



数字信号处理 实验指导

◎ 管 庆 主编

高等教育出版社

数字信号处理 · 实验导引

张有林 编

机械工业出版社



数字信号处理 实验指导

主 编 管 庆

副主编 邓建华 娄春伟

编委会 曹明生 黄 丹 陈 亚 黄 俊

范满平 易 黎 王 琳 于永斌

高等教育出版社·北京

内容提要

本指导书实验内容分为三大模块。第一模块为数字信号处理基本平台实验。以 ADC 板、DAC 板、FPGA 接口板及时钟板构成的实验平台为基础,完成了信号采集、MATLAB 处理以及重建实验,内容包括第一章数据处理平台搭建基础实验与第二章信号滤波。第二模块为高级数字信号处理实验,内容包括第三章信号抽取与内插、第四章变换域分析的应用、第五章谱估计、第六章高阶谱和高阶累积量与第七章时频分布等五个章节。在该模块中,本书针对每个实验介绍了 MATLAB 数字信号处理工具箱中的相应函数及经典信号处理算法,以方便读者使用这些函数进行 MATLAB 编程。第三模块为工程实践,内容包括第八章捕获信号参数估计、第九章双音多频 DTMF 技术与第十章音频采集与实时网络传输三个章节。该模块以 DM6437 开发板为实验平台,结合具体案例,引导并帮助学生从分析问题到设计算法再到解决问题,将理论知识与动手实践相结合,提高分析解决问题能力,积累工程项目实践经验。

本指导书可作为电子信息类专业高年级本科生教材,也可供科学技术和产业界从事信号处理应用的科研人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字信号处理实验指导 / 管庆主编. -- 北京: 高等教育出版社, 2018.4

ISBN 978-7-04-049165-4

I. ①数… II. ①管… III. ①数字信号处理-高等学校-教材 IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 326418 号

策划编辑	许怀镭	责任编辑	许怀镭	封面设计	顾 斌	版式设计	马敬茹
插图绘制	于 博	责任校对	李大鹏	责任印制	尤 静		

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	北京明月印务有限责任公司		http://www.hepmall.com
开 本	787mm×1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	9.5	版 次	2018 年 4 月第 1 版
字 数	210 千字	印 次	2018 年 4 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	20.70 元
咨询电话	400-810-0598		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 49165-00

数字信号处理实验指导

管庆 主编

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/1248987>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20 位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。

重要通知



数字信号处理实验指导

数字信号处理实验指导采用数字课程与纸质教材一体化设计, 紧密配合。数字课程涵盖案例素材、实验音频、微视频、彩色图片等内容, 充分运用多媒体资源, 丰富了知识的呈现形式, 拓展了教材内容。在提升课程教学效果的同时, 为学生学习提供思维与探索空间。

用户名: 密码: 验证码: 2692 ☐ 记住我(30天内免登录)

- 课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。
- 如有使用问题, 请发邮件至 abook@hep.com.cn。

<http://abook.hep.com.cn/1248987>

此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

前言

数字信号处理主要研究对信号进行分析、变换、综合、估计与识别等加工处理的基本理论和方法。通过实验可以使学生掌握最基本的数字信号处理的理论和方法,巩固并综合运用所学知识,提高计算机编程的能力。进一步加强学生独立分析问题、解决问题的能力、注重综合设计及创新能力的培养,同时培养学生实事求是、严谨认真的科学作风和良好的实验习惯,为今后的工作打好基础。本实验指导书是在“卓越工程师”培养和“新工科”工程能力培养的背景下编写完成的。

本书使用 ADC-DAC 数字信号处理平台, FPGA 板卡、DSP 板卡、MATLAB 工具,以及信号源、示波器等辅助工具,搭建实验平台并结合相关具体实验与工程项目,帮助学生巩固理论知识。实验内容安排从基础的平台搭建到具体编程实践再到更为复杂的工程项目实验,由浅入深,逐步增加设计性和工程应用性内容,达到加深理论知识理解、训练问题解决思路和积累工程实际应用经验的目的。

