

仪器技术专题实验

虚拟数字示波器设计报告

姓 名：宣劭文

学 号：2010013023

班 级：机测控 01

学 院：机械工程学院

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

修改记录

日期	版本	描述	作者
2013-11-03	1.0	初稿	宣劭文
2013-11-10	1.0	完善技术指标和系统方案	宣劭文
2013-11-20	1.0	添加子 VI 的介绍内容	宣劭文
2013-11-25	1.0	整理文档内容、排版等	宣劭文
2013-12-10	2.0	程序有改动, 修改改动部分内容	宣劭文
2013-12-20	2.0	整理文档内容、排版等	宣劭文
2014-01-06	2.0	增加系统测试内容	宣劭文
2014-01-07	2.0	完善文档	宣劭文

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

目 录

1. 引言	6
1.1 定义和缩写	6
1.2 参考资料	6
2. 设计目标和要求	7
2.1 设计要求	7
2.2 运行环境	8
3. 虚拟数字示波器的技术指标	8
4. 虚拟数字示波器的系统方案	9
5. 虚拟数字示波器面板设计	13
6. 功能模块的设计和实现	14
6.1 AutoScale 设计说明	15
6.1.1 模块说明	15
6.1.2 引脚说明	15
6.1.3 程序说明	15
6.1.4 尚未解决的问题	16
6.2 ChannelConfigure 设计说明	17
6.2.1 模块说明	17
6.2.2 引脚说明	17
6.2.3 程序说明	17
6.2.4 尚未解决的问题	18
6.3 ChannelRefresh 设计说明	19
6.3.1 模块说明	19
6.3.2 引脚说明	19
6.3.3 程序说明	19
6.3.4 尚未解决的问题	20
6.4 CursorsDisplay 设计说明	20
6.4.1 模块说明	20
6.4.2 引脚说明	20
6.4.3 程序说明	20
6.4.4 尚未解决的问题	21
6.5 CursorsRefresh 设计说明	21
6.5.1 模块说明	21
6.5.2 引脚说明	22
6.5.3 程序说明	22
6.6 GlobalVariable 设计说明	22

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

6.6.1 模块说明	22
6.6.2 引脚说明	22
6.6.3 程序说明	23
6.6.4 尚未解决的问题	23
6.7 ReadData 设计说明	23
6.7.1 模块说明	23
6.7.2 引脚说明	24
6.7.3 程序说明	24
6.7.4 尚未解决的问题	26
6.8 SetMeasRange 设计说明	26
6.8.1 模块说明	26
6.8.2 引脚说明	27
6.8.3 程序说明	27
6.9 SetSampleRate 设计说明	28
6.9.1 模块说明	28
6.9.2 引脚说明	28
6.9.3 程序说明	29
6.10 SignalDisplay 设计说明	31
6.10.1 模块说明	31
6.10.2 引脚说明	31
6.10.3 程序说明	31
6.11 SignalMeas 设计说明	32
6.11.1 模块说明	32
6.11.2 引脚说明	32
6.11.3 程序说明	33
6.12 SingleChannelDisplay 设计说明	33
6.12.1 模块说明	33
6.12.2 引脚说明	33
6.12.3 程序说明	34
6.13 TriggerConfigure 设计说明	34
6.13.1 模块说明	34
6.13.2 引脚说明	35
6.13.3 程序说明	35
6.14 TriggerRefresh 设计说明	36
6.14.1 模块说明	36
6.14.2 引脚说明	36
6.14.3 程序说明	36
6.15 XScaleConfigure 设计说明	37
6.15.1 模块说明	37
6.15.2 引脚说明	37
6.15.3 程序说明	38
7. 系统使用说明	38

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

8. 实验结果	42
9. 总结	50

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

虚拟数字示波器

1. 引言

1.1 定义和缩写

表 1-1 定义及缩写说明表

术语及缩写	说明
虚拟仪器（Virtual Instrument）	虚拟仪器是指以通用计算机作为系统控件器、由软件来实现人机交互和大部分仪器功能的一种计算机仪器系统
DAQ	Data Acquisition 的缩写，即数据采集
物理通道	DAQ 卡上实际存在的输入输出接口
耦合	分成两种方式：DC（直流耦合）和 AC（交流耦合），DC 下直流、交流分量均能通过，而 AC 下仅交流信号通过
分辨率（Resolution）	离散信号中时间或者幅值的最小差值
采样频率（Sample Rate）	对信号进行离散测量时每秒测量的点数
触发（Trigger）	实现采集或者测量开始的控制
软件触发	即立即触发，系统运行时即开始测量
硬件触发	当触发源信号满足条件时，系统才开始进行测量的一种触发方式
游标（Cursor）	用于测量、显示波形上某测点的时间及幅值信息
测量范围（Measure Range）	硬件 ADC 量化范围，由于 ADC 的位宽是一定的，通过设置测量范围，可以有效地利用位宽对大/小信号进行测量
术语及缩写	说明
虚拟仪器（Virtual Instrument）	虚拟仪器是指以通用计算机作为系统控件器、由软件来实现人机交互和大部分仪器功能的一种计算机仪器系统

1.2 参考资料

表 1-2 参考资料表

参考文件	发表日期	出版单位
《LabVIEW 8.20 程序设计从入门到精通》	2007 年 7 月	清华大学出版社
《虚拟仪器技术规范与系统集成》	2003 年 8 月	清华大学出版社 北方交通大学出版社

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

2. 设计目标和要求

基于多功能数字采集卡 NI ELVIS II，以配套示波器软件为模板，配合信号发生器，设计开发数字虚拟示波器，能够实现通道控制、时基触发、数据采集、数据处理、波形显示、参数测量、光标测量等功能。

同时该示波器应具有良好的错误机制、良好的用户界面、易于掌握的使用方法，程序可读性强，便于后期维护。

2.1 设计要求

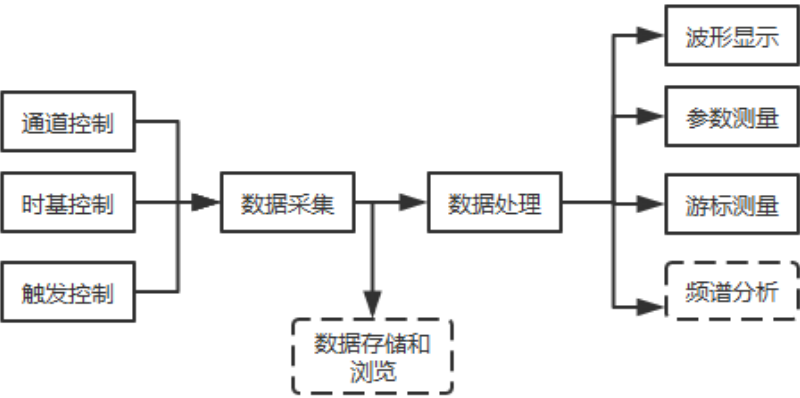


图 2-1 系统功能框图

示波器的功能框图如图 2-1 所示，其中实线框为已实现的功能，虚线框中的为待实现的功能。表 2-1 为功能的具体说明。

表 2-1 功能说明表

功能	说明
通道控制	能实现单双通道采集； 能够单独控制每个通道的显示、耦合方式、测量范围、直接偏置等；
时基控制	能够设置采样频率； 能够调节波形图的 X 轴范围；
触发控制	触发方式包括立即触发、数字触发、边沿触发；
数据采集/处理	数据采集/处理分开，保证程序运行效率；
波形显示	色彩、线条粗细等应该人性化，防止视觉疲劳；
参数测量	能够测量出波形的频率，有效值，周期等参数；
光标显示/测量	充分利用光标的指示和测量功能；
数据存储和浏览	能够根据用户需要保存/浏览不同时间段的波形数据；
频谱分析	能够对波形进行一些简单的频谱分析，如求功频谱；

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

2.2 运行环境

表 2-2 系统运行环境

硬件环境	PC、NI ELVIS II 教学硬件采集卡
软件环境	Windows 操作系统、LabVIEW、NI-DAQ 驱动程序

3. 虚拟数字示波器的技术指标

表 3-1 技术指标表

项目	性能指标
测量通道	单/双通道
耦合方式	AC/DC
ADC 分辨率	10 bits
测量范围	$\pm 0.1, \pm 0.2, \pm 0.5 \text{ V}$ $\pm 1.0, \pm 2.0, \pm 5.0, \pm 10 \text{ V}$
最大测量范围	$-11 \sim +11 \text{ V}$
最大采样频率	1.25 MS/s (单通道测量) 500 KS/s (双通道测量)
直流偏置	-5 ~ +5 格
触发方式	立即触发、数字触发、边沿触发
Scale Volts (Div)	10, 20, 50, 100, 200, 500 mV 1, 2, 5, 10, 20 V
Time (Div)	5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 μs 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 ms

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

4. 虚拟数字示波器的系统方案

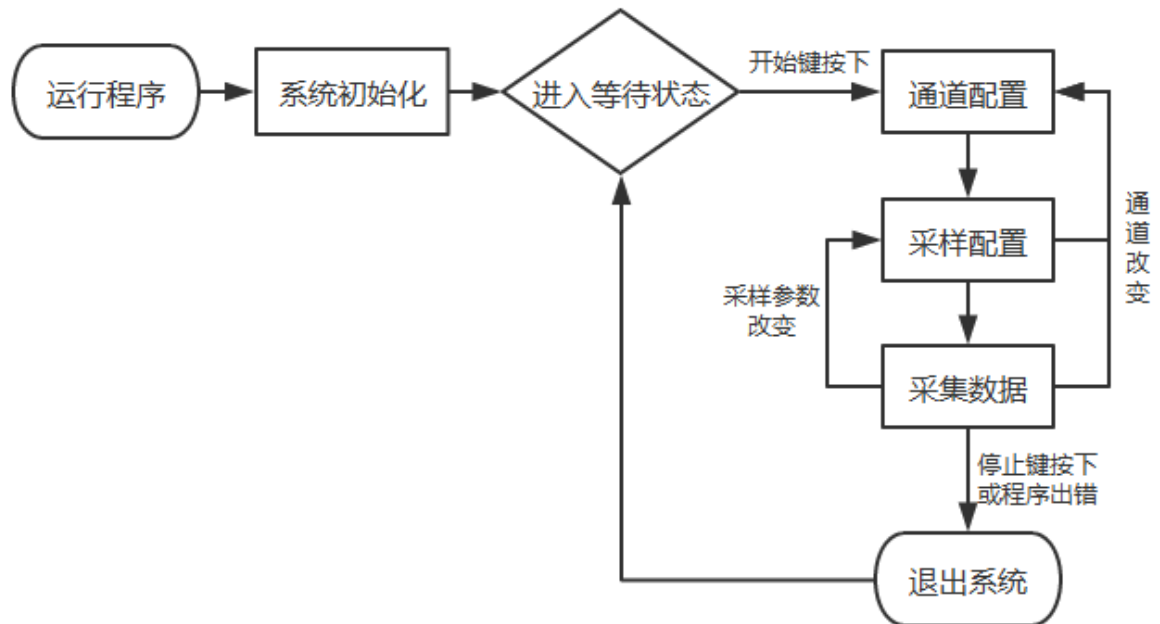


图 4-1 系统工作流程图

图 4-1 所示为整个系统的工作流程图，程序运行后进行的是系统的初始化工作，在这一步主要完成输入/输出控件的初值设置，以及它们的外观设置。

之后，系统进入“等待状态”，在这期间，用户可以随意更改控件的值，程序会根据用户操作做出不同的响应。开始键按下之后，系统按照“通道配置→采样配置→采集数据”一步步工作。当用户在前面板上的操作引起采样参数改变或者通道改变时，系统会跳出采集过程，重新从“采样配置”或者“通道配置”开始工作。

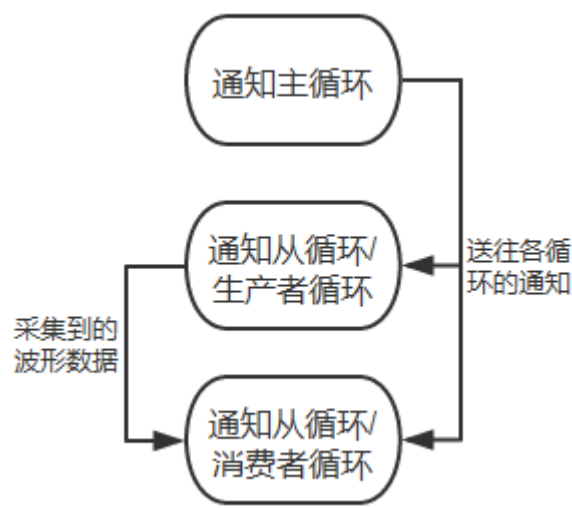


图 4-2 各循环工作示意图

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

考虑到程序运行的效率问题，数据采集/处理分别在两个循环中进行，即采用生产者消费者模式进行程序设计。同时考虑到各个循环之间的同步问题以及 UI 事件的处理，程序中加入了主从结构，各循环工作示意图如图 4-2 所示。

从图中可以看出，程序分为三个主循环，其中一个是不知主循环，负责处理 UI 事件，对用户的操作做出反应。

其余两个从循环根据接收到的通知处理不同的程序。它们又构成生产者/消费者结构，生产者循环负责控件硬件进行采集数据，然后从缓冲区中读取数据并放入队列中，而消费者则是从队列中读取数据，进行测量显示等工作。

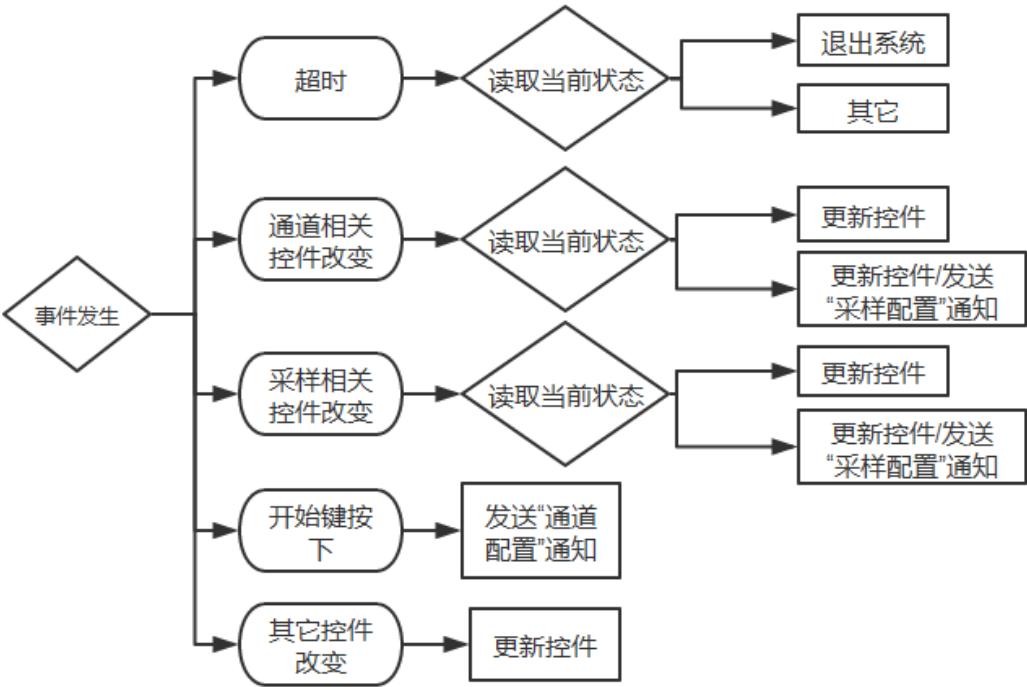


图 4-3 通知主循环工作示意图

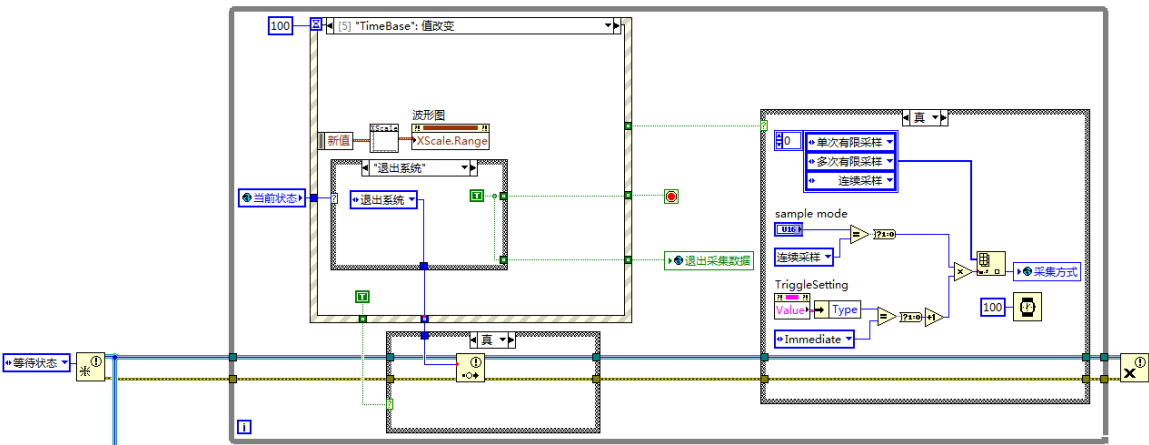


图 4-4 通知主循环程序框图

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

通知主循环完成的工作如图 4-3 所示。它由包含一系列事件的事件结构组成，程序框图如图 4-4 所示。

生产者循环的工作流程图如图 4-5 所示。循环首先读取通知，若为等待状态，程序继续等待，不执行任何有关采集数据的操作。若通知为退出系统，则该循环结束。

当通知为通道配置/采样配置时，程序从通道配置/采样配置处开始逐步执行程序。“通道配置→采样配置→采集数据”过程通过层叠顺序结构实现，如图 4-6 所示。第 0 帧和第 1 帧内是一个 Case 结构。第 1 帧为例，先判断通知是否为“通道配置”或者“采样配置”，若是则执行“采样配置”的程序，否则直接进入下一帧。

