

基于实时数字仿真的配电网一二次融合试验研究

李蕾，李志勇，张彦兵

(许昌开普检测研究院股份有限公司，河南许昌 461000)

摘要：研究了一二次融合设备接地故障检测的实时数字仿真试验，在 Matlab/Simulink 上建立配电网一次模型，通过 RTplus 智能电网实时数字仿真系统进行实时仿真和故障模拟，并结合一二次融合测试专用功率放大器和升压升流器实现模拟量的输出，能够实现对一二次融合设备接地故障检测与处理功能的全面考核，灵活性很高。

关键词：配电网；一二次融合；实时数字仿真；接地故障检测

0 引言

随着主网架构的逐渐完善及可靠性的提高，配电网的供电可靠性要求也越来越高，电网公司也逐步对配电网进行规模化建设改造，为了解决增量设备配电自动化覆盖以及一二次设备不匹配等问题，国家电网公司先后发布了《配电设备一二次融合技术方案》2016 版和 2017 版，对一二次融合相关设备的设计标准提出了相关要求。2017 年，国网公司又发布了《国家电网公司一二次融合成套柱上开关及环网箱入网专业检测大纲》，对一二次融合成套设备的专业检测项目作出了具体要求。当前，大部分试验项目已经能够在检测机构开展，但是接地故障检测项目一直是检测中的难点，且没有较好的解决方案。文献^[1]中虽然对一二次融合保护功能的试验方法进行了研究，但是该方法只适用于对保护功能动作值的测试，对接地故障的试验方法不具备电力系统故障的暂态特征，不能够考核一二次融合设备对接地故障的识别。文献^[2]只给出了部分常规项目的测试方法，对接地故障功能检测的测试方法并没有提及。文献^[3-4]仅对当前一二次融合的测试项目进行了介绍和分析，对具体项目的实现方法也缺乏深入研究。

本文通过在 RTplus 实时数字仿真系统上建立配电网仿真模型，与一二次融合测试专用

功率放大器和升压升流器相结合，实现了一二次融合设备接地故障检测的实时仿真测试，具有很好的借鉴价值。

1 一二次融合设备检测的现状

1.1 一二次融合设备检测概述

一二次融合是指一二次设备采用一体化设计理念，一次设备标准化，终端产品设计小型化、标准化、即插即用，一二次设备的接口标准化，进而实现一二次设备的高度融合，满足分段线损管理、就地型馈线自动化、单相接地故障检测、装置级互换、工厂化维修、即插即用及自动化检测的要求，解决成套设备绝缘配合、电磁兼容、寿命匹配等问题。

当前，一二次融合设备的检测一般都是依据《国家电网公司一二次融合成套柱上开关及环网箱入网专业检测大纲》，该检测大纲明确了一二次融合设备的检测项目，见表 1。

表中的试验项目可以分为两类，一类属于传统的一次设备或二次设备单独进行检测的项目，如绝缘电阻试验、雷电冲击试验、馈线自动化功能试验等，这些试验已经拥有相关测试经验可以借鉴，比较容易开展进行；另一类属于需要一二次设备配合的整体性试验，如成套化准确度试验、故障检测与处理试验，这些试

验是一二次融合检测中新增的试验项目。成套化准确度试验已有相关的测试设备生产厂家研发出相应的一二次融合测试设备，试验开展情况良好。故障检测与处理试验当前主要通过一二次融合测试设备进行波形回放的方式实现，并在一些检测机构开展测试，但是这种方式缺点很明显：故障波形比较单一，尤其是接地故障检测项目，不能够全面考核一二次融合设备对接地故障的识别能力，灵活性很差。

表 1 一二次融合设备检测项目

序号	试验项目	序号	试验项目
1	结构与配置	7	配套电源带载能力试验
2	外观检查	8	传动功能试验
3	绝缘电阻试验	9	故障检测与处理
4	工频电压试验	10	防抖动试验
5	雷电冲击试验	11	馈线自动化功能试验
6	准确度试验	12	电磁兼容试验

2 一二次融合的实时数字仿真试验

为了解决利用波形回放对一二次融合设备进行测试时的考核不全面、灵活性差等问题，本文采用在 RTplus 智能电网实时数字仿真系统上对配电网一次系统进行实时仿真和故障模拟，然后通过一二次融合专用功率放大系统和升压升流器进行电压电流实时输出的方式来进行测试，测试系统结构图如下所示：

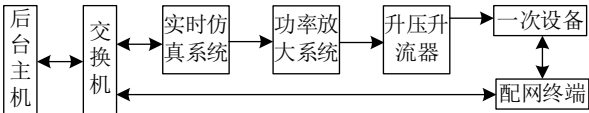


图 1 一二次融合仿真测试系统结构图

后台主机主要进行配电网一次系统的建模、通过交换机与实时仿真系统和配网终端交互，实时仿真系统将实时计算的电压电流故障量小信号通过 I/O 接口输出给功率放大系统，经过升压升流器后将一次量施加给一次设备，再通

过 CT 和 PT 对一次量进行变换最终施加给配网终端，配网终端进行故障检测与处理，并将处理结果通过交换机反馈给后台。

2.1 RTplus 智能电网实时数字仿真系统简介

RTplus 智能电网实时数字仿真系统是许昌开普检测研究院股份有限公司自主研发的实时数字仿真系统，该系统具有实时计算能力突出、暂态特性理想、模型封装完整、I/O 接口能力强、后台操作简易、测试结果分析深入等突出特点^[5]。

RTplus 智能电网实时数字仿真系统包括实时计算单元、常规 I/O、IEC61850 报文、后台控制等部分组成。用 Matlab/Simulink 建立系统模型，将编译生成的模型程序文件上传至实时计算单元进行仿真计算，并将待测保护装置试验所需的电压、电流等模拟量经功率放大器或交换机送入待测装置。同时，待测装置的响应信号再通过 I/O 单元或 GOOSE 报文实时反馈回计算单元，形成完整的闭环动模测试，其整体结构如图 2 所示^[6]。

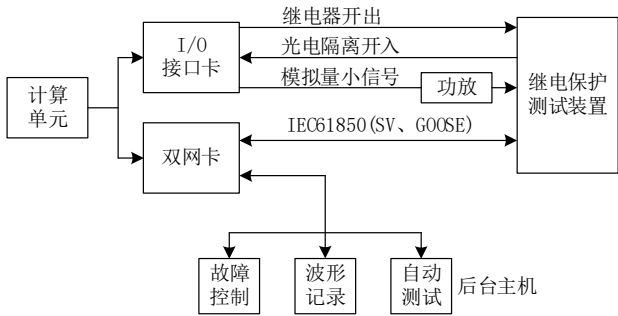


图 2 总体结构

2.2 功率放大系统和升压升流器简介

一二次融合功率放大系统和升压升流器采用上海紫通信息科技有限公司生产的一二次融合测试系统。系统基于线性功率放大系统设计，并采用先进的暂态特性输出控制技术，即保证了输出波形质量，又能实现对暂态波形的输出，可实现对接地故障暂态波形的模拟输出。系统

设计时兼顾了与数字仿真系统的接口，用于接地故障的模拟。

2.3 配电网建模

根据相关标准的要求，在 Matlab/Simulink 上建立 10kV 配电网模型，如图 3 所示。馈线中包含架空线路、电缆线路以及线缆混合线路，每条馈线的长度不一致。

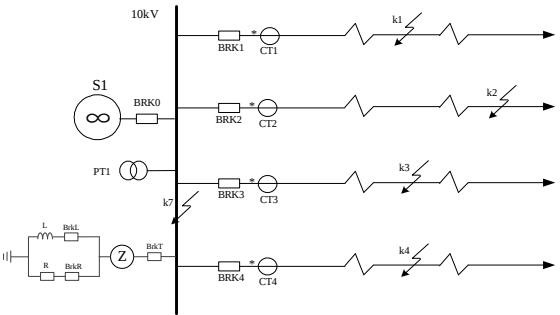


图 3 仿真测试模型

架空线路和电缆线路的参数如表 2、表 3 所示。

表 2 LGJ-185/30 架空线参数

相序	电阻 Ω/km	电抗 Ω/km	电容 $\mu\text{F}/\text{km}$
正序	0.1471	0.4299	0.0093
零序	0.5144	1.3885	0.006

表 3 YJV22-120 电缆参数

相序	电阻 Ω/km	电抗 Ω/km	电容 $\mu\text{F}/\text{km}$
正序	0.0791	0.083	0.373
零序	0.2273	0.291	0.166

模型可以模拟中性点不接地和经消弧线圈接地等 2 种接地方式。在模型中，以电感模拟调匝式消弧线圈的电感，以电阻模拟消弧线圈的等效损耗。根据系统对地电容电流的大小以及脱谐度来确定电感的大小。过补偿是常用的消弧线圈补偿方式，本项目消弧线圈采用 5%

过补偿的方式，消弧线圈的损耗取消弧线圈容量的 1%^[7]。

2.4 一二次融合接地故障检测试验

按照上述模型，在 RTplus 智能电网实时数字仿真系统上开展试验，考核一二次融合设备的接地故障检测功能，在进行测试时主要考虑了 5 种对接地故障检测可能造成影响的因素^[8]，进而全面考核一二次融合设备的接地故障检测与处理能力，如表 3 所示：

表 4 接地故障检测测试因素

序号	影响因素	备注
1	接地方式	不接地、经消弧线圈接地
2	故障类型	稳定性接地、弧光接地
3	故障过渡电阻	$1\Omega\sim1000\Omega$
4	故障相	AN、BN、CN
5	故障位置	线路的首端、末端、中间

在发生接地故障时，通过对比测试系统输出的波形和配网终端在二次侧录到的波形，两者的暂态过程一致，如图 4 所示。

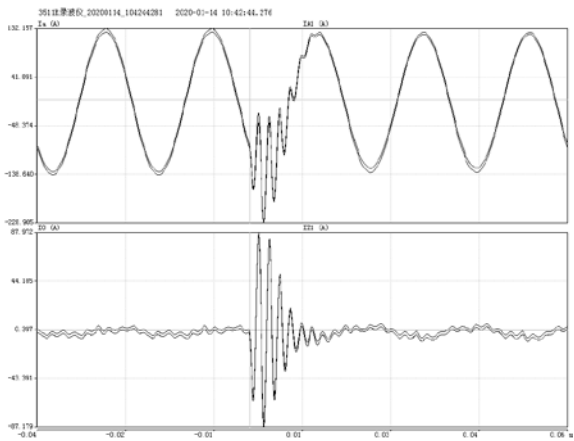


图 4 波形对比

从试验结果来看，一二次融合设备的接地故障检测结果达到了预期，同时也证明了一二次融合设备接地故障的实时仿真检测是可行的，满足检测大纲的要求。

3 结论

通过在 RTplus 实时数字仿真系统上建立 10kV 配电网模型,与一二次融合专用功率放大系统和升压升流器相结合,可以灵活的实现不同接地方式下不同故障类型、不同故障过渡电阻、不同故障相和不同故障位置的接地故障试验,能够全面考核一二次融合设备接地故障检测与处理功能,试验结果也验证了该测试系统的可行性。

需要指出的是,在某些测试工况下,由于暂态电压幅值过高,功率放大系统会出现告警,后续需要对功率放大系统的峰值电压耐受能力继续提高。

参考文献:

- [1] 李红青, 张志丹,朱吉然,唐海国,龚汉阳,陈幸,凌鸿森. 配电网新型一二次融合成套设备测试方法研究[J]. 湖南电力,2018,38(02):47-52.
- [2] 曹为正,张志良. 浅析一二次融合环网柜的试验[J]. 科技经济导刊,2018,26(19):82.

- [3] 熊虎,于树义,陈维新,汪涛,周晓刚,杨帆. 柱上真空断路器的保护功能一二次融合试验研究[J]. 湖北电力,2018,42(02):5-9+31.
- [4] 杨东亮. 一二次融合环网柜的试验分析[J]. 科技创新导报,2019,16(15):159-160.
- [5] 许昌开普检测研究院股份有限公司.开普仿真试验技术汇编[M].成都: 西南交通大学出版社,2019.
- [6] 李亚萍,李志勇,周鹏鹏,王伟. 新型实时数字仿真继电保护测试系统的研究[J]. 电力系统保护与控制,2014,42(17):90-95.
- [7] 李志勇,王伟,庄良文,周鹏鹏,李书琰. 基于 RTDS 小步长仿真的配电网行波选线装置动模试验研究[J]. 电力系统保护与控制,2019,47(23):108-114.
- [8] 张承学,丁涛,黄涛,吕艳萍,杨尚宝. 基于 RTDS 仿真测试的配网单相接地故障选线系统优化[J]. 低压电器,2009(11):40-43+47.

作者简介:

李蕾 (1993-), 男, 本科, 助理工程师, 现从事电力系统仿真试验研究工作; E-mail: lilei@ketop.cn

李志勇 (1986-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 现从事电力系统仿真试验研究工作;

张彦兵 (1989-), 男, 硕士研究生, 工程师, 现从事电力系统仿真试验研究工作。