

用于激励超声导波的任意波形发生器

吴斌, 王智, 金山, 焦敬品, 何存富
(北京工业大学 机械工程与应用电子技术学院, 北京 100022)

摘要: 通过 PC 机编程生成试验所需的高频调幅信号, 分别经 RS232 串口及 IEEE488 并口发送给任意函数发生器 HP33120A, 经函数发生器接收、处理后, 输出所需超声波激励信号; 着重研究了 PC 机与任意函数发生器之间基于 RS232 与 IEEE488 接口的数据通信以及信号频率与周期的可调整性; 成功地实现了汉宁窗、高斯窗调制的任意频率单音频信号的产生, 达到了任意波形发生器的功能。

关键词: RS232 串口; IEEE488 并口; 任意波形发生器; SCPI 语言

中图分类号: TP 206.1

文献标识码: A

文章编号: 0254-0037(2002)04-0389-05

0 引言

在常规超声无损检测技术中, 超声波的激励通常采用脉冲激励; 激励所产生的超声信号为宽带信号。该信号在传播过程中仍然保持脉冲形状。在利用超声导波对管道缺陷进行检测时, 若仍采用宽带激励, 即采用脉冲激励超声导波, 则由于管道的几何形状将导致导波在管道中传播时发生频散, 即超声导波的群速度将随频率的不同而改变, 因而在管道中传播的导波将异常复杂。这种情况的存在对导波信号的接收、处理、分析, 都将产生极为不利的影响, 极大地增加了数据分析量, 甚至使信号根本无法分析。根据有关导波频散特性的特点^[1], 分析在管道中传播的超声波的多模态特征与频散特性可知, 在某一频率范围内, 某一模态的导波几乎不发生频散。如果采用单一频率的激励源, 则只能激励出单一频率的某种模态的超声导波。恰当地利用这些导波, 可以避免超声波在传播过程中发生的频散现象, 便于信号的分析与处理。在试验中, 考虑到超声波在管道中传播的特征, 根据不同情况, 希望能产生任意频率、任意周期、任意幅度调制的单频信号。将此信号进行功率放大以激励导波。现有的任意波形发生器, 如 HP33120A, 只能产生几种常规的信号, 如正弦波、余弦波、三角波、锯齿波以及心电图等。要产生 Hanning 窗调制的 10 个周期、70 kHz 的单音频脉冲信号是不能实现的。作者利用计算机编程生成上述所需信号, 通过 RS232(或 IEEE488)接口发送到 HP33120A 函数发生器, 经函数发生器处理后, 生成所需的模拟电信号, 形成一软硬结合的任意波形发生器, 满足了试验要求。

1 系统组成

系统由 PC 机、HP33120A 和 TDS340 数字示波器组成, 如图 1 所示。3 台设备都配有 RS232 与 IEEE488 接口, 保证它们之间可以实现数据通信。



图1 系统组成方框图

利用 PC 机编程生成所需的信号数据点(共 2 000 点), 然后通过 RS232 接口或 IEEE488 接口把数据发送到任意函数发生器, 函数发生器接收数据后, 经过采样、存储、D/A 转换等生成试验要求的模拟电信号。

收稿日期: 2002-01-10。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(1972003); 北京市自然科学基金资助项目(3992006); 北京市教委科技合同资助项目; 高等学校骨干教师资助计划项目。

作者简介: 吴斌(1962-), 男, 教授, 博士。

由于函数发生器是本试验中的关键设备,本试验采用 HP33120A 函数发生器,在生成任意波形方面,它具有如下几个特点:具有标准 HPIB(IEEE488)及 RS232 接口;SCPI(用于可编程仪器的标准指令)兼容性;具有可加载多达 16 000 点任意波形的存储器。

