

基于 PC 机软、硬件扩展的数字频谱分析仪

康赐荣 邓华国

(电子工程系)

摘要 作者所研制的数字频谱分析仪是新一代个人仪器,它采用基2时间抽取的快速傅里叶变换(FFT)算法来获取信号的频谱,实现了信号的非实时频谱分析。另外,它还可显示信号的时间波形,可作为数字存储示波器使用。文中给出了FFT信号流程图、硬件电路框图、程序流程图和试验结果。

关键词 频谱分析仪,个人仪器,快速傅里叶变换

0 引言

作者研制的数字频谱分析仪是新一代个人仪器,它是在个人计算机的基础上增加一频谱分析插卡,和用以实现仪器管理、测试软件等构成,它可以利用PC机原有的软、硬件资源,具有成本低、研制周期短、性能价格比高等优点。

本仪器为低频数字频谱分析仪,它可用于低频信号,如噪声、振动、地震、生物医学等信号的频谱分析。根据我国国情,我们采用基2时间抽取的快速傅里叶变换算法来获取信号的频谱,故它是面向非实时频谱分析的应用场合,它比采用专用FFT硬件来得经济。

本仪器有2路模拟信号输入和2路模拟信号输出,A/D和D/A变换器均为12位,从硬件配置来说,经进一步软件开发,它可成为一台通用的信号处理机。

1 离散傅里叶变换(DFT)的实现

DFT 定义为

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W_N^{kn} \quad (1)$$

• 本文1990—07—14收到。

式中, $W_N = \exp(-j2\pi/N)$; $x(n)$ 为采样数据; N 为采样点数。

直接用式(1)进行 N 点傅氏变换, 乘法运算次数为 N^2 。如 $N=1024$, 则 $N^2=1048526$, 很费时, 因此, 应用很有限。

1965年库利(Looley)和图基(Tukey)提出离散傅里叶变换的快速算法(FFT), 它利用了 W_N 的周期性和对称性, 使 N 点的傅氏变换的乘法运算次数降为 $\frac{N}{2}\log_2 N$ 。如 $N=1024$, 则 $\frac{N}{2}\log_2 N=5120$, 仅为 DFT 的 204.8 分之一, 计算效率大大提高。

下面给出基2时间抽取 FFT 的信号流程图(图1)。

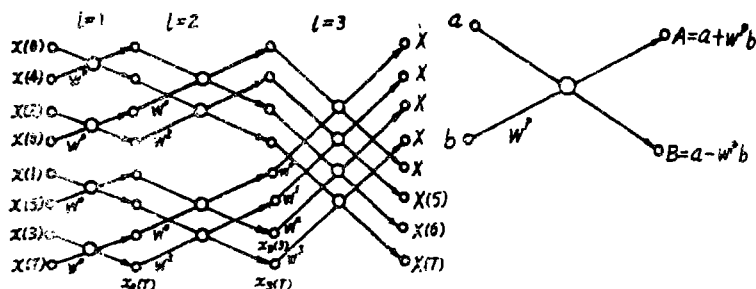


图1 基2时间抽取 FFT 信号流程图

图2 蝶形运算流程图

可见, 由数据 $x(n)$ 经过 $M=\log_2 N$ 级蝶形运算, 即可求得 $X(k)$ 。现把图1中的蝶形运算重画于图2。

为完成蝶形运算, 还需掌握 W_N^p 中 p 的变化规律; 若把 n 写成 $M=\log_2 N$ 位的二进制数, 再把这个二进制数右移 $M-l$ 位, 并把左边空出的位置补0, 然后再把右移后的 M 位二进制数的码序翻转过来, 所得的这个数就是 p 值(十进制)。如图1中

$$x_1(3) \quad M=3, \quad l=3, \quad n=3,$$

则 $(n)_2=011$, 因为 $M-l=0$, 所以 n 勿须右移。

$$(n)_2=110, \text{ 即 } p=6, \quad W_N^p=W_N^6=W_N^3=W^2$$

$$\text{又如 } x_2(7) \quad M=3, \quad l=2, \quad n=7,$$

则 $(n)_2=111$, $M-l=3-2=1$, n 右移一位, 成011。

$$(2)_2=110, \text{ 即 } p=6, \quad W_N^p=W_N^6=W_N^3=W^2$$

此处 $(n)_2$ ——表示为二进制数; $(2)_2$ ——表示为码序翻转后的二进制数。

2 仪器的硬件方框图及主要器件介绍

2.1 仪器的硬件总框图(图3)

