

doi:10.3969/j.issn.1008-5327.2010.03.023

# 太阳能逆变器控制系统的 RTOS 软件开发

周 玲<sup>1,2</sup>

(1. 江南大学 信息工程学院, 江苏 无锡 214100; 2. 无锡商业职业技术学院, 江苏 无锡 214153)

**摘 要:** 针对嵌入式系统软件的特点, 采用实时操作系统(RTOS)进行太阳能逆变器控制系统的软件开发。在给出软件开发流程的基础上, 分析了系统需求, 并在 TI-BIOS 实时操作系统上进行系统架构设计。在一台采用 DSP28335 控制芯片的 100 kW 太阳能逆变器样机上的试验结果表明, 该软件设计方法具有开发周期短, 移植性强, 可靠性高等优点。

**关键词:** 太阳能逆变器; 实时操作系统; 数字化控制; 软件开发

中图分类号: TM464

文献标志码: A

文章编号: 1008-5327(2010)03-0083-04

## PV Inverter System Software Design Based on RTOS

ZHOU Ling<sup>1,2</sup>

(1. School of Information Technology, Jiangnan University, Wuxi 214100, China;

2. Wuxi Institute of Commerce, Wuxi 214153, China)

**Abstract:** PV inverter is one of the typical embedded systems. According to its characteristics, its software on real time operation system is designed. After analyze requirements, architecture design is done on TI BIOS. The scheme is realized in a 100 kW PV inverter based on a TMS320F28335 DSP. The result demonstrated that this scheme has short development period, easy implanted, high reliability and characteristics.

**Key words:** PV inverter; RTOS; digital-control; software design

在电力电子领域数字化进程中, 软件系统设计越来越成为系统开发的制约因素。在 UPS、太阳能逆变器等领域, 数字化控制已成为行业标准, 但绝大多数系统都是基于前后台的设计思想, 不但设计开发周期长, 可移植性较差, 维护也很不便, 不利于大规模的开发。因此, 嵌入式系统、实时操作系统被广泛应用于这一领域<sup>[1]</sup>。本文拟运用软件开发理论, 从需求分析入手, 在基于 TI 提供的实时操作系统 BIOS 平台上, 对太阳能逆变器控制系统进行软件开发设计。

### 1 太阳能逆变器的整体控制系统

太阳能逆变器的整体控制系统如图 1 所示,

系统主要包括 DSP 及其外围电路所构成的控制系统、液晶显示电路、接触器、直流交流变换器。该

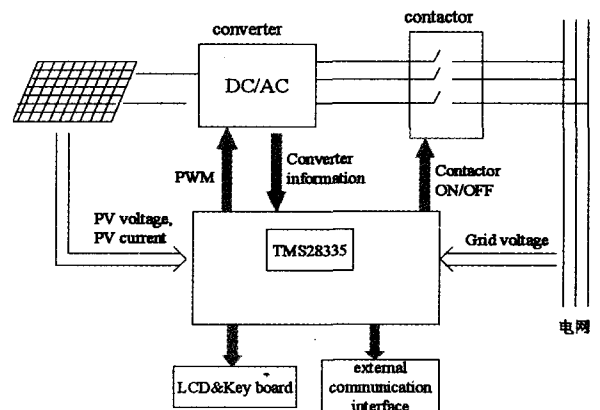


图 1 太阳能逆变器整体控制系统框图

收稿日期: 2010-05-20

作者简介: 周 玲(1983-), 女, 江苏无锡人, 助理实验师, 硕士生, 主要研究方向为计算机技术。

系统的主要任务是在电网正常情况下,尽可能将太阳能电池的直流电压转换为交流电送入电网。该控制器采集电网和电池板的电压、电流信号等,将其转换成 DSP 的输入标准电压 0~3 V。DSP 控制器 TMS320F28335 对采集来的信号进行分析处理,并根据系统的状态发出正确的动作指令,控制系统接触器、开关管、信号指示灯等部件,再通过通讯接口与上位机交换数据,实现远程监控和管理。

