



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108447364 A

(43)申请公布日 2018.08.24

(21)申请号 201810496159.5

(22)申请日 2018.05.22

(71)申请人 同济大学

地址 200092 上海市杨浦区四平路1239号

(72)发明人 李蓉艳 张志明 翟志清 陆炜江

吴坚 张伟

(74)专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限公司 31225

代理人 翁惠瑜

(51)Int.Cl.

G09B 23/18(2006.01)

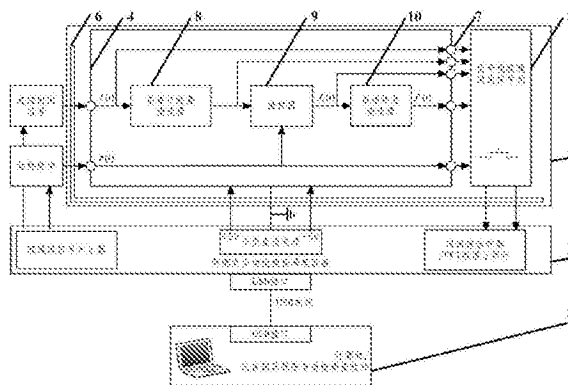
权利要求书2页 说明书10页 附图7页

(54)发明名称

一种便携式多功能时域抽样定理实验装置

(57)摘要

本发明涉及一种便携式多功能时域抽样定理实验装置,包括便携式多功能数据采集设备、时域抽样定理实验模块和计算机,所述便携式多功能数据采集设备包括信号发生器、信号接收器和可编程直流电源;所述时域抽样定理实验模块包括:电信号连接器、时域抽样定理实验电路、时域信号观察通道选择电路和信号测试端点;所述计算机中运行有控制所述便携式多功能数据采集设备的驱动程序和用于对所述输出信号进行分析处理的功能测量程序。与现有技术相比,本发明具有便携式、多功能、接口简单、性价比高等优点,十分适合用于时域抽样定理的课堂示例教学和课后随身实验,便于学生开展设计性和创新性实验。



1. 一种便携式多功能时域抽样定理实验装置,其特征在于,包括便携式多功能数据采集设备、时域抽样定理实验模块和计算机,所述便携式多功能数据采集设备分别连接时域抽样定理实验模块和计算机,其中,

所述便携式多功能数据采集设备包括:

信号发生器,在所述计算机的控制下,产生发送至所述时域抽样定理实验模块的实验激励信号;

信号接收器,在所述计算机的控制下,接收所述时域抽样定理实验模块的输入端和输出端的实际信号并显示;

可编程直流电源,在所述计算机的控制下,向所述时域抽样定理实验模块提供直流工作电源;

所述时域抽样定理实验模块包括:

电信号连接器,实现所述时域抽样定理实验模块与便携式多功能数据采集设备间的电气连接;

时域抽样定理实验电路,基于所述实验激励信号产生相应输出,实现时域抽样定理的理论验证功能;

时域信号观察通道选择电路,实现所述时域抽样定理实验电路上不同观测信号的选择;

信号测试端点,设有多个,分布设置于所述时域抽样定理实验电路上,实现所述时域抽样定理实验电路的安装调试或测点接入;

所述计算机中运行有控制所述便携式多功能数据采集设备的驱动程序和用于对所述输出信号进行分析处理的功能测量程序。

2. 根据权利要求1所述的便携式多功能时域抽样定理实验装置,其特征在于,所述信号发生器、信号接收器和可编程直流电源集成于一采集设备本体中。

3. 根据权利要求2所述的便携式多功能时域抽样定理实验装置,其特征在于,所述采集设备本体为便携式多功能USB接口数据采集器,通过USB接口与所述计算机连接。

4. 根据权利要求1所述的便携式多功能时域抽样定理实验装置,其特征在于,所述信号接收器包括多通道数字示波器和/或信号频谱分析仪。

5. 根据权利要求1所述的便携式多功能时域抽样定理实验装置,其特征在于,所述时域抽样定理实验电路包括依次连接的前置抗混叠滤波器、抽样器和低通滤波恢复器,所述前置抗混叠滤波器和抽样器均与所述信号发生器连接,多个所述信号测试端点分布于前置抗混叠滤波器、抽样器和低通滤波恢复器的输入点和输出点处,所述时域信号观察通道选择电路分别连接信号发生器、前置抗混叠滤波器、抽样器和低通滤波恢复器。

6. 根据权利要求1所述的便携式多功能时域抽样定理实验装置,其特征在于,所述时域信号观察通道选择电路包括多个手动短路跳线开关。

7. 根据权利要求1所述的便携式多功能时域抽样定理实验装置,其特征在于,所述时域抽样定理实验电路、时域信号观察通道选择电路、电信号连接器和信号测试端点集成于一印刷电路线路板上。

8. 根据权利要求7所述的便携式多功能时域抽样定理实验装置,其特征在于,所述电信号连接器为印刷电路线路板间连接器,所述信号测试端点为焊接于所述印刷电路线路板上

的陶瓷测试环点。

9. 根据权利要求7所述的便携式多功能时域抽样定理实验装置,其特征在于,所述印刷电路板通过紧固件固定于一电路保护板上。

10. 根据权利要求1所述的便携式多功能时域抽样定理实验装置,其特征在于,所述计算机中还运行有将所述时域抽样定理实验模块的输出波形转换为音频输出的信号转换程序。

## 一种便携式多功能时域抽样定理实验装置

### 技术领域

[0001] 本发明属于电子工程技术领域,尤其是涉及一种便携式多功能时域抽样定理实验装置。

### 背景技术

[0002] 抽样定理既是信号处理和系统分析与设计的重点,也是难点,在通信系统、信息传输理论、数字信号处理等方面占有十分重要的地位。时域抽样定理可以表述为:当连续信号  $f(t)$  为有限带宽信号(其频谱满足带限条件:当  $|\omega| > \omega_m$  时,  $F(\omega) = 0$ ,其中,  $\omega_m = 2\pi f_m$  为信号的最高频率)时,只要使采样频率  $\omega_s$  不小于信号的奈奎斯特采样频率  $\omega_{Neq} = 2\omega_m$  (对应的采样间隔称为奈奎斯特采样间隔  $T_{Neq} = 2\pi/\omega_{Neq} = \pi/\omega_m$ ),则信号  $f(t)$  可以用等间隔的抽样值  $f_s(t) = f(nT_s)$  唯一地表示,此时信号频谱只以  $\omega_s$  周期重复延拓成为周期频谱而不发生频域混叠。满足时域抽样定理的抽样信号  $f_s(t)$  保留了原连续信号  $f(t)$  的全部信息,在恢复重建原信号时,使用一个截止频率  $\omega_c \geq \omega_m$  的理想低通滤波器,即可从抽样信号  $f_s(t)$  中无失真恢复原连续信号  $f(t)$ 。理想冲激抽样信号的抽样与恢复过程如图1所示,连续信号的抽样信号在低抽样频率时频谱混叠,高抽样频率时频谱不混叠,才可以恢复出原信号。

[0003] 抽样定理在连续时间信号与系统、离散时间信号与系统及数字信号与系统之间架起了一座桥梁,但在实际教学中要使学生深刻理解并掌握仍然存在一定的困难,当用软件平台开展实验教学时,只能局限于理论模型计算,对所依托的实际硬件电路和物理信号不能直接测试和分析,故仍需要配合实际硬件实验实践以加强教学效果。而受已有实验装备数量以及技术水平的限制,常规的抽样定理硬件实验多采用信号与系统实验箱实现,如 THKSS 型信号与系统实验箱、DICE-T3 型信号与系统实验仪等,其电子电路结构和元件参数固定不变,一般只能提供简单的验证性实验,不易扩展为设计性实验或者创新性实验。另外,由于实验箱电路还需要配套外部仪器,如信号发生器、数字示波器、直流稳压电源等,才能正常工作,学生做实验时只能到实验室现场才能进行。专利 CN201120438949.1《数模多功能实验板》涉及一种模拟、数字信号综合处理及应用的学生用实验板,但其组成上和实验箱电路没有本质区别,输入功率电源仍需要外接,除抽样定理实验模块外,同时存在多种其它功能实验模块,结构繁杂,不利于单一实验的进行。另外,其抽样定理模块的输入信号类型也受到限制,需要外部信号发生器仪器,输出信号的验证方式也比较简单,只能通过外接示波器仪器来实现波形显示功能。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的就是为了解决上述现有技术存在的缺陷而提供一种便携式、智能化、多功能、接口简单、性价比高的便携式多功能时域抽样定理实验装置。

[0005] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0006] 一种便携式多功能时域抽样定理实验装置,包括便携式多功能数据采集设备、时域抽样定理实验模块和计算机,所述便携式多功能数据采集设备分别连接时域抽样定理实

验模块和计算机,其中,

[0007] 所述便携式多功能数据采集设备包括:

[0008] 信号发生器,在所述计算机的控制下,产生发送至所述时域抽样定理实验模块的实验激励信号;

