

基于 DSP 的馈线自动化远方终端研究

胡福年

(徐州师范大学工学院,江苏 徐州 221011)

摘要: 提出了以 TI 公司 TMS320LF2407 为 DSP 核心处理器的馈线自动化远方智能终端 (FTU) 的设计方案, 并针对 FTU 的硬件原理框图, 对 FTU 的主要硬件构成部分进行了具体介绍。还介绍了 FTU 的故障定位、故障隔离和供电恢复 (FDR) 的功能和 DSP 程序下载与仿真测试原理, 保证了基于 DSP 的 FTU 的设计功能的实现。

关键词: 馈线自动化; 数字信号处理; 馈线远方终端; TMS320LF2407

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2006)11-0078-05

0 引言

馈线自动化的主要作用是在正常情况下监视馈线负荷并优化运行方式, 当故障发生后, 及时准确地确定故障区段, 迅速隔离故障区段并恢复健全区段供电。馈线自动化是配电自动化系统的基础, 要解决配电网的供电可靠性问题, 其主要环节就是实现馈线自动化。实现馈线自动化能充分地保证供电的可靠性, 能使故障自动隔离, 网络自动重构, 负荷自动转移, 远方对配电网进行监视和控制以及其他的。但由于馈线自动化涉及到供电可靠率、电压质量、线路损耗和系统优化组合等方面的诸多问题, 我国目前配电网自动化只是处于开展阶段, 并没有深入开发。

在一些工业发达国家中, 配电自动化系统受到了非常广泛的重视, 一些著名电力设备的制造厂家都涉足配电自动化领域, 如德国西门子公司、法国施耐德公司、英国 ABB 公司、美国摩托罗拉公司、日本东芝公司等均推出了各具特色的配电自动化产品。国外的配电网自动化系统已经形成了集变电站自动化、馈线分段开关测控、电容器组调节控制、用户负荷控制和远方抄表等系统于一体的配电网管理系统 DMS (Distribution Manage System), 其功能已经多达 140 余种。

馈线自动化中的关键设备是馈线远方终端 FTU (Feeder Terminal Unit)。FTU 是整个馈线自动化系统的基础控制单元, 起到联接开关及数据采集与主控制系统的桥梁作用, 是对配电负荷开关或环网开关柜进行监控的自动化设备。在 FTU 的研究设计方面, 以往主要依据单片机 MS-51 系列或者 96 系列, 基于数字信号处理 DSP (Digital Signal Process-

ing) 芯片的 FTU 的产品还不多见。随着 DSP 技术的日趋成熟, 将先进的数字信号处理技术应用到配电网自动化系统的 FTU 设计中来, 充分发挥其快速强大的运算和处理能力以及并行运行的能力, 对于满足配电自动化系统监控的实时性和处理算法的复杂性等更高的要求, 解决我国配电自动化现有的问题具有深远的意义。

论文基于先进的 DSP 技术, 选用 TMS320LF2407 芯片作为主控制芯片, 来完成馈线自动化远方智能终端装置的研究与设计, 并对系统的性能给出相应的分析和解决方法, 较之以前依靠 MS-51 或者 96 系列单片机完成设计的 FTU 有了进一步的提高。

1 基于 DSP 的 FTU 硬件电路设计

1.1 FTU 的硬件总体原理结构设计

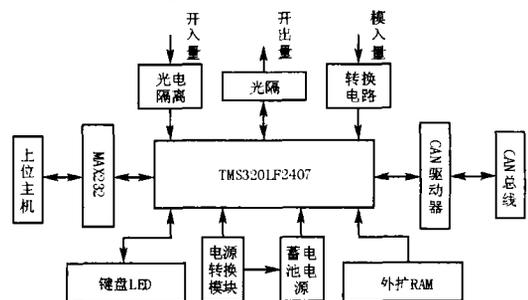


图 1 FTU 硬件总体原理框图

Fig 1 Overall block diagram of FTU

FTU 作为馈线自动化系统中的核心设备, 它的功能设计的好坏直接影响到整个配电自动化系统的性能。FTU 除了具备应有的数据采集、通信、四遥等主要功能外, 还必须具备保护功能, 保护应该具有单独的通信接口, 完成相邻开关保护之间的点对点通

信。基于 TMS320LF2407 DSP芯片设计的 FTU的硬件原理结构如图 1所示。

FTU的工作电源由两部分组成,一部分是直接取自馈电线路,由配电网高压馈电线路通过 PT供给系统 220 V 或 100 V 交流电源输入模块,然后通过 AC-DC 转换,电源输出 +24 V 电压给 FTU 的各模块工作,还输出一组电压给蓄电池组浮充电。当交流断电时,电源快速切换到蓄电池组供电,保证 FTU 仍能正常工作。

电源指标要求如下:

(1) 输入电压变化小于 $\pm 20\%$ 时,输出电压变化小于 $\pm 5\%$ 。

(2) 输出电流不带蓄电池时不低于 5 A (连续 1 min),有蓄电池时不低于 15 A (连续 3 s),即按一般开关跳合闸电流的 1.5 倍考虑。

(3) 正常工作时由馈线电压转换成直流电源供电,当馈电线路失电时,自动切换到蓄电池供电。

(4) 提供一组浮充输出给蓄电池,平时正常时给蓄电池提供浮充电。

(5) 电源有一个状态输出,指示电源的交流状态。

将 5 V 的 TTL 电平转换成 DSP 芯片 3.3 V 电压的转换芯片是 TPS7333。利用 TPS7333 的 RESET 管脚连接到 TMS320LF2407 的复位管脚 RS 上,还可以实现 DSP 芯片的硬件复位。在平时 S 没有按下时, TMS320LF2407 的 RS 管脚为高电平,当 S 按下后变为低电平,从而使系统硬件复位。

1.2 模拟量采集与转换功能

配网自动化系统的馈线远方终端进行监控的工作流程是:先通过串行通信口从上位机下载监控程序到 DSP 芯片,再由 DSP 发出数据采集命令,这时模拟输入信号经过滤波、采样保持、多路转换及模数转换 (A/D) 以后,转换成数字信号传输给 DSP 芯片进行运算处理,以完成各种监控功能。根据系统设计要求,FTU 监测一条馈电线路需要采集 8 路模拟量,其中 6 路为交流量用交流信号采集方法完成,分别为馈电线路的线电压 u_{ab} 、 u_{bc} ,相电流 i_a 、 i_c ,零序电压 u_0 ,零序电流 i_0 ,作为计算有功功率、无功功率、功率因数等的依据;2 路直流量,一路用于监视 FTU 的温度,通过温度传感器将温度信号转换为电压值,一路用于监视 FTU 的电源电压。

1.3 开关量输入输出电路

配网自动化系统遥信的输入信号和遥控的输出信号都是开关量。因为开关量作为信号源时本身的

干扰就比较大,而且传输距离一般都比较远,沿途干扰也较大,论文采用直接数字输入/输出方式,对开关量进行采集,并采用光电隔离措施以去干扰。设计 8 路开关量遥信输入信号,主要是对馈电线路柱上开关的当前位置、通信是否正常、储能完成情况等重要状态进行采集,对馈电线路保护动作情况进行遥信。开入量经过光电隔离后,直接接到 DSP 芯片的 I/O 口。

设计 8 路开关量控制输出信号,控制馈电线路断路器开关的分合等操作,以及控制保护继电器来实现保护功能等。开出量是先由 DSP 芯片的 I/O 口产生,经 CPLD 芯片扩展以后,通过光电隔离输出给继电器线圈去,并通过继电器辅助接点输出到被控对象,控制被控对象。

1.4 FTU 双端电源切换与蓄电池监控电路设计

正常运行时,FTU 的工作电源由馈电线变换提供。由于馈线电压相对稳定,因而 FTU 的供电电源也是相对稳定的。电路设计如图 2 所示。设 A 端有电时,J-1、J-2 吸合于常开触点,这时 FTU 由 A 端供电;当 A 端失电时,J-1、J-2 合于常闭触点,这时由 B 端供电,从而保证了在一侧失电时供电的连续性。

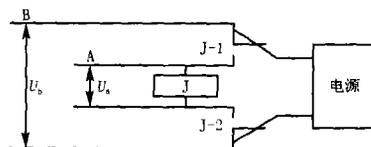


图 2 FTU 双端电源切换电路

Fig 2 Double power supply switch circuit

故障情况时,其电源切换为由蓄电池提供。蓄电池电压的高低决定了故障情况下 FTU 工作的稳定和可靠,对蓄电池的监控电路设计如图 3 所示。当主控制器发出巡检蓄电池命令定时自检电池时,输出高电平驱动继电器 J,继电器 J 的常闭触点 J-1 断开即脱离电源浮充端,常开触点 J-2 闭合,蓄电池带上一个 25 的功率电阻,如果其电压高于稳压管 D1 的稳压值 22 ± 0.2 V,则表明蓄电池状态良好,稳压管导通,光耦输出为低电平;如果电池电压低于这个值时,则稳压管不导通,光耦输出为高电平,表明蓄电池有问题,然后将信息通过通信传输到监控中心,以便及时对蓄电池进行检修。

1.5 外部 RAM 扩展电路设计

选用 64K \times 16bit 的 CY7C1021VC33 作为外部 RAM 扩展。STRB 作为外部存储器访问选通管脚。V IE_OE 为透视度输出使能,在数据总线输出时有

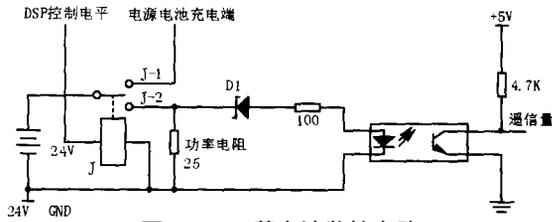


图 3 FTU 蓄电池监控电路

Fig 3 Storage battery monitoring circuit of FTU

效,可用作外部编码以防止数据总线发生冲突。 \overline{IS} 为 I/O 空间选通引脚,一般保持高电平。其工作原理为: \overline{IS} 始终为高电平,除非有低电平请求才选通 I/O 空间。 \overline{IS} 与 3.3V 高电平“与非”输出为低电平,使 \overline{CE} 有效,保证 CY7C1021VC33 的片选始终保持选通状态。当需要从 DSP 写数据到 CY7C1021VC33 时, $\overline{VIE_OE}$ 为低, \overline{RW} 为低, 并且 \overline{STRB} 为低, 经逻辑运算后, 使 \overline{OE} 为高, 以保证 CY7C1021VC33 不能输出数据, 即保证了 DSP 往 CY7C1021VC33 里写数据。也可以通过 \overline{WE} 直接控制 CY7C1021VC33 的数据写入。读数据时, $\overline{VIE_OE}$ 为高, \overline{RW} 为高, \overline{STRB} 为低, 从而使 \overline{OE} 为低, 允许 CY7C1021VC33 输出数据, 完成 DSP 从 RAM 中读数据的操作。

2 故障定位、故障隔离和供电恢复功能

故障定位、故障隔离和供电恢复 FDR (Fault Detection Isolation Recovery) 是新一代 FTU 应该具备的重要功能,设计通过相应的软件编程实现故障类型判断、故障定位、故障隔离以及供电恢复。当任何一段馈电线路发生故障时, FDR 的故障检测定位技术能够检测出相-相故障以及相-地故障; FDR 能够在环网或两端供电的开环运行馈电线中,按其配备在该线路的一组 FTU 中,指定其中任一为主 FTU 完成与其它 FTU 的数据通信;主 FTU 统一收集关于该线路各个分段馈电线路的电气实时数据,并且集中与配网站控系统和配网控制中心主站通信。当任何一段馈电线路发生故障时,主 FTU 能够及时独立地完成故障的定位和相关远方负荷开关的控制操作,从而,在当地自动实现环网供电开环运行馈电线的故障隔离和供电恢复,将停电时间缩短到几秒钟的水平。但是,这里要求不能选用一般的负荷开关,必须选用断路器开关,而且对于一般的速断保护还不行,可以参考的保护方式为差动保护。

3 通信电路

3.1 异步串口通信电路

串口通信是目前最常用的异步通信方式。论文基于 TMS320LF2407 的 SCI 模块实现了 CPU 与异步外设 RS232 串行口之间的数字通信。SCI 模块的通信是为了保证数据的完整性,对接受到的数据要进行间断检测、奇偶性校验、超时以及帧出错的检查。通过 16 位波特率选择寄存器可以设置多种数据传输速率。图 4 是 TMS320LF2407 串行通信接口电路,采用了 MAX232 芯片作为标准的驱动芯片进行串行通信。由于 TMS320LF2407 采用 +3.3V 电压供电,所以在 TMS320LF2407 与 MAX232 之间需要进行电平转换,这里采用了 4N35 低速光耦隔离芯片进行光电隔离和电平转换控制,通信采用串行总线接口 RS232 标准。

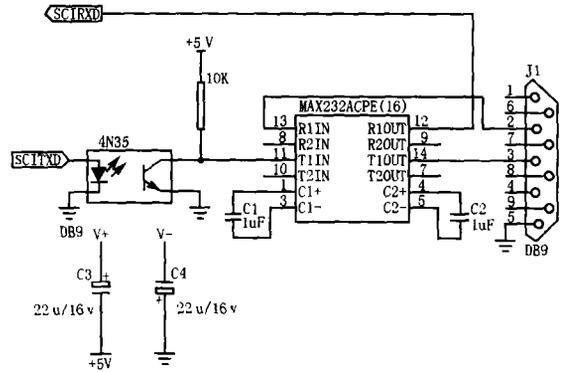


图 4 异步串行通信电路

Fig 4 A synchronous serial communication circuit

3.2 CAN 总线通信电路

由于 TMS320LF2407 内部集成了 CAN 控制器模块,只需要在 TMS320LF2407 与 CAN 总线之间加上 CAN 驱动芯片即可。论文采用 TI 公司的 SN65HVD230 芯片,即可直接实现 CAN 总线方式通信。SN65HVD230 一方面作为 CAN 驱动器,另一方面也完成了 3.3V 与 5V 电平之间的转换功能。电路见图 5 所示。

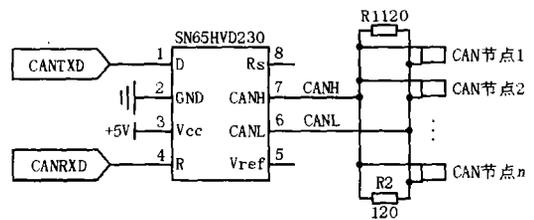


图 5 CAN 总线通信电路

Fig 5 CAN BUS communication circuit

CAN 总线通信方式能根据优先权对各节点进行访问和应答,配置灵活,对于通信过程中出错的信

息能很好地检测出,并能够自动重发送由于某些原因遭到破坏的帧信息,并且对永久性故障的节点能够自动脱离,有较高的智能性。这也是在 FTU 局域网之间采用 CAN 通信方式的原因。

3.3 通信波特率的设置

如果 f_c 为 CAN 控制器的系统时钟即 DSP 的系统时钟(本系统为 15 MHz),而位配置寄存器 BCR2 决定了波特率预分频系数 BRP ,预分频系数 BRP 从 0~256,因此 CAN 控制器的时间片 $TQ = (BRP + 1) / f_c$ 。位配置寄存器 BCR1 决定了边沿重同步方式选择 SBG (值为 0 或 1)、CAN 通信同步跳转宽度 SIW 选择(可选择 1~4 个 TQ 值)、采样次数选择以及数据传播延时时间段($PROG\ SEG$)和相位延时时间段 1($PHASE\ SEG1$)以及相位延时时间段 2($PHASE\ SEG2$)。

其中 $TSEG1 = PROG\ SEG + PHASE\ SEG1$,并且 $TSEG1$ 值可通过编程设置为 3~16 个 TQ 时间片;而 $TSEG2$ 的值可编程为 2~8 个 TQ 时间片,并且

$$\begin{cases} (SIW + SBG + 1) & TSEG2 & 8 \\ TSEG2 & TSEG1 \end{cases}$$

因此波特率:

$$BAUDRATE =$$

$$f_c$$

$$[(BRP + 1) + (TSEG1 + 1) + (TSEG2 + 2) + 1]$$

由此可见 CAN 控制器的波特率的设置是由 BRP 、 $TSEG1$ 、 $TSEG2$ 不同的组合来实现的。

4 DSP 程序下载与仿真测试

为了在实验过程中,完成一套硬件实验装置来实现 FTU 的多种设计功能,达到系统的设计要求并测试 FTU 的整体性能,需要将不同的设计开发程序下载到 DSP 芯片的 Flash 存储器中进行仿真调试和运行测试。实现的方法有两种:第一种是利用 TMS320LF2407 片内带有的 32 k 字 Flash 阵列作为程序存储器,Flash 阵列可以通过 JTAG 口进行编程。但是采用 JTAG 口编程不仅需要目标板上有 JTAG 口,同时还需要有专门的 JTAG 接口电路,因此这种 Flash 编程的方法一般用于仿真器调试阶段;第二种是串行引导加载,即利用 TMS320LF2407 串行接口对 Flash 存储阵列进行编程。TMS320LF2407 的串行接口 SCI(Serial Communication Interface)是一种符合工业标准 RS232 的串行接口,它外接 RS232 驱动电路,可实现与 PC 主机的简易接口。这种编程方法方便实用,适用于装置的一

般运行操作。

TMS320LF2407 芯片的引导 ROM 中有两个加载器,在用串行接口对 Flash 存储阵列进行编程时,首先必须将芯片的 BOOT EN 引脚置为低电平,从而激活引导 ROM 中的异步串行口加载器,然后匹配波特率协议,从而同步上位机与 TMS320LF2407 之间的通信。当这种同步通信建立起来以后,上位机会下载一个内核程序到 TMS320LF2407,其中包括排列程序以及与异步串口的接口程序,如果内核的初始化正确,Flash 存储阵列中的清零、擦除、编程算法就立即被下载并执行。

由于清零、擦除和编程算法都是由 TI 公司提供,一般把它们保留在上位主机上以利于实时更新。同时,为了最小化引导加载程序代码在 Flash 存储器中占用的驻留空间,TMS320LF2407 的 Flash 阵列中仅仅存储内核算法,而清零、擦除和编程算法在每次执行 Flash 编程时从上位机下载,从而使常驻引导加载器的代码大大减少。

5 结论

针对配网自动化系统中馈线自动化远方终端 FTU 在性能方面存在的不足,结合目前较为成熟的数字信号处理技术和高性能 DSP 芯片,研究设计了基于 DSP 芯片 TMS320LF2407 作 CPU 的 FTU,并对 FTU 的性能进行了具体的讨论,主要完成了以下三个方面的工作:

(1) 运用 DSP 芯片——TI 公司的 TMS320LF2407,结合其优点对 FTU 硬件进行了设计,通过设计实现了 DSP 基本外围电路,FTU 的模拟量、开关量采集电路,异步串行通信电路,现场总线 CAN 通信电路等。

(2) 编写了 FTU 硬件电路的软件实现程序,实现了所设计的 FTU 的故障定位、故障隔离和供电恢复重要功能。

(3) 通过对软硬件的调试、测试、仿真和输出,得到了预期的 FTU 的功能和效果。

仿真调试结果表明,基于 DSP 芯片的 FTU 在设计上发挥了 TMS320LF2407 处理性能好、外设集成度高、控制能力强的优点,能够满足电力系统监控实时性强、处理算法复杂性高的要求,符合配电自动化发展的需要。

参考文献:

- [1] 蔡心一. 关于配电自动化需要与发展[J]. 江苏电器,

- 2001, (4): 12-14
CAIXin-yi On Needs and Development of Power Distribution Automation [J]. Jiangsu Electrical Apparatus, 2001, (4): 12-14.
- [2] 李春涛. 配电网自动化改造方案探索 [J]. 山西电力技术, 2000, (5): 22-25.
LI Chun-tao Study on Automation Transformation of Power Distribution Network [J]. Shanxi Electric Power, 2000, (5): 22-25.
- [3] 程干江. 智能馈线自动化方案 [J]. 电力系统自动化, 2001, 25(9): 42-44.
CHENG Gan-jiang An Intellective Scheme for Pursuance of Feeder Automation [J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(9): 42-44.
- [4] Hart D G, Northcote-Green J. Automated Solution for Distribution Feeders[J]. IEEE Computer Applications in Power, 2000, (4): 1425-1430.
- [5] 赵祖康, 王伟. 中国城市配电网自动化与网络结构优化 [J]. 电力系统自动化, 2000, 24(19): 43-46
ZHAO Zu-kang, WANG Wei Urban Distribution Automation and Network Structure Optimization in China [J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(19): 43-46
- [6] 汪童志. 馈线自动化的几种实现模式 [J]. 供用电, 2000, (4): 6-8
WANG Tong-zhi Realization of Feeder Line Automation [J]. Distribution & Utilization, 2000, (4): 6-8
- [7] 林功平. 配电网馈线自动化解决方案的技术策略 [J]. 电力系统自动化, 2001, 25(7): 52-55.
LN Gong-ping Technique Strategy of Feeder Automation of Distribution Power Network [J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(7): 52-55.
- [8] 兰海, 朱晓萍, 杨丽华, 等. 馈线自动化远方终端的一种设计方案 [J]. 吉林电力技术, 2000, (3): 4-7.
LAN Hai, ZHU Xiao-ping, YANG Li-hua, et al A Draft on Feeder Terminal Unit [J]. Jilin Electric Power, 2000, (3): 4-7.
- [9] 刘和平, 等. TMS320LF240X 结构、原理及应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002
LIU He-ping, et al TMS320LF240X s Structure, Theory and Its Application [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2002.
- [10] 吴军基, 刘翔, 杨伟. 基于 DSP 的 FTU 的研究与设计 [J]. 电力自动化设备, 2003, (12): 17-20
WU Jun-ji, LIU Xiang, YANG Wei Research and Design of FTU Based on DSP [J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, (12): 17-20.
- [11] 李贵存, 刘万顺, 郭启军. 配电自动化馈线终端的信息采集与通信规约 [J]. 电网技术, 2000, 24(7): 55-58
LI Gui-cun, LIU Wan-shun, GUO Qi-jun Data Collection and Communication Protocol of Feeder Terminal Unit in Distribution Automation [J]. Power System Technology, 2000, 24(7): 55-58.
- [12] 刘淑芬, 刘增良. 基于 CAN 总线的配电自动化系统 [J]. 高电压技术, 2004, (9): 65-67.
LIU Shu-fen, LIU Zeng-liang Research on Distribution Automation System Based on CANBUS [J]. High Voltage Engineering, 2004, (9): 65-67.
- [13] 宗剑, 等. 智能配电网馈线终端单元 FTU 设计方案 [J]. 供用电, 2004, (1): 11-12
ZONG Jian, et al Research on Intelligent Distribution Network Feeder Terminal Unit [J]. Distribution & Utilization, 2004, (1): 11-12

收稿日期: 2005-11-07

作者简介:

胡福年 (1967 -), 男, 博士研究生, 副教授, 主要从事电力系统分析与控制方面的教学与研究工作。E-mail: faunian@sina.com

Study of feeder terminal unit on DSP

HU Fu-nian

(School of Professional Technology, Xuzhou Normal University, Xuzhou 221011, China)

Abstract: The design of feeder terminal unit (FTU) based on TMS320LF2407 DSP is presented. The major constituent hardware of the FTU is detailed. The fault detection, isolation and recovery (FDR) function and the program download principle from TMS320LF2407 flash memory array of FTU are introduced as well, which can ensure the function of FTU implement based on DSP.

Key words: feeder automation; digital signal processor; feeder terminal unit; TMS320LF2407