



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112736896 B

(45) 授权公告日 2023. 11. 03

(21) 申请号 202011459124.8

H02J 3/06 (2006.01)

(22) 申请日 2020.12.11

G06F 30/20 (2020.01)

G06F 113/04 (2020.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 112736896 A

(56) 对比文件

(43) 申请公布日 2021.04.30

CN 109004638 A, 2018.12.14

CN 105322540 A, 2016.02.10

(73) 专利权人 国家电网有限公司

CN 109586275 A, 2019.04.05

CN 109766586 A, 2019.05.17

地址 100031 北京市西城区西长安街86号

专利权人 中国电力科学研究院有限公司

国网江苏省电力有限公司电力科学
研究院

国网江苏省电力有限公司

叶小暉 等. MMC-UPFC 电磁-机电混合仿真
技术研究. 电网技术. 2019, 第43卷(第4期), 第
1122-1129页.

Yunlong Fan 等. Electromechanical
Transient and Electromagnetic Transient
Hybrid Modeling and Simulation of Back to
Back MMC-HVDC Project. 2018 2nd IEEE
Conference on Energy Internet and Energy
System Integration (EI2). 2018, 第1-6页.

(72) 发明人 叶小暉 张彦涛 杨京齐 施浩波

李霞 宋新立 刘文焯 朱鑫要

刘建坤

审查员 陈晓宇

(74) 专利代理机构 北京工信联合知识产权代理
有限公司 11266

专利代理师 刘海蓉

(51) Int. Cl.

H02J 3/00 (2006.01)

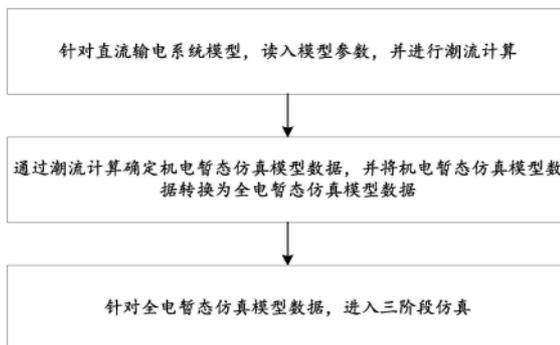
权利要求书3页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

一种适用于全电磁暂态仿真的三阶段初始
化方法及系统

(57) 摘要

本发明公开了一种适用于全电磁暂态仿真的
三阶段初始化方法及系统,属于电力系统建模
与仿真技术领域。本发明方法,包括:针对直流输
电系统模型,读入模型参数,并进行潮流计算;通
过潮流计算确定机电暂态仿真模型数据,并将机
电暂态仿真模型数据转换为全电暂态仿真模型
数据;针对全电暂态仿真模型数据,进入三阶段
仿真。本发明的具有较好的可操作性,适用于大
多数直流输电系统的初始化,也可以适应大多数
的电磁暂态仿真软件,具有更好的计算适应性。



