

# DSP 与 LabWindows/CVI 的电力故障监测录波器设计\*

刘景鹏,王大志,李俊,孙化龙

(东北大学, 沈阳 110004)

**摘要:** 针对现有电网实时监测录波系统的缺陷,设计出一种结合 DSP 与 LabWindows/CVI 软件的故障录波器。分析了 FFT 精确快速分析谐波的能力及其在 DSP 上的实现方法。介绍了硬件结构原理,给出硬件设计框图和 LabWindows/CVI 控制的软件流程,并研制出故障录波器。所测结果可通过 LabWindows/CVI 软件在电脑上实时显示。实验结果验证了 DSP 运用 FFT 分析算法的快速性和准确性,系统运行稳定可靠,有较好的应用前景。

**关键词:** 电力故障监测录波; TMS320F28335; LabWindows/CVI; AD7656; FFT; C8051F005

中图分类号: TP216.3

文献标识码: A

## Power System Fault Monitor and Recorder Based on DSP and LabWindows/CVI

Liu Jingpeng, Wang Dazhi, Li Jun, Sun Hualong

(Northeastern University, Shenyang 110004, China)

**Abstract:** For the defects of power system fault monitor and recorder, a real-time power system fault monitor and recorder is designed. The system combines high-speed computing power of DSP with LabWindows/CVI software control. Precise and rapid analysis of harmonics of FFT and its usage in DSP are analyzed. The principle of the hardware structure, hardware design block diagram and LabWindows/CVI software control flow chart are introduced. Experimental results can be displayed on computer monitor through LabWindows/CVI software, and proves the combination of DSP and FFT analysis successful. This system is stable, showing a great prospect.

**Key words:** power system fault monitor and recorder; TMS320F28335; LabWindows/CVI; AD7656; FFT; C8051F005

### 引言

故障录波器是提高电力系统安全运行的重要自动装置,当电力系统发生故障或振荡时,能自动记录故障点前后一定时间内各种电气量的变化。参考文献[1]设计的故障录波器采用虚拟软件与数据采集卡相结合的方法,其缺点是必须依靠计算机来进行计算分析,设备移动不方便,而且数据采集卡的价格也比较高,使得产品应用有一定的局限性。参考文献[2]设计的是一种基于 DSP 和 A/D 转换器件相结合的故障录波器,所用的 A/D 转换器件不能同步转换 6 路信号,所测结果之间有一定的延迟。针对以上缺点,现采用 DSP 和 AD7656 相结合的方法,通过外接 LCD 显示波形和数据,使其可以作为手持设备使用,也可连接电脑通过 LabWindows/CVI 软件在电脑上实时显示,所用的 AD7656 具有的 6 路同步采样特性克服了测量结果之间有延迟的缺点,提高了测量精度。

### 1 运行原理及相关算法

综合了此前所提出的各种性能指标,故障录波器采用

硬件与软件相结合的设计方法,高速数据采集装置以 DSP - TMS320F28335 为核心,利用 TBC - LXH 双环系列闭环霍尔电流传感器和 CHV - 25P 霍尔电压传感器对信号进行采集,并采用高性能的 AD7656 完成对信号的 A/D 转换,利用 LCD 进行波形显示并利用 LabWindows/CVI 软件进行控制。本装置加 LCD 主要是考虑到可以在没有电脑的情况下显示电压电流波形,方便操作。

此装置由 3 部分组成:检测部分、计算部分、上位机控制部分。系统框图如图 1 所示。系统运行情况如下:首先电网的各项电压电流通过滤波器滤去高频干扰和低频漂移信号,之后由检测部分

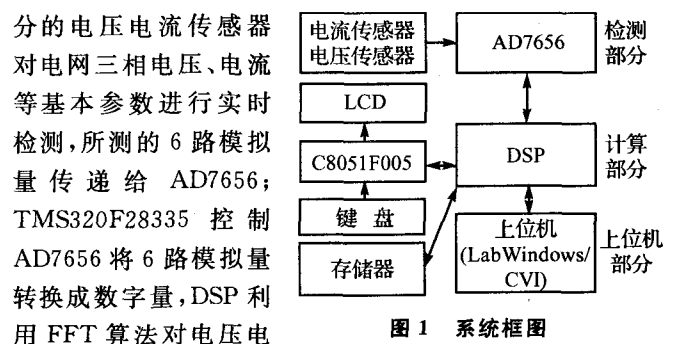


图 1 系统框图

\* 基金资助项目: 国家 211 项目(28110514)。

流的数字量进行分析,提取出基波和各次谐波分量,并算出有功功率、无功功率和 THD 值,再传递给 C8051F005 单片机和终端计算机;外接于单片机的键盘控制 LCD 显示波形,计算机利用 LabWindows/CVI 软件进行波形数据的显示、存储和打印等。

