



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105576654 B

(45)授权公告日 2018.03.30

(21)申请号 201610015797.1

(22)申请日 2016.01.08

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105576654 A

(43)申请公布日 2016.05.11

(73)专利权人 南方电网科学研究院有限责任公司

地址 510080 广东省广州市越秀区东风东路水均岗8号

专利权人 哈尔滨工业大学
中国南方电网有限责任公司电网
技术研究中心

(72)发明人 齐金玲 金小明 晁璞璞 李卫星

(74)专利代理机构 广州华进联合专利商标代理有限公司 44224

代理人 周清华 崔春

(51)Int.Cl.
H02J 3/00(2006.01)
G06F 17/50(2006.01)

(56)对比文件
CN 104200027 A,2014.12.10,
CN 104361170 A,2015.02.18,
CN 104732008 A,2015.06.24,
US 2004/0207207 A1,2004.10.21,

审查员 周权

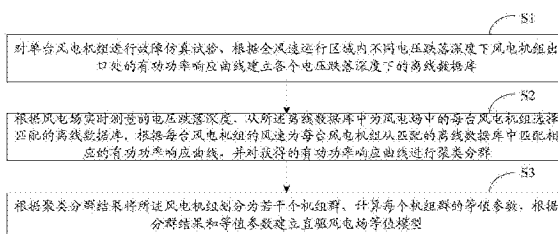
权利要求书2页 说明书8页 附图6页

(54)发明名称

直驱风电场等值方法和系统

(57)摘要

本发明涉及一种直驱风电场等值方法和系统,其中,方法包括以下步骤:对单台风电机组进行故障仿真试验,根据全风速运行区域内不同电压跌落深度下风电机组出口处的有功功率响应曲线建立各个电压跌落深度下的离线数据库;根据风电场实时测量的电压跌落深度,从所述离线数据库中为风电场中的每台风电机组选择匹配的离线数据库,根据每台风电机组的风速为每台风电机组从匹配的离线数据库中匹配相应的有功功率响应曲线,并对获得的有功功率响应曲线进行聚类分群;根据聚类分群结果将所述风电机组划分为若干个机组群,计算每个机组群的等值参数,根据分群结果和等值参数建立直驱风电场等值模型。所述直驱风电场等值方法和系统精确度高。



1. 一种直驱风电场等值方法,其特征在于,包括以下步骤:

对单台直驱式风电机组进行故障仿真试验,根据全风速运行区域内不同电压跌落深度下直驱式风电机组出口处的有功功率响应曲线建立各个电压跌落深度下的离线数据库;

根据风电场实时测量的电压跌落深度,从所述离线数据库中为风电场中的每台直驱式风电机组选择匹配的离线数据库,根据每台直驱式风电机组的风速为每台直驱式风电机组从匹配的离线数据库中匹配相应的有功功率响应曲线,并对获得的有功功率响应曲线进行聚类分群;

根据聚类分群结果将所述直驱式风电机组划分为若干个机组群,计算每个机组群的等值参数,根据分群结果和等值参数建立直驱风电场等值模型。

2. 根据权利要求1所述的直驱风电场等值方法,其特征在于,根据全风速运行区域内不同电压跌落深度下直驱式风电机组出口处的有功功率响应曲线建立各个电压跌落深度下的离线数据库的步骤包括:

为所述直驱式风电机组单机故障试验建立单机故障仿真模型;

设置所述直驱式风电机组的输入风速;

设置所述单机故障仿真模型中故障期间直驱式风电机组机端的电压跌落深度;

根据所述单机故障仿真模型对全风速运行区域内不同电压跌落深度情况进行仿真,得到所述有功功率响应曲线;

根据所述有功功率响应曲线建立离线数据库。

3. 根据权利要求2所述的直驱风电场等值方法,其特征在于,所述单机故障仿真模型包括直驱式风电机组、集电线路、机端升压变压器、电网系统和故障发生器模型,其中,所述直驱式风电机组模型包括风力机、轴系、永磁同步发电机、全功率变流器及其控制系统、变桨距控制系统和卸荷电路及其控制系统模型。

4. 根据权利要求2所述的直驱风电场等值方法,其特征在于,所述单机故障仿真模型中故障期间直驱式风电机组机端电压跌落深度的范围为额定电压的10%至100%,步长间隔为额定电压的10%。

5. 根据权利要求1所述的直驱风电场等值方法,其特征在于,所述等值参数包括等值风速、直驱式风电机组等值参数和等值集电线路。

6. 根据权利要求1所述的直驱风电场等值方法,其特征在于,对匹配的离线数据库中的有功功率响应曲线进行聚类分群的步骤包括:

计算所述匹配的离线数据库中的有功功率响应曲线两两之间的切比雪夫距离和欧式距离;

根据所述切比雪夫距离和欧式距离对所述匹配的离线数据库中的有功功率响应曲线进行聚类分群。

7. 一种直驱风电场等值系统,其特征在于,包括:

第一建立模块,用于对单台直驱式风电机组进行故障仿真试验,根据全风速运行区域内不同电压跌落深度下直驱式风电机组出口处的有功功率响应曲线,建立各个电压跌落深度下的离线数据库;

聚类模块,用于根据风电场实时测量的电压跌落深度,从所述离线数据库中为风电场中的每台直驱式风电机组选择匹配的离线数据库,根据每台直驱式风电机组的风速为每台

直驱式风电机组从匹配的离线数据库中匹配相应的有功功率响应曲线,并对获得的有功功率响应曲线进行聚类分群;

第二建立模块,用于根据聚类分群结果将所述直驱式风电机组划分为若干个机组群,计算每个机组群的等值参数,根据分群结果和等值参数建立直驱风电场等值模型。

8. 根据权利要求7所述的直驱风电场等值系统,其特征在于,所述第一建立模块包括:

第一建立单元,用于为所述直驱式风电机组单机故障试验建立单机故障仿真模型;

第一设置单元,用于设置所述直驱式风电机组的输入风速;

第二设置单元,用于设置所述单机故障仿真模型中故障期间直驱式风电机组机端的电压跌落深度;

仿真单元,用于根据所述单机故障仿真模型对全风速运行区域内不同电压跌落深度情况进行仿真,得到所述有功功率响应曲线;

第二建立单元,用于根据所述有功功率响应曲线建立离线数据库。

9. 根据权利要求8所述的直驱风电场等值系统,其特征在于,所述单机故障仿真模型包括直驱式风电机组、集电线路、机端升压变压器、电网系统和故障发生器模型,其中,所述直驱式风电机组模型包括风力机、轴系、永磁同步发电机、全功率变换器及其控制系统、变桨距控制系统和卸荷电路及其控制系统模型。

直驱风电场等值方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统仿真建模技术领域,特别是涉及一种直驱风电场等值方法和系统。

背景技术

[0002] 随着风电的快速发展,风电系统对电网的影响范围也从局部逐渐扩大到整个电网。由于风能的随机性、风电机组运行无人现场职守和电力系统运行高可靠性的要求,建立风电场仿真模型是十分必要的。在实际应用中,一个风电场风电机组数量众多,且运行工况各异,如果对每台机组进行详细建模将使得风电场模型阶数十分庞大,也会带来诸如计算时间长、占用内存大等严重问题。因此,建立合适的动态模型,准确地模拟风电场的动态行为是仿真研究的基础。

