



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114329980 A

(43) 申请公布日 2022. 04. 12

(21) 申请号 202111645815.1

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2021.12.30

G06F 30/20 (2020.01)

H02J 3/00 (2006.01)

(71) 申请人 国网浙江省电力有限公司电力科学研究院

H02J 3/36 (2006.01)

H02M 5/297 (2006.01)

G06F 113/04 (2020.01)

地址 310014 浙江省杭州市下城区朝晖八区华电弄1号

申请人 国网浙江省电力有限公司
中国电力科学研究院有限公司

(72) 发明人 华文 倪秋龙 李霞 杨滢
苏志达 林进钿 王毅 王龙飞
王洪富 王博文 杨泽栋 董炜
申屠磊璇 周升彧

(74) 专利代理机构 浙江翔隆专利事务所(普通合伙) 33206

代理人 许守金 张建青

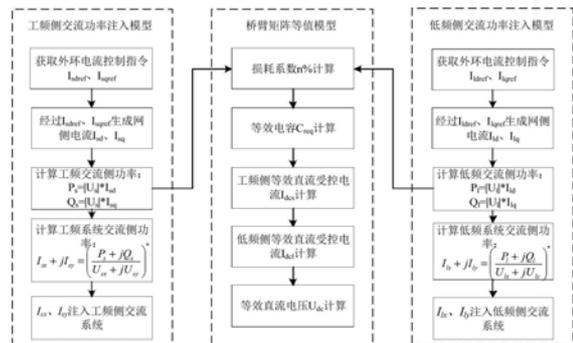
权利要求书4页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

模块化多电平矩阵变换器的机电暂态建模方法及拓扑结构

(57) 摘要

本发明公开了模块化多电平矩阵变换器的机电暂态建模方法及拓扑结构,属于电力系统的仿真领域。现有的仿真建模方案主要集中于电磁暂态建模方向,缺乏能够实际应用的机电暂态仿真模型。本发明的模块化多电平矩阵变换器的机电暂态建模方法,通过构建变换器暂态简化模型,用于等效模块化多电平矩阵变换器,进而可得到可用于机电暂态仿真程序的简化模型,方案简单实用,切实可行,能够有效提升机电暂态建模方法的工程计算精度以及工程计算效率,填补了模块化多电平矩阵变换器机电暂态模型的空白,可用于大型电网的规划和安全稳定计算,为低频输电系统的研究提供了重要的方法,同时便于编程实现。



1. 一种模块化多电平矩阵变换器的机电暂态建模方法,其特征在于,
构建变换器暂态简化模型,用于等效模块化多电平矩阵变换器;

所述变换器暂态简化模型包括工频侧交流功率注入模型、低频侧交流功率注入模型、桥臂矩阵等值模型,实现模块化多电平矩阵变换器的机电暂态仿真模拟;

所述工频侧交流功率注入模型,其为工频侧等值数学模型,用于确定工频侧交流系统与等效直流侧之间的关系;

所述低频侧交流功率注入模型,其为低频侧等值数学模型,用于确定低频侧交流系统与等效直流侧之间的关系;

所述桥臂矩阵等值模型,其为等效直流侧模型,用于确定工频侧模型和低频侧模型的连接关系。

2. 如权利要求1所述的一种模块化多电平矩阵变换器的机电暂态建模方法,其特征在于,

工频侧交流功率注入模型的构建方法,具体包括以下步骤:

第一步,获取外环电流控制指令 I_{sdref} 、 I_{sqref} ;

第二步,根据第一步的外环电流控制指令 I_{sdref} 、 I_{sqref} 生成工频网侧电流 I_{sd} 、 I_{sq} ;

第三步,利用第二步中的工频网侧电流 I_{sd} 、 I_{sq} ,计算工频交流侧功率,其计算公式如下:

$$P_s = |U_s| * I_{sd}$$

$$Q_s = |U_s| * I_{sq};$$

其中, U_s 为工频侧的交流电压;

P_s 、 Q_s 为工频侧交流系统注入模块化多电平矩阵变换器的有功功率、无功功率;

第四步,通过第三步中的工频交流侧功率,计算注入工频侧交流系统的工频系统交流侧功率,其计算公式如下:

$$I_{sx} + jI_{sy} = \left(\frac{P_s + jQ_s}{U_{sx} + jU_{sy}} \right)^*$$

其中, U_{sx} 是工频网侧交流电压的X轴分量;

U_{sy} 是工频网侧交流电压的Y轴分量;

第五步,将第四步中的工频系统交流侧功率 I_{sx} 、 I_{sy} ,注入工频侧交流系统中。

3. 如权利要求2所述的一种模块化多电平矩阵变换器的机电暂态建模方法,其特征在于,

所述工频侧等值数学模型根据工频交流侧注入变换器的有功功率等于等效直流侧功率的原则,得到工频侧等效直流功率的计算公式:

$$P_{dcs} = P_s - P_{loss} = P_s * \left(1 - \frac{n\%}{2}\right)$$

$$P_{loss} = P_s * \left(\frac{n\%}{2}\right)$$

式中, P_{dcs} 为工频侧等效直流功率, P_s 是工频侧交流系统注入变换器的有功功率, Q_s 是工频侧交流系统注入变换器的无功功率, P_{loss} 为工频侧的等效功率损耗, $n\%$ 为模块化多电平矩阵变换器的总损耗系数。