1. 一种适用于全电磁暂态仿真的三阶段初始化方法,所述方法包括:
 - 针对直流输电系统模型,读入模型参数,并进行潮流计算;
 - 通过潮流计算确定机电暂态仿真模型数据,并将机电暂态仿真模型数据转换为全电磁暂态仿真模型数据;
 - 针对全电磁暂态仿真模型数据,进入三阶段仿真,包括:
 - 第一阶段,闭锁直流触发系统,确定交流侧两端电压源的幅值和角度为潮流计算结果,根据潮流计算结果对交流侧同步发电机进行充电和初始化;
 - 第二阶段,利用潮流计算结果中交流侧两端电压源的角度锁定直流控制系统,启动直流电路以及触发系统,对直流电路的预定元件进行充电,并调整交直流接口处的有功功率误差和无功功率误差;
 - 第三阶段,将直流输电系统的直流控制系统进行反向初始化,并将控制系统放开,使直流输电系统进入全电磁暂态的常规仿真。
2. 根据权利要求1所述的方法,所述将机电暂态仿真模型数据转换为全电磁暂态仿真模型数据,转换后全电磁暂态仿真模型数据中发电机模型采用dq变换模型;全电磁暂态仿真模型数据中线路模型,包括:网络内部采用PI模型,分网联络线采用分布参数模型;全电磁暂态仿真模型数据中负荷模型采用恒阻抗模型,三相等效模型使用对称的星型接线方式。
3. 根据权利要求1所述的方法,所述第一阶段的同步发电机的充电过程,包括:
 - 将同步发电机转换为电压源模型,对电压源模型进行预设时间的仿真;
 - 将电压源模型转换为同步发电机模型,电磁方程部分放开,转动方程部分锁定,采用恒转速模式进行计算;
 - 将同步发电机模型的转动方程部分放开,同步发电机模型部分转化为正常模式仿真,获取测量值;
 - 利用同步发电机模型的测量值,对除同步发电机模型外的模型进行初始化,并将控制系统接入,控制交流系统进行仿真;
 - 除同步发电机模型外的模型,包括:原动机模型、调速控制系统模型、励磁系统模型和电力系统稳定器PSS模型。
4. 根据权利要求1所述的方法,所述调整交直流接口处的有功功率和无功功率误差,包括:
 - 根据电磁暂态中元件的参数,调整全电磁暂态仿真模型数据中的参数;
 - 锁定控制系统中的定电压控制环节;
 - 调节逆变侧变压器的变比,仿真计算直流输电系统初始化完成后的直流电压,并调整直流电压与潮流计算结果一致;
 - 调节整流侧变压器的变比,仿真计算直流输电系统初始化完成后的整流侧触发角,并调整整流侧触发角与潮流结果一致;
 - 放开定直流电压控制环节,进行仿真,检查两侧交流有功功率和无功功率与潮流结果的偏差,若偏差符合预设阈值,则完成初始化调整。
5. 根据权利要求1所述的方法,所述第三阶段,根据直流输电系统控制方式进行不同的初始化计算,逆变侧的熄弧角控制方式包括实测型和预测型;

所述实测型控制利用PI进行闭环控制；

所述预测型通过熄弧角对逆变侧进行触发控制。

6. 一种适用于全电磁暂态仿真的三阶段初始化系统,所述系统包括:

潮流计算单元,针对直流输电系统模型,读入模型参数,并进行潮流计算;

模型转换单元,通过潮流计算确定机电暂态仿真模型数据,并将机电暂态仿真模型数据转换为全电磁暂态仿真模型数据;

仿真单元,针对全电磁暂态仿真模型数据,进入三阶段仿真,包括:

第一阶段,闭锁直流触发系统,确定交流侧两端电压源的幅值和角度为潮流计算结果,根据潮流计算结果对交流侧同步发电机进行充电和初始化;

第二阶段,利用潮流计算结果中交流侧两端电压源的角度锁定直流控制系统,启动直流电路以及触发系统,对直流电路的预定元件进行充电,并调整交直流接口处的有功功率误差和无功功率误差;

第三阶段,将直流输电系统的直流控制系统进行反向初始化,并将控制系统放开,使直流输电系统进入全电磁暂态的常规仿真。

7. 根据权利要求6所述的系统,所述将机电暂态仿真模型数据转换为全电磁暂态仿真模型数据,转换后全电磁暂态仿真模型数据中发电机模型采用dq变换模型;全电磁暂态仿真模型数据中线路模型,包括:网络内部采用PI模型,分网联络线采用分布参数模型;全电磁暂态仿真模型数据中负荷模型采用恒阻抗模型,三相等效模型使用对称的星型接线方式。

8. 根据权利要求6所述的系统,所述第一阶段的同步发电机的充电过程,包括:

将同步发电机转换为电压源模型,对电压源模型进行预设时间的仿真;

将电压源模型转换为同步发电机模型,电磁方程部分放开,转动方程部分锁定,采用恒转速模式进行计算;

将同步发电机模型的转动方程部分放开,同步发电机模型部分转化为正常模式仿真,获取测量值;

利用同步发电机模型的测量值,对除同步发电机模型外的模型进行初始化,并将控制系统接入,控制交流系统进行仿真;

除同步发电机模型外的模型,包括:原动机模型、调速控制系统模型、励磁系统模型和电力系统稳定器PSS模型。

9. 根据权利要求6所述的系统,所述调整交直流接口处的有功功率和无功功率误差,包括:

根据电磁暂态中元件的参数,调整全电磁暂态仿真模型数据中的参数;

锁定控制系统中的定电压控制环节;

调节逆变侧变压器的变比,仿真计算直流输电系统初始化完成后的直流电压,并调整直流电压与潮流计算结果一致;

调节整流侧变压器的变比,仿真计算直流输电系统初始化完成后的整流侧触发角,并调整整流侧触发角与潮流结果一致;