[0003] 目前,直驱风电场的等值方法主要有单机表征法和多机表征法。单机表征法是将整个风电场等值为一台风电机组,等值机的功率是所有机组功率的代数和。对于大型风电场,风电机组之间运行工况各异,单机表征法必然存在难以兼顾风电机组之间运行状态差异的问题,会产生较大的等值误差。多机表征法是根据不同的分群原则,将风电场等值为几台风电机组。相比于单机表征法,多机模型更能体现风电场中机组运行状态的差异性,此方法中合理分群是关键。目前,分群方法主要有:(1)按机组位置和组网方法分群,即:根据风电机组位置,将连接在一起、电气距离较近的同排机组划分到同一群。这种方法保证了群内机组具有相近的机端电压,对电网故障具有相近的响应,但对风向没有适应性,且分群数随风电场规模的增大而增多,等值模型不够简化。(2)借助聚类算法,按机组运行状态信息进行分群。风电机组运行控制区域、风电机组实测有功数据以及由风速、机组有功、电压、电流在故障前的初值组成的综合聚类指标均被提出。然而,现有的多机表征法在进行风电场等值研究时,大多未能充分考虑实际风场中由连接线路造成的风电机组机端电压差异这一问题,鲜少有针对风电场在不同电压跌落情况下等值方法的研究。事实上,当电网系统中发生故障的地点不同或电网中由于某种因素引起的电网电压低于正常值,对于并网型风电场均会反映为风电场整体呈现不同的电压水平。因此,为使风电场等值更加贴合实际情况,有必要针对这一问题展开研究。

发明内容

[0004] 基于此,有必要针对上述问题,提供一种直驱风电场等值方法和系统。

[0005] 一种直驱风电场等值方法,包括以下步骤:

[0006] 对单台风电机组进行故障仿真试验,根据全风速运行区域内不同电压跌落深度下风电机组出口处的有功功率响应曲线建立各个电压跌落深度下的离线数据库;

[0007] 根据风电场实时测量的电压跌落深度,从所述离线数据库中为风电场中的每台风电机组选择匹配的离线数据库,根据每台风电机组的风速为每台风电机组从匹配的离线数据库中匹配相应的有功功率响应曲线,并对获得的有功功率响应曲线进行聚类分群;

[0008] 根据聚类分群结果将所述风电机组划分为若干个机组群,计算每个机组群的等值参数,根据分群结果和等值参数建立直驱风电场等值模型。

[0009] 一种直驱风电场等值系统,包括:

[0010] 第一建立模块,用于对单台风电机组进行故障仿真试验,根据全风速运行区域内不同电压跌落深度下风电机组出口处的有功功率响应曲线,建立各个电压跌落深度下的离线数据库;

[0011] 聚类模块,用于根据风电场实时测量的电压跌落深度,从所述离线数据库中为风电场中的每台风电机组选择匹配的离线数据库,根据每台风电机组的风速为每台风电机组从匹配的离线数据库中匹配相应的有功功率响应曲线,并对获得的有功功率响应曲线进行聚类分群;

[0012] 第二建立模块,用于根据聚类分群结果将所述风电机组划分为若干个机组群,计算每个机组群的等值参数,根据分群结果和等值参数建立直驱风电场等值模型。

[0013] 上述直驱风电场等值方法和系统,通过建立各个电压跌落深度下的离线数据库,从所述离线数据库中为风电场的每台风电机组选择匹配的离线数据库,并对匹配的离线数据库中的有功功率响应曲线进行聚类分群,根据聚类分群结果将所述风电机组划分为若干个机组群,计算每个机组群的等值参数,根据分群结果和等值参数建立直驱风电场等值模型,充分考虑了机端不同电压跌落情况对等值结果的影响,精确度高。

附图说明

[0014] 图1为一个实施例的直驱风电场等值方法流程图;

[0015] 图2为风电场详细模型示意图;

[0016] 图3是风电场中每台风电机组的风速和机端电压跌落情况示意图;

[0017] 图4是从离线库中提取的相应状态下风电机组有功功率暂态响应曲线图;

[0018] 图5是聚类树形图;

[0019] 图6(a)是故障1时的有功功率对比图;

[0020] 图6(b)是故障1时的无功功率对比图;

[0021] 图7(a)是故障2时的有功功率对比图;

[0022] 图7(b)是故障2时的无功功率对比图;

[0023] 图8为一个实施例的直驱风电场等值系统的结构示意图。

具体实施方式

[0024] 下面结合附图对本发明的直驱风电场等值方法的实施例进行描述。

[0025] 图1为一个实施例的直驱风电场等值方法流程图。如图1所示,所述直驱风电场等值方法可包括以下步骤:

[0026] S1,对单台风电机组进行故障仿真试验,根据全风速运行区域内不同电压跌落深度下风电机组出口处的有功功率响应曲线建立各个电压跌落深度下的离线数据库;

[0027] 在本步骤中,所述风电机组为直驱式风电机组。在建立离线数据库之前,可通过仿真的方式得到所述有功功率响应曲线。将所述有功功率响应曲线保存下来,建立离线数据库。通过这种方式,能减少在线等值的计算量,提高在线等值的效率。可通过以下方式建立

离线数据库：

[0028] 步骤1:可为所述风电机组单机故障试验建立单机故障仿真模型；

[0029] 在本步骤中,所述单机故障仿真模型可包括风电机组、集电线路、机端升压变压器、电网系统、故障发生器等模型。其中风电机组模型又可包括风力机、轴系、永磁同步发电机、全功率变流器及其控制系统、变桨距控制系统和卸荷电路及其控制系统等模型。

[0030] 步骤2:可设置所述风电机组的输入风速；

[0031] 在本步骤中,可设定所述风电机组的输入风速的范围为此风电机组运行的全风速,即从切入风速到切出风速,并可设定所述输入风速的步长间隔为0.1m/s。

[0032] 步骤3:可设置所述单机故障仿真模型中故障期间风电机组机端的电压跌落深度；

[0033] 在本步骤中,可设定所述单机故障仿真模型的电压跌落深度的范围为额定电压的10%至100%,并可设定所述电压跌落深度的步长间隔为额定电压的10%。不同的电压跌落程度可以通过改变接地电阻的阻值来模拟。

[0034] 步骤4:可根据所述单机故障仿真模型对全风速运行区域内不同电压跌落深度情况进行仿真,得到所述有功功率响应曲线。

[0035] 在本步骤中,可在仿真软件中设定相关参数,例如,风电机组工作的风速范围为全风速运行区域,即从风电机组的切入风速到切出风速。在此基础之上,可根据步骤3中设置的电压跌落深度对所述风电机组进行仿真。

[0036] 步骤5:根据所述有功功率响应曲线建立离线数据库。

[0037] 在得到所述有功功率响应曲线之后,可根据所述有功功率响应曲线建立若干个离线数据库。与所述电压跌落深度为额定电压的10%至100%相对应的,可建立10个离线数据库。

