

直流输电控制系统硬件平台的测试系统研究

吴述超, 周绍元, 乔记阳, 魏民权, 张宝华

(许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 直流输电控制系统硬件平台的好坏直接影响到直流输电系统的安全稳定运行, 硬件平台的现场检测是验证其好坏最快速、有效的手段。结合各个板卡的功能特点和性能, 提出了直流输电控制系统 MACH2 硬件平台的测试系统方案。该测试系统基于板卡替换原理, 通过软、硬件结合的方式对板卡的功能和性能进行检测, 实现对 MACH2 目标插件的检测。实际应用效果表明该测试系统能正确完成 MACH2 硬件平台板卡的功能和性能测试, 测试操作简单, 测试结果可靠, 提高了硬件平台运行的可靠性和稳定性。

关键词: 高压直流输电; MACH2 硬件平台; 测试系统; 功能测试; 板卡替换原理

Design of hardware platform test system of HVDC control system

WU Shu-chao, ZHOU Shao-yuan, QIAO Ji-yang, WEI Min-quan, ZHANG Bao-hua

(XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

Abstract: The stand or fall of control system hardware platform directly affects the safe and stable operation of HVDC transmission system. Field testing is the most rapid and effective means of verifying that hardware platform. According to the features and performance of each board, the scheme of test system of HVDC control hardware platform of MACH2 system is put forward. The test system is based on the board replacement principle. The functionality and performance of the board are tested by means of a combination of software and hardware. The practical testing application shows that the test system can correctly perform the function and performance testing of the board of MACH2 hardware platform. The test system is easy to operate and the result is reliable. At the same time, reliability and stability of the hardware platform operation will be improved.

Key words: high voltage direct current transmission; MACH2 hardware platform; test system; function testing; board replacement principle

中图分类号: TM721

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2014)15-0123-05

0 引言

直流输电控制系统硬件平台测试系统是保证直流输电控制保护系统安全可靠运行的一种重要的测试工具^[1-3]。随着 MACH2 硬件平台在直流输电工程中的广泛应用, 更多的现场设备需要得到更及时的检修、测试, 设备维护的及时性等因素对直流输电控制保护系统的稳定运行的影响越来越大, 所以对 MACH2 平台测试系统的需求越来越迫切。本文介绍了直流输电控制系统硬件平台的测试系统的总体设计思想、详细设计方案以及应用分析。

1 测试系统的总体设计

1.1 MACH2 硬件平台系统

直流输电控制系统 MACH2 硬件平台由主机系

统和分布式 I/O 系统组成。主机系统构建于高性能工控机。分布式 I/O 系统主要负责模拟量的采集和数字量(开关状态和开关命令)的传输, 采集的模拟量和数字量分别通过 TDM 总线^[4]和 CAN 总线传送到主机系统的 DSP 板卡。

1.2 测试方案

该测试系统采用的是离线测试方法, 用于 MACH2 板卡的故障检测^[5], 对板卡进行功能性检查, 确认板卡功能、精度是否满足设计要求。

将 MACH2 硬件平台中的各种板卡组成一套板卡相互联系紧密的测试系统, 并设计了人机交互界面, 使测试系统操作性更好、测试结果显示更直观。

该测试系统原理如图 1 所示, 测试系统由主机系统、I/O 系统和 HMI 组成。主机系统配置有处理器板卡, 用于数据处理以及与 I/O 系统、HMI 的通

信；I/O 系统中包含模拟量板卡、数字量板卡、通信板卡和微处理器板卡；MACH2 主机系统与 HMI 工作站通过网线连接，通过 HMI 监视界面进行测试操作以及观察测试结果；与 I/O 机箱的连接采用 CAN 总线和 TDM 总线，两个 I/O 机箱均连接到 CAN 总线和 TDM 总线。

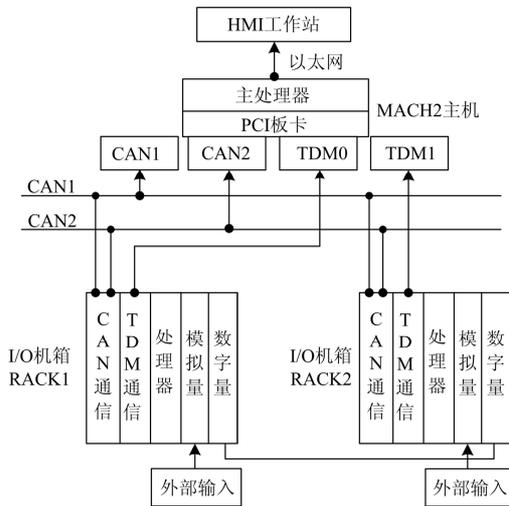


图 1 测试系统原理图
Fig. 1 Test principle

测试系统上各个组件按照一定的规则组成一个能够独立运行的系统，该系统能测试到每个组件(或板卡)的功能、精度等参数。

板卡进行测试时，用待测板卡替换指定位置板卡，装载相应的测试代码，然后根据测试步骤的提示操作完成测试。测试系统将测试信息上传给后台计算机 HMI，通过 HMI 测试界面显示测试信息。用户可根据显示的信息判断板卡是否正常。

2 测试系统硬件设计

MACH2 硬件平台测试系统由一台工控机、两台 I/O 机箱以及一台 HMI 服务器组成。工控机为 MACH2 主机，主机与 HMI 服务器相连，完成测试命令的下发以及测试结果的上送。HMI 服务器是一台安装了 HMI 程序的个人计算机。

MACH2 主机和 I/O 机箱安装在测试柜中。两台 I/O 机箱分别命名为 RACK1 和 RACK2，RACK1 和 RACK2 配置了相关 I/O 板卡，实现板卡的测试功能。除了 MACH2 主机和 I/O 机箱之外，测试柜中还包括供电系统、工控机输入输出设备、测试端子以及照明设备部分。设计完成的测试柜整体布局简化图如图 2 所示。其中 F11、F12、F18 为空气

开关。X111~X215 为测试端子，模拟量板卡所需激励量均从接线端子上输入。

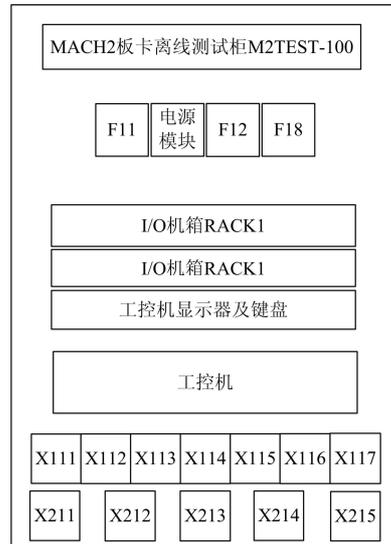


图 2 M2TEST-100 测试系统布局图
Fig. 2 Layout diagram of M2TEST-100

3 测试系统软件设计

MACH2 系统的程序开发环境是 Hidraw。Hidraw 是一种图形化的编程工具。

3.1 MACH2 主机系统软件设计

主机系统软件结构包括 MAINCPU 程序设计和 PCI 板卡程序设计两部分。

3.1.1 MAINCPU 程序设计

MAINCPU 程序设计包括主应用程序调度 (MAIN)、应用程序通信接口 (COMM)。该程序的流程图如图 3 所示。主应用程序调度主要实现应用程序的配置、PCI 板卡配置以及符号表定义。

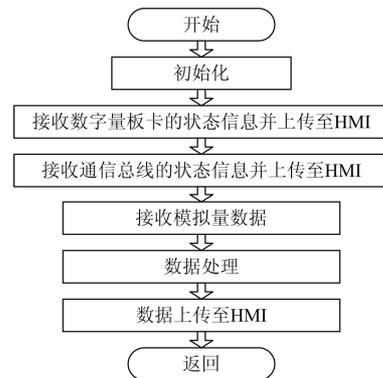


图 3 MAINCPU 程序流程图

Fig. 3 Flow chart of MAINCPU program

应用程序通信接口 (COMM) 功能主要包括：

模拟量数据接收、计算与上传, 数字量数据接收与上传以及 PCI 板卡、I/O 板卡通信状态信息接收。

3.1.2 PCI 板卡程序设计

PCI 板卡不仅与 TDM 和 CAN 总线通信以及状态监视功能; 还与双端口 RAM 数据交换, 完成模拟量的采集和处理。

PCI 板卡程序与 I/O 板卡进行通信, 通过 CAN 总线和 TDM 总线接口接收开关量和模拟量, 并对数据进行处理, 数据处理采用了巴特沃斯低通滤波和傅里叶级数计算, 处理好的数据通过 DPM 上传至 MAINCPU; PCI 板卡程序流程图如图 4 所示。

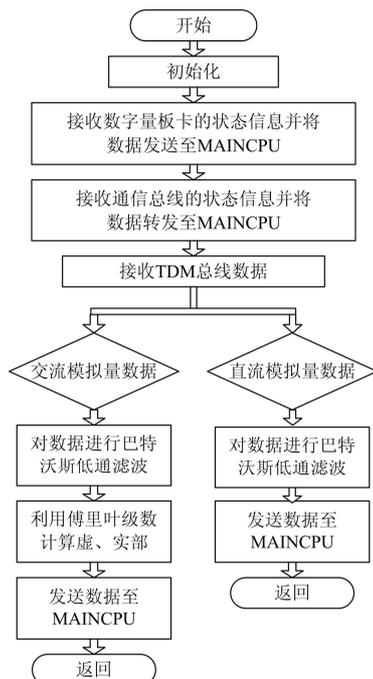


图 4 PCI 程序流程图

Fig. 4 Flow chart of PCI program

PCI 主应用程序主要实现应用程序的配置、CAN 通信接口配置、DSP 的配置、板卡与总线状态监视与信息上传以及 CAN 总线测试数据的接收和处理等。

DSP 的配置是根据应用的需要完成 PCI 板卡 6 个 DSP 的加载及初始化。该测试系统配置了 DSP1 和 DSP2, DSP1 处理来自 RACK1 的模拟量数据, DSP2 处理来自 RACK2 的模拟量数据。

板卡与总线状态监视与信息上传。此功能完成 DSP 状态、TDM 总线状态、CAN 总线状态以及总线上各个板卡状态的监视, 并将状态信息上送到 HMI 界面。

3.2 I/O 板卡软件设计

I/O 板卡应用程序的功能是测试交、直流模拟

量板卡和数字量板卡。

模拟量板卡程序功能是采集外部的交、直流模拟量, 对采集到的模拟量进行 A/D 转换, 并通过通信总线将数据上送至主机系统的 DSP 板卡。该程序的流程图如图 5 所示。

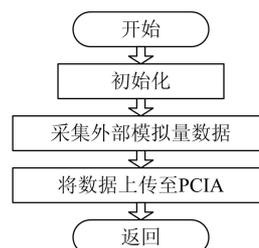


图 5 模拟量 IO 程序流程图

Fig. 5 Flow chart of analog program

数字量板卡程序功能是将数字量输出板卡和输入板卡组成一个环路进行测试, 并将测试结果上送给主机系统。该程序的流程图如图 6 所示。

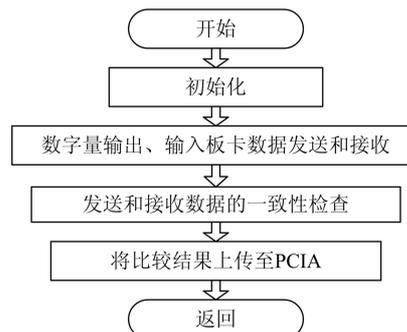


图 6 数字量 IO 程序流程图

Fig. 6 Flow chart of digital program

3.3 HMI 应用程序设计

HMI 应用程序是 MACH2 测试系统中用户交互控制的主要界面。

显示界面的内容包括测试结果, 显示重要的测试系统状态信息, 如 DSP 运行状态、CAN 通信状态和 TDM 通信状态等; 分界面要求有测试步骤的提示功能, 方便测试人员操作。

根据 I/O 机箱的配置图及需要显示的信息, 应用程序主界面如图 7 所示。

HMI 界面左上角的 DSP1、DSP2 为工控机上 PCI 板卡的工作状态, TDM1、TDM2 为测试系统中 TDM 通信情况。

HMI 界面右上角是状态指示说明, 绿色表示正常, 红色表示故障, 灰色表示无效状态。

HMI 界面上 Rack1、Rack2 分别代表 I/O 机箱 1、2, Rack1、Rack2 的第 1 行数字为板卡所在的机箱

的槽号，第 2 行数字为该位置板卡在测试程序中的 CAN 节点号。

HMI 界面中 Rack1、Rack2 上方的指示灯表示该板卡的 CAN 通信检测结果，下方的指示灯表示该板卡功能测试结果。

数字量板卡的测试结果显示到主界面上，主界面上有 CAN 总线状态和测试结果指示灯。模拟量板卡的测试较复杂，设计了测试子项的显示界面。

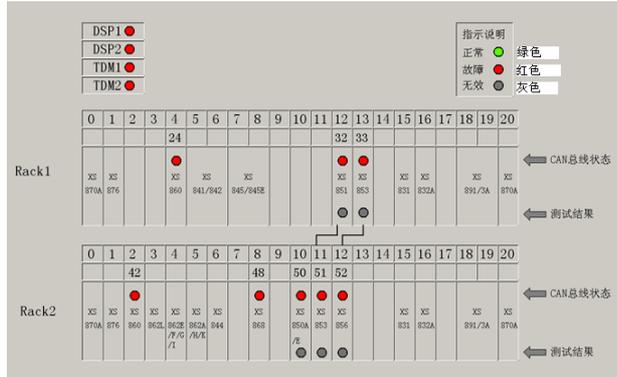


图 7 应用程序主界面

Fig. 7 Human-machine interface

4 实例分析

4.1 通信总线和数字量板卡测试

给测试系统上电，大约 5 min 后，MACH2 主机和 I/O 机箱正常运行，测试系统自动完成数字量板卡的测试，通信总线和数字量板卡的测试结果上传至 HMI。

观察 HMI 界面，得到测试结果如图 8 所示。DSP1、DSP2、TDM1、TDM2 和各个 CAN 节点的状态指示灯均为绿色，表示通信总线正常。RACK1 的槽位 12、13 和 RACK2 的槽位 10、11、12 的“测试结果”指示灯均为绿色，表示数字量板卡测试功能正常。

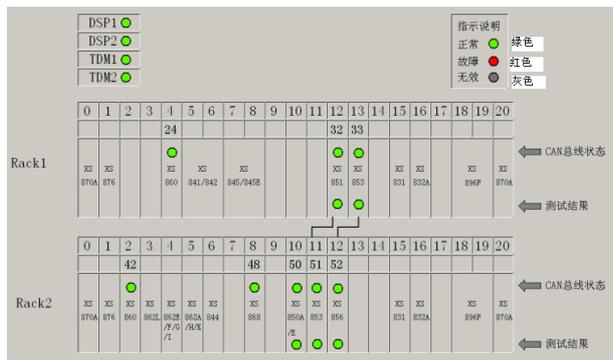


图 8 测试结果

Fig. 8 Testing result

4.2 模拟量板卡测试

以 XS862L 板卡为例进行测试介绍以及测试结果分析。

单击 HMI 界面中的机箱 RACK2 的 XS862L，进入 XS862L 测试界面。单击 XS862L 测试界面的“设置基准值”，在通道 1~4 基准值栏输入该板卡的测试基准值。通道 1~4 的误差值自动计算并显示在误差栏里。

使用信号源给 XS862L 的四个通道施加直流电流 1.414 A，实际测量值和误差如图 9 所示。XS862L 是直流信号测量板，根据板卡设计要求，通道的误差应在±0.003 之间，由图 9 可知，该板卡四个通道的误差均在±0.003 之间，所以得出结论，测试功能满足测试要求。



图 9 测试结果

Fig. 9 Testing result

5 结论

本文详细介绍了一种用于 MACH2 硬件平台功能故障检测的测试系统。该测试系统目前已经应用到向上特高压直流输电工程^[6]的备品备件板卡和故障板卡的检测，不仅为故障板卡维修提供依据，提高了特高压直流输电工程运行的可靠性和稳定性，也为直流输电控制保护系统硬件平台测试的发展提供一定的借鉴方法。

参考文献

[1] 浙江大学发电教研组直流输电科研组. 直流输电[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.
HVDC & FACTS Group of Zhejiang University Power Generating Department. DC transmission[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1985.

[2] 赵畹君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

- ZHAO Wan-jun. HVDC transmission engineering technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [3] 田杰. 高压直流控制保护系统的设计与实现[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(9): 10-14, 42.
- TIAN Jie. Design and realization of HVDC control and protection system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(9): 10-14, 42.
- [4] 蒋大海, 李宝香, 杨敏, 等. TDM 总线在高压直流输电中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(23): 238-240.
- JIANG Da-hai, LI Bao-xiang, YANG Min, et al. Application of TDM bus in HVDC power transmission[J]. Power system Protection and Control, 2010, 38(23): 238-240.
- [5] 林圣, 何正友, 钱清泉, 等. 输电网故障诊断方法综述与发展趋势[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(4): 140-150.
- LIN Sheng, HE Zheng-you, QIAN Qing-quan, et al. Review and development on fault diagnosis in power grid[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(4): 140-150.
- [6] 罗磊, 盛琰, 王清坚, 等. 特高压直流输电系统顺序控制的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(23): 30-34.
- LUO Lei, SHENG Yan, WANG Qing-jian, et al. Research on sequence control in UHVDC system[J]. Power system Protection and Control, 2010, 38(23): 30-34.

收稿日期: 2014-03-10

作者简介:

吴述超(1979-), 男, 本科, 工程师, 主要从事电力系统及其自动化的研究和开发工作; E-mail: wushuchao@sina.com

周绍元(1973-), 男, 本科, 工程师, 从事直流输电控制保护相关产品的设计和测试;

乔记阳(1983-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事高压直流输电研究和开发工作。