

基于 ARM 架构的就地化保护装置研究和应用

张文,陈强林,徐东坡,李海瑶
(许继电气股份有限公司,河南 许昌 461000)

摘 要:智能变电站就地化试点建设要求规范装置对外接口,通过一体化设计,将多个板卡的功能集成到单个芯片,实现继电保护装置的小型化,这就对处理器的运行速度、数据处理能力和功耗提出了更高的要求。而基于 ARM 架构的处理器芯片,功耗低、运行速度快,能够满足就地化相关装置的设计要求。介绍了基于 ARM 芯片实现就地化继电保护装置的设计及应用,描述了面向 IEC 61850 的对象建模方式,开发了 1 套仿真测试系统,对就地化装置的相关功能和性能进行了测试验证。

关键词:智能变电站;就地化;ARM;测试系统

中图分类号:TP 399 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-1951(2017)08-0010-03

0 引言

随着电力系统的发展,对二次设备通信数据的处理能力要求越来越高,采用单一芯片作为主处理器的继电保护装置已经无法满足当前需求。因此就地化装置采用 ARM + FPGA 协同工作模式进行设计,ARM 芯片双核主频为 800 MHz, FPGA 负责 GOOSE 和 SV 等前端数据的并行处理。

本文以 1 种处理器为例,介绍基于 ARM 的就地化保护装置设计方法及其功能实现。对比智能变电站建设过程中暴露的问题^[1-4],采用就地化设计的继电保护二次设备有如下特点。

- (1)回路简单,接口形式统一。规范化的对外接口,采用航空插头的方式简化运维检修,减少调试及检修复杂性,降低误碰、误接线可能性。
- (2)配置简单。简化智能变电站配置,实现了少配置甚至免配置。减少间隔保护虚回路设计,简化全站配置(SCD)及管控难度。
- (3)检修维护方便。采用工厂化调试、更换式检修,能够减少停电时间,提升工作质量和效率。

1 硬件设计

继电保护装置小型化,使用的处理器由单核芯片更换为双核 + FPGA 协作,最主要的技术难点是硬件回路的修改和保护程序的移植及协同运行的可靠性。装置整体设计框图如图 1 所示。对于电力系统的继电保护装置,保护程序和原理基本没有变化,重点是保证处理器更换后继电保护装置的稳定性。首先,对 CPU、FPGA 控制、RAM 和 FLASH 存储等硬件

进行重新设计,其他部分根据功能需要进行调整。其次,对于装置的 boot 引导程序,根据功能需要进行必要的初始化设置。最后,使用原有的成熟操作系统,可以充分利用嵌入式操作系统的可移植性对程序进行移植,从而保证程序的完整性和稳定性。

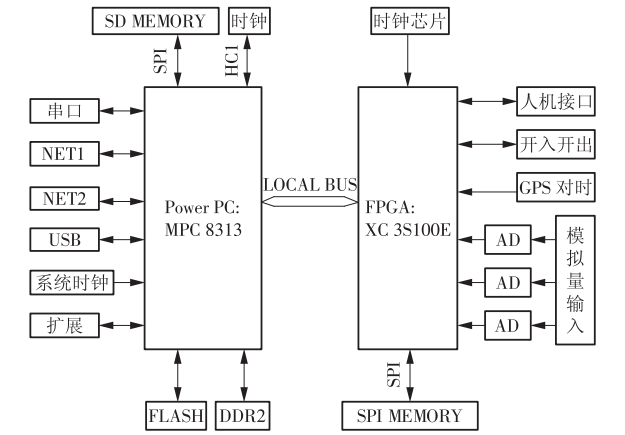


图 1 设计框图

根据整体框图的设计,该装置继承了继电保护装置的所有功能,包括模拟量 A/D 转换、网口扩展、保护算法运算和逻辑判断以及与装置外部的通信等功能,当需要更多功能时,可以根据需要通过扩展口对开入、开出、以太网等功能进行扩展。

2 BootLoader 引导

在完成硬件检测和资源分配后,将 FLASH 中的引导程序读到系统的 RAM 中,然后将控制权交给引导程序。BootLoader 的主要任务就是将内核映像从 FLASH 上读到 RAM 中,然后跳转到内核的入口点运行,从而开始启动嵌入式操作系统。

在进行开发时,分两级进行引导,一级引导程序主要用于初始化目标板硬件,二级引导程序主要用

于引导用户应用程序。

2.1 一级引导的移植

进行一级引导程序 U-Boot. bin 开发时,一般采用移植的方式。建立编译环境,设置环境变量,根据所选硬件的特点进行必要的修改,如主处理器的主频率、FPGA、FLASH、时钟和以太网等的初始参数。设置完成后即可进行编译和调试。

2.2 二级引导的设计

- 二级引导程序主要完成以下任务。
- (1)引导加载程序。包括固化在固件中的 boot 代码和引导 2 大部分。
 - (2)初始化操作系统内核。主要设置特定于嵌入式板子的定制内核以及内核的启动参数。
 - (3)文件系统管理。包括根文件系统和建立于 Flash 内存设备之上文件系统。
 - (4)引导用户应用程序。

二级引导程序设计时,需要修改的是嵌入式操作系统中板级初始化函数 INT_Initialize,其主要通过汇编语言编写实现。INT_Initialize 在嵌入式操作系统中最先运行,在该函数中设置处理器参数、中断向量表、全局的 C 数据元素、变量和系统堆栈指针等,完成板级初始化。

板级初始化完成后,控制转移到操作系统初始化子程序 INC. Initialize,INC. Initialize 调用用户提供的初始化子程序,从而完成应用程序的引导。

3 程序设计

保护应用程序设计时,采用平台化开发,充分利用嵌入式操作系统的可移植性,将平台程序移植到处理器中,尽量减少对应用程序的影响,从而加快装置的开发周期,保证装置相关功能的完整性和稳定性。

3.1 应用程序的初始化

二级引导程序正常引导操作系统启动后,完成所有应用程序的初始化,包括任务、队列、信号量、事件集、内存和其他嵌入式操作系统对象等。这些初始化均在 Application_Initialize 中实现。如函数初始化用例 Application_Initialize():

```
INT Application_IniApplication( VOID )
{
    Input_Initialize();
    Output_Initialize();
    ChangeTaskTimeSlice( HB_PRO, HB_TASK_TIME);
    Return;
}
```

根据 Application_IniApplication 函数中创建的应用函数,即可添加响应的应用程序及相关保护逻辑,从而实现保护装置的各种任务。

3.2 面向 IEC 61850 的对象建模

在保护应用程序的开发体系中,均是采用模块化开发,装置底层初始化成功后,进行正确应用程序设计和建模,即可实现继电保护装置所需的功能。

保护装置建模是面向 IEC 61850 标准进行对象建模。模块程序主要包括底层程序模块、保护程序模块、通信程序模块和人机接口程序模块。底层程序模块主要负责处理装置的初始化及装置的异常自检;保护程序模块主要实现继电保护装置所需的各种保护功能;通信程序主要实现保护装置与后台之间、装置与装置之间、装置与 PC 之间的通信和信息交互,同时满足 IEC 61850 标准的要求;人机接口程序主要实现液晶显示、按键操作等人机交互功能。

3.2.1 数据建模

面向 IEC 61850 标准进行对象建模时,创建公用的数据属性表,包括:装置公用、保护定值、软压板、遥信、动作报告、检修压板、遥测、遥控等。如软压板状态表的数据模型为:

```
typedef struct SJUMP_STRUCT
{
    UNSIGNED    pro_id;
    UNSIGNED    inf;
    RCHAR       name[21];
    RCHAR       alias[9];
    INT         iType;
    CHAR        DO_NAME[65];
    INT         subEna;
    INT         subVal;
    UNSIGNED    subQ;
    CHAR        subID[65];
    UNSIGNED    q;
    UNSIGNED    t_sec;
    UNSIGNED    t_frac;
    UNSIGNED    t_qflag;
    INT         value;
};
```

数据属性表中包含有 IEC 61850 标准需要的所有信息,然后根据数据属性表生成所需要的数据集。

3.2.2 LN 逻辑节点建模

根据每种保护装置的功能需求,创建满足国网标准的 LN 逻辑节点,如装置参数数据集名称为 dsParameter,装置定值数据集名称为 dsSetting,常规交流测量使用 MMXU 实例,单相测量使用 MMXN

实例,告警信号用 GGIO 的 Alm 上送,普通遥信信号用 GGIO 的 Ind 上送等。

故障录波和故障报告模型主要是通过各个功能模块的配合实现,首先由保护程序模块创建所需的保护模型,设定故障录波和故障报告类型,然后人机接口程序根据保护动作后的故障量和动作报告信息,生成符合国网 IEC 61850 标准要求的 COMTRADE 文件,同时 COMTRADE 文件中包含以 hdr, cfg 和 dat 为后缀的文件。

3.2.3 菜单建模

就地化保护装置相应的菜单功能通过 IEC 61850 方式(建模、通信服务)实现,通过智能管理单元对装置进行监视和控制。通过创建 MGR 模型对菜单的显示和操作进行建模,该模型下集成了原有液晶显示的所有信息和厂家调试信息,按照标准的 MMS 服务协议与智能管理单元进行通信。

4 测试系统

就地化装置研发测试过程中,主要通过结合不同应用测试各个功能模块的正确性。通过开发该测试系统,对不同的工程应用进行了抽象和建模,针对软件和硬件提供的功能及边界进行量化测试,如长时间运行工况模拟、事件记录的压力测试、内部异常处理和任务调度管理等,从而满足实际工程应用中的各种需求。

嵌入式平台测试系统是结合实际的软硬件平台及早期自动测试的研究成果,针对内部通信特点,定制测试用例驱动,从而验证基于 ARM 架构研发的就地化装置的功能、性能和可靠性,系统结构如图 2 所示。

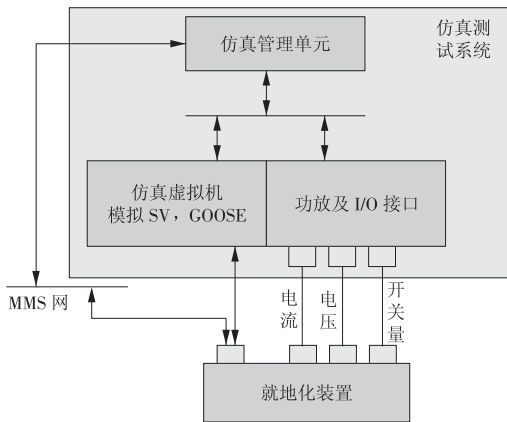


图 2 测试系统架构

4.1 仿真管理单元

仿真管理单元包括数据仿真测试仪的控制、测试用例的生成和测试结果的生成与查询等^[5-10]。同时还能仿真智能变电站 IEC 61850 规约客户端与

嵌入式平台装置进行基于 IEC 61850 标准的 MMS 通信,对上行和下行命令进行交互和判别。

4.2 仿真虚拟机

仿真虚拟机自主设计和开发,用于模拟嵌入式平台内部各个模块和板卡之间专用通信协议,如内存读写、数据表通信命令等,提供测试需要的模拟数字量或模拟量。

4.3 功放及 I/O 接口

按照标准化设计,能够适应不同类型的就地化装置,通过航空插头直接接入。接口类型丰富,能够实现不同数据之间的相互转换。

5 结束语

本文介绍了基于 ARM 的就地化保护装置设计及其特点,同时对面向 IEC 61850 的对象建模进行了描述。其技术设计开发思想和方法对同类系统或类似相关产品的设计开发和测试提供了有益的借鉴。

参考文献:

[1] 继电保护信息规范:Q/GDW 11010—2013[S].
[2] 杨志宏,周斌,张海滨,等. 智能变电站自动化系统新方案的探讨[J]. 电力系统自动化,2016,40(14):1-7.
[3] 牛强,钟加勇,陶永健,等. 智能变电站二次设备就地化防护技术[J]. 电力建设,2014,35(9):76-81.
[4] 李岩军,艾淑云,王兴国,等. 继电保护就地化及测试研究[J]. 智能电网,2014(3):16-21.
[5] 邵凤瑞,王命延. 继电保护测试系统组态软件的应用[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(6):72-75.
[6] 赖擎,华建卫,吕云,等. 通用继电保护自动测试系统软件的研究[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(3):91-94.
[7] 徐立子. 变电站自动化系统的可靠性分析[J]. 电网技术,2002,26(8):68-72.
[8] 浮明军,刘昊昱,董磊超. 智能变电站继电保护装置自动测试系统研究和应用[J]. 电力系统保护与控制,2015,43(1):40-44.
[9] 温东旭,杨辉,王旭宁,等. 电力保护装置保障性自动测试方案研究与实践[J]. 电力系统保护与控制,2015,43(10):135-138.
[10] 董磊超,刘昊昱,浮明军,等. 智能变电站间隔层设备自动测试系统研制[J]. 电力系统自动化,2015,39(5):147-151.

(本文责编:刘炳锋)

作者简介:

张文(1984—),男,安徽阜阳人,工程师,主要从事继电保护及自动化产品的研发测试工作(E-mail:electricwen@163.com)。