[0038] S2,根据风电场实时测量的电压跌落深度,从所述离线数据库中为风电场中的每台风电机组选择匹配的离线数据库,根据每台风电机组的风速为每台风电机组从匹配的离线数据库中匹配相应的有功功率响应曲线,并对获得的有功功率响应曲线进行聚类分群；

[0039] 本步骤中可通过实时测量的风速和电压跌落深度,从离线数据库中匹配相应状态下风电机组的有功功率响应曲线,对其进行聚类分群。其中,实测电压跌落深度与离线数据库匹配时可采用四舍五入原则,选择与实测电压跌落程度最为接近的数据库。这里聚类算法可采用应用较为广泛的聚类树法,可令聚类样本为所有提取出的有功功率暂态响应曲线,可综合考虑切比雪夫距离和欧式距离两个距离指标,对所述匹配的离线数据库中的有功功率响应曲线进行聚类分群。所定义的距离用来反映曲线间整体相似程度,距离越小,表明两条曲线越相近,可以合为同一群。由于此聚类算法不属于本发明之列,只是用来实现方法的一种途径,这里不做详细介绍。

[0040] 在其中一实施例中,如果想进一步简化等值模型,步骤S2之后还包括:在根据聚类分群的结果将所述风电机组划分为若干个机组群之后,可根据下述预设修正原则,进一步减少分群数量。原则1:若存在两个机组群的距离十分接近分类阈值,可将所述两个机组群进一步合并为一个机组群。具体地,可根据聚类树形图获得不同机组群之间的距离,与预设的分类阈值相比较;如果所述距离略大于分类阈值,但十分接近分类阈值,可将对应的机组群合并为一个机组群。原则2:可根据聚类分群结果,获得等值后各个机组群中风电机组的数量;分别将各个机组群中风电机组的数量与预设的数量阈值相比较;如果某一群内的风

发电机组的数量小于预设的数量阈值,也可以考虑将这一群与距离最为接近的机组群进行合并。在保证等值精度的情况下,减少计算复杂度,提高计算效率。

[0041] S3,根据聚类分群结果将所述风电机组划分为若干个机组群,计算每个机组群的等值参数,根据分群结果和等值参数建立直驱风电场等值模型。

[0042] 在其中一实施例中,步骤S3之后还包括:采用至少一组检测风速,变换至少两个故障位置点,对所述直驱风电场等值模型进行有效性验证。

[0043] 所述对直驱风电场等值模型进行有效性验证,具体地,可通过采用至少一组检测风速,变换至少两个故障位置点,分别对直驱风电场等值模型和直驱风电场详细模型在完全相同的状态下,包括相同的输入风速、故障发生情况等,进行仿真试验,对比直驱风电场等值模型和直驱风电场详细模型在并网点的输出有功功率、无功功率的响应曲线,据此来评价直驱风电场等值模型的准确程度。所述风电场并网点即为风电场中风电机组的公共连接点。

[0044] 本步骤中计算同群机组的等值参数,可以等值前后风电机组输出功率相同为原则,计算等值风速;可采用容量加权法计算风电机组等值参数;可以电压差不变为原则,计算等值集电线路。

[0045] 应用上述直驱风电场等值方法,对一个5排10列,共50台风电机组构成的直驱风电场进行等值分群。

[0046] 风电场详细模型如图2所示,直驱风电场中的50台风电机组型号相同,风电机组可采用一机一变结构,每台风电机组额定电压可设为690V,可通过机端升压变压器接至风电场的PCC(Point of Common Coupling,公共连接点)处,再通过风电场主变压器升至220kV,经30km双回馈线接入电网系统中。相邻风电机组间联络线长度可设为0.5km,PCC到风电场主变压器间联络线长度可设为1.0km,风电场主变压器到电网系统之间联络线的长度可设为30.0km,风电场详细模型如图2所示。

[0047] 为考察本方法对不同电压跌落程度及故障点位置的有效性,可分别在风电机组出口处及双回馈线中一回线中点处设置三相短路故障。

[0048] (1)故障1设置信息:可在风电场出口处设置三相短路接地,2.0s时故障投入,0.15s后清除。

[0049] 首先,可获得各台风电机组的风速和机端电压跌落信息,如图3所示。可根据风电场实时测量的电压跌落深度,从所述离线数据库中为风电场中的每台风电机组选择匹配的离线数据库。从图3可以看出,1、2、11、12、21、31、41号风电机组的机端电压跌落至额定电压的10%到14%之间,因此为这些风电机组匹配电压跌落至额定电压10%的数据库,即电压跌落深度为90%的数据库。其余风电机组的机端电压跌落至额定电压的15%到20%之间,因此由前述离线数据库匹配原则,采用四舍五入的方法,为这些风电机组匹配电压跌落至额定电压20%的数据库,即电压跌落深度为80%的数据库。根据各台风电机组的风速为其从匹配的离线数据库中提取相应的有功功率暂态响应曲线,将所有风电机组的有功功率暂态响应曲线全部提取出来,共50条曲线,如图4所示。将这50条有功功率暂态响应曲线作为聚类对象,计算曲线两两之间的切比雪夫距离和欧式距离两个指标。可令曲线两两之间的综合距离为切比雪夫距离和欧式距离的平均值,得到曲线彼此之间的距离后,应用聚类树算法,对此距离进行聚类,基于距离的聚类结果如图5所示,以0.00015p.u.作为分类阈值。

从图5中可以看出,风电场可以分为4群,具体分群结果为:1-38号风电机组归为第一群,39-40号风电机组归为第二群,41-43号风电机组归为第三群,44-50号风电机组归为第四群。由聚类树形图可知,在本次聚类结果中并没有符合进一步修正的条件,因此最终分群方案即为上述所得分群结果。

[0050] 为了便于比较,对本发明的等值模型和风电场详细模型分别进行仿真。仿真结果如图6(a)和图6(b)所示,从图中可以看出等值模型对详细模型有很强的跟踪能力,且有功、无功的稳态、暂态响应都有很好的拟合程度。

[0051] (2) 故障2设置信息:双回馈线一回线中点处设置三相短路接地,2.0s时故障投入,0.15s后清除。

[0052] 故障2中分群方案获得的过程与故障1中的获取过程相同,这里不再复述。为了便于比较,对本发明的等值模型和风电场详细模型分别进行仿真。仿真结果如图7(a)和图7(b)所示,从图中可以得出与上面分析中相同的结论,本发明中的等值方法对故障点位置有很好的适应性。

[0053] 本发明的直驱风电场等值方法具有以下优点:

[0054] (1) 充分考虑了机端不同电压跌落情况对等值结果的影响,精确度高。

[0055] (2) 通过离线仿真的方式获得风电机组的有功功率暂态响应曲线,并建立数据库,通过在线测量风电机组实时风速和机端电压情况为各台风电机组匹配相应状态下的有功功率暂态响应曲线,进行风电场聚类分群。通过这种方式,能减少在线等值的计算量,提高在线等值的效率。

