

Software Design of Power Transformer Parameters' Measurement and Analysis System Based on DSP

Meng Li, Yimei Chen

School of Electrical Engineering and Automation, Tianjin Polytech University, Tianjin, China

Email: lim0610@163.com

Abstract: Introduced a software design of a system based on DSP which can measure and analyse the parameters of power transformer. The software system is designed based on TMS320F2812DSP from Texas Instruments company. It can measure and calculate a variety of power parameters of power transformers, and do a harmonics analysis of signals. With the DSP hardware's help, we can fully use the rich resources of DSP and its computing power to design a faster, more accurate and more real-time system.

Keywords: power transformers; interrupt acquisition; Fast Fourier Transform; harmonics analysis

基于 DSP 的电力变压器工作参数检测与分析系统的软件设计

李 猛, 陈奕梅

天津工业大学电气与自动化学院, 天津, 中国, 300160

Email: lim0610@163.com

摘 要: 介绍了一种基于 DSP 的电力变压器工作参数检测与分析系统的软件系统的设计方法。这种软件系统是基于德州仪器公司的 TMS320F2812DSP 进行设计的, 可以检测和计算电力变压器工作时所需的多种电力参数, 对信号源进行谐波分析等。通过和 DSP 系统硬件的配合, 可以充分调动 DSP 丰富的资源, 发挥它强大的计算能力, 设计出更快、更精确、实时性更高的系统。

关键词: 电力变压器; 中断采集; 快速傅里叶变换; 谐波分析

1 引言

电力变压器是电网中的重要结点, 供配电的重要环节, 电力变压器工作状态的好坏严重影响着输送到用户设备上的电能的质量。随着电力电子技术的发展, 大量电力电子装置和非线性设备被广泛应用, 这些设备易造成电能质量的严重恶化; 另一方面, 随着社会发展和微电子技术的广泛应用, 电子设备充斥着社会的各个角落, 同时它们又对电能质量下降异常敏感, 易引起严重的后果和巨大损失^[1]。一方面是电能质量的严重下降, 另一方面又是用户对电能质量要求的提高。为了提高电能质量, 首先要做的就是能够检测和分析各种电力参数。

目前, 应用于电力系统的传统测量仪表已经不能满足实时性和大量数据处理的要求^[3], 人们亟需一种替代产品, 不仅可以克服上述的缺点, 而且要能进一步分析电力信号的本质和问题, 因此电气化、智能化

的检测和分析系统应运而生。

2 检测与分析系统介绍

这是一种能对电力变压器的输出端信号进行检测和分析的智能设备。根据产品功能的特殊要求, 即此设备应具备大量数据处理、实时性强和精确度高的特点, 设计中选取了高精度、高位数和工频大的电子器件, 采用 DSP (Digital Signal Processor) 加 CPLD (Complex programmable logic device) 的架构, 充分发挥各器件的高性能, 保证系统快速运行。

MAX125 是 MAXIM 公司生产的一种高速 8 通道具有 14bit 分辨率的模数转换器件, 工作频率范围为 0.1MHz~16MHz, 具有高速并行的单片机和微处理器接口, 广泛应用于电机控制、系统监控和数字信号处理领域中^[4]。TMS320F2812 数字信号处理器是 TI 公司推出的一款 32 位定点 DSP 控制器, 在控制领域应

用广泛，频率高达 150MHz，且提供丰富的硬件接口以及软件库函数，可以高效、高速的运行 FFT（Fast Fourier Transform）算法以及浮点运算。Altera 公司的 MAX3000A 系列是一款高性能、低功耗、应用广泛的 CPLD 芯片，具有丰富的可编程逻辑单元，可方便快捷的构建用户所需的逻辑电路，在这里主要用作连通 DSP 和 MAX125 之间的桥梁，由 CPLD 来控制 MAX125 的读写和采集等工作。

电力变压器输出的电压、电流等信号通过传感器接入调理电路，CPU 通过控制 CPLD 向 MAX125 芯片发出采样指令，待 MAX125 A/D 芯片采集转换结束后，CPU 读取结果并传递给 FFT 算法，然后进行进一步的谐波分析和电力参数计算，最后将计算结果通过串口传出。系统结构框图如图 1 所示。

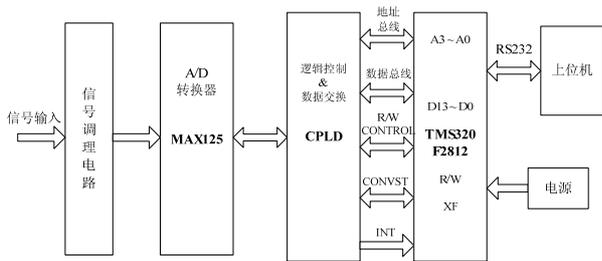


Figure 1. System block diagram

图 1 系统结构框图

3 软件系统设计

根据系统的功能要求，在设计软件系统时，可以将其大致分为三个模块：采集、计算和发送结果，其中计算模块又可分为 FFT 算法、谐波分析和参数计算。由于基于 TMS320F2812DSP 设计，对 DSP 初始化和设置是必不可少的，三个模块在 CPU 中顺序执行，期间通过对各中断服务程序的响应来达到执行特定功能的目的。软件流程图如图 2 所示。