核心控制芯片控制器采用 TI 公司推出的业界首款浮点 TMS320F28335 DSP,它具有 150 MHz 的高速处理能力,32 位浮点处理单元,单指令周期 32 位累加运算,可满足应用于更快代码开发与集成高级控制器的浮点处理器性能的要求<sup>[2,3]</sup>。

DSP/BIOS 是 TI 公司特别为其 TMS320C6000 TM、TMS320C5000TM 和 TMS320C28xTM 系列 DSP 平台所设计开发的一个尺寸可裁剪的实时多任务操作系统内核, BIOS 操作系统使得广泛应用于电力电子领域的 C28x 获得了以往 C5000、C6000 系列才有的实时操作系统开发能力。控制器可根据太阳能逆变器各个部件的状态进行实时控制,以达到系统要求。

## 2 软件的需求开发

本控制器的开发遵从 CMMI 软件开发流程,基于瀑布开发模型。整个开发过程分为需求分析、架构设计、详细设计、编码测试、集成测试、系统测试。本文主要讨论需求分析和架构设计。

对需求加以分析产生需求说明,其包括:(1)系统所有要实现的功能;(2)系统的输入、输出;(3)系统的外部接口需求;(4)它的性能以及诸如文件/数据库安全等其他要求。

太阳能逆变器控制系统需实时监测输入的直流电压、电流;电网的电压和频率,输出的交流电流。当太阳能逆变器监测到电池电压大于 450 V,且电网的交流电压有效值大于 200 V AC 而小于 260 V AC 时,合上图 1 中的接触器开始并网发电,将输入的直流电转化为交流电;否则,继续等待输入/输出电压满足条件。针对图 1 的控制系统,具体分析逆变控制器的功能需求如下:

- (1) 控制输出三相电流  $\text{THD} < 3\%$ ;

- (2) 最大功率跟踪;
- (3) 过流、过压保护;
- (4) 计算电网电压、输出功率等;
- (5) 检测绝缘阻抗;
- (6) 控制接触器开合;
- (7) 自动启动;
- (8) 检测输出电流直流分量;
- (9) 在线烧录;
- (10) 锁相功能;
- (11) 与上位机通过 232 通信;
- (12) 实时保存运行数据;
- (13) 与人机接口通信,显示数据;
- (14) 监测漏电流。

在实时系统中,常用状态变迁图来描述系统。在设计状态图时,应对系统运行过程进行详细考虑,尽量在状态图中列出所有系统状态,包括用户无需知道的内部状态,对各种异常情况也应有相应的处理措施。嵌入式系统的软件以状态转换为核心,根据并网型太阳能逆变器的要求,整个系统分为四个状态:准备状态、检查状态、并网状态及故障状态。所谓准备状态是指,太阳能逆变器电池电压小于最低运行电压,且无故障;检查状态是指,太阳能逆变器电池电压大于最低运行电压,无故障,且此时要检查接触器是否正常,对地阻抗是否符合相关标准的要求;并网状态是指,接触器闭合,太阳能逆变器向电网输送能量;故障状态是指,检测到系统硬件损坏等。各状态间的转换关系如图 2。

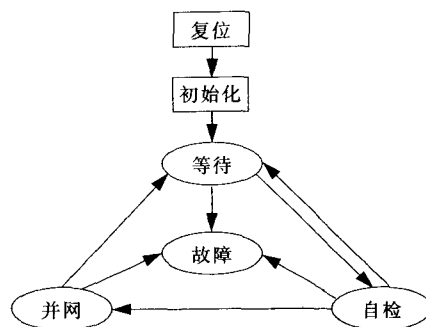


图 2 太阳能逆变器控制器状态图

## 3 基于 TI-BIOS 的架构设计

### 3.1 程序开发步骤

在对需求进行分析,了解了系统所要实现的

功能后,可确定系统开发选用的硬件及软件平台。

对软件平台而言,必须考虑操作系统是否支持实时性及其支持的程度、对多任务的管理能力是否支持前面选中的微处理器、网络功能是否满足系统要求、开发环境是否完善等。为设计方便,选用 TI-BIOS 实时操作系统。