[0056] (3) 在聚类分群之后,进一步综合各个机组群的信息,包括各个机组群之间的距离和各个机组群内风电机组的数量,将彼此之间距离十分接近的机组群或风电机组含量过少的机组群与本机组群距离最为接近的机组群进行合并,在保证等值精度的情况下,最大可能的简化等值模型,减少计算复杂度,提高计算效率。

[0057] 下面结合附图对本发明的直驱风电场等值系统的实施例进行描述。

[0058] 图8为一个实施例的直驱风电场等值系统的结构示意图。如图8所示,所述直驱风电场等值系统可包括:

[0059] 第一建立模块10,用于对单台风电机组进行故障仿真试验,根据全风速运行区域内不同电压跌落深度下风电机组出口处的有功功率响应曲线建立各个电压跌落深度下的离线数据库;

[0060] 所述风电机组为直驱式风电机组。所述第一建立模块10在建立离线数据库之前,可通过仿真的方式得到所述有功功率响应曲线。所述第一建立模块10的存储单元可将所述有功功率响应曲线保存下来,建立离线数据库。通过这种方式,能减少在线等值的计算量,提高在线等值的效率。所述第一建立模块10可包括:

[0061] 第一建立单元,可为所述风电机组单机故障试验建立单机故障仿真模型;

[0062] 所述单机故障仿真模型可包括风电机组、集电线路、机端升压变压器、电网系统、故障发生器等模型。其中,风电机组模型又可包括风力机、轴系、永磁同步发电机、全功率变流器及其控制系统、变桨距控制系统以及卸荷电路及其控制系统等模型。

[0063] 输入单元,可设置所述风电机组的输入风速;

[0064] 可设定所述风电机组的输入风速的范围为此风电机组运行的全风速,即从切入风

速到切出风速,并可设定所述输入风速的步长间隔为0.1m/s。

[0065] 设置单元,可设置所述单机故障仿真模型中故障期间风电机组机端的电压跌落深度;

[0066] 可设定所述单机故障仿真模型的电压跌落深度的范围为额定电压的10%至100%,并可设定所述电压跌落深度的步长间隔为额定电压的10%。不同的电压跌落程度可以通过改变接地电阻的阻值来模拟。

[0067] 仿真单元,可根据所述单机故障仿真模型对全风速运行区域内不同电压跌落深度情况进行仿真,得到所述有功功率响应曲线。

[0068] 可在仿真软件中设定相关参数,例如,风电机组工作的风速范围为全风速运行区域,即从风电机组的切入风速到切出风速。在此基础之上,可根据设置单元设置的电压跌落深度对所述风电机组进行仿真。

[0069] 第二建立单元,可根据所述有功功率响应曲线建立离线数据库。

[0070] 在得到所述有功功率响应曲线之后,可根据所述有功功率响应曲线建立若干个离线数据库。与所述电压跌落深度为额定电压的10%至100%相对应的,可建立10个离线数据库。

[0071] 聚类模块20,用于根据风电场实时测量的电压跌落深度,从所述离线数据库中为风电场中的每台风电机组选择匹配的离线数据库,根据每台风电机组的风速为每台风电机组从匹配的离线数据库中匹配相应的有功功率响应曲线,并对获得的有功功率响应曲线进行聚类分群;

[0072] 可通过实时测量的风速和电压跌落深度,从离线数据库中匹配相应状态下风电机组的有功功率响应曲线,对其进行聚类分群。其中,实测电压跌落深度与离线数据库匹配时可采用四舍五入原则,选择与实测电压跌落程度最为接近的数据库。这里聚类算法可采用应用较为广泛的聚类树法,可令聚类样本为所提取出的有功功率暂态响应曲线,可综合考虑切比雪夫距离和欧式距离两个距离指标,对所述匹配的离线数据库中的有功功率响应曲线进行聚类分群。所定义的距离用来反映曲线间整体相似程度,距离越小,表明两条曲线越相近,可以合为同一群。由于此聚类算法不属于本发明之列,只是用来实现方法的一种途径,这里不做详细介绍。

[0073] 在其中一实施例中,如果想进一步简化等值模型,上述直驱式风电场等值系统还包括:在根据聚类分群的结果将所述风电机组划分为若干个机组群之后,可根据下述预设修正原则,进一步减少分群数量。原则1:若存在两个机组群的距离十分接近分类阈值,可将所述两个机组群进一步合并为一个机组群。具体地,可根据聚类树形图获得不同机组群之间的距离,与预设的分类阈值相比较;如果所述距离虽略大于分类阈值,但十分接近分类阈值,可将对应的机组群合并为一个机组群。原则2:可根据聚类分群结果,获得等值后各个机组群中风电机组的数量;分别将各个机组群中风电机组的数量与预设的数量阈值相比较;如果某一群内的风电机组的数量小于预设的数量阈值,也可以考虑将这一群与距离最为接近的机组群进行合并。在保证等值精度的情况下,减少计算复杂度,提高计算效率。

[0074] 第二建立模块30,用于根据聚类分群结果将所述风电机组划分为若干个机组群,计算每个机组群的等值参数,根据分群结果和等值参数建立直驱风电场等值模型。

[0075] 所述第二建立模块30计算同群机组的等值参数,可以等值前后风电机组输出功率

相同为原则,计算等值风速;可采用容量加权法计算风电机组等值参数;可以电压差不变为原则,计算等值集电线路。

[0076] 在其中一实施例中,上述直驱风电场等值系统还包括:采用至少一组检测风速,变换至少两个故障位置点,对所述直驱风电场等值模型进行有效性验证。

[0077] 所述对直驱风电场等值模型进行有效性验证,具体地,可通过采用至少一组检测风速,变换至少两个故障位置点,分别对直驱风电场等值模型和直驱式风电场详细模型在完全相同的状态下,包括相同的输入风速、故障发生情况等,进行仿真试验,对比直驱风电场等值模型和直驱风电场详细模型在并网点的输出有功功率、无功功率的响应曲线,据此来评价直驱风电场等值模型的准确程度。所述风电场并网点即为风电场中风电机组的公共连接点。

[0078] 应用上述直驱风电场等值方法,对一个5排10列,共50台风电机组构成的直驱风电场进行等值分群。

[0079] 风电场详细模型如图2所示,直驱风电场中的50台风电机组型号相同,风电机组可采用一机一变结构,每台风电机组额定电压可设为690V,可通过机端升压变压器接至风电场的PCC(Point of Common Coupling,公共连接点)处,再通过风电场主变压器升至220kV,经30km双回馈线接入电网系统中。相邻风电机组间联络线长度可设为0.5km,PCC到风电场主变间联络线长度可设为1.0km,风电场主变压器到电网系统之间联络线的长度可设为30.0km,风电场详细模型如图2所示。