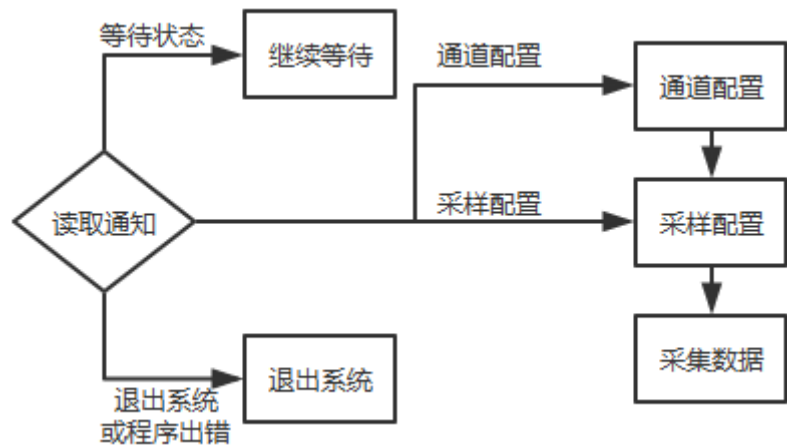


图 4-5 生产者循环流程图

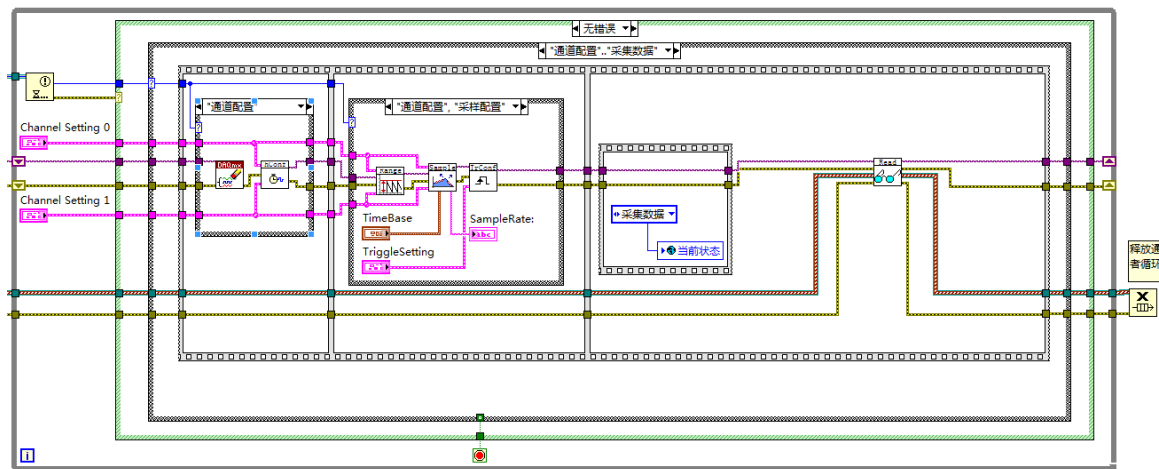


图 4-6 生产者循环程序框图

消费者循环则负责将队列中的数据读取出来，并经过系统的测量及相关运算，将波形显示。其程序框图如图 4-7、4-8 所示。

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

5. 虚拟数字示波器面板设计

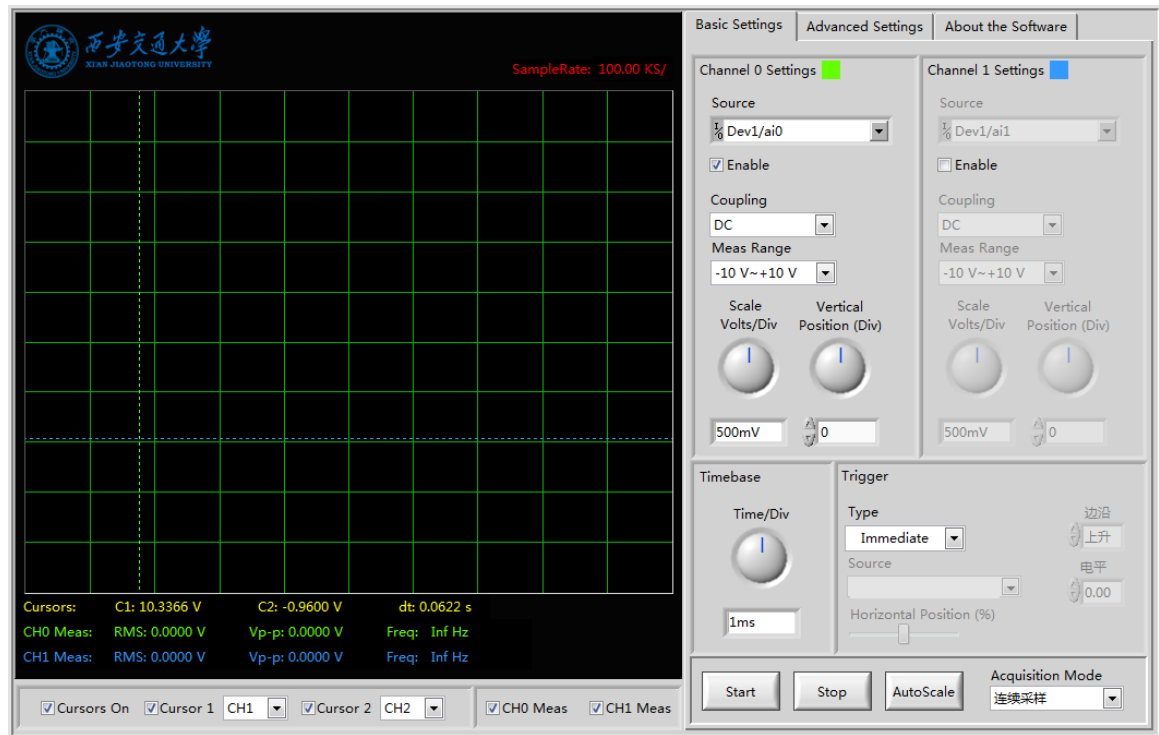


图 5-1 虚拟数字示波器面板

本程序面板设计是基于 NI 提供的示波器进行设计的，与传统的示波器的操作面板类似，符合用户操作习惯。

其中面板左侧为波形及测量显示区域，用于显示波形及测量结果，波形下方是几个控制游标和测量结果显示与否的控件。

面板右侧为用户的操作区域，总共分为三个选项卡，分别是“Basic Settings”、“Advanced Settings”、“About the Software”。在“Basic Settings”中，用户可以进行基本的采样设置，包括通道、时基、触发、采样方式等。

另外两个选项卡还没有添加内容，预期在“Advanced Settings”内可以进行对波形进行加窗、求频谱等操作。“About the Software”则是说明该程序的设计者及一些基本的使用方法。

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

6. 功能模块的设计和实现

在整个程序设计中使用了大量的子 VI 以及全局变量，现将它们罗列如表 4-1 所示。

表 6-1 系统所用子 VI 列表

图标	名称	功能
	AutoScale	根据波形自动调节时基和每小格电压
	ChannelConfigure	配置通道
	ChannelRefresh	更新通道簇中元素的禁用与否
	CursorDisplay	进行游标显示的相关操作
	CursorRefresh	更新游标簇中元素的禁用与否
	GlobalVariable	全局变量
	ReadData	读取数据并放入队列中
	SetMeasRange	设置采样范围
	SetSamplerate	设置采样频率
	SignalDisplay	显示波形
	SignalMeas	测量波形
	SingleChannelDisplay	进行单通道波形显示
	TriggerConf	触发配置
	TriggerRefresh	更新触发簇中元素的禁用与否
	XScaleConf	设置波形图表的横坐标

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

6.1 AutoScale 设计说明

6.1.1 模块说明

该程序为为可重入的子 VI 程序，当 AutoScale 按钮按下时会触发相应的事件，从而被调用。设计该程序，用于实现自动设置时基和 Scale Volts (Div)，使波形图上至少能够显示一个周期的波形，且在 Y 轴方向上波形占据半个波形图的空间，从而优化显示效果，也方便后续测量。

6.1.2 引脚说明

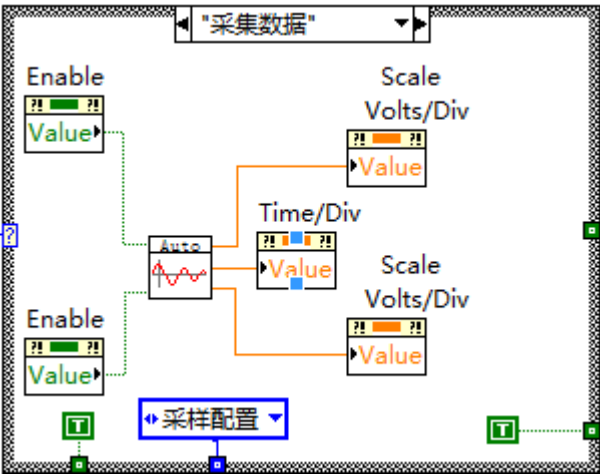


图 6.1-1 AutoScale 引脚图

图 6.1-1 中所示子 VI 为 AutoScale，它有 5 个引脚，其中 2 个输入，3 个输出，具体说明如表 6.1-1 所示。

表 6.1-1 AutoScale 引脚说明

	引脚名称	数据类型	数据来源/去向
输入项	Channel 0 Enable	Bool	Channel Setting 0.Enable
	Channel 1 Enable	Bool	Channel Setting 1.Enable
输出项	Scale Volts/Div 0	DBL	Channel Setting 0. Scale Volts/Div
	Scale Volts/Div 1	DBL	Channel Setting 1. Scale Volts/Div
	Time/Div	DBL	TimeBase.Time/Div

6.1.3 程序说明

图 6.1-2 所示为该子 VI 程序框图，从图中可以看出，程序分为三个 Case 结构，其中上下两个 Case 结构分别用于计算适合两通道信号的 Scale Volts/Div 值，中间的 Case 结构用于计算合适的 Time/Div 值。

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

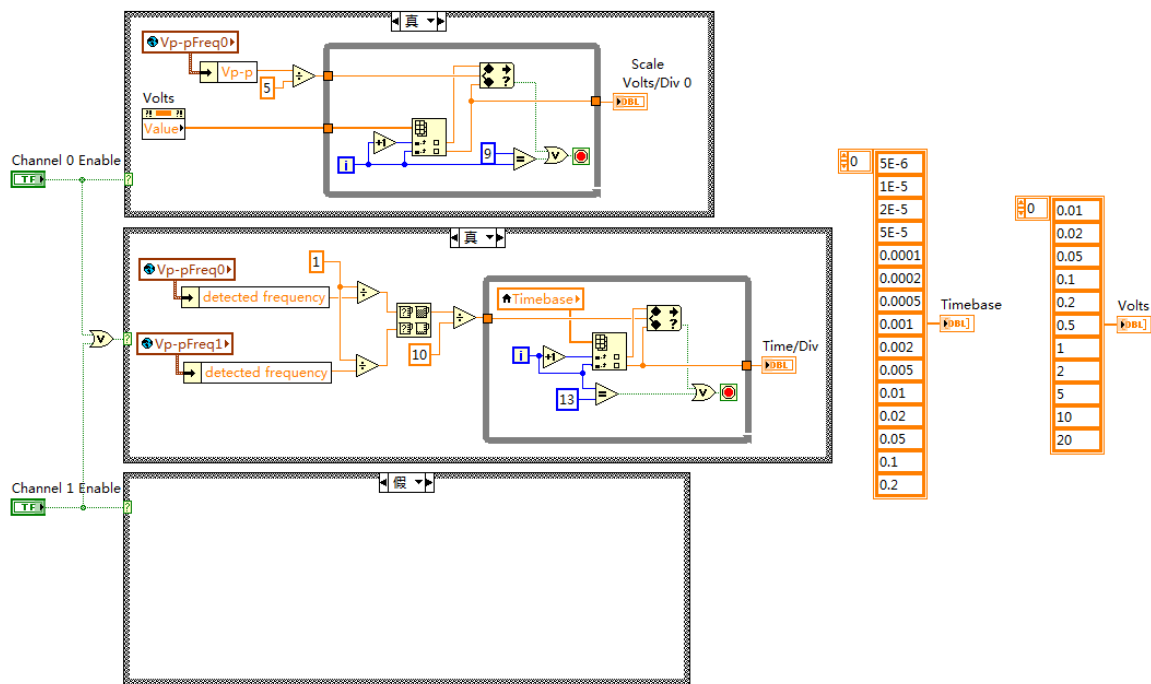


图 6.1-2 AutoScale 程序框图

图 6.1-3 为图 6.1-2 中最上方的 Case 结构程序图，当 Channel 0 Enable 为 True 时，通道 1 信号的峰峰值（Vp-p）的 1/5 与 Volts 数组中的数组按次序进行比较，当找到合适的数值或者把 Volts 中数值比较完时，循环停止，将此时比较的两个数中较小的一项输出。

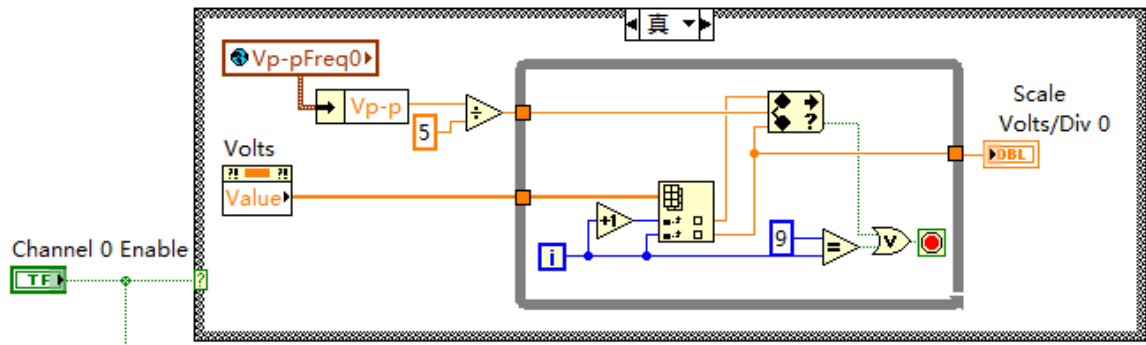


图 6.1-3 AutoScale 中第一个 Case 结构

图 6.1-4 为图 6.1-2 中中间的 Case 结构程序图，当 Channel 0 Enable 和 Channel 1 Enable 中任一项为 True 时，执行 Case 中程序。程序对两通道的周期进行比较，用最大的一项和 Timebase 中的数值逐一进行比较，比较过程与图 6.1-3 程序一致。

6.1.4 尚未解决的问题

本程序实现了 Scale Volts/Div 和 Time/Div 的自动调节，应该再加一个自动调节测量范围的功能，最大限度地利用 ADC 的采样位宽。

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

6.2 ChannelConfigure 设计说明

6.2.1 模块说明

该模块为可重入的子 VI 程序，程序沿错误簇顺序执行。该模块在生产者循环中的通道配置环节被调用，程序根据用户设定的物理通道创建测量任务，并将任务和错误簇往下一级输出。

6.2.2 引脚说明

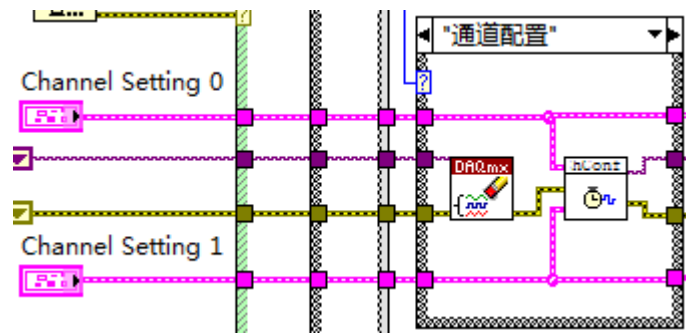


图 6.2-1 ChannelConfigure 引脚图

图 6.2-1 为 ChannelConfigure 的引脚图，如图所示，该子 VI 共有 5 个引脚，其中 3 个输入，2 个输出，它们的说明如表 6.2-1 所示。

表 6.2-1 ChannelConfigure 引脚说明

	引脚名称	数据类型	数据来源/去向
输入项	Channel Setting 0	控件簇	Channel Setting 0
	Channel Setting 1	控件簇	Channel Setting 1
	Error In	错误簇	DAQmx Clear Task 错误输出
输出项	Task Out	DAQ I/O	下一级任务输入
	Error Out	错误簇	下一级错误输入

6.2.3 程序说明

ChannelConfigure 程序如图 6.2-2 所示，将 Channel Setting 0 和 Channel Setting 1 的 Enable 选项组成布尔数组后转换为数值接入 Case 结构，不同的 Case 执行不同的创建通道程序，然后将任务及错误簇输出。图 6.2-3，图 6.2-4 分别为仅 Channel 0 或者 Channel 1 可用时的程序框图。

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

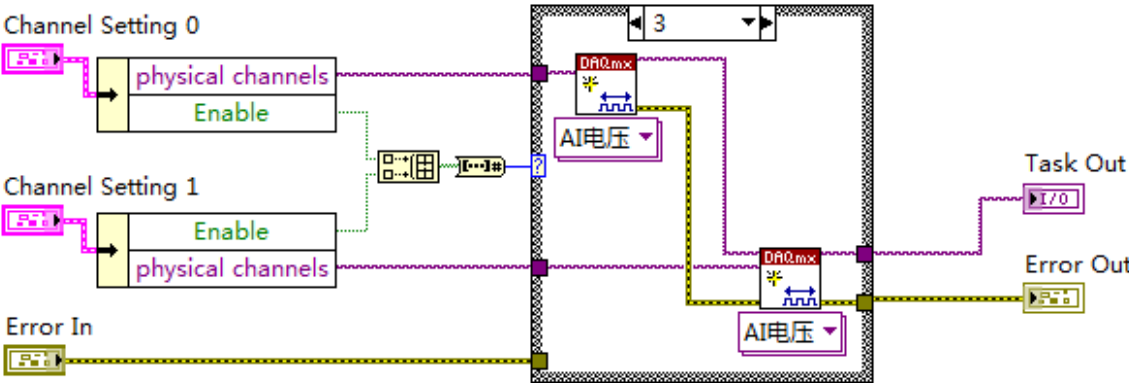


图 6.2-2 ChannelConfigure 程序框图（双通道）

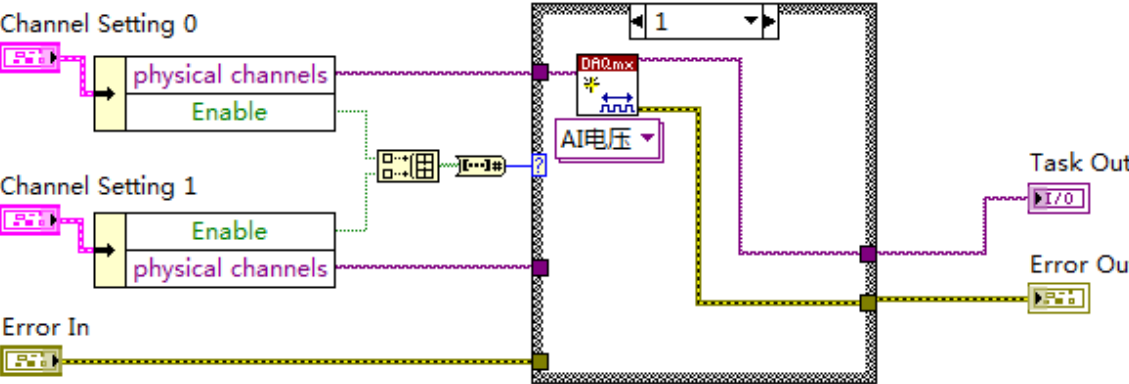


图 6.2-2 ChannelConfigure 程序框图（Channel 0）

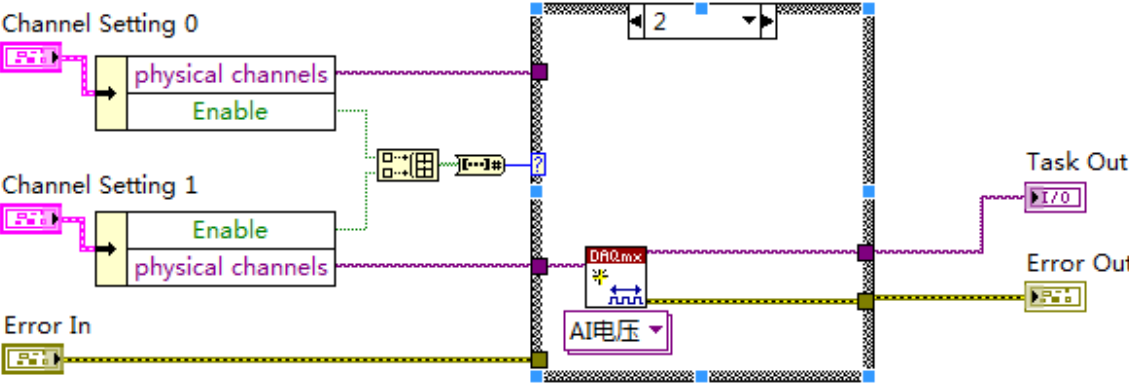


图 6.2-3 ChannelConfigure 程序框图（Channel 1）

6.2.4 尚未解决的问题

如图 6.2-1 中所示，在通道配置环节中，在该子 VI 前有一个 DAQmx Clear Task 的程序，为了使程序更加简洁，可以将其包含进 ChannelConfigure 子 VI 中。

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

6.3 ChannelRefresh 设计说明

6.3.1 模块说明

该程序为可重入的子 VI，当 Channel Setting 簇中 Enable 项的值改变时会触发相应事件，从而调用该子 VI。程序通过该子 VI 实现根据 Enable 的值来改变 Channel Setting 簇中其它控件的禁用属性。

6.3.2 引脚说明

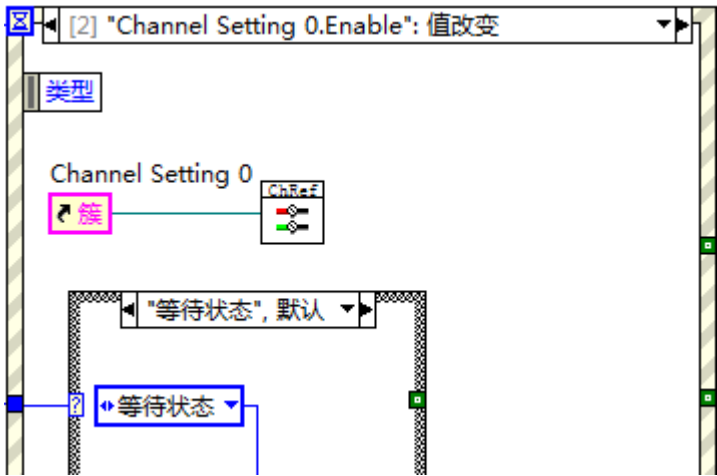


图 6.3-1 ChannelRefresh 引脚图

如图 6.3-1 所示，该子 VI 仅有一个输入引脚，输入类型为 Channel Setting 簇的引用。

6.3.3 程序说明

图 6.3-2 所示为该子 VI 的程序框图，程序通过引用获取 Enable 项的值，并输入一个 Case 结构，当该值为 True 时，给其余控件的禁用属性赋值为“Enabled”，否则赋值为“Disabled and Grayed Out”

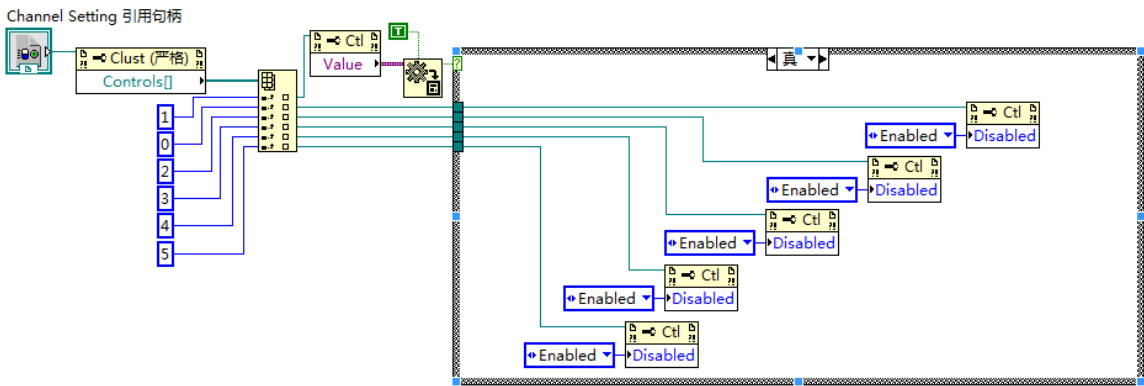


图 6.3-2 ChannelRefresh 程序框图

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

6.3.4 尚未解决的问题

在测试过程中，子 VI 功能正常，目前没有发现问题，有待进一步测试。

6.4 CursorsDisplay 设计说明

6.4.1 模块说明

该程序用于在指定位置处显示游标，并且对测量游标所测点对应的坐标进行运算，将运算结果转换成字符串形式，并输出。系统的消费者循环每隔一段时间就调用该程序，同时当 Cursors 簇的值改变时，也会调用该子 VI。

6.4.2 引脚说明

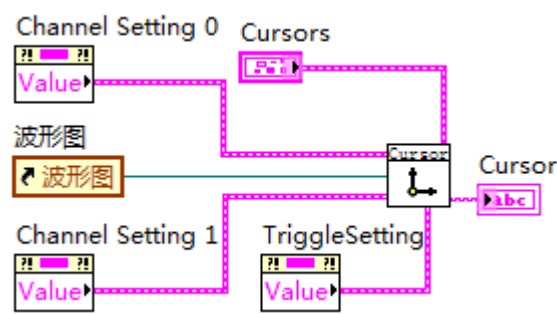


图 6.4-1 CursorsDisplay 引脚图

图 6.4-1 所示为该子 VI 的引脚示意图，从图中可以看出它总共有 6 个引脚，其中 5 个为输入，1 个为输出引脚。

表 6.4-1 对各个引脚的名称及用途进行了说明。

表 6.4-1 CursorsDisplay 引脚说明

	引脚名称	数据类型	数据来源/去向
输入项	Channel Setting 0	控件簇	Channel Setting 0
	Channel Setting 1	控件簇	Channel Setting 1
	波形图引用句柄	控件引用句柄	波形图引用
	TrigglerSetting	控件簇	TrigglerSetting
	Cursors	控件簇	Cursors
输出项	Cursor	字符串	Cursor

6.4.3 程序说明

程序分成两大部分，其中一部分用于指示游标的显示，控制指示游标的显示与否以及停留位置，如图 6.4-2 所示。另外一部分则是根据测量游标的坐标等，求出该点对应的时间和幅值，并将结果以字符串输出，如图 6.4-3 所示。

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

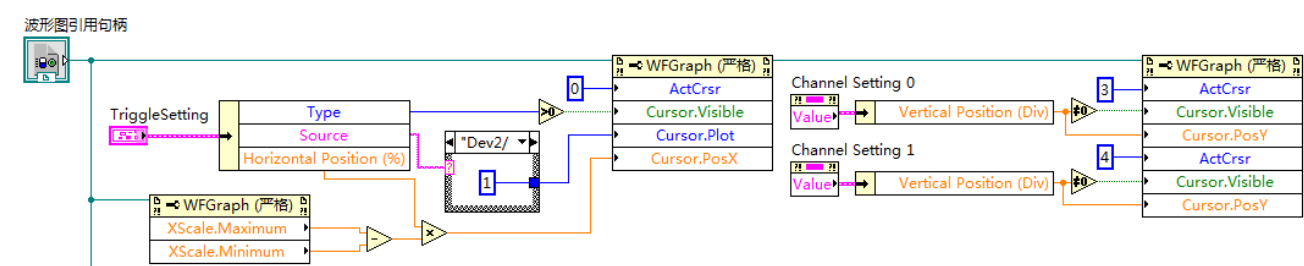


图 6.4-2 指示游标的设置

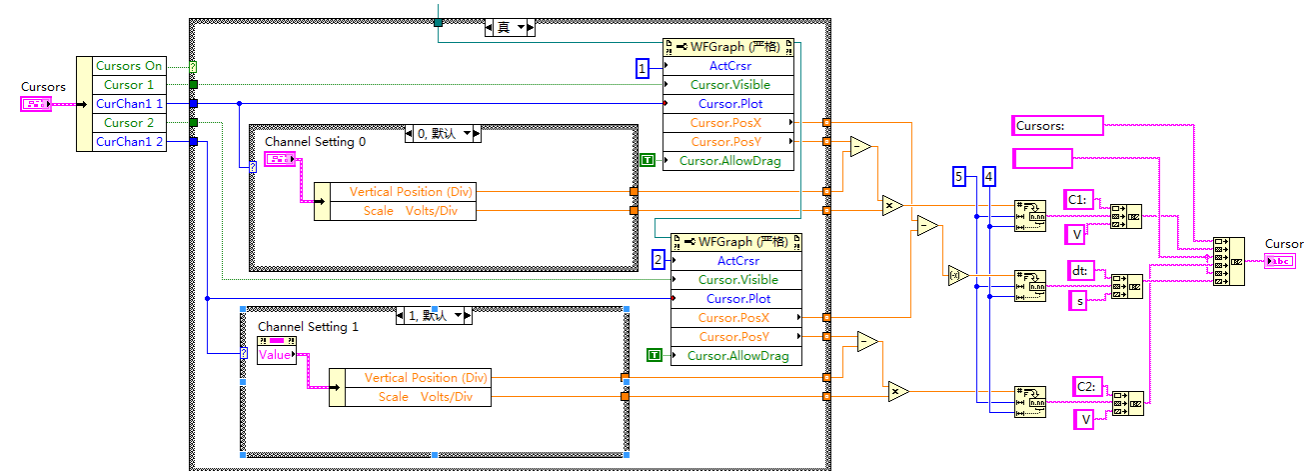


图 6.4-3 测量游标的读取及测量结果显示

如图 6.4-2 所示，当触发类型不为立即触发时，光标 0 可见，且其横坐标位置由波形图的横坐标范围和 Horizontal Position 共同决定。当 Channel Setting 0 的 Vertical Position 不为 0 时，光标 3 可见，且光标 Y 坐标由 Vertical Position 决定。光标 4 同理。

由测量游标的坐标求实际波形数据时，需要减去给波形添加的直流偏置，然后再与对应的 Scale Volts 相乘得到，如图 6.4-3 所示。

6.4.4 尚未解决的问题

子 VI 输入项较多，而且程序比较庞大，可以将其分成两个子 VI。图 6.4-2 中由触发源来决定光标跟踪曲线这一部分尚不完善，在更换采集卡或者更换 PC 机后，需要手动更改 Case 结构，由于时间有限，尚未找到合适的解决方法。

6.5 CursorsRefresh 设计说明

6.5.1 模块说明

当 Cursors 簇中控件更改时，该程序被调用，主要功能是针对不同的用户操作做出响应，更改控件的属性。

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

6.5.2 引脚说明

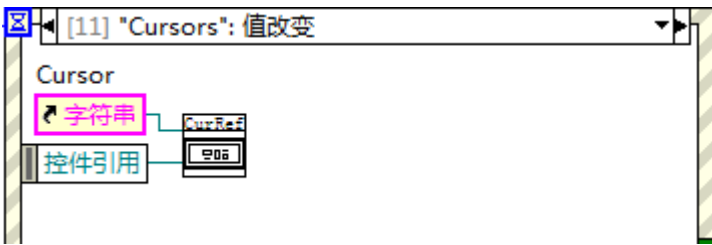


图 6.5-1 CursorsRefresh 引脚图

图 6.5-1 所示为该子 VI 的引脚示意图，从图中可以看出它总共有 2 个引脚，均为输入引脚，一个接 Cursors 控件簇引用，一个接 Cursor 字符串引用。

6.5.3 程序说明

程序框图如图 6.5-2 所示。程序获取控件 0，1，3 的值，将它们转换成数值后输入 Case 结构，不同的数值条件下，对不同的控件设置的禁用属性也不同。

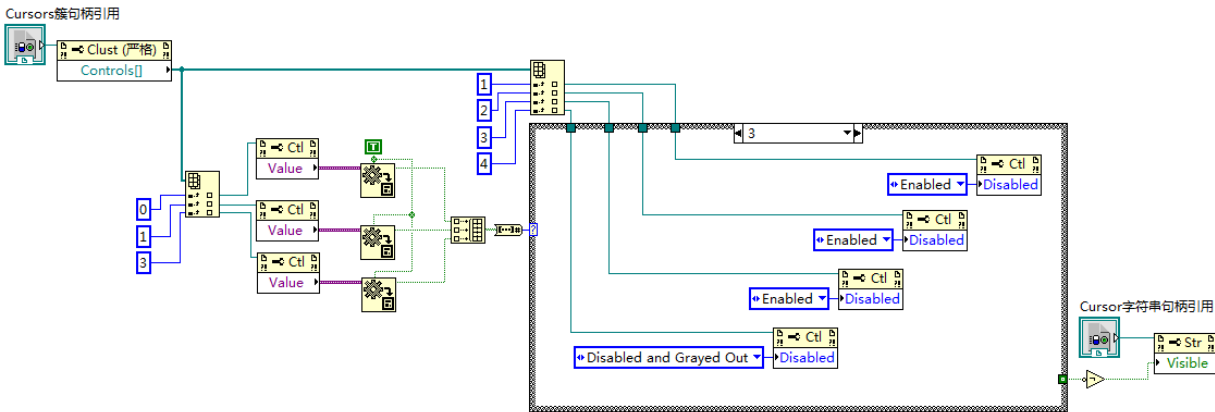


图 6.5-2 CursorsRefresh 程序框图

6.6 GlobalVariable 设计说明

6.6.1 模块说明

该子 VI 为全局变量，系统中所有子 VI 均可以调用并共享数据。

6.6.2 引脚说明

该子 VI 中仅含有前面板，不含程序，所以没有引脚。

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

6.6.3 程序说明

程序所含控件如图 6.6-1 所示，程序包含“显示点数”、“退出采集数据”、“Vp-pFreq0”、“Vp-pFreq1”、“采集方式”、“当前状态”共六个共享变量。

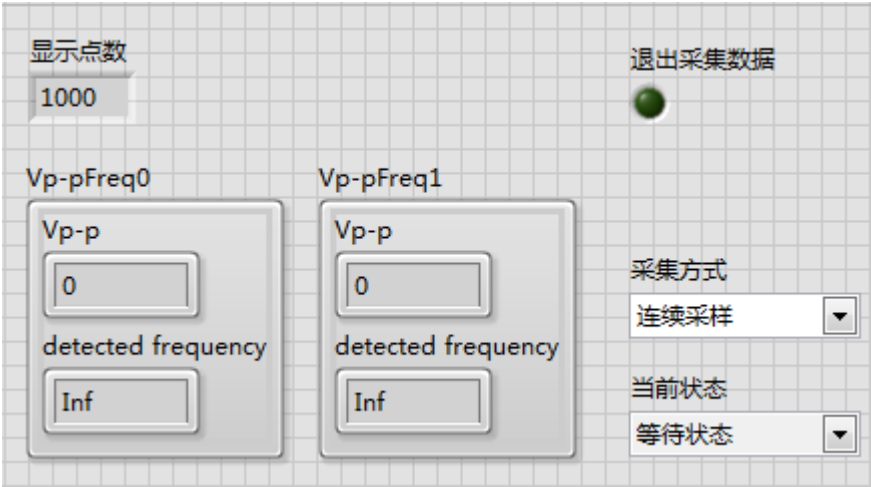


图 6.6-1

其中“显示点数”代表波形图一次显示的数据点数，也是生产者循环中一次读取的数据点数。“退出采集数据”的数据类型是布尔型，生产者循环中不断读取数据时用于判断采集是否需要中断。“Vp-pFreq0”、“Vp-pFreq1”是两个数组簇，分别存放通道 0，通道 1 波形的峰峰值和频率。

“采集方式”是枚举类型，共有 3 种采集方式：“单次有限采样”、“多次有限采样”、“连续采样”。当 Acquisition Mode 为“有限采样”时，采集方式为“单次有限采样”；当 Acquisition Mode 为“连续采样”且无触发时，采集方式为“连续采样”；其余情况为“多次有限采样”。

“当前状态”也是枚举类型，共有 3 种状态：“等待状态”、“采集数据”、“退出系统”。分别对应于不同的程序状态。

6.6.4 尚未解决的问题

系统会为所有调用全局变量的程序分配缓冲区，当多个程序频繁对全局变量进行读取操作时，系统运行效率会有所下降。在本系统中，没有考虑这部分影响，没有具体的测试结果。该全局变量中，“退出采集数据”的设置虽然在测试中没有出现问题，但是存在这种可能性：采集环节还没来得及读取它的值，它就被新值覆盖了，所以有可能会丢失用户的操作信息。

6.7 ReadData 设计说明

6.7.1 模块说明

该程序在生产者循环中的采集数据环节会被调用，用于按照已经创建并配置好的任务执行数据采集工作，并放入队列中。

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

6.7.2 引脚说明

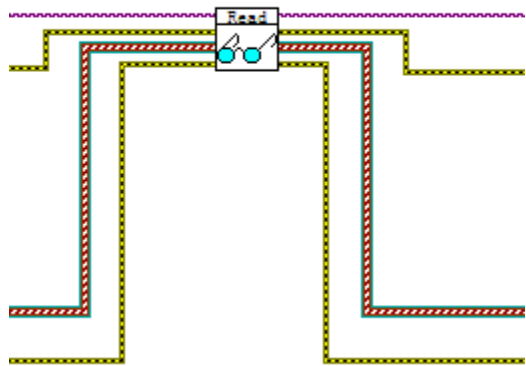


图 6.7-1 ReadData 引脚图

如图 6.7-1 所示，该子 VI 共有 8 个引脚，其中 4 个输入，4 个输出，表 6.7-1 对各个引脚的名称和来源/去向进行了说明。

表 6.7-1 ReadData 引脚说明

	引脚名称	数据类型	数据来源/去向
输入项	Task In	DAQ I/O	上一级的任务输出
	错误输入（采集）	错误簇	上一级的错误输出（DAQ）
	队列输入	队列输入	上一级的队列输出
	错误输入（队列）	错误簇	上一级的错误输出（队列）
输出项	Task Out	DAQ I/O	下一级的任务输入
	错误输出（采集）	错误簇	下一级的错误输入（DAQ）
	队列输出	队列输出	下一级的队列输入
	错误输出（队列）	错误簇	下一级的错误输入（队列）

6.7.3 程序说明

程序框图如图 6.7-2 所示，开始采集数据前将缓冲区设置为显示点数的 3 倍，然后注册事件，当采集的数据足够一次显示时，触发事件，从缓冲区中读取数据放入队列中。

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

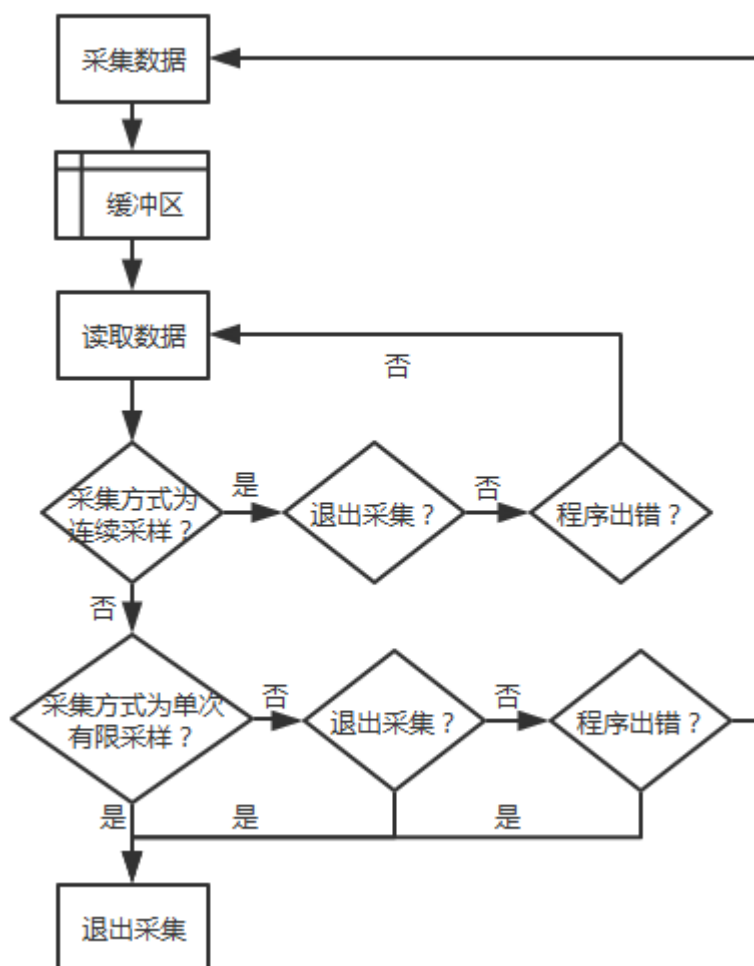


图 6.7-3 ReadData 程序流程图

6.7.4 尚未解决的问题

经测试，该程序运行正常。但是事件超时的时间并不是通过计算或者严谨的推理而得，所以把事件超时的时间定为 10ms 纯粹是经验性的设定，经实验检验没有出错的一个数值。这个超时时间应该在不同的采样率下也是不同的，如果时间充足，需要把这一步完善。

6.8 SetMeasRange 设计说明

6.8.1 模块说明

在生产者循环的采样配置环节中，该模块会被调用，用于实现测量范围的设置。与通道配置的子 VI 类似，该模块会根据通道的有效情况及设定的每个通道的测量范围进行设置。

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

6.8.2 引脚说明

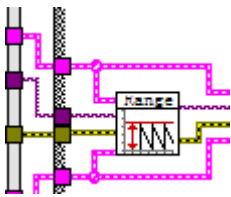


图 6.8-1

该子 VI 引脚如图 6.8-1 所示，共有 4 路输入，2 路输出。具体见表 6.8-2。

表 6.8-2

	引脚名称	数据类型	数据来源/去向
输入项	Task In	DAQ I/O	上一级的任务输出
	Error In	错误簇	上一级的错误输出
	Channel Setting 0	控件簇	Channel Setting 0
	Channel Setting 1	控件簇	Channel Setting 1
输出项	Task Out	DAQ I/O	下一级的任务输入
	Error Out	错误簇	下一级的错误输入

6.8.3 程序说明

程序与 ChannelConfigure 类似，均是先判断 Channel Setting 0 和 Channel Setting 1 中的 Enable 值，再进行测量范围的设置。具体如图 6.8-3，6.8-4 所示。

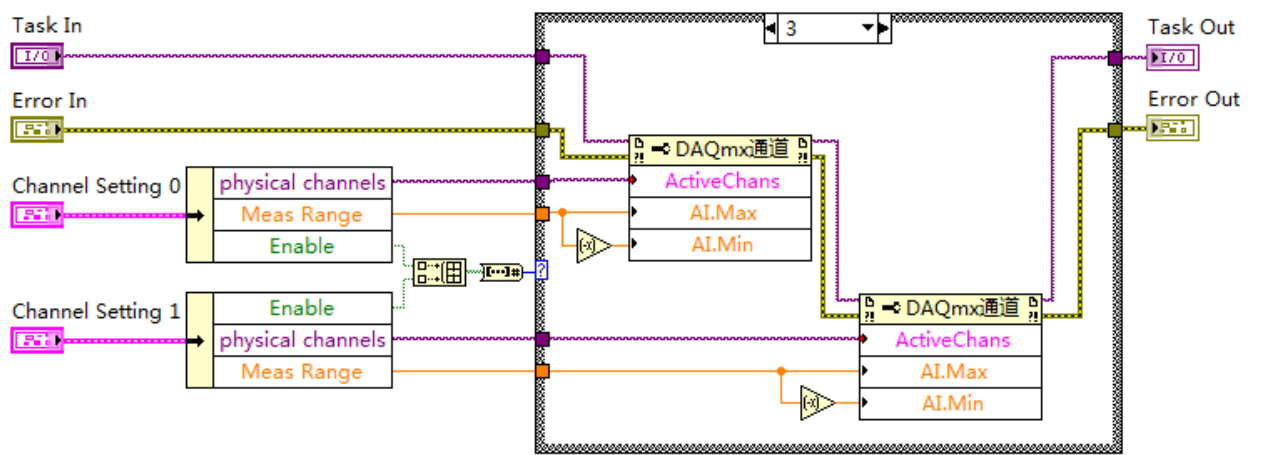


图 6.8-3 ChannelConfigure 程序框图（双通道）

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

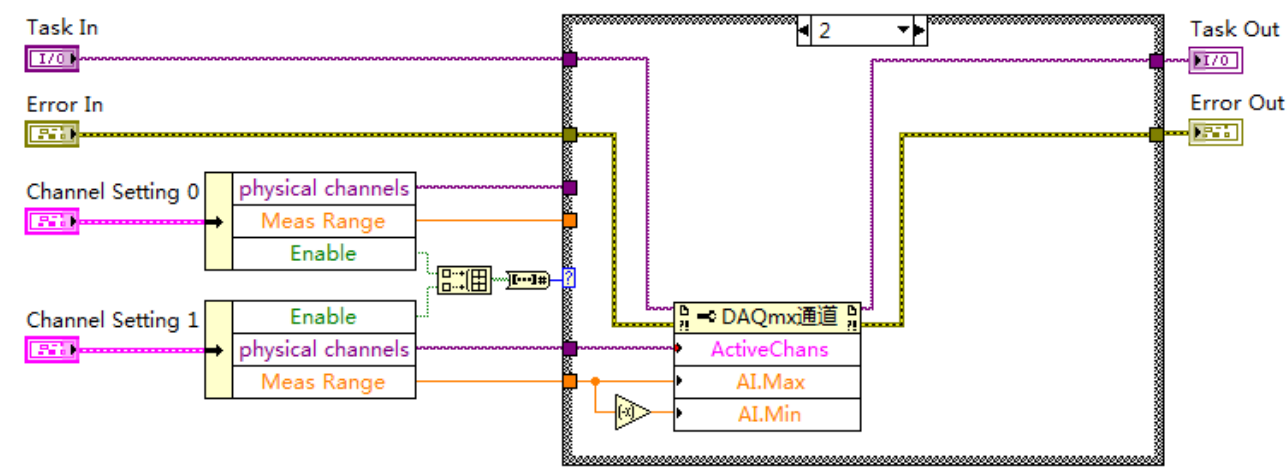


图 6.8-3 ChannelConfigure 程序框图（单通道）

6.9 SetSampleRate 设计说明

6.9.1 模块说明

在本测试系统的采样配置环节中，该子 VI 紧接着 SetMeasRange 子 VI，用于配置采样频率。

6.9.2 引脚说明

该子 VI 共有 8 个引脚，其中 5 个输入，3 个输出，如图 6.9-1 所示。

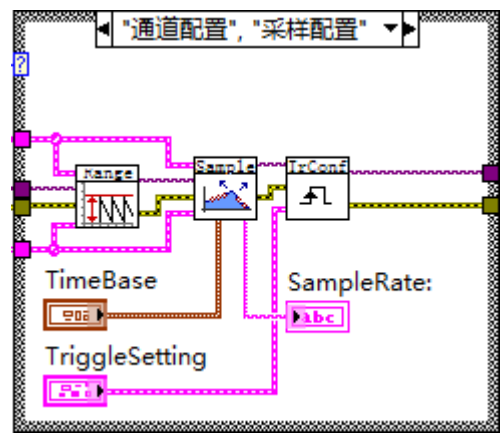


图 6.9-1 SetSampleRate 引脚图

具体引脚说明见表 6.9-1。

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

表 6.9-1 SetSampleRate 引脚说明

	引脚名称	数据类型	数据来源/去向
输入项	Task In	DAQ I/O	上一级的任务输出
	Error In	错误簇	上一级的错误输出
	Channel Setting 0	控件簇	Channel Setting 0
	Channel Setting 1	控件簇	Channel Setting 1
	TimeBase	控件簇	TimeBase
输出项	Task Out	DAQ I/O	下一级的任务输入
	Error Out	错误簇	下一级的错误输入
	采样率	字符串	SampleRate:

6.9.3 程序说明

程序框图如图 6.9-2 所示，其中程序又可以从左到右分成三小部分，如图 6.9-3，6.9-4，6.9-5 所示。

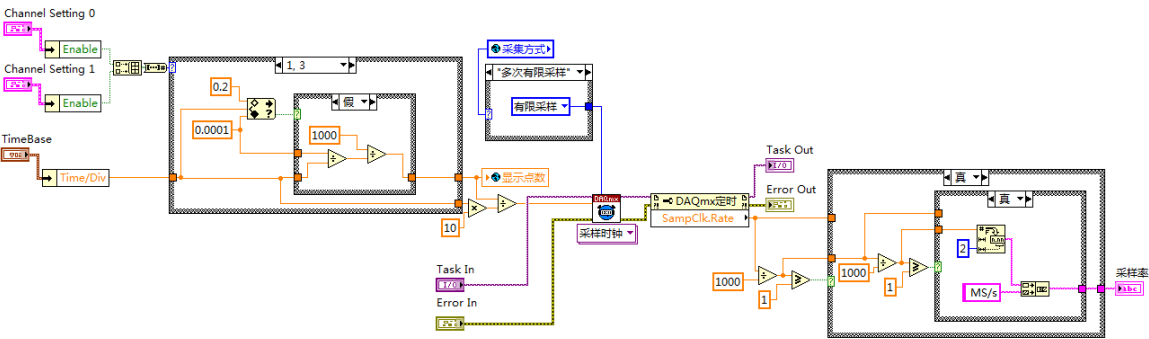


图 6.9-2 SetSampleRate 程序框图

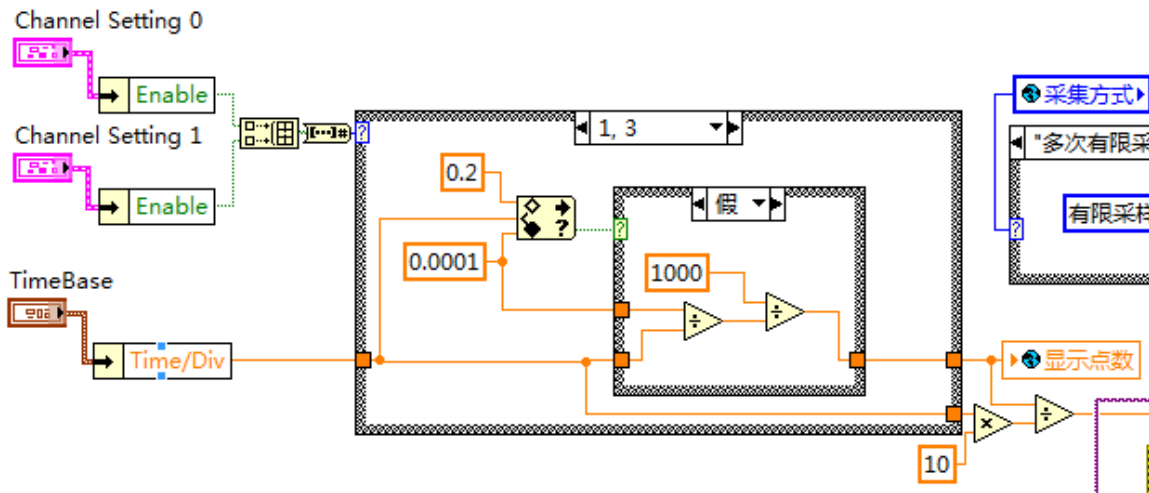


图 6.9-3 SetSampleRate 程序框图（1）

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

图 6.9-3 中程序负责判断有效通道数，并计算预设采样频率和显示点数。当为单通道采集时，采样频率最大为 1 MS/s，当为双通道采集时，采样频率最大为 500 KS/s。

单通道测量时，若时基在 0.0001~0.2 范围内，或者双通道测量且时基在 0.0002~0.2 范围内，显示点数为 1000；否则按图 6.9-3 中程序计算。

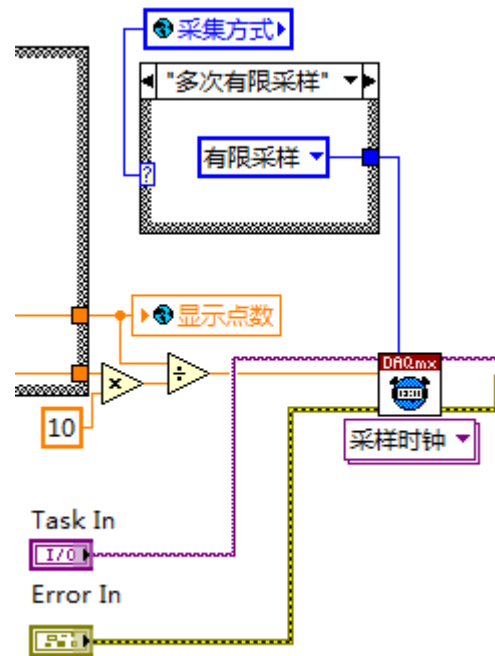


图 6.9-4 SetSampleRate 程序框图（2）

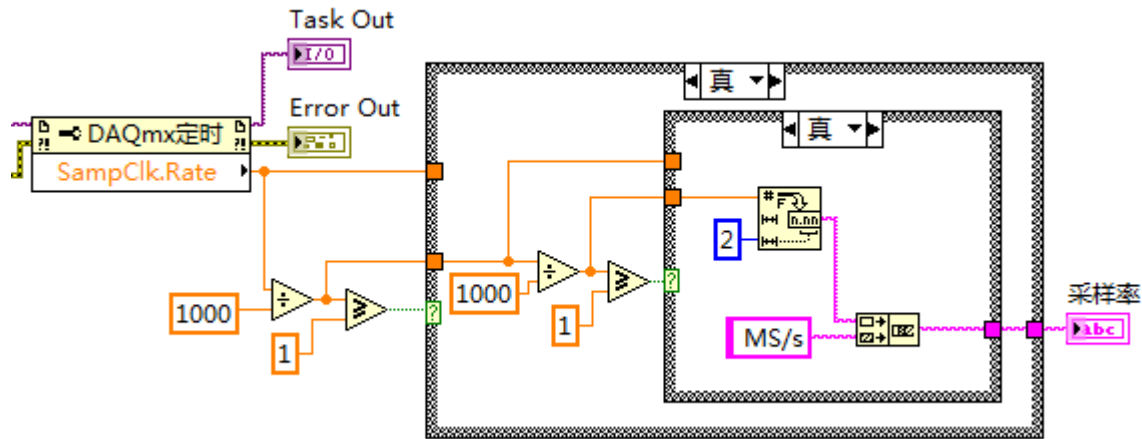


图 6.9-5 SetSampleRate 程序框图（3）

图 6.9-4 中程序则是实现采样方式和采样频率的配置，采样频率的配置只需要将前面计算好的数值引入“采样时钟”的相关引脚。采样方式的配置与全局变量中的“采集方式”有关，具体在 GlobalVariable 中有提到，此处不赘述。

图 6.9-5 中程序则是获取实际的采样频率，并根据数量级转换成相应的字符串形式，然后输出。

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

6.10 SignalDisplay 设计说明

6.10.1 模块说明

该模块在消费者循环中每隔一段时间或者当有新数据填入队列时，会被调用。用于实现波形的显示。

6.10.2 引脚说明

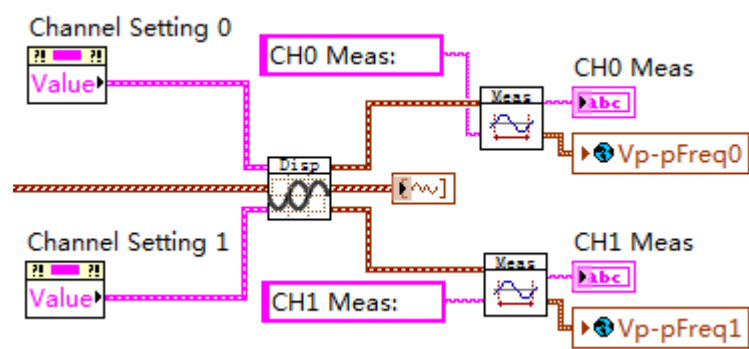


图 6.10-1 SignalDisplay 引脚图

该子 VI 共有 6 个引脚，其中 3 个输入，3 个输出，如图 6.9-1 所示。表 6.10-1 列出了各个引脚的名称及所接控件类型。

表 6.10-1 SignalDisplay 引脚说明

	引脚名称	数据类型	数据来源/去向
输入项	Channel Setting 0	控件簇	Channel Setting 0
	Channel Setting 1	控件簇	Channel Setting 1
	Double_Channel_Data_In	模拟波形	队列输出元素
输出项	Data_for_measure_out 0	模拟波形	测量子 VI 的数据输入
	Data_for_measure_out 1	模拟波形	测量子 VI 的数据输入
	波形图	波形图	波形图

6.10.3 程序说明

程序框图如图 6.10-2 所示，模拟波形经数组索引分成两部分分别送入 Case 结构中，程序对测量通道进行判断，对输入的波形进行提取显示。

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

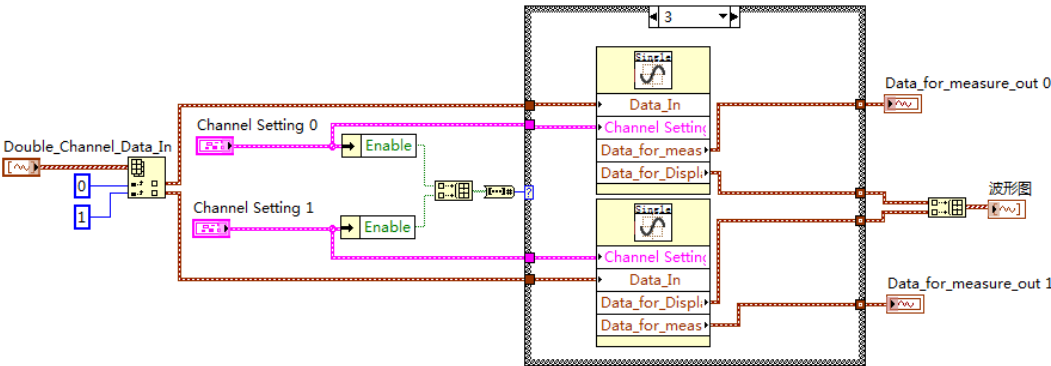


图 6.10-2 SignalDisplay 程序框图

6.11 SignalMeas 设计说明

6.11.1 模块说明

SignalMeas 用于测量波形的有效值、峰峰值、频率，并转换为字符串的形式进行输出，同时将峰峰值、频率值打包成簇输出，用于后期的 AutoScale。

6.11.2 引脚说明

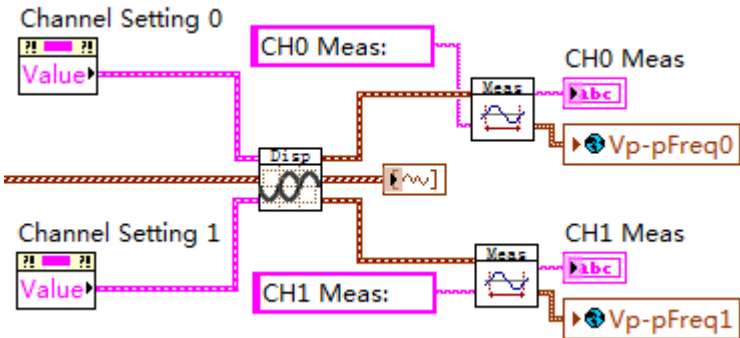


图 6.11-1 SignalMeas 引脚图

从图 6.11-1 中可以看出该子 VI 包含 4 个引脚，其中 2 个输入，2 个输出，具体说明见表 6.11-1。

表 6.11-1 SignalMeas 引脚说明

	引脚名称	数据类型	数据来源/去向
输入项	前缀	字符串	字符串常量
	Data In	模拟波形	单独通道的波形输入
输出项	测量字符串	字符串	CH0 Meas
	Vp-pFreq	控件簇	CH1 Meas

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

6.11.3 程序说明

程序框图如图 6.11-2 所示，输入的波形数据分别经过 3 个测量 VI，得到有效值、最大值-最小值、频率，波形最大值减去最小值，得到峰峰值。然后分别将有效值、峰峰值、频率进行字符串转换，和前缀、单位等拼接起来，并输出。

同时，程序将峰峰值、频率打包成簇，以备后用。

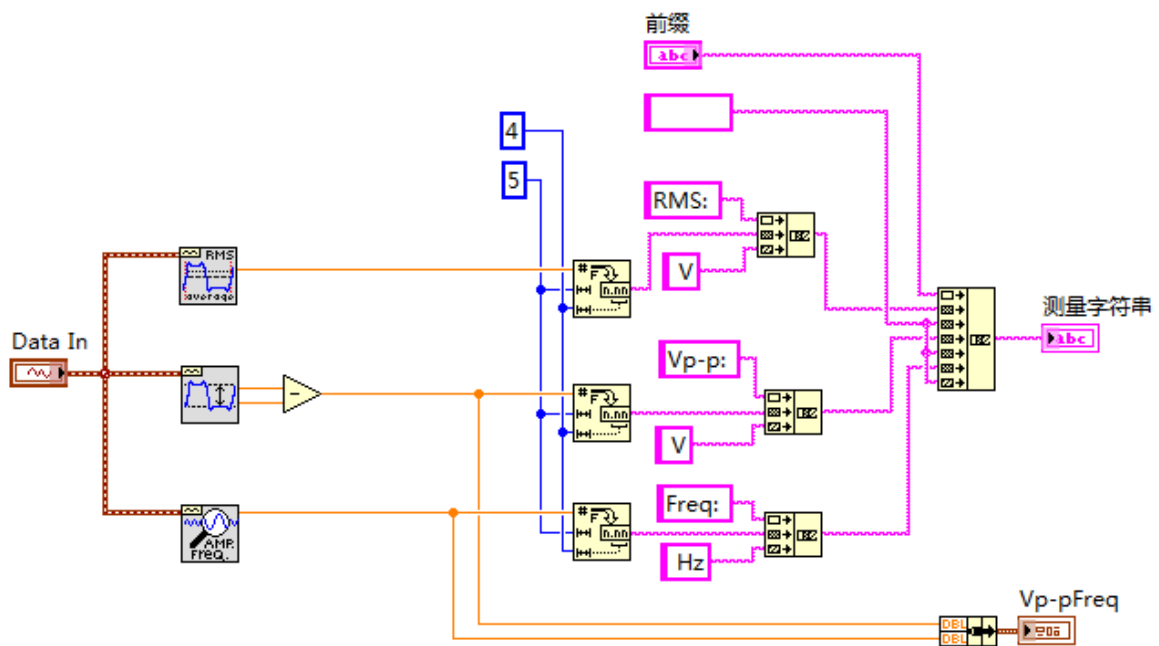


图 6.11-2 SignalMeas 程序框图

6.12 SingleChannelDisplay 设计说明

6.12.1 模块说明

设计该程序用于将原始波形进行 AC/DC 耦合、缩放、平移等操作，使它可以在波形图中正确显示。

6.12.2 引脚说明

如图 6.12-1 所示，该程序共有 4 个引脚，其中 2 个为输入，2 个为输出。具体说明如表 6.12-1 所示。

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

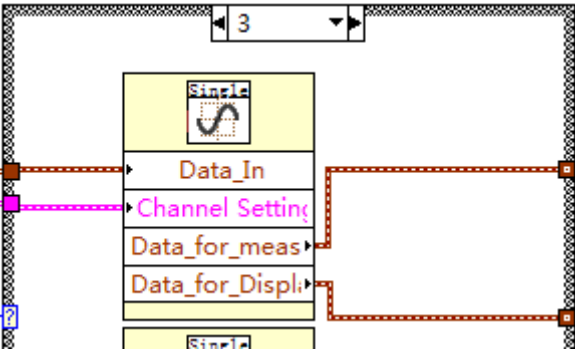


图 6.12-1 SingleChannelDisplay 引脚图

表 6.12-1 SingleChannelDisplay 引脚说明

	引脚名称	数据类型	数据来源/去向
输入项	Channel Setting	控件簇	Channel Setting 0/Channel Setting 1
	Double_Channel_Data_In	模拟波形	单通道波形数据
输出项	Data_for_measure_out	模拟波形	测量子 VI 的数据输入
	Data_for_Display	模拟波形	波形图的数据输入

6.12.3 程序说明

程序比较简单，如图 6.12-2 所示。输入数据经过耦合 Case 结构变成所需要的信号，一路送出作为测量用，另外一路根据 Channel Setting 簇中 Scale Volts 与 Vertical Position 的值进行运算，得到用于显示的波形数据。

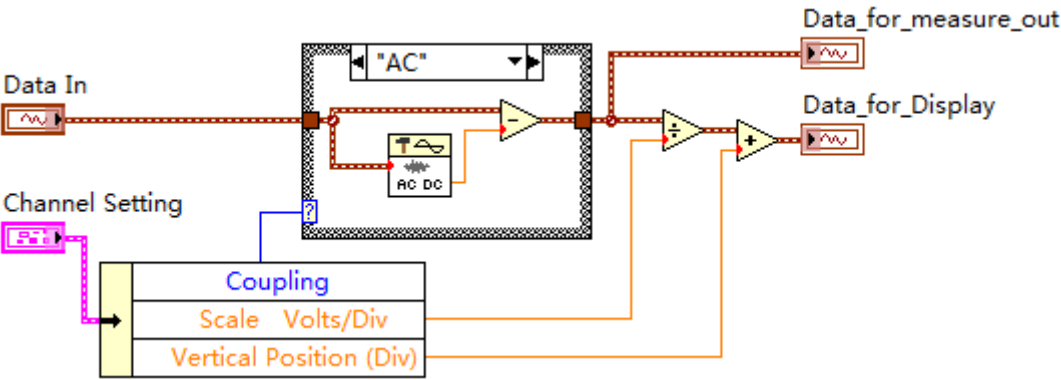


图 6.12-2 SingleChannelDisplay 程序框图

6.13 TriggerConfigure 设计说明

6.13.1 模块说明

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

在生产者循环的采样配置环节中，紧接着 SetSampleRate，本程序被调用，用于实现测量任务的触发配置，包括立即触发、数字触发、边沿触发。

6.13.2 引脚说明

从图 6.13-1 中可以看出，该子 VI 共有 5 个引脚，其中 3 个输入，2 个输出。表 6.13-1 列出了各个引脚的说明及接法。

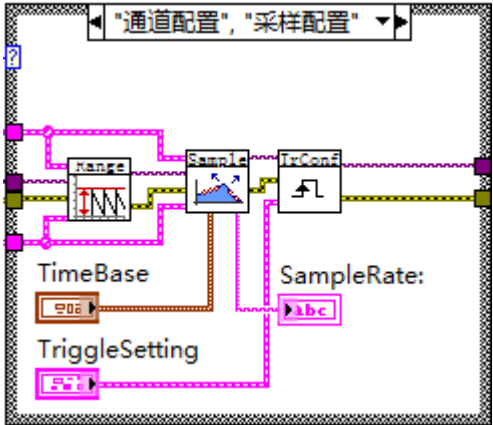


图 6.13-1 TriggerConfigure 引脚图

表 6.13-1 TriggerConfigure 引脚说明

	引脚名称	数据类型	数据来源/去向
输入项	Task In	DAQ I/O	上一级的任务输出
	Error In	错误簇	上一级的错误输出
	TriggerSetting	控件簇	TriggerSetting
输出项	Task Out	DAQ I/O	下一级的任务输入
	Error Out	错误簇	下一级的错误输入

6.13.3 程序说明

程序框图如图 6.13-2 所示。不同的 Type 决定程序执行 Case 结构下不同的程序。为保证触发前采样点数和触发后采样点数不小于 2，所以在程序中添加了一段强制转换代码。

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

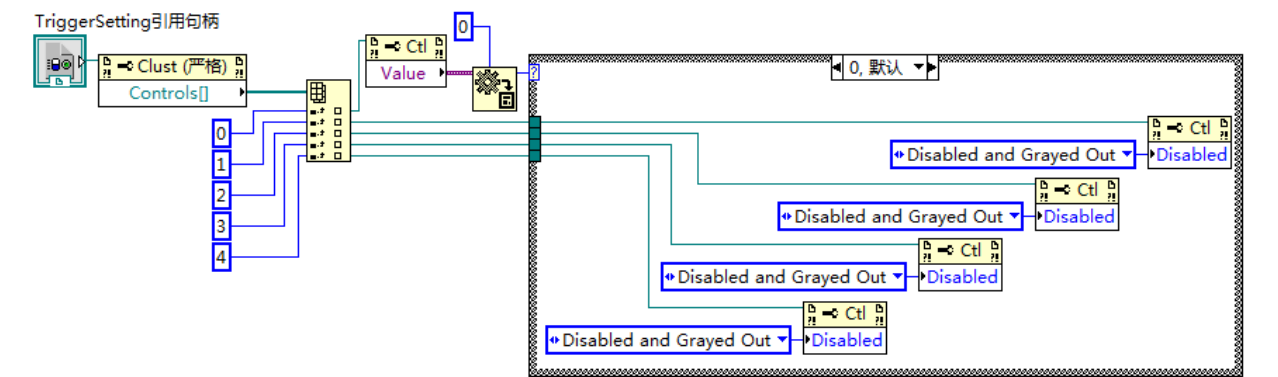


图 6.14-2 TriggerRefresh 程序框图

6.15 XScaleConfigure 设计说明

6.15.1 模块说明

该程序用于设置波形图的 X 轴范围，使波形图 X 轴方向上始终显示 10 个格，且每一格代表的时间长度等于时基的值。

6.15.2 引脚说明

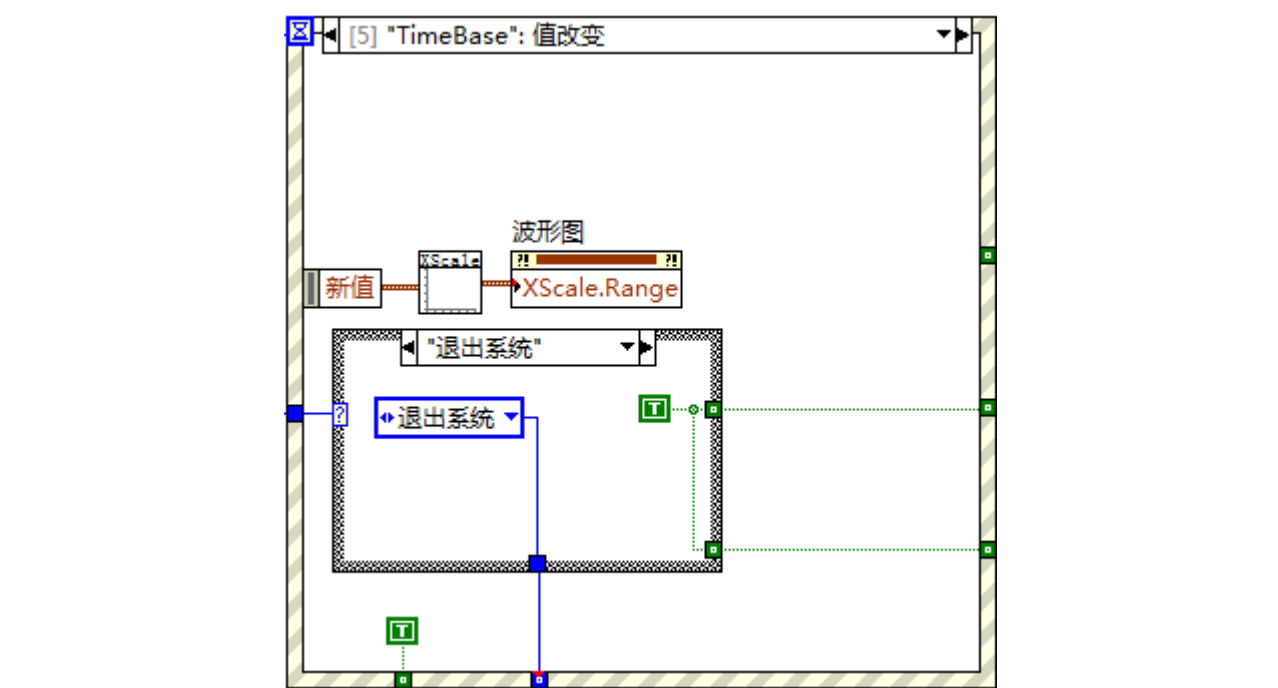


图 6.15-1 XScaleConfigure 引脚图

如图 6.15-1 所示，该 VI 包括一个输入引脚，一个输出引脚。输入接 TimeBase 控件簇，输出接波形图属性中的 X 轴范围。

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

6.15.3 程序说明

程序框图如图 6.15-2 所示，程序获取 TimeBase 的 Time/Div 的值，进行运算，按照最小值、最大值、增量、次增量、起始值的顺序打包成簇进行输出。

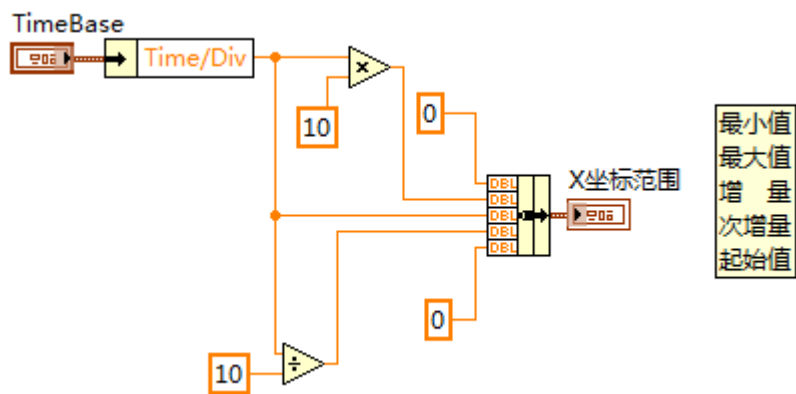


图 6.15-2 XScaleConfigure 程序框图

7. 系统使用说明

所设计系统与 NI 提供的示波器使用方法类似，下面逐步进行说明：

①打开“OSC_xuanshaowen.vi”，系统的初始界面如图 7-1；

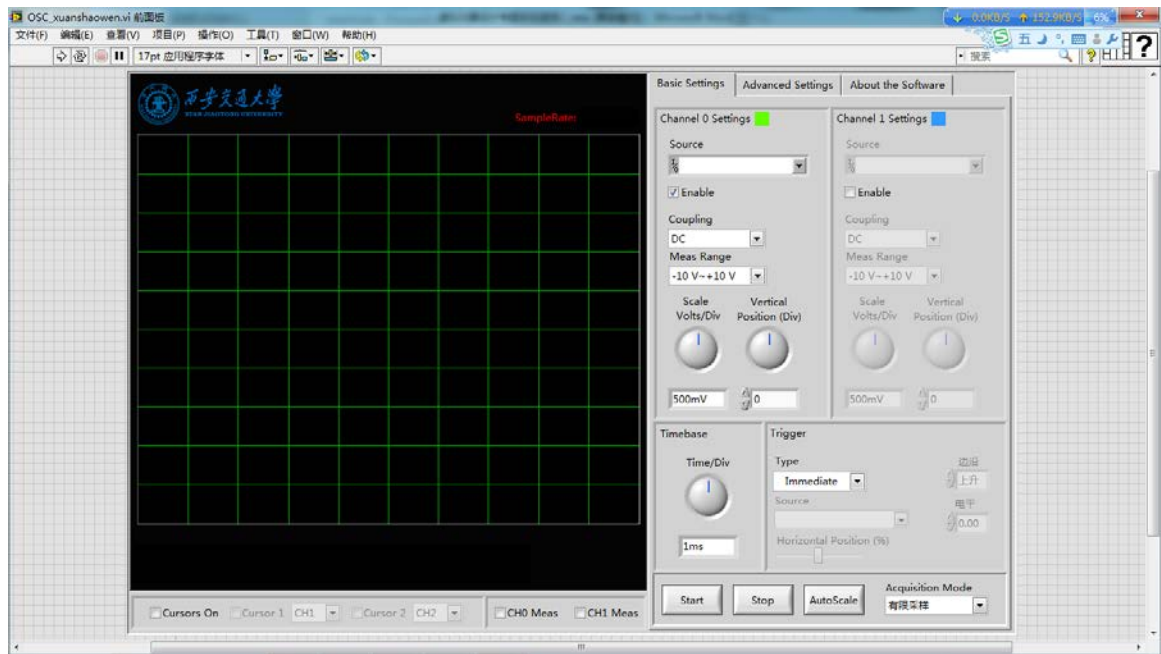


图 7-1 程序打开示意图

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

②运行程序，系统会给控件进行初始化，如图 7-2 所示；

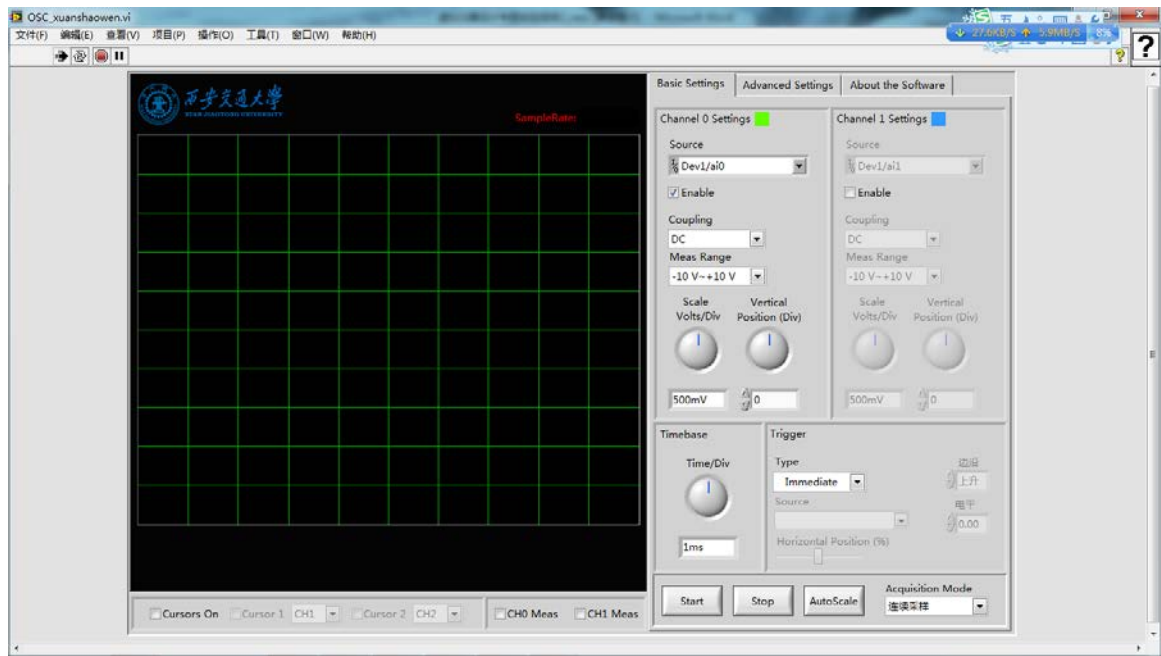


图 7-2 程序运行示意图

③此时，用户可以根据需要，任意操作前面板的控件，程序会根据用户的操作做出反应，如图 7-3 所示；

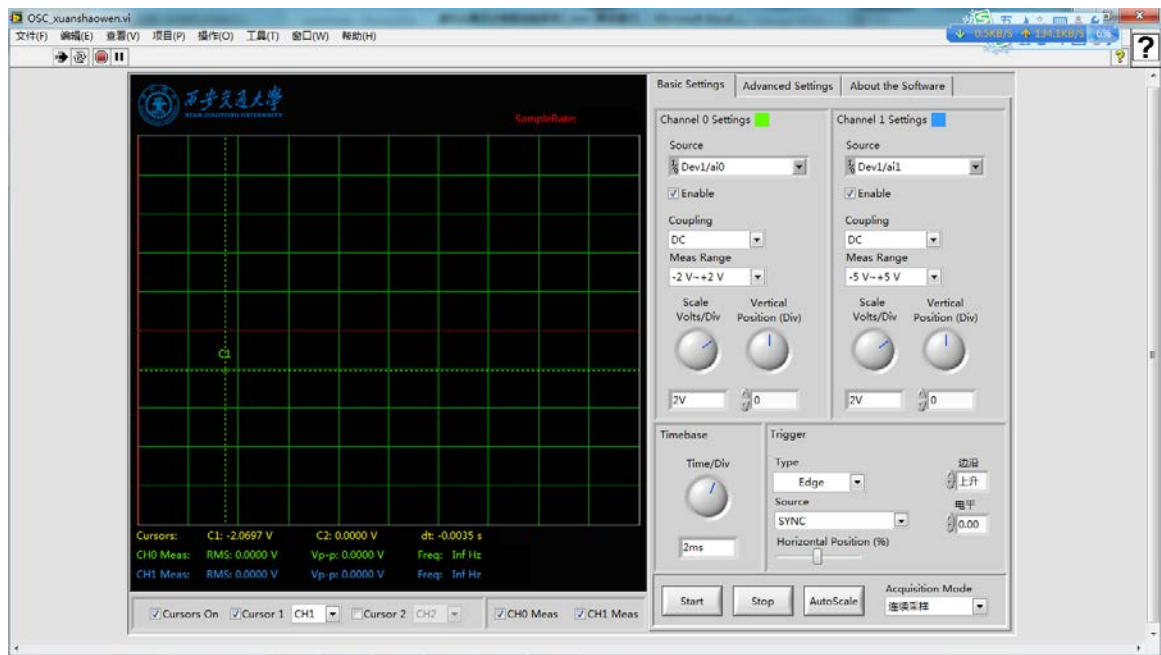


图 7-3 开始前前面板操作示意图

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

④当通道及采样参数都配置好之后，就可以按下“Start”按钮，系统开始采集并显示数据，如图 7-4 所示：

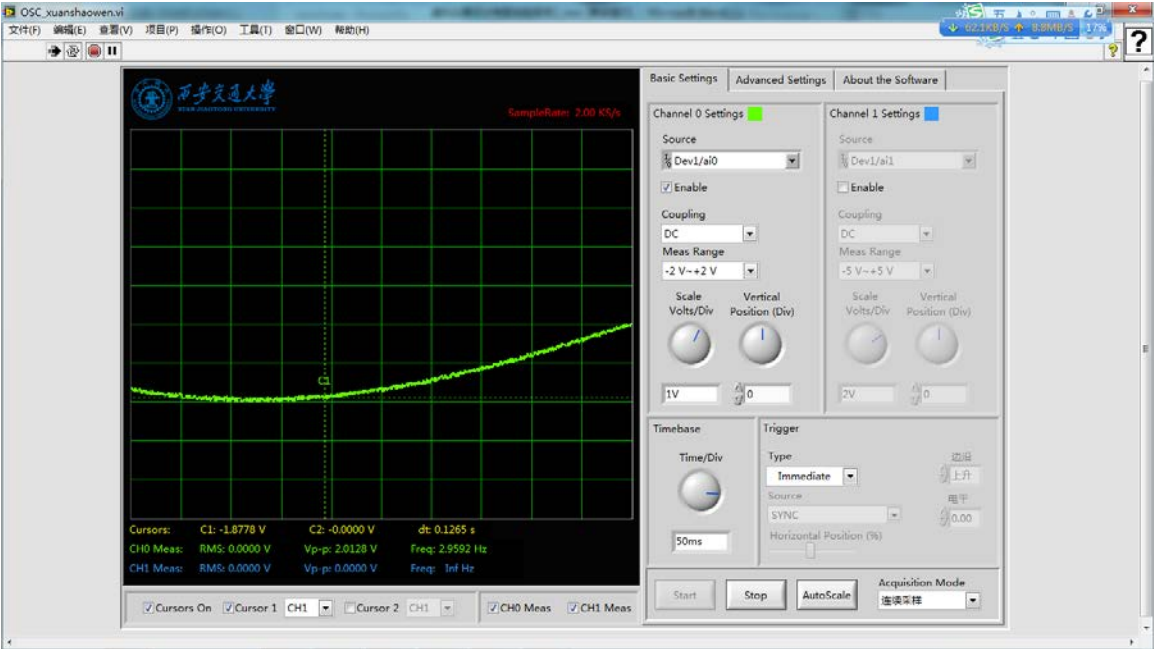


图 7-4 系统采集数据时运行界面

⑤运行过程中，用户可以根据需要进行控件值的调整，程序会及时做出反应，如图 7-5 所示：

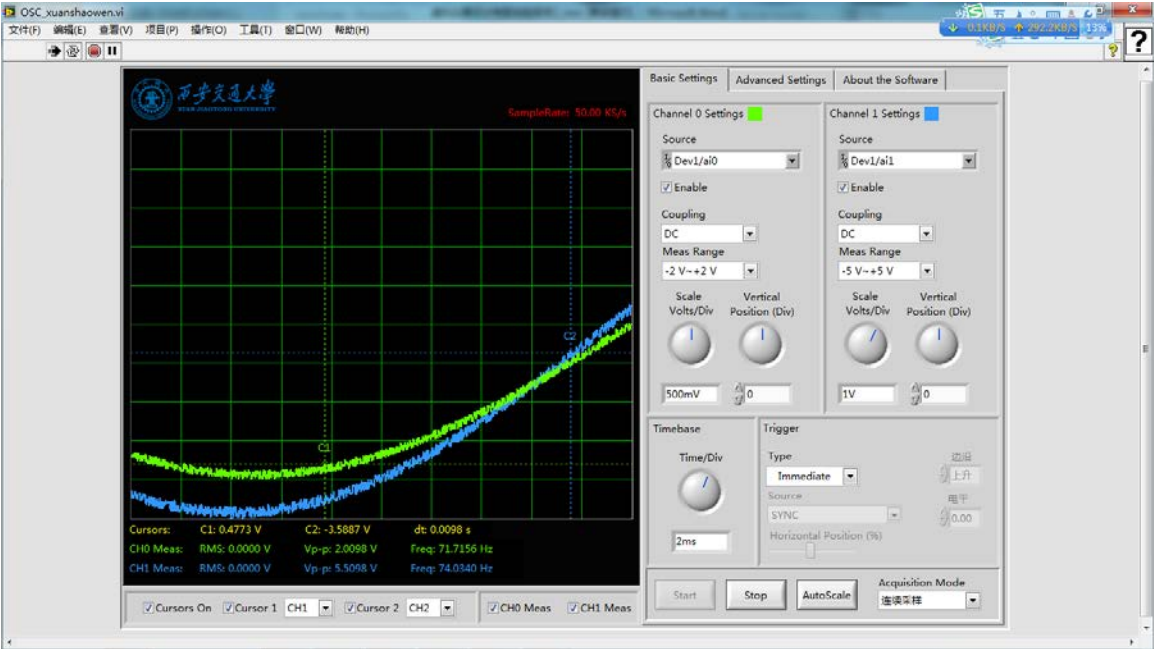


图 7-5 采集过程中参数调整示意图

⑥当用户想停止采集时，可按下“Stop”按钮，程序即停止采集数据，如图 7-6 所示：

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

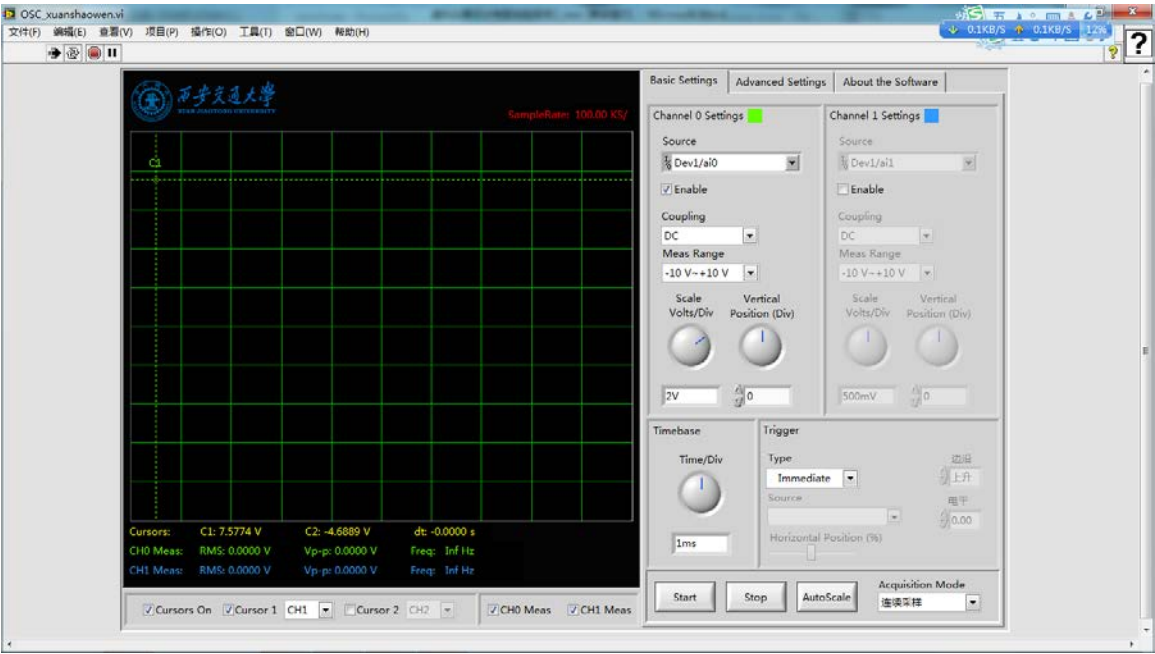


图 7-6 停止键按下示意图

⑦此时系统状态和刚运行程序但“Start”键未按下时一样，用户可以随意操作控件，当用户想再次进行采集工作时，再按下“Start”键即可。如图 7-7 所示；

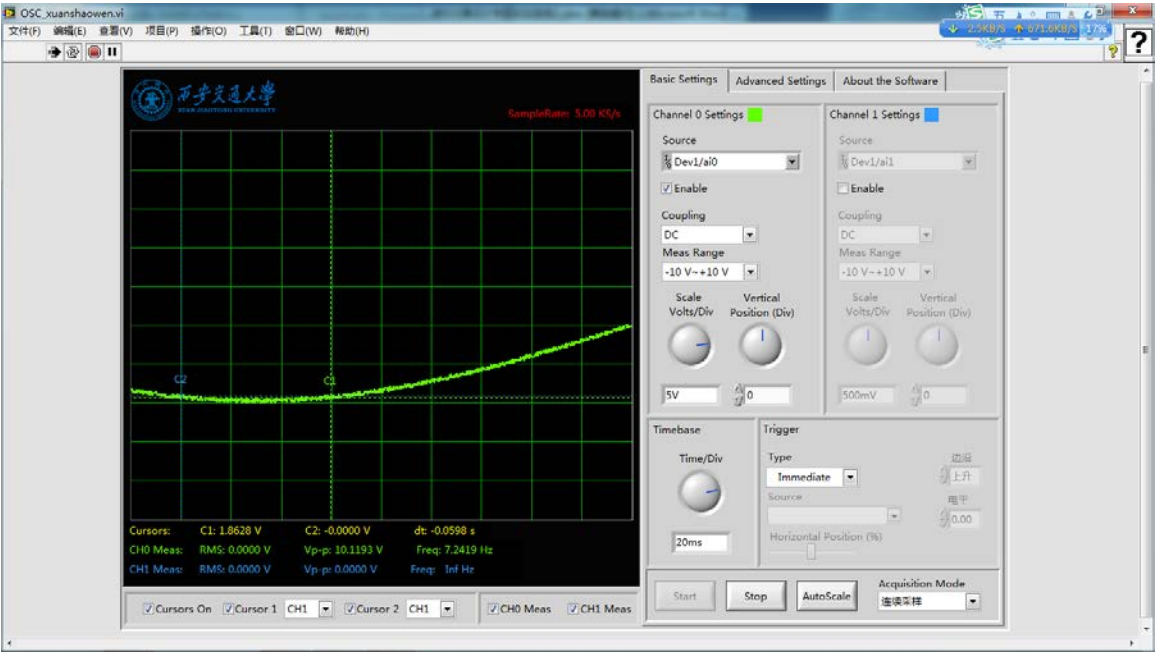


图 7-7 程序再次运行示意图

⑧当用户想退出系统时，先通过左上方的红色停止按键停止程序，然后关闭程序即可。

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

8. 实验结果

①采样频率测试，如图 8-1~8-4 所示。图 8-1~8-4 分别为时基 500us，200us，100us，20us 时系统运行界面图。从图中可以看出对应的采样频率分别为 200 KS/s，500 KS/s，1.00 MS/s，1.00 MS/s，与 SetSampleRate 子 VI 中介绍一致，单通道采集时，采样频率最大可达 1.00 MS/s，此时若再减小时基，采样频率不变，波形图横轴上每一格代表时间长度不变，变的是显示点数。

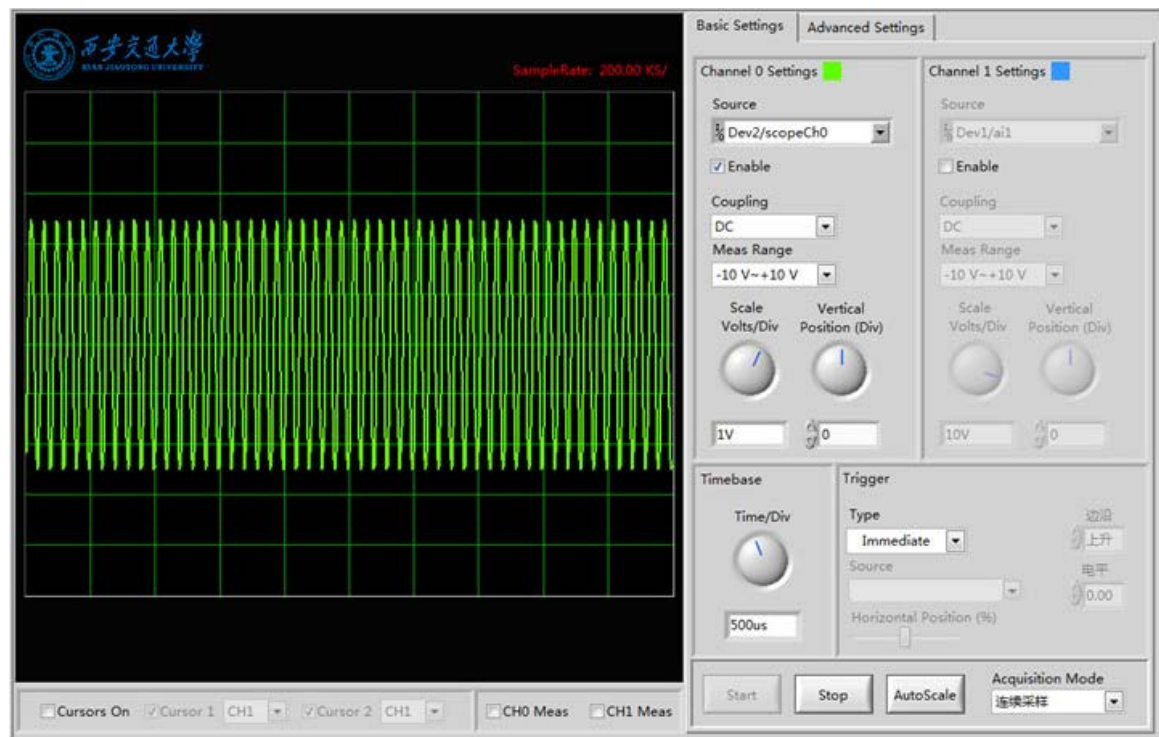


图 8-1 时基为 500us 时系统运行界面

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

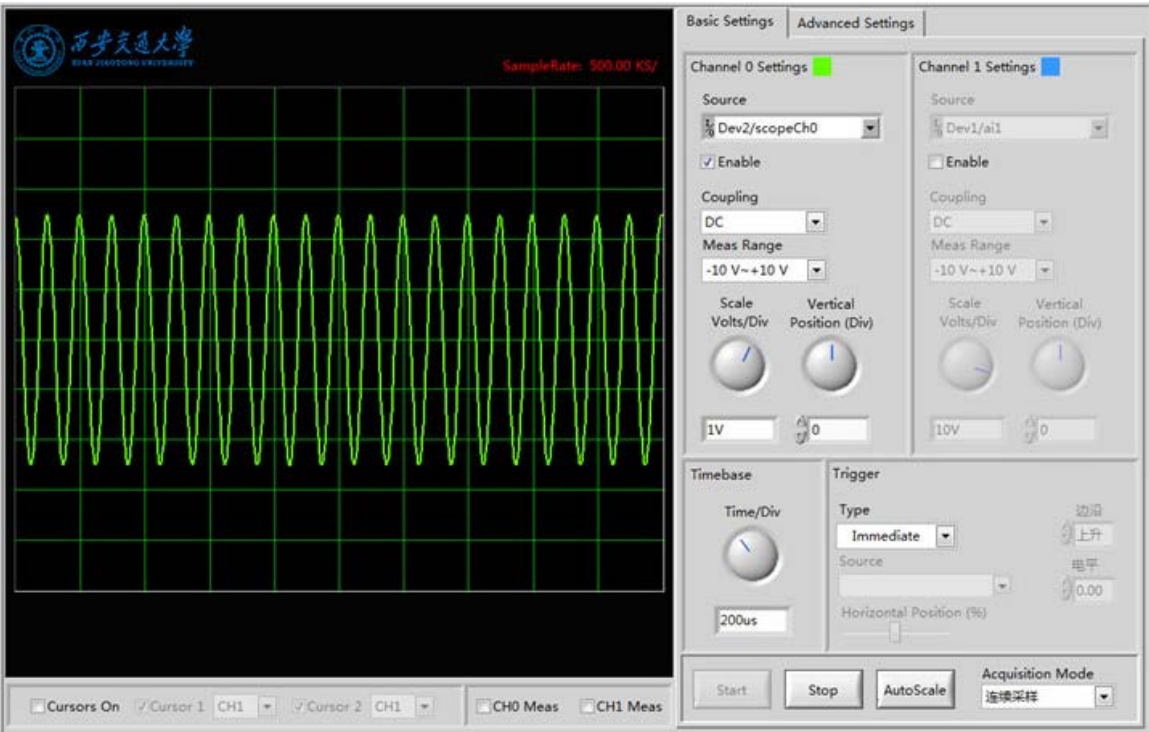


图 8-2 时基为 200us 时系统运行界面

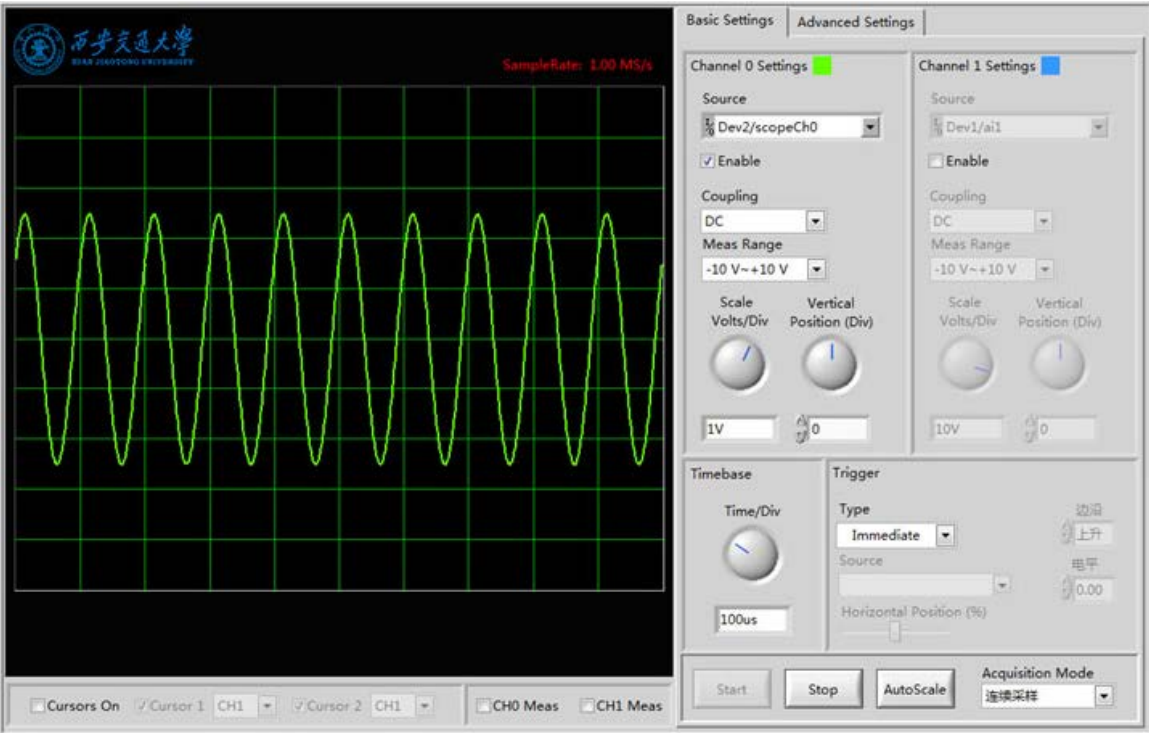


图 8-3 时基为 100us 时系统运行界面

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

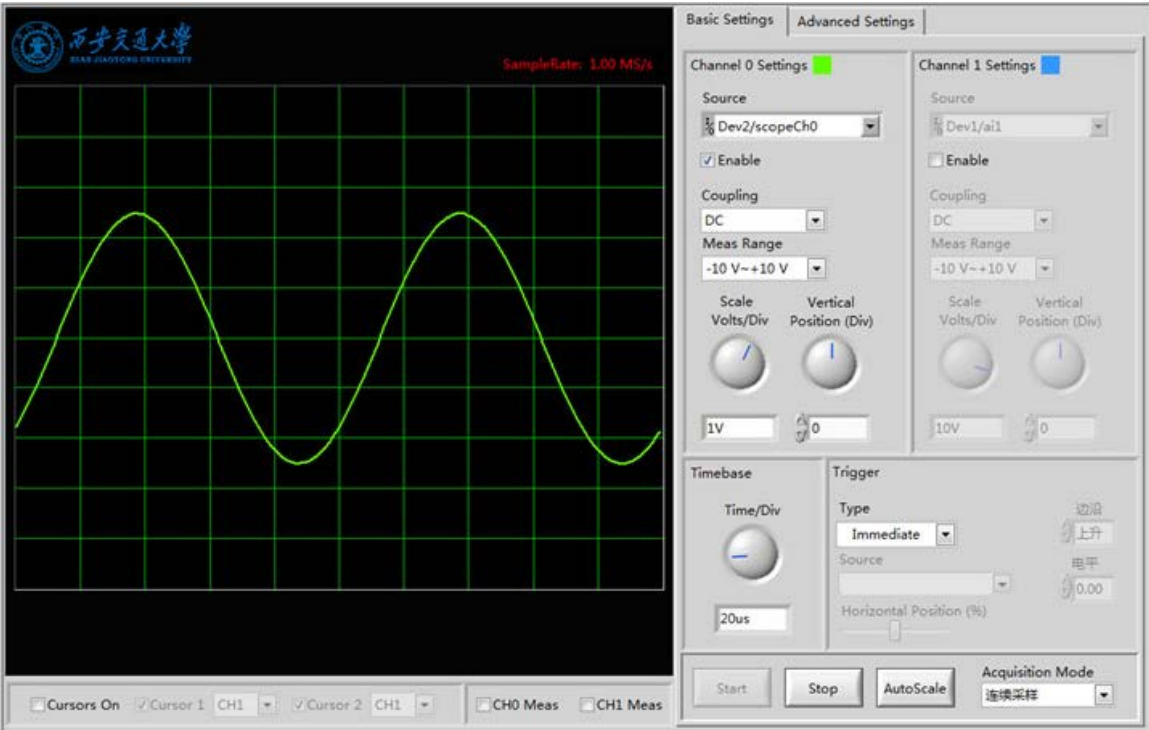


图 8-4 时基为 20us 时系统运行界面

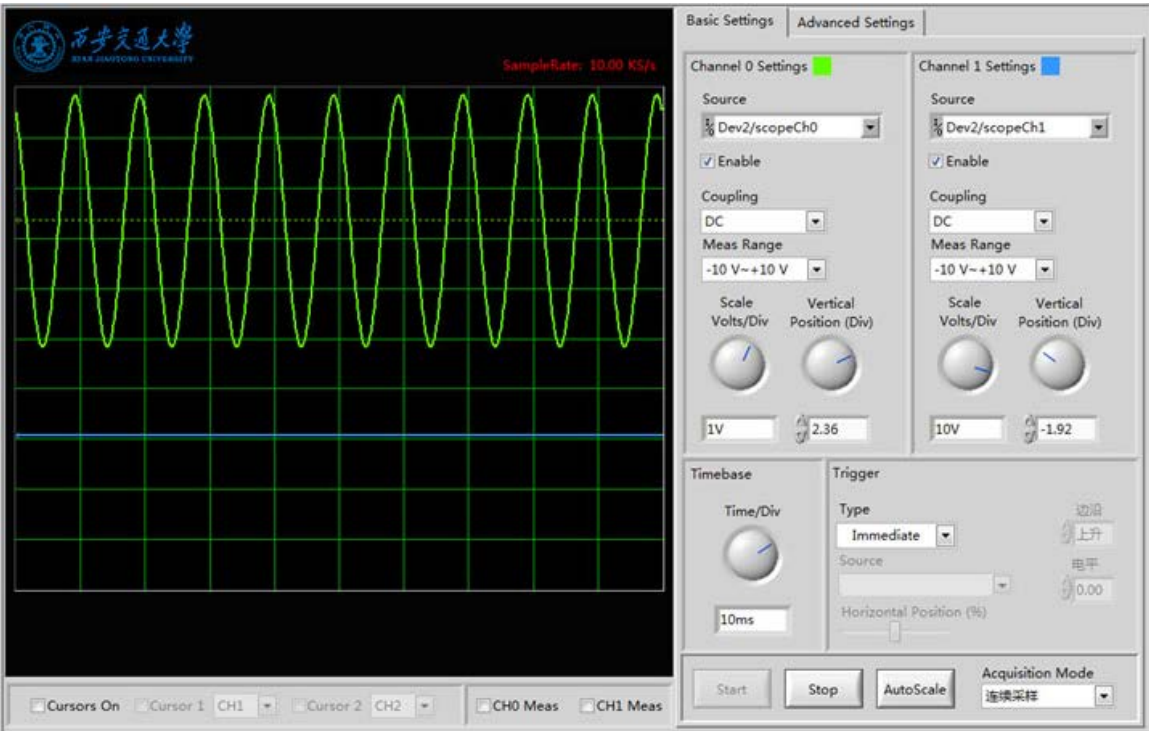


图 8-5 指示游标的测试图

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

②指示游标和测量游标的测试:

图 8-5 为指示游标测试图, 当用户通过控件给波形添加直流偏置时, 图中两个游标会显示, 并且随着直流偏置的改变而变换位置, 另外一个用于指示触发位置的游标将在测试触发环节进行展示。

图 8-6、8-7 是测量游标的测试图, 用户可以根据需要指定游标的跟随曲线, 在图 8-6 中, 两个游标跟随同一曲线。图 8-7 中, 游标分别跟随不同的曲线, 当启用测量游标时, 游标测量字符串会自动显示, 并且实时更新测点数据。

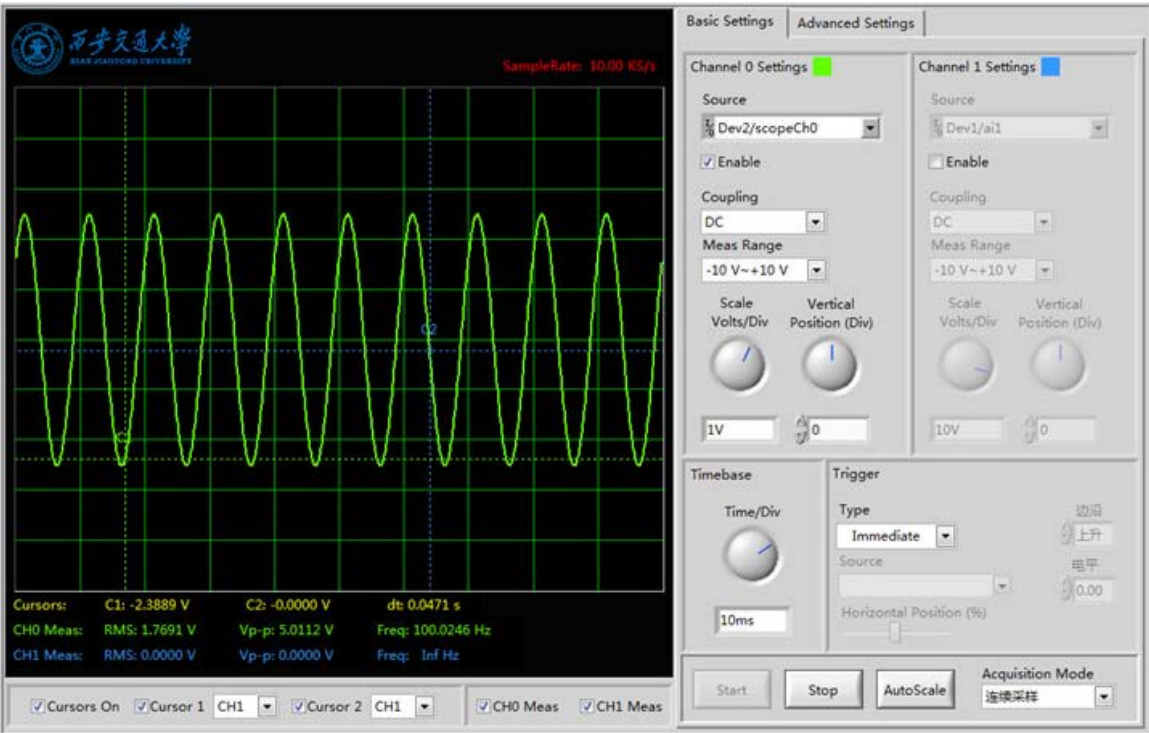


图 8-6 测量游标的测试图（单通道）

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

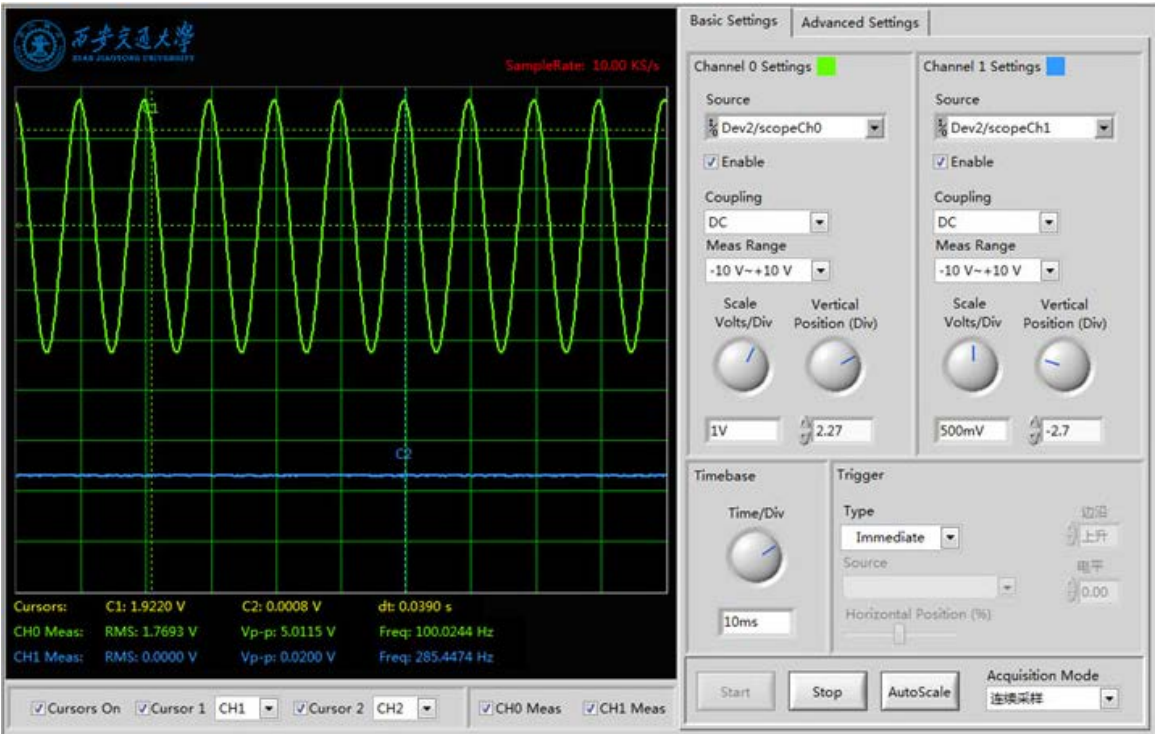


图 8-7 测量游标的测试图（双通道）

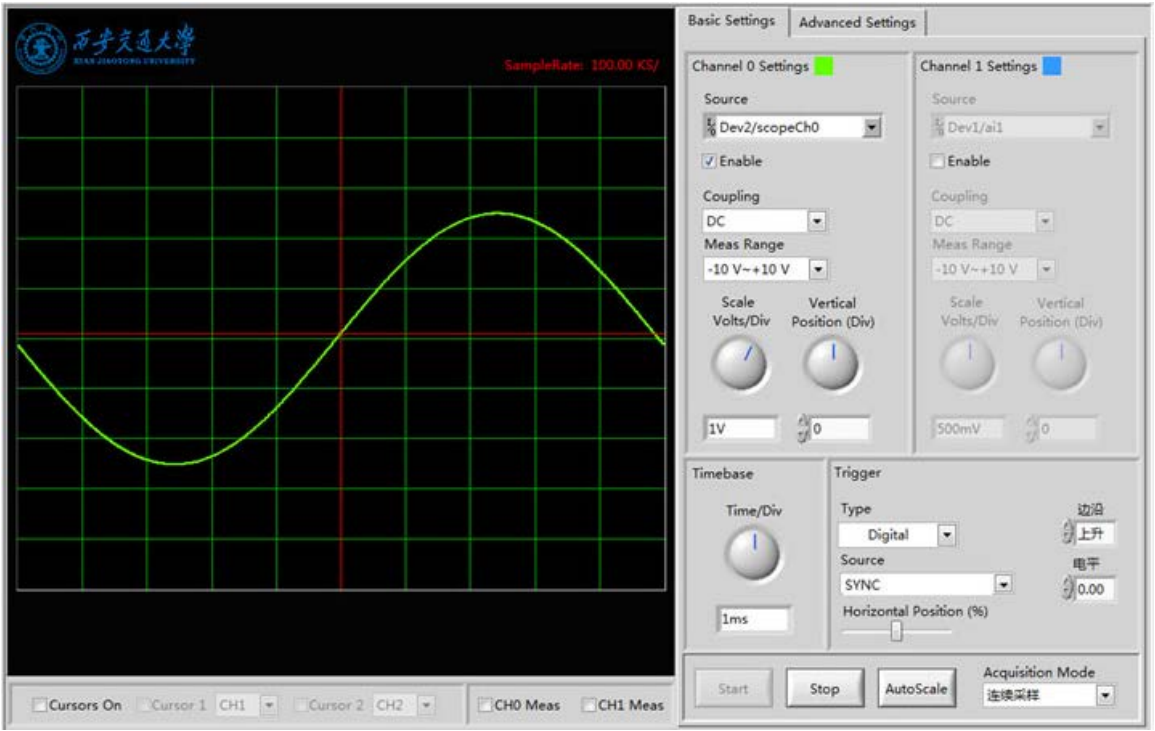


图 8-8 数字触发且上升边沿条件下测试图

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

③触发功能的测试：

图 8-1~图 8-7 中测试均是在立即触发条件下进行的，测试结果表明立即触发没有问题；

图 8-8~图 8-10 为数字触发条件下进行的测试图，从测试结果中看，触发没有问题，只是数字触发下，“电平”该控件的更改对触发不会有影响，所以应该在程序中进行修改，当触发条件为数字触发时，“电平”控件禁用且变灰。

图 8-11~图 8-13 为边沿触发条件下进行的测试图，同样在测试过程中，该触发也不存在问题。边沿触发条件下，“电平”控件会对波形有影响，但是由于测试内容的遗漏，没有进行该控件对触发的影响测试，后期如果有时间还需要再测试一次。

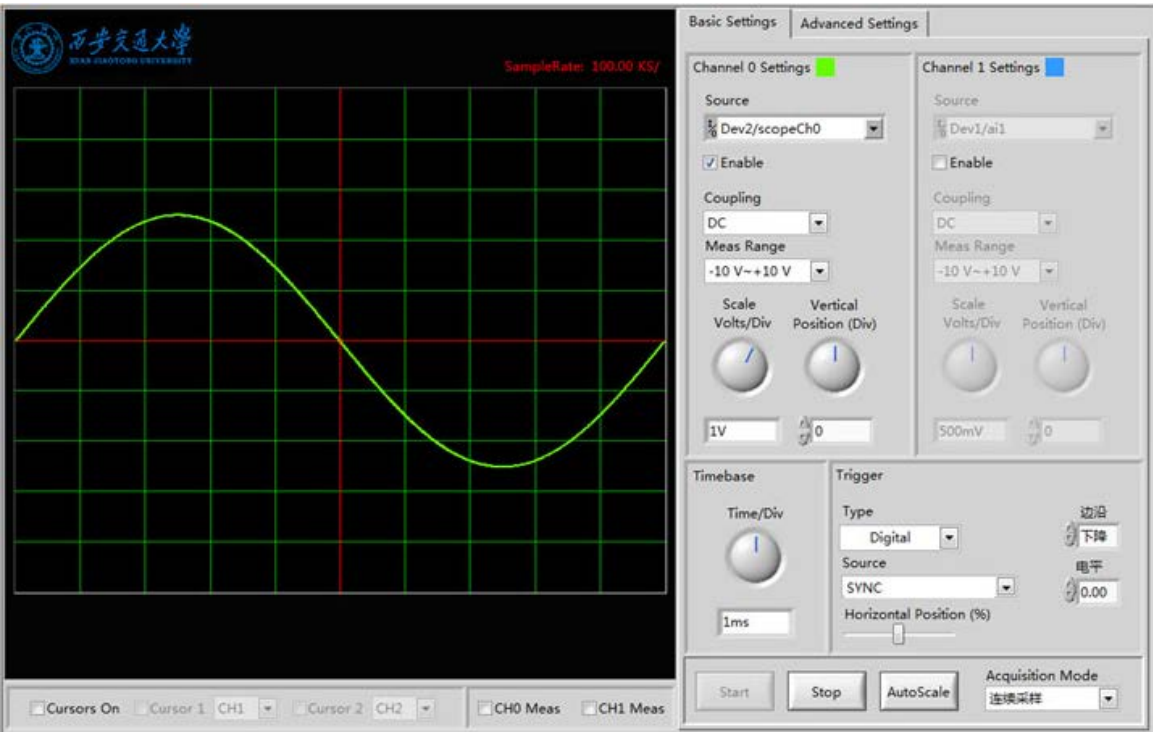


图 8-9 数字触发且下降边沿条件下测试图

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

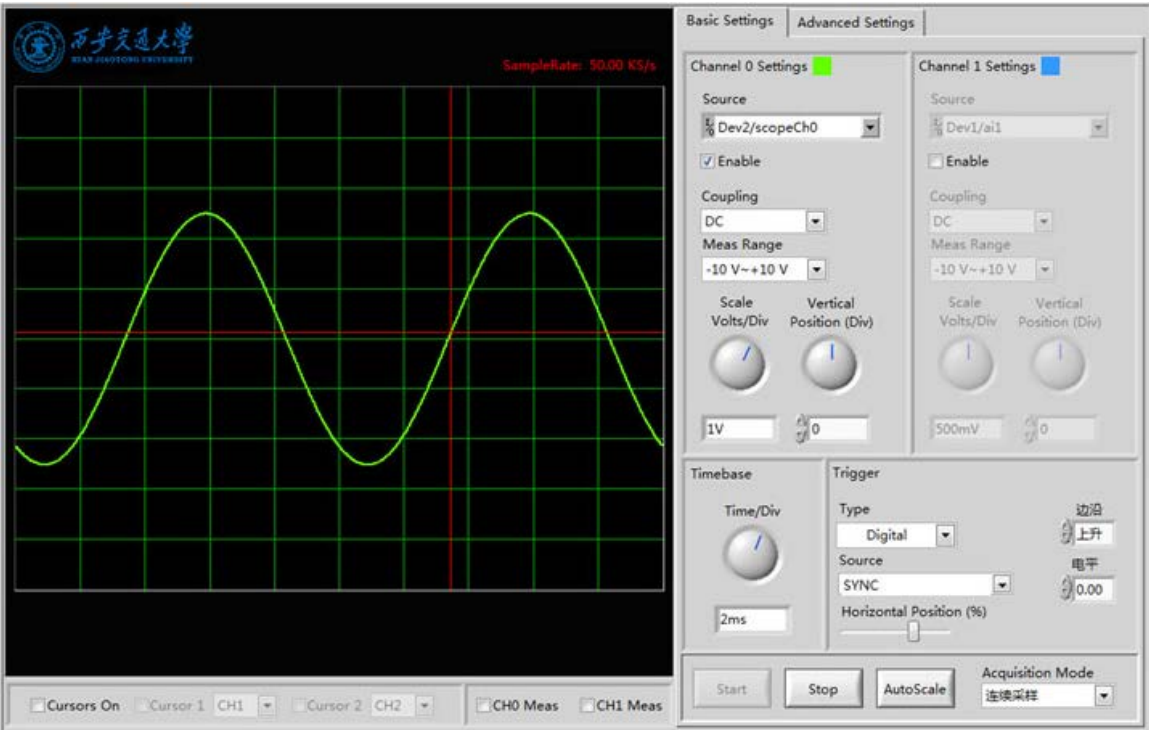


图 8-10 数字触发条件下（上升边沿、有水平偏移）测试图

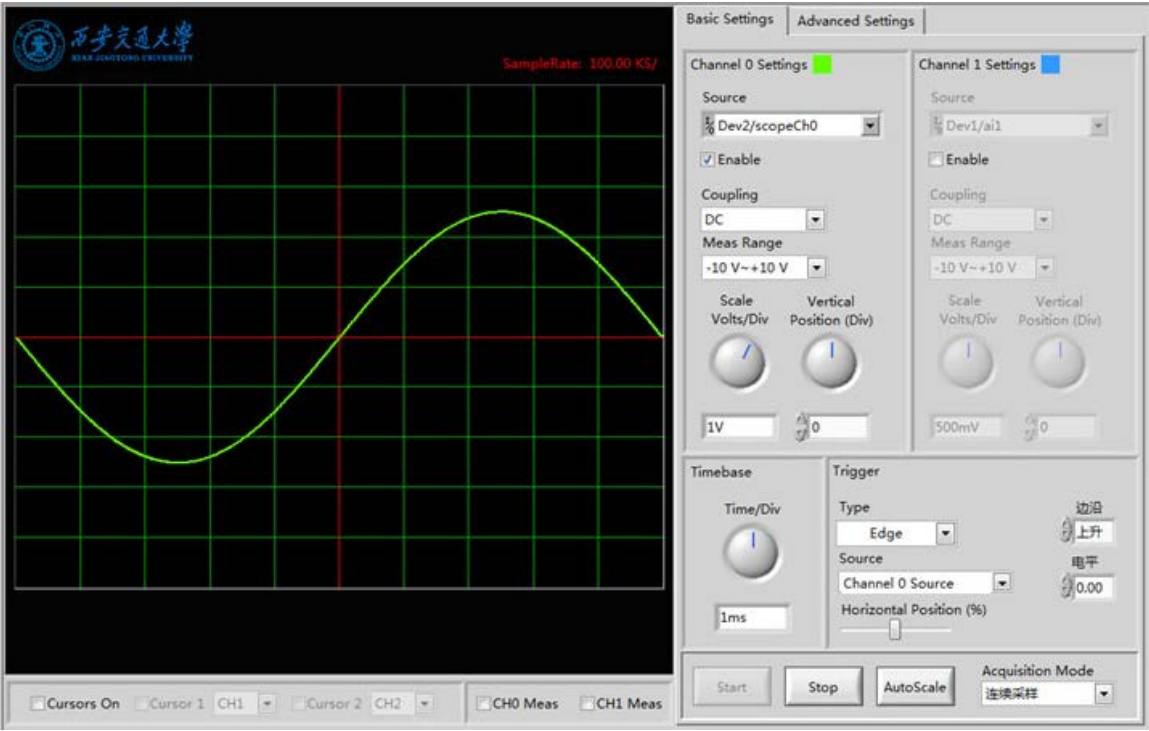


图 8-11 边沿触发且上升边沿条件下测试图

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

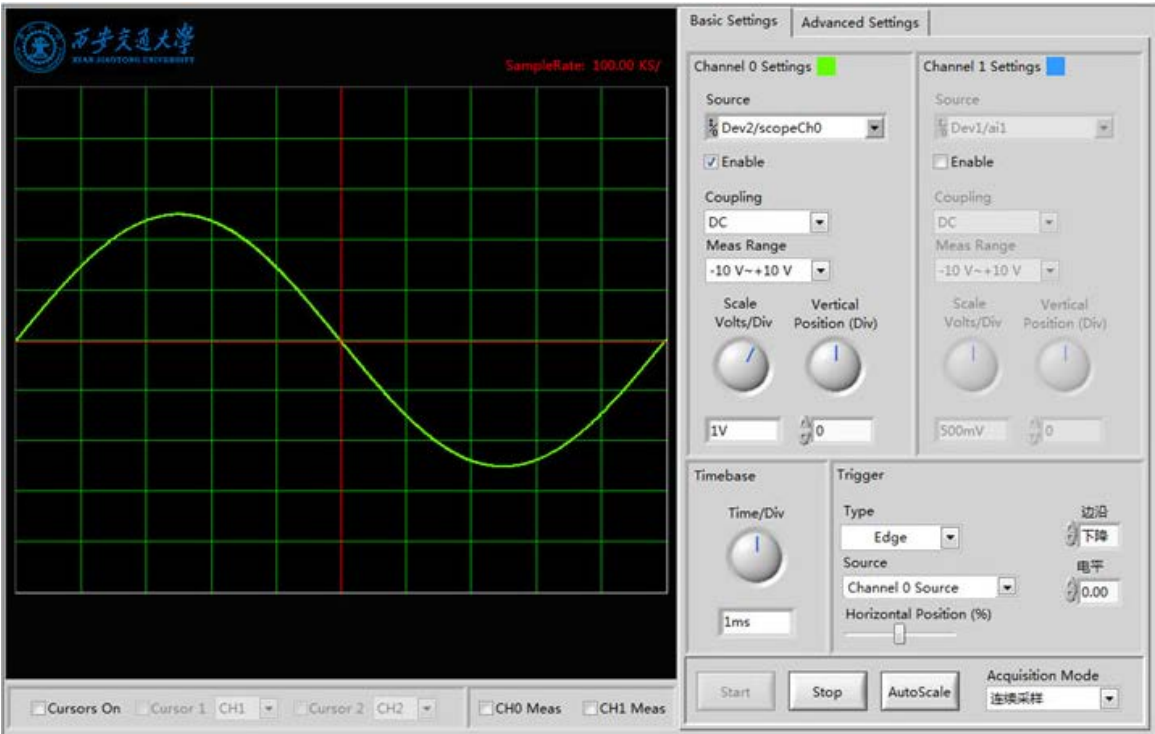


图 8-12 边沿触发且下降边沿条件下测试图

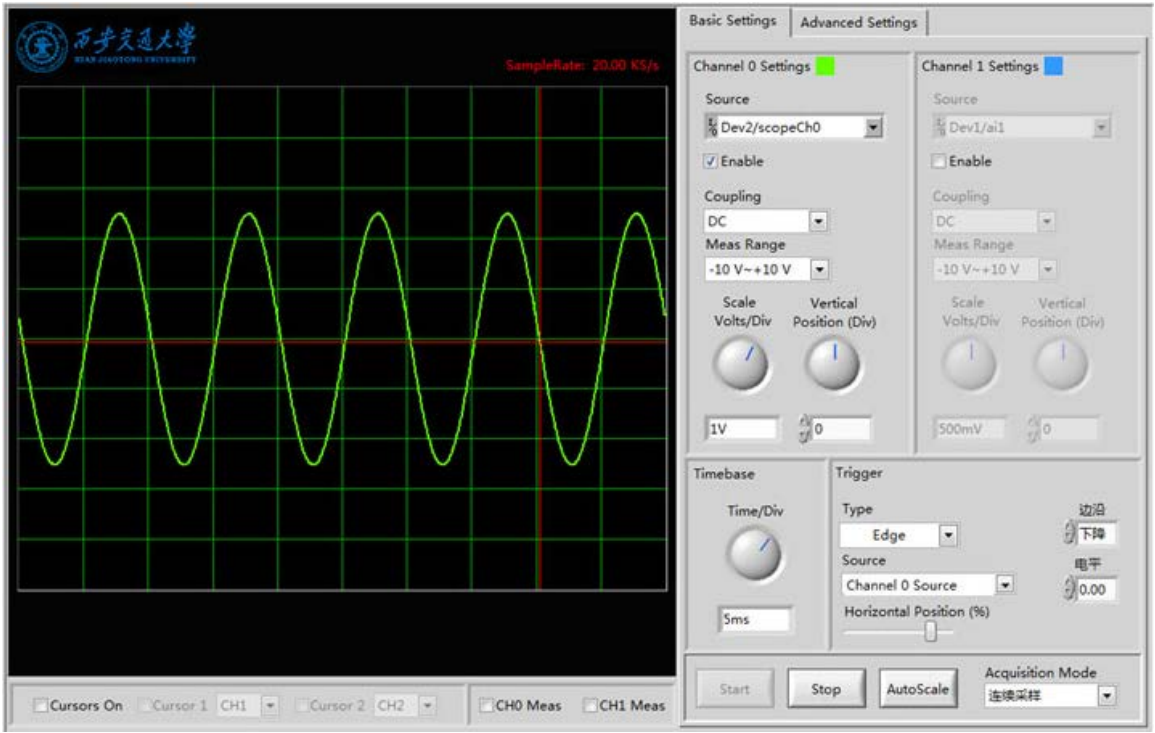


图 8-13 边沿触发条件下（下降边沿、有水平偏移）测试图

仪器技术专题实验	版本: <2.0>
虚拟数字示波器设计报告	日期: <2014-01-08>
<文档标识>	

9. 总结

之前也开过相关的虚拟仪器设计的课，不过对所讲的虚拟仪器以及虚拟仪器的规范都只是一知半解，经过这次的专题实验，对虚拟仪器的设计、一些常见的协议有了更深的了解，有一种拨开云雾见青天的感受。

本次实验分成了两大部分，第一大部分是虚拟仪器的设计方法，在这个阶段我主要是学习如何利用 NI 公司开发的 LabVIEW 来由浅入深地进行程序开发，涉及到的更多是软件的使用方法。通过这一部分的学习，我基本掌握了 LabVIEW 中常用的结构、数据类型、编程方式等，能够根据不同的应用场合编写出合适的应用测量软件。

第二部分则是利用在第一部分打的基础，根据现有采集卡和配套示例程序，进行一个虚拟数字示波器的设计。这部分的工作说简单也简单，说复杂也复杂，取决于个人对所设计的示波器期望值。若只是设计一个简单的能够显示波形的示波器，仅需要调用几个 DAQmx 提供的子 VI 就能完成，若是希望设计的程序能够高效地运行、拥有良好的人机交互功能及错误处理机制，就得费一番功夫了。在本次设计中，我选择了后者，我希望我设计的示波器能够登上大雅之堂，甚至应用到实际的测量场合中，我也是按照这个标准进行设计的。

任何设计都不可能是一蹴而就的，虚拟数字示波器也一样，在这个部分，我前前后后、断断续续地修改自己的程序，不断提高示波器的性能指标要求。从一开始不会使用 DAQmx，到第一个能够正常显示波形的示波器；从不考虑运行效率的程序设计，到目前的主从循环配合生产者消费者循环结构；从简陋的前面板，到目前比较良好的人机交互界面，都是在侯老师的耐心指导下，我不断修改完善，不断地 Bug 测试走过来的。经过这次设计，我学会了很多，比如考虑运行效率、考虑用户操作习惯等，虽然目前的程序还有较大的提升空间，但是我已经感到很充实了，如果还有机会，我会继续完善该示波器，使它能够与 NI 提供的示例软件相媲美，甚至超越它。

总的来说，这次实验设计课让我觉得很充实，学到的不仅仅是如何使用一个软件，而是如何去使用好一个软件，如何去设计一个好软件，以及如何将学到的设计思想运用到其它方面。