



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109066760 B

(45)授权公告日 2020.06.30

(21)申请号 201810993139.9

审查员 孙璁

(22)申请日 2018.08.29

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109066760 A

(43)申请公布日 2018.12.21

(73)专利权人 东南大学

地址 210000 江苏省南京市江宁区东南大学路2号

(72)发明人 高丙团 杨志超 胡正阳

(74)专利代理机构 南京苏高专利商标事务所

(普通合伙) 32204

代理人 冯艳芬

(51)Int.Cl.

H02J 3/36(2006.01)

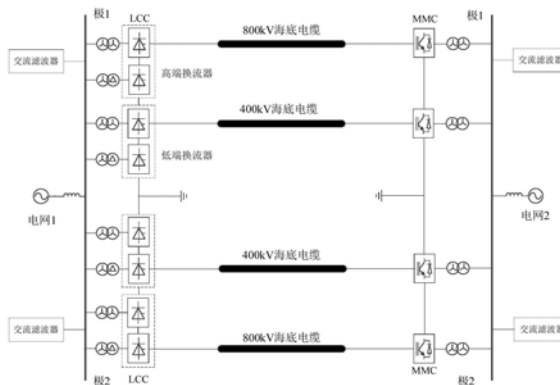
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种高中压侧均出直流线路的混合直流输电及均流控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种高中压侧均出直流线路的混合直流输电及均流控制方法,包括以下步骤:S1:基于直流柔性化改造以及400kV和800kV海底电缆并列运行特点,建立高中压侧均出直流线路的混合直流输电系统拓扑;S2:在所述混合直流输电系统拓扑基础上,考虑包括换流器的通流能力、直流功率指令的约束条件,建立海底电缆功率损耗模型;S3:对所述海底电缆功率损耗模型进行优化计算,获得通过400kV和800kV海底电缆的最优电流值,并根据最优电流值计算高、低端换流器的直流电流指令,进而实现均流控制。本发明一方面糅合常规换流器和柔性换流器的优点,另一方面保证整流侧高低端换流器的电流协调控制,实现该拓扑的可靠运行。



CN 109066760 B

1. 一种高中压侧均出直流线路的混合直流输电及均流控制方法, 其特征在于: 包括以下步骤:

S1: 基于直流柔性化改造思想以及400kV和800kV海底电缆并列运行特点, 建立高中压侧均出直流线路的混合直流输电系统拓扑, 所述拓扑包括位于整流侧的多个LCC换流器、位于逆变侧的多个MMC换流器以及多条400kV海底电缆和800kV海底电缆, 每个LCC换流器中的高端换流器通过一条800kV海底电缆与一个MMC换流器连接, 每个LCC换流器中的低端换流器通过一条400kV海底电缆与一个MMC换流器连接;

S2: 在所述混合直流输电系统拓扑基础上, 考虑包括换流器的通流能力、直流功率指令的约束条件, 建立海底电缆功率损耗模型, 具体为:

$$\min P_{Loss} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2$$

$$s.t. \begin{cases} P_{ref} = U_1 (I_1 + I_2) + U_2 I_2 \\ I_1 \leq I_{1max} \\ I_2 \leq I_{2max} \\ I_1 + I_2 \leq I_{LCCmax} \end{cases}$$

式中,  $P_{Loss}$  为海底电缆总功率损耗,  $R_1$ 、 $R_2$  分别为400kV和800kV海底电缆的电阻值;  $I_1$ 、 $I_2$  分别为流经400kV和800kV海底电缆的直流电流;  $I_{1max}$ 、 $I_{2max}$  分别为流经400kV和800kV海底电缆的最大电流值;  $P_{ref}$  为混合直流输电系统的功率指令值;  $U_2$ 、 $U_1$  分别为高、低端换流器的直流电压;  $I_{LCCmax}$  为低端换流器的最大电流值;

S3: 对所述海底电缆功率损耗模型进行优化计算, 获得通过400kV和800kV海底电缆的最优电流值, 并根据最优电流值计算高、低端换流器的直流电流指令, 进而实现均流控制。