[0080] 为考察本方法对不同电压跌落程度及故障点位置的有效性,可分别在风电机组出口处及双回馈线中一回线中点处设置三相短路故障。

[0081] (1)故障1设置信息:可在风电场出口处设置三相短路接地,2.0s时故障投入,0.15s后清除。

[0082] 首先,可获得各台风电机组的风速和机端电压跌落信息,如图3所示。可根据风电场实时测量的电压跌落深度,从所述离线数据库中为风电场中的每台风电机组选择匹配的离线数据库。从图3可以看出,1、2、11、12、21、31、41号风电机组的机端电压跌落至额定电压的10%到14%之间,因此为这些风电机组匹配电压跌落至额定电压10%的数据库,即电压跌落深度为90%的数据库。其余风电机组的机端电压跌落至额定电压的15%到20%之间,因此由前述离线数据库匹配原则,采用四舍五入的方法,为这些风电机组匹配电压跌落至额定电压20%的数据库,即电压跌落深度为80%的数据库。根据各台风电机组的风速为其从匹配的离线数据库中提取相应的有功功率暂态响应曲线,将所有风电机组的有功功率暂态响应曲线全部提取出来,共50条曲线,如图4所示。将这50条有功功率暂态响应曲线作为聚类对象,计算曲线两两之间的切比雪夫距离和欧式距离两个指标。可令曲线两两之间的综合距离为切比雪夫距离和欧式距离的平均值,得到曲线彼此之间的距离后,应用聚类树算法,对此距离进行聚类,基于距离的聚类结果如图5所示,以0.00015p.u.作为分类阈值。从图5中可以看出,风电场可以分为4群,具体分群结果为:1-38号风电机组归为第一群,39-40号风电机组归为第二群,41-43号风电机组归为第三群,44-50号风电机组归为第四群。由聚类树形图可知,在本次聚类结果中并没有符合进一步修正的条件,因此最终分群方案即为上述所得分群结果。

[0083] 为了便于比较,对本发明的等值模型和风电场详细模型分别进行仿真。仿真结果

如图6 (a) 和图6 (b) 所示,从图中可以看出等值模型对详细模型有很强的跟踪能力,且有功、无功的稳态、暂态响应都有很好的拟合程度。

[0084] (2) 故障2设置信息:双回馈线一回线中点处设置三相短路接地,2.0s时故障投入,0.15s后清除。

[0085] 故障2中分群方案获得的过程与故障1中的获得过程相同,这里不再复述。为了便于比较,对本发明的等值模型和风电场详细模型分别进行仿真。仿真结果如图7 (a) 和图7 (b) 所示,从图中可以得出与上面分析中相同的结论,本发明中的等值方法对故障点位置有很好的适应性。

[0086] 本发明的直驱风电场等值系统具有以下优点:

[0087] (1) 充分考虑了机端不同电压跌落情况对等值结果的影响,精确度高。

[0088] (2) 通过离线仿真的方式获得风电机组的有功功率暂态响应曲线,并建立数据库,通过在线测量风电机组实时风速和机端电压情况为各台风电机组匹配相应状态下的有功功率暂态响应曲线,进行风电场聚类分群。通过这种方式,能减少在线等值的计算量,提高在线等值的效率。

[0089] (3) 在聚类分群之后,进一步综合各个机组群的信息,包括各个机组群之间的距离和各个机组群内风电机组的数量,将彼此之间距离十分接近的机组群或风电机组含量过少的机组群与本机组群距离最为接近的机组群进行合并,在保证等值精度的情况下,最大可能的简化等值模型,减少计算复杂度,提高计算效率。

[0090] 本发明的直驱风电场等值系统与本发明的直驱风电场等值方法一一对应,在上述直驱风电场等值方法的实施例阐述的技术特征及其有益效果均适用于直驱风电场等值系统的实施例中,特此声明。

[0091] 以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合,为使描述简洁,未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述,然而,只要这些技术特征的组合不存在矛盾,都应当认为是本说明书记载的范围。

[0092] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但并不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本发明的保护范围。因此,发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。