本指导书实验内容大致分为三大模块。

第一模块为数字信号基础平台搭建。该基础平台包括 ADC 板、DAC 板、FPGA 接口板及时钟板各个板卡模块,以及示波器、信号源、直流电源等设备组成。主要内容为学习通过信号源产生相应的模拟信号,并用 CDCE62005 时钟板提供时钟,利用 TSW1400EVM 提供的 GUI 图形界面保存 ADC 数据。通过 MATLAB 读入数据,并产生输出数据,通过 DAC 恢复模拟信号,并使用示波器观察 DAC 输出。当 MATLAB 读入 ADC 数据后,可以利用 MATLAB 提供的各种工具,对 ADC 数据进行处理。

在第二章的实验中,使用 MATLAB 函数和滤波器辅助设计软件对数字滤波器进行设计和实现,加深学生对数字滤波器的常用指标、设计过程及实现的理解。掌握 MATLAB 下 FIR、IIR 滤波的实现,包括 Simulink 及 m 文件实现。并使用 ADC-DAC 数字信号基础平台配合 MATLAB 完成信号滤波处理及回放。

第二模块为高级信号处理实验,内容包括实际工程应用中常见的信号处理需求。其中,第三章信号抽取与内插通过 MATLAB 学习,掌握信号抽取和插值的原理和基本实现方法,为后续的多抽样率数字信号处理打下基础。“多抽样率数字信号处理”的核心内容是信号抽样率的转换及滤波器组。抽取、插值及二者相结合的使用便可实现信号抽样率的转换。

第四章变换域分析的应用是信号处理中的常用的分析方法。变换域分析,如傅里叶变换、小波分析等。它们可以将输入的时域信号分解为不同基函数的线性组合,从而实现对信号的不同角度的观测。变换域分析方法可以理解为信号在不同空间的投影,这样经过变换后的信号在能

量分布等特性上有与原始时域空间不同的特性,从而为信号分析、处理及应用带来全新的思路。本实验将通过 MATLAB 工具,学习和研究信号变换域分析的基本原理,并重点利用变换域的能量分布聚集性质,对输入的信号进行压缩,包括离散傅里叶变换、离散 DCT 变换及小波变换。

第五章谱估计主要包括非参数化谱估计和参数化谱估计两部分内容。通过非参数化方法和参数化方法的对比,掌握常用的功率谱估计算法,包括了解功率谱估计的基本原理和方法,了解影响功率谱估计误差的原因及采取的相应措施,研究提高功率谱估计分辨率的方法。经典谱估计(非参数化估计)简单方便,但存在较大偏差,人们使用了很多方法来修正。其中,加窗函数虽然能减小周期图的偏差,改善功率谱曲线的光滑性,但作为非参数化谱估计,周期图具有分辨率低的固有缺陷,不能适应高分辨率谱估计的需要。与之相比,参数化估计可以提供比周期图高很多的频率分辨率。本实验将学习和使用参数化功率谱估计方法,使用 N 个已知的观测数据 $x(0), x(1), \dots, x(N-1)$ 估计出 ARMA 系统参数,然后通过系统参数计算出功率谱密度。编写 MATLAB 代码,实现 ARMA 系统的 AR 的阶数、参数估计,并使用 Cadzow 估计子计算功率谱,并利用这个 MATLAB 代码,尝试区分前面经典谱估计无法分辨的 1 Hz 和 1.1 Hz 两个正弦信号。

第六章为高阶谱和高阶累积量的相关实验内容。高阶统计量(higher-order statistics)是指比二阶统计量更高阶的随机变量或随机过程的统计量。高阶统计量包括高阶矩(higher-order moment)、高阶累积量(higher-order cumulant)、高阶谱(higher-order spectra, polyspectra),要求了解高阶统计量的基本概念及理论计算方法;通过高阶统计量 MATLAB 工具包,掌握高阶统计量的基本使用;通过高阶统计量实现两个同频不同相的正弦信号识别应用;分辨最大/最小相位系统;通过高阶累积量实现 ARMA 的参数估计;通过高阶累积量实现二次相位耦合分析。

第七章为时频分布相关实验内容。线性系统常用的分析工具是傅里叶变换,它将信号分解为各个频率分量。功率谱提供了信号中的频率分量信息,但是它不能提供这些频率分量的时间位置信息;另外原始的时间信号提供了很好的时间分辨率,但是它不能提供任何频率信息,包括高阶谱中的双谱和三谱都仅仅适合于平稳过程,而不能分析非平稳过程或暂态信号。时频分析是一种将一维信号映射到二维时频面的变换,它刻画了信号的频率随时间的变化过程,常见的线性时频分析方法有短时傅里叶变换, Gabor 变换及小波变换等,而二次型时频分析方法包括谱图、Wigner-ville 分布和 Choi-Williams 分布等。本实验将通过 MATLAB 工具,学习和研究信号的时频分布,主要包括短时傅里叶变换、Gabor 变换、Wigner 谱(包括双谱和三谱)及 Cohen 类时频分布。

第三模块为工程实践,内容包括第八章捕获信号参数估计、第九章双音多频 DTMF 技术与第十章音频采集与实时网络传输三个章节。该模块以 DM6437 开发板作为实验平台,结合具体案例,每个实验都解决一个实际工程应用问题。通过实验引导并帮助学生从分析问题到设计算法再到解决问题,将理论知识与动手实践相结合,提高其分析解决问题的能力,并积累工程项目的实践经验。

本书由电子科技大学管庆任主编,邓建华、娄春伟任副主编,编委会成员包括曹明生、黄丹、陈亚、黄俊、范满平、易黎、王琳、于永斌。电子科技大学通信学院的研究生王碧皓、魏墨非、范波

参与了实验代码和文档整理工作。

本指导书在编写过程中得到了电子科技大学信息软件工程学院领导和老师们的大力支持和帮助,书中也凝结了他们的智慧和经验。实验教学是一项综合性集体活动,因此,编者期望在今后的教学实践中,能得到使用本书的师生提出的宝贵意见,以使课程改革不断深入、日臻完善。

本书是在高等教育出版社的大力支持下出版的,编辑们为此付出了艰苦的劳动。我们对他们的敬业精神和出色的工作表示由衷的敬意和感谢。

由于时间仓促,加之作者水平有限,不当之处在所难免,恳请读者多提宝贵意见。

作者联系邮箱:qguan@uestc.edu.cn。

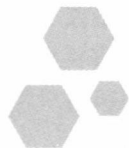
作者

2018年3月于电子科技大学

目 录

第 1 章 数据处理平台搭建基础实验	1	3.2.3 抽取的滤波器实现	30
1.1 导言	1	3.3 信号的内插	35
1.2 平台介绍	1	3.3.1 知识介绍	35
1.2.1 系统框图	1	3.3.2 插值的滤波器实现	37
1.2.2 ADC 板介绍	1	3.4 抽取与插值相结合的抽样率转换	39
1.2.3 数据处理板介绍	2	3.4.1 知识介绍	39
1.2.4 DAC 板介绍	3	3.4.2 抽取和插值相结合的滤波器实现	40
1.2.5 软件介绍	3	3.5 实验内容	43
1.2.6 电源	4	第 4 章 变换域分析的应用	44
1.3 基础实验示例	4	4.1 导言	44
1.3.1 实验所用到的设备材料及软件	4	4.2 离散傅里叶变换	44
1.3.2 跳线配置(默认配置)	5	4.3 离散 DCT 变换	48
1.3.3 实验操作	5	4.4 小波分析	49
1.3.4 DAC 试验连接	10	4.4.1 小波变换的定义和特性	49
1.4 实验内容	13	4.4.2 尺度离散化的小波变换	52
第 2 章 信号滤波	14	4.4.3 通过滤波器快速实现小波变换和反变换	53
2.1 导言	14	4.4.4 正交小波包	55
2.2 数字滤波器设计	14	4.5 实验内容	59
2.2.1 数字滤波器设计步骤	14	4.6 附录	60
2.2.2 数字滤波器设计中的注意事项	14	第 5 章 谱估计	63
2.2.3 数字滤波器设计方法	15	5.1 导言	63
2.2.4 数字滤波器的实现结构	16	5.2 非参数化谱估计	63
2.3 滤波器设计相关 MATLAB 命令	16	5.3 参数化谱估计	74
2.4 实验内容	24	5.4 实验内容	80
第 3 章 信号抽取与内插	26	第 6 章 高阶谱和高阶累积量	81
3.1 导言	26	6.1 导言	81
3.2 信号的抽取	26	6.2 高阶统计量	81
3.2.1 知识介绍	26	6.2.1 高阶累积量和高阶距	81
3.2.2 几个重要恒等关系	29		

6.2.2 高阶谱	82	8.4.3 相关程序实现	116
6.3 实验内容	92	8.5 实验结果分析	117
第 7 章 时频分布	93	第 9 章 双音多频 DTMF 技术	119
7.1 导言	93	9.1 导言	119
7.2 短时傅里叶变换	93	9.2 实验原理	120
7.3 Gabor 变换	98	9.2.1 DTMF 信号的产生	120
7.4 Wigner 分布	102	9.2.2 DTMF 信号的检测	121
7.5 Cohen 类时频分布	106	9.2.3 收集频谱信息	121
7.6 实验内容	110	9.2.4 有效性检查	123
第 8 章 捕获信号参数估计	111	9.2.5 DTMF 检测器流程	124
8.1 导言	111	9.3 工程实现	125
8.2 相位差分法	111	9.4 思考题	130
8.3 正弦信号最小二乘法拟合	112	第 10 章 音频采集与实时网络传输	132
8.3.1 三参数正弦曲线拟合法	112	10.1 导言	132
8.3.2 四参数正弦曲线拟合法	114	10.2 实验原理	132
8.4 DM6437EVM 上正弦信号参数		10.3 工程实现	133
估计的实现	115	10.3.1 音频采集	133
8.4.1 硬件电路连接	115	10.3.2 网络传输程序设计	136
8.4.2 新建配置文件	115	参考文献	139



第 1 章

数据处理平台搭建基础实验

1.1 引言

ADC-DAC 数据采集实验平台由硬件平台、软件和微机三部分组成,微机安装系统提供的软件,控制操作硬件平台的运行。硬件平台由 ADC、DAC、数据处理三块电路板组成,软件包括 GUI 和通用的 MATLAB。系统提供需要的软硬件接口和硬件连接器件,实验需要根据要求自行正确连接相关器件。

微机与系统硬件平台之间通过 USB 口连接,进行操作和数据处理。系统工作需要外部提供采样时钟信号。

本章节学习的主要内容为:通过信号源产生相应的模拟信号与采样时钟(也可利用 CDCE62005 时钟板提供时钟信号),利用 TSW1400EVM 提供的 GUI 图形界面保存 ADC 数据。通过 MATLAB 读入数据,并产生输出数据,通过 DAC 恢复模拟信号,并使用示波器观察 DAC 输出。当 MATLAB 读入 ADC 数据后,可以利用 MATLAB 提供的各种工具,对 ADC 数据进行处理。

1.2 平台介绍

1.2.1 系统框图

系统框图如图 1-1 所示,其中虚线框表示接入时钟信号既可来自信号源,也可通过时钟板 CDCE62005 提供。而在本章中,默认采用信号源提供时钟信号。

1.2.2 ADC 板介绍

ADC 板是一个双通道 12 bit 超低功耗的,最高可到 250 MSPS 的模拟到数字转换的评估板(采样芯片是 TI 公司的 ADS4229),模拟信号通道可以选择交流耦合或直流耦合,可以插入低通滤波器。采样的信号通过 LVDS 或 CMOS 接口输出到下一级设备进行处理。

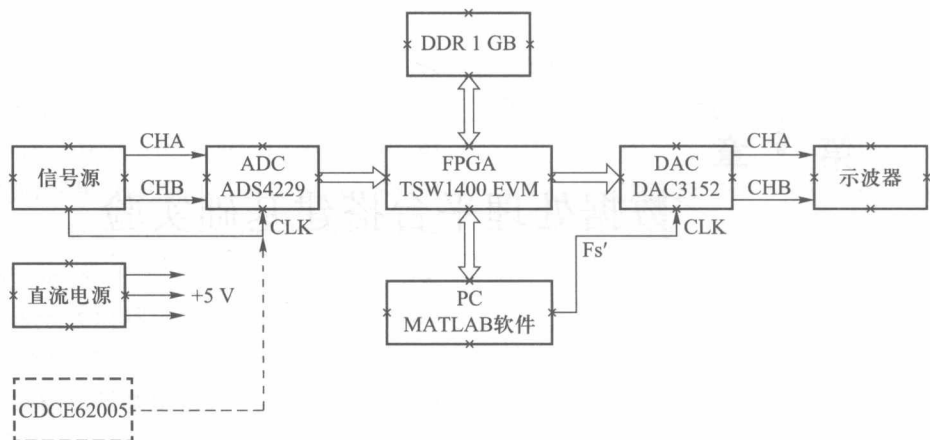


图 1-1 系统框图

ADC 板和数据处理板接口,通过在 PC 上运行系统提供的 GUI 软件 High Speed Data Converter Pro GUI 进行数据采集和保存,可以直接应用 MATLAB 软件进行分析评估。

ADC 板的详细性能、参数、指标,以及 High Speed Data Converter Pro GUI 软件运行过程请阅读 TI 官网中 ADC 评估板和 ADS4229 芯片介绍两个文档。ADC 和 TSW1400 的连接示意图如图 1-2 所示。

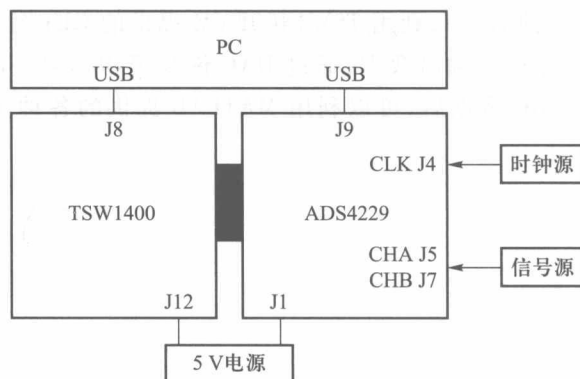


图 1-2 ADC 与 TSW1400 连接示意图

1.2.3 数据处理板介绍

数据处理板 TSW1400 与 ADC 板、DAC 板、PC 组成了完整的一套 AD-DA 数据处理系统,PC 端运行 High Speed Data Converter Pro GUI 软件通过 USB 接口将采样的数据保存到 PC 端,用以进行后期分析,方便使用 MATLAB 软件对数据进行处理,可将处理后形成的数据文件导回 TSW1400,再送 DAC 板进行硬件仿真。

数据处理板 TSW1400 核心芯片采用 ALTERA 的 FPGA, 系统提供固件对 ADC 板的数据进行采集并存储在板上提供的 1 GB 的 DDR 存储器里, 同时生成希望的数据格式, 再送 DAC 板处理。用户也可以根据需要自行开发固件, 以满足不同需求。

数据处理板 TSW1400 的详细性能、参数、指标及软件运行过程请阅读 TI 中 TSW1400 评估板和 FPGA 芯片介绍两个文档。

1.2.4 DAC 板介绍

DAC 板是一个双通道 10 bit 最高 500 MSPS 的数字到模拟转换的评估板, DAC 板和数据处理板 TSW1400 连接可以进行两路信号同时转换, TSW1400 将处理后的数据发送到 DAC 板, 通过 DAC 转换后可用示波器在 DAC3152 的输出端观察 DAC 转换处理后的数据波形。

DAC 板工作需要外部提供时钟信号。DAC 板提供滤波器电路, DAC 转换后的信号可平滑处理。DAC 板上有正交调制电路模块(需要外部提供本振信号), 两路 DAC 后的信号直接送入调制电路, 操作方便。

DAC 板详细性能、参数、指标及软件运行过程请阅读 TI 中 DAC3152 EVM 评估板和 DAC3152 芯片介绍两个文档。

DAC 和 TSW1400 的连接示意图如图 1-3 所示。

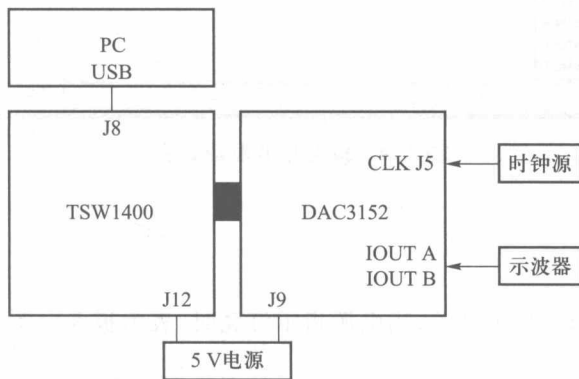


图 1-3 DAC 与 TSW1400 连接示意图

1.2.5 软件介绍

本章节使用 TSW1400 EVM 板的界面控制软件 High Speed Data Converter Pro GUI 和数据解析软件 MATLAB, 具体软件可前往 TI 官网获取或查找本书附带的资源文件。

High Speed Data Converter Pro GUI 安装过程如下。

- (1) 下载 High Speed Data Converter Pro GUI 安装包。
- (2) 解压下载的压缩包, 双击 High Speed Data Converter Pro-Installer v2.1.exe 安装, 使用软件

默认的安装位置。

当 High Speed Data Converter Pro GUI 安装成功后,用 USB 线连接上 PC 与 TSW1400 的 mini-USB 接口(J8),给板卡接通 5 V 电源后就可以在 PC 的设备管理器中看到新添加的 TSW1400 设备了,如图 1-4 中方框部分。

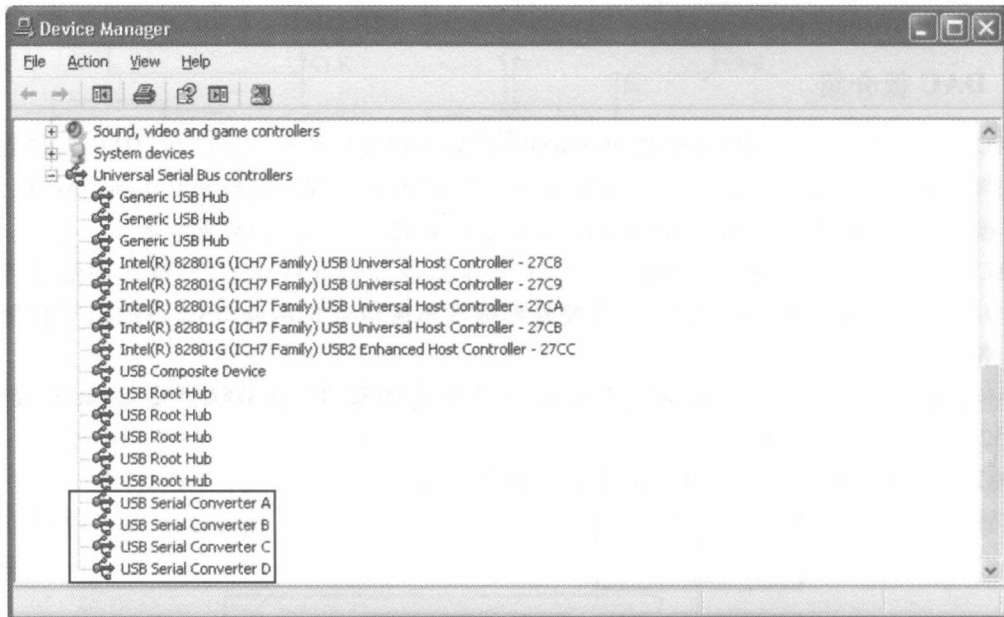


图 1-4 检查 USB 驱动安装

1.2.6 电源

给板卡接入 5 V 电源。按下开关,当电源指示灯亮时,表示板卡电源正常供电。

1.3 基础实验示例

1.3.1 实验所用到的设备材料及软件

试验板:ADS4229、DAC3152、TSW1400

示波器:一台 5 V 电源:三组

双通道函数信号发生器:一台 一个通道提供采样时钟(建议 20 MHz),另一个通道提供低频的采样信号(正弦波、方波、三角波等)

两端分别为 SMA 接头和 BNC 接头的连接线:至少两根

TWS1400 EVM 界面控制软件:High Speed Data Converter Pro GUI
数据处理软件:MATLAB

1.3.2 跳线配置(默认配置)

ADC 板:已固定默认跳线配置
DAC 板:默认跳线配置,如表 1-1 所示

表 1-1 DAC 板默认跳线配置

跳线	默认配置	功能
JP8	短接 1-2	通道 A 输出信号通过变压器
JP9	短接 1-2	
JP12	短接	
JP10	短接 1-2	通道 B 输出信号通过变压器
JP11	短接 1-2	
JP13	短接	
JP4	断开	正交调制器连接
JP5	断开	
JP6	断开	
JP7	断开	
JP3	断开	正交调制器供电

1.3.3 实验操作

采样信号正弦波 1 MHz,采样时钟信号 20 MHz。
A,B 通道配置为低速 LVDS 并行输出格式(已默认配置,无须另外修改)。
硬件连接如下。

- (1) 将 TSW1400 与 ADS4229 的 LVDS 接口连接。
- (2) 用+5 V 电源为 TSW1400 和 ADS4229 供电。
- (3) 将时钟信号连接 J19。
- (4) 将采样输入信号连接 J6(A 通道)或 J3(B 通道)。

连接后的实物图如图 1-5 所示。

1. ADC 的实验步骤

(1) 打开 5 V 电源开关为 ADC 供电,确定电源电流在 300 mA±30 mA 内,确保 TSW1400 为以上连接。将时钟信号连接 J19 ,将输入信号连接 J3。测试采用的输入信号为时钟输入 20 MHz

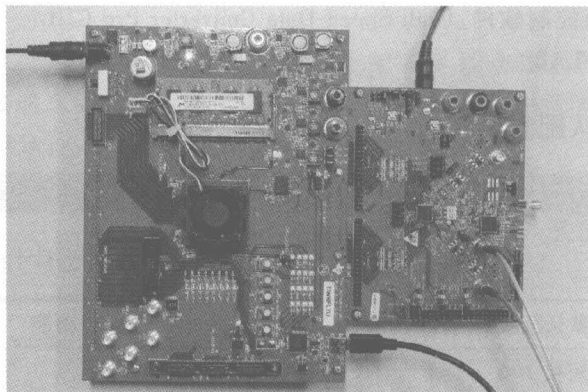


图 1-5 TSW1400 与 ADS4229 连接

峰峰值 1 400 mV ($-700 \sim 700$ mV) 的方波(或正弦波)时钟,被采样信号是频率为 1 MHz 幅度为 1 000 mV ($-500 \sim 500$ mV) 的正弦信号,如图 1-6 所示。