在 dsp/bios 下程序的开发过程为:

- (1) 用配置工具建立应用程序要用到的对象;
- (2) 保存配置文件,同时生成在编译和链接应用程序时所包括的文件;
- (3) 为应用程序编写一个框架,所用语言可以是 C、C++、汇编语言或这些语言的任意组合;
- (4) 在 ccs 环境下编译并链接程序;
- (5) 使用仿真器(或使用硬件平台原型)和 dsp/bios 分析工具来测试应用程序;
- (6) 重复上述步骤直至程序运行正确;
- (7) 在正式产品硬件开发后,修改配置文件以支持产品硬件并测试。

### 3.2 实时操作系统的功能裁减

TI-BIOS 实时操作系统可借助图形化的配置工具很方便地进行裁减。如图 3 所示,新建基于 BIOS 的开发程序、选择开发平台时,可根据需要裁减掉一些功能,以减小代码量。例如,图 3 中的 real-time analysis 和 RTDX 可在调试阶段帮助对程序的执行进行分析,但产品代码中往往不需要这些功能,可裁减掉。配置文件建立后,某些模块也可通过点击右键,进行裁减。如图 4 所示,借助于配置文件,可以很方便地分配程序及数据地址

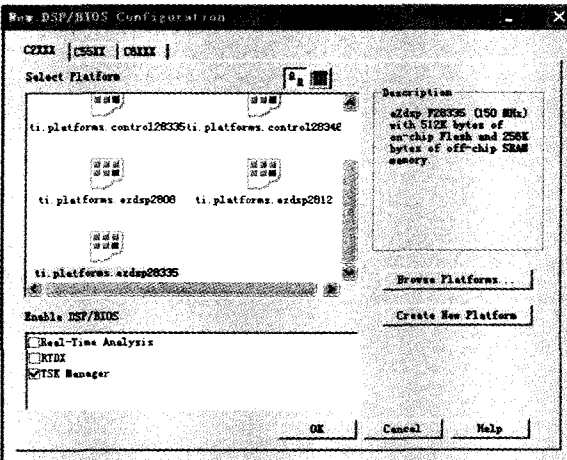


图 3 TI-BIOS 的裁减

空间,如打开硬中断、建立软中断、任务、信号量、更改任务优先级等。

### 3.3 功能程序任务优先级的划分

本文根据需求分析主要设计了以下功能程序:A/D 采样转换程序、有效值计算程序、判断和保护程序,以及状态切换、控制算法、CAN 通信、SCI485 通信的发送和接受等,并将各个功能程序合并区分,创建多个任务。同时,对各个任务根据实际需要赋予不同的优先级,其中 A/D 采样、敏感的判断保护等对实时性的要求较高,应赋予较高的优先权,故用硬中断实现;控制算法必须在一个开关周期内完成计算,对实时性要求也较高,优先级仅次于 A/D 采样,用软中断实现;有效值计算要在一个电网周期内计算完成,用任务来实现,但优先级最高;判断及保护程序只有在有效值计算完成后才能进行判断,所以赋予的优先权次之;状态切换则需要根据判断及保护程序的信息改变系统运行的状态,故优先级再次之;优先级最低的是通信程序。在配置文件中任务优先级的划分如图 4 所示。由于任务划分合理,耦合较少,可实现并行开发。