3.1 采集模块

经 A/D 芯片采集来的数据的精确度直接影响着计算结果的精确度，除了要求硬件电路精确的滤波和跟随之外，最重要的是对 MAX125 芯片的时序进行精确的控制，严格按照芯片工作的时序进行电平变化和延时处理，只有如此才能保证芯片多路工作时得到正确的结果。除此之外，由于 FFT 算法的处理对象都是离散序列，而这些离散信号都是在真实信号上加了矩

形窗得到的，会产生 Gibbs 现象，即频谱泄露，因此为了使 FFT 计算的精确度更高，我们采用定时中断采集的方式，以 50Hz 的标准频率计算，采样两个周期的数据，这样只要给定标准 50Hz 信号，在 MAX125 正常工作的情况下，可以大大减小频率泄露带来的计算误差。

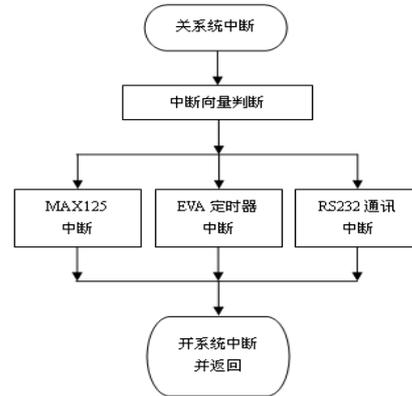


Figure 2. Software flow chart

图 2 软件流程图

由于 50Hz 频率信号的周期是 20ms，两个采样周期为 40ms，则 128 个点采样每个点的时间是

$$T = 40ms / 128 = 312.5us,$$

$$t = (1/30MHz) \times 1/5 \times 2 \times 2 = 0.0267us,$$

计数时钟个数

$$N = 312.5 / 0.0267 = 11724,$$

因此，EVA 定时器的定时周期设置如下：

$$EvaRegs.T1PR = 0x2dcc;$$

//定时周期 312.5us

$$EvaRegs.T1CON.all = 0x1142;$$

//内部时钟 2 分频

3.2 计算模块

3.2.1 FFT 算法

FFT 算法是信号处理的一种重要方法，因此在电力系统谐波分析中也得到了广泛应用。当然，FFT 算法的方便应用是在 DSP 芯片出现之后，正是由于 DSP 芯片独特的加法器和乘法器设计，可在一个指令周期内进行一次加法和乘法运算，这样强大的计算能力恰好解决了 FFT 算法的计算量大的难题。TMS320F2812DSP 的主频为 150MHz，具有 32 位处理能力，可以运行多点数的 FFT 算法，但考虑到 FFT 庞

大的计算量,为了节约计算时间,我们采样 128 点 FFT 算法,在精确度上完全满足系统的设计要求。系统采集到的波形结果和对应的 FFT 算法分析结果如图 3 所示。

如图 3 中的下半幅图所示,波形能量主要集中于频率为 50Hz 的频谱上,即基波的能量,而高次谐波的幅值都远低于基波幅值,FFT 的计算结果和所采集波形反映出的趋势是一致的。

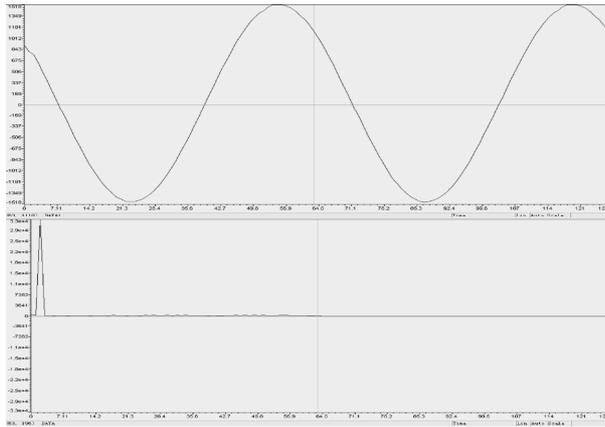


Figure 3. Curve: results of waveform sample and FFT algorithm analysis

图 3 采集波形和 FFT 分析结果图

3.2.2 谐波分析和参数计算

经过 FFT 分析后得到的幅值谱数据以复数的形式存在,即

$$w = R + Ij \quad (1)$$

其中, w 为基波和各次谐波的幅值, R 和 I 分别为对应的实部和虚部。由此可计算出基波和各次谐波的相位角,即

$$A = \arctan\left(\frac{I}{R}\right) \quad (2)$$

通过电压、电流的相位作差得到的相位差即为功率因数角。

同时,信号有效值为

$$F_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} F_h^2} \quad (3)$$

信号谐波含有量⁰(以电压信号为例):

$$U_H = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (U_h)^2} \quad (4)$$

其中, U_h 为第 h 次谐波电压(方均根值)。

信号谐波畸变率(以电压信号为例):

$$THD_U = \frac{U_H}{U_1} \times 100\% \quad (5)$$

3.3 发送结果模块

最后所有的计算结果通过串口通信的方式发送

给上位机存储和使用,波特率设为 9600 比特。DSP 中软件的设置为:

