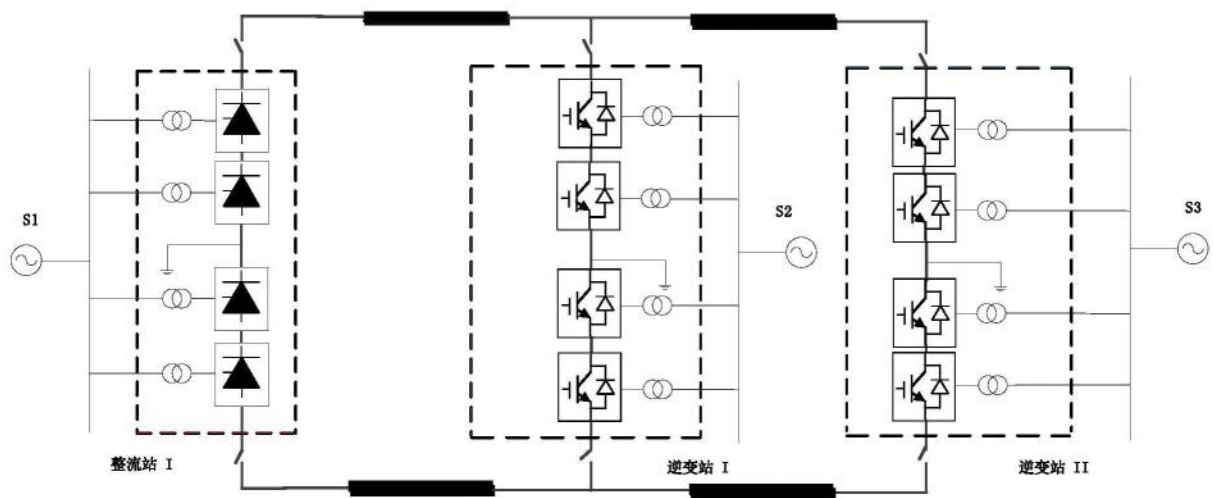


图8