放开定直流电压控制环节,进行仿真,检查两侧交流有功功率和无功功率与潮流结果的偏差,若偏差符合预设阈值,则完成初始化调整。

10. 根据权利要求6所述的系统, 所述第三阶段, 根据直流输电系统控制方式进行不同的初始化计算, 逆变侧的熄弧角控制方式包括实测型和预测型;

所述实测型控制利用PI进行闭环控制;

所述预测型通过熄弧角对逆变侧进行触发控制。

一种适用于全电磁暂态仿真的三阶段初始化方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统建模与仿真技术领域,并且更具体地,涉及一种适用于全电磁暂态仿真的三阶段初始化方法及系统。

背景技术

[0002] 目前关于电磁仿真及其应用的研究很多,但大多数集中在如何建立电力系统元件的模型及如何提高仿真精度和计算效率方面。全电磁暂态仿真技术应用于大电网稳定性分析主要是为了解决直流输电系统接入后仿真不准确的问题。在交直流混联系统中的全电磁仿真中,模型及系统的初始化在电力系统稳定性分析中是一个必选项,无论是对故障的复现还是电网方式的安排,都需要根据电网不同的运行状态分析电网的稳定性。

[0003] 在机电暂态仿真中,由于潮流计算与机电暂态的电路在机电暂态程序中,由于潮流计算与机电暂态的电路部分都采用相同的基波向量模型,初始化并不是难题。机电暂态程序采用潮流结果进行初始化,在仿真开始时就会对潮流结果进行校验,存在电压偏差时会报错并退出计算。机电暂态中主要对控制系统的动态进行详细建模,潮流中将控制特性改为了PQ、PV、V θ 节点,控制器的限幅则变为了Q $_{max}$ 、Q $_{min}$ 等限制量,会产生限幅的冲突。除此之外,没有其他初始化问题。

[0004] 电磁暂态仿真的初始化方法主要分为三种方式:相量解方法、电磁暂态法、潮流解方法。全电磁暂态仿真由于仿真规模较大,向量解方法和电磁暂态法的适用性并不强,一般采用基于潮流解的仿真初始化方法进行求解。但是,直流输电系统由于潮流模型与电磁模型的不一致,其初始化面临着较大的困难,初始化时间更长。

发明内容

[0005] 针对上述问题本发明提出了一种适用于全电磁暂态仿真的三阶段初始化方法,包括:

[0006] 针对直流输电系统模型,读入模型参数,并进行潮流计算;

[0007] 通过潮流计算确定机电暂态仿真模型数据,并将机电暂态仿真模型数据转换为全电暂态仿真模型数据;

[0008] 针对全电暂态仿真模型数据,进入三阶段仿真,包括:

[0009] 第一阶段,闭锁直流触发系统,确定交流侧两端电压源的幅值和角度为潮流计算结果,根据潮流计算结果对交流侧同步发电机进行充电和初始化;

[0010] 第二阶段,利用潮流计算结果中交流侧两端电压源的角度锁定直流控制系统,启动直流电路以及触发系统,对直流电路的预定元件进行充电,并调整交直流接口处的有功功率和无功功率误差;

[0011] 第三阶段,将直流输电系统的直流控制系统进行反向初始化,并将控制系统放开,使直流输电系统进入全电磁暂态的常规仿真。

[0012] 可选的,将机电暂态仿真模型数据转换为全电暂态仿真模型数据,准换后全电暂

态仿真模型数据中发电机模型采用

[0013] 采用dq变换模型;全电暂态仿真模型数据中线路模型,包括:网络内部采用PI模型,分网联络线采用分布参数模型;全电暂态仿真模型数据中负荷模型采用恒阻抗模型,三相等效模型使用对称的星型接线方式。

[0014] 可选的,第一阶段的同步发电机的充电过程,包括:

[0015] 将同步发电机转换为电压源模型,对电压源模型进行预设时间的仿真;

[0016] 将电压源模型转换为同步发电机模型,电磁方程部分放开,转动方程部分锁定,采用恒转速模式进行计算;

[0017] 将同步发电机模型的转动方程部分放开,同步发电机模型部分转化为正常模式仿真,获取测量值;

[0018] 利用同步发电机模型的测量值,对除同步发电机模型外的模型进行初始化,并将控制系统接入,控制交流系统进行仿真;