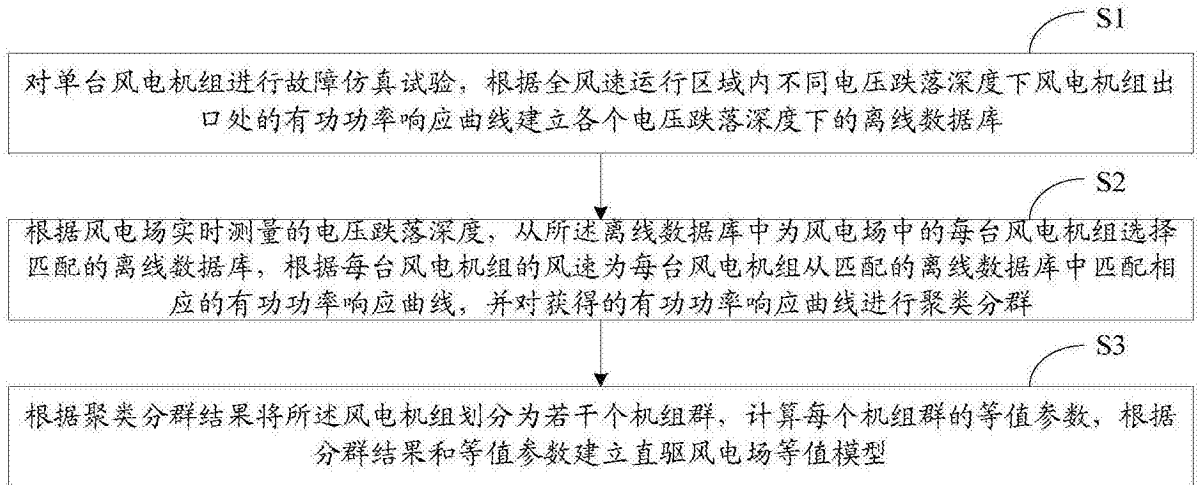


图1

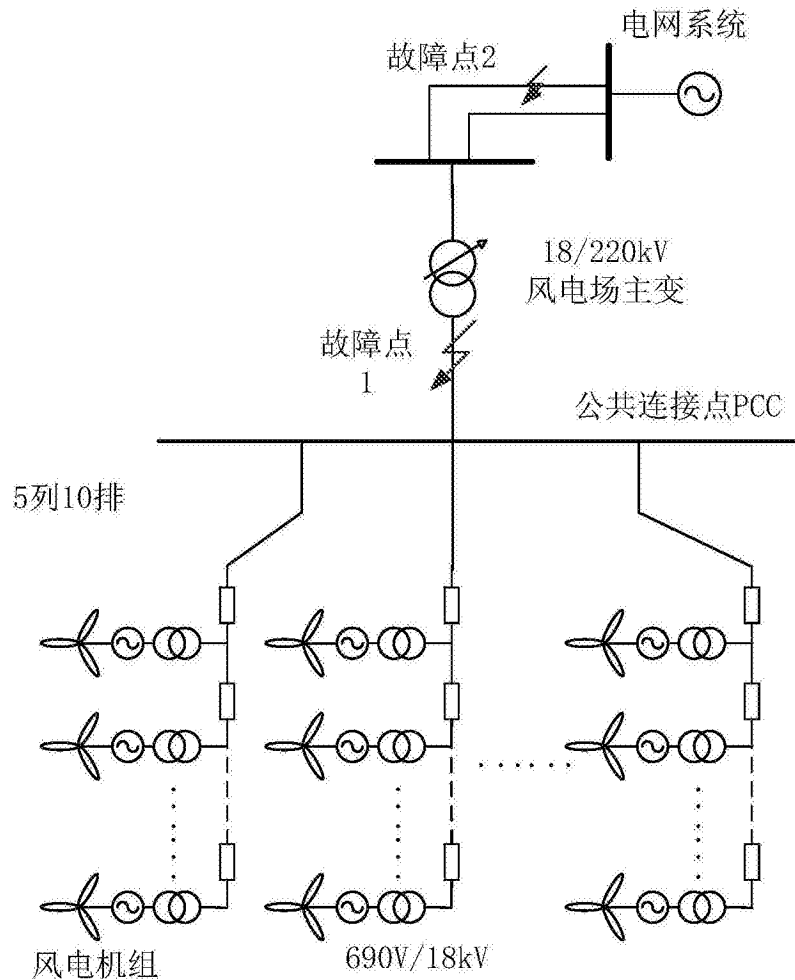


图2

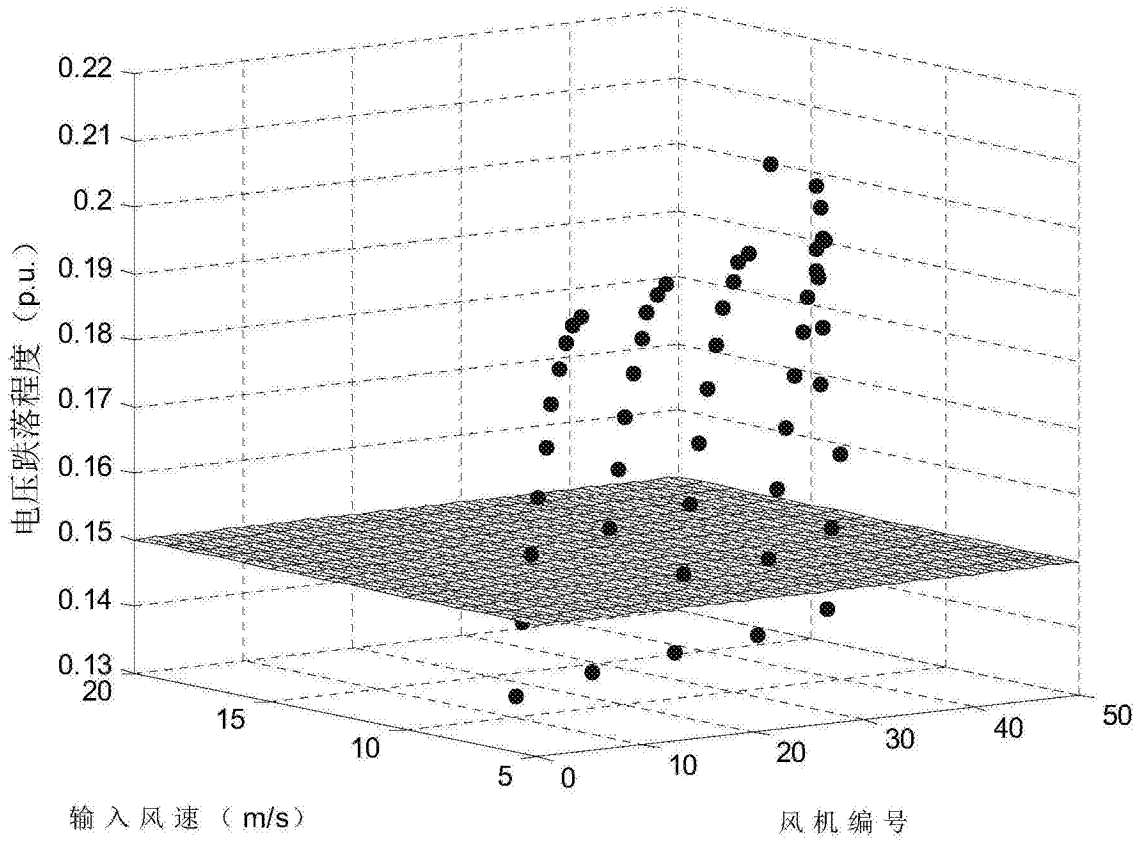


图3

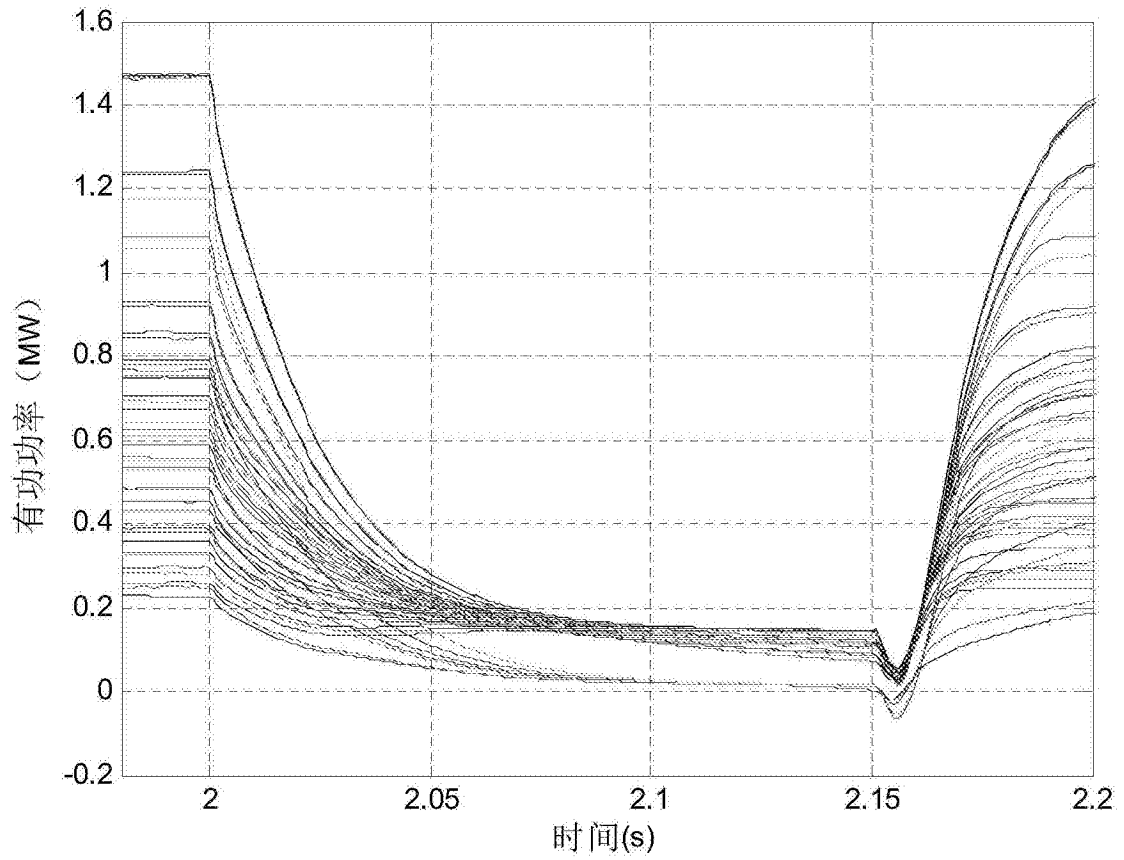


图4

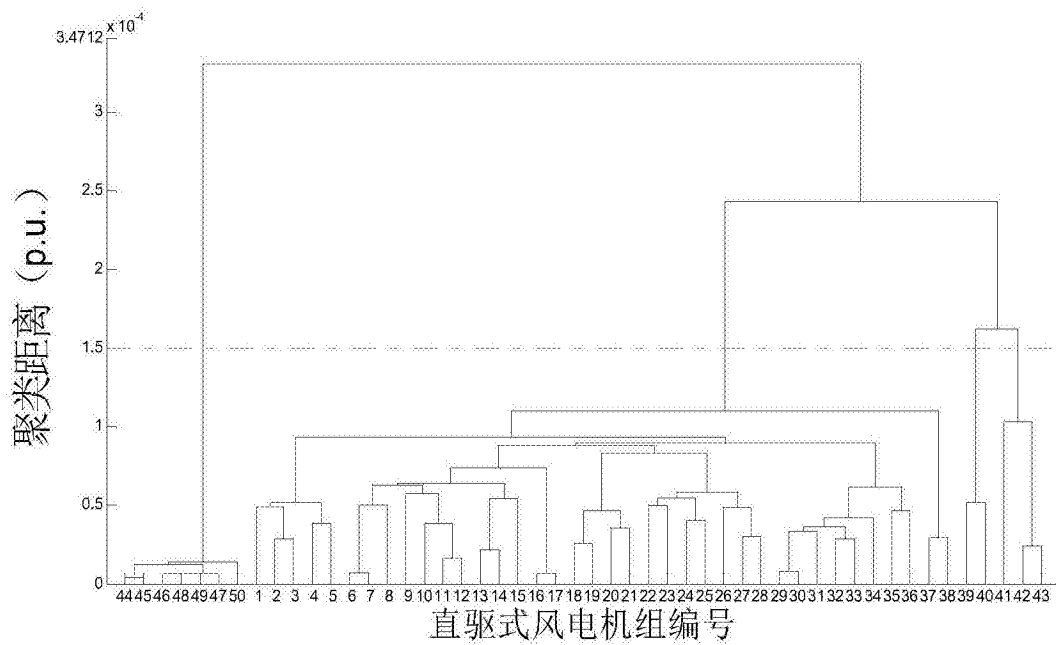


图5

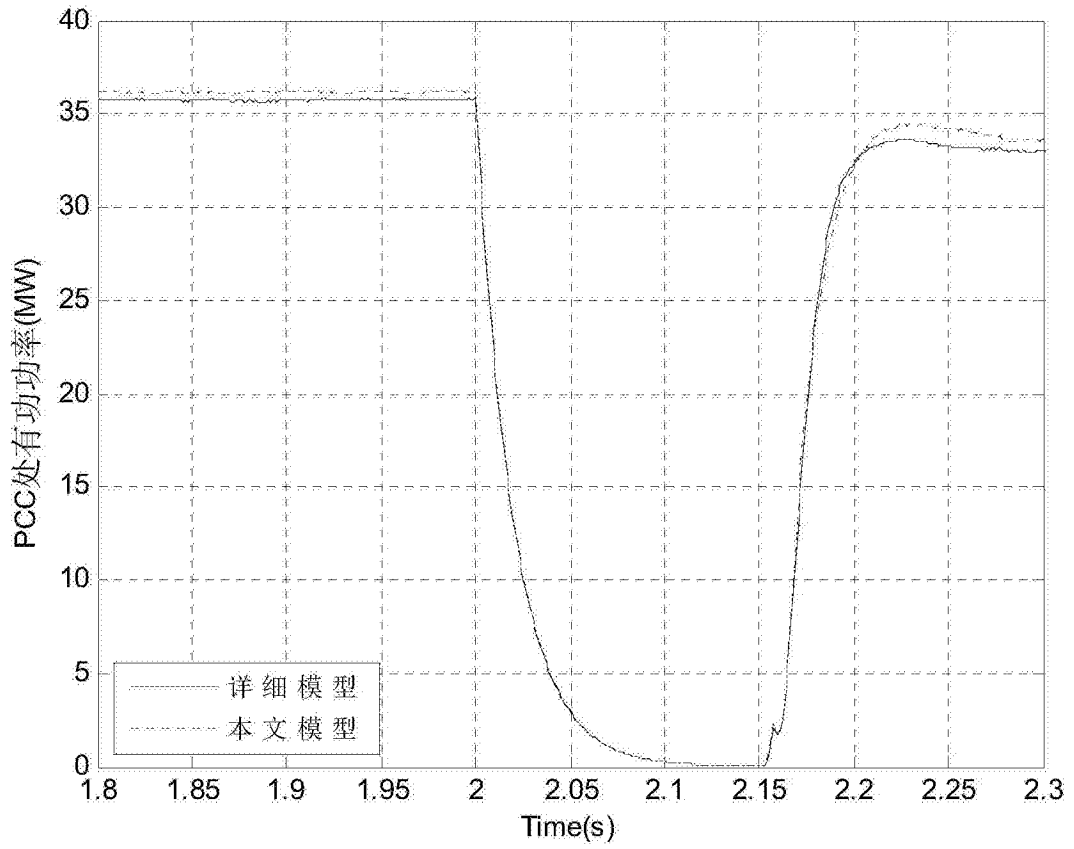


图6 (a)

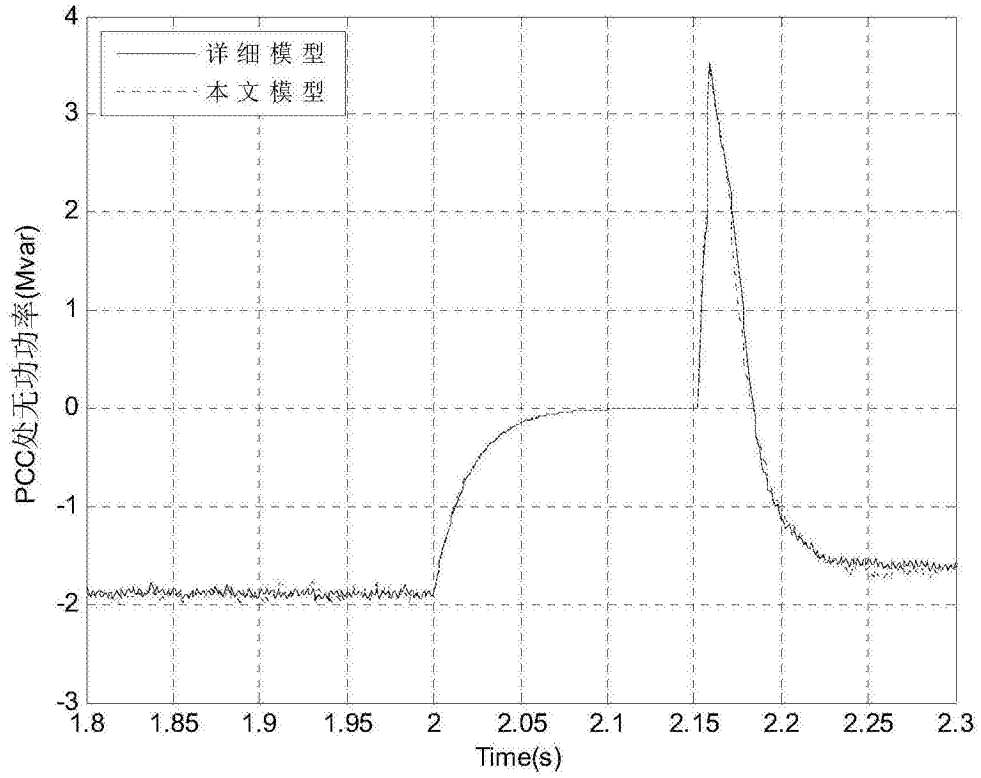


图6 (b)

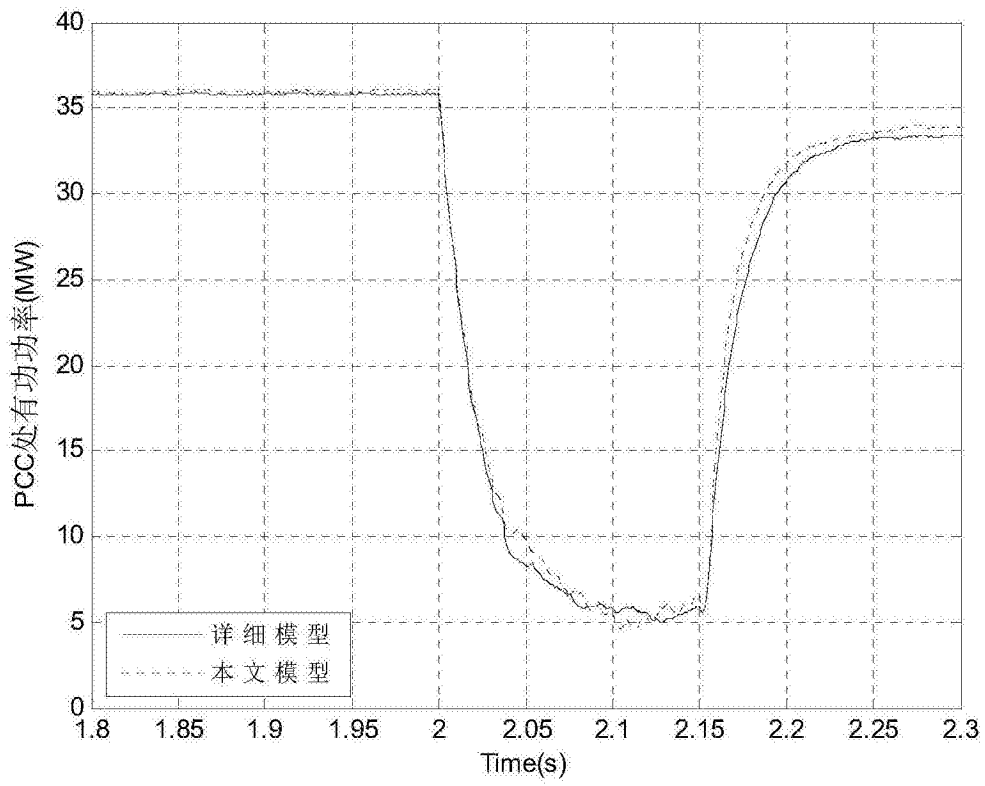


图7 (a)

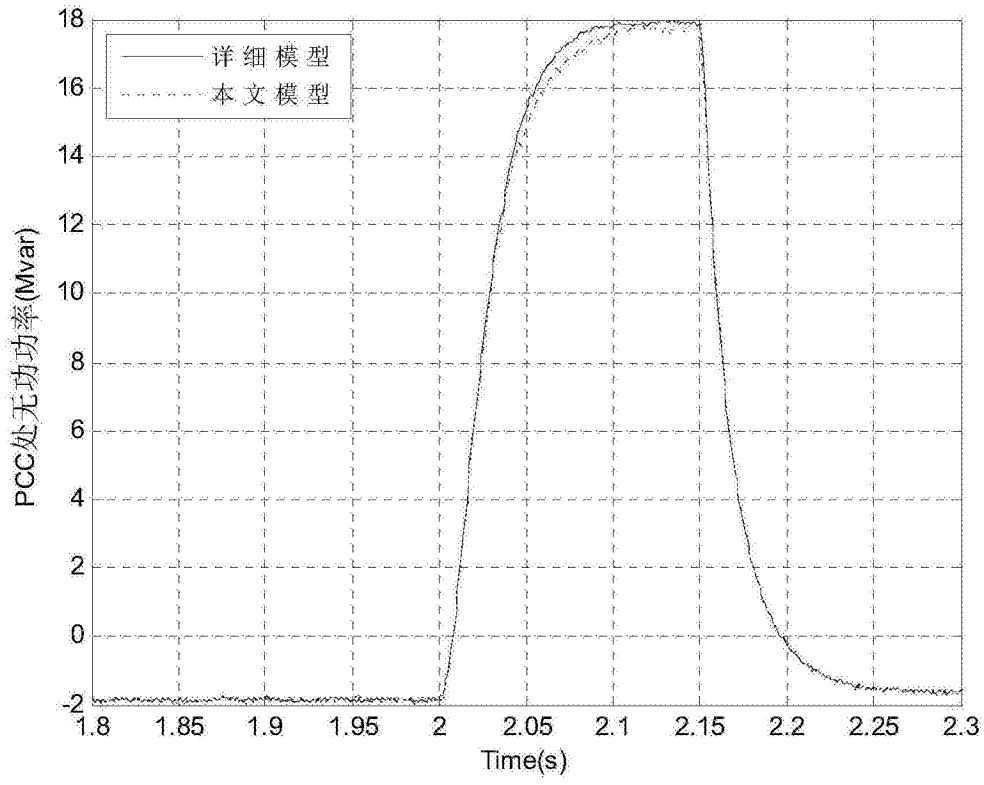


图7 (b)

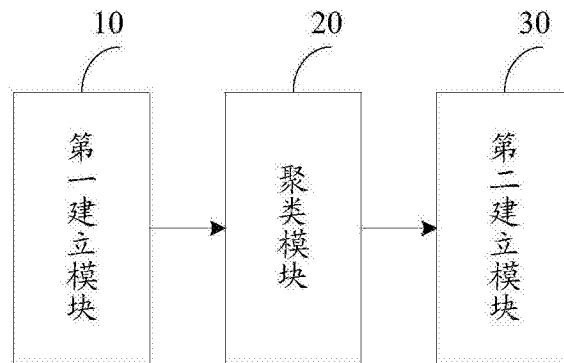


图8