

一种基于状态转换的适用于嵌入式舰船电力虚拟模拟训练的发电机组仿真方法

侯 玉^{1,2}, 吴旭升¹, 冯 源¹

(1. 海军工程大学 电气工程学院, 湖北 武汉 430033;

2. 海军驻某厂军事代表室, 辽宁 大连 116005)

摘 要: 针对嵌入式舰船电力虚拟模拟训练系统的特点, 提出一种适用于嵌入式舰船电力虚拟模拟训练的发电机仿真方法。设计构建了基于状态转换的发电机组仿真模块, 提出了正常状态和故障状态两种模式下的发电机组仿真状态转换方法, 简化了发电机组仿真模型, 使发电机仿真既满足了发电机在模拟训练中训练场景逼真性的要求, 又解决了发电机在模拟训练中训练过程实时性差的问题。

关键词: 嵌入式; 舰船电力; 虚拟模拟训练

中图分类号: TM 31 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2017)10-0063-04

A Generator Simulated Method for Virtual Simulated Training of Embedded Marine Electric Power Based on State Transition

HOU Yu^{1,2}, WU Xusheng¹, FENG Yuan¹

(1. College of Electric Engineering, Naval Engineering University, Wuhan 430033, China;

2. Naval Representative Office, Dalian 116005, China)

Abstract: Aiming at characteristics of the embedded virtual simulated training of marine power system, a generator simulated method for virtual simulated of embedded marine electric power was proposed in this paper. The simulated methods of generator normal state transition and fault state transition were both presented, which simplified the simulated state of generator. The simplified method not only made the training scene look realistic, but also made the training process meet the real-time requirement in simulated training.

Key words: embedded system; marine power system; virtual simulated training

0 引 言

为保证舰船电力虚拟模拟训练的逼真度问题, 需要建立电力系统发电机组仿真模型, 传统电力系统及发电机组仿真技术和仿真工具, 依据发电机组的机械特性进行仿真, 不仅能获取发电机组实时电网参数, 还能获取发电机组的内在特性, 能够满足模拟训练逼真度的要求。但是这种仿真技术在满足模拟训练实时性要求时, 需要高性能计算机硬件和价格昂贵的专用仿真机进行支撑^[1-2]。

嵌入式舰船电力虚拟模拟训练系统往往采用

舰船实际装备的硬件, 其性能远远达不到陆用模拟训练系统高性能计算机和专用仿真机的性能指标, 因此用传统的发电机组仿真方法难以满足嵌入式舰船电力模拟训练实时性的要求, 有必要研究新的发电机组仿真方法, 使其在嵌入式舰船电力虚拟模拟训练系统硬件条件下, 既能真实反映发电机组运行状态, 满足训练场景的逼真度, 又能满足训练过程的实时性要求^[3-6]。

1 仿真需求分析及仿真总体思路

传统发电机组仿真通过仿真工具对发电机组

进行仿真,主要用于在电力系统设计阶段对设计正确性的验证,因此需要通过仿真准确掌握发电机组的各种特性,不仅包括发电机组运行的电气参数,还要包括发电机组内在的机械特性,如启动特性、负载突加突卸特性、负载三相短路和单相接地典型故障以及并车模型中功率分配特性等。

针对模拟训练的发电机组仿真主要用于提高舰员针对电力系统操作使用的训练水平,是在电力系统已研制完成并交付使用后进行的。此时电力系统已经过设计、生产、试验等各个阶段,前期设计提出的技术要求已经得到充分验证,没有必要再对发电机组内在的机械特性进行仿真,只需仿真发电机组在实际运行过程中的各个状态,准确显示发电机组在电网各种拓扑结构下的实际电气参数即可。

针对舰船电力模拟训练实际需求分析,可对传统发电机组仿真思路进行调整,提出一种基于状态转换的发电机组仿真方法,在模拟训练客户端按照发电机组运行的各个状态,根据相关指令进行状态转换,各个状态的发电机组电气参数通过后端服务器进行电网拓扑分析和潮流计算实时得出,并实时上传至客户端。该方法既满足了训练场景逼真度,又满足了训练过程实时性要求。本文重点论述基于状态转换的发电机组仿真方法。

2 基于状态转换的发电机组仿真模块构建

2.1 上级系统总体仿真模块构建

本文基于 Qt/Cpp 构建电力系统实时仿真软件。该软件仿真模块结构由三大类模块组成:系统综合及工具类模块,电力设备级实体仿真类模块,电力设备级虚拟仿真类模块。其中,与发电机组仿真相关的模块通过系统综合及工具类模块中的子模块全局通用模块实现。

全局通用模块的结构如图 1 所示。全局通用模块重点为仿真软件提供了两个基础类 SimRange 和 SimCtroller。SimRange 为仿真状态通用基类,为模拟发电机组等模块提供仿真状态的公共接口。SimCtroller 为仿真控制器通用基类,为模拟发电机组等模块提供仿真控制器的公共接

口。全局通用配置和全局通用函数包为整个仿真模块提供了所需的通用可更改配置项和工具类方法。

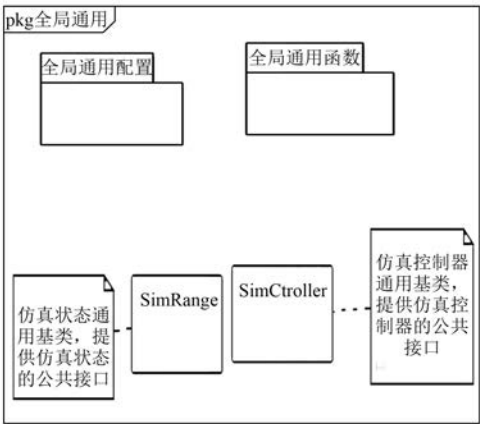


图 1 全局通用模块

2.2 发电机组仿真状态通用基类 SimRange 设计方法

图 2 和图 3 表示了发电机组仿真状态通用基类 SimRange 的设计方法。SimRange 主要用于模拟仿真状态的生命周期。其内部内置了一个定时器 timer,用于在仿真步长时钟滴答发生时,对具体绑定对象的属性进行更新。tInterval 参数用于控制仿真步长的大小。tElapse 参数用于控制仿真状态运行的总时间。具体的工作原理如下:

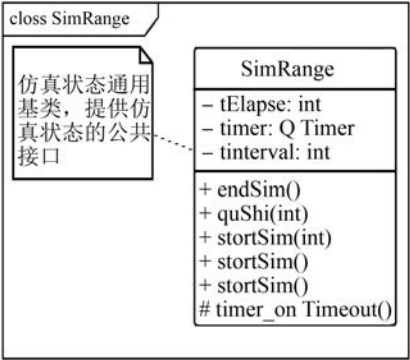


图 2 SimRange 类图

当 SimRange 初始化之后,发电机组首先进入仿真结束状态,此时内部定时器不工作,tInterval 与 tElapse 值为初始化的默认值。

当操作 startSim 发生时,触发 SimRange 动作,并转入仿真运行状态,此时发电机组内部定时器

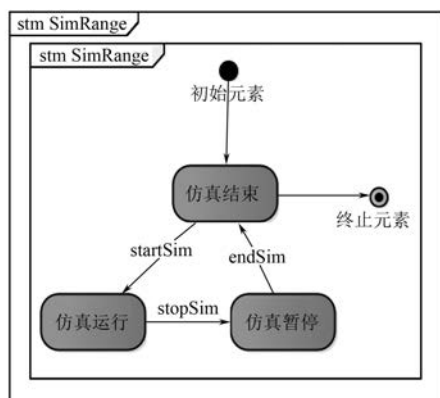


图3 SimRange 状态图

按照指定或默认的 $tInterval$ 开始运行, 并当仿真步长时钟滴答发生时, 执行周期性函数 $timer_onTimeout()$, $timer_onTimeout()$ 对具体绑定对象的属性进行更新, 同时更新 $tElapse$ 属性的值。

当操作 $stopSim$ 发生时, 触发 $SimRange$ 动作, 发电机组转入仿真暂停状态, 此时内部定时器暂停运行, $tElapse$ 值保持不变。

当操作 $endSim$ 发生时, 触发 $SimRange$ 动作, 发电机组转入仿真结束状态, 此时内部定时器暂停运行, $tElapse$ 值清零。

由上可知, $SimRange$ 类为发电机组实时仿真提供了基本且必要的属性和操作方法, 发电机组仿真中所有需要对数据进行定期更新的对象均需要继承 $SimRange$ 并实现自身的状态更新。

2.3 发电机组仿真控制器通用基类 $SimController$ 的设计方法

发电机组的状态转换主要通过发电机组仿真控制器通用基类 $SimController$ 来完成。对于通过指令下达以进行状态转移的状态阶段, 上述发电机组控制器接收到合法指令之后, 控制器调用内置的两个转换的发电机组状态阶段属性对象, 首先调用当前状态阶段属性对象的 $stopSim()$ 方法暂停当前状态阶段的仿真, 随后立即调用待转换的状态阶段属性对象的 $startSim()$ 方法开始下一状态阶段的仿真。

对于通过状态本身仿真完成后自动转移的状态阶段, 上述发电机组控制器在接收到对应的状态阶段类仿真结束的信号后, 首先调用当前状态阶段属性对象的 $stopSim()$ 方法暂停当前

状态阶段的仿真, 随后立即调用待转换的状态阶段属性对象的 $startSim()$ 方法开始下一状态阶段的仿真。

3 发电机组运行状态分析及状态转换仿真方法

3.1 发电机组运行状态分析

根据舰船电力系统运行实际情况对发电机组运行的各个状态进行分析, 包括正常模式和故障模式两种, 其中正常模式包括停机、备车、启动、恒定运行、并车、停机等状态, 其中备车、停机的状态分为暂态和稳态两个阶段, 稳定运行的状态存在变速、变载情况。故障模式包括一般故障、换机故障和紧急停机故障等状态。

3.2 正常模式下发电机组状态转换仿真方法

正常模式下发电机组状态转换仿真方法如图4, 图中任意一个状态均对应一个 $SimRange$ 的子类, 如并车状态, 对应 $SimRange$ 的子类 $JiZuChaiYouBingCheRange$ 等。这些 $SimRange$ 子类对相应的机组参数进行重构。根据发电机组实际运行逻辑, 有的状态较为稳定, 其状态转移需要通过接收到的指令来实现, 如停机、备车完毕、恒定运行等, 有的状态则为暂态, 其状态转移则在状态本身仿真完成后自动转移, 如备车暂态、变速、变压、变载、并车、启动、停机暂态等。

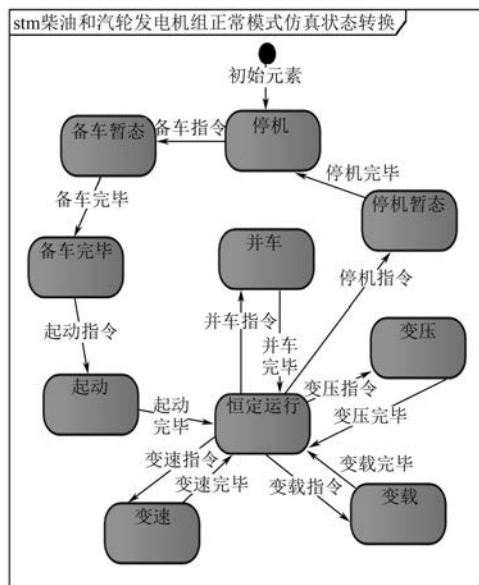


图4 正常模式下发电机组状态转换图

3.3 故障模式下发电机组状态转换仿真方法

故障模式下发电机组状态转换仿真方法如图 5。当机组处于正常模式, 分别接收到来自系统内部合法的模拟故障指令, 则经状态转换进入相应的故障模式。当机组处于故障模式下, 分别接收到来自系统内部合法的模拟故障消除指令, 则经状态转换回到正常模式。

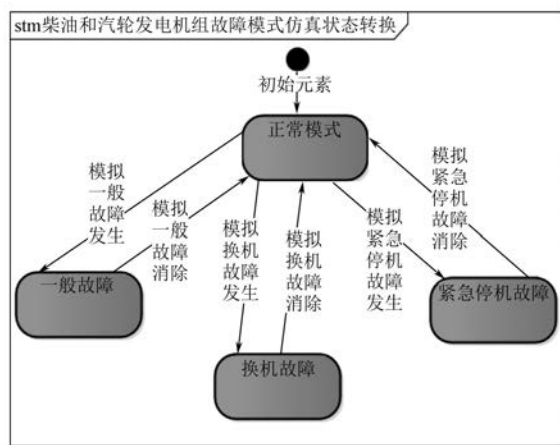


图 5 故障模式下发电机组状态转换图

4 结 语

本文针对嵌入式舰船电力虚拟模拟训练系统的特点, 对其发电机仿真的需求进行分析, 提出一种适用于嵌入式舰船电力虚拟模拟训练的发电机

仿真方法。设计构建了基于状态转换的发电机组仿真模块, 对发电机组运行状态进行分析, 提出了正常状态和故障状态两种模式下的发电机组状态转换仿真方法。该仿真方法简化了发电机组仿真模型, 提高了发电机组仿真速度。用该仿真方法构建的电力虚拟模拟训练系统, 通过运行表明, 该仿真方法在保证训练场景逼真的前提下, 解决了模拟训练中发电机组参数变化难以实现实时性的问题。

【参考文献】

- [1] 谢辉, 卜乐平, 冯源. 船舶电力模拟训练评估系统的设计和开发[J]. 舰船科学技术, 2013, 35(11): 45-48.
- [2] 潘昕, 侯新国, 夏立, 等. 船舶电力系统的建模与仿真[J]. 电力科学与工程, 2013, 29(4): 49-53.
- [3] 林平. 舰艇嵌入式模拟训练技术的应用及发展[J]. 军事运筹与系统工程, 2008, 22(4): 27-31.
- [4] 李爽. 设计模式在实船训练系统软件设计中的应用[J]. 上海船舶运输科学研究所学报, 2011, 34(1): 47-51.
- [5] 张锦, 任长合, 聂伟. 舰艇机电模拟训练考核评估系统[J]. 军事交通学院学报, 2016, 18(12): 85-88.
- [6] 金炳哲, 龚喜文. 船舶电力系统模拟训练系统的设计与实现[J]. 上海船舶运输科学研究所学报, 2016, 39(1): 49-53.

收稿日期: 2017-09-20

(上接第 62 页)

测的电机转速, 可以看出电机进入稳态后, 观测转速有小幅度的波动, 实际转速比较稳定, 控制系统整体效果较好。

5 结 语

本文通过设计 Luenberger 观测器, 估计得到 PMSM 的转子转速和位置信息, 有效解决了传统传感器的一些弊端, 且该算法简单, 容易实现。仿真和试验结果表明基于 Luenberger 观测器的 PMSM 矢量控制系统具有较好的控制精度, 且响应速度非常快, 系统稳定性较好。

【参考文献】

- [1] 杨国良, 李建雄. 永磁同步电机控制技术[M]. 北京: 知识产权出版社, 2015.
- [2] BOUSSAK M, JARRAY K. A high performance

sensorless indirect stator flux orientation control of induction motor drive [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2006, 53(1): 41.

- [3] SBITAL B H M. An MRAS-based full order Luenberger observer for sensorless DRFOC of induction motors [J]. ICGST-ACSE Journal, 2007, 7(1): 11-20.
- [4] 任向杰, 陈冰. Luenberger 速度观测器在同步运动控制中的应用[J]. 机械与电子, 2011(12): 10-13.
- [5] 陈殷. 永磁同步电机无差拍直接转矩控制系统研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [6] 李立毅, 谭广军. 基于 Luenberger 观测器的高速 PMSM 无传感器技术研究[J]. 微电机, 2013, 41(4): 31.
- [7] ELLIS G. Observers in control systems-a practical guide[G]. 2002.

收稿日期: 2017-01-31