[0019] 除同步发电机模型外的模型,包括:原动机模型、调速控制系统模型、励磁系统模型和电力系统稳定器PSS模型。

[0020] 可选的,调整交直流接口处的有功功率和无功功率误差,包括:

[0021] 根据电磁暂态中元件的参数,调整全电暂态仿真模型数据中的参数;

[0022] 锁定控制系统中的定电压控制环节;

[0023] 调节逆变侧变压器的变比,仿真计算直流输电系统初始化完成后的直流电压,并调整直流电压与潮流计算结果一致;

[0024] 调节整流侧变压器的变比,仿真计算直流输电系统初始化完成后的整流侧触发角,并调整整流侧触发角与潮流结果一致;

[0025] 放开定直流电压控制环节,进行仿真,检查两侧交流有功功率和无功功率与潮流结果的偏差,若偏差符合预设阈值,则完成初始化调整。

[0026] 可选的,第三阶段,根据直流输电系统控制方式进行不同的初始化计算,逆变侧的熄弧角控制方式包括实测型和预测型;

[0027] 所述实测型控制利用PI进行闭环控制;

[0028] 所述预测型通过熄弧角对逆变侧进行触发控制。

[0029] 本发明还提出了一种适用于全电磁暂态仿真的三阶段初始化系统,包括:

[0030] 潮流计算单元,针对直流输电系统模型,读入模型参数,并进行潮流计算;

[0031] 模型转换单元,通过潮流计算确定机电暂态仿真模型数据,并将机电暂态仿真模型数据转换为全电暂态仿真模型数据;

[0032] 仿真单元,针对全电暂态仿真模型数据,进入三阶段仿真,包括:

[0033] 第一阶段,闭锁直流触发系统,确定交流侧两端电压源的幅值和角度为潮流计算结果,根据潮流计算结果对交流侧同步发电机进行充电和初始化;

[0034] 第二阶段,利用潮流计算结果中交流侧两端电压源的角度锁定直流控制系统,启动直流电路以及触发系统,对直流电路的预定元件进行充电,并调整交直流接口处的有功功率和无功功率误差;

[0035] 第三阶段,将直流输电系统的直流控制系统进行反向初始化,并将控制系统放开,使直流输电系统进入全电磁暂态的常规仿真。

- [0036] 可选的,将机电暂态仿真模型数据转换为全电暂态仿真模型数据,准换后全电暂态仿真模型数据中发电机模型采用
- [0037] 采用dq变换模型;全电暂态仿真模型数据中线路模型,包括:网络内部采用PI模型,分网联络线采用分布参数模型;全电暂态仿真模型数据中负荷模型采用恒阻抗模型,三相等效模型使用对称的星型接线方式。
- [0038] 可选的,第一阶段的同步发电机的充电过程,包括:
- [0039] 将同步发电机转换为电压源模型,对电压源模型进行预设时间的仿真;
- [0040] 将电压源模型转换为同步发电机模型,电磁方程部分放开,转动方程部分锁定,采用恒转速模式进行计算;
- [0041] 将同步发电机模型的转动方程部分放开,同步发电机模型部分转化为正常模式仿真,获取测量值;
- [0042] 利用同步发电机模型的测量值,对除同步发电机模型外的模型进行初始化,并将控制系统接入,控制交流系统进行仿真;
- [0043] 除同步发电机模型外的模型,包括:原动机模型、调速控制系统模型、励磁系统模型和电力系统稳定器PSS模型。
- [0044] 可选的,调整交直流接口处的有功功率和无功功率误差,包括:
- [0045] 根据电磁暂态中元件的参数,调整全电暂态仿真模型数据中的参数;
- [0046] 锁定控制系统中的定电压控制环节;
- [0047] 调节逆变侧变压器的变比,仿真计算直流输电系统初始化完成后的直流电压,并调整直流电压与潮流计算结果一致;
- [0048] 调节整流侧变压器的变比,仿真计算直流输电系统初始化完成后的整流侧触发角,并调整整流侧触发角与潮流结果一致;
- [0049] 放开定直流电压控制环节,进行仿真,检查两侧交流有功功率和无功功率与潮流结果的偏差,若偏差符合预设阈值,则完成初始化调整。
- [0050] 可选的,第三阶段,根据直流输电系统控制方式进行不同的初始化计算,逆变侧的熄弧角控制方式包括实测型和预测型;
- [0051] 所述实测型控制利用PI进行闭环控制;
- [0052] 所述预测型通过熄弧角对逆变侧进行触发控制。
- [0053] 本发明的具有较好的可操作性,适用于大多数直流输电系统的初始化,也可以适应大多数的电磁暂态仿真软件,具有更好的计算适应性。