4. 如权利要求2所述的一种模块化多电平矩阵变换器的机电暂态建模方法,其特征在于,

工频侧的注入节点处电压相量为 U_s ,以注入变换器的方向为功率的正方向,注入节点的有功和无功分别满足如下公式:

$$\begin{cases} P_s = U_s * I_{sd} \\ Q_s = U_s * I_{sq} \end{cases};$$

其中, P_s 、 Q_s 为工频侧交流系统注入多电平模块化矩阵式变换器的有功功率、无功功率; I_{sd} 、 I_{sq} 为工频侧交流电流以 U_s 为参考相位做DQ分解后确定的交流电流D轴分量和Q轴分量。

5. 如权利要求1所述的一种模块化多电平矩阵变换器的机电暂态建模方法,其特征在于,

低频侧交流功率注入模型的构建方法,具体包括以下步骤:

第一步,获取外环电流控制指令 I_{ldref} 、 I_{lqref} ;

第二步,根据第一步的外环电流控制指令 I_{ldref} 、 I_{lqref} 生成低频网侧电流 I_{ld} 、 I_{lq} ;

第三步,利用第二步中的低频网侧电流 I_{ld} 、 I_{lq} ,计算低频交流侧功率,其计算公式如下:

$$P_1 = |U_1| * I_{ld}$$

$$Q_1 = |U_1| * I_{lq};$$

其中, U_1 为低频侧的交流电压;

P_1 、 Q_1 为低频侧交流系统注入模块化多电平矩阵变换器的有功功率、无功功率;

第四步,通过第三步中的低频交流侧功率,计算注入低频侧交流系统的低频系统交流侧功率,其计算公式如下:

$$I_{lx} + jI_{ly} = \left(\frac{P_l + jQ_l}{U_{lx} + jU_{ly}} \right)^*;$$

其中, U_{lx} 是低频网侧交流电压的X轴分量;

U_{ly} 是低频网侧交流电压的Y轴分量;

第五步,将第四步中的低频系统交流侧功率 I_{lx} 、 I_{ly} ,注入低频侧交流系统中。

6. 如权利要求5所述的一种模块化多电平矩阵变换器的机电暂态建模方法,其特征在于,

低频侧等值数学模型根据低频交流侧注入变换器的有功功率等于等效直流侧功率的原则,得到低频侧等效直流功率的计算公式:

$$P_{dcl} = P_l - P_{loss} = P_l * \left(1 - \frac{n\%}{2}\right)$$

$$P_{loss} = P_l * \left(\frac{n\%}{2}\right)$$

式中, P_{dcl} 为低频侧等效直流功率, P_l 是低频侧交流系统注入变换器的有功功率, Q_l 是低频侧交流系统注入变换器的无功功率, P_{loss} 为低频侧的等效功率损耗, $n\%$ 为模块化多电平矩阵变换器的总损耗系数。

7. 如权利要求6所述的一种模块化多电平矩阵变换器的机电暂态建模方法,其特征在

于,

低频侧的注入节点处电压相量为 U_1 ,以注入变换器的方向为功率的正方向,注入节点的有功和无功分别满足如下公式:

$$\begin{cases} P_l = U_l * I_{ld} \\ Q_l = U_l * I_{lq} \end{cases};$$

其中, P_l 、 Q_l 为低频侧交流系统注入多电平模块化矩阵式变换器的有功功率、无功功率; I_{ld} 、 I_{lq} 为低频侧交流电流以 U_1 为参考相位做DQ分解后确定的交流电流D轴分量和Q轴分量。

8.如权利要求1所述的一种模块化多电平矩阵变换器的机电暂态建模方法,其特征在于,

所述等效直流侧模型包括损耗系数计算、等效电容 C_{req} 计算、工频侧受控电流源 I_{dcs} 计算、低频侧受控电流源 I_{dcl} 计算、等效直流电压计算;

所述损耗系数计算包括以下内容:

当考虑变换器损耗时,根据注入工频侧的功率 P_s 和注入工频侧的功率 P_l ,获得变换器的损耗系数计算公式,即:

$$n\% = \frac{|P_s + P_l|}{\max(|P_s|, |P_l|)}$$

其中, $n\%$ 为变换器功率损耗系数;

当不考虑变换器损耗时, $n\% = 0$,此时两侧注入功率幅值相等;

所述等效电容计算包括以下内容:

根据拓扑连接关系将每个子模块电容进行串并联等值,得到总的等效电容值 C_{req} ,其具体的计算公式如下所示:

$$C_{req} = \frac{n_2}{n_1} C_i$$

其中, C_{req} 为等效电容值, C_i 为每个子模块的并联电容, n_1 为单个桥臂上串联的子模块个数、 n_2 为多电平模块化矩阵式变换器桥臂个数;

工、低频侧等效直流受控电流计算包括以下内容:

根据工频侧和低频侧的功率交换规律,得到受控电流源 I_{dcs} 、 I_{dcl} ,受控电流源 I_{dcs} 、 I_{dcl} 的计算公式,其如下所示:

$$\begin{cases} I_{dcs} = \frac{P_{dcs}}{U_{dc0}} = \frac{P_s(1-n\%/2)}{U_{dc0}} \\ I_{dcl} = \frac{P_{dcl}}{U_{dc0}} = \frac{P_l(1-n\%/2)}{U_{dc0}} \end{cases}$$

所述等效直流电压计算包括以下内容:

根据直流侧的电路结构及等效电容,对等效直流侧进行电路计算,获得等效直流电压 U_{dc} ,其计算公式如下:

$$C_{req} \frac{du_{dc}}{dt} = I_{dcs} + I_{dcl}$$

9. 一种多电平模块化矩阵式变换器主电路拓扑结构, 其特征在于,
应用如权利要求1-8任一所述的一种模块化多电平矩阵变换器的机电暂态建模方法,
其包括工频侧交流系统和低频侧交流系统;

所述工频侧交流系统和低频侧交流系统通过一矩阵连接结构进行电连接;

所述矩阵连接结构设有至少9个桥臂;

所述桥臂由多个子模块串联构成。

10. 如权利要求9所述的一种多电平模块化矩阵式变换器主电路拓扑结构, 其特征在于,

还设有工频侧中性点O、低频测中性点N。

模块化多电平矩阵变换器的机电暂态建模方法及拓扑结构

技术领域

[0001] 本发明涉及模块化多电平矩阵变换器的机电暂态建模方法及拓扑结构,属于电力系统的仿真领域。

背景技术

[0002] 低频输电技术通过降低输电频率来降低电气距离,从而提高输电容量,与传统的高压交直流输电相比,在输送距离和输电成本等方面具有很大的优势。其中,模块化多电平矩阵变换器(Modular Multilevel Matrix Converter, M3C)作为低频输电技术的关键设备之一,受到了广泛关注,具有重要的研究意义。

[0003] 进一步,中国专利(公开号:CN109428340B)公开了一种柔性直流输电装置的仿真方法及拓扑结构,包括:获取桥臂电抗电压、子模块电容和桥臂中的子模块数目;基于所述桥臂电抗、子模块电容和桥臂中的子模块数目和预先建立的模块化多电平变换器模型,对柔性直流输电装置进行仿真,获得柔性直流及直流电网不同工况下的机电暂态运行特性;预先建立的模块化多电平变换器模型通过主电路参数、交流侧等效电压源控制量和直流侧可控电流源控制量进行构建。

[0004] 但上述方案的仿真建模方案以及其他现有技术主要集中于电磁暂态建模方向,缺乏能够实际应用的机电暂态仿真模型。

[0005] 进一步,由于柔性低频输电系统含有大量电力电子器件和控制器,以及低频侧与交流侧需要通过变换器进行耦合,导致现有的柔性低频输电系统机电暂态仿真模型非常复杂,进而影响机电暂态建模方法的工程计算精度以及工程计算效率。

[0006] 更进一步,在我国广泛应用的商业电力系统分析软件中,如电力系统分析综合程序(PSASP)、PSD-BPA等,均无相应的多电平模块化矩阵式变换器机电暂态模型,进而难以开展柔性低频输电系统对电网稳定性影响方面的相关研究。

发明内容

[0007] 针对现有技术的缺陷,本发明的目的在于提供一种通过构建变换器暂态简化模型,用于等效模块化多电平矩阵变换器,实现模块化多电平矩阵变换器的机电暂态仿真模拟,方案简单实用,切实可行,能够有效提升机电暂态建模方法的工程计算精度以及工程计算效率的模块化多电平矩阵变换器的机电暂态建模方法及拓扑结构。

[0008] 为实现上述目的,本发明的第一种技术方案为:

[0009] 一种模块化多电平矩阵变换器的机电暂态建模方法,

[0010] 构建变换器暂态简化模型,用于等效模块化多电平矩阵变换器;

[0011] 所述变换器暂态简化模型包括工频侧交流功率注入模型、低频侧交流功率注入模型、桥臂矩阵等值模型,实现模块化多电平矩阵变换器的机电暂态仿真模拟;

[0012] 所述工频侧交流功率注入模型,其为工频侧等值数学模型,用于确定工频侧交流系统与等效直流侧之间的关系;

[0013] 所述低频侧交流功率注入模型,其为低频侧等值数学模型,用于确定低频侧交流与等效直流侧之间的关系;

[0014] 所述桥臂矩阵等值模型,其为等效直流侧模型,用于确定工频侧模型和低频侧模型的连接关系。

[0015] 本发明经过不断探索以及试验,通过构建变换器暂态简化模型,用于等效模块化多电平矩阵变换器;所述变换器暂态简化模型包括工频侧交流功率注入模型、低频侧交流功率注入模型、桥臂矩阵等值模型,实现模块化多电平矩阵变换器的机电暂态仿真模拟,进而能对模块化多电平矩阵变换器进行有效简化建模,得到可用于机电暂态仿真程序的简化模型,方案简单实用,切实可行,能够有效提升机电暂态建模方法的工程计算精度以及工程计算效率。

[0016] 进一步,本发明对模块化多电平矩阵变换器进行了简化建模,得到可用于机电暂态仿真程序的变换器暂态简化模型,填补了模块化多电平矩阵变换器机电暂态模型的空白,可用于大型电网的规划和安全稳定计算,为低频输电系统的研究提供了重要的方法,同时便于编程实现。

[0017] 作为优选技术措施:

[0018] 工频侧交流功率注入模型的构建方法,具体包括以下步骤:

[0019] 第一步,获取外环电流控制指令 I_{sdref} 、 I_{sqref} ;

[0020] 第二步,根据第一步的外环电流控制指令 I_{sdref} 、 I_{sqref} 生成工频网侧电流 I_{sd} 、 I_{sq} ;

[0021] 第三步,利用第二步中的工频网侧电流 I_{sd} 、 I_{sq} ,计算工频交流侧功率,其计算公式如下:

$$[0022] \quad P_s = |U_s| * I_{sd}$$

$$[0023] \quad Q_s = |U_s| * I_{sq};$$

[0024] 其中, U_s 为工频侧的交流电压;

[0025] P_s 、 Q_s 为工频侧交流系统注入模块化多电平矩阵变换器的有功功率、无功功率;

[0026] 第四步,通过第三步中的工频交流侧功率,计算注入工频侧交流系统的工频系统交流侧功率,其计算公式如下:

$$[0027] \quad I_{sx} + jI_{sy} = \left(\frac{P_s + jQ_s}{U_{sx} + jU_{sy}} \right)^*$$

[0028] 其中, U_{sx} 是工频网侧交流电压的X轴分量;

[0029] U_{sy} 是工频网侧交流电压的Y轴分量;

[0030] 第五步,将第四步中的工频系统交流侧功率 I_{sx} 、 I_{sy} ,注入工频侧交流系统中。

[0031] 作为优选技术措施:

[0032] 所述工频侧等值数学模型根据工频交流侧注入变换器的有功功率等于等效直流侧功率的原则,得到工频侧等效直流功率的计算公式:

$$[0033] \quad P_{dcs} = P_s - P_{loss} = P_s * \left(1 - \frac{n\%}{2}\right)$$

$$[0034] \quad P_{loss} = P_s * \left(\frac{n\%}{2}\right)$$

[0035] 式中, P_{dcs} 为工频侧等效直流功率, P_s 是工频侧交流系统注入变换器的有功功率, Q_s 是工频侧交流系统注入变换器的无功功率, P_{sloss} 为工频侧的等效功率损耗, $n\%$ 为模块化多电平矩阵变换器的总损耗系数。

[0036] 作为优选技术措施:

[0037] 工频侧的注入节点处电压相量为 U_s , 以注入变换器的方向为功率的正方向, 注入节点的有功和无功分别满足如下公式:

$$[0038] \quad \begin{cases} P_s = U_s * I_{sd} \\ Q_s = U_s * I_{sq} \end{cases};$$

[0039] 其中, P_s 、 Q_s 为工频侧交流系统注入多电平模块化矩阵式变换器的有功功率、无功功率;

[0040] I_{sd} 、 I_{sq} 为工频侧交流电流以 U_s 为参考相位做DQ分解后确定的交流电流D轴分量和Q轴分量。

[0041] 作为优选技术措施:

[0042] 低频侧交流功率注入模型的构建方法, 具体包括以下步骤:

[0043] 第一步, 获取外环电流控制指令 I_{ldref} 、 I_{lqref} ;

[0044] 第二步, 根据第一步的外环电流控制指令 I_{ldref} 、 I_{lqref} 生成低频网侧电流 I_{ld} 、 I_{lq} ;

[0045] 第三步, 利用第二步中的低频网侧电流 I_{ld} 、 I_{lq} , 计算低频交流侧功率, 其计算公式如下:

$$[0046] \quad P_1 = |U_1| * I_{ld}$$

$$[0047] \quad Q_1 = |U_1| * I_{lq};$$

[0048] 其中, U_1 为低频侧的交流电压;

[0049] P_1 、 Q_1 为低频侧交流系统注入模块化多电平矩阵变换器的有功功率、无功功率;

[0050] 第四步, 通过第三步中的低频交流侧功率, 计算注入低频侧交流系统的低频系统交流侧功率, 其计算公式如下:

$$[0051] \quad I_{lx} + jI_{ly} = \left(\frac{P_l + jQ_l}{U_{lx} + jU_{ly}} \right)^*;$$

[0052] 其中, U_{lx} 是低频网侧交流电压的X轴分量;

[0053] U_{ly} 是低频网侧交流电压的Y轴分量;

[0054] 第五步, 将第四步中的低频系统交流侧功率 I_{lx} 、 I_{ly} , 注入低频侧交流系统中。

[0055] 作为优选技术措施:

[0056] 低频侧等值数学模型根据低频交流侧注入变换器的有功功率等于等效直流侧功率的原则, 得到低频侧等效直流功率的计算公式:

$$[0057] \quad P_{dcl} = P_l - P_{lloss} = P_l * \left(1 - \frac{n\%}{2} \right)$$

$$[0058] \quad P_{lloss} = P_l * \left(\frac{n\%}{2} \right)$$

[0059] 式中, P_{dcl} 为低频侧等效直流功率, P_l 是低频侧交流系统注入变换器的有功功率, Q_l 是低频侧交流系统注入变换器的无功功率, P_{lloss} 为低频侧的等效功率损耗, $n\%$ 为模块化多

电平矩阵变换器的总损耗系数。

[0060] 作为优选技术措施：

[0061] 低频侧的注入节点处电压相量为 U_1 ，以注入变换器的方向为功率的正方向，注入节点的有功和无功分别满足如下公式：

$$[0062] \quad \begin{cases} P_l = U_l * I_{ld} \\ Q_l = U_l * I_{lq} \end{cases};$$

[0063] 其中， P_1 、 Q_1 为低频侧交流系统注入多电平模块化矩阵式变换器的有功功率、无功功率；

[0064] I_{ld} 、 I_{lq} 为低频侧交流电流以 U_1 为参考相位做DQ分解后确定的交流电流D轴分量和Q轴分量。

[0065] 作为优选技术措施：

[0066] 所述等效直流侧模型包括损耗系数计算、等效电容 C_{req} 计算、工频侧受控电流源 I_{dcs} 计算、低频侧受控电流源 I_{dcl} 计算、等效直流电压计算；

[0067] 所述损耗系数计算包括以下内容：

[0068] 当考虑变换器损耗时，根据注入工频侧的功率 P_s 和注入工频侧的功率 P_l ，获得变换器的损耗系数计算公式，即：

$$[0069] \quad n\% = \frac{|P_s + P_l|}{\max(|P_s|, |P_l|)}$$

[0070] 其中， $n\%$ 为变换器功率损耗系数；

[0071] 当不考虑变换器损耗时， $n\% = 0$ ，此时两侧注入功率幅值相等；

[0072] 所述等效电容计算包括以下内容：

[0073] 由于模块化多电平矩阵变换器中各个桥臂均由多个子模块串联构成，其中每个子模块中均并联直流电容，根据拓扑连接关系将每个子模块电容进行串并联等值，得到总的等效电容值 C_{req} ，其具体的计算公式如下所示：

$$[0074] \quad C_{req} = \frac{n_2}{n_1} C_i$$

[0075] 其中， C_{req} 为等效电容值， C_i 为每个子模块的并联电容， n_1 为单个桥臂上串联的子模块个数、 n_2 为多电平模块化矩阵式变换器桥臂个数；

[0076] 工、低频侧等效直流受控电流计算包括以下内容：

[0077] 根据工频侧和低频侧的功率交换规律，得到受控电流源 I_{dcs} 、 I_{dcl} ，受控电流源 I_{dcs} 、 I_{dcl} 的计算公式，其如下所示：

$$[0078] \quad \begin{cases} I_{dcs} = \frac{P_{dcs}}{U_{dc0}} = \frac{P_s(1-n\%/2)}{U_{dc0}} \\ I_{dcl} = \frac{P_{dcl}}{U_{dc0}} = \frac{P_l(1-n\%/2)}{U_{dc0}} \end{cases}$$

[0079] 所述等效直流电压计算包括以下内容：

[0080] 根据直流侧的电路结构及等效电容，对等效直流侧进行电路计算，获得等效直流电压 U_{dc} ，其计算公式如下：

$$[0081] \quad C_{req} \frac{du_{dc}}{dt} = I_{dcs} + I_{dcl} \circ$$

[0082] 为实现上述目的,本发明的第二种技术方案为:

[0083] 一种多电平模块化矩阵式变换器主电路拓扑结构,

[0084] 应用上述的一种模块化多电平矩阵变换器的机电暂态建模方法,其包括工频侧交流系统和低频侧交流系统;

[0085] 所述工频侧交流系统和低频侧交流系统通过一矩阵连接结构进行电连接;

[0086] 所述矩阵连接结构设有至少9个桥臂;

[0087] 所述桥臂由多个子模块串联构成。

[0088] 作为优选技术措施:

[0089] 还设有工频侧中性点O、低频侧中性点N。

[0090] 与现有技术相比,本发明具有以下有益效果:

[0091] 本发明经过不断探索以及试验,通过构建变换器暂态简化模型,用于等效模块化多电平矩阵变换器;所述变换器暂态简化模型包括工频侧交流功率注入模型、低频侧交流功率注入模型、桥臂矩阵等值模型,实现模块化多电平矩阵变换器的机电暂态仿真模拟,进而能对模块化多电平矩阵变换器进行有效简化建模,得到可用于机电暂态仿真程序的简化模型,方案简单实用,切实可行,能够有效提升机电暂态建模方法的工程计算精度以及工程计算效率。

[0092] 进一步,本发明对模块化多电平矩阵变换器进行了简化建模,得到可用于机电暂态仿真程序的变换器暂态简化模型,填补了模块化多电平矩阵变换器机电暂态模型的空白,可用于大型电网的规划和安全稳定计算,为低频输电系统的研究提供了重要的方法,同时便于编程实现。

附图说明

[0093] 图1为本发明机电暂态简化建模方法流程示意图。

[0094] 图2为本发明变换器暂态简化模型示意图。

[0095] 图3为本发明拓扑结构示意图。

具体实施方式

[0096] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0097] 相反,本发明涵盖任何由权利要求定义的在本发明的精髓和范围上做的替代、修改、等效方法以及方案。进一步,为了使公众对本发明有更好的了解,在下文对本发明的细节描述中,详尽描述了一些特定的细节部分。对本领域技术人员来说没有这些细节部分的描述也可以完全理解本发明。

[0098] 如图1所示,一种模块化多电平矩阵变换器的机电暂态建模方法,将模块化多电平矩阵变换器等效为工频侧模型、低频侧模型以及连接这两部分的等效直流模型,并对上述模型分别进行相应的等值建模,包括工频侧交流功率注入模型、低频侧交流功率注入模型、

桥臂矩阵等值模型,形成变换器暂态简化模型。所述桥臂矩阵等值建模包括了损耗系数计算、等效电容计算、建立工频侧和低频侧受控电流源、以及等效直流电压计算。

[0099] 本发明对模块化多电平矩阵变换器(M3C)进行了简化建模,得到可用于机电暂态仿真程序的简化模型,填补了模块化多电平矩阵变换器机电暂态模型的空白,可用于大型电网的规划和安全稳定计算,为低频输电系统的研究提供了重要的方法。

[0100] 如图2所示,本发明变换器暂态简化模型的一种具体实施例:

[0101] 所述变换器暂态简化模型由工频侧交流功率注入模型、低频侧交流功率注入模型、桥臂矩阵等值模型组成,实现模块化多电平矩阵变换器的机电暂态仿真模拟。

[0102] 其中: U_s 、 U_1 分别为工频侧和低频侧的交流电压;

[0103] P_s 、 Q_s 为工频侧交流系统注入M3C变换器的有功功率、无功功率;

[0104] P_1 、 Q_1 为低频侧交流系统注入M3C变换器的有功功率、无功功率;

[0105] I_{sd} 、 I_{sq} 为工频侧交流电流以 U_s 为参考相位做DQ分解后确定的交流电流D轴分量和Q轴分量;

[0106] I_{1d} 、 I_{1q} 为低频侧交流电流以 U_1 为参考相位做DQ分解后确定的交流电流D轴分量和Q轴分量;

[0107] X_{ts} 为工频侧换流变压器的电抗值, X_{t1} 为低频侧换流变压器的电抗值。

[0108] P_{dcs} 、 P_{dcl} 分别为工频侧和低频侧注入M3C变换器内部的直流功率;

[0109] I_{dcs} 、 I_{dcl} 分别为工频侧和低频侧注入M3C变换器内部的等效直流电流;

[0110] C_{req} 为M3C所有桥臂的等效电容;

[0111] U_{dc} 为M3C等效电容C两侧的直流电压。

[0112] 本发明工频侧交流功率注入模型的一种具体实施例:

[0113] 所述工频侧交流功率注入模型实际上是工频侧等值数学模型,用于描述工频侧交流系统与等效直流侧之间的关系。典型的,根据工频交流侧注入变换器的有功功率等于等效直流侧功率的原则,可得到如下工频侧功率交换模型:

$$[0114] \quad P_{sloss} = P_s * \left(\frac{n\%}{2}\right)$$

$$[0115] \quad P_{dcs} = P_s - P_{sloss} = P_s * \left(1 - \frac{n\%}{2}\right)$$

[0116] 式中, P_s 是工频侧交流系统注入变换器的有功功率, Q_s 是工频侧交流系统注入变换器的无功功率, P_{sloss} 为工频侧的等效功率损耗, P_{dcs} 为工频侧等效直流功率, $n\%$ 为模块化多电平矩阵变换器的总损耗系数。

[0117] M3C电路拓扑结构的工频侧注入节点处的电压相量为 U_s ,以注入变换器的方向为功率的正方向,注入节点的有功和无功分别满足:

$$[0118] \quad \begin{cases} P_s = U_s * I_{sd} \\ Q_s = U_s * I_{sq} \end{cases}$$

[0119] 本发明低频侧交流功率注入模型的一种具体实施例:

[0120] 所述低频侧交流功率注入模型实际上是低频侧等值数学模型,用于描述低频侧交流系统与等效直流侧之间的关系。典型的,根据低频交流侧注入变换器的有功功率等于等效直流侧功率的原则,可得到如下低频侧功率交换模型:

$$[0121] \quad P_{loss} = P_l * \left(\frac{n\%}{2}\right)$$

$$[0122] \quad P_{dcl} = P_l - P_{loss} = P_l * \left(1 - \frac{n\%}{2}\right)$$

[0123] 式中, P_l 是低频侧交流系统注入变换器的有功功率, Q_l 是低频侧交流系统注入变换器的无功功率, P_{1loss} 为低频侧的等效功率损耗, P_{dcl} 为低频侧等效直流功率, $n\%$ 为模块化多电平矩阵变换器的总损耗系数, 低频侧注入节点处的电压相量为 U_l , 以注入变换器的方向为功率的正方向, 注入节点的有功和无功分别满足:

$$[0124] \quad \begin{cases} P_l = U_l * I_{ld} \\ Q_l = U_l * I_{lq} \end{cases} \circ$$

[0125] 本发明桥臂矩阵等值模型的一种具体实施例:

[0126] 所述桥臂矩阵等值模型即等效直流侧模型, 它描述了工频侧模型和低频侧模型的连接关系, 桥臂矩阵等值模型包括损耗系数计算、等效电容 C_{req} 计算、建立工频侧受控电流源 I_{dcs} 、低频侧受控电流源 I_{dcl} 、等效直流电压计算。

[0127] 本发明等效直流侧模型的构建方法, 包括以下步骤: :

[0128] 步骤301: 损耗系数计算

[0129] 模块化多电平矩阵变换器的等值模型可以分为不考虑变换器损耗和考虑变换器损耗两种情况。根据注入工频侧的功率 P_s 和注入工频侧的功率 P_l , 可获得变换器的损耗系数, 即:

$$[0130] \quad n\% = \frac{|P_s + P_l|}{\max(|P_s|, |P_l|)}$$

[0131] 其中, $n\%$ 为变换器功率损耗系数。典型地, 当不考虑变换器损耗时, $n\% = 0$, 此时两侧注入功率幅值相等。

[0132] 步骤302: 等效电容计算

[0133] 模块化多电平矩阵变换器中各个桥臂均由多个子模块串联构成, 其中每个子模块中均并联直流电容, 根据拓扑连接关系将每个子模块电容进行串并联等值, 得到总的等效电容值 C_{req} , 如下所示:

$$[0134] \quad C_{req} = \frac{n_2}{n_1} C_i$$

[0135] 其中, C_{req} 为等效电容值, C_i 为每个子模块的并联电容, n_1 为单个桥臂上串联的子模块个数, n_2 为M3C桥臂个数。

[0136] 步骤303: 工、低频侧等效直流受控电流计算。

[0137] 根据工频侧和低频侧的功率交换模型, 可获得受控的电流源 I_{dcs} 、 I_{dcl} , 受控电流源 I_{dcs} 、 I_{dcl} 的表达式如下:

$$[0138] \quad \begin{cases} I_{dcs} = \frac{P_{dcs}}{U_{dc0}} = \frac{P_s(1-n\%/2)}{U_{dc0}} \\ I_{dcl} = \frac{P_{dcl}}{U_{dc0}} = \frac{P_l(1-n\%/2)}{U_{dc0}} \end{cases}$$

[0139] 步骤304:等效直流电压计算

[0140] 根据直流侧的电路结构及等效电容,对等效直流侧进行电路计算,获得等效直流电压 U_{dc} 。

$$[0141] \quad C_{req} \frac{du_{dc}}{dt} = I_{dcs} + I_{dcl}。$$

[0142] 如图3所示,本发明一种多电平模块化矩阵式变换器主电路拓扑结构的一种具体实施例:

[0143] 一种多电平模块化矩阵式变换器主电路拓扑结构,由9个桥臂构成的矩阵连接工频侧交流系统和低频侧交流系统,每条桥臂由多个子模块串联构成。

[0144] 其中: U_{su} 、 U_{sv} 、 U_{sw} 为工频侧交流电压;

[0145] i_u 、 i_v 、 i_w 为工频侧交流电流;

[0146] 0为工频侧中性点;

[0147] U_{1a} 、 U_{1b} 、 U_{1c} 为低频侧交流电压;

[0148] i_a 、 i_b 、 i_c 为低频侧交流电流;

[0149] N为低频测中性点;

[0150] U_{ua} 、 U_{va} 、 U_{wa} 、 U_{ub} 、 U_{vb} 、 U_{wb} 、 U_{uc} 、 U_{vc} 、 U_{wc} 为各桥臂的电压差;

[0151] U_{cua1} 、 U_{cua2} 、……、 U_{cuan} 为单条桥臂中每个子模块上的电压差;

[0152] i_{ua} 、 i_{va} 、 i_{wa} 、 i_{ub} 、 i_{vb} 、 i_{wb} 、 i_{uc} 、 i_{vc} 、 i_{wc} 为流经各桥臂的电流;

[0153] 本领域内的技术人员应明白,本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此,本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且,本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

[0154] 本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备(系统)、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器,使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

[0155] 最后应当说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制,尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明,所属领域的普通技术人员应当理解:依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换,而未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换,其均应涵盖在本发明的权利要求保护范围之内。

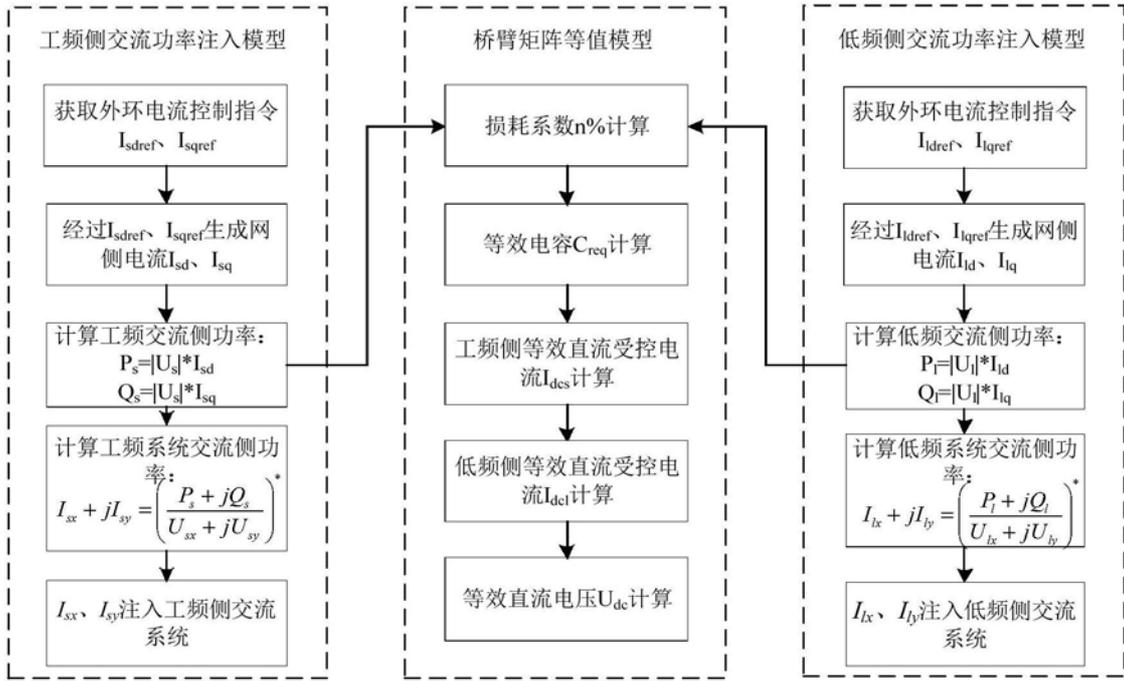


图1

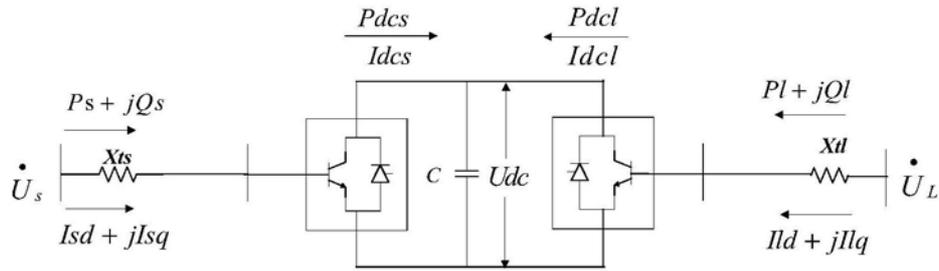


图2

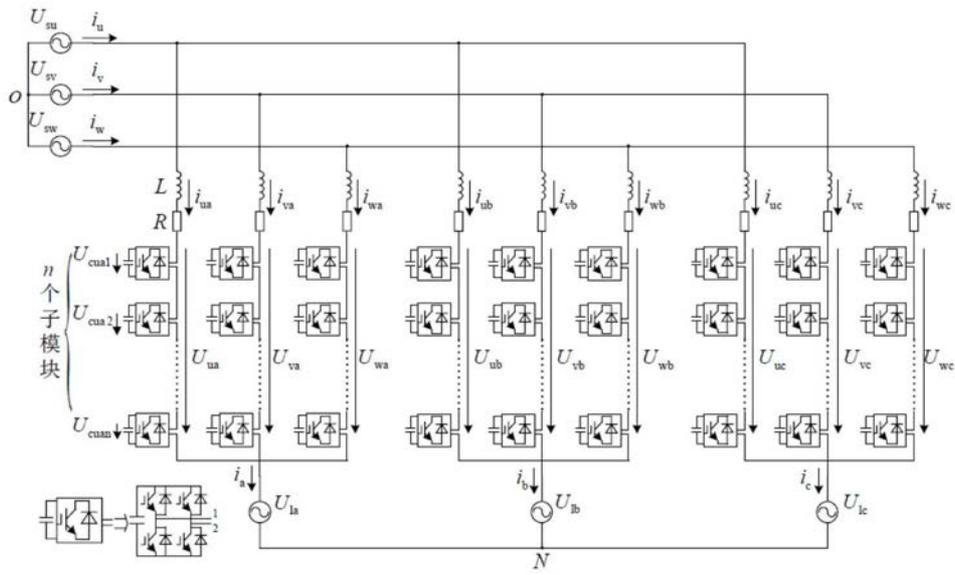


图3