PC 机与 HP33120A 任意波形信号发生器之间,既可通过 RS232 接口进行通信,又可通过 IEEE488 接口通信。RS232 接口通信的优点是,设备简单,只需一根零调制解调器的串口电缆,就可实现通信,并且只有一根数据线,不易受干扰,传输距离可较长,但传输速度慢。IEEE488 接口费用较大,不仅需要接口板,对并行电缆的性能要求也较高,尤其当只有两台仪器之间需要通信时,很不经济,但是它是 8 位并行传输,速度快,且当有多个设备(可多达 15 个设备)需要通信时,成本反而低于其他方式。

2 PC 机与函数发生器间的数据通信

2.1 基于 RS232 接口

RS232 是数据终端设备 DTE(如 PC 机)与数据通信设备 DCE(如 MODEM)接口协议。函数发生器出厂时已被配置成 DTE(数据终端设备),并规定使用 RS232 接口的 DTR(数据终端就绪)和 DSR(数据设备就绪)线来实现同步交换(handshake)。在这种情况下,PC 机与函数发生器都是 DTE(数据终端设备),它们之间的连接电缆应该是一根零调制解调器电缆。

VB6.0 编程语言具有一标准控件 MSCOMM 专门用于 RS232 接口通信。在使用 VB6.0 的 MSCOMM 通信控件编程时,注意到如下问题:①虽然 HP33120A 任意波形发生器设定的最高波特率为 9 600 b/s,但 MSCOMM 控件并不含 DTR/DSR 握手协议,且其属性(DSRholding)在运行中为只读。②HP33120A 兼容 SCPI 标准仪器语言,按 SCPI 语法结构作了扩充。因而在通信时它只对 SCPI 询问指令作出回答(对话),而通信中函数发生器端出现的错误,则存储在一个 FIFO 队列中,可从前面板读出该出错信息号。但出错信息并不为 PC 机捕获。这就意味着,MSCOMM 通信的两种方法(事件驱动方式和查询方式)在这种情况下都不能奏效。

为实现 PC 机与函数发生器 HP33120A 之间通过 RS232 接口的通信,笔者经过大量试验验证后,得出如下两种方法:

1) 由于 MSCOMM 不含 DTR/DSR 握手协议,为了去除该协议,则不用连接 DTR 和 DSR 线到逻辑“真”,但去除了该同步交换,则必须选择一个较慢的波特率。在试验中,选用 600 b/s 波特率可顺利完成两设备间通信。为了验证,将 HP33120A 的输出信号输入到 TDS340 数字示波器,示波器显示的信号即为要生成的模拟信号。该方法编程简单,仅利用 MSCOMM 控件的几个常用属性,如 CommPort、Settings、Portopen 与 Output 属性就可实现。缺点是速度慢,发送 2 000 个数据点需花费 201.122 3 s。

2) 如果波特率仍采用 9 600 b/s,则可实现快速传输数据点,这就需要在编程中加入 DTR/DSR 协议的内容。在编程时必须考虑到如下两种情况:①当函数发生器的输入缓冲区已满时(已接收近 100 个字符),函数发生器设置 DTR 线为“假”,当从函数发生器挪走足够数量的字符腾出空间,不出现下一种情况时,则函数发生器设置 DTR 线为“真”。②当函数发生器要通过接口“对话”(指它已处理了一个询问)并已收到一个 <New Line> 信息结束符时,它就设 DTR 线为“假”,这就意味着一旦函数发生器收到询问,则 PC 机必须读出回答后,才能向函数发生器发送更多数据。即也必须用 <New Line> 结束命令串,输出回答后,如不出现上一种情况,则函数发生器设置 DTR 线为“真”。

考虑了以上情况后,就可着手 PC 机 RS232 串口初始化,并对其编程。与函数发生器的 DTR 端相连的 PC 机端为 DSR。VB6.0 的通信控件 MSCOMM 有一属性为 DSRholding,其值为 Boolean 型。该属性在编辑时不可用,运行时为只读,因而考虑利用 DSRholding 属性值在通信过程中的变化,在程序中作相应处理。具体为:当 DSRholding 值为“真”时,发送数据;当 DSRholding 值变为“假”时,停止发送,等待并检测 DSRholding 值。检测到 DSRholding 值又变为“真”时,继续发送。程序中加入以上控制语句后,重新设置波特率为 9 600 b/s,运行程序,并用 TDS340 数字示波器检验,证明此方法完全有效,而且传输速度大大提高。计时函数显示运行程序仅耗时 14.354 6 s。

2.2 基于 IEEE488 接口^[2,3]

IEEE488 接口又称 GPIB (general purpose interface bus)、HPIB 接口, 且在 NI 公司的 Labview 编程环境下, 可直接调用其针对 IEEE488 接口设计的虚拟仪器程序。具体操作为: 在 Labview 编程环境下, 打开此虚拟仪器程序, 进入其前面板界面, 在 Write 文本框内输入函数发生器识别的 SCPI 语言即可。同样, 每条命令应有一结束符(此处为回车)。由于 IEEE488 接口为 8 条数据线并行通信, 字节串行传输, 其通信速度较 RS232 串口的比特串行传输速度大大加快, 但是, 正由于其并行传输的特点, 易受干扰, 传输距离较串口短。

3 SCPI 标准仪器命令语言^[4]

由于无论是利用 RS232 接口还是 IEEE488 接口实现 PC 机与函数发生器之间的通信, 与函数发生器能进行交流的语言都是 SCPI 标准仪器命令语言, 因而 SCPI 语言在本文中显得非常重要。SCPI 是以 ASCII 字符组成的标准仪器命令语言, 可用于任何一种标准接口, 如 GPIB、RS232 及 VXI。其最大特点就是对其仪器编程时仅考虑所需完成的功能, 而非仪器本身, 即对几种不同类型仪器, 若均与 SCPI 兼容, 就可使用同样的命令在不同仪器上测量同一参数。SCPI 的另一特点是编程简单、清晰、易于理解。即对于任意支持 SCPI 的标准仪器针对某一功能, SCPI 规定唯一的命令字。SCPI 命令采用层次结构, 系“树结构”语言, 相关的命令集合到一起构成一个子系统, 各组成命令称“关键字”, 各关键字间用冒号“:”分隔, 如:

```
Source: FREQuency: STARt {<frequency>|MINimum|MAXimum}
```

实际上 SCPI 语言等于把各仪器的各种功能命令罗列起来完成某项任务。其编程流程图如图 2 所示。

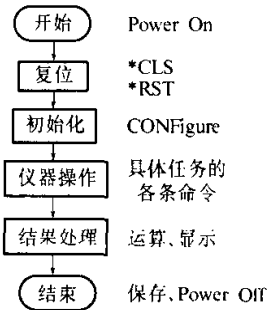


图2 SCPI语言编程流程图

4 实例分析

4.1 加汉宁窗的任意频率(如 70 kHz)单音频信号

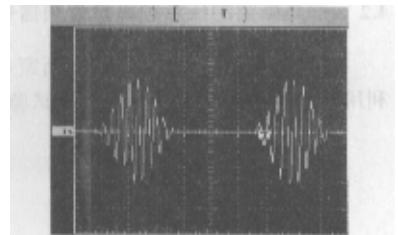
对于特定尺寸、特定材料的管道而言, 通常采用一频率为 70 kHz、经汉宁 (Hanning) 窗调制的单音频信号(在调制窗口内只要求有 10 个周期)来激励超声导波。即

$$y(t) = \text{Hanning}(t) \cdot \sin 2\pi \times 70 \times 10^3 t \tag{1}$$

其中: $\text{Hanning}(t) = 0.5 * [1 - \cos(2\pi t / T)]$; T 为窗宽, 在这里取 10 个周期的长度。

经计算机编程, PC 与 HP33120A 之间的通讯, 所产生的信号如图 3 所示。从此试验结果可以看出, 所产生的信号波形具有周期性特征。所谓信号波形周期性是指函数发生器在接收到 PC 机发送来的信号数据点后, 将尽可能地复制这些数据点, 即将这些数据点生成的波形周期性。

这样就引出第 1 个问题: 试验仅需 1 个单音频信号用于激励管道中的超声导波, 而经函数发生器生成的信号却是周期重复的。这就有可能发生第 1 个单音频信号在管道中传播时, 随后还紧跟第 2、第 3 个单音频信号的传播序列。这必将出现多个接收信号相互重叠现象, 造成信号分析上的困难。由于函数发生器的波形周期性特征不可改变, 因而考虑采用在发送给信号发生器的一序列数据点中, 在单音频信号数据点(以下简称“有效数据点”)后, 添加一定长度的幅值为 0 的数据点, 即有意地延长由于波形周期性产生的信号周期, 使前后两单音频信号在时域上分离一定距离,



以使前1个激励的单音频信号的回波信号接收到后,第2个单音频信号才发送。

第1个问题得到解决后,又引出第2个问题:试验所需的频率 $f=70\text{ kHz}$,是指单音频信号的频率,如图4所示(10个周期,70 kHz)。而由PC编程要求的 $f=70\text{ kHz}$ 频率,经函数发生器“理解”为它接收到的所有数据点(有效数据点与0幅值点)作为一个周期的频率为70 kHz,如图5所示。因此,经函数发生器按 $f=70\text{ kHz}$ 频率生成的信号与实际所需的信号在频率上已相去甚远。由于数据点之间的时间间隔相等,而单音频信号的频率给定为70 kHz,周期给定为10个周期,则由周期 $T=1/f$ 可得10个周期为

$$10T = 10 / f = 1 / 7000 \text{ s} \quad (2)$$

对于由于波形周期化产生的周期 T_0 ,如果有效点数(设为 M 点)与0幅值点点数对应成比例,即在总点数(有效点数与0幅值点点数之和)中假定有效点数占 $1/N$,则周期 T_0 即可解出(如图5所示)。

$$T_0 = 10T * N \quad (3)$$

则有:

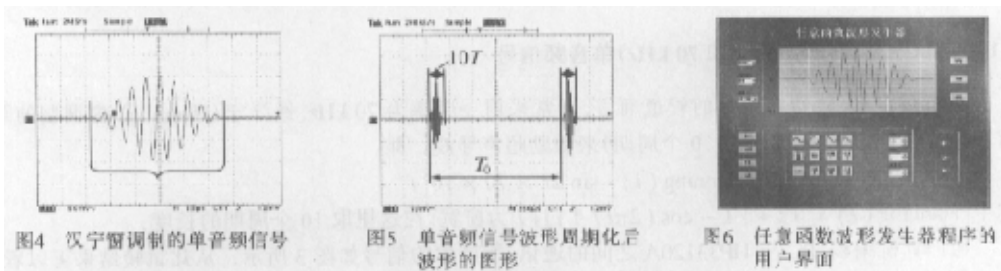
$$f_0 = 1 / T_0 = 1 / (10T * N) = 7000 / N \text{ Hz} \quad (4)$$

试验中,取 $N=10$,就可满足需要,则波形周期化所得的频率为 $f_0=700\text{ Hz}$ 。即用SCPI语言编程时,设置频率的语句为:“FREQUENCY 700”,取4000个数据点,其中400个点用于生成单音频信号,其余3600个点设幅值为0点,则此一系列数据点经函数发生器处理后,即生成试验要求的10个周期、频率为70 kHz、经汉宁窗调制的单音频信号。

经以上分析,可概括为以下两个步骤:①设定数据点数,按比例制定波形信号点数与总点数(如1:10),将总点数中的非波形数据数值设为0,以使波形周期化的周期 T_0 与波形信号周期(此处为 $10T$,此波形信号为10个周期的单一频信号)对应成比例(1:10)。②由第1步可得出 T_0 的值,按 T_0 的值设置信号的频率,进行语言编程。

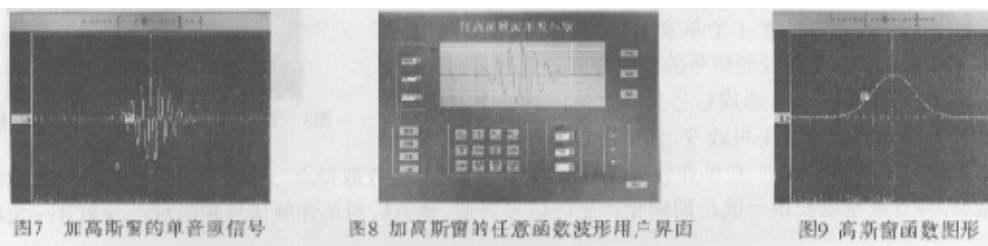
在试验中,为操作方便,编写了如图6所示的“任意波形发生器”程序,通过单击界面中相应的按钮可实现用PC机控制波形发生器产生相应的波形。

将PC机与函数发生器相连(分别用RS232及IEEE488接口),并将函数发生器的信号输出端口与TDS340示波器相连,运行程序,向函数发生器发送数据,函数发生器接收并处理,以生成相应电信号,由数字示波器显示,如图5所示,试验证明,函数发生器确已生成了试验所需的信号。



4.2 加高斯窗的任意频率单音频信号

在信号分析中,也常用到高斯窗(Gaussian window)调制信号,作为验证本装置的另一试验步骤,作者利用此任意函数波形发生器生成试验需要的任意频率、加高斯窗的单音频信号(见图7、8)。高斯窗函数的



图形如图 9 所示, 从图 7、8 试验结果, 可见任意函数波形发生器按试验要求生成了正确的信号。

5 结 论

由 PC 机、HP33120A 和 TDS340 数字示波器构成的任意函数波形发生器可以产生任意波形(只要给定其数学表达式), 其频率、周期、幅度调制形式等都可以变化。3 台设备间既可以通过 RS232 串口, 也可以通过 IEEE488 并口, 实现数据通信。在编程时要考虑 HP33120A 的特殊性, 即波形的周期化。若所需的任意波形为周期信号, 则产生过程更为简单。

参考文献:

- [1] 何存富, 吴斌, 范晋伟. 超声柱面导波技术及其应用研究进展[J]. 力学进展, 2001, 3(2): 203-214.
- [2] 腾卫杰. VB5.0 环境下基于 SCPI 语言的仪表与 PC 机的通讯[J]. 计算机自动测量与控制, 2000(5): 38-39.
- [3] 陈溯, 王思化. 用 GPIB 接口编程控制泰克数字示波器[J]. 微电子学与计算机, 1998(5): 15-19.
- [4] 侯晟业. SCPI 语言及微机控制测量仪器编程[J]. 电子技术, 1998(10): 465-468.

Arbitrary Waveform Generator for Exciting Ultrasonic Guided Waves

WU Bin, WANG Zhi, JIN Shan, JIAO Jing-pin, HE Cun-fu
(College of Mechanical Engineering and Applied Electronics Technology,
Beijing Polytechnic University, Beijing 100022, China)

Abstract: The signal with high frequency and amplitude modulation by PC programming is sent to HP33120A Arbitrary Function Generator through RS232 serial port and IEEE488 parallel port. HP33120A Arbitrary Function Generator receives and processes the signal, then outputs the needed signal for exciting ultrasonic guided waves. The data communication between PC and HP33120A generator through RS232 serial port and IEEE488 parallel port is lucubrated and the adjustability of frequency and period of the signal is emphasized. The real arbitrary waveform generator that can generate single acoustic frequency signal modulated by Hanning window and Gaussian window is developed.

Key words: RS232 serial port; IEEE488 parallel port; arbitrary waveform generator; SCPI language