附图说明

- [0054] 图1为本发明一种适用于全电磁暂态仿真的三阶段初始化方法的流程图;
- [0055] 图2为本发明一种适用于全电磁暂态仿真的三阶段初始化方法的三阶段初始化示意图;
- [0056] 图3为本发明一种适用于全电磁暂态仿真的三阶段初始化方法常规直流潮流模型图;
- [0057] 图4为本发明一种适用于全电磁暂态仿真的三阶段初始化系统的结构图。

具体实施方式

[0058] 现在参考附图介绍本发明的示例性实施方式,然而,本发明可以用许多不同的形式来实施,并且不局限于此处描述的实施例,提供这些实施例是为了详尽地且完全地公开本发明,并且向所属技术领域的技术人员充分传达本发明的范围。对于表示在附图中的示例性实施方式中的术语并不是对本发明的限定。在附图中,相同的单元/元件使用相同的附图标记。

[0059] 除非另有说明,此处使用的术语(包括科技术语)对所属技术领域的技术人员具有通常的理解含义。另外,可以理解的是,以通常使用的词典限定的术语,应当被理解为与其相关领域的语境具有一致的含义,而不应该被理解为理想化的或过于正式的意义。

[0060] 本发明提出了一种适用于全电磁暂态仿真的三阶段初始化方法,如图1所示,包括:

[0061] 针对直流输电系统模型,读入模型参数,并进行潮流计算;

[0062] 通过潮流计算确定机电暂态仿真模型数据,并将机电暂态仿真模型数据转换为全电暂态仿真模型数据;

[0063] 针对全电暂态仿真模型数据,进入三阶段仿真,包括:

[0064] 第一阶段,闭锁直流触发系统,确定交流侧两端电压源的幅值和角度为潮流计算结果,根据潮流计算结果对交流侧同步发电机进行充电和初始化;

[0065] 第二阶段,利用潮流计算结果中交流侧两端电压源的角度锁定直流控制系统,启动直流电路以及触发系统,对直流电路的预定元件进行充电,并调整交直流接口处的有功功率和无功功率误差;

[0066] 第三阶段,将直流输电系统的直流控制系统进行反向初始化,并将控制系统放开,使直流输电系统进入全电磁暂态的常规仿真。

[0067] 将机电暂态仿真模型数据转换为全电暂态仿真模型数据,准换后全电暂态仿真模型数据中发电机模型采用

[0068] 采用dq变换模型;全电暂态仿真模型数据中线路模型,包括:网络内部采用PI模型,分网联络线采用分布参数模型;全电暂态仿真模型数据中负荷模型采用恒阻抗模型,三相等效模型使用对称的星型接线方式。

[0069] 第一阶段同步发电机的充电过程,包括:

[0070] 将同步发电机转换为电压源模型,对电压源模型进行预设时间的仿真;

[0071] 将电压源模型转换为同步发电机模型,电磁方程部分放开,转动方程部分锁定,采用恒转速模式进行计算;

[0072] 将同步发电机模型的转动方程部分放开,同步发电机模型部分转化为正常模式仿真,获取测量值;

[0073] 利用同步发电机模型的测量值,对除同步发电机模型外的模型进行初始化,并将控制系统接入,控制交流系统进行仿真;

[0074] 除同步发电机模型外的模型,包括:原动机模型、调速控制系统模型、励磁系统模型和电力系统稳定器PSS模型。

[0075] 调整交直流接口处的有功功率和无功功率误差,包括:

[0076] 根据电磁暂态中元件的参数,调整全电暂态仿真模型数据中的参数;

