

电网实测负荷建模在德阳五里堆的应用

杨 坤¹, 李 辛 奇³, 唐 永 红², 赖 小 强³, 蒲 维²

(1. 四川省电力公司, 四川 成都 610041; 2. 四川电力试验研究院, 四川 成都 610072;

3. 德阳电业局, 四川 德阳 618000)

摘 要: 由于电力负荷具有的时变性、随机性、多样性等特点, 使得负荷模型建模成为电力系统几个最困难的研究领域之一, 四川电网在 2009 年开展了负荷建模的理论与实践工作。介绍了德阳五里堆站动态负荷建模平台, 应用该平台的测量数据对德阳站进行综合负荷模型辨识, 所辨识的实测参数与常规参数进行对比, 说明实测负荷模型的精度比典型负荷模型的精度高。

关键词: 负荷建模平台; 多曲线拟合; 综合负荷特性

Abstract: Load modeling has been one of the most difficult problems in power system because of its time-variant and stochastic characteristics. The theoretical researches and some practical work were carried out in Sichuan power grid in 2009. The dynamic load modeling platform in Wulidui Substation of Deyang is firstly introduced, then the field measurement data recorded in this substation are utilized to build the load models. The comparison between the simulation results using the measurement-based load model and the traditional load model indicates the efficiency of the method.

Key words: load modeling platform; multicurve fitting; composite load model characteristic

中图分类号: TM743 **文献标志码:** B **文章编号:** 1003-6954(2010)04-0061-06

0 引 言

发电机、励磁调节器、调速器以及负荷模型参数是直接影响电力系统仿真计算精度的四大参数, 励磁、调速系统参数大多采用直接加扰动信息, 在电厂进行辨识获得, 发电机参数一般由厂家的出厂数据而获得, 而负荷参数由于其组成的复杂性、时变性及随机性成为整个电力系统仿真计算中提高精度的瓶颈, 使得其他元件模型的精确性难以发挥其应有的作用, 从而降低了系统仿真分析的可信程度。目前不管是电力规划部门还是电力调度部门仍沿用传统的基于典型参数的静态模型或者电动机加恒阻抗的动态模型, 负荷模型的精度远远不能满足目前电网仿真的需要。为促进实测建模在四川电网的推广应用, 提高仿真的可信度, 在德阳五里堆 220 kV 变电站开展了实测负荷建模工作。五里堆 220 kV 站共有三台 120 MVA 主变压器, 12 条 110 kV 出线, 为德阳地区重要变电站, 该站负荷涵盖化工、钢铁、机械、商业、居民等多种负荷, 具有综合负荷特性。

1 实测负荷建模平台

1.1 负荷记录装置简介

负荷特性的动态记录装置以工业控制机为主体, 实时采集变电站出线电流、母线电压、系统频率、母线开关等信息, 当负荷启动条件满足时记录元件启动, 进行录波并以特定文件的形式保存在硬盘中。它具有测量准确、实时动态记录的特点, 为电力负荷建模提供良好的参考依据。

1.2 实测负荷建模平台

图 1 所示为建模平台的框架结构。

远程采集与分析中心是负荷实测建模的核心部分。前置机通过四川省电力公司局域网络收集到有关变电站的负荷特性信息, 对数据进行保存。处于四川电力试验研究院的负荷建模工作站读取相关负荷信息, 进行数据预处理, 然后进行负荷建模。运行方式分析工作站则利用建成的负荷模型进行有关方式下稳定问题的专题研究。各装置采用 Internet 局域网进行连接。

2 现场负荷记录装置及数据采集

2.1 德阳五里堆变电站负荷记录装置

负荷记录装置安装在德阳 220 kV 变电站 110 kV 侧, 共采集 7 条 110 kV 出线以及 1 号主变压器总路电流, 各出线负荷构成见表 1。

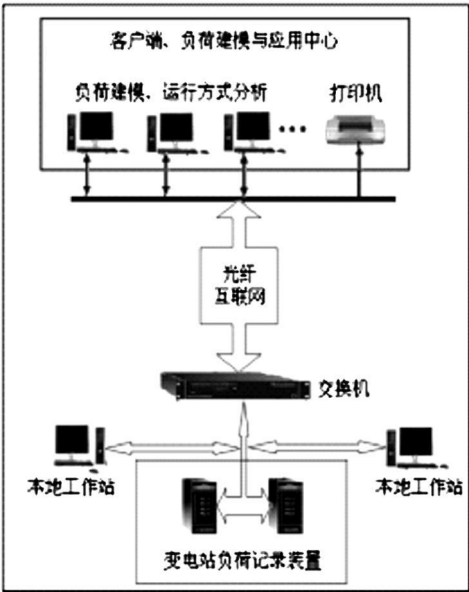


图 1 德阳 220 kV 五里堆变电站动态负荷建模平台

表 1 110 kV 线路负荷构成

序号	名称	挂接母线	主要负荷构成
1	1号主变压器总路	1	机械工业 20%，化工 25%， 钢铁企业 15%，居民 30%， 商业 10%
2	五城线	2	钢铁企业 40%，居民 60%
3	五小线	1	化工 20%，机械 60%， 居民 20%
4	五高线	2	加工工业 70%， 居民 30%
5	五德东线	1	居民 35%，商业 55%， 冶金 10%
6	五美线	2	化工 100%
7	五角线	1	钢铁企业 50%，化工 25%， 居民 25%
8	五电线	2	机械工业 90%，办公 10%

现场负荷记录装置定值见表 2。

表 2 负荷记录装置定值

序号	定值名称	范围
1	电压额定值 /V	57.74
2	电流额定值 /A	5
3	长期越限时间定值 /s	1
4	A 段时间长度 /s	0.4
5	B 段时间长度 /s	0.8
6	相位参考基准	1、2、3、4
7	I 母电压突变量 /(V/s)	2
8	II 母电压突变量 /(V/s)	2

2.2 数据采集及转换

安装的负荷记录装置从 2009 年 12 月至 2010 年 1 月，采集到的有效数据共 13 条。

应用数据处理程序将实测二进制数据转成负荷建模程序识别的 TUS 数据，转换界面如图 2。

3 负荷模型参数辨识

3.1 实测模型参数的获取

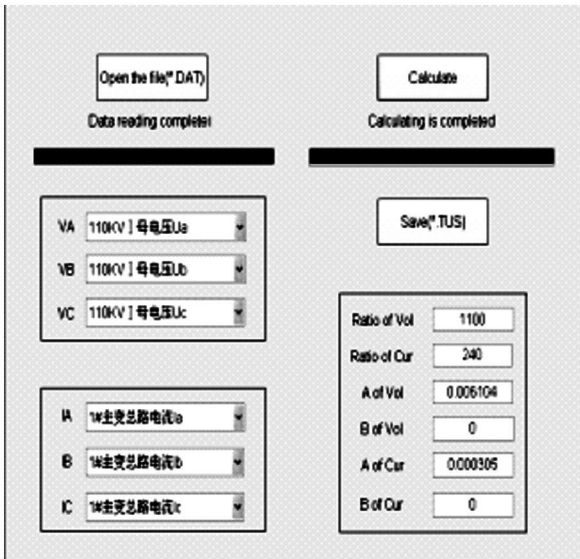


图 2 数据转换界面

运用多曲线拟合法对总路电流、五城线、五德东线、五电线、五高线、五角线及五小线进行辨识，辨识的负荷模型参数见表 3。表 3 中 R_s 、 X_s 是电动机定子电阻与电抗； X_m 是电动机励磁电抗； R_r 、 X_r 是电动机转子电阻与电抗； H 是惯性时间常数； A 是转速平方系数； B 是转速系数； P_p 是静态有功中恒功率比例； P_z 是静态有功中恒阻抗比例； Q_p 是静态无功中恒功率比例； Q_z 是静态无功中恒阻抗比例。

表 3 中 K_m 代表综合负荷模型中电机的比例，其中五电线、五角线电机比例达到 40%，而五德东线、五小线、五高线电机比例为 20% 多，1 号主变压器综合负荷电机比例为 31%。对比表 1 中各线路的负荷组成，则认为在该站对负荷进行辨识的结果比较符合实际。

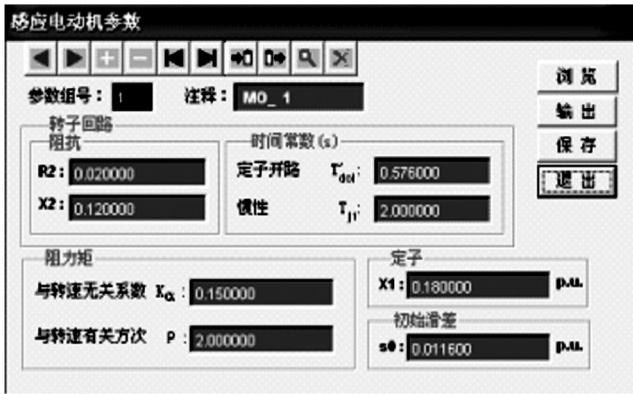


图 3 四川电网仿真用电动机典型参数

3.2 典型参数与实测参数比较

目前四川电网方式计算中负荷模型采用恒阻抗模型加感应电动机，其中电动机比例为 40%，恒阻抗负荷比例为 60%。电动机典型参数如图 3 所示。

因为 1 号主变压器的数据是几条出线的综合，

表 3 多曲线拟合参数表

辨识参数	1号母线	五城线	五德东线	五电线	五高线	五角线	五小线
R_s	0.137 3	0.273 5	0.151 0	0.349 0	0.225 5	0.291 2	0.224 5
X_s	0.168 4	0.155 5	0.139 8	0.179 4	0.126 0	0.176 5	0.139 8
X_m	2.261 2	2.557 6	2.310 6	2.014 1	2.585 9	2.077 6	2.896 5
R_r	0.020 4	0.045 1	0.024 8	0.050 6	0.027 8	0.040 7	0.033 6
X_r	0.163 6	0.151 5	0.157 1	0.108 0	0.157 1	0.175 3	0.142 0
H	0.649 0	0.758 8	1.276 5	1.398 0	1.268 6	0.849 0	1.433 3
A	0.316 1	0.410 2	0.463 5	0.576 5	0.269 0	0.479 2	0.253 3
B	0.854 9	0.835 3	0.329 4	0.529 4	0.917 6	0.309 8	0.070 6
K_{pm}	0.311 8	0.326 5	0.220 6	0.405 9	0.261 8	0.408 8	0.247 1
M_{lf}	0.267 1	0.274 1	0.212 4	0.323 5	0.224 7	0.339 4	0.231 8
P_p	0.316 5	0.234 9	0.122 0	0.319 6	0.266 3	0.156 5	0.294 5
P_z	0.482 7	0.394 9	0.542 4	0.413 7	0.238 0	0.517 3	0.520 4
Q_p	0.681 2	1.384 7	0.100 0	1.078 8	0.298 8	1.705 9	1.216 5
Q_z	0.219 2	0.363 5	0.733 7	0.297 6	0.802 7	0.733 7	0.329 0

所以可以认为此出线的负荷特性代表了此变电站的综合负荷特性,因此选取 1 号主变压器的几条数据进行多曲线建模,所选用的数据如表 4 所示。

表 4 负荷辨识所用数据

序号	负荷记录设备采集的数据名称	扰动强度 /%
a	110 kV I 母线—1 号主变压器— 01—03—07—12—00. TUS	4.02
b	110 kV I 母线—1 号主变压器— 12—04—17—14—02. TUS	16.1
c	110 kV I 母线—1 号主变压器— 12—05—11—40—36. TUS	16.28
d	110 kV I 母线—1 号主变压器— 12—06—15—28—07. TUS	7.56
e	110 kV I 母线—1 号主变压器— 12—25—07—43—59. TUS	14.53

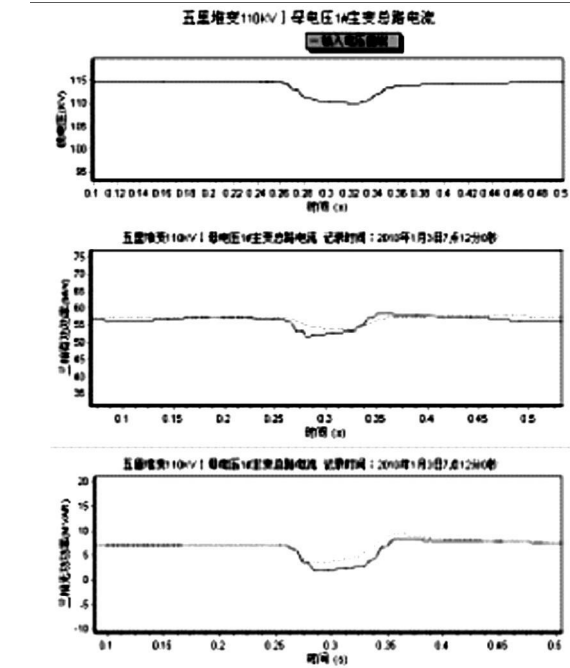


图 4a 典型参数结果

其中数据 b、c 为中国电力科学研究院在德宝直流工程系统调试期间进行的两次人工接地试验所获取的扰动数据。多曲线拟合所得参数如表 5 所示。

用典型参数和表 5 的辨识参数分别对表 4 所列五条实测数据进行仿真的结果如图 4 和图 5 所示,无论从图形还是从误差上都可以看出与典型参数相比辨识出来的参数更能够精确的描述负荷的动态特性。

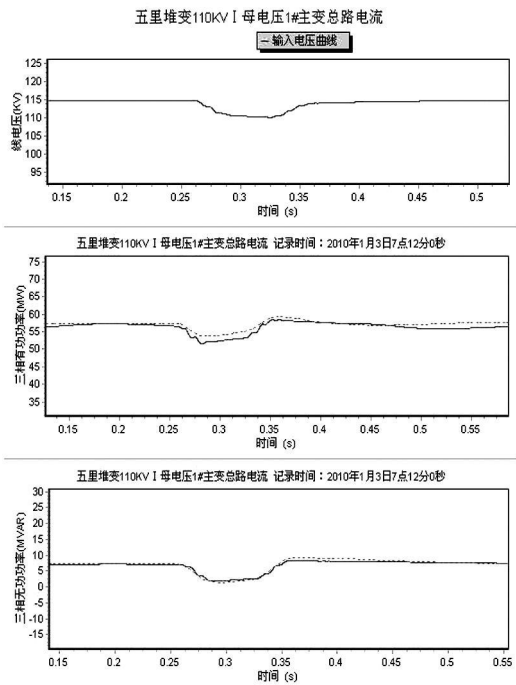


图 5a 辨识参数结果

典型参数误差: active error=0.007 916, reactive error=0.040 256, total error=0.048 172;
辨识参数误差: active error=0.007 549, reactive error=0.022 247, total error=0.029 796。

表 5 1号变压器总路辨识的模型参数

R_s	X_s	X_m	R_r	X_r	H	A	B	K_{lm}	M_{lf}	P_p	P_z	Q_p	Q_z
0.137 3	0.168 4	2.261 2	0.020 4	0.163 6	0.649 0	0.316 1	0.854 9	0.311 8	0.267 1	0.316 5	0.482 7	0.681 2	0.219 2

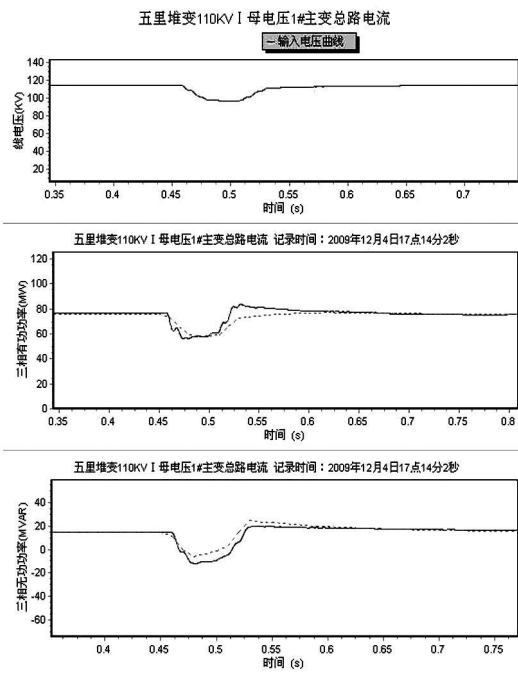


图 4b 典型参数结果

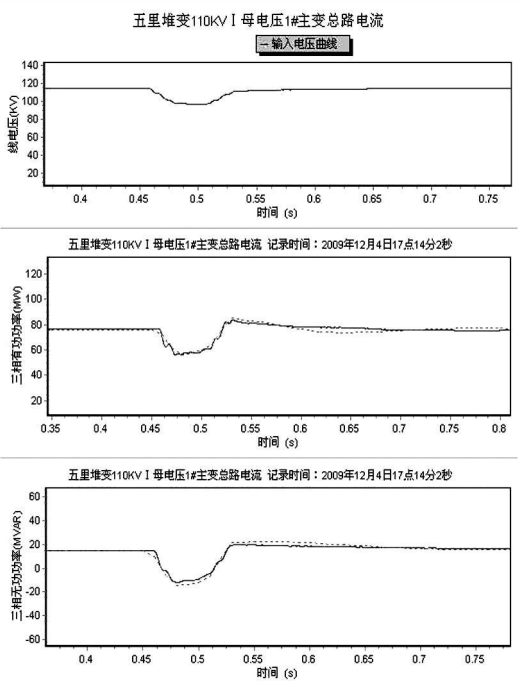


图 5b 辨识参数结果

典型参数误差: active error=0.013 145, reactive error=0.057 555, total error=0.070 700;
辨识参数误差: active error=0.008 425, reactive error=0.040 144, total error=0.048 569.

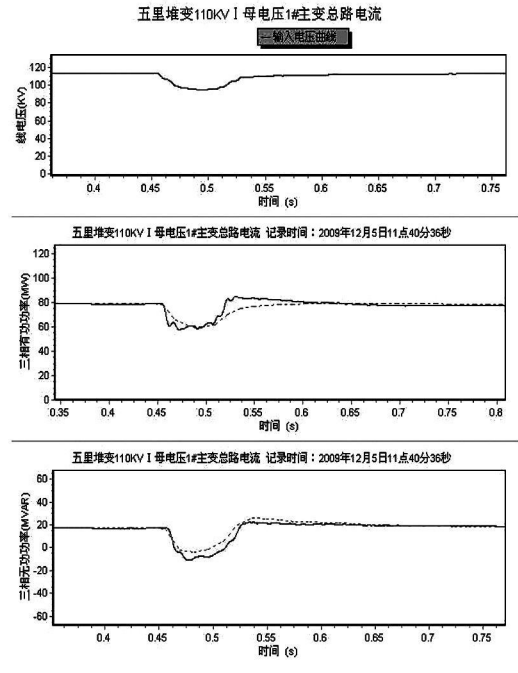


图 4c 典型参数结果

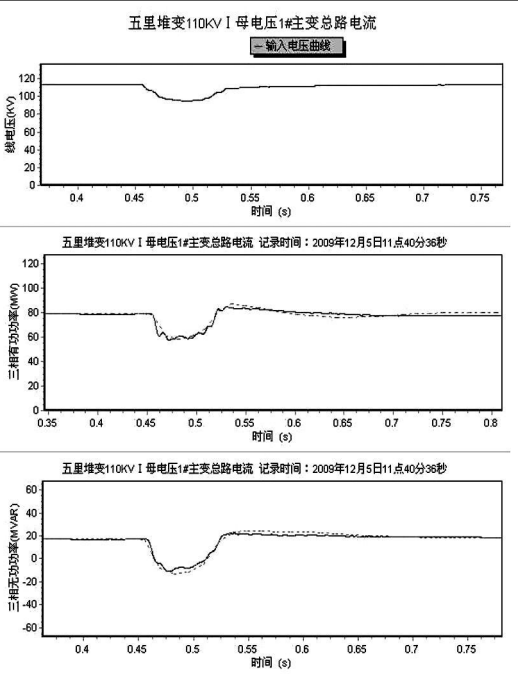


图 5c 辨识参数结果

典型参数误差: active error=0.011 315, reactive error=0.042 128, total error=0.053 443;
辨识参数误差: active error=0.006 984, reactive error=0.034 519, total error=0.041 503.

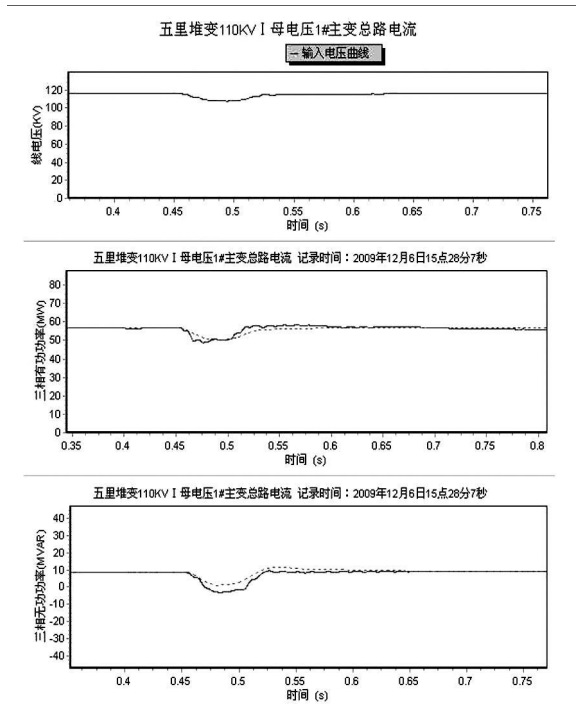


图 4d 典型参数结果

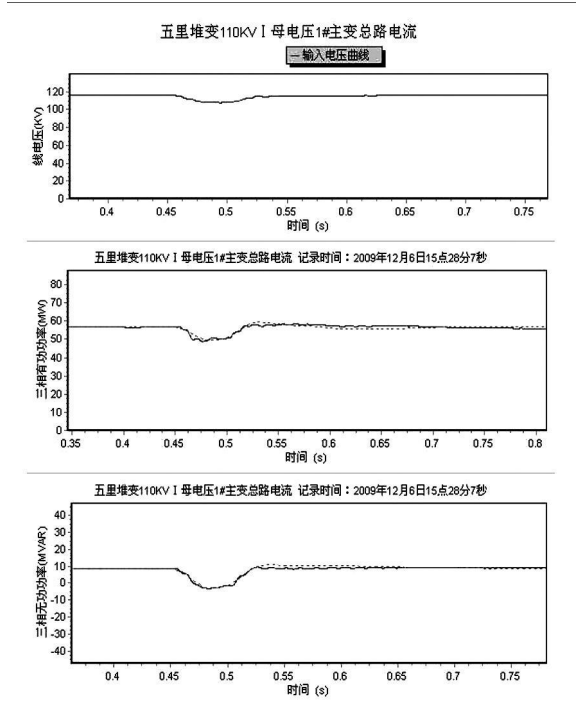


图 5d 辨识参数结果

典型参数误差: active error=0.006 521, reactive error=0.056 126, total error=0.062 647;
辨识参数误差: active error=0.005 917, reactive error=0.029 986, total error=0.035 902。

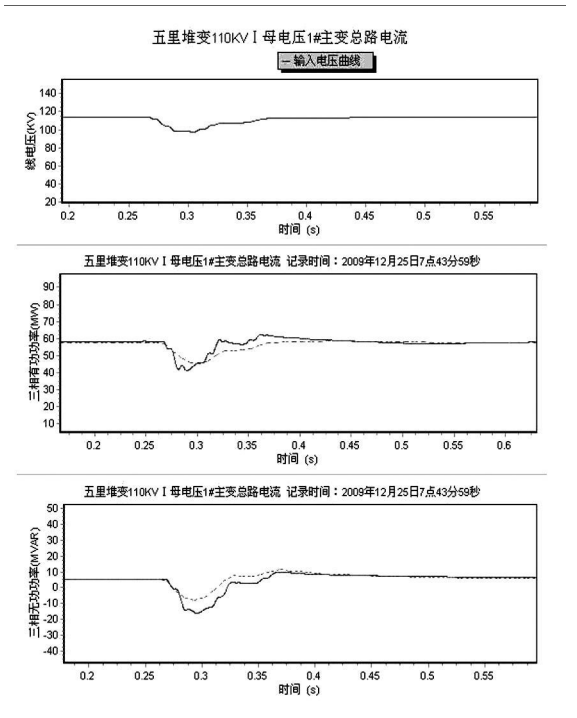


图 4e 典型参数结果

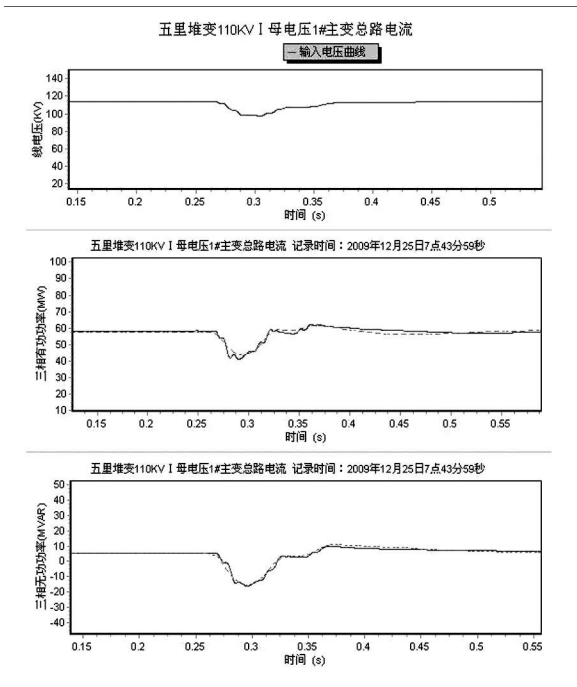


图 5e 辨识参数结果

典型参数误差: active error=0.013 738, reactive error=0.135 135, total error=0.148 873;
辨识参数误差: active error=0.007 865, reactive error=0.059 798, total error=0.067 663。
从上图对比可以看出,当扰动小时,典型参数与辨识参数拟合的波形与实际波形基本一致,但当实际系统扰动大时,典型参数拟合的曲线误差较大,而用多曲线拟合的实测参数误差小,与实际波形一致。

4 结 论

前面介绍了德阳五里堆 220 kV 变电站实测负荷建模平台,通过现场采集的扰动数据辨识的综合负荷模型参数与实际负荷特性接近,采用实测负荷模型参数与典型参数进行对比仿真,实测参数的精度高于典型参数。其取得的扰动数据仅为 2009 年 12 月至

2010 年 1 月期间的数据,对德阳变电站的负荷辨识,还需要更长时间的扰动数据的积累。为推动四川电网的实测负荷建模工作,建议通过负荷调查,在四川电网更多的负荷变电站安装负荷记录设备,或采利用现有的记录扰动装置,通过长时间的扰动数据积累,建立四川电网实测负荷模型库,为安全准确地计算四川电网外送功率打下坚实基础。

(收稿日期: 2010—06—10)

(上接第 23 页)

3.2 实用性数字化变电站

该方案采用 IEC 61850 协议、ECT/EPT 和传统的 SW/CB 设备,将变电站的数字化程度提高了一个层次。ECT/EPT 通过光纤接入合并器,由合并器对采集的数据进行整理后,按照 IEC 61850 协议通过光纤接入过程总线,间隔层设备接收来自过程总线的数
据,并将处理后的数据送入变电站总线。一个间隔中的传统开关设备通过硬接线与智能终端相连,智能终端实现模拟开关量接点信号与数字信号的转换以及操作回路功能,并通过光纤接入过程总线。川内首座数字化变电站——绵阳南塔 110 kV 变电站便属于此种类型的数字化变电站。

3.3 完全数字化变电站

采用 ECT/EPT、智能开关设备并遵循 IEC 61850 协议的完全型数字化变电站,其过程层、间隔层和变电站层全部实现数字化。过程层的采样、检测和控制全部实现数字化和网络化。目前智能开关设备技术还不够成熟,有待进一步研究开发。

4 结束语

数字化变电站技术的发展与实现得益于通信网络技术、机电一体化技术、高速数字信号处理技术、传感器技术和信息同步化技术等多个领域的研究成果和交叉融合。数字化变电站的建设以及传统变电站

的数字化改造是一个长期的、逐步完善、分步实施的过程。IEC 61850 标准的实施、非常规互感器的应用和智能开关设备的成熟推动着数字化变电站示范工程的建设,在今后 10 年中,数字化变电站已成为变电站自动化发展的主流方向,为“数字化电网”发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1] IEC IEC 61850: Communication networks and systems in substations[S]. 2004
- [2] Anderson L Brunner C. Substation Automation Based on IEC 61850 with New Process — close Technology [C]. IEEE PowerTech Conference Bologna Italy, 2003.
- [3] 高翔,张沛超. 数字化变电站的主要特性和关键技术[J]. 电网技术, 2006, 30(23): 67—71.
- [4] 门石,张振华. 新型电流电压传感器技术的应用研究[D]. 北京:华北电力大学, 2001.
- [5] 全国电力系统控制及其通讯标准化技术委员会. IEC 61850 变电站通讯网络和系统系列标准, 2002.
- [6] 谭文恕. 变电站通信网络和系统协议 IEC61850 介绍[J]. 电网技术, 2003, 27(10): 61—65.
- [7] 朱大新. 数字化变电站综合自动化系统的发展[J]. 电工技术杂志, 2001(4): 20—22.
- [8] 曾庆禹,李国龙. 变电站集成技术的发展——现代紧凑型变电站[J]. 电网技术, 2002, 26(8): 60—67.

(收稿日期: 2010—01—10)