本谐波分析方法采用快速傅立叶变换(FFT)。其在 DSP 的实现方法利用创建 FFT 的库函数进行运算,具体的实现方法在软件部分详细介绍。

## 2 系统硬件设计

本装置核心采用 TMS320F28335 和 AD7656 器件,采集来的信号经过 DSP 运算能通过 RS-485 串口与计算机通信。

### 2.1 TMS320F28335 及外围电路

#### 2.1.1 复位电路设计

TMS320F28335 的复位电路采用上电复位电路,由电源器件给出复位信号。一旦电源上电,系统便处于复位状态,当 XRS 为低电平时,DSP 复位。为使 DSP 初始化正确,应保证 XRS 为低电平并至少保持 3 个 CLKOUT 周期。同时,上电后,该系统的晶体振荡器一般需要 100~200 ms 的稳定期。所选的电源器件 TPS73HD301 一旦加电,其输出电压紧随输入电压,当输出电压达到启动 RESET 的最小电压时(温度为 25 °C 时,其电压为 1.5 V),引脚 RESET 输出低电平,并且至少保持 200 ms,从而满足复位要求。

#### 2.1.2 时钟电路设计

向 DSP 提供时钟一般有 2 种方法:一种是利用 DSP 内部所提供的晶体振荡器电路,即在 DSP 的 X1 和 X2 引脚之间连接一晶体来启动内部振荡器;另一种方法是将外部时钟源直接输入 X2/CLKIN 引脚,X1 悬空,采用已封装晶体振荡器。鉴于从资源利用和电路设计的简单性考虑,该最小应用系统的时钟电路采用 TMS320F28335 内部晶体振荡器,具体电路如图 2 所示。外部晶振的工作频率为 30 MHz,TMS320F28335 内部具有一个可编程的锁相环,用户可根据所需系统时钟频率对其编程设置。

#### 2.1.3 供电电路设计

DSP 的供电要求为其内核和 I/O 分别进行供电,现采用电源器件 TPS73HD301 为 DSP 供电,内核供电电压为 1.9 V,I/O 口供电电压为 3.3 V。

### 2.2 AD7656 及外围电路

AD7656 的电源设计中,AV<sub>cc</sub> 和 DV<sub>cc</sub> 是 AD7656 的模拟电压输入端和数字电压输入端。AD7656 作为 6 通道独立的同步采样数据转换器,在转换过程中需要足够的电能,所以 AV<sub>cc</sub> 的去耦在设计中就显得十分重要。在实际电路设计中,可以单独提供 +15 V(或 +12 V)电压给