- [0077] 锁定控制系统中的定电压控制环节；
- [0078] 调节逆变侧变压器的变比，仿真计算直流输电系统初始化完成后的直流电压，并调整直流电压与潮流计算结果一致；
- [0079] 调节整流侧变压器的变比，仿真计算直流输电系统初始化完成后的整流侧触发角，并调整整流侧触发角与潮流结果一致；
- [0080] 放开定直流电压控制环节，进行仿真，检查两侧交流有功功率和无功功率与潮流结果的偏差，若偏差符合预设阈值，则完成初始化调整。
- [0081] 第三阶段，根据直流输电系统控制方式进行不同的初始化计算，逆变侧的熄弧角控制方式包括实测型和预测型；
- [0082] 实测型控制利用PI进行闭环控制；
- [0083] 预测型通过熄弧角对逆变侧进行触发控制。
- [0084] 下面结合实施例对本发明进行进一步的说明：
- [0085] 本发明中仿真示意图如图2所示，包括：
- [0086] 步骤1：读入网络中的母线、线路、变压器、发电机、负荷等模型参数，直流输电系统的模型如图3所示，具体的潮流计算公式为(1)和(2)，利用牛顿拉夫逊方法进行大电网的潮流计算。
- [0087]
$$V_{dr} = \frac{3\sqrt{2} V_r}{\pi k_r} \cos \alpha - R_{cr} I_d \quad (1)$$
- [0088]
$$V_{di} = \frac{3\sqrt{2} V_i}{\pi k_i} \cos \gamma - R_{ci} I_d \quad (2)$$
- [0089] 步骤2：将机电暂态仿真模型数据转换为全电磁暂态仿真数据，其中机电暂态模型简化处理为对称的三相模型。
- [0090] 步骤3：第一阶段仿真。闭锁直流触发系统，交流侧两端电压源的幅值和角度为潮流计算结果，对交流侧元件进行充电和初始化计算。
- [0091] 步骤4：第二阶段仿真。利用潮流计算结果中两侧的触发角锁定直流控制系统，启动直流电路以及触发系统，对直流线路部分的元件进行充电，并进行调整使交直流接口处的有功功率和无功功率误差尽量减小。
- [0092] 步骤5：第三阶段仿真。将直流输电系统的控制系统进行反向初始化，并将直流系统的控制系统放开，进入全电磁暂态的正常仿真。
- [0093] 步骤2中，转换后发电机采用dq变换模型，线路分为两种情况，网络内部采用PI模型，分网联络线采用分布参数模型，负荷采用简化的恒阻抗模型，三相等效采用对称的星型接线方式；
- [0094] 步骤3中的同步发电机充电过程包含以下步骤：
- [0095] 步骤301：同步发电机转换为电压源模型，仿真时间为0.2s，其中电压爬坡时间为0.1s，即前0.1s电压源的电压从0线性增加到潮流计算解。
- [0096] 步骤302：将电压源模型改为同步发电机模型，电磁方程部分放开，转动方程部分锁定，采用恒转速模式计算0.15s，在此过程中同步发电机的转速偏差保持为0，即无偏差。
- [0097] 步骤303：将同步发电机的转动方程部分放开，同步发电机模型部分转化为正常模式，仿真0.15s。
- [0098] 步骤304：利用同步发电机的测量值对同步发电机的其他模型进行初始化，包括原

动机模型、调速控制系统、励磁系统、电力系统稳定器 (PSS) 模型,将控制系统接入,整个交流系统进行正常仿真。

[0099] 步骤4的调整包含以下步骤:

[0100] 步骤401:按照电磁暂态中元件的参数,调整潮流模型中的参数,特别时变压器的参数、线路的参数、滤波器电容等的参数。

[0101] 步骤402:锁定控制系统中的定电压控制环节,保证在初始化过程中,定电压控制部分不起作用。

[0102] 步骤403:调节逆变侧变压器的变比,仿真计算并观察直流系统初始化完成后的直流电压,反复调整直到与潮流结果一致。

[0103] 步骤404:调节整流侧变压器的变比,仿真计算并观察直流系统初始化完成后的整流侧触发角,反复调整直到与潮流结果一致。

[0104] 步骤405:放开定直流电压控制环节,进行仿真,检查两侧交流有功功率和无功功率与潮流结果是否一致,若偏差较大,则是潮流模型中的参数存在错误,重新执行步骤403,检查模型参数中的错误,若偏差较小,则完成初始化调整。

[0105] 步骤5需要根据直流输电系统控制方式进行不同的初始化计算方式。逆变侧的熄弧角控制方式分为实测型和预测型两种:实测型控制利用PI进行闭环控制;预测型控制通过计算得到的熄弧角对逆变侧进行触发控制,其实质是一开环控制,熄弧角的计算公式(3)。为了得到与潮流结果匹配的结果,对于预测型熄弧角控制系统,需要设置合适的dx参数才能获得合适的熄弧角,该参数由公式(3)计算得到。

$$[0106] \quad \beta = \arccos \left[\cos \gamma - \frac{2dx}{U_{dio}} I_o - K(I_o - I_d) \right] \quad (3)$$

