



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106953351 B

(45)授权公告日 2019.08.02

(21)申请号 201710345313.4

H02J 3/24(2006.01)

(22)申请日 2017.05.16

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106953351 A

CN 106099907 A, 2016.11.09,
张志强等.大型互联区域电网解列后送端电
网频率特性及高频切机方案.《电网技术》.2015,
第39卷(第1期),第288-293页.

(43)申请公布日 2017.07.14

(73)专利权人 武汉大学
地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山
武汉大学

Urban Rudez等.WAMS-Based
Underfrequency Load Shedding With Short-
Term Frequency Prediction.《IEEE
Transactions on Power Delivery》.2015,第
1912-1920页.

(72)发明人 吴军 陈懿 刘涤尘 陈炜
王琪鑫 徐雨田 殷巧玲 周仕豪

审查员 秦媛倩

(74)专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务
所(特殊普通合伙) 42222

代理人 彭艳君

(51)Int.Cl.

H02J 3/36(2006.01)

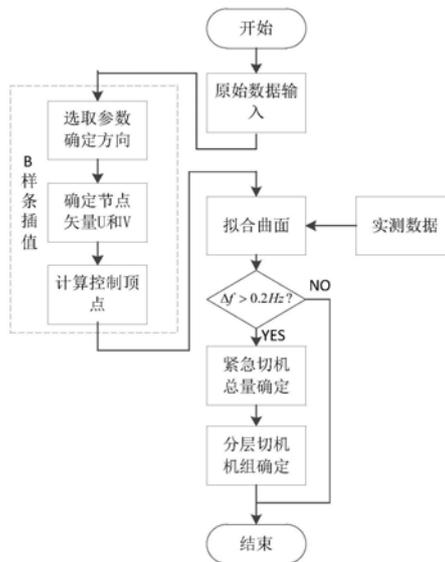
权利要求书1页 说明书7页 附图3页

(54)发明名称

一种应对直流故障的异步联网送端系统紧急控制方法

(57)摘要

本发明涉及电力系统稳定控制技术,具体涉及一种应对直流故障的异步联网送端系统紧急控制方法,包括以下步骤:步骤1,通过拟合曲面预测异步联网送端系统在直流故障下的系统暂态频率最大偏差,并以此作为启动紧急控制的判据;步骤2,根据功率平衡控制原理和预测系统暂态频率最大偏差求出紧急控制所需切机量,同时依据电源与发生紧急降功率故障直流换流器间的电气距离进行机组切除优先度排序,再进行机组有效切除。该紧急控制方法可以在直流故障发生的前期即可预测系统最大频率偏差,并采取相应措施,避免故障情况下系统频率超过临界状态进入紧急状态,有效增加系统稳定裕度,维持系统的可靠运行。



1. 一种应对直流故障的异步联网送端系统紧急控制方法,其特征是,包括以下步骤:

步骤1,通过拟合曲面预测异步联网送端系统在直流故障下的系统暂态频率最大偏差,并以此作为启动紧急控制的判据;

步骤2,根据功率平衡控制原理和预测系统暂态频率最大偏差求出紧急控制所需切机量,同时依据电源与发生紧急降功率故障直流换流器间的电气距离进行机组切除优先度排序,再进行机组有效切除;

步骤1的实现包括:

步骤1.1通过设置不同直流不同紧急降功率量来模拟不同故障,得到送端系统频率偏差曲线,从而获得用于拟合曲面的直流降功率量、临界时间以及送端系统暂态频率最大偏差的原始数据;

步骤1.2利用B样条插值曲面拟合方法对原始数据进行拟合,得到拟合曲面,在拟合曲面上,任意直流任意紧急降功率量情况下均对应拟合曲面上的一个矢量点;

步骤1.3根据在直流故障发生的前期通过监测直流降功率量和临界时间预测得到送端系统的暂态频率最大偏差,并以此作为紧急控制启动判据;

步骤2的实现包括:

步骤2.1紧急控制需要切除的量等于直流紧急降功率量减去送端系统在限定频率偏差范围内功率调节量,公式为: $P_c = \Delta P - \Delta f_{lim} \times \frac{\Delta P}{\Delta f_{max}} = (1 - \frac{\Delta f_{lim}}{\Delta f_{max}}) \Delta P$ (1), (1) 式中 P_c 为

紧急控制需要切除的量, ΔP 为直流紧急降功率量, Δf_{lim} 为送端系统允许的频率偏差, Δf_{max} 为送端系统暂态频率最大偏差;

步骤2.2将水电机组和新能源机组节点优先选为可控电源节点,并按照与发生紧急降功率故障直流换流器间的电气距离进行优先度排序,在节点内按整台数切除,实现分层切机控制;同时还选择某个主调频电厂作为比例可控机组,作为整切机组的补充措施;切除量

为 $P_G = \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=1}^{N_i} C_{i,j} + \sum_{j=1}^{N_m} C_{m,j} + \alpha P_f$ (2), (2) 式中, m 为实际切除机组涉及的节点数,