它有2个输入通道和2个输出通道。输入通道由程控衰减器、程控放大器、低通滤波器、多路开关、采样/保持器、12位 A/D 变换器等组成。它实现数据采集。输出通道由数据锁存器、12位 D/A 变换器和功率放大器等组成, 用软件产生随机信号及其它测试信号输出。

整个硬件电路是在 PC 机控制下按一定节拍有条不紊地工作着。

2.2 低通滤波器的设计

我们采用4阶巴特沃兹(Butterworth)有源低通滤波器

要求:在 $f_c=5\text{kHz}$ 幅值衰减不大于29.3%,在2倍 f_c 时,幅值 $\leq 1\%$ 。

经计算得阶数 $n=4$,电路如图4,各元件参数如下:

$R_1=2\text{k}\Omega$, $R_2=510\Omega$, $R_3=10\text{k}\Omega$, $R_4=4.7\text{k}\Omega$, $R_5=1\text{k}\Omega$,

$R_6=10\text{k}\Omega$, $C_1=0.1\mu\text{F}$, $C_2=0.01\mu\text{F}$, $C_3=0.022\mu\text{F}$, $C_4=0.01\mu\text{F}$ 。

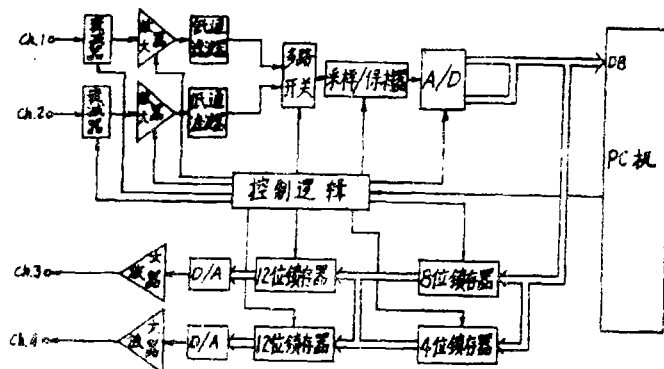


图3 仪器的硬件总框图

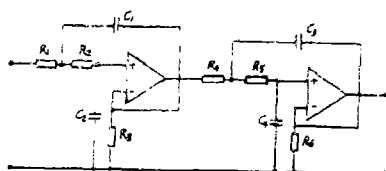


图4 低通滤波器电路图

2.3 仪器放大器(AD524)

AD524是为在恶劣条件下应用,且要求高精度的数据采集系统而设计的,它具有线性度好、共模抑制比高,低失调电压漂移和低噪声、易于实现增益程控等优点。

AD524通过内部精密电阻提供4种固定增益1、10、100和1000(图5),要选某一增益,只需把标有相应增益的脚与 R_{G2} 相连(对 $G=1$, R_{G2} 脚不连)。对其它增益,可在 R_{G1} 与 R_{G2} 之间外接一精密电阻来实现,其阻值按式

$$R_G = \frac{10000}{G-1} \quad (2)$$

计算。其中 G 为所需增益值。

2.4 A/D 变换器(AD574)

AD574是12位三态输出的逐次逼近式模/数变换器,转换时间为 $35\mu\text{s}$ 。它具有内部参考电压源和时钟,输入电压范围为 $0-10$ 、 $0-20$ 、 $-5-+5$ 、 $-10-+10$ v,与8位或16位微机接口很方便,本仪器选用 $-5-+5$ v,模拟量与数学量的关系如下:

