

CNIC-01912

CAEP-0200

基于 DSP 的零功率装置周期测量仪研究

白忠雄

(中国工程物理研究院核物理与化学研究所, 绵阳, 621900)

摘 要

为提高反应堆周期测量精度和抗干扰能力,以及响应核测控仪表的数字化发展趋势,提出了引入 DSP 技术,采用最小二乘拟合算法求取反应堆周期的方法。设计制作了以 TMS320F2812 为核心的硬件板卡及基于 DSP/BIOS 嵌入式操作系统的软件设计。调试和实验结果表明,基于 TMS320F2812 的反应堆周期测量仪达到了设计的预期目标,具有抗干扰能力强、测量精度高和响应时间快等特点,具有很好的应用前景。

关键词: 反应堆周期 最小二乘拟合 TMS320F2812 DSP/BIOS

**The Research of Period Measuring Instruments
on Zero Power Assembly Based on DSP**
(*In Chinese*)

BAI Zhongxiong

(Institute of Nuclear Physics and Chemistry, CAEP, Mianyang, 621900)

ABSTRACT

In order to improving measure precision and anti-interference capacity, and respond to the digital trend, a new technique to measure reactor period is promoted, which is based on the DSP technique, calculate period with least-squares-fitting method. The systematic design is promoted, in which TMS320F2812 chip is chosen as the Central Processing /Controlling unit and software design is based on DSP/BIOS embedded operating system. Testing of both a simulation of the lab environment and an experiment shows that, as expected, the new TMS320F2812 based reactor period inspection equipment has excellent anti-interference capacity, high precision and fast response time, all of which prove that it has good prospective.

Key words: Reactor period, Reast-squares-fitting, TMS320F2812, DSP/BIOS

引言

反应堆周期是反应堆监测、控制和保护系统中的一个十分重要的参数。周期的大小直接反映堆内中子增减变化速率,所以在反应堆运行中,特别是在启动或功率提升过程中,周期的监测十分重要。周期过小(或引入反应性过大)时,可能导致反应堆失控。为此,在所有的反应堆系统中都需要有专用周期测量装置来对周期进行监测。

传统的专用周期测量仪均采用模拟技术或单片机技术。现某反应堆使用的两套周期测量仪就是以单片机为核心,采用传统的“两点法”原理测量堆功率上升的二倍渐进周期,测量结果取决于采样的两点,容易受信号干扰,尤其在低功率时易受堆内中子数涨落的影响。与数字信号处理器(DSP)相比,模拟电路和数字单片机两者都存在自身的不足。模拟电路设计复杂,抗干扰差,器件易老化且不利于维修;单片机的处理能力有限,特别是在需要处理的数据量大、实时性和精度要求高时,单片机就不再能满足要求;而 DSP 可对输入数据进行高速处理,其运算速度比单片机快一个数量级,特别是 DSP 器件还提供了高度专业化的指令集,提高了数字滤波器的运算速度,使得它在控制器的规则实施、矢量控制和矩阵变换方面具有得天独厚的优势。

基于 DSP 的诸多优点,采用 TI 公司的 TMS320F2812 DSP 作为零功率装置周期在线测量仪的核心处理/控制芯片进行研究,以提高周期测量的抗干扰性和测量精度。

1 测量原理及测量算法

1.1 测量原理

在点堆模型下,反应堆在启动过程中其状态逐步从次临界过渡到临界、超缓发临界,在超缓发临界状态下(即加入一阶跃反应性 $\rho > 0$),等待一段时间后,反应堆内的中子通量密度随时间按指数规律增长,即

$$n(t) = n_0 e^{\frac{t}{T}} \quad (1)$$

式中: n_0 —— $t=0$ 初始时刻的中子密度, $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$;

T ——反应堆渐近周期, s。

而实际测量中不可避免的存在本底和噪声干扰的影响,故应有下式成立:

$$n(t) = n_0 e^{\frac{t}{T}} + B \quad (2)$$

式中: B ——本底和噪声贡献项。

利用电离室测量中子通量密度,其输出电流正比于中子通量密度。故电离室的输出电流再经小电流放大器 I/V 变换和放大后的电压值满足下式:

$$V(t) = V_0 e^{\frac{t}{T}} + D \quad (3)$$

式中: D ——本底和噪声贡献电压。

实践证明,本底和噪声贡献电压 D 的值很小,通常可以忽略不计,即有下式成立:

$$V(t) = V_0 e^{\frac{t}{T}} \quad (4)$$

通过对小电流放大器输出信号的采样,采用最小二乘法对采样的离散数据按式(3)和式(4)进行曲线拟合。一种是采用非线性拟合技术直接对式(3)进行拟合,同时得出 V_0 , T 和 D 三个参数。另一种则是对式(4)两边取自然对数后得到一线性方程,对此线性方程进行线

性拟合,可求得参数 V_0 和 T 。

1.2 测量算法

1.2.1 非线性指数拟合算法

对于给定的 m 个数据点 $(x_i, y_i), i=1, 2, \dots, m$, 用指数曲线 $f(x) = ae^{bx} + c$ 进行拟合。根据最小二乘原理,欲使均方差

$$E = \sum_{i=1}^m (f(x_i) - y_i)^2 = \sum_{i=1}^m (ae^{bx_i} + c - y_i)^2 \quad (5)$$