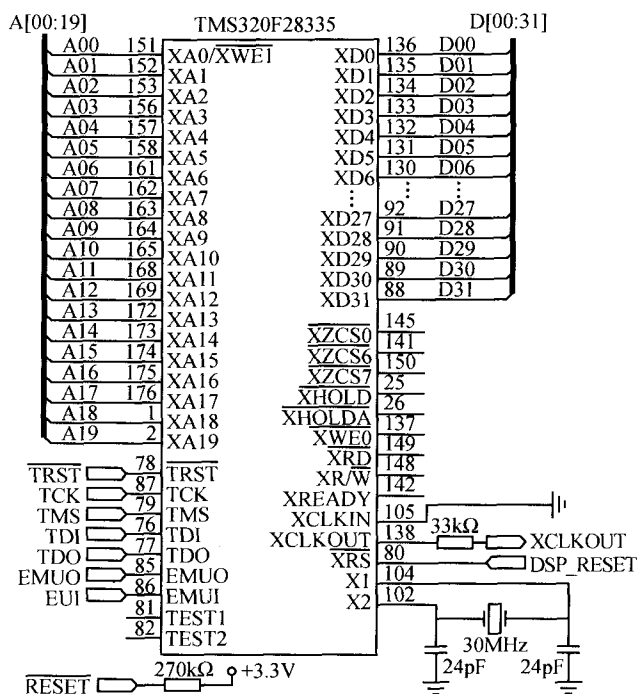


图 2 DSP 外围电路

V<sub>dd</sub> 和 V<sub>ss</sub> 电源输入端,同时提供 +5 V 给 AV<sub>cc</sub> 模拟电压端。通过滤波器(小电阻或磁珠)把 AV<sub>cc</sub> 连接到 DV<sub>cc</sub>。然后再通过滤波器供给系统 +5 V 电源。AD7656 的 RANGE 接地,输入电压范围为基准电压的 4 倍。H/S 引脚和 SER/ PAR 都接地,用以开启硬件控制转换输入模式,由 CONVSTA/B/C 引脚控制采样。其中的 REFCAP\_A、REFCAP\_B 和 REFCAP\_C 全部接地,用以控制输入全部成对转换。

### 2.3 系统整体硬件设计

#### 2.3.1 AD7656 与检测部分的连接

检测部分的传感器采用 TBC-LXH 双环系列闭环霍尔电流传感器和 CHV-25P 霍尔电压传感器。电流传感器的额定测量范围为 0~150 A,反应时间小于 20 μs,温度漂移小;电压传感器测量范围为 0~500 V,反应时间小于 10 μs,线性度好。因为输入的电压电流存在高次谐波和噪声信号,所以需要前置的滤波装置进行抗混叠滤波,而且为了满足 AD7656 的 16 位精度的要求,前端要选用高精度并且可以处理 10 V 双极信号的运算放大器作信号处理和滤波。此运算放大器选用 AD8022,如图 3 所示。IN1 为初始模拟信号的输入端,经过 AD8022 之后传递给 AD7656,其中三相电压电流都与此连接方式相同。

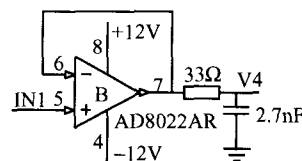


图 3 AD8022 外部连接图

### 2.3.2 DSP 与 AD7656 的

AD7656 与 DSP 的连接如图 4 所示。DSP 的 ADCINA 和 ADCINB 复用为 I/O 口,与 AD7656 的 D0~D15 数据口相连,用于数据的传输。DSP 的 GPIOB59 与 AD7656 的 BUSY 相连,用来检测 AD7656 是否处于转换状态。DSP 的 GPIOB60 与 AD7656 的 CONVST 相连,GPIOB62 与 AD7656 的片选端口相连,用以控制 AD7656 的启动与停止。GPIOB61 与 AD7656 的读写端口相连,用来控制读取 AD7656 转换后的数据。GPIOB63 与 AD7656 的 RST 端口相连用来控制 AD7656 的复位。ISSI61LV6416 是片外随机存储器。

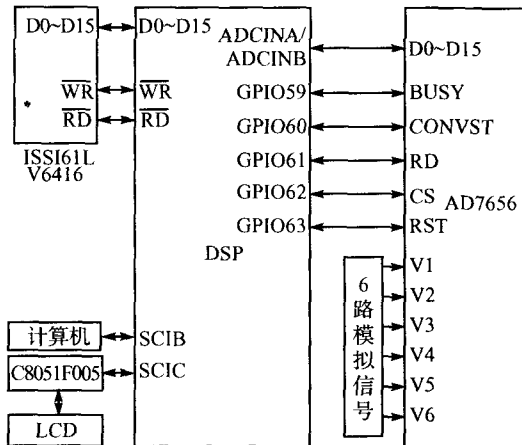


图 4 AD7656 与 DSP 连接图

### 2.3.3 DSP 与单片机和计算机的连接

DSP 的 SCIB 与计算机进行串口通信。因为 RS-232 的抗干扰能力较弱,所以选择 RS-485 作为通信串口,再通过转换芯片转换为与计算机适合的电平。DSP 的 SCIC 串口与 F005 单片机 P0.0 和 P0.1 口相连。其传输的波特率设置为 9 600 b/s。

### 2.3.4 DSP 与外扩存储器的连接

扩展的数据存储器选用了超捷(SST)公司的 SST25VF040。SST25VF040 是公司的 SPI 接口的串行闪存,它是一块低功耗 Flash,存储容量为 4 MB,工作在 2.7~3.6 V 的电压下,因此可以直接和 DSP 相连。其连接图如图 5 所示。DSP 的 SPIA 口的接收和发送端与其 SI 和 SO 口相连,用来进行数据的传输。GPIO26 和 GPIO27 分别用来对存储器的片选和读写进行控制。