+满度值	1111 1111 1111
0	1000 0000 0000

—满度值 0000 0000 0000

当它与 IBM PC 机连接时,由于 IBM PC 机数据仅为8位,为了读入12位转换数据,需把数据方式选择12/8端接数字地,通过地址最低位 A_0 控制,当 $A_0=0$ 时,PC 机读入高8位数据,当 $A_0=1$ 时,读入低4位数据,并自动在后面补4个0(图6)。

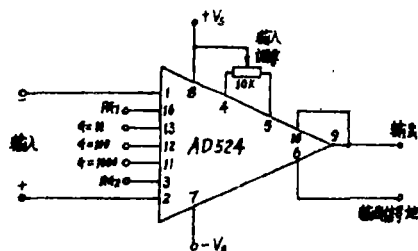


图5 AD524外部连接图

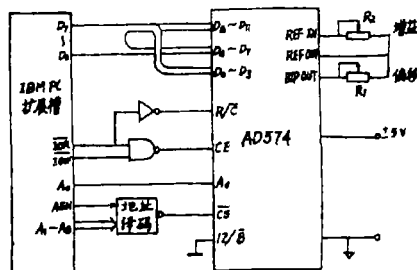


图6 AD574与IBM PC的连接

增益校准:首先,加一比负满度值高 $1/2\text{LSB}$ 的模拟电压 -4.9988V ,调节 R_1 ,使数码恰好从0000 0000 0000跳变为0000 0000 0001。然后加一比正满度值低 $1/2\text{LSB}$ 的模拟电压 $+4.9963\text{V}$,调节 R_2 ,使数码恰好从1111 1111 1110跳变为1111 1111 1111。

3 程序流程图及频谱分析参数的选择

除了数据采集 ACQ 用汇编语言编写外,其余均用 Turbo C 语言编写。C 语言是一种结构化的高级程序设计语言,有许多优点,优点之一是易于实现与汇编语言的连接,连接步骤如下:

- (1)用汇编语言写源程序,如 ACQ. ASM。
- (2)用2.0及以上版本的宏汇编产生 OBJ 文件,如 ACQ. OBJ。
- (3)写一文件名为 $\times\times\times$. PRJ 文件,如把

mmf. c

ACQ. OBJ

写入文件 SA. PRJ 中。

- (4)在 TC 集成开发环境的主菜单中选 Project 项把 SA. PRJ 装载入 Project name。

- (5)编译并连接 SA. PRJ 成为可执行文件。

下面给出一些主要的程序流程图(图7)。

在主程序(main program)中,首先对变量进行初始化,如设定频率分辨力 $df=20\text{Hz}$ 采样时间间隔 $dt=60\mu\text{s}$ 等。在主菜单下有数据采集 ACQU、计算 FFT、显示时间波形及频谱 VIEW、存储或装入文件 DATA、随机信号发生器 R. S. G 及返回 DOS 等选择项。在数据采集子程序 ACQU 中,首先输入频率分辨力 df 、信号的最高频率 f_{\max} 、输入通道号、增益值。

需要说明的是, df 和 f_{\max} 的选择需要一定的先验知识。取采样频率 $f_s=4f_{\max}$,计算 f_s/df ,并选取最接近 2^N 的 N 值;由 df 可求得信号记录长度 $T=1/df$,采样周期 $dt=T/N$ 。

接着调用汇编语言子程序 ACQ 采集数据,再对数据进行加窗处理,以抑制旁瓣。我们加的

是汉宁(Hanning)窗:

$$w(n) = \frac{1}{2} [1 - \cos(\frac{2\pi n}{N-1})] R_N(n). \quad (3)$$

在子程序 VIEW 中, 可选择显示信号的时间波形或频谱, 两者都可选择感兴趣部分进行放大, 并有 Marker 显示, 移动 Marker 到曲线上任意点, 即可显示出该点的 x, y 坐标值。