2. 根据权利要求1所述的一种高中压侧均出直流线路的混合直流输电及均流控制方法, 其特征在于: 所述整流侧包括4个双12脉动LCC换流器, 采用定直流电流控制; 所述逆变侧包括4个半桥式子模块集成的MMC换流器, 采用定直流电压与定交流电压控制模式, 或者采用定直流电压与定无功功率控制模式。

3. 根据权利要求1所述的一种高中压侧均出直流线路的混合直流输电及均流控制方法, 其特征在于: 所述步骤S3中高、低端换流器的直流电流指令值具体为:

$$\begin{cases} I_{LCC\text{高端}} = I_2^* \\ I_{LCC\text{低端}} = I_1^* + I_2^* \end{cases}$$

式中,  $I_{LCC\text{高端}}$ 、 $I_{LCC\text{低端}}$  分别为高、低端换流器的直流电流指令值,  $I_1^*$ 、 $I_2^*$  分别为通过400kV和800kV海底电缆的最优直流电流。

## 一种高中压侧均出直流线路的混合直流输电及均流控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及输配电技术领域,尤其涉及一种高中压侧均出直流线路的混合直流输电及均流控制方法。

### 背景技术

[0002] 根据全球能源互联网研究院有限公司刘振亚主席提出的概念,全球电网互联将分三步完成:洲内电网互联、跨洲电网互联、全球电网互联。随着高压直流技术的发展和各国电力需求的增加,一系列前驱工程已经开始规划实施。目前,受制于直流海缆最高电压等级,跨国互联工程的直流电压等级不宜超过500kV。基于某跨国工程的规划方案,近期规划400kV国内换流站,通过400kV海底电缆将中国(送端LCC换流站)的电能输送至国外(受端MMC换流站);远期工程将在近期400kV直流工程的基础上,将直流电压提升至800kV以实现更多电能的输送。为避免线路浪费,远期工程将保留400kV海底电缆,因而构成了高中压侧均出直流线路的混合直流输电。

[0003] 这种混合直流输电拓扑不仅保留了常规换流器和柔性换流器的优点,同时还支持两种电压等级(400kV和800kV)的输出。不同于传统的双12脉动换流器的控制方式,该拓扑的高低端12脉动换流器连接不同直流线路,需要对高低端换流器分别配置相应的直流电流控制器。由于两种电压等级海缆的电阻值不同,800kV海底电缆阻值较小,因而考虑800kV海底电缆流过更多的直流电流,但受到换流器通流能力和功率限制,800kV海底电缆的直流电流不能无限制增大。因此,如何有效配置400kV和800kV海底电缆的直流电流对该拓扑的稳定运行至关重要。

### 发明内容

[0004] 发明目的:本发明针对现有技术存在的问题,提供一种高中压侧均出直流线路的混合直流输电及均流控制方法,一方面糅合常规换流器和柔性换流器的优点,另一方面保证整流侧高低端换流器的电流协调控制,实现该拓扑的可靠运行。

[0005] 技术方案:本发明所述的高中压侧均出直流线路的混合直流输电及均流控制方法包括以下步骤:

[0006] S1:基于直流柔性化改造思想以及400kV和800kV海底电缆并列运行特点,建立高中压侧均出直流线路的混合直流输电系统拓扑;

[0007] S2:在所述混合直流输电系统拓扑基础上,考虑包括换流器的通流能力、直流功率指令的约束条件,建立海底电缆功率损耗模型;

[0008] S3:对所述海底电缆功率损耗模型进行优化计算,获得通过400kV和800kV海底电缆的最优电流值,并根据最优电流值计算高、低端换流器的直流电流指令,进而实现均流控制。

[0009] 进一步的,步骤S1中建立的所述混合直流输电系统拓扑包括位于整流侧的多个LCC换流器、位于逆变侧的多个MMC换流器以及多条400kV海底电缆和800kV海底电缆,所述

LCC换流器中的高端换流器通过800kV海底电缆与MMC换流器连接,低端换流器通过400kV海底电缆与MMC换流器连接。具体的,所述整流侧包括4个双12脉动LCC换流器,采用定直流电流控制;所述逆变侧包括4个半桥式子模块集成的MMC换流器,采用定直流电压与定交流电压控制模式,或者采用定直流电压与定无功功率控制模式。

