

[控制系统]

基于MATLAB的虚拟RTDS实现及应用

文/西门子电力自动化有限公司 胡克 傅中建

利用MATLAB的Simulink组件建立了电力系统中的电网拓扑结构，并模拟了各种电力系统故障。利用M语言编程实现工作区故障数据导出为标准的COMTRADE格式的录波文件，通过调用OMICRON测试仪的高级回放功能，加载故障电气量到待测试保护装置上，以此来验证继电保护算法在各种工况，尤其是使用普通继电保护测试仪不能够输出的特殊工况下的动作情况。

在继电保护新产品的开发中，针对新的算法，在开发阶段，局限于运用MATLAB仿真出故障波形来分析故障特征或者利用S函数编写相关保护程序，通过与Simulink解法器进行交互，将程序嵌入到Simulink中实现实时仿真故障过程的功能。不过这样的验证只是针对算法逻辑本身的验证，缺乏装置层面的测试。可是针对装置层面的测试时，测试人员大多用测试仪器直接施加稳定的故障量或者用有限的现场故障录波回放来测试，这

样的测试覆盖情况，对于稳定功能的回归测试是满足要求的，但用于验证新的保护算法，是不充分的。验证新的算法需要对可能的各种工况进行测试，甚至需要针对代码进行装置层面的分支覆盖。为了做到尽可能充分的测试，我们需要更多故障类型和更全面的测试数据。

基于MATLAB的虚拟的RTDS及自动化测试系统，能解决此类问题。

其系统框架如图1所示。

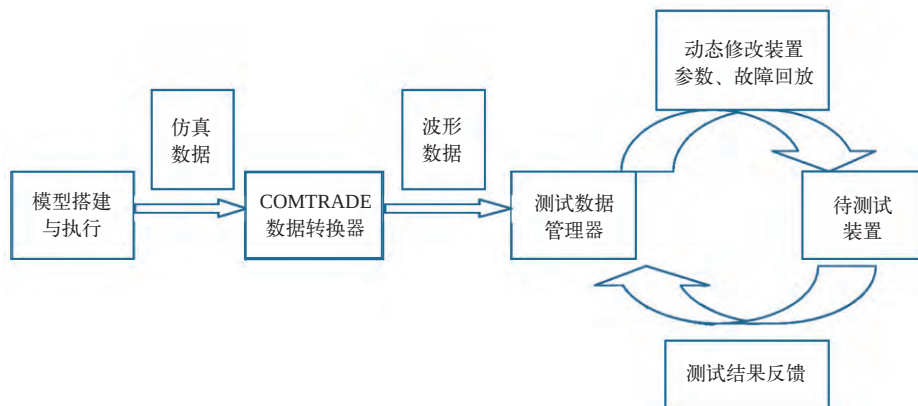


图1 基于MATLAB的虚拟的RTDS及自动化测试系统

本文以仿真小电流接地系统中的单相接地故障为例，结合图1的三大功能块，来介绍该虚拟的RTDS和自动化测试系统的实现。

虚拟的RTDS和自动化测试系统的实现

1. 仿真模型的搭建与执行

建立具有单侧电源、电压等级10 kV的配电网

络,其中性点接地方式是不接地或者经消弧线圈接地,10 kV母线上有A、B、C、D等4条出线。关于仿真模型的搭建以及仿真的执行,已有很多文章介绍,不是本文论述的重点。此处只给出仿真模型的拓扑结构和Simulation上的仿真的波形,以便下文对比分析理解。小电流接地系统中的单相接地故障建模及仿真模型分别如图2、图3所示。

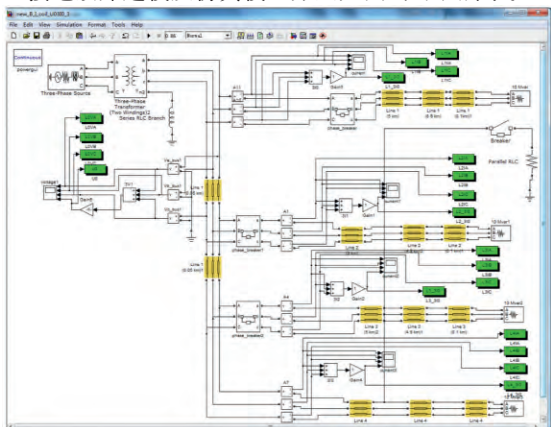


图2 小电流接地系统中的单相接地故障建模

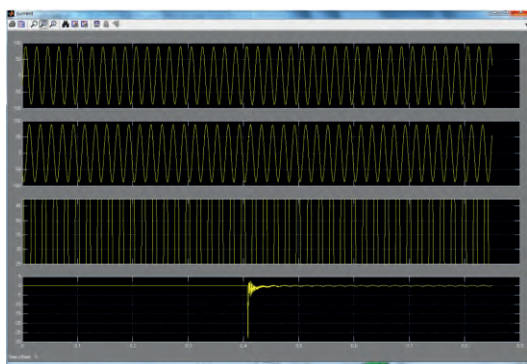


图3 小电流接地系统中的单相接地故障仿真波形

主要针对仿真中一些特殊设定作如下总结,供读者参考。

1) 对于电力系统这种刚性系统,仿真的步长选择为变步长(variable-step),求解器选择ode23tb。

2) 由于故障逻辑的判断多是判断从非故障状态到故障状态。而且对于故障前状态至少有两个周波,甚至更长,故障持续时间至少要半个周波。为了分析故障波形的暂态变化特征,比较故障前后故障波形差异,故障持续时候最好能涵盖整个故障暂态过程(多少个周波后变成稳定的故障,需要至少5个周波)。

3) 很多保护算法是基于稳态量和暂态量的。比如说,小电流选线装置的首半波选线法,为了能够甄别出高次谐波含量,小电流接地选线装置

必选高采样率采样(每个周波128点)。所以由MATLAB生成的波形的采样率必须高于该采样率,在示波器中设置采样率为10 000 Hz。

4) 由于电力系统仿真需要多个示波器(小电流接地选线模型4条出线,每条母线至少需要5个示波器),长仿真时间,高采样率,MATLAB需要很大的内存来执行仿真。仍以小电流接地选线模型为例,要执行一次这样的仿真,至少需要8 GB的内存。故该仿真平台必须使用64位操作系统,64 bit MATLAB和至少8 GB的内存,双通道的16 GB内存更好。

2. COMTRADE数据转换器

仿真执行后,相关的数据信息被保存在工作区中,通过MATLAB自带的M语言编程或者VC++调用MATLAB接口,实现工作区中的数据自动转化为符合COMTRADE标准的配置文件和数据文件,如图4所示。

由于不同的仿真模型有不同的信号量,不同的通道系数偏移量和变比等,通过VC++和MATLAB的混合编程访问工作区数据,结合VC++在数据处理、图形化界面的优势,更方便地动态地设置各个通道参数和数据类型以此来匹配不同的仿真对象。

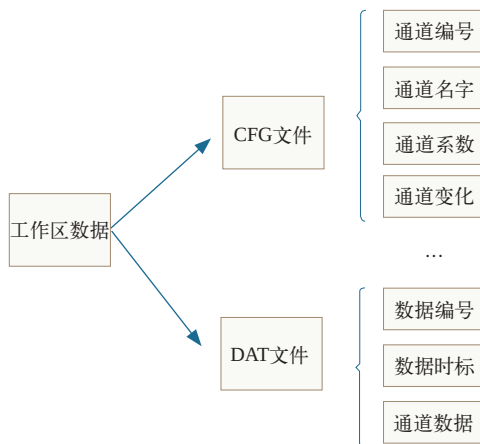


图4 工作区数据到COMTRADE数据转换

用第三方波形分析软件导出的COMTRADE数据的波形如图5所示。

3. 单次故障回放和测试执行

通过步骤3获取了故障的仿真波形的COMTRADE文件,利用OMICRON test university的高级回放功能可以很简单地回放仿真的波形,输出真实的故障量给保护装置来验证保护算法逻辑的正确性。很多试验测试仪均支持故障回放功能,这样的仿真波形回放可以在多个平台实现。

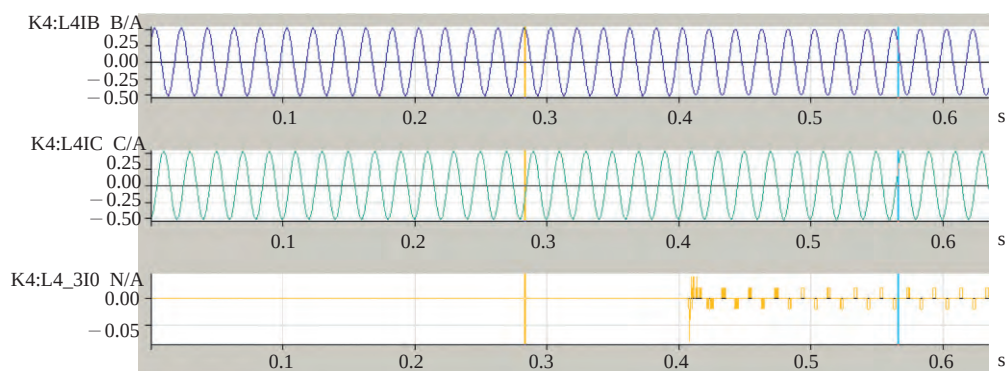


图5 基于MATLAB的虚拟的RTDS及自动化测试系统

4. 故障波形数据管理和测试的自动化执行

通过MATLAB可以仿真出各种故障情形，生成对应的COMTRADE文件。加之从运行现场拿到的各种故障波形，这组成了庞大的仿真回放数据库。如何管理这些波形，方便地批量运用这些波形进行故障回放，也是虚拟的RTDS的重要功能。该功能提供两个子模块：波形管理模块和仿真执行模块。波形管理模块负责故障波形数据的分类管理，当往数据库中增加一个波形时均提供如下属性信息，该管理模块按照该分类规则把波形数据信息存储在SQL数据库中。在波形查找时，可以很方便地利用该属性信息查找到所需的波形文件。波形数据的分类原则如图6所示。

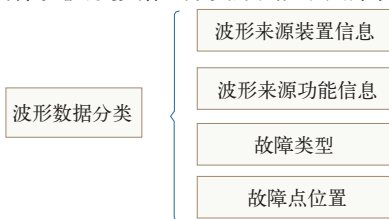


图6 波形数据的分类原则

仿真执行模块提供条件检索波形功能和自动化的故障波形回放测试功能。

自动化的测试闭环的实现过程如下。

1) 设置波形参数信息。针对每个故障波形，设置重现该故障需要的保护装置参数信息和相应的通信参数，作为故障波形数据的一部分保存。

2) 设置波形期望结果。针对每个故障波形，在波形输出通道设置期望的开关变位信息位置及持续时间，作为故障波形数据的一部分保存。期望结果如图7中的红色方格中的灰色阴影区域。

3) 批量选择需要测试的故障波形（已包含上述步骤1、2的信息）

4) 通过通信协议动态修改保护装置参数，

5) 调用OMICRON回放对应的波形。

6) 读取装置的接点反馈信息，与期望结果比对判断装置正确与否。实际保护装置反馈接点信息如图7所示红色方格中的亮橙色区域。

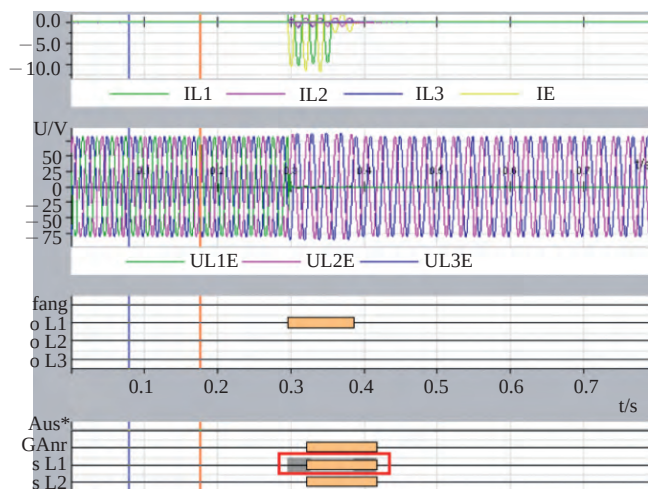


图7 I/O输出的期望结果和实际结果

结束语

依托于该系统提供的丰富的测试数据，对公司新开发的产品做了详细的系统测试，如今，该产品已顺利通过了国家认证实验室的动模试验，即将投入市场。另外该测试系统也被用来仿真现场异常工况，帮助售后服务人员分析重现问题。

经过实际项目检验，该系统能够提供丰富的测试数据，及早发现保护算法开发设计中的问题，提高保护产品在认证实验室的动模测试通过率，重现现场疑难工况方面也很有帮助，值得推广。EA

(收稿日期：2015.04.10)

(编辑：杨得润)