取极小,必要条件是

$$\frac{\partial E}{\partial a} = \frac{\partial E}{\partial b} = \frac{\partial E}{\partial c} = 0 \quad (6)$$

不难看出,这是一个非线性代数方程组。

采用牛顿迭代法求解。令

$$\begin{aligned} g(a, b, c) &= \frac{\partial E}{\partial a} \\ \varphi(a, b, c) &= \frac{\partial E}{\partial b} \\ \psi(a, b, c) &= \frac{\partial E}{\partial c} \end{aligned} \quad (7)$$

则牛顿迭代公式

$$\begin{aligned} a^{(k+1)} &= a^{(k)} - \frac{1}{J} \begin{vmatrix} g & g_b & g_c \\ \varphi & \varphi_b & \varphi_c \\ \psi & \psi_b & \psi_c \end{vmatrix} \\ b^{(k+1)} &= b^{(k)} - \frac{1}{J} \begin{vmatrix} g_a & g & g_c \\ \varphi_a & \varphi & \varphi_c \\ \psi_a & \psi & \psi_c \end{vmatrix} \\ c^{(k+1)} &= c^{(k)} - \frac{1}{J} \begin{vmatrix} g_a & g_b & g \\ \varphi_a & \varphi_b & \varphi \\ \psi_a & \psi_b & \psi \end{vmatrix} \end{aligned} \quad (8)$$

式中: J ——雅可比矩阵的行列式 $J = \begin{vmatrix} g_a & g_b & g_c \\ \varphi_a & \varphi_b & \varphi_c \\ \psi_a & \psi_b & \psi_c \end{vmatrix} \neq 0$ 。

关于 $a^{(0)}, b^{(0)}, c^{(0)}$ 的选取,是根据拉格朗日(Lagrange)型余项的泰勒公式,将 $f(x) = ae^{bx} + c$ 分别在 $x = x_{n-1}$ 和 $x = x_1$ 两点处展开得到

$$\begin{aligned} a^{(0)} &= \left(\frac{f_n - f_{n-1}}{x_n - x_{n-1}} \right) / bge^{b(x_n + x_{n-1})/2} \\ b^{(0)} &= 2 \ln \left[\frac{(f_n - f_{n-1})(x_2 - x_1)}{(x_n - x_{n-1})(f_2 - f_1)} \right] / (x_n + x_{n-1} - x_1 - x_2) \\ c^{(0)} &= f\left(\frac{x_1 + x_n}{2}\right) - ae^{b(x_1 + x_n)/2} \end{aligned} \quad (9)$$

1.2.2 线性指数拟合

对式(4)两边取自然对数后,有

$$\ln V(t) = \ln V_0 + \frac{1}{T}t \quad (10)$$

则对于给定的一组数据 (t_i, V_i) , $i=1, 2, \dots, m$,对(10)式拟合,其均方误差为:

$$Q\left(\ln V_0, \frac{1}{T}\right) = \sum_{i=1}^m (f(t_i) - \ln V_i)^2 = \sum_{i=1}^m \left(\ln V_0 + \frac{1}{T}t_i - \ln V_i\right)^2 \quad (11)$$

在微积分理论中, $Q(\ln V_0, \frac{1}{T})$ 的极小值要满足

$$\begin{cases} \frac{\partial Q(\ln V_0, 1/T)}{\partial \ln V_0} = 2 \sum_{i=1}^m \left(\ln V_0 + \frac{1}{T}t_i - \ln V_i\right) = 0 \\ \frac{\partial Q(\ln V_0, 1/T)}{\partial (1/T)} = 2 \sum_{i=1}^m \left(\ln V_0 + \frac{1}{T}t_i - \ln V_i\right)t_i = 0 \end{cases} \quad (12)$$

整理得到拟合曲线满足的法方程

$$\begin{pmatrix} m & \sum_{i=1}^m t_i \\ \sum_{i=1}^m t_i & \sum_{i=1}^m t_i^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ln V_0 \\ \frac{1}{T} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^m \ln V_i \\ \sum_{i=1}^m t_i \ln V_i \end{pmatrix} \quad (13)$$

用消元法或克莱姆法则解出方程的解

$$\ln V_0 = \frac{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^m \ln V_i & \sum_{i=1}^m t_i \\ \sum_{i=1}^m t_i \ln V_i & \sum_{i=1}^m t_i^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} m & \sum_{i=1}^m t_i \\ \sum_{i=1}^m t_i & \sum_{i=1}^m t_i^2 \end{vmatrix}}} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} &= \left(\sum_{i=1}^m \ln V_i \sum_{i=1}^m t_i^2 - \sum_{i=1}^m t_i \sum_{i=1}^m t_i \ln V_i \right) / \left(m \sum_{i=1}^m t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m t_i \right)^2 \right) \\ \frac{1}{T} &= \left(m \sum_{i=1}^m t_i \ln V_i - \sum_{i=1}^m t_i \sum_{i=1}^m \ln V_i \right) / \left(m \sum_{i=1}^m t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m t_i \right)^2 \right) \end{aligned} \quad (15)$$

式中: T ——所求反应堆周期;

t_i ——第 i 点采样时刻;