[0010] 进一步的,步骤S2中建立的海底电缆功率损耗模型具体为:

$$[0011] \quad \min P_{Loss} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2$$

$$[0012] \quad s.t. \begin{cases} P_{ref} = U_1(I_1 + I_2) + U_2 I_2 \\ I_1 \leq I_{1max} \\ I_2 \leq I_{2max} \\ I_1 + I_2 \leq I_{LCCmax} \end{cases}$$

[0013] 式中, $P_{Loss}$ 为海底电缆总功率损耗, $R_1$ 、 $R_2$ 分别为400kV和800kV海底电缆的电阻值; $I_1$ 、 $I_2$ 分别为流经400kV和800kV海底电缆的直流电流; $I_{1max}$ 、 $I_{2max}$ 分别为流经400kV和800kV海底电缆的最大电流值; $P_{ref}$ 为直流系统的功率指令值; $U_2$ 、 $U_1$ 分别为高、低端换流器的直流电压; $I_{LCCmax}$ 为低端换流器的最大电流值。

[0014] 进一步的,所述步骤S3中高、低端换流器的直流电流指令值具体为:

$$[0015] \quad \begin{cases} I_{LCC高端} = I_2^* \\ I_{LCC低端} = I_1^* + I_2^* \end{cases}$$

[0016] 式中, $I_{LCC高端}$ 、 $I_{LCC低端}$ 分别为高、低端换流器的直流电流指令值, $I_1^*$ 、 $I_2^*$ 分别为通过400kV和800kV海底电缆的最优直流电流。

[0017] 有益效果:本发明与现有技术相比,其显著优点是:本发明公开了一种高中压侧均出直流线路的混合直流输电及均流控制方法,该拓扑既兼顾常规换流器和柔性换流器的优点,又能实现两种直流电压的输出;分析单极系统的简化等效电路图,考虑将两种换流器的通流能力、功率水平、电压等级等参数作为约束条件,建立海底电缆功率损耗模型;通过优化算法解析海底电缆功率损耗模型,获得不同电压等级海底电缆的直流电流优化值,进一步推算出整流侧高低端换流器的直流电流指令值,进而合理配置高低端换流器控制器。在传统双12脉动换流器控制思路的基础上,提出了高低端换流器控制器单独配置的设计思想,基于海底电缆功率损耗最小的原则优化均流控制策略,实现高低端换流器及两条不同电压等级海缆的稳定运行和线损最小。

## 附图说明

[0018] 图1是高中压侧均出直流线路的混合直流输电系统拓扑图;

[0019] 图2是单极系统的简化等效电路图;

[0020] 图3是高、低端换流器的均流控制器配置框图。

## 具体实施方式

[0021] 本实施例公开了一种高中压侧均出直流线路的混合直流输电及均流控制方法,包括以下步骤:

[0022] S1:基于直流柔性化改造思想以及400kV和800kV海底电缆并列运行特点,建立高中压侧均出直流线路的混合直流输电系统拓扑。

[0023] 其中,如图1所示,所述混合直流输电系统拓扑包括位于整流侧的多个LCC换流器、位于逆变侧的多个MMC换流器以及多条400kV海底电缆和800kV海底电缆,所述LCC换流器中的高端换流器通过800kV海底电缆与MMC换流器连接,低端换流器通过400kV海底电缆与MMC换流器连接。具体的,所述整流侧包括4个双12脉动LCC换流器,采用定直流电流控制;所述逆变侧包括4个半桥式子模块集成的MMC换流器,采用定直流电压与定交流电压控制模式,或者采用定直流电压与定无功功率控制模式,双极系统的每一极均存在两条直流线路,分别为400kV和800kV。

[0024] S2:在所述混合直流输电系统拓扑基础上,考虑包括换流器的通流能力、直流功率指令的约束条件,建立海底电缆功率损耗模型。

[0025] 其中,考虑到400kV和800kV海底电缆的电阻值不同,对两条海缆的直流电流值进行合理分配,对图1拓扑进行简化,建立单极系统的等效电路图,如图2所示。将两种换流器的通流能力、功率水平、电压等级等参数作为约束条件,建立海底电缆功率损耗模型为:

$$[0026] \quad \min P_{Loss} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2$$

$$[0027] \quad s.t. \begin{cases} P_{ref} = U_1 (I_1 + I_2) + U_2 I_2 \\ I_1 \leq I_{1max} \\ I_2 \leq I_{2max} \\ I_1 + I_2 \leq I_{LCCmax} \end{cases}$$

[0028] 式中, $P_{Loss}$ 为海底电缆总功率损耗, $R_1$ 、 $R_2$ 分别为400kV和800kV海底电缆的电阻值; $I_1$ 、 $I_2$ 分别为流经400kV和800kV海底电缆的直流电流; $I_{1max}$ 、 $I_{2max}$ 分别为流经400kV和800kV海底电缆的最大电流值; $P_{ref}$ 为直流系统的功率指令值; $U_2$ 、 $U_1$ 分别为高、低端换流器的直流电压; $I_{LCCmax}$ 为低端换流器的最大电流值。

[0029] S3:对所述海底电缆功率损耗模型进行优化计算,获得通过400kV和800kV海底电缆的最优电流值,并根据最优电流值计算高、低端换流器的直流电流指令,进而实现均流控制。

[0030] 其中,高、低端换流器的直流电流指令值具体为:

$$[0031] \quad \begin{cases} I_{LCC高端} = I_2^* \\ I_{LCC低端} = I_1^* + I_2^* \end{cases}$$

[0032] 式中, $I_{LCC高端}$ 、 $I_{LCC低端}$ 分别为高、低端换流器的直流电流指令值, $I_1^*$ 、 $I_2^*$ 分别为通过400kV和800kV海底电缆的最优直流电流。

[0033] 将高、低端换流器控制器的直流电流指令值输入均流控制器中,均流控制器如图3所示,具体为:首先,控制器通过海底电缆功率损耗优化模型获得高、低端LCC换流器的直流电流整定值 $I_{LCC高端ref}$ 和 $I_{LCC低端ref}$ ,再从整流侧采集直流电流 $I_{LCC高端}$ 和 $I_{LCC低端}$ 并通过滤波环节,然后将 $I_{LCC高端ref}$ 和 $I_{LCC高端}$ 、 $I_{LCC低端ref}$ 和 $I_{LCC低端}$ 作差,作差后的信号通过PI环节得到 $\beta_{LCC高端}$ 和 $\beta_{LCC低端}$ (弧度),用 $\pi$ 减去 $\beta$ 后即可分别得到高、低端换流器的触发角指令 $\alpha_{LCC高端}$ 和 $\alpha_{LCC低端}$ 。

[0034] 通过引入均流控制器,能够实现不同电压等级海底电缆的单独控制,即单极双阀

组分别控制,并在经济层面上实现海底电缆的总功率损耗最小。

[0035] 以上所揭露的仅为本发明一种较佳实施例而已,不能以此来限定本发明之权利范围,因此依本发明权利要求所作的等同变化,仍属本发明所涵盖的范围。

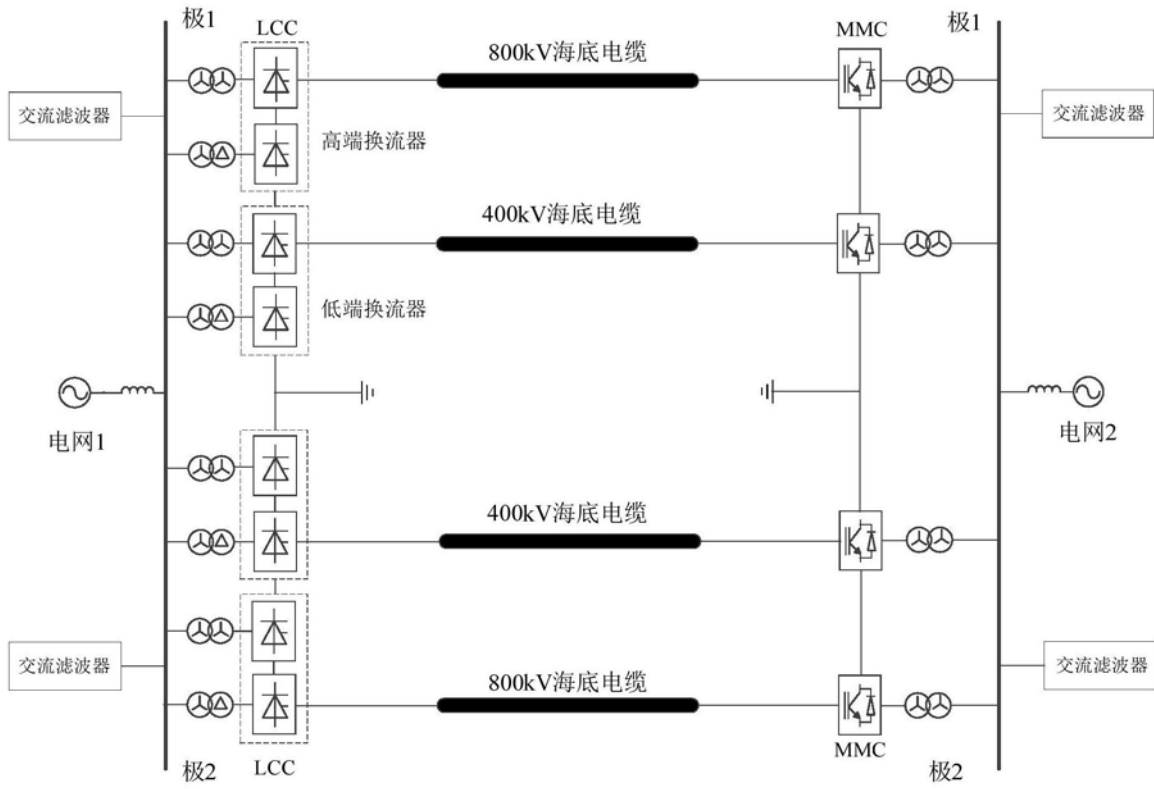


图1

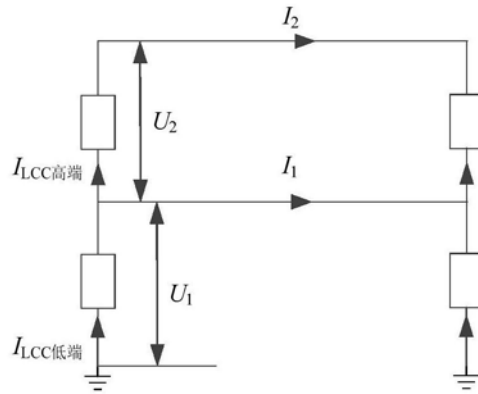


图2

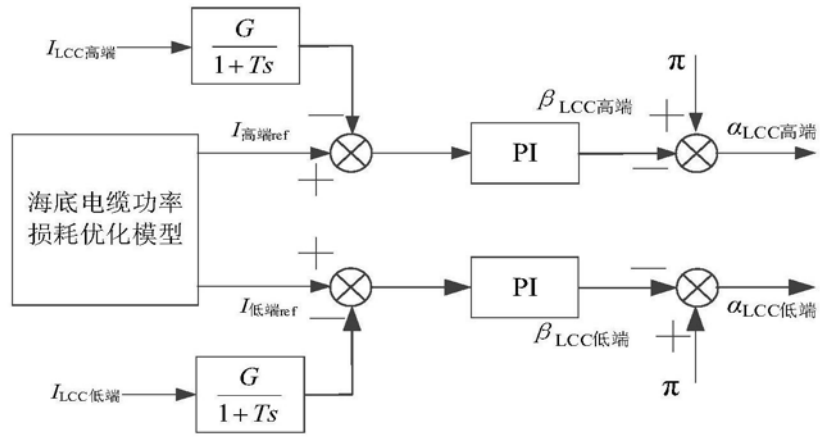


图3