4 实验结果

下面给出部分实验结果。图8为正弦信号的时间波形, 说明本仪器具有数字存储示波器的功能。图9为方波及其频谱, 由频谱图可见, 方波只具有基波及奇次谐波, 与理论分析是一致的。图10为方波频谱的放大图, 在图8和图10中还可看到“+”, 即为 Marker, 移动 Marker, 可实现定量测量。

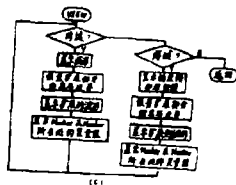
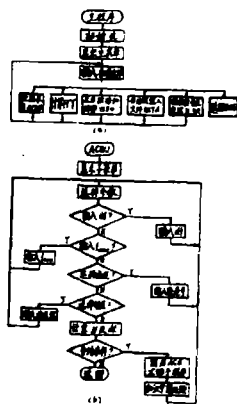


图7 主要的程序流程图

(a) 主程序 (b) 信号采集子程序 (c) 显示子程序

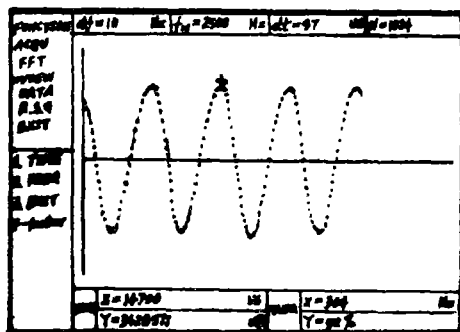


图8 正弦波形

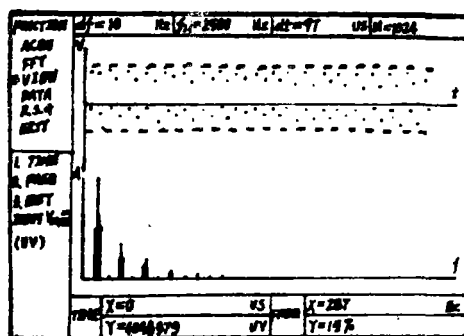


图9 方波及其频谱

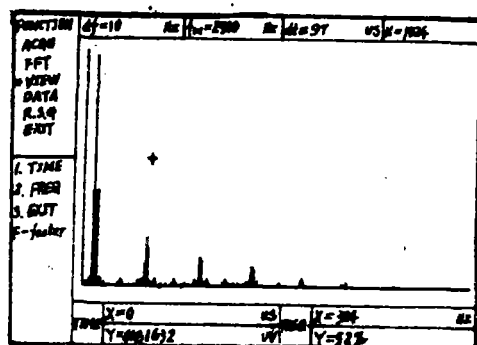


图10 方波频谱的放大图

参 考 文 献

- [1] 何振亚, 数字信号处理的理论与应用, 人民邮电出版社, (1983).
- [2] 张如洲, 微型计算机数据采集与处理, 北京工业学院出版社, (1987).
- [3] 应怀樵, 波形和频谱分析与随机数据处理, 中国铁道出版社, (1983).
- [4] 李桂青等, 微机 C 语言及其应用, 气象出版社, (1989).

A Digital Spectrum Analyzer Based on the Expansion of Personal Computer Hardware and Software

Kang Cirong Deng Huaguo

(Department Electronic Engineering)

Abstract A digital spectrum analyzer was designed by the authors. It is a personal instrument of new generation. It obtains the spectrum for a signal by adopting fast Fourier transform (FFT) algorithm which is radix-2 in time sampling. The unreal time spectrum analysis for a signal can thus be real-

ized, and the time waveform of a signal can also be displayed. So it can be used as a digital storage oscilloscope. The signal flow diagram for FFT, circuit blockdiagram, and program flow chart as well as the test results are all given in the paper.

Key words spectrum analyzer, personal instrument, fast Fourier transform (FFT)