V_i —— t_i 时刻采样值;

m ——采样点数。

由于实际中本底噪声项影响很小可以忽略不计,且采用非线性拟合计算量大,存在着迭代不收敛问题,故本周期测量系统采用线性拟合。

2 测量系统的总体结构

2.1 技术及功能指标要求

2.1.1 技术指标

(1) 周期测量范围 $0 \sim \infty$ s;

(2) 周期测量的相对误差 $< 3\%$;

(3) A/D 转换分辨率:16 位。

2.1.2 功能要求

周期测量仪必须具有以下功能要求:

- (1) 小电流放大器要具有手动和自动换挡功能;
- (2) 既能测量 e 倍周期 T , 又能测量 2 倍周期 T_2 ;
- (3) 存储功能, 通过将有用信息数据进行存储以保存历史数据或做后续处理之用;
- (4) 打印功能, 能打印出测量时的日期、时间及每个周期数据;
- (5) 显示功能, 能够实时显示反应堆周期 T 和反应性 ρ 等参数值及所采样的功率增长曲线。

2.2 测量系统的结构框架

基于 DSP 的零功率装置周期在线测量仪系统的总体结构框图如图 1 所示。

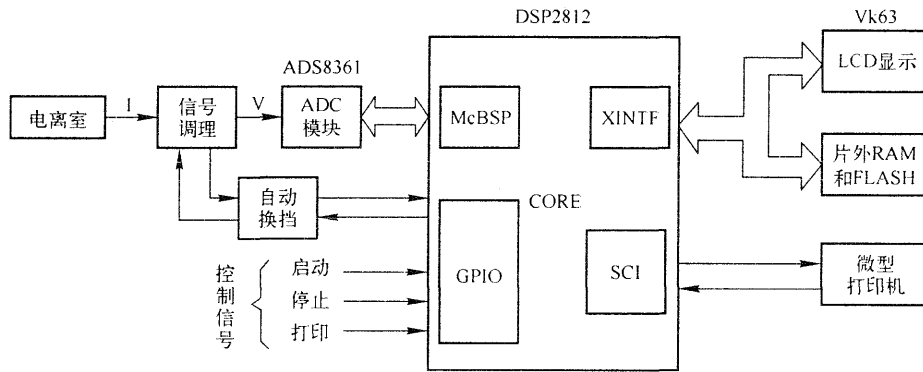


图 1 基于 DSP 的零功率装置周期在线测量系统的总体结构图

其工作原理为:在整个开堆过程中,带 γ 补偿的¹⁰B 电离室把测得中子通量密度(即功率水平)信息转化为相应的微弱电流信号输出,微弱电流信号经小电流放大器 I/V 变换及放大等信号调理后,输出 $0\sim 5\text{ V}$ 的电压信号再送入 16 位高精度 ADS8361 模块进行信号采样。采样结果通过 ADS8361 与 DSP 通讯传入 DSP 内部,在内部经过数字滤波后采用最小二乘算法进行数据拟合处理得出渐进周期或反应性。同时采样信号的曲线和处理结果可以在 LCD 上得到显示,打印机可以打印出测量结果。

3 硬件设计

3.1 控制及处理单元

为满足系统性能要求,控制/处理器必须具有很高的性能。经调研采用 TMS320F2812 作为本测量系统的核心控制/处理芯片。TMS320F2812 是 TI 公司最新推出的 DSP 芯片,是目前国际市场上最先进、功能最强大的 32 位定点 DSP 芯片。它既具有数字信号处理能力,又具有强大的事件管理能力和嵌入式控制功能,特别适用于有大量数据处理的测控场合,如工业自动化控制、电力电子技术应用、智能化仪器仪表及电机、马达伺服控制系统等。

在硬件电路的设计上,外扩了 256K RAM 和 256K FLASH 存储单位以保存采样数据或处理结果。另外,外扩了 USB 口、RS232 串口以及外部接口,便于同外部设备进行通讯。为了在

高频时系统能稳定的工作,PCB的设计必须解决电磁兼容问题。所以设计中按照信号的完整性规则合理布线,采取设置去耦合电容,对 IC 器件无用端通过相应的匹配电阻接电源或接地等措施解决电磁兼容问题,使 PCB 板能够正常稳定的工作。制作的电路板如图 2 所示。

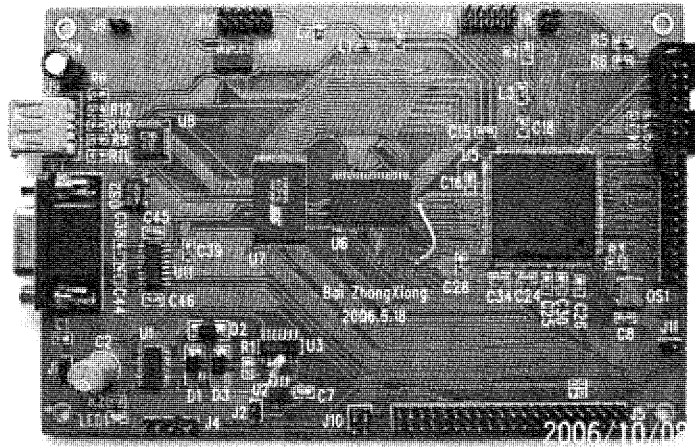


图 2 控制/处理单元电路板

控制/处理单元的主要功能是数据处理和控制整个系统的运行。如与 AD8361 模块通讯获得原始采样数据;采样数据经过数字滤波后,采用最小二乘的曲线拟合算法进行拟合,求出渐进周期或反应性等参数;保存所需数据,并与外部设备通讯以便显示和打印等。启动、停止以及打印等控制信号通过 DSP 的 GPIO 接口实现。

