



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103065016 A

(43) 申请公布日 2013.04.24

(21) 申请号 201310004868.4

(22) 申请日 2013.01.07

(71) 申请人 华南理工大学

地址 510640 广东省广州市天河区五山路  
381号

申请人 中国南方电网有限责任公司超高压  
输电公司

(72) 发明人 蔡泽祥 李晓华 王朝硕 杨欢欢  
徐敏

(74) 专利代理机构 广州科粤专利商标代理有限  
公司 44001

代理人 黄培智

(51) Int. Cl.

G06F 17/50(2006.01)

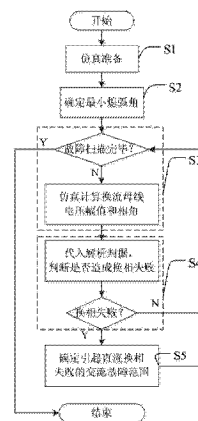
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

确定引起直流换相失败的交流系统故障范围的方法及系统

(57) 摘要

本发明公开了一种确定引起直流换相失败的交流系统故障范围的方法及系统,其方法步骤为:首先确定所要评估的交流电网范围和电网数据;其次确定最小熄弧角;然后利用短路电流计算程序对交流电网范围内的故障遍历,计算交流电网故障时换流母线的电压幅值和相角偏移;再计算出对应故障下的熄弧角;最后评估交流故障影响直流换相失败的范围。采用本发明为换相失败的判别提供了一种高效、精确的方法,使得评估效率较现有评估方法大为提高,对于运行人员掌握、评估交直流系统的运行状态。



1. 一种确定引起直流换相失败的交流系统故障范围的方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤 S1、仿真准备,确定所要评估的交流电网范围和电网数据;

步骤 S2、确定最小熄弧角;

步骤 S3、利用电力系统短路电流计算程序对交流电网范围内的故障遍历,计算交流电网故障时换流母线的电压幅值和相角偏移;

步骤 S4、根据换流阀的熄弧角与换流母线电压之间的关系计算出对应故障下的熄弧角,若其值小于熄弧角的整定值则判定引起直流换相失败,否则不会引起换相失败;

步骤 S5、评估交流故障影响直流换相失败的范围,根据步骤 S4 的判别结果,将交流故障范围划分为必然会引起直流换相失败、可能会引起直流换相失败和必然不会引起直流换相失败三个方面,从而评估交流故障影响直流换相失败的范围。

2. 根据权利要求 1 所述的确定引起直流换相失败的交流系统故障范围的方法,其特征在于,只需利用短路电流计算程序和换相失败解析判据即可完成,不依赖于直流系统的模型,实现了交直流系统的解耦分析。

3. 根据权利要求 1 所述的确定引起直流换相失败的交流系统故障范围的方法,其特征在于,根据换流阀的熄弧角与换流母线电压之间的关系为:

$\gamma = \arccos[(\cos \gamma_0 - \cos \beta_0) * \frac{U_{[0]}}{U} + \cos(\beta_0 - \Delta\varphi_u)] + \Delta\varphi_u$ , 式中:  $U_{[0]}$  为故障前逆变站母线电压幅值;  $\gamma_0$  为故障前稳态运行的直流熄弧角;  $\beta_0$  为故障前直流越前触发角;  $U$  为故障后逆变站母线电压幅值;  $\gamma$  为故障后直流熄弧角;  $\Delta\varphi_u$  为故障前后逆变站母线电压相位的前移角度。

4. 一种确定引起直流换相失败的交流系统故障范围的系统,其特征在于,包括:

实现利用短路计算模块对所要考虑的交流电网内的故障进行遍历扫描的功能,从而得到直流换流母线处的电压幅值和相角偏移的仿真模块;

利用仿真模块的仿真输出结果,主要是换流母线的电压幅值和相角偏移,代入判据,计算熄弧角,判断相应的交流系统故障是否会造成直流换相失败的解析模块;

确定引起直流换相失败的交流系统故障范围的功能的评估模块。

## 确定引起直流换相失败的交流系统故障范围的方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及高压直流输电领域,尤其涉及的是一种确定引起直流换相失败的交流系统故障范围的方法及系统。

### 背景技术

[0002] 高压直流输电在技术和经济上具有独特的优势,在远距离、大容量输电和大区域联网方面得到了广泛的应用。但是其在带来巨大经济利益的同时,也使得电网结构更加复杂,交、直流系统之间的相互作用在技术上和管理上给电网运行人员带了了巨大的挑战。换相失败作为交直流动态相互作用的一种重要形式,其中尤其以交流系统故障引起的直流换相失败最为常见,是目前研究最为深入和最受关切的交直流相互作用问题。因此,评估交流系统不同故障位置、不同故障类型对直流换相失败的影响,确定引起直流换相失败的交流系统故障范围,对于运行人员掌握电网运行状态,保证日益扩大的交直流互联系统的安全稳定运行具有重要现实意义。

[0003] 换相失败是交直流系统之间动态相互作用的结果,其发生过程非常复杂,不但与直流系统的运行方式、控制等密切相关,还与交流系统的网架结构和运行方式有关。目前确定引起直流换相失败的交流系统故障集的研究手段主要是采用 PSCAD/EMTDC、RTDS 等电磁暂态仿真程序进行仿真,对交流电网进行等值后,通过建立交直流系统的详细模型,仿真实际换流阀的换相动态过程,从而确定交流系统故障是否会引起直流换相失败。这种方法虽然较为精确,但是由于受限于电网规模和仿真资源,其工程应用受到很大的限制。另一方面,BPA 等电力系统暂态稳定仿真程序,也可以用来研究交直流的相互作用,其交流系统模型较为详细,直流系统则采用准稳态模型,计算效率比电磁暂态仿真程序高 2~3 个数量级,但是由于直流系统采用了较为简单的准稳态模型,其对直流换相失败的判断准确度较差,工程实用性不够。因此,如何确定引起直流换相失败的交流系统故障范围目前仍缺乏一套简洁、高效且工程实用性较强的评估方法和系统。

[0004] 现有方案一

[0005] 基于 PSCAD/EMTDC、RTDS 等电力系统电磁暂态仿真程序,对交流系统进行一定程度的等值后,建立交直流互联电网的详细电磁暂态模型,其中换流器的详细模型可以仿真实际换流阀的换相动态过程,通过监测换流阀的电流曲线可以判定交流电网故障是否会引引起直流换相失败,从而确定引起直流换相失败的交流系统故障范围。

[0006] 现有方案二

[0007] 基于 BPA 等电力系统暂态稳定仿真程序,在交流电网中不同位置设置不同类型故障,其中直流系统为准稳态模型,根据交流故障引起的换流母线电压幅值跌落计算换流阀的熄弧角,进而判断该交流故障是否会引引起直流换相失败,从而确定引起直流换相失败的交流系统故障范围。

[0008] 现有方案一的缺点:

[0009] 基于 PSCAD/EMTDC、RTDS 等电磁暂态仿真确定交流系统故障是否会引引起直流换相

失败,是建立在对交流和直流系统详细建模的基础上,其计算过程耗时多,存取数据量大,数值稳定性要求高,且随着电网规模的扩大,计算耗时和数据存取成倍增加,即使是采用动态等值,对交直流互联大系统进行电磁暂态仿真也是不符合工程实际应用要求的。

[0010] 现有方案二的缺点:

[0011] BPA 等暂态稳定仿真程序由于直流系统采用了较为简单的准稳态模型,仅考虑了换流母线电压幅值跌落对换相失败的影响,导致其对直流换相失败的判断准确度较差,特别是当交流系统发生不对称故障时,换流母线的电压不再对称,相位偏移对换相失败的作用不容忽略,则换相失败的判断准确度会进一步降低,无法满足工程实用性的要求。

[0012] 因此,现有技术还有待于改进和发展。

## 发明内容

[0013] 本发明的目的在于提供一种确定引起直流换相失败的交流系统故障范围的方法及系统,旨在解决现有的计算过程耗时多,存取数据量大,数值稳定性要求高,判断准确度较差的问题。

[0014] 本发明的技术方案如下:一种确定引起直流换相失败的交流系统故障范围的方法,其包括以下步骤:

[0015] 步骤 S1、仿真准备,确定所要评估的交流电网范围和电网数据;

[0016] 步骤 S2、确定最小熄弧角;

[0017] 步骤 S3、利用电力系统短路电流计算程序对交流电网范围内的故障遍历,计算交流电网故障时换流母线的电压幅值和相角偏移;

[0018] 步骤 S4、根据换流阀的熄弧角与换流母线电压之间的关系计算出对应故障下的熄弧角,若其值小于熄弧角的整定值则判定引起直流换相失败,否则不会引起换相失败;

[0019] 步骤 S5、评估交流故障影响直流换相失败的范围,根据步骤 S4 的判别结果,将交流故障范围划分为必然会引起直流换相失败、可能会引起直流换相失败和必然不会引起直流换相失败三个方面,从而评估交流故障影响直流换相失败的范围。

[0020] 所述的确定引起直流换相失败的交流系统故障范围的方法,其中,对交流电网范围内的故障遍历范围包括单相接地、两相短路、两相短路接地和三相接地。

[0021] 所述的确定引起直流换相失败的交流系统故障范围的方法,其中,根据换流阀的熄弧角与换流母线电压之间的关系为:

[0022]

$$\gamma = \arccos[(\cos \gamma_0 - \cos \beta_0) * \frac{U_{[0]}}{U} + \cos(\beta_0 - \Delta\varphi_u)] + \Delta\varphi_u$$

[0023] 式中: $U_{[0]}$ 为故障前逆变站母线电压幅值; $\gamma_0$ 为故障前稳态运行的直流熄弧角; $\beta_0$ 为故障前直流越前触发角; $U$ 为故障后逆变站母线电压幅值; $\gamma$ 为故障后直流熄弧角; $\Delta\varphi_u$ 为故障前后逆变站母线电压相位的前移角度。

[0024] 所述的确定引起直流换相失败的交流系统故障范围的方法,其中,熄弧角最小临界值整定为  $18^\circ$ 。

[0025] 一种确定引起直流换相失败的交流系统故障范围的系统,其包括:

[0026] 实现利用短路计算模块对所要考虑的交流电网内的故障进行遍历扫描的功能,从

而得到直流换流母线处的电压幅值和相角偏移的仿真模块；

[0027] 利用仿真模块的仿真输出结果，主要是换流母线的电压幅值和相角偏移，代入判据，计算熄弧角，判断相应的交流系统故障是否会造成直流换相失败的解析模块；

[0028] 确定引起直流换相失败的交流系统故障范围的功能的评估模块。

[0029] 本发明的有益效果：本发明只需利用短路电流计算程序和换相失败解析判据即可完成，不依赖于直流系统的模型，实现了交直流系统的解耦分析，为换相失败的判别提供了一种高效、精确的方法，使得评估效率较现有评估方法大为提高，对于运行人员掌握、评估交直流系统的运行状态，及时采取措施进行运行状态的改善，以及制定相应的紧急预案，减少后继换相失败的发生，从而减小对交流电网的冲击，保证交直流互联系统的安全运行都具有重大意义。

### 附图说明

[0030] 图 1 是本发明提供的方法的步骤流程图。

[0031] 图 2 是本发明提供的系统框图。

### 具体实施方式

[0032] 为使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚、明确，以下参照附图并举实施例对本发明进一步详细说明。

[0033] 在电力系统的短路电流计算程序中，交流系统故障时，直流系统不提供短路电流，相当于开路，因此换流母线处的电压幅值和相角不受直流系统的影响。此外，当忽略换流母线电压变化引起的直流线路电流变化时，换流阀的熄弧角和换流母线电压之间具有确定的对应关系。因此，判断交流故障是否会引起直流换相失败的另一个思路是通过电力系统短路电流计算程序监测换流母线电压相量，根据换流母线电压相量与换流阀熄弧角的关系推算出熄弧角，当熄弧角小于给定最小熄弧角时，即判定直流系统发生换相失败。这一思路只需通过短路电流计算程序求得交流故障引起的换流母线电压幅值和相位偏移大小即可，不依赖于直流系统的建模，从而可以实现交、直流系统的解耦分析。

[0034] 电力系统短路电流计算程序是电力系统常用的系统分析工具，具有便利、高效、快速的特点，能与电力系统潮流和暂态稳定分析程序的数据文件接口交互。确定所要考虑的交流系统故障范围后，借助短路电流计算程序，并采用已有的电网潮流数据文件和稳定数据文件就可以对故障范围内的对称和不对称故障情况进行短路电流遍历扫描计算，从而获得交流电网不同位置发生不同类型故障时换流母线的电压（包括幅值和相角）。

[0035] 根上述的原理，交流系统故障时，取直流系统为恒定电流源，即认为故障前后直流电流大小不变。故障前，根据换流器的换相原理可得直流电流的表达式为：

$$[0036] \quad I_{d[0]} = \frac{\sqrt{2}U_{[0]}}{2nX_c} (\cos \gamma_0 - \cos \beta_0) \quad (1)$$

[0037] 式中： $I_{d[0]}$  为故障前直流电流； $U_{[0]}$  为故障前逆变站母线电压幅值； $n$  为换流变压器的变比； $X_c$  为逆变器交流侧的换相电抗； $\gamma_0$  为故障前稳态运行的直流熄弧角； $\beta_0$  为故障前直流超前触发角。

[0038] 故障后，直流系统控制器的响应和换流变压器的变比变化都需要一定的时间，所

以故障瞬间  $\beta$  和  $n$  保持不变,考虑不对称故障使换相线电压过零点前移角度  $\Delta\varphi_u$  时,可得故障后直流电流的表达式为:

[0039]

$$I_d = \frac{\sqrt{2}U}{2nX_c} [\cos(\gamma - \Delta\varphi_u) - \cos(\beta - \Delta\varphi_u)] \quad (2)$$

[0040] 式中:  $I_d$  为故障后直流电流;  $U$  为故障后逆变站母线线电压幅值;  $\gamma$  为故障后直流熄弧角;  $\beta$  为故障后直流越前触发角;  $\Delta\varphi_u$  为故障前后逆变站母线电压相位的前移角度。

[0041] 由式(2)可得:

[0042]

$$\gamma = \arccos\left[\frac{2nX_c}{\sqrt{2}U} I_d + \cos(\beta - \Delta\varphi_u)\right] + \Delta\varphi_u \quad (3)$$

[0043] 由上文分析可知,  $I_{d[0]} = I_d$ ,  $\beta_0 = \beta$ , 故由式(1)和式(3)可得:

[0044]

$$\gamma = \arccos\left[\cos\gamma_0 - \cos\beta_0\right] * \frac{U_{[0]}}{U} + \cos(\beta_0 - \Delta\varphi_u)] + \Delta\varphi_u \quad (4)$$

[0045] 利用短路电流计算程序的计算结果,把故障时换流母线的电压幅值和相角偏移代入式(4)可求得熄弧角  $\gamma$ , 将其与最小熄弧角整定值进行比较,当其小于整定值时,即判定逆变器发生换相失败。

[0046] 基于交直流解耦的评估引起直流换相失败的交流故障集的具体做法如下:

[0047] 首先,确定所要评估的交流电网范围和最小熄弧角;

[0048] 其次,利用短路电流计算程序对交流电网范围内的故障(包括单相接地、两相短路、两相短路接地、三相接地)遍历,并扫描换流母线处的电压幅值和相位偏移状况;

[0049] 然后根据换流阀的熄弧角与换流母线电压之间的关系(见式4)计算出对应故障下的熄弧角,若其值小于熄弧角的整定值则判定引起直流换相失败,否则不会引起换相失败;

[0050] 最后,根据仿真和解析计算结果对交流故障范围进行划分,包括必然会引起直流换相失败、可能会引起直流换相失败(考虑到仿真和计算误差)和必然不会引起直流换相失败三个方面,并综合各故障点情况最终完成引起换相失败的交流故障集的评估。

[0051] 参见图1,基于交直流系统解耦的交直流互相作用引起直流换相失败评估方法的基本步骤如下:

[0052] 步骤 S1、仿真准备,确定评估方法所使用到的仿真计算工具,准备好仿真所需的电网数据,明确所要考虑的交流电网范围和仿真过程中的监测对象。

[0053] 步骤 S2、确定最小熄弧角  $\gamma_{\min}$ , 由于换流阀在关断后还需要一个使载流子复合的过程,因此熄弧角  $\gamma$  必须足够大,使换流阀有足够长的时间处于反向电压作用之下,以保证刚关断的阀能够完全恢复阻断能力。如果熄弧角太小,容易导致换相失败,这就要求逆变器的熄弧角  $\gamma$  必须有一个最小值。增大熄弧角  $\gamma$  可以有效地减少逆变器的换相失败机率,但  $\gamma$  角的增大会减少直流系统的传输功率、降低逆变器运行的功率因数、增大系统的无功消耗,这就要求  $\gamma$  角尽量小一些。

[0054] 逆变器运行时,如果某阀的  $\gamma$  角小于最小临界值,就不可避免地要发生换相失败。为了使逆变器能够承受一定程度的扰动,实际运行中的  $\gamma$  角须大于其临界值,且有足

够的裕度。对可控硅元件构成的高压阀,熄弧角最小临界值约为  $6^{\circ} \sim 10^{\circ}$ ,工程应用中一般整定为  $18^{\circ}$ 。

[0055] 步骤 S3、仿真计算换流母线的电压幅值和相角,利用电力系统短路电流计算程序,计算交流电网故障时换流母线的电压幅值和相角偏移。

[0056] 步骤 S4、判别是否造成换相失败,将仿真得到的换流母线的电压幅值和相角偏移代入解析分析判据式(4),计算熄弧角,将其与整定值进行比较,若熄弧角小于整定值,则判断相应的交流系统故障会造成直流换相失败;反之,则不会造成换相失败。

[0057] 步骤 S5、评估交流故障影响直流换相失败的范围,根据步骤 S4 的判别结果,将交流故障范围划分为必然会引起直流换相失败、可能会引起直流换相失败(考虑到仿真和计算误差)和必然不会引起直流换相失败三个方面,从而评估交流故障影响直流换相失败的范围。

[0058] 基于交直流系统解耦的交直流相互作用引起直流换相失败的评估系统的基本架构如图 2 所示。所述系统包括以下模块:

[0059] 1) 短路电流计算模块

[0060] 短路电流计算模块是交直流相互作用引起直流换相失败评估系统的仿真工具,主要完成故障扫描和电压监测的功能。

[0061] 2) 仿真模块

[0062] 仿真模块主要是实现利用短路计算模块对所要考虑的交流电网内的故障进行遍历扫描的功能,从而得到直流换流母线处的电压幅值和相角偏移。

[0063] 3) 解析模块

[0064] 利用仿真模块的仿真输出结果,主要是换流母线的电压幅值和相角偏移,代入判据,计算熄弧角,判断相应的交流系统故障是否会造成直流换相失败。

[0065] 4) 评估模块

[0066] 评估模块主要完成确定引起直流换相失败的交流系统故障范围的功能。

[0067] 本发明所提出的确定引起换相失败的交流故障范围的评估方法,只需利用短路电流计算程序和换相失败解析判据即可完成,不依赖于直流系统的模型,实现了交直流系统的解耦分析,为换相失败的判别提供了一种高效、精确的方法,使得评估效率较现有评估方法大为提高,对于运行人员掌握、评估交直流系统的运行状态,及时采取措施进行运行状态的改善,以及制定相应的紧急预案,减少后继换相失败的发生,从而减小对交流电网的冲击,保证交直流互联系统的安全运行都具有重大意义。

[0068] 应当理解的是,本发明的应用不限于上述的举例,对本领域普通技术人员来说,可以根据上述说明加以改进或变换,所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

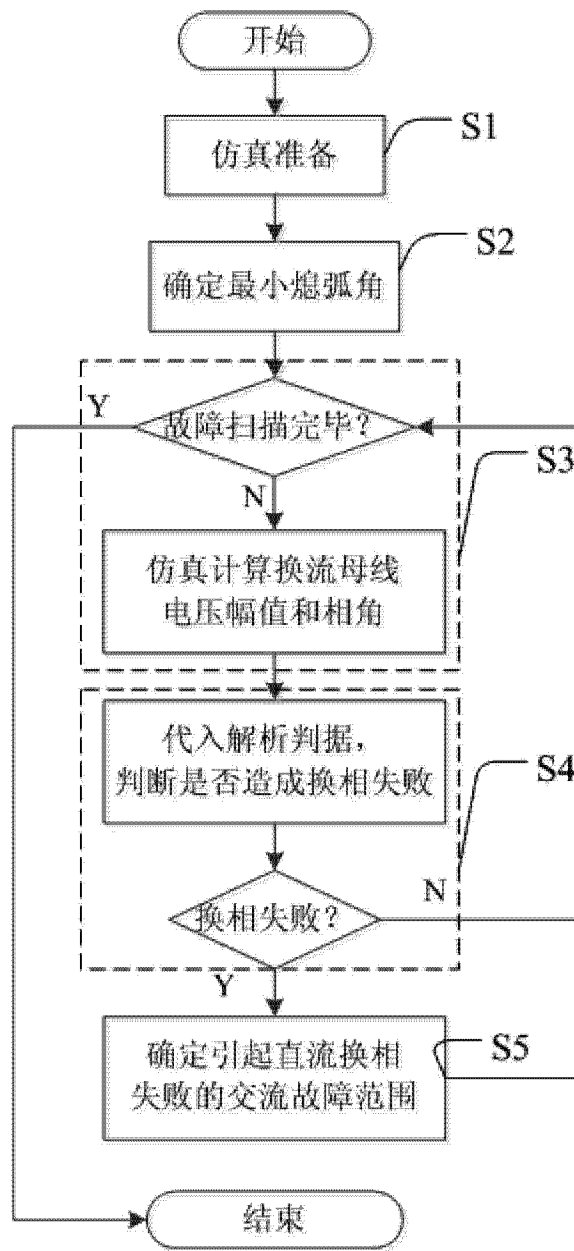


图 1



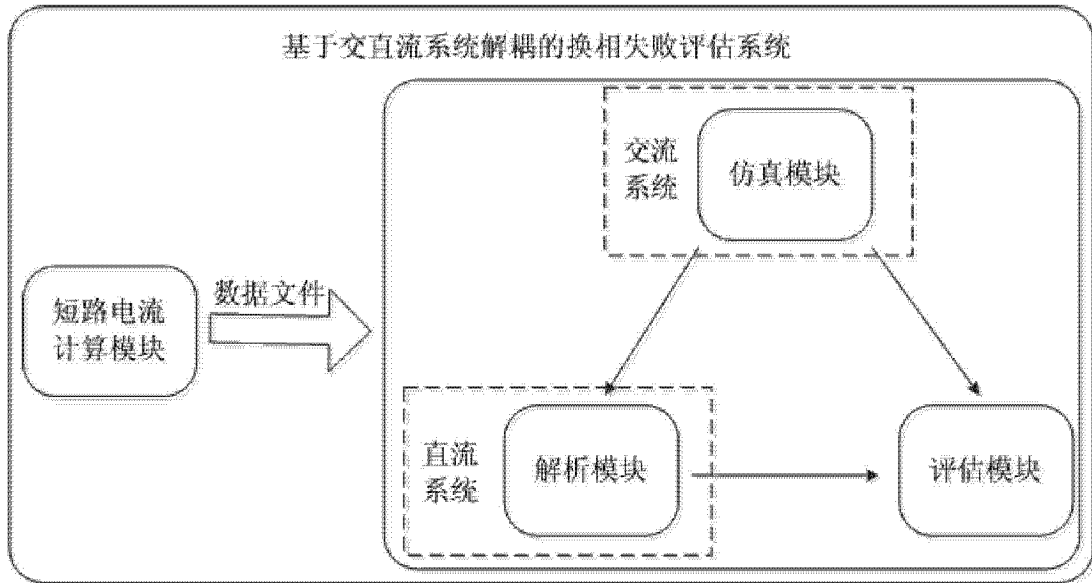


图 2