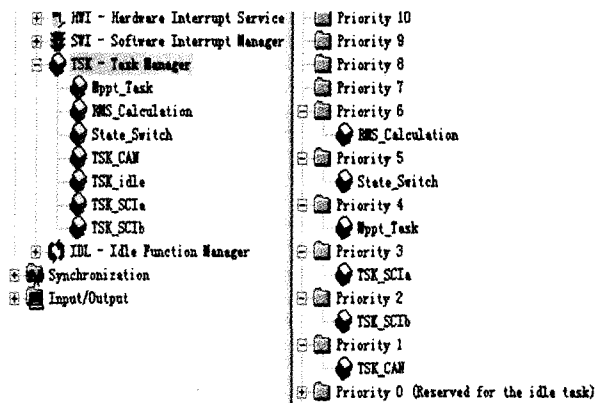


图 4 任务优先级的划分

## 4 实验结果

将设计的嵌入式软件系统应用于 100 kW 太阳能逆变器实验样机上,且在实验室完成了对软硬件系统的调试,实现了并网发电和对输出电流波形的控制、输出功率和能量的测量,并验证了系统的保护功能、上位机和控制器之间的 CAN 及 485 总线通信、液晶屏的显示功能等。

图5为太阳能逆变器的输出三相电流波形,其THD小于3%。实现了对三相输出电流的控制功能需求。图6为当电池电压低于450V时,LCD显示面板的信息。缺省画面显示电网电压、输出电流、功率、当日发电量、累计发电量等;且通过按键可获得系统更多的运行及故障信息。该图表明,设计的太阳能逆变器控制器能

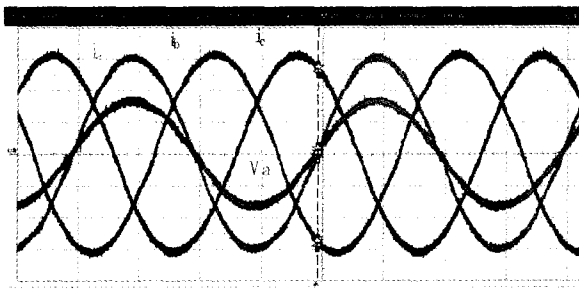


图5 三相并网电流波形

根据输入电压、电网电压的情况判断能否并网发电,既实现了图2中的状态切换,又实现了前述软件功能需求中第(4)、(6)、(7)、(11)等的功能。因此,实验结果表明,基于TI-BIOS实时操作系统设计的嵌入式软件实现了控制、测量、显示和监控等功能,实时性好,指标达到预期要求。

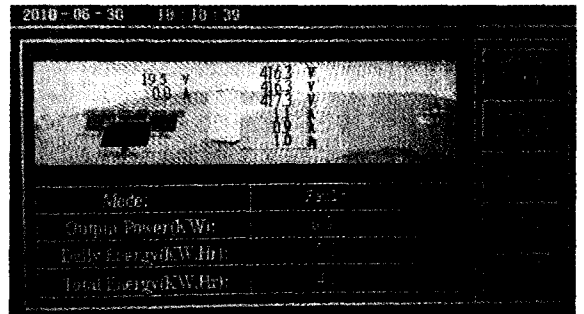


图6 LCD面板信息显示

## 5 结束语

本文研制了一种基于TI-BIOS实时操作系统的太阳能逆变器控制器,实现了对并网太阳能逆变器的控制和监测,不仅实现了基本功能,而且借助BIOS实时操作系统能灵活的改变任务优先级,且各个任务之间耦合较少,程序模块化,提高了DSP的运行效率和控制器的可靠性。适合多人同时进行设计,加快了开发进程,缩短了开发周期,易于后期维护。

## 参考文献:

- [1] 刘峥嵘.嵌入式Linux应用开发详解[M].北京:机械工业出版社,2005:40-42.
- [2] 丁宜栋,华芸.基于DSP\_BIOS的软件系统设计[J].舰船电子工程,2001(5):52-55.
- [3] 刘盛鹏.基于TMS320C64x DSP/BIOS II的嵌入式语音采集与盲分离系统设计[J].电子技术,2004(4):17-19.

责任编辑 谭 华