3.2 采样接口电路

TMS320F2812 芯片上有一个 16 通道、12 位精度、单通道最大转换频率为 25 MHz 的 A/D 转换器,在要求不很高时利用片上的 A/D 转换器一般均能满足要求。但考虑到反应堆周期测量系统的重要性,对信号的采样精度和分辨率要求较高,故本系统采样模块选用了外置的 ADC 模块 ADS8361,其与 TMS320F2812 的连接电路如图 3 所示。

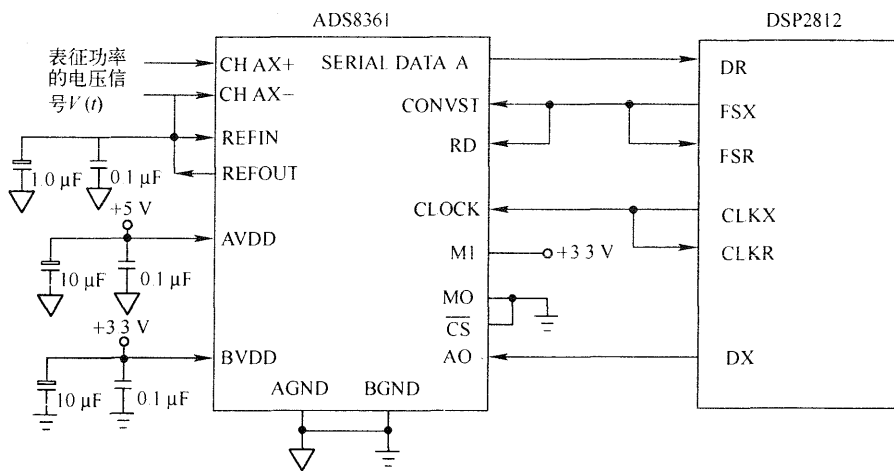


图 3 采样接口电路

TMS320F2812 可通过多通道缓冲串口(McBSP)或串行外围接口(SPI)与 ADS8361 连接。本周期测量系统采用第一种接口形式,即通过 McBSP 与 ADS8361 连接通讯。由于 ADS8361 具有 3.3 V 的数字接口,这使得 ADS8361 可以和 F2812 直接进行无缝连接。ADS8361 的 CLOCK,(RD+CONVST)和 SERIAL DATA A 信号引脚分别与 McBSP 的 CLKX、FSX 和 DR 信号引脚对应相连接。由于只有一个 ADC 模块通过 McBSP 与 F2812 通讯,故 ADS8361 的片选信号/CS 接地,使之一直处于选通状态。M1 接高电平,M0 接低电平,使 ADS8361 只能通过 SERIAL DATA A 输出采样的转换数据。通过设置 F2812 多通道缓冲串口 DX 引脚的高低,可以控制 ADS8361 输入通道选择通道 A0 或通道 A1。另外,通道 AX 的负端 AX-与参考电压 2.5 V 相连接,则 ADS8361 为单端驱动模式,且共模电压为 2.5 V,使得 ADS8361 的模拟输入范围为 0~5 V,也正好与微电流放大器输出的表征功率 0~5 V 电压相吻合。

3.3 显示接口电路

显示电路主要功能是实时动态显示采样曲线和渐进周期或反应性等参数。液晶显示器 LCD 选用 VK63 智能显示模块。其与核心控制处理芯片 TMS320F2812 的连接如图 4 所示。

VK63 智能显示模块具有并行接口和串行接口两种接口方式,便于与各种微机或智能仪器仪表联机使用。考虑本周期测量系统有实时性要求,故采用了并行接口。VK63

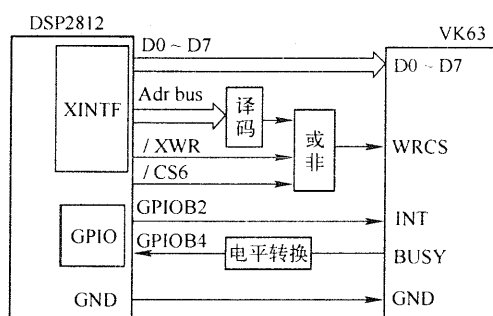


图 4 显示接口电路

外部有 12 条线同 DSP 相连,即 D0,D1,D2,

D3,D4,D5,D6,D7,WRCS,BUSY,INT 和 GND。其中 WRCS 为片选信号和写信号的逻辑或非,上升沿有效。BUSY 信号为高(COMS 电平)表示忙。INT 为中断申请信号低电平有效。但由于 VK63 为 5.0 V 标准的 CMOS 器件,而 TMS320F2812 是 3.3 V 的 CMOS 器件,这使得两者的接口电平不兼容。故需要电平转换电路以实现 5.0 V 到 3.3 V 和 3.3 V 到 5.0 V 的电平转换。