### 2.3.5 C8051F005 与 LCD 和键盘的连接

为了使故障录波器能够方便移动使用,采用了新华龙公司 F005 单片机外接 LCD 和键盘来控制的方法,可以脱离电脑通过外接键盘来控制故障录波器的运行。F005 的 P1.0~P1.7 外接键盘的 8 个键位 K1~K8,其可以控制 6 种波形的显示,设置故障记录的上下限值等。LCD 采用 240128E 型号的液晶,F005 的 P2.0~P2.7 接 LCD 的 DB0~DB7 用于数据的传输,P3.0 和 P3.1 接 LCD 的读写口。

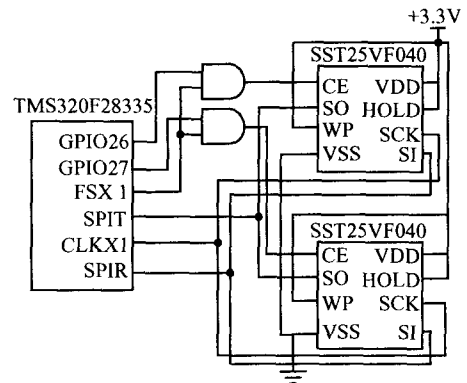


图 5 外扩存储器连接图

## 3 系统软件设计

软件设计包括 LabWindows/CVI 软件程序和 DSP 控制 A/D 转换程序,以及利用 FFT 变换提取出基波分量和各次谐波分量的程序。

### 3.1 整体流程

下面以流程图方式进行软件设计的说明。如图 6 所示,通过控制界面串口的设置完成串口设置,设置成功系统开始运行。

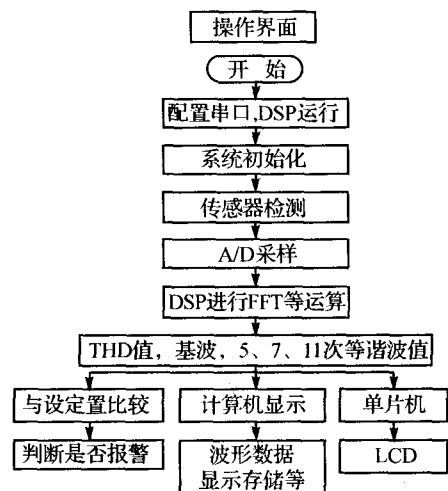


图 6 整体流程

如图 7 所示,界面上有故障自动记录时间选择按钮,如果设置 2 s,则存储故障前后共 4 s 的波形。通过波形选择按钮可选择要显示的波形,选择 A 相电流,则可显示出其波形和各次谐波数据等(如果未接计算机,可以依靠外接键盘来设置其相关值)。DSP 开始运行时,进行系统初始化,传感器开始检测电压电流,检测到的模拟信号由 A/D 转换为 16 位的数字信号,由 DSP 进行 FFT 运算分析出各次谐波分量,并计算出 THD 值。所计算出的基波最大值与所设置的标准值进行比较,当大于或小于设定值时,触发报警装置。之后所测数据由串口传送到计算机的控

制界面和单片机,控制界面显示出所测波形和数据,可保存故障波形和数据。单片机控制 LCD 进行显示,图 7 中的实验结果为 A 相电流波形,显示出 A 相电流的基波和各次谐波值,并算出 THD 值等。

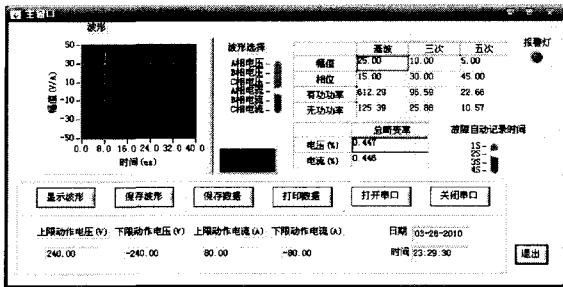


图 7 实验波形

### 3.2 LabWindows/CVI 部分程序

当系统运行时,首先配置串口,向串口发送要显示的某相电流或电压,DSP 会根据指令要求传输给计算机。软件界面会显示波形和其有效值,并可根据情况进行存储打印等。下面部分函数:

```
OpenComConfig (comport, devicename, baudrate, parity, dat-
abits, stopbits, inputq, outputq) //设置和打开串行口
CloseCom (comport) //关闭串口
ComWrt (comport, senddatas, strlen(senddatas))//向串口写信息
ComRd (comport, in_data, inqlen1) //从串口读信息
DeleteGraphPlot (panelHandle, PANEL_GRAPH, -1, VAL_
IMMEDIATE_DRAW)
//删除图表控件中所有图线,并立即更新图表控件
PlotY (panelHandle, PANEL_GRAPH, yValue, 100, VAL_
DOUBLE, VAL_THIN_LINE, VAL_EMPTY_SQUARE, VAL_
SOLID, 1, VAL_RED) //在图表控件中绘制波形
```

### 3.3 实现 FFT 变换和计算 THD 值等

DSP 能够进行浮点运算,其定标能够实现数值的精确计算。定标简单来说就是把一个小数换算成整数,然后进行运算,这样使得运算误差变小。例如,一个小数为 1.123 456 789,后面还可以有好几位小数。如果直接计算的话,运算中会舍去小数点后的部分数值,使得误差变大。如果利用定标运算,可以把 1.123 456 789 变为整数  $1.123 456 789 \times 2^{25}$  (选择 Q25 定标)后进行运算,这样使得计算的结果误差比原来小。这是 DSP 运算的一大优点,而且其运算速度快,利用 FFT 运算时,采样谐波频率可以达到 31 次之多。

DSP 初始化程序:

```
InitSystem(); //初始化 DSP 内核寄存器
IOinit(); //I/O 初始化
Scia_init(); //串口初始化
RestAD(); //AD 控制
CloseAD(); //关闭 AD
EVA_timer1(); //采用事件进行管理
```

```
InitPieCtrl(); //中断初始化
```

```
InitPieVectTable();
```

FFT 运算子程序:

```
fft.ipcbptr=ipcb;
```

```
//FFT 运算缓冲区数组首地址赋予 ipcbptr 指针
```

```
fft.magptr=mag; //幅值平方数组首地址赋予 magptr 指针
```

```
fft.init(&fft);
```

```
RFFT32_brev(ipcb,ipcb,N);
```

```
fft.calc(&fft); //FFT 计算
```

```
fft.split(&fft);
```

```
fft.mag(&fft); //幅值平方运算
```

谐波幅值计算:

```
temp=_IQmpyI32(_IQ(0.015625),mag[j]);
```

```
//2×mag[j]/128,计算出谐波幅值(在计算中选择 32 定标
//进行运算以达到精确计算,之后再行返定标,转换为实
//际值传输给计算机和单片机)
```

```
temp1=_IQmpy(temp,temp); //计算幅值平方
```

```
temp1=temp1+temp2; //计算谐波幅值平方和
```

```
temp2=temp1;
```

```
THD1=_IQdiv(temp1,temp2); //计算 THD,百分比格式
```

可以通过控制界面发送要显示的某相电压或电流的指令信号,也可以通过键盘来发送要显示的信号波形。DSP 通过判断接收中断标志位和指令信号,来触发 A/D 转换,中断指令如下:

```
PieVectTable.RXBINT=&scireceive_isr1;
```

```
//接收中断地址初始化
```

```
PieVectTable.RXCINT=&scireceive_isr2;
```

```
OpenAD();
```

```
//打开 A/D 进行转换
```

### 参考文献

- [1] 陈继明. 基于 LabWindows/CVI 的电力系统故障录波器的开发[J]. 仪表技术与传感器, 2004, (4).
- [2] 应崇福. 基于 DSP 的故障录波器设计[J]. 自动化技术与应用, 2008, 27(6): 76-78.
- [3] 孔新. 在故障分析系统中前置故障录波装置的研制[D]. 西安: 西安交通大学, 1997: 5-6.
- [4] 孙晓云, 郭立炜, 孙会琴. 基于 LabWindows/CVI 的虚拟仪器设计与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 31-151.
- [5] 陆廷信. 供电系统中的谐波分析测量与控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.
- [6] 陈浩. 隔离器件在工业现场的应用[J]. 仪器仪表与应用, 2005(4): 68-39.
- [7] 骆健, 丁网林. 国内外故障录波器的比较[J]. 电力自动化设备, 2001(27).
- [8] 朱维钧, 周有庆, 王优化. AD7656 及其在电力系统测控中的应用[J]. 电工材料, 2007(2).

刘景鹏(硕士生)、王大志(教授)、李俊(博士生), 主要研究领域为电力电子与电力传动。

(收稿日期: 2010-04-06)