M 为送端系统内所有可切节点总数,且 $0 < m \leq M$; $C_{i,j}$ 为第 i 节点第 j 机组的出力水平, N_i 为第 i 节点可切机组的总数; $C_{m,j}$ 为第 m 个节点第 j 机组的出力水平, N_m 为第 m 个节点实际切除的机组数; α 为调频机组的控制比例系数,且 $0 < \alpha \leq 50\%$; P_f 为调频机组满载出力。

2. 如权利要求1所述的应对直流故障的异步联网送端系统紧急控制方法,其特征是,所述临界时间为送端系统频率偏差到达0.1Hz的时长。

3. 如权利要求1所述的应对直流故障的异步联网送端系统紧急控制方法,其特征是,步骤1.2所述拟合曲面为三维曲面。

4. 如权利要求1所述的应对直流故障的异步联网送端系统紧急控制方法,其特征是,步骤2.2所述送端系统允许的频率偏差 Δf_{lim} 为0.2Hz。

一种应对直流故障的异步联网送端系统紧急控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于电力系统稳定控制技术领域,尤其涉及一种应对直流故障的异步联网送端系统紧急控制方法。

背景技术

[0002] 异步联网运行方式削弱了送受端系统功率支援能力,导致在直流故障下送端系统频率稳定问题突出,因此送受端系统需要采取基于频率波动的功率控制措施。

[0003] 相较于依据频率动作的低频减载和高频切机的被动措施,主动性质的紧急切机切负荷方法具有预测控制特性,可以在系统频率达到临界值之前进行相应控制,增加系统稳定裕度,避免故障范围的扩大。但是目前涉及纯直流异步互联系统的紧急控制相关研究较少,且大部分控制是基于“离线仿真,在线匹配”对策表方式展开,对实时故障位置考虑不足,对控制地点、控制容量以及控制效果的研究不够深入,导致匹配度不高,实时控制效果差的现象。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提出一种结合功率平衡控制思想具有预测性的异步联网送端系统紧急切机控制方法,在直流故障发生的前期即可预测系统最大频率偏差,并采取相应措施,避免系统进入紧急状态,有效增加了系统稳定裕度,维持系统频率稳定运行。

[0005] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案是:一种应对直流故障的异步联网送端系统紧急控制方法,包括以下步骤:

[0006] 步骤1,通过拟合曲面预测异步联网送端系统在直流故障下的系统暂态频率最大偏差,并以此作为启动紧急控制的判据;

[0007] 步骤2,根据功率平衡控制原理和预测系统暂态频率最大偏差求出紧急控制所需切机量,同时依据电源与发生紧急降功率故障直流换流器间的电气距离进行机组切除优先级排序,再进行机组有效切除。

[0008] 在上述的应对直流故障的异步联网送端系统紧急控制方法中,步骤1的实现包括:

[0009] 步骤1.1通过设置不同直流不同紧急降功率量来模拟不同故障,得到送端系统频率偏差曲线,从而获得用于拟合曲面的直流降功率量、临界时间以及送端系统暂态频率最大偏差的原始数据;

[0010] 步骤1.2利用B样条插值曲面拟合方法对原始数据进行拟合,得到拟合曲面,在拟合曲面上,任意直流任意紧急降功率量情况下均对应拟合曲面上的一个矢量点;

[0011] 步骤1.3根据在直流故障发生的前期通过监测直流降功率量和临界时间预测得到送端系统的暂态频率最大偏差,并以此作为紧急控制启动判据。

[0012] 在上述的应对直流故障的异步联网送端系统紧急控制方法中,步骤2的实现包括:

[0013] 步骤2.1紧急控制需要切除的量等于直流紧急降功率量减去送端系统在限定频率

偏差范围内功率调节量,公式为: $P_c = \Delta P - \Delta f_{lim} \times \frac{\Delta P}{\Delta f_{max}} = (1 - \frac{\Delta f_{lim}}{\Delta f_{max}}) \Delta P$ (1), (1) 式中

P_c 为紧急控制需要切除的量, ΔP 为直流紧急降功率量, Δf_{lim} 为送端系统允许的频率偏差, Δf_{max} 为送端系统暂态频率最大偏差;

[0014] 步骤2.2将水电机组和新能源机组节点优先选为可控电源节点,并按照与发生紧急降功率故障直流换流器间的电气距离进行优先度排序,在节点内按整台数切除,实现分层切机控制;同时还选择某个主调频电厂作为比例可控机组,作为整切机组的补充措施;切

除量为 $P_G = \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=1}^{N_i} C_{i,j} + \sum_{j=1}^{N_m} C_{m,j} + \alpha P_f$ (2), (2) 式中, m 为实际切除机组涉及的节点

数, M 为送端系统内所有可切节点总数,且 $0 < m \leq M$; $C_{i,j}$ 为第 i 节点第 j 机组的出力水平, N_i 为第 i 节点可切机组的总数; $C_{m,j}$ 为第 m 个节点第 j 机组的出力水平, N_m 为第 m 个节点实际切除的机组数; α 为调频机组的控制比例系数,且 $0 < \alpha \leq 50\%$; P_f 为调频机组满载出力。