3.4 存储电路

TMS320F2812 片内有 18K×16 位的 SARAM 和 128K×16 位的 Flash 存储器。考虑本测量系统需要记录和保存大量有用数据和信息。故在硬件设计时对 TMS320F2812 进行了片外存储空间的扩展,扩展了 256K 容量的 RAM 和 215K 容量的 Flash 存储器。其电路图如图 5 所示。

RAM 选用 ISSI 公司的高性能芯片 IS61LV25616AL,其占用 F2812 外部存储空间区域 6 地址;FLASH 存储器选用 SST39VF800A 芯片,SST39VF800A 是 SST 公司生产的多用途、高性能、低电压、基于 CMOS 的 FLASH,占用 F2812 外部存储空间区域 2 地址空间。

3.5 打印接口电路

为了便于保存测量数据,以及日后方便对不同数据的比较、分析和处理,设计了打印机接口电路,可以将测量数据打印出来进行分析处理。在本测量系统中是以一定的格式打印出最近所测得的渐近周期和反应性等参数。

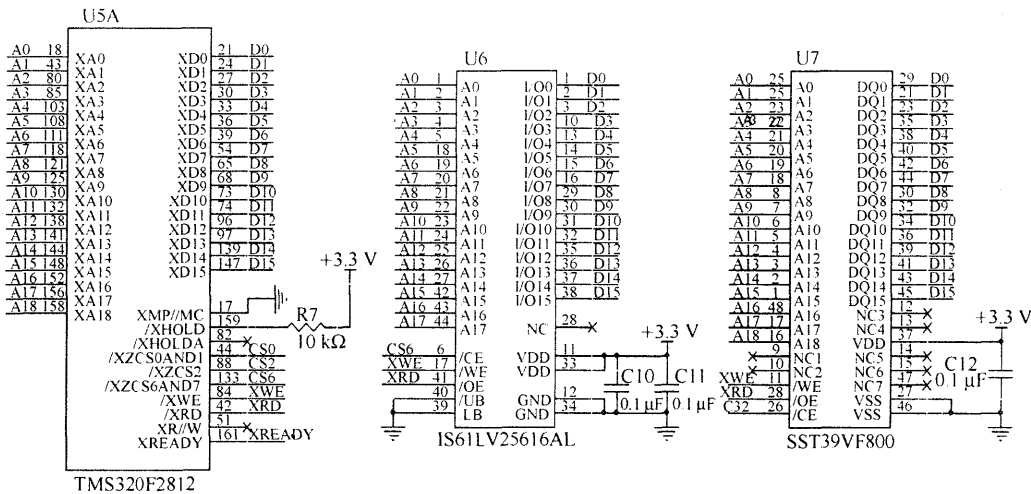


图 5 F2812 外扩存储电路

在打印接口电路中,由于不需要有很快的速度,另外考虑到 F2812 的硬件资源有限。所以在微型打印机与 F2812 的通讯中采用了串行口通讯(SCI),其两者的连接电路图如图 6 所示。

TMS320F2812 与打印机的数据传输为单向,故只使用了串口控制器 B 的发送引脚 SCITXDB,另外,需要检测打印机的工作状态(即 BUSY)。故 TMS320F2812 与打印机的连接比较简单,只用了三根连接线。还需注意的是,TMS320F2812 为 3.3 V 的 CMOS 器件,而 WH 系列打印机为 5.0 V 的 TTL 器件,故在两者的信号传输时要进行电平转换。

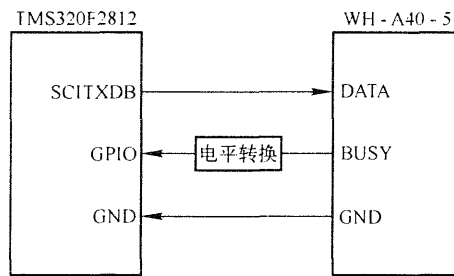


图 6 打印串行接口电路

4 软件设计

4.1 嵌入式操作系统软件设计

整个系统的软件开发主要是借助了 CCS3.1 开发环境中的 DSP/BIOS 工具,采用了模块化的设计思路。基于 DSP/BOIS 操作系统的软件总流程如图 7 所示。

系统上电或复位后,应用程序从默认进入点_c_int00 开始运行,首先完成系统的初始化,包括 DSP/BIOS 配置中指定的各个寄存器的设置以及 PLL 倍频时钟的设置等,然后调用用户的 main() 函数,main() 函数里主要是对一些相关外设的初始化,如 McBSP 模块、SCI 模块和 XINTF 寄存器等。在 main() 函数结束返

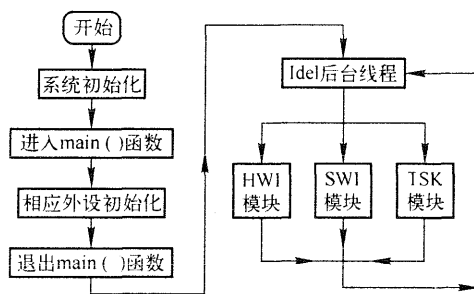


图 7 基于 DSP/BOIS 操作系统的软件总流程图

回后,调用 BIOS_start,开始按优先级检测并执行硬件中断服务子程序、软件中断以及任务,当前面所有线程都没有执行时,开始进入 IDL_F_loop 循环,执行后台的 IDL 线程。