[0009] 信号接收器,在所述计算机的控制下,接收所述时域抽样定理实验模块的输入端和输出端的实际信号并显示;

[0010] 可编程直流电源,在所述计算机的控制下,向所述时域抽样定理实验模块提供直流工作电源;

[0011] 所述时域抽样定理实验模块包括:

[0012] 电信号连接器,实现所述时域抽样定理实验模块与便携式多功能数据采集设备间的电气连接;

[0013] 时域抽样定理实验电路,基于所述实验激励信号产生相应输出,实现时域抽样定理的理论验证功能;

[0014] 时域信号观察通道选择电路,实现所述时域抽样定理实验电路上不同观测信号的选择;

[0015] 信号测试端点,设有多个,分布设置于所述时域抽样定理实验电路上,实现所述时域抽样定理实验电路的安装调试或测点接入;

[0016] 所述计算机中运行有控制所述便携式多功能数据采集设备的驱动程序和用于对所述输出信号进行分析处理的功能测量程序。

[0017] 进一步地,所述信号发生器、信号接收器和可编程直流电源集成于一采集设备本体中。

[0018] 进一步地,所述采集设备本体为便携式多功能USB接口数据采集器,通过USB接口与所述计算机连接。

[0019] 进一步地,所述信号接收器包括多通道数字示波器和/或信号频谱分析仪。

[0020] 进一步地,所述时域抽样定理实验电路包括依次连接的前置抗混叠滤波器、抽样器和低通滤波恢复器,所述前置抗混叠滤波器和抽样器均与所述信号发生器连接,多个所述信号测试端点分布于前置抗混叠滤波器、抽样器和低通滤波恢复器的输入点和输出点处,所述时域信号观察通道选择电路分别连接信号发生器、前置抗混叠滤波器、抽样器和低通滤波恢复器。

[0021] 进一步地,所述时域信号观察通道选择电路包括多个手动短路跳线开关。

[0022] 进一步地,所述时域抽样定理实验电路、时域信号观察通道选择电路、电信号连接器和信号测试端点集成于一印刷电路线路板上。

[0023] 进一步地,所述电信号连接器为印刷电路线路板间连接器,所述信号测试端点为焊接于所述印刷电路线路板上的陶瓷测试环点。

[0024] 进一步地,所述印刷电路线路板通过紧固件固定于一电路保护板上。

[0025] 进一步地,所述计算机中还运行有将所述时域抽样定理实验模块输出波形转换为音频输出的信号转换程序。

[0026] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0027] 1、本发明兼顾信号与系统中验证演示性实验和综合创新性实验之间的技术联系

和需求,利用便携式多功能数据采集设备,由软件和硬件结合,变传统的简单验证性抽样定理实验为综合创新性设计实验,观测与分析实际的物理信号对象,设计与实现时域抽样定理及信号恢复实验系统装置。

[0028] 2、本发明的便携式多功能数据采集设备综合了信号发生器、数字示波器、信号频谱分析仪和可编程直流电源功能,输出实验电路所需的连续时间信号 $f(t)$ 和抽样脉冲信号 $p(t)$ ,连续时间信号 $f(t)$ 的波形类型和参数可以通过计算机在线调整设定,抽样脉冲信号 $p(t)$ 的波形类型和参数可以通过计算机在线调整设定,实验电路中实际信号波形可以被便携式多功能数据采集设备同时采集、并同屏显示时域波形、频域波形和波形参数计算结果。实验电路所需的直流 $\pm 5V$ 工作电源也由便携式多功能数据采集设备提供。实验要求与理论教学内容更加匹配,理论分析结合实际物理对象,工作集中在前置抗混叠滤波器电路、抽样器、低通滤波恢复器等功能电路的实现,为设计性和创新性实验提供一个便携式移动实践平台。本发明有效克服了现有技术中整机电路设计复杂,综合成本高、性能单一、移动不便的问题,具有便携式、智能化、多功能、接口简单、实验项目和内容易于扩展的特点。

[0029] 3、传统的实验方法中,产生连续时间信号 $f(t)$ 和抽样脉冲信号 $p(t)$ 的信号源需要通过外部仪器、实验箱电路或者专用电路产生,试验箱电路和专用电路产生的有限类型的波形,同时一般不能修改其波形参数,功能相对简单并且不方便调整参数。外部仪器产生的波形更加丰富,但是其体积过大不利于携带,一般只适合实验室现场操作。当连续时间信号 $f(t)$ 需要输出为更多类型的信号或者自定义的复杂波形(如语音信号)时,或者抽样脉冲信号 $p(t)$ 需要调整占空比以更好地模拟理想抽样脉冲信号时,或者连续时间信号 $f(t)$ 和抽样脉冲信号 $p(t)$ 两者之间需要调整其相位差时,普通信号发生器、实验箱电路或者专用电路都不能满足其使用要求。本发明连续时间信号 $f(t)$ 和抽样脉冲信号 $p(t)$ 的产生集成于多功能采集设备本体中,由计算机控制,可以直接修改输出连续时间信号 $f(t)$ 和抽样脉冲信号 $p(t)$ 的信号类型、信号频率、输出幅度、直流偏置电压以及抽样脉冲的信号占空比,并可以设置和修改连续时间信号 $f(t)$ 和抽样脉冲信号 $p(t)$ 的同步性和相位差参数,操作简单,调整方便,功能更加丰富,便携性好。

[0030] 4、传统的实验方法中,观察电路中的实际信号波形需要通过外部示波器实现,但外部专用示波器体积较大,携带不便,只适合实验室现场操作,同时其波形显示屏幕分辨率有限,时域波形显示测量和频域分析结果显示一般只能分屏显示,不方便调阅。本发明信号的时域波形采集集成于多功能采集设备本体中,由计算机控制,可以直接读取和记录实验数据波形,并进行波形数据参数解算,以及频域上的信号频谱分析等,操作界面所显示的元素更加丰富,可同时采集多路信号并显示其时域波形和频域分析结果,操作简单,调整方便,便携性好。

[0031] 5、本发明的可编程直流电源集成于多功能采集设备本体中,在计算机软件的控制下输出直流 $\pm 5V$ 工作电源提供给实验系统模块,输出幅值可调。与常规可编程直流电源相比,体积小,操作简单,调整方便,便携性好。

[0032] 6、本发明的时域抽样定理实验电路按信号流的方向进行设计,包括依次连接的前置抗混叠滤波器、抽样器和低通滤波恢复器,概念清楚,功能明确。其中抽样器添加电压跟随器以增强驱动能力,当演示验证性实验采用低频正弦信号激励连续时间信号时,因抽样器已经增强了信号驱动能力,可简化后级低通滤波恢复器的复杂性,简单的无源型LC滤波

器即可以满足低通滤波要求,实现信号恢复功能;当综合创新性实验所用到的连续时间信号比较复杂时,低通滤波恢复器需要更陡峭的衰减特性,截止频率方能满足 $\omega_s - \omega_m \geq \omega_c \geq \omega_m$ 的要求,本发明低通滤波恢复器采用8阶MFB巴特沃斯低通滤波器,在低频滤波器性能和电路结构复杂度之间取得了合适的平衡,输出波形更符合理论计算结果。抗混叠滤波器的参数设计与信号恢复滤波器类似,采用4阶MFB巴特沃斯低通滤波器,简单演示验证性实验选用的连续时间信号频带较窄,可不用此滤波器,而综合创新性实验所用到的连续时间信号比较复杂时,加入抗混叠滤波器进行低通滤波滤除高频分量,以减少混叠误差,提高频谱分析精度。

[0033] 7、本发明的时域信号观察通道选择电路,包括多个手动短路跳线开关,用于手动选择所述时域抽样定理实验电路中需要观测的信号,结构简单,操作容易,成本低。

[0034] 8、本发明时域抽样定理实验电路、时域信号观察通道选择电路、电信号连接器和信号测试端点集成在一印刷电路线路板(PCB)上,电路模块化,信号分类清楚,可靠性高,体积小,便于携带。

[0035] 9、本发明的电信号连接器,使用印刷电路线路板间连接器,通过双排弯排母和所述便携式多功能数据采集设备的对应双排插针直接对插固定连接,避免杜邦线连接或者飞线连接引起的导线松动或接错问题,电气连接简单可靠。

[0036] 9、本发明的信号测试端点,采用印刷电路线路板连接测试点,使用不同颜色的陶瓷测试环点,焊于电路板上需要观察的重要信号测试端点和可编程直流电源测试端点,可勾挂外部示波器和频谱分析仪的探头,接触良好,使用方便,提高电路调试的效率,同时也可兼容传统的使用外部仪器的实验室现场实验方式。不同的信号使用不同颜色的测试点定义,避免误接。

[0037] 11、本发明的抽样定理实验电路中的各个信号,除了直接采集、保存、显示时域波形和频谱分析计算结果的定量分析功能外,还可以直接使用计算机的音频输出端口输出所采集到的时域波形,从而可以综合视觉和听觉的角度来感受和分析不同实验条件下抽样定理实验过程中的信号变化,加深对抽样定理理论的认识和理解。

[0038] 12、本发明设置有电路保护板等机械结构,可以保护电路系统,具有结构简单、安装方便的优点。

## 附图说明

[0039] 图1为理想冲激抽样信号的抽样与恢复过程示意图;

[0040] 图2为本发明系统结构示意框图;

[0041] 图3为本发明信号发生器功能示意图;

[0042] 图4为本发明示波器数据采集功能示意图;

[0043] 图5为本发明可编程直流电源功能示意图;

[0044] 图6为本发明测试点信号定量/定性输出功能示意图;

[0045] 图7为本发明前置抗混叠滤波器电路示意图;

[0046] 图8为本发明抽样器示意图;

[0047] 图9为本发明低通滤波恢复器示意图;

[0048] 图10为本发明时域信号观察通道选择电路示意图;

- [0049] 图11为本发明电信号连接器示意图；
- [0050] 图12为本发明印刷电路线路板示意图；
- [0051] 图13为本发明印刷电路线路板的侧视图；
- [0052] 图14为本发明机械结构示意图；
- [0053] 图中：1、时域抽样定理实验模块，2、便携式多功能数据采集设备，3、计算机，4、时域抽样定理实验电路，5、时域信号观察通道选择电路，6、电信号连接器，7、信号测试端点，8、前置抗混叠滤波器电路，9、抽样器，10、低通滤波恢复器，11、印刷电路线路板，12、定位安装孔，13、电路保护板、14、上螺钉，15、上垫片，16、螺柱，17、下垫片，18、下螺钉。

### 具体实施方式

[0054] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。本实施例以本发明技术方案为前提进行实施，给出了详细的实施方式和具体的操作过程，但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

#### [0055] 实施例1

[0056] 如图2所示，本实施例提供一种便携式多功能时域抽样定理实验装置，该装置包括时域抽样定理实验模块1、便携式多功能数据采集设备2和计算机3，便携式多功能数据采集设备2分别连接时域抽样定理实验模块1和计算机3。

[0057] 便携式多功能数据采集设备2包括信号发生器、信号接收器和可编程直流电源，本实施例中，信号发生器为多通道信号发生器，信号接收器包括通道数字示波器和信号频谱分析仪。信号发生器在所述计算机3的控制下产生设定信号（连续时间信号和抽样脉冲信号）传送至所述时域抽样定理实验模块4中；多通道数字示波器在所述计算机3的控制下采集所述时域抽样定理实验系统模块4中的输入端和输出端的实际信号并显示其时域波形，同时进行波形参数分析计算；信号频谱分析仪在所述计算机3的控制下采集所述时域抽样定理实验系统模块4中的输入端和输出端的实际信号波形并进行FFT频谱分析并显示其计算结果频谱图；可编程直流电源在所述计算机3的控制下输出电路系统提供正常工作时所需的直流 $\pm 5V$ 工作电源，提供给所述时域抽样定理实验系统模块4，输出幅值按需可调。

[0058] 本实施例中，多通道信号发生器、多通道数字示波器、信号频谱分析仪和可编程直流电源集成于一采集设备本体中。该采集设备本体为便携式多功能USB接口数据采集器，实现输出产生实验电路所需的设定信号（连续时间信号和抽样脉冲信号）、采集并分析实验电路中的实际信号波形（时域解算和FFT频谱）和直流 $\pm 5V$ 工作电源的功能，不再需要外部信号发生器、示波器、频谱分析仪和可编程直流电源。

[0059] 时域抽样定理实验模块1包括时域抽样定理实验电路4、时域信号观察通道选择电路5、电信号连接器6和信号测试端点7，提供时域抽样定理实验的电路系统硬件平台。

[0060] 时域抽样定理实验电路4包括依次连接的前置抗混叠滤波器电路8、抽样器9和低通滤波恢复器10。其中，该前置抗混叠滤波器电路8用于连续时间信号在抽样前先经过一个低通滤波器（即抗混叠滤波器）进行低通滤波滤除高频分量，以减少混叠误差，提高频谱分析精度（如实验选用的连续时间信号频带较窄，则可不用此滤波器）；该抽样器9，用于实现连续时间信号的抽样，连续时间信号 $f(t)$ 经过前置抗混叠滤波器后送入到抽样器的输入端，经过抽样脉冲信号 $p(t)$ 调制后输出得到抽样信号 $f_s(t)$ ；该低通滤波恢复器10，用于将



抽样信号 $f_s(t)$ 通过该滤波器电路后,获得原连续时间信号 $f(t)$ 的恢复信号 $f'(t)$ 。

[0061] 时域信号观察通道选择电路5包括多个手动短路跳线开关,用于选择所述时域抽样定理实验电路中需要观测的信号,并连接到数字示波器的输入通道上。

[0062] 计算机中运行有控制所述便携式多功能数据采集设备的驱动程序和用于对所述输出信号进行分析处理的功能测量程序。

[0063] 实施例2

[0064] 本实施例中,便携式多功能数据采集设备2的采集设备本体采用多功能USB接口数据采集设备Digilent Analog Discovery2,通过USB电缆与计算机连接,在软件系统的支持下,可以在仿真环境及实践环境下与替代传统仪器,实现信号发生器、双通道数字示波器、信号FFT频谱分析仪和双路可编程直流电源功能。

[0065] Analog Discovery2的模拟输出通道1#(使用接口管脚W1和Ground)和模拟输出通道2#(使用接口管脚W2和Ground)作为信号发生器输出接口,Analog Discovery2的差分模拟输入通道CH1(使用接口管脚1+和1-)和差分模拟输入通道CH2(使用接口管脚2+和2-)作为双通道数字示波器的输入接口,该差分模拟输入通道CH1和CH2同时复用作为FFT频谱分析仪的输入接口,AnalogDiscovery2的可编程直流电源输出直流 $\pm 5V$ 双路电压,其中正电压输出通道使用接口管脚V+和Ground,负电压输出通道使用接口管脚V-和Ground。具体连接关系为:Analog Discovery2接口上的W1和Ground与时域抽样定理实验电路的连续时间信号输入接口、W2和Ground与时域抽样定理实验电路的抽样脉冲信号输入接口,可以通过接线端子连线连接或者接插件直接连接,如图3所示;数字示波器可以同时获取及测量两路信号,第一路信号由信号观察通道选择单元选通,在时域抽样定理实验电路中的重要信号(连续时间信号 $f(t)$ 、抽样脉冲信号 $p(t)$ 、经过前置滤波后的连续时间信号、抽样信号 $f_s(t)$ 、恢复信号 $f'(t)$ )之中选择所需要观测的信号,连接到Analog Discovery2接口上的差分模拟输入通道CH1(接口管脚1+接信号,管脚1-接Ground地),第二路信号由信号观察通道选择单元选通,在时域抽样定理实验电路中的重要信号(连续时间信号 $f(t)$ 、抽样脉冲信号 $p(t)$ 、经过前置滤波后的连续时间信号、抽样信号 $f_s(t)$ 、恢复信号 $f'(t)$ )之中选择所需要观测的信号,可以通过接线端子连线连接或者接插件直接连接到Analog Discovery2接口上的差分模拟输入通道CH2(接口管脚2+接信号,管脚2-接Ground地),如图4所示;FFT频谱分析仪的输入通道,使用和数字示波器输入通道同样的电气连接接口,如图4所示;Analog Discovery2接口上的管脚V+和Ground作为可编程直流电源的正电压输出通道,管脚V-和Ground作为可编程直流电源的负电压输出通道,输出程控可调直流 $\pm 5V$ 电源,可以通过接线端子连线连接或者接插件直接连接到实验电路系统中的工作电源接口,如图5所示。其余同实施例1。

[0066] 常规的实验方法中,产生连续时间信号 $f(t)$ 和抽样脉冲信号 $p(t)$ 的信号源需要通过外部仪器、实验箱电路或者专用电路产生,试验箱电路和专用电路产生的有限类型的波形,同时一般不能修改其波形参数,功能相对简单并且不方便调整参数。外部仪器产生的波形更加丰富,但是其体积过大不利于携带,一般只适合实验室现场操作。当连续时间信号 $f(t)$ 需要输出为更多类型的信号或者自定义的复杂波形(如语音信号)时,或者抽样脉冲信号 $p(t)$ 需要调整占空比以更好地模拟理想抽样脉冲信号时,或者连续时间信号 $f(t)$ 和抽样脉冲信号 $p(t)$ 两者之间需要调整其相位差时,普通信号发生器、实验箱电路或者专用电路

都不能满足其使用要求。本发明产生的连续时间信号 $f(t)$ 和抽样脉冲信号 $p(t)$ ,由计算机控制,可以直接修改输出连续时间信号 $f(t)$ 和抽样脉冲信号 $p(t)$ 的信号类型、信号频率、输出幅度、直流偏置电压以及抽样脉冲的信号占空比,并可以设置和修改连续时间信号 $f(t)$ 和抽样脉冲信号 $p(t)$ 的同步性和相位差参数,操作简单,调整方便,功能更加丰富,便携性好。常规的实验方法中,观察电路中的实际信号波形需要通过外部示波器实现,但外部专用示波器体积较大,携带不便,只适合实验室现场操作,同时其波形显示屏幕分辨率有限,时域波形显示测量和频域分析结果显示一般只能分屏显示,不方便调阅;本发明双通道示波器具备示波器的常用功能,操作方法与实验室中的真实示波器类似,由计算机控制,可以直接读取和记录实验数据波形,并进行波形数据参数解算,以及实现信号频谱分析仪在频域上的信号频谱分析功能等,操作界面所显示的元素更加丰富,可同时采集多路信号并显示其时域波形和频域分析结果,操作简单,调整方便,便携性好。与常规可编程直流电源相比,本发明可编程直流电源集成于多功能采集设备本体中,在计算机软件的控制下输出直流 $\pm 5V$ 工作电源提供给实验系统模块,输出幅值可调,体积小,操作简单,调整方便,便携性好。

#### [0067] 实施例3

[0068] 本实施例中,如图6所示,测试点信号定量/定性输出功能由运行于计算机中的功能测量程序完成。其余同实施例1和实施例2。

[0069] 本发明的抽样定理实验电路中的各个信号,由便携式多功能数据采集设备在软件控制下进行采集处理,计算机除了直接采集、保存、显示时域波形和频谱分析计算结果的定量和定性分析功能外,还可以运行信号转换程序,直接使用计算机的音频输出端口输出所采集到的时域波形,从而可以综合视觉和听觉的角度来感受和分析不同实验条件下抽样定理实验过程中的信号变化,加深对抽样定理理论的认识和理解。

#### [0070] 实施例4

[0071] 本实施例中,前置抗混叠滤波器电路8由一个低通滤波器(LPF)电路实现。其余同实施例1。

[0072] 如图7所示,本实施例的低通滤波器采用4阶MFB巴特沃斯低通滤波器:R011、R012、R013、C011、C012和运算放大器U0A构成第一节的2阶MFB滤波器;R021、R022、R023、C021、C022和运算放大器U0B构成第二节的2阶MFB滤波器;两节2阶滤波器级联构成4阶巴特沃斯低通滤波器。更改电阻和电容的参数选型(利用设计计算公式或参数计算参考表格)即可以更改低通滤波器的截止频率和通带增益。当设计该滤波器截止频率=4kHz,通带增益 $A_{vp}=1.25$ ,电阻和电容的参数选型如下:R011=2.4k,R012=2.7k,R013=2.2k,C011=10nF,C012=27nF;R021=1.1k,R022=1.2k,R023=0.91k,C021=10nF,C022=150nF;运算放大器U0选用双运放芯片TL072,包括U0A和U0B两个运放,工作电源为 $\pm 5V$ 双电源供电。简单演示验证性实验时,因选用的连续时间信号频带较窄,可不用此滤波器(跳线开关S0断开,S1接通),综合创新性实验所用到的连续时间信号比较复杂,要加入抗混叠滤波器(跳线开关S1断开,S0接通),进行低通滤波滤除高频分量,以减少混叠误差,提高频谱分析精度。本实施例选用4阶MFB巴特沃斯低通滤波器,在滤波器性能和电路结构复杂度之间取得了合适的平衡,输出波形更符合理论计算结果。

#### [0073] 实施例5

[0074] 本实施例中,抽样器9以电子模拟开关芯片为核心设计,用于实现连续时间信号的抽样,连续时间信号 $f(t)$ 经过前置抗混叠滤波器后送入到抽样器的输入端,经过抽样脉冲信号 $p(t)$ 调制后输出得到抽样信号 $f_s(t) = f(t) \cdot p(t)$ 。其余同实施例1。

[0075] 如图8所示,模拟开关芯片U2采用CD4066,U2的通道输入信号1脚接输入的经过前置滤波后的连续时间信号 $f_1(t)$ ,U2的通道控制信号13脚接输入的抽样脉冲信号 $p(t)$ ,U2的通道输出信号2脚同时与电阻R7的一端及运算放大器U4A的正输入端3脚相连接,R7的另一端直接接地,R7阻值可在 $2k\Omega \sim 10k\Omega$ 范围内选择,如 $R7 = 4.7k\Omega$ ,U2的14脚接直流工作电源+5V,U2的7脚接直流工作电源-5V,U2中其它通道不用,对应通道输入的5脚、6脚和12脚下拉接到直流工作电源-5V,运放U4A的负输入端2脚和运放U4A的输出端1脚连接输出增强驱动能力后的抽样信号 $f_s(t)$ 。运算放大器U4选用二运放芯片TL072,包括U4A和U4B,抽样器只使用U4A,电源为+/-5V双电源供电。本实施例的抽样器,具有元件成本低、容易获取、电路简单,性能可靠、易于调节的优点,并在后级添加有电压跟随器,增强了信号的驱动能力,保障实验电路正常工作。

[0076] 实施例6

[0077] 本实施例中,低通滤波恢复器10采用一个低通滤波器(LPF)电路和一个电压跟随器电路实现。其余同实施例1。

[0078] 如图9所示,低通滤波恢复器由四节2阶MFB滤波器级联构成8阶巴特沃斯低通滤波器;R111、R112、R113、C111、C112和运算放大器U1C构成第一节的2阶MFB滤波器;R121、R122、R123、C121、C122和运算放大器U1D构成第二节的2阶MFB滤波器;R131、R132、R133、C131、C132和运算放大器U1B构成第三节的2阶MFB滤波器;R141、R142、R143、C141、C142和运算放大器U1A构成第四节的2阶MFB滤波器;四节2阶滤波器级联构成8阶巴特沃斯低通滤波器;。更改电阻和电容的参数选型(利用设计计算公式或参数计算参考表格)即可以更改低通滤波恢复器的截止频率和通带增益。当设计截止频率 $= 3.4kHz$ ,通带增益 $A_{vp} = 1.25$ ,电阻和电容的参数选型如下:R111 $= 3.6k\Omega$ ,R112 $= 3.9k\Omega$ ,R113 $= 2.7k\Omega$ ,C111 $= 10nF$ ,C112 $= 22nF$ ;R121 $= 3.3k\Omega$ ,R122 $= 3.6k\Omega$ ,R123 $= 2.0k\Omega$ ,C121 $= 10nF$ ,C122 $= 33nF$ ;R131 $= 2.2k\Omega$ ,R132 $= 2.2k\Omega$ ,R133 $= 1.3k\Omega$ ,C131 $= 10nF$ ,C132 $= 68nF$ ;R141 $= 0.68k\Omega$ ,R142 $= 0.75k\Omega$ ,R143 $= 0.56k\Omega$ ,C141 $= 10nF$ ,C142 $= 560nF$ ;运算放大器U1选用四运放芯片TL084,包括U1A、U1B、U1C和U1D,电源为+/-5V双电源供电。电压跟随器电路由运放U4B为核心组成,8阶巴特沃斯低通滤波器的输出信号(U1A的输出脚2脚)与运算放大器U4B的正输入端5脚相连接,U4B的负输入端6脚和运放U4B的输出端7脚连接输出增强驱动能力后的恢复信号 $f'(t)$ 。运算放大器U4选用二运放芯片TL072,包括U4A和U4B,本实施例只使用U4B,电源为+/-5V双电源供电。本实施例选用8阶MFB巴特沃斯低通有源滤波器,在低通滤波器性能和电路结构复杂度之间取得了合适的平衡,当实验所用到的连续时间信号比较复杂时,低通恢复滤波器仍能获得陡峭的衰减特性,截止频率满足 $\omega_s - \omega_m \geq \omega_c \geq \omega_m$ 的要求,输出波形更符合理论计算结果;本实施例的电压跟随器增强了恢复信号 $f'(t)$ 的驱动能力。

[0079] 实施例7

[0080] 本实施例中,时域信号观察通道选择电路5包括多个手动短路跳线开关组合而成,用于选择所述时域抽样定理实验电路中需要观测的信号,并连接到数字示波器的输入通道上。其余同实施例1。

[0081] 如图10所示,短路跳线开关S1+1、S1+2、S1+3、S1+4、S1+5组合的一端并联,另一端分别与在时域抽样定理实验电路中的重要信号(连续时间信号 $f(t)$ 、抽样脉冲信号 $p(t)$ 、经过前置滤波后的连续时间信号、抽样信号 $f_s(t)$ 、恢复信号 $f'(t)$ )连接,S1+1、S1+2、S1+3、S1+4、S1+5组合在实验中有且仅有一个开关跳线闭合:S1+1闭合时,选择连续时间信号 $f(t)$ 为Analog Discovery2的差分模拟输入通道CH1所需要观测的信号,S1+2闭合时,选择抽样脉冲信号 $p(t)$ 为Analog Discovery2的差分模拟输入通道CH1所需要观测的信号,S1+3闭合时,选择经过前置滤波后的连续时间信号为Analog Discovery2的差分模拟输入通道CH1所需要观测的信号,S1+4闭合时,选择抽样信号 $f_s(t)$ 为Analog Discovery2的差分模拟输入通道CH1所需要观测的信号,S1+5闭合时,选择恢复信号 $f'(t)$ 为Analog Discovery2的差分模拟输入通道CH1所需要观测的信号;短路跳线开关S2+1、S2+2、S2+3、S2+4、S2+5组合的一端并联,另一端分别与在时域抽样定理实验电路中的重要信号(连续时间信号 $f(t)$ 、抽样脉冲信号 $p(t)$ 、经过前置滤波后的连续时间信号、抽样信号 $f_s(t)$ 、恢复信号 $f'(t)$ )连接,S2+1、S2+2、S2+3、S2+4、S2+5组合在实验中有且仅有一个开关跳线闭合:S2+1闭合时,选择连续时间信号 $f(t)$ 为Analog Discovery2的差分模拟输入通道CH2所需要观测的信号,S2+2闭合时,选择抽样脉冲信号 $p(t)$ 为Analog Discovery2的差分模拟输入通道CH2所需要观测的信号,S2+3闭合时,选择经过前置滤波后的连续时间信号为Analog Discovery2的差分模拟输入通道CH2所需要观测的信号,S2+4闭合时,选择抽样信号 $f_s(t)$ 为Analog Discovery2的差分模拟输入通道CH2所需要观测的信号,S2+5闭合时,选择恢复信号 $f'(t)$ 为Analog Discovery2的差分模拟输入通道CH2所需要观测的信号。本实施例的时域信号观察通道选择电路,用于手动选择所述时域抽样定理实验电路中需要观测的信号,结构简单,操作容易,成本低。

#### [0082] 实施例8

[0083] 本实施例中,时域抽样定理实验电路4、时域信号观察通道选择电路5、电信号连接器6和信号测试端点7集成在一印刷电路线路板(PCB)上。本实施例的印刷电路线路板(PCB),作为所述抽样定理实验电路系统模块1的物理载体,安装所述的时域抽样定理实验电路4、时域信号观察通道选择电路5、电信号连接器6和信号测试端点7。其余同实施例1、实施例4、实施例5、实施例6、实施例7。

[0084] 如图12-图13所示,印刷电路线路板11采用双面PCB模块,主要元器件和连接器都置放于顶层,便于电路安装调试和信号引出测试。电路板11上开有若干定位安装孔12,用于安装紧固件。印刷电路线路板11上安装的信号测试端点7采用印刷电路线路板连接测试点,使用不同颜色的陶瓷测试环点,焊于电路板上需要观察的重要信号测试端点,可勾挂外部示波器和频谱分析仪的探头,接触良好,使用方便,提高电路调试的效率,同时也可兼容使用传统的外部仪器的实验室现场实验方式。不同的信号使用不同颜色的测试点定义,避免误接。

[0085] 电信号连接器6包括印刷电路线路板板间连接器,用于所述时域抽样定理实验模块1和所述便携式多功能数据采集设备2之间的电气接口连接,该印刷电路线路板板间连接器,通过双排弯排母和所述便携式多功能数据采集设备的对应双排插针直接对插固定连接,避免飞线连接引起的导线松动或接错问题;

#### [0086] 实施例9

[0087] 如图11所示,本实施例的印刷电路线路板间连接器选用2.54mm间距2\*15P双排弯排母J2,和所述便携式多功能数据采集设备2的对应双排插针直接对插固定连接,排母J2上方有定位块,防止反插接错,其中J2的29脚对应Analog Discovery2的模拟信号输入1+接口管脚,J2的27脚对应Analog Discovery2的模拟信号输入2+接口管脚,J2的30脚接地,对应Analog Discovery2的1-接口管脚,J2的28脚接地,对应Analog Discovery2的2-接口管脚,J2的25脚和26脚接地,J2的23脚对应Analog Discovery2的V+正电源接口管脚,J2的24脚对应Analog Discovery2的V-负电源接口管脚,J2的21脚对应Analog Discovery2的信号发生器输出W1接口管脚,J2的22脚对应Analog Discovery2的信号发生器输出W2接口管脚,J2的19脚和20脚接地。本实施例的电信号连接器,可避免杜邦线连接或者飞线连接引起的导线松动或接错问题,电气连接简单可靠。其余同实施例8。

[0088] 实施例10

[0089] 如图14所示,本实施例的机械结构包括印刷电路线路板11、电路保护板13和紧固件,印刷电路线路板11通过紧固件固定于一电路保护板13上。其余同实施例1。

[0090] 电路保护板13采用亚克力透明有机玻璃材料,外形与印刷电路线路板11相同,和电路安装板在同样的位置上开有同样大小的定位安装孔12,电路保护板13放在印刷电路线路板11下方,采用紧固件将电路安装板固定在电路保护板上。紧固件包括上螺钉14、上垫片15、螺柱16、下螺钉17、下垫片18,螺柱放置在电路保护板和电路安装板之间,在电路安装板和电路保护板的另一侧使用螺钉和垫片固定,使得组装完成后的时域抽样定理实验模块1和所述便携式多功能数据采集设备2的底面处于同一水平面上。机械结构起支撑保护作用,可以保护电路系统,具有结构简单、安装方便的优点。

[0091] 以上详细描述了本发明的较佳具体实施例。应当理解,本领域的普通技术人员无需创造性劳动就可以根据本发明的构思作出诸多修改和变化。因此,凡本技术领域中技术人员依本发明的构思在现有技术的基础上通过逻辑分析、推理或者有限的实验可以得到的技术方案,皆应在由权利要求书所确定的保护范围内。

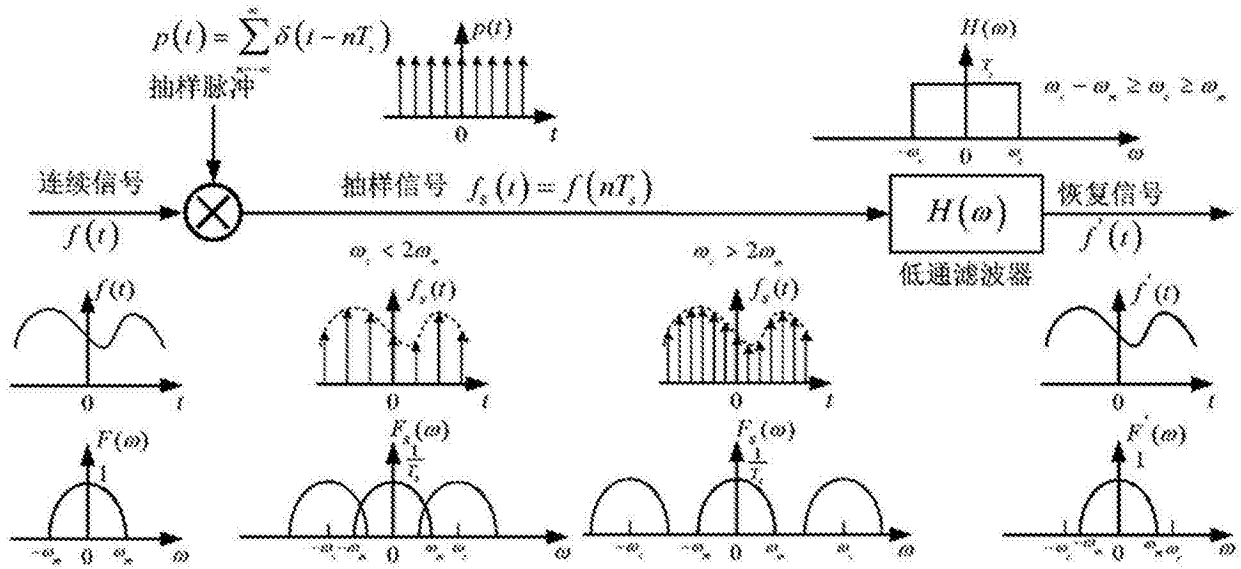


图1

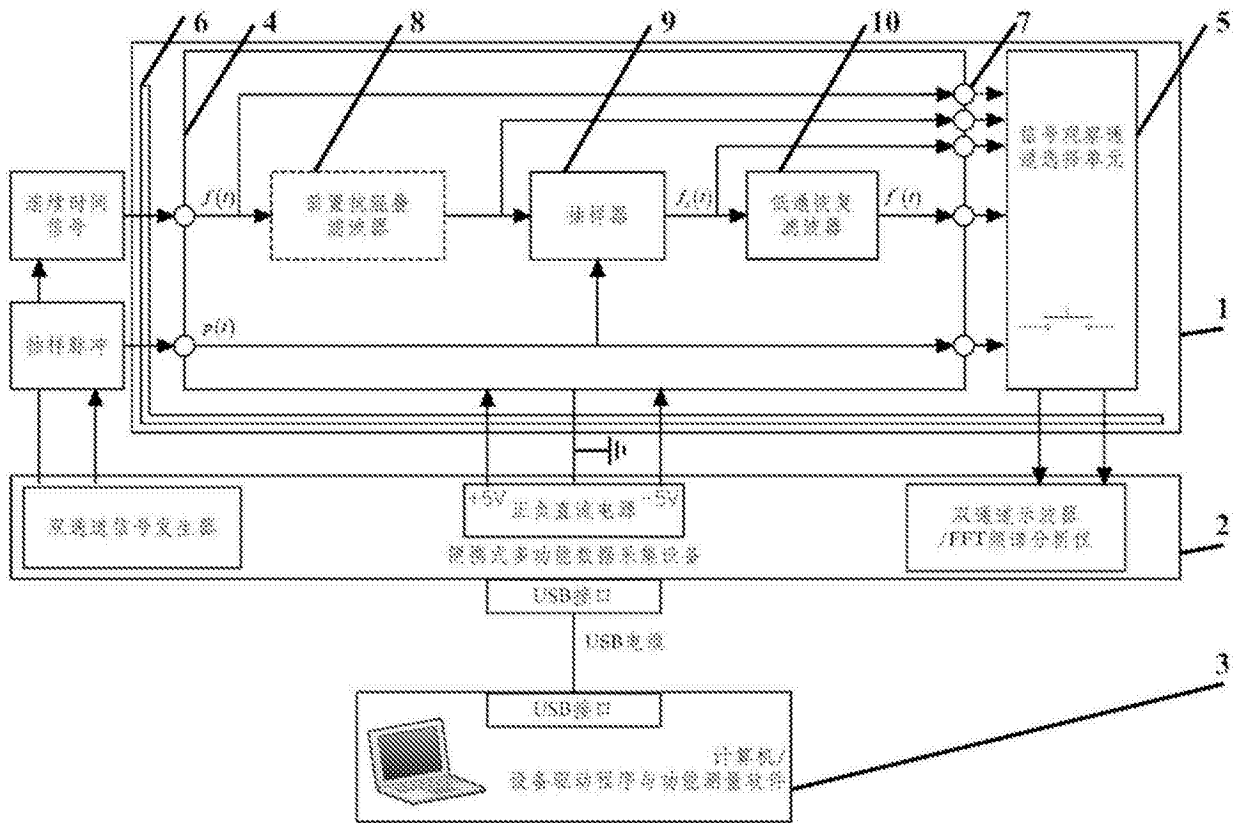


图2

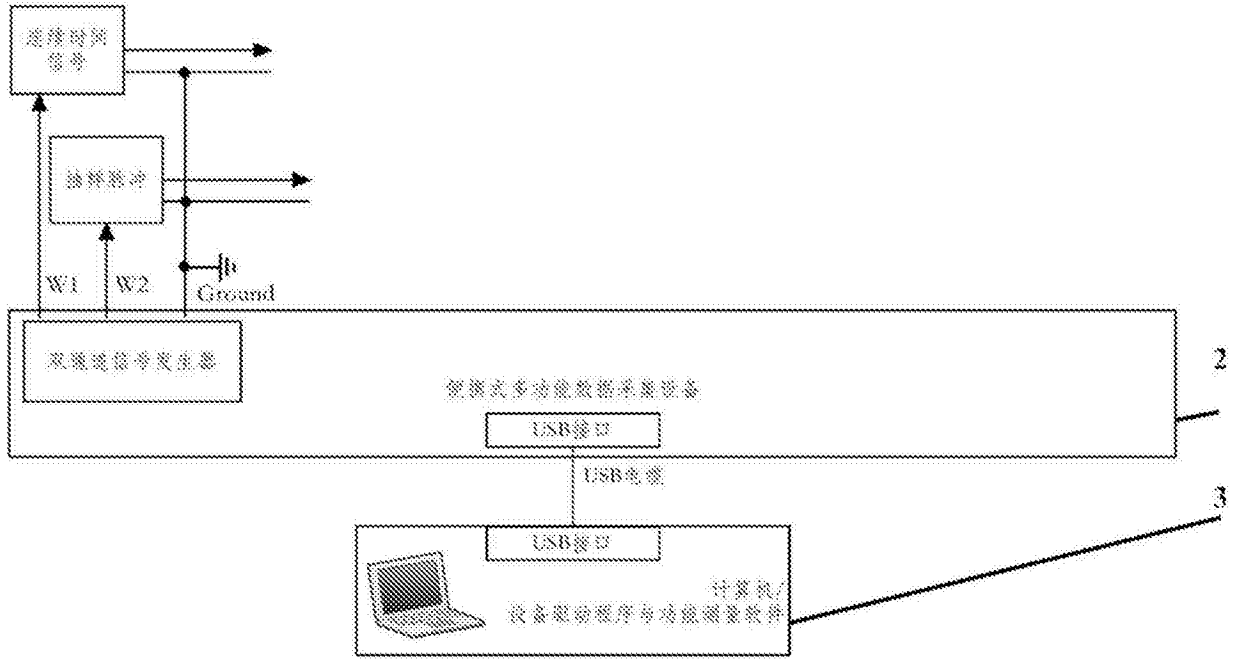


图3

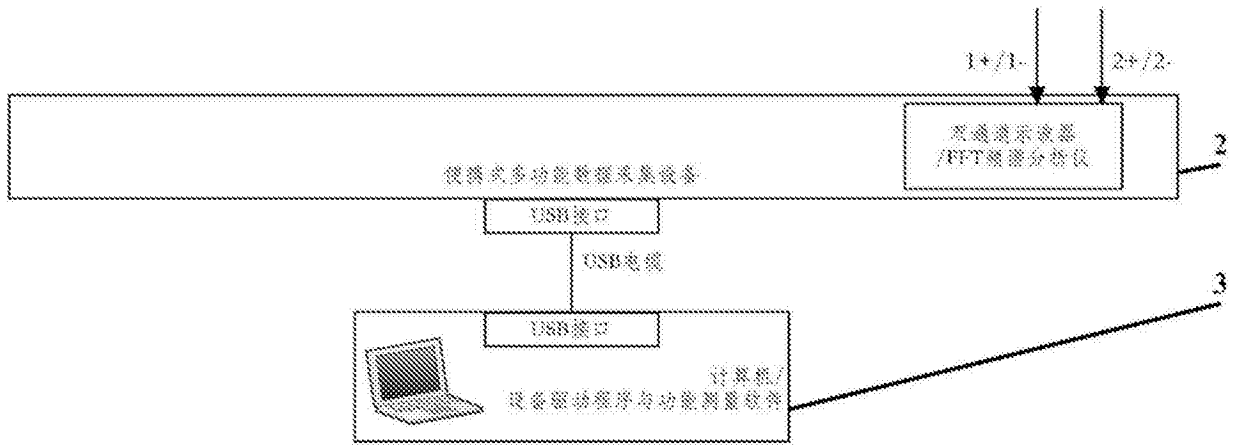


图4

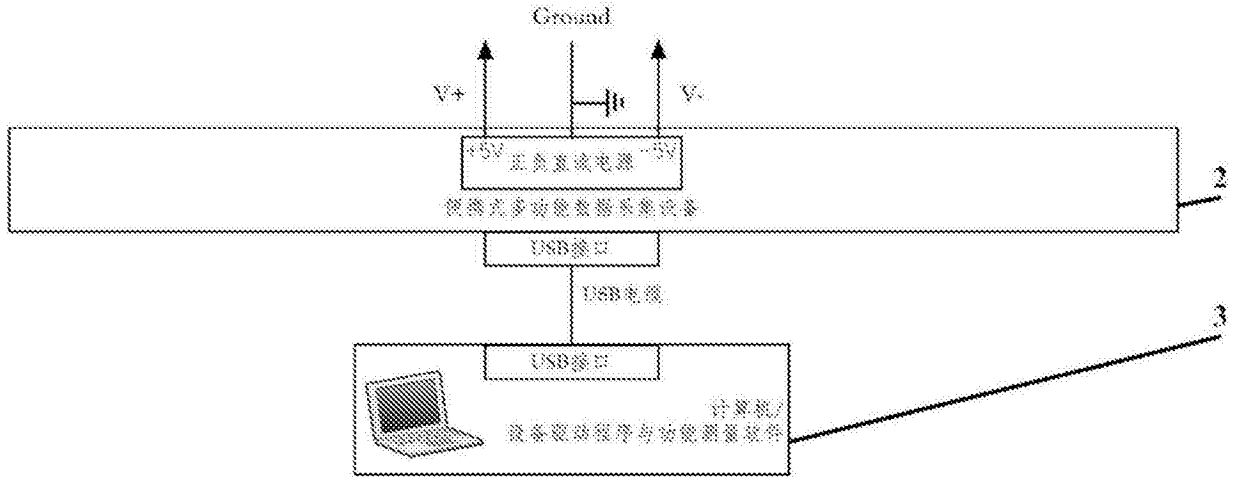


图5

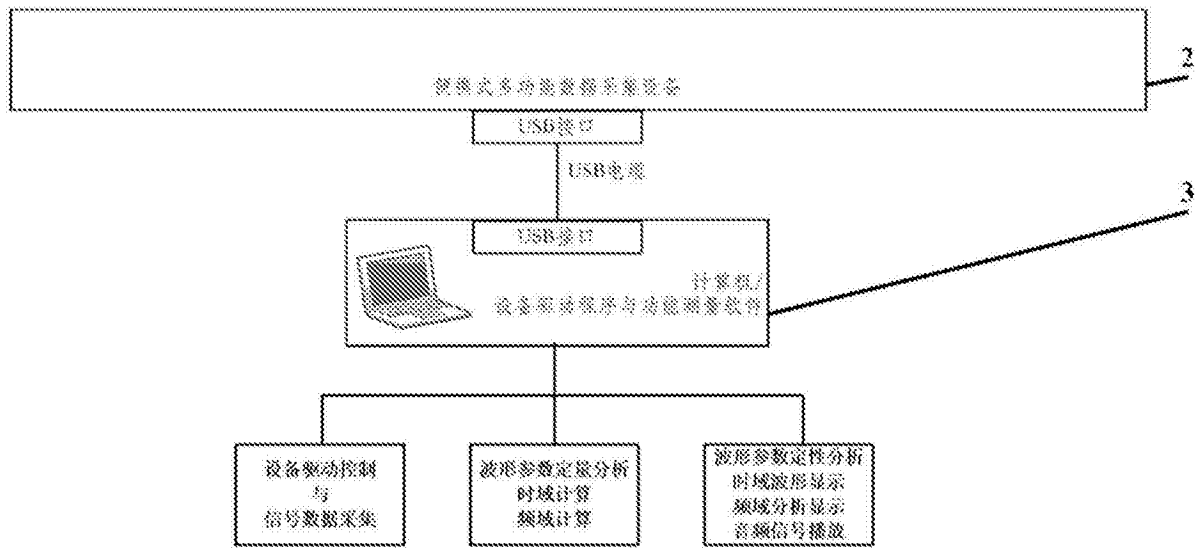


图6

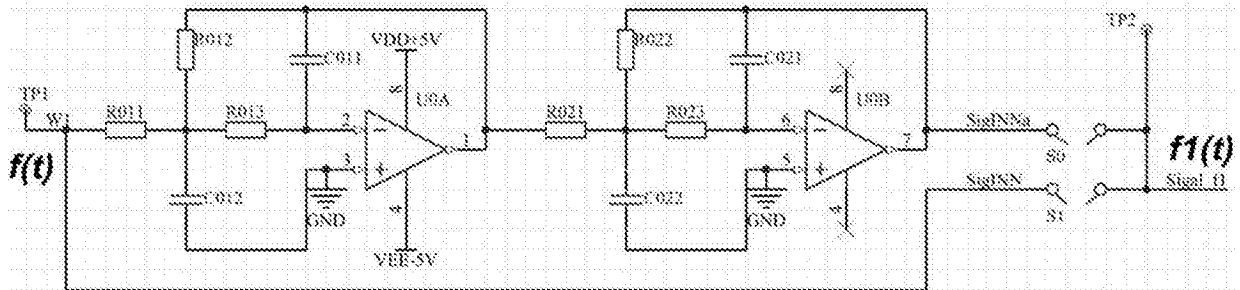


图7



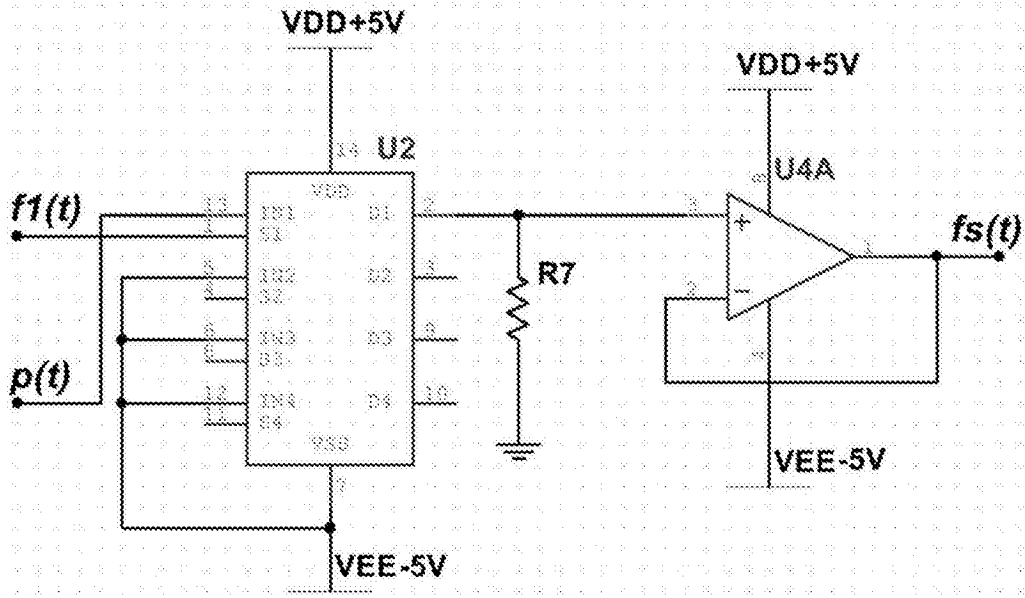


图8

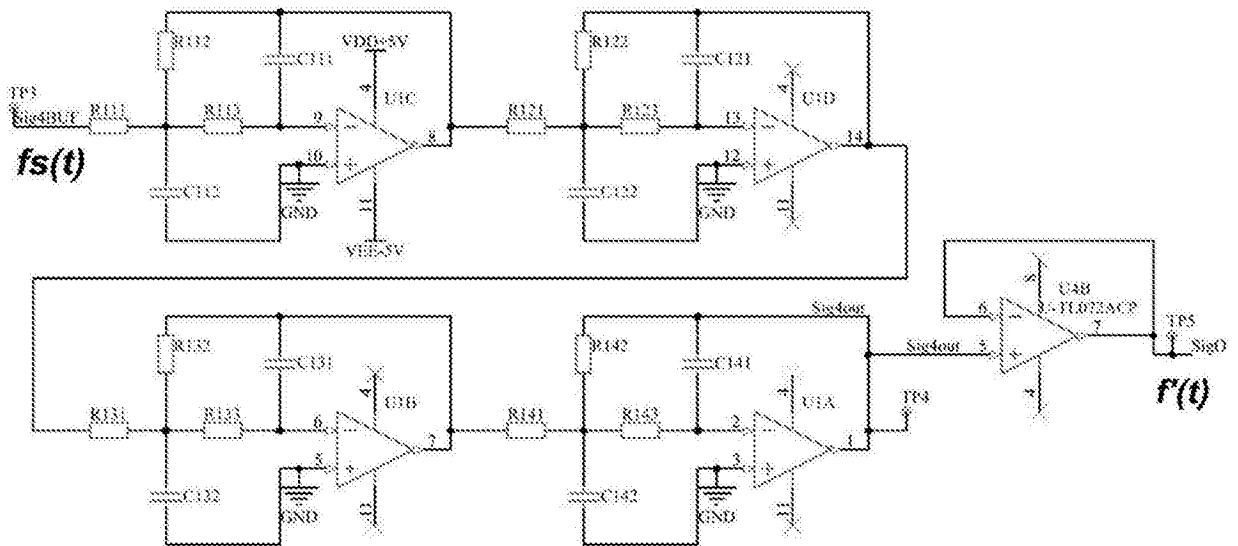


图9

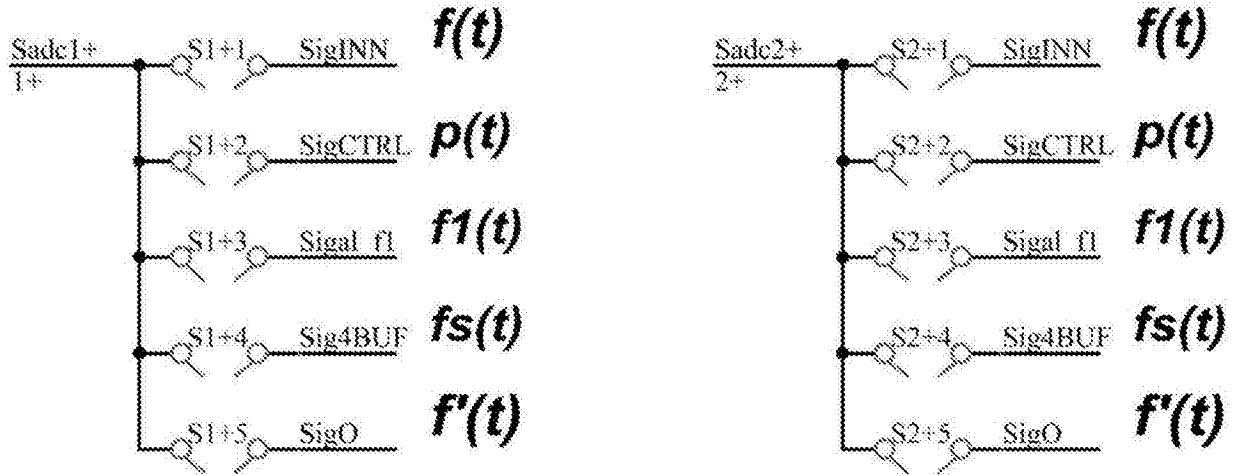


图10

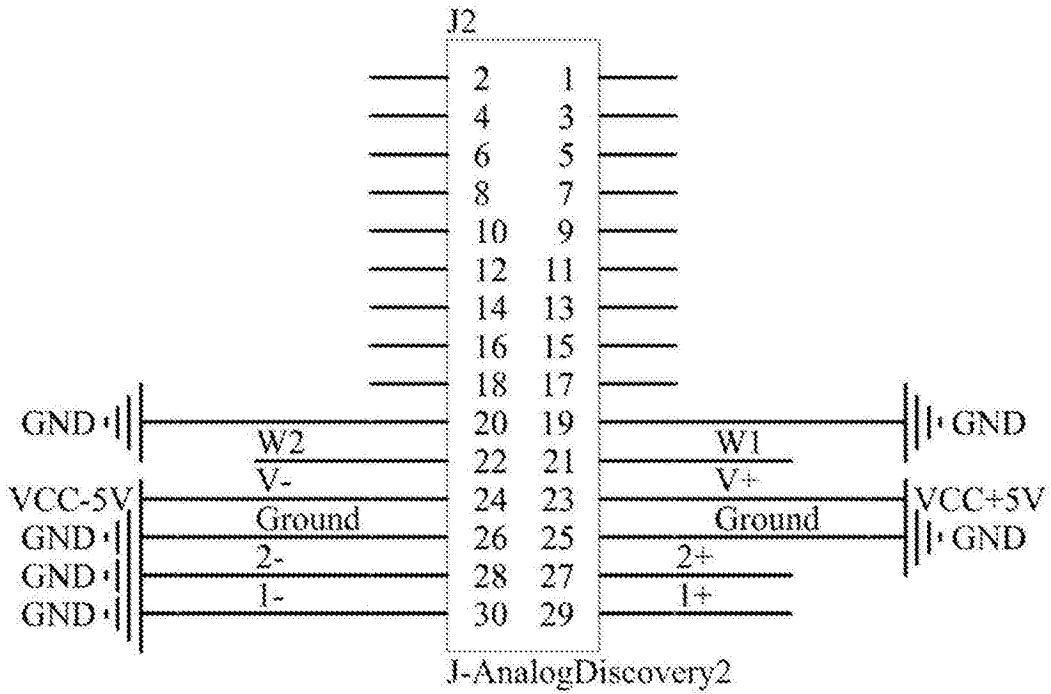


图11

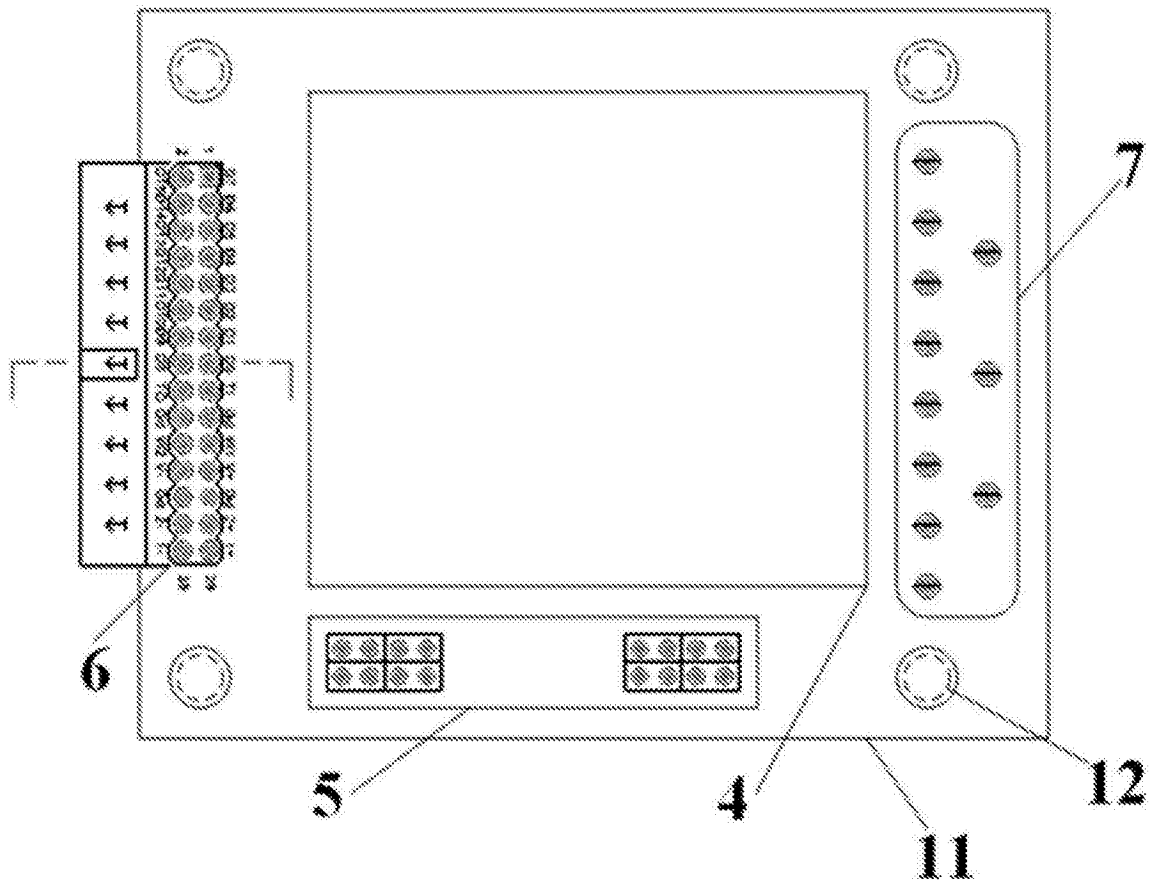


图12

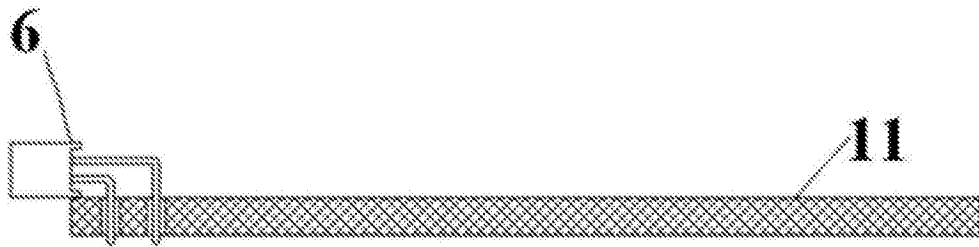


图13

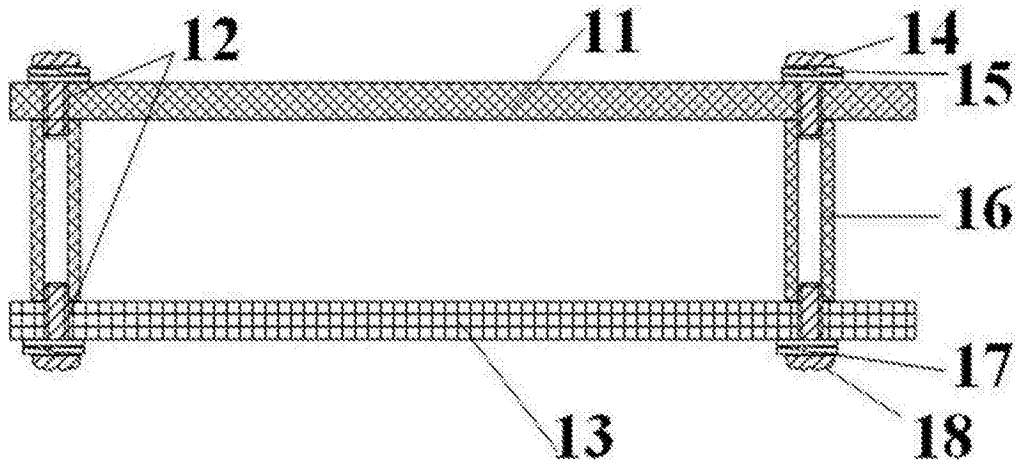


图14