SciaRegs.SCIHBAUD = 0x01;

SciaRegs.SCILBAUD = 0xE7;

发送时通过发送中断以固定的格式依次将所有结果发出。

4 结果分析

为了验证计算结果的精确度,我们将利用示波器测得的一组数据和计算得到的信号有效值作对比,如下表 1 所示。

Table 1. Comparison between calculation and oscilloscope probe value

表 1 算法计算结果与示波器结果对比

	输入 A	输入 B	输入 C	输入 D
计算值	0.64960 V	1.12042 V	1.17358 V	1.16105 V
示波器	654 mV	1.12 V	1.17 V	1.16 V

$$error = \frac{\frac{|0.64960-0.654|}{0.654} + \frac{|1.12042-1.12|}{1.12} + \frac{|1.17358-1.17|}{1.17} + \frac{|1.16105-1.16|}{1.16}}{4} = 2.77 \times 10^{-3}$$

通过直观的对比如和误差计算可以看出,算法计算出的电压、电流等参数的有效值精确较高,完全可以达到设计要求。

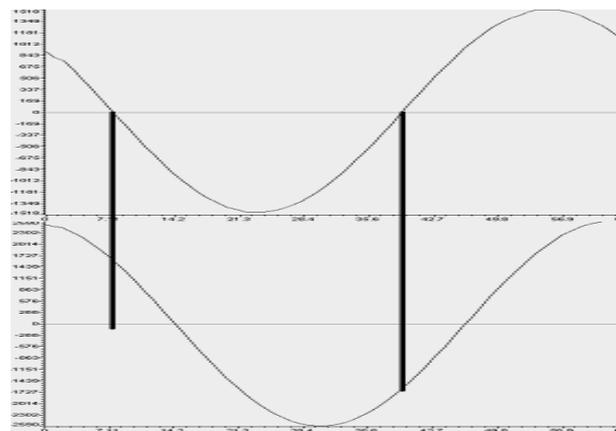


Figure 4. Phase angle comparison between two input signals

图 4 输入信号相位比较

如图 4 所示,输入 A 和 B 分别代表高压 A 相电压和电流的输入信号,由于两路信号是经过 RC 串联电路人工引入的,因此我们事先已经可以计算出理论

上的两路信号的相位差为 39.87° 。通过计算得到的相位差即功率因数角为 39.3407° ， $error_2 \approx 0.53^\circ$ ，也完全满足设计要求。同时，从图中过零点的刻度位置我们亦可计算出它们的相位差 $\approx \frac{14-7}{64} \times 360 = 39.375^\circ$ ，也证明了计算的精确度是可靠的。⁶⁴

以此类推可以计算套管绝缘介损角。此外，功率因数，介质损耗，各次谐波有效值等参数均可由公式求得，且误差均在设计要求范围之内。

5 结束语

此套智能检测和分析系统实现了对电力变压器输出信号的采样、FFT 分析和谐波分析等功能，可以计算变压器的各种工作参数，精确度高，在实时性和快速性上尤甚，并且通过对软件的不断完善和优化，仍有很高的进步空间，相信不久的将来会得到广泛应

用。

References (参考文献)

- [1] Francisco C.De La Rosa. HARMONICS AND POWER SYSTEMS. Beijing: Machinery Industry Press, 2009, 15.
- [2] Jos Arrillaga, Neville R. Watson. Power System Harmonics. Beijing: China Electric Power Press, 2008.
- [3] Tao Zuo, Wei Tang. Power quality monitoring system based on the DSP and CPLD chips. RELAY, 2008, 36(8): 40-43.
左涛, 唐巍. 基于DSP和CPLD实现的电能质量监测系统. 继电器, 2008, 36(8): 40-43.
- [4] Zhongying Huang, Haiying Xing, Jiangfeng Zou. Application and design of MAX125 ADC in the power quality system. Application and Design, 2006, 6(6): 17-18.
黄中英, 邢海瀛, 邹江峰. MAX125型模/数转换器在电能质量监控系统中的应用与设计. 应用与设计, 2006, 6(6): 17-18.
- [5] Daponte P., Di Penta M., Mercurio G. TRANSIENTMETER: a distributed measurement system for power quality monitoring[A]. Harmonics and Quality of Power, 2000. Proceedings. Ninth International Conference on[C]. Orlando, FL, USA: 2000, vol.3: 1017-1022