线程可以根据应用程序的功能模块来创建,本周期测量系统的软件功能模块图如图 8 所示。将每一个模块构成一个线程,并按照其对实时性的要求分别创建为 HWI、SWI 或 TSK 线程,再对同一模块线程设置不同的优先级。

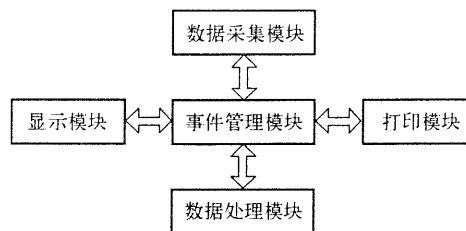


图 8 软件功能模块框图

本周期测量系统主要有以下几个线程模块：

- (1) 4 个硬件中断线程(HWI):McBSP 接收中断,打印中断,开始按钮中断和停止按钮中断;
- (2) 4 个软件中断线程(SWI):数据处理模块,显示曲线,显示参数和数据存储线程;
- (3) 1 个任务线程(TSK):打印线程。

其中,McBSP 接收中断即为数据采集模块,其服务子程序中主要实现将采样结果数据读入 DSP 数据存储区,并开启显示曲线线程(LcdCurve_SWI),另外,在采集数据个数满足条件时开启数据处理线程(Processing_SWI);在开始按钮中断服务子程序中主要是设置 McBSP 的同步帧信号 FSR,使模数转换器 ADS831 开始采样,而停止按钮中断服务子程序则与之相反,是使其停止采样;打印中断服务子程序中主要是动态的创建打印任务线程(Print_TSK);Processing_SWI 中断服务子程序主要是数据处理,应用最小二乘指数拟合算法求出反应堆周期,并开启参数显示线程(LcdParameter_SWI);数据存储线程(Store_SWI)主要是把有用数据存入 FLASH 存储器;Print_TSK 应用程序主要是与打印机通信,打印出测量结果。

下面就数据采集、数据处理、相关信息的显示以及打印等几个主要线程作详细介绍。

4.2 采集数据模块程序设计

McBSP 的同步帧信号和接收时钟信号 CLKR 分别作为 ADS8361 的转换开始信号 CONVST 和时钟信号 CLOCK,ADS8361 工作在模式 II 下,其串行数据输出格式为 20 位(最高两位为通道选择位,最低两位为零,D2~D17 为 16 位精度的采样值)。需在主程序 main()函数里的外设初始化部分,对 McBSP 的采样率产生器寄存器(SRGR1 和 SRGR2)、接收控制寄存器(RCR1 和 RCR2)等作相应的设置。

数据采集模块的中断服务子程序流程图如图 9 所示。由于小电流放大器采用的是线性放大,存在着挡位转换,而在挡位转换时,对放大器输出信号有干扰,故对采样的数据进行拟合时采取去掉换挡前后的一段数据,取中间比较平滑的数据进行拟合,以减小干扰的影响。当产生 McBSP 接收中断时进入相应的中断服务子程序。首先对采样值进行读取,并开启曲线显示线程在 LCD 上显示出该点。接着判断取拟合数据,当采样的拟合数据个数达到设置值时,开启数据处理线程以便进行数据拟合求出反应堆周期参数。最后当采样的数据个数达到设定值时开启数据存储线程把数据存入 FLASH,否则退出中断。