[0107] 本发明还提出了一种适用于全电磁暂态仿真的三阶段初始化系统200,如图4所示,包括:

[0108] 潮流计算单元201,针对直流输电系统模型,读入模型参数,并进行潮流计算;

[0109] 模型转换单元202,通过潮流计算确定机电暂态仿真模型数据,并将机电暂态仿真模型数据转换为全电暂态仿真模型数据;

[0110] 仿真单元203,针对全电暂态仿真模型数据,进入三阶段仿真,包括:

[0111] 第一阶段,闭锁直流触发系统,确定交流侧两端电压源的幅值和角度为潮流计算结果,根据潮流计算结果对交流侧同步发电机进行充电和初始化;

[0112] 第二阶段,利用潮流计算结果中交流侧两端电压源的角度锁定直流控制系统,启动直流电路以及触发系统,对直流电路的预定元件进行充电,并调整交直流接口处的有功功率和无功功率误差;

[0113] 第三阶段,将直流输电系统的直流控制系统进行反向初始化,并将控制系统放开,使直流输电系统进入全电磁暂态的常规仿真。

[0114] 将机电暂态仿真模型数据转换为全电暂态仿真模型数据,准换后全电暂态仿真模型数据中发电机模型采用

[0115] 采用dq变换模型;全电暂态仿真模型数据中线路模型,包括:网络内部采用PI模型,分网联络线采用分布参数模型;全电暂态仿真模型数据中负荷模型采用恒阻抗模型,三相等效模型使用对称的星型接线方式。

- [0116] 第一阶段的同步发电机的充电过程,包括:
- [0117] 将同步发电机转换为电压源模型,对电压源模型进行预设时间的仿真;
- [0118] 将电压源模型转换为同步发电机模型,电磁方程部分放开,转动方程部分锁定,采用恒转速模式进行计算;
- [0119] 将同步发电机模型的转动方程部分放开,同步发电机模型部分转化为正常模式仿真,获取测量值;
- [0120] 利用同步发电机模型的测量值,对除同步发电机模型外的模型进行初始化,并将控制系统接入,控制交流系统进行仿真;
- [0121] 除同步发电机模型外的模型,包括:原动机模型、调速控制系统模型、励磁系统模型和电力系统稳定器PSS模型。
- [0122] 调整交直流接口处的有功功率和无功功率误差,包括:
- [0123] 根据电磁暂态中元件的参数,调整全电暂态仿真模型数据中的参数;
- [0124] 锁定控制系统中的定电压控制环节;
- [0125] 调节逆变侧变压器的变比,仿真计算直流输电系统初始化完成后的直流电压,并调整直流电压与潮流计算结果一致;
- [0126] 调节整流侧变压器的变比,仿真计算直流输电系统初始化完成后的整流侧触发角,并调整整流侧触发角与潮流结果一致;
- [0127] 放开定直流电压控制环节,进行仿真,检查两侧交流有功功率和无功功率与潮流结果的偏差,若偏差符合预设阈值,则完成初始化调整。
- [0128] 第三阶段,根据直流输电系统控制方式进行不同的初始化计算,逆变侧的熄弧角控制方式包括实测型和预测型;
- [0129] 实测型控制利用PI进行闭环控制;
- [0130] 预测型通过熄弧角对逆变侧进行触发控制。
- [0131] 本发明的具有较好的可操作性,适用于大多数直流输电系统的初始化,也可以适应大多数的电磁暂态仿真软件,具有更好的计算适应性。
- [0132] 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。本申请实施例中的方案可以采用各种计算机语言实现,例如,面向对象的程序设计语言Java和直译式脚本语言JavaScript等。
- [0133] 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。
- [0134] 这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中,使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指

令装置的制造品,该指令装置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。

[0135] 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上,使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理,从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供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步骤。

[0136] 尽管已描述了本申请的优选实施例,但本领域内的技术人员一旦得知了基本创造性概念,则可对这些实施例作出另外的变更和修改。所以,所附权利要求意欲解释为包括优选实施例以及落入本申请范围的所有变更和修改。

[0137] 显然,本领域的技术人员可以对本申请进行各种改动和变型而不脱离本申请的精神和范围。这样,倘若本申请的这些修改和变型属于本申请权利要求及其等同技术的范围之内,则本申请也意图包含这些改动和变型在内。

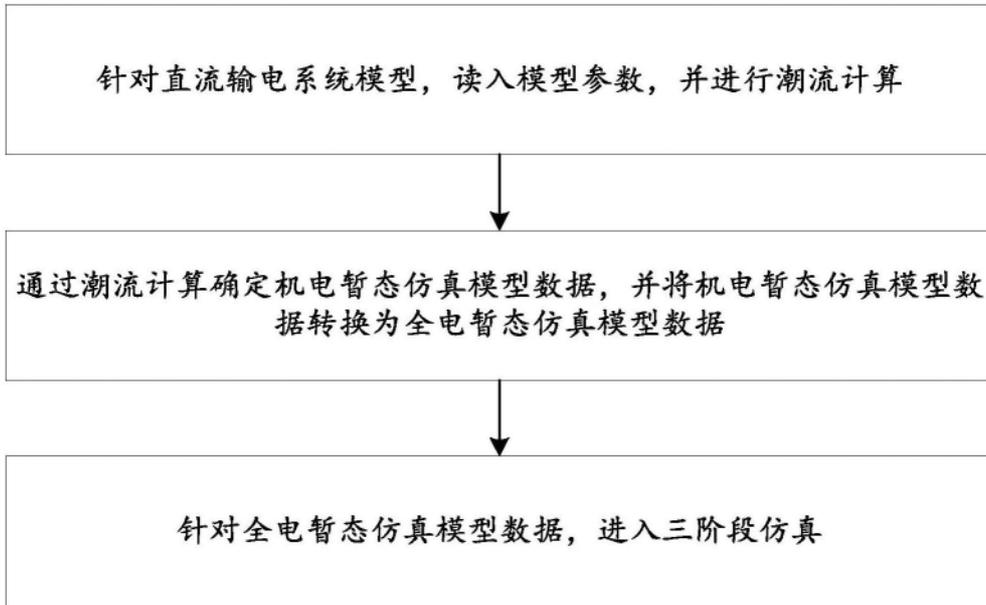


图1

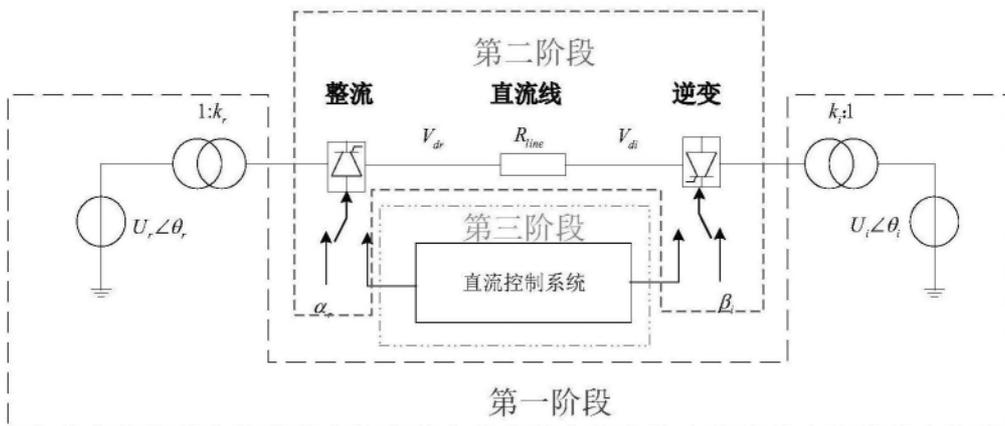


图2

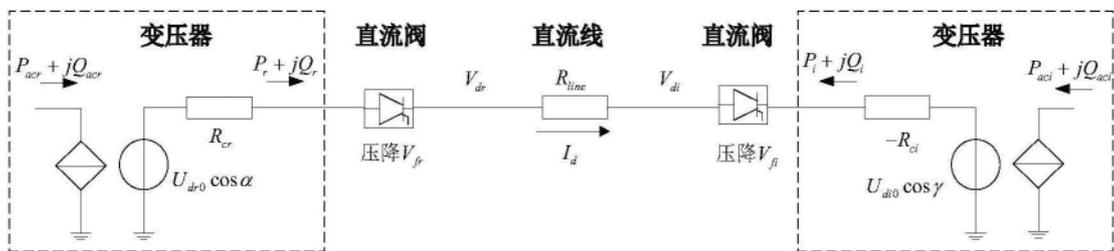


图3



图4