[0015] 在上述的应对直流故障的异步联网送端系统紧急控制方法中,所述临界时间为送端系统频率偏差到达0.1Hz的时长。

[0016] 在上述的应对直流故障的异步联网送端系统紧急控制方法中,步骤1.2所述拟合曲面为三维曲面。

[0017] 在上述的应对直流故障的异步联网送端系统紧急控制方法中,步骤2.2所述送端系统允许的频率偏差 Δf_{lim} 为0.2Hz。

[0018] 本发明的有益效果:

[0019] (1) 采用三次B样条曲面拟合实现作为启动判据的多变量条件下系统暂态频率最大偏差预测,在直流降功率的前期可以判定是否存在频率偏差越限危险;

[0020] (2) 根据功率平衡控制原理和预测得到的送端系统暂态频率最大偏差,可以计算出紧急切机总量,考虑了系统一次调频作用,避免了系统的过切或欠切,求解相对更为快速准确;

[0021] (3) 根据与发生紧急降功率故障直流换流器间的电气距离来对机组切除优先度排序,不同直流切除对策表不同,保证最佳切除效果;

[0022] (4) 相较于高频切机,有效降低了送端系统暂态频率偏差最大值,帮助系统频率快速恢复到稳定状态,同时能帮助其他直流恢复到额定运行状态,增加系统的备用及稳定裕度,加强应对后续故障的能力。

附图说明

[0023] 图1为本发明一个实施例直流故障下紧急切机方法流程图;

[0024] 图2为本发明一个实施例送端电网与受端电网异步联网运行示意图;

[0025] 图3为本发明一个实施例根据历史数据进行拟合得到的系统频率偏差曲面图;

[0026] 图4为本发明一个实施例同一直流故障下,不采取措施、采取高频切机和本实施例方法紧急切机措施的系统频率偏差对比图;

[0027] 图5为本发明一个实施例同一直流故障下,不采取措施、采取高频切机和本实施例方法紧急切机措施, JZ直流功率对比图;

[0028] 图6为本发明一个实施例同一直流故障下,不采取措施、采取高频切机和本文方法紧急切机措施,LX直流功率对比图。

具体实施方式

[0029] 下面结合附图对本发明的实施方式进行详细描述。

[0030] 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,仅用于解释本发明,而不能解释为对本发明的限制。

[0031] 下文的公开提供了许多不同的实施例或例子用来实现本发明的不同结构。为了简化本发明的公开,下文中对特定例子的部件和设置进行描述。它们仅仅为示例,并且目的不在于限制本发明。此外,本发明可以在不同例子中重复参考数字和/或字母。这种重复是为了简化和清楚的目的,其本身不指示所讨论各种实施例和/或设置之间的关系。此外,本发明提供了各种特定的工艺和材料的例子,但是本领域普通技术人员可以意识到其它工艺的可应用性和/或其他材料的使用。另外,以下描述的第一特征在第二特征之“上”的结构可以包括第一和第二特征形成直接接触的实施例,也可以包括另外的特征形成在第一和第二特征之间的实施例,这样第一和第二特征可能不是直接接触。

[0032] 本发明的描述中,需要说明的是,除非另有规定和限定,术语“相连”“连接”应做广义理解,例如,可以是机械连接或电连接,也可以是两个元件内部的连通,可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,对于相关领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语的具体含义。

[0033] 本实施例采用以下技术方案来实现,一种应对直流故障的异步联网送端系统紧急控制方法,包括以下步骤:

[0034] 步骤1,通过拟合曲面预测异步联网送端系统在直流故障下的系统暂态频率最大偏差,并以此作为启动紧急控制的判据;

[0035] 步骤2,根据功率平衡控制原理和预测系统暂态频率最大偏差求出紧急控制所需切机量,同时依据电源与发生紧急降功率故障直流换流器间的电气距离进行机组切除优先度排序,再进行机组有效切除。

[0036] 进一步,步骤1的实现包括:

[0037] 步骤1.1通过设置不同直流不同紧急降功率量来模拟不同故障,得到送端系统频率偏差曲线,从而获得用于拟合曲面的直流降功率量、临界时间以及送端系统暂态频率最大偏差的原始数据;

[0038] 步骤1.2利用B样条插值曲面拟合方法对原始数据进行拟合,得到拟合曲面,在拟合曲面上,任意直流任意紧急降功率量情况下均对应拟合曲面上的一个矢量点;

[0039] 步骤1.3根据在直流故障发生的前期通过监测直流降功率量和临界时间预测得到送端系统的暂态频率最大偏差,并以此作为紧急控制启动判据。

[0040] 在上述的应对直流故障的异步联网送端系统紧急控制方法中,步骤2的实现包括:

[0041] 步骤2.1紧急控制需要切除的量等于直流紧急降功率量减去送端系统在限定频率

偏差范围内功率调节量,公式为:
$$P_c = \Delta P - \Delta f_{lim} \times \frac{\Delta P}{\Delta f_{max}} = (1 - \frac{\Delta f_{lim}}{\Delta f_{max}}) \Delta P \quad (1),$$
 (1) 式中

P_c 为紧急控制需要切除的量, ΔP 为直流紧急降功率量, Δf_{lim} 为送端系统允许的频率偏差, Δf_{max} 为送端系统暂态频率最大偏差;

[0042] 步骤2.2将水电机组和新能源机组节点优先选为可控电源节点,并按照与发生紧急降功率故障直流换流器间的电气距离进行优先度排序,在节点内按整台数切除,实现分层切机控制;同时还选择某个主调频电厂作为比例可控机组,作为整切机组的补充措施;切除

除量为 $P_G = \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=1}^{N_i} C_{i,j} + \sum_{j=1}^{N_m} C_{m,j} + \alpha P_f$ (2), (2)式中, m 为实际切除机组涉及的节点

数, M 为送端系统内所有可切节点总数,且 $0 < m \leq M$; $C_{i,j}$ 为第 i 节点第 j 机组的出力水平, N_i 为第 i 节点可切机组的总数; $C_{m,j}$ 为第 m 个节点第 j 机组的出力水平, N_m 为第 m 个节点实际切除的机组数; α 为调频机组的控制比例系数,且 $0 < \alpha \leq 50\%$; P_f 为调频机组满载出力。

[0043] 进一步,所述临界时间为送端系统频率偏差到达0.1Hz的时长。

[0044] 进一步,步骤1.2所述拟合曲面为三维曲面。

[0045] 更进一步,步骤2.2所述送端系统允许的频率偏差 Δf_{lim} 为0.2Hz。

[0046] 具体实施时,如图1所示,一种应对直流故障的异步联网送端系统紧急控制方法,包括步骤:

[0047] S1,通过拟合曲面预测异步联网送端系统在直流紧急降功率故障下的送端系统暂态频率最大偏差,并以此作为启动紧急控制方法的判据,具体步骤为:

[0048] S1.1通过设置不同直流不同紧急降功率量来模拟不同故障,得到送端系统频率偏差曲线,从而获得用于拟合曲面的直流降功率量、临界时间(即送端系统频率偏差到达0.1Hz的时长)以及送端系统暂态频率最大偏差的原始数据;

[0049] S1.2利用B样条插值曲面拟合方法对原始数据进行拟合,得到三维曲面,在该拟合曲面上,任意直流任意紧急降功率量情况下均对应拟合曲面上的一个矢量点;

[0050] S1.3根据在直流故障发生的前期通过监测直流降功率量和临界时间预测得到送端系统的暂态频率最大偏差,并以此作为紧急切机启动判据;

[0051] S2,送端系统紧急控制策略,具体为:

[0052] S2.1根据功率平衡控制原理和预测暂态频率最大偏差求出紧急控制所需切机量,基于功率平衡原理,紧急控制需要切除的量等于送端系统扰动量减(本实施例所述方法中指直流紧急降功率量)去送端系统在限定频率偏差范围内功率调节量,即 $P_c = \Delta P - \Delta P_1$, ΔP 代表直流紧急降功率量, ΔP_1 代表送端系统在限定频差范围内功率调节量, $\Delta P_1 = \Delta f_{lim} \times K$, Δf_{lim} 代表送端系统允许的频率偏差,采用0.2Hz, K 表示的是送端系统暂态频率特性系数,表征的是送端系统由机组和负荷作用而产生的调节频率的能力,其值等于电力系统发

生直流紧急降功率量与其所发生的暂态频率最大偏差的相对值之比,即 $K = \frac{\Delta P}{\Delta f_{max}}$, Δf_{max}

代表送端系统暂态频率最大偏差,可以通过预测方法在故障发生初始阶段提前求得,根据

上述分析切除总量为 $P_c = \Delta P - \Delta f_{lim} \times \frac{\Delta P}{\Delta f_{max}} = (1 - \frac{\Delta f_{lim}}{\Delta f_{max}}) \Delta P$ (1)。

[0053] S2.2依据电源与发生紧急降功率故障直流换流器间的电气距离进行机组切除优

先度排序,进行机组有效切除,保证切除效果最佳。本实施例将水电机组和新能源机组节点优先选为可控电源节点,并按照与发生紧急降功率故障直流换流器间的电气距离进行优先度排序,在节点内按整台数切除,实现分层切机控制。此外,选择某个主调频电厂作为比例

可控机组,作为整切机组的补充措施。则切除量为:
$$P_G = \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=1}^{N_i} C_{i,j} + \sum_{j=1}^{N_m} C_{m,j} + \alpha P_f \quad (2),$$

(2) 式中, m 为实际切除机组涉及的节点数, M 为送端系统内所有可切节点总数, $0 < m \leq M$; $C_{i,j}$ 为第 i 节点第 j 机组的出力水平, N_i 为第 i 节点可切机组的总数; $C_{m,j}$ 为第 m 个节点第 j 机组的出力水平, N_m 为第 m 个节点实际切除的机组数; α 为调频机组的控制比例系数, 一般 $0 < \alpha \leq 50\%$; P_f 为调频机组满载出力。

[0054] S3:以实际送端系统暂态频率最大偏差、频率到达稳态时间以及直流FLC恢复至额定状态时间为指标,与送端系统采用高频切机控制进行对比,评价本实施例紧急控制方法的有效性。

[0055] 下面以某一送受端异步联网运行的系统为例,作进一步详细说明,送端电网装机容量为83639MW,丰大方式下负荷为18200MW,与受端电网通过7条直流线路异步联网运行,直流总输电容量24000MW(其中CS直流5000MW,PX直流5000MW,YF直流2400MW,NC双回直流6400MW,JZ直流3200MW,LX直流2000MW),异步联网运行示意图如图2所示。

[0056] 具体步骤如下:

[0057] 1,采用运行在丰大极限模式下的BPA等值模型进行仿真获得拟合需要的原始数据。对CS直流、PX直流以及YF直流采取800MW~2400MW不等的直流紧急降功率故障,得到送端电网的频率特性曲线。选择重要节点BF50kV点对频率偏差进行观测。根据各种情况下的送端电网频率特性曲线,可以得到直流紧急降功率量,临界时间,送端系统暂态频率最大偏差,记录在表1中。

[0058] 表1不同直流降功率数据统计

直流名称		CS 直流				
紧急降功率量/MW		800	1200	1600	2000	2400
临界时间/s		1.32	0.91	0.7	0.58	0.49
送端系统暂态频率最大偏差/Hz		0.192	0.246	0.301	0.364	0.46
直流名称		PX 直流				
紧急降功率量/MW		800	1200	1600	2000	2400
临界时间/s		1.26	0.77	0.58	0.48	0.37
送端系统暂态频率最大偏差/Hz		0.199	0.255	0.317	0.391	0.496
直流名称		YF 直流				
紧急降功率量/MW		800	1200	1600	2000	2400
临界时间/s		1.48	1.01	0.76	0.61	0.50
送端系统暂态频率最大偏差/Hz		0.182	0.234	0.285	0.342	0.419

[0060] 1.2使用Matlab2014b软件,对表1中的数据采用B样条插值方法进行曲面拟合,得到如图3所示的三维曲面,在该拟合曲面上,任意直流任意紧急降功率量情况下均对应曲面上的一个矢量点;

[0061] 1.3根据在直流故障发生的前期通过监测降功率量和临界时间预测得到送端系统

的暂态频率最大偏差,并以此作为紧急切机启动判据,本系统容量超过3000MW,允许的频率偏差为0.2Hz。

[0062] 设置PX直流紧急降功率700MW,监测得到到达0.1Hz频差时长为1.71s,根据B样条拟合曲面预测得到系统暂态频率最大偏差为0.185Hz,未到达启动要求,则不需要采取紧急降功率措施。

[0063] 设置CS直流降功率3000MW,监测得到到达0.1Hz的时长为0.58s,根据B样条拟合曲面,预测得到送端系统暂态频率最大偏差为0.674,大于临界频差,启动送端紧急切机控制;

[0064] 2,针对CS直流降功率3000MW送端系统紧急控制策略,具体步骤为:

[0065] 2.1根据功率平衡控制原理和预测系统暂态频率最大偏差求出送端紧急控制所需

切机量,得到送端切机总量为,
$$P_c = (1 - \frac{\Delta f_{lim}}{\Delta f_{max}}) \Delta P \approx 2110 \text{ MW}$$
 ;

[0066] 2.2依据电源与发生紧急降功率故障直流换流器间的电气距离进行机组切除优先级排序,进行机组有效切除,保证切除效果最佳。根据电源与CS直流间的电气距离,得到应对CS直流降功率的切机策略表如表2所示。

[0067] 表2 CS直流降功率时分层切机控制方案

[0068] Table 2 Hierarchical emergency generator tripping control strategy when CS HVDC drops power

控制节点	控制机组	切除功率/MW	总功率/MW
XW电厂	XW电厂1#机	700	2100
	XW电厂2#机	700	
	XW电厂3#机	700	
JAQ电厂	JAQ电厂1#机	600	1200
	JAQ电厂2#机	600	
GGQ电厂	GGQ电厂1#机	200	400
	GGQ电厂2#机	200	
总计			3700
XW电厂 调频机组	XW电厂4#机	0~700	0~700

[0070] 根据表2,分层切机策略为切XW电厂1#机、2#机、3#机,并利用主调频电厂进行频率协调控制,减少10MW出力。

[0071] 3,以实际系统暂态频率最大偏差、频率到达稳态时间以及直流FLC恢复至额定状态时间为指标,与系统采用高频切机控制进行对比,评价本实施例紧急控制方法的有效性。根据系统的原有的高频切机策略,共切负荷1175MW,对比本实施例紧急控制方法,得到送端电网的频率曲线如图4所示,以及具有FLC上调能力的JZ直流和LX直流输出功率曲线如图5和图6所示。

[0072] 表3对高频切机和紧急切机的性能效果进行了对比。

[0073] 表3不同控制方法效果对比

[0074] Table 3 Comparison of different control methods

	无措施	高频切机	紧急切机
[0075] 送端系统暂态频率最大偏差/Hz	0.674	0.507	0.201
频率稳定时长/s	69	62	20
FLC 恢复时间/s	24	—	—

[0076] 表3说明,虽然原有高频切机动作使频率偏差有所减小,但是高频切机根据实际到达频率偏差阈值启动,启动时系统已处于紧急状态,因此送端系统暂态频率最大偏差依旧高达0.507Hz,且轮次切机,为防止频率恶化设定的切除量较少,频率到达稳态时间长达69s,稳态频差偏差并未有实质性的改善,依旧高达0.1Hz。而本实施例所采用的紧急控制方法,可以提前预测偏差,在频率偏差未达到限值时就优先切除超量功率,使得频率偏差控制在合理范围内,送端系统暂态频率最大偏差仅为0.201Hz,且未启动高频切机措施,仅20s使频率保持稳定,稳态频率偏差也控制在0.05Hz以内。图5和图6表明,采取高频切机后,其他直流的FLC,运行在最大直流输出功率时间减少,所需支撑量减少,但是依旧需要长时间处于过载运行状态,不利于直流器件寿命,削弱了系统的稳定裕度。而采用本实施例的紧急切机措施后,其他直流的FLC并未达到最大运行状态,且能快速回到正常运行状态,保证系统备用充足,足以抵抗后续故障。从表3中两者切机措施效果对比可得,本实施例紧急控制方法的紧急切机措施效果优于高频切机,使频率快速有效的恢复稳定。

[0077] 应当理解的是,本说明书未详细阐述的部分均属于现有技术。

[0078] 虽然以上结合附图描述了本发明的具体实施方式,但是本领域普通技术人员应当理解,这些仅是举例说明,可以对这些实施方式做出多种变形或修改,而不背离本发明的原理和实质。本发明的范围仅由所附权利要求书限定。

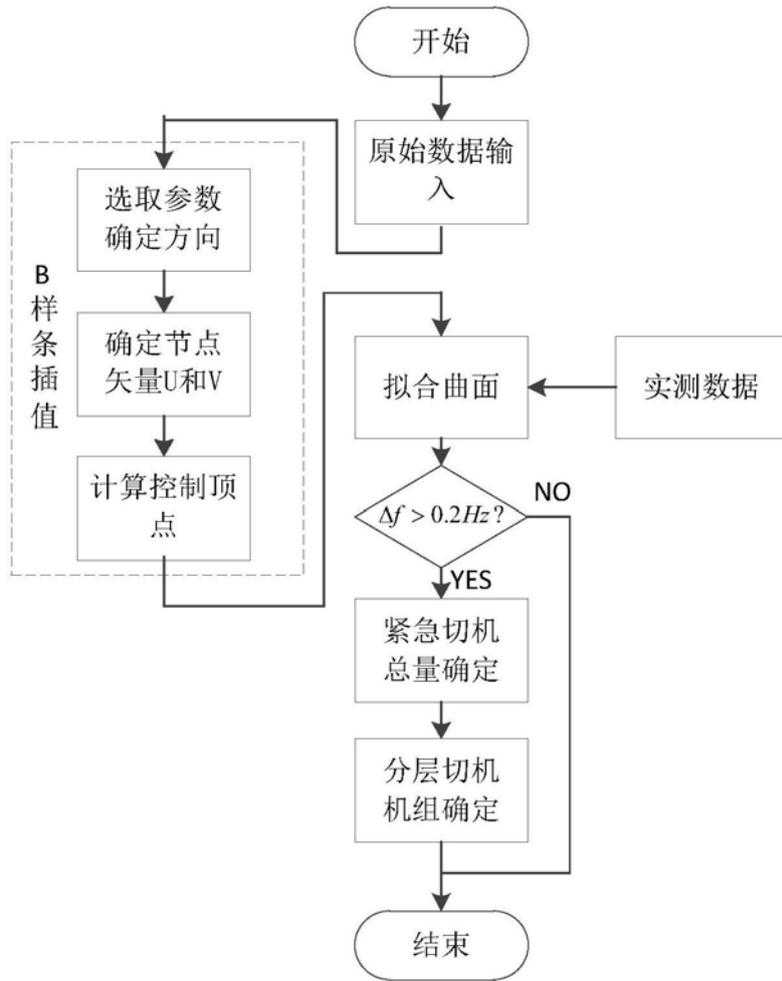


图1

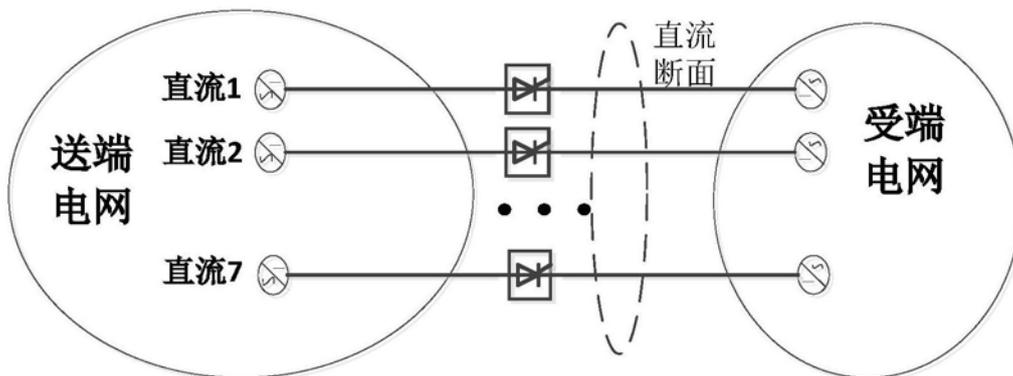


图2

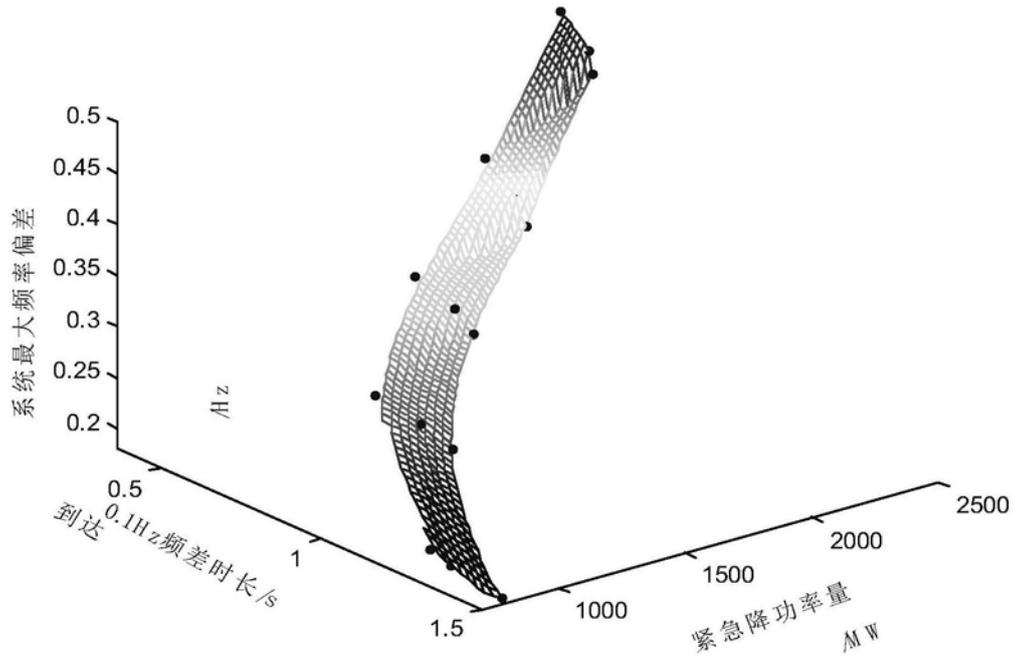


图3

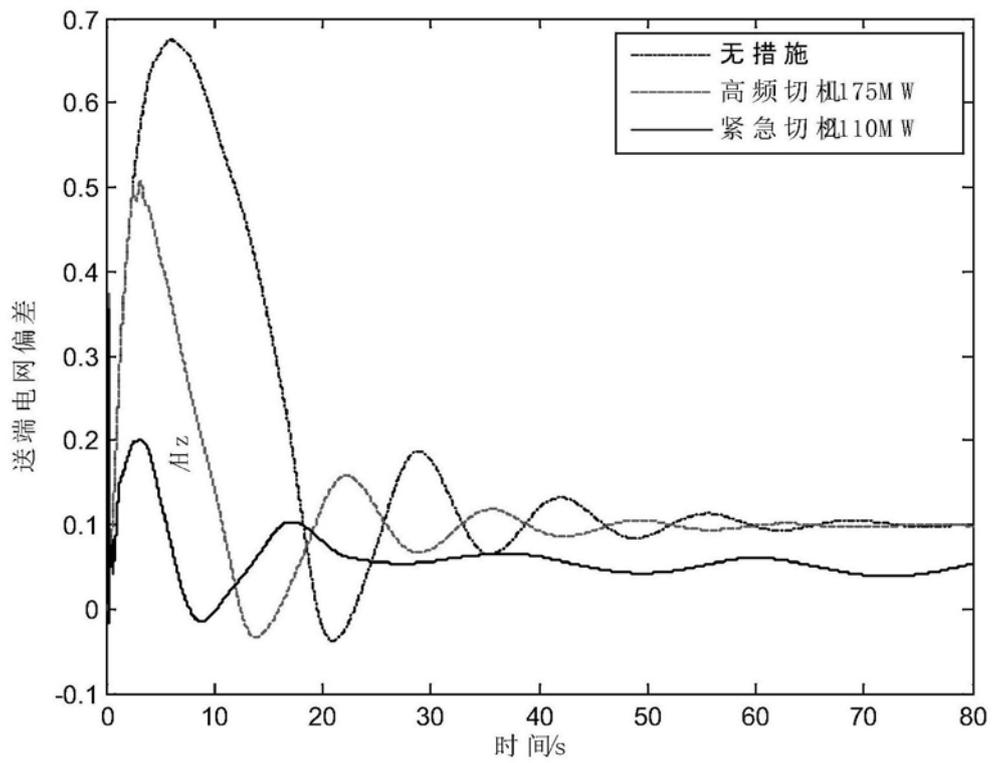


图4

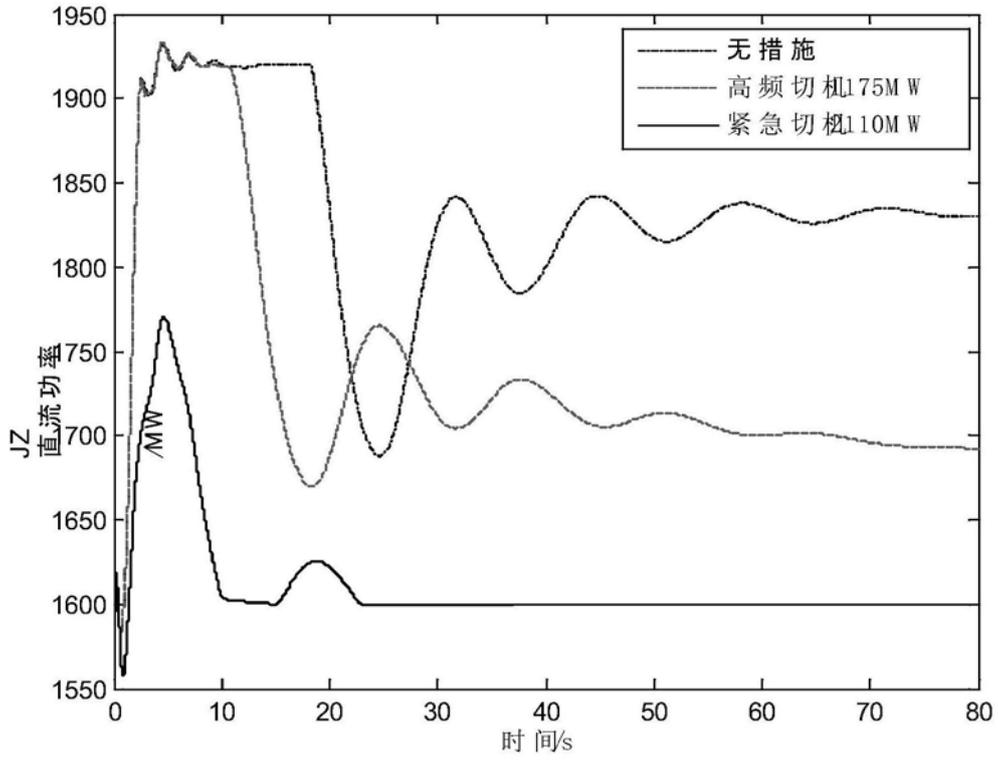


图5

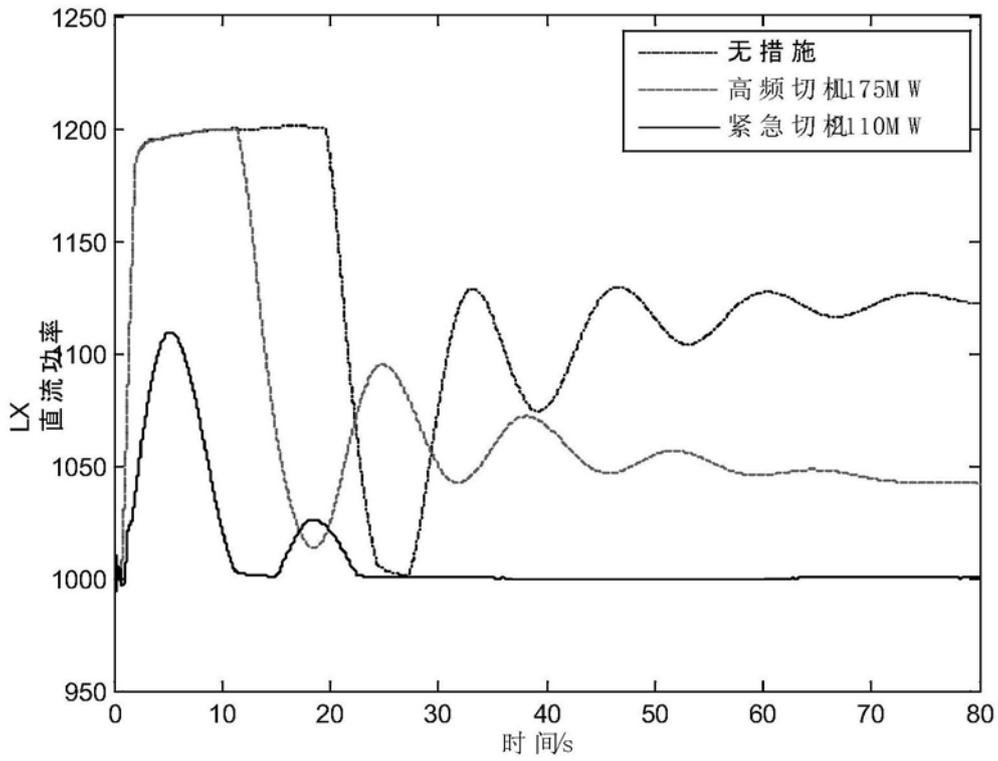


图6