4.3 数据处理程序设计

数据处理程序是对采样的数据进行数字滤波处理,并采用一些算法以求出反应堆周期和反应性等参数,本文的测量算法为前面介绍的最小二乘线性指数拟合法。

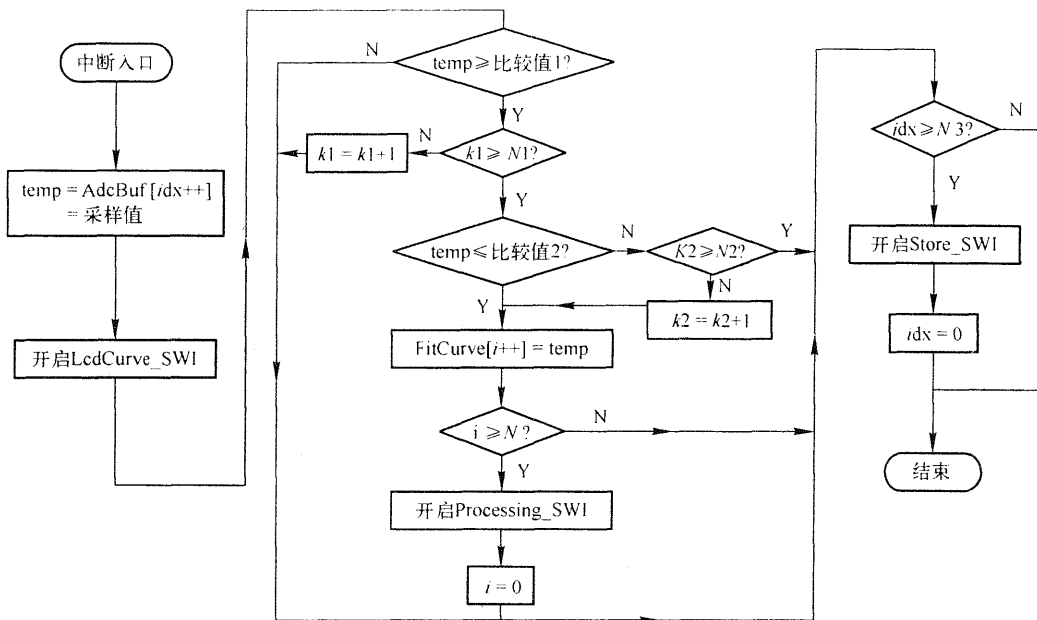


图9 数据采样模块的中断服务子程序流程图

另外,由于在低功率时,反应堆内中子数涨落现象的影响比较大,故在低挡位(也即低功率)时对采样数据序列进行了 FIR 数字滤波处理,滤波后再进行拟合运算,而在高功率时则直接进入数据拟合。其数据处理软中断服务子程序流程如图 10 所示。

4.4 显示程序设计

本课题显示器为 VK63 智能型液晶显示模块,由于具有一定实时性的要求,故采用了总线接口方式同 TMS320F2812 通信进行数据传输,事实证明采用总线方式比串口方式其传输速度快数十倍。VK63 显示模块的访问地址占用 TMS320F2812 外部存储空间地址 0x170000。要使快速的 DSP 处理控制器与慢速的液晶显示模块协调正常的工作,除了有一定的硬件支持外,最重要的是满足 VK63 总线传输时序。下面给出 VK63 同主机进行总线通讯正常工作所必须满足的时序图,如图 11 所示。

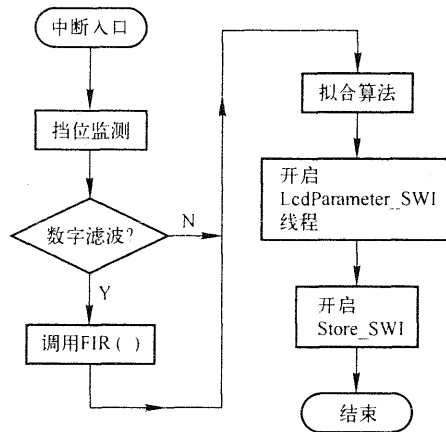


图10 数据处理软中断服务子程序流程图

图中 TW 为 URCS 信号的脉冲宽度,TSU 为数据建立时时间,TH 为数据保持时间,T 为 WRCS 有效后 INT 需保持高电平时间,TI 为 INT 需保持低电平时间。参数要求如下: TW 不小于 16 ns;TSU 不小于 12 ns;T 大于 0 ns;TH 不小于 5 ns;TI 不小于 2 μs。

周期测量仪显示程序主要有两个显示函数 LcdCurve() 和 LcdParameter()。LcdCurve()为图形显示函数,它的功能是每采样一个数据就在液晶屏动态的显示出反应堆功率增长的指数曲线图。而 LcdParameter()为字符显示函数,数据处理函数每处理一次将

调用该函数以便将处理的结果显示出来。显示程序的流程图如图 12 所示。

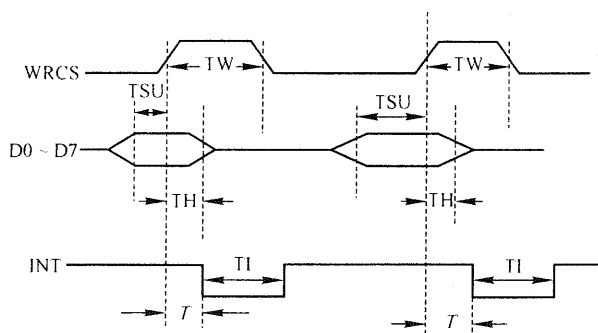


图 11 VK63 总线时序图

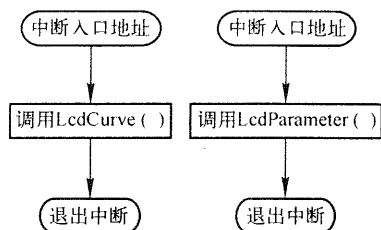


图 12 显示软中断服务程序流程图

4.5 打印程序设计

因打印没有实时性要求,故在硬件设计时采用了串行接口方式与 TMS320F2812 相连。打印程序较为简单,其流程图如图 13 所示。

通过在主程序中初始化 SCI 的相关寄存器使 TMS320F2812 的串行接口 SCIA 工作在 9600 的波特率下,而打印机的波特率可以通过随机提供的软件设置为 9600,从而使两者的通讯同步。

5 调试与测试

5.1 调试

调试包括硬件调试、软件调试和系统联调。

在硬件调试中出现了线路错误问题。主要是有两根线接错,导致硬件板卡不能正常工作。一根是微处理控制芯片 TMS320F2812 的 XMP/MC 引脚本该接低电平而误接了高电平,使 TMS320F2812 的工作方式改变了;另一根是将手动复位电路中 SP708R 芯片的 RESET 和 /RESET 引脚搞错,将 /RESET 引脚与 TMS320F2812 的复位引脚 /XRS 相连,使得加电后, TMS320F2812 一直处于复位状态。究其原因,都是由于在画电路图后校核不仔细所致。

本周期测量系统的软件及系统联调中,主要问题出在 LCD 显示上。用了很多时间,经过反复的修改调试,最终使液晶显示模块 VK63 同微处理控制器 TMS320F2812 能够稳定、协调的正常工作。究其原因,主要是快速的 DSP 与慢速的 LCD 显示模块之间通讯的时序上。通过更换硬件电路中的逻辑门电路芯片,使其芯片的延迟时间满足要求;更重要的是经过反复的设置和修改 TMS320F2812 外部接口(XINTF)的相关寄存器的值以及 CPU 时钟,以更改 XINTF 区域 6 存储空间的读写访问建立、激活和跟踪时间,使得其满足 TMS320F2812 与 VK63 之间通讯的时序要求。

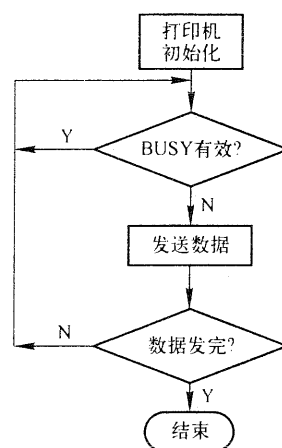


图 13 打印程序流程图

5.2 测试

在实验室里通过信号源 2400 型微安电流表产生 10^{-9} A 级标准指数电流信号,并在电流信号上叠加 $\pm 5\%$ 的噪声信号后送入周期测量仪的输入端进行信号调理并采样。采样时间间隔 $V_i = 0.01$ s,采样数据个数 128 个。则周期测量仪的处理结果如图 14 所示。

测得值与真实值的比较如表 1 所示。

表 1 模拟渐进周期测量结果

条件拟合函数		标准指数信号	DSP
$y = ae^{\frac{x}{b}}$	a	1.9	1.888 8
	b	1.6	1.583 8
相对误差	a	—	0.59%
	b	—	1.62%

从表 1 结果看,表征周期的参数 b 的拟合结果与真实值相比,其相对误差为 1.62%,小于 3% 精度要求。表明周期测量的软件算法是可行的。

另外,对在某反应堆上所做实验时采集的真实数据进行了拟合,真实数据和拟合结果分别如表 2 和图 15 所示。这里的采样时间间隔还是 $V_i = 0.01$ s,采样数据的个数为 180。

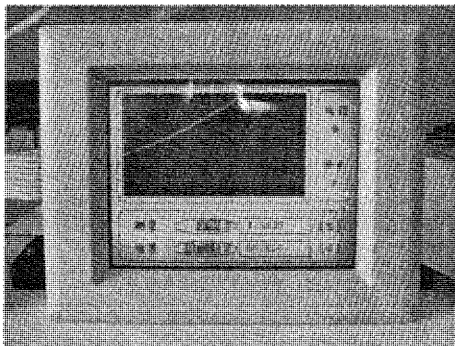


图 14 模拟数据测量结果图

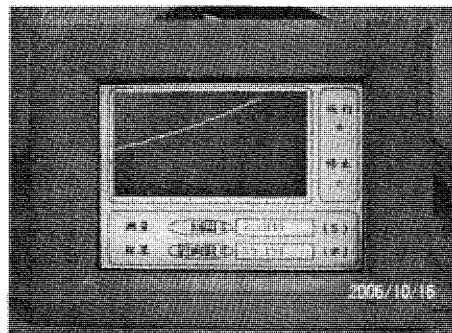


图 15 真实数据测量结果图

测量结果与某反应堆上现在使用的周期测量仪所测的结果比较如表 2 所示。

表 2 某反应堆实验渐进周期测量结果

项目	某堆周期测量仪	DSP	单位
反应堆周期	2.381 7	2.284 4	s
反应性	58.450	59.194	

结果表明,本文所研究采用 DSP 技术,用最小二乘指数拟合算法来求取反应堆周期或反应性等参数的方法是可行的。就算法而言,最小二乘拟合算法比“两点”法的测量精度高,且有一定抗干扰能力。但整个系统的测量精度和抗干扰能力是否提高还需进行大量的对比

实验加以验证。

6 结 论

本文分析反应堆周期的物理特性,确定了反应堆周期的测量算法,制定了总体方案,并做了硬件设计制作、软件调试、模拟联合调试。通过上述研究工作可得出如下结论:

(1) 在反应堆周期测量领域首次引入了 DSP 技术,为今后 DSP 技术在反应堆上的应用研究储备了技术资料和经验。

(2) 周期的测量算法即最小二乘曲线拟合的算法是合理的,克服了“两点法”易受干扰的影响,提高了测量精度。

(3) 设计的基于 TMS320F2812 芯片的处理控制板卡性能良好,可以稳定的工作在 100 MHz 以上。

(4) 采用 DSP/BIOS 完成系统的软件设计,提高了软件系统的可靠性。

由于时间和条件的限制,本研究还处于功能样机的研制阶段,今后在以下几个方面有待进一步深入地开展工作的:

(1) 由于人机界面硬件部分只使用了液晶显示器、打印机和几个控制按钮,比较简单粗略,有待改进,如使用智能键盘或鼠标等,会使得操作更简单方便。

(2) 小电流放大器是沿用以前周期测量仪的。虽然对小电流放大器也作了大量的研究工作,但没有赋予实践。今后需在小电流放大器的设计方面作更进一步的研究,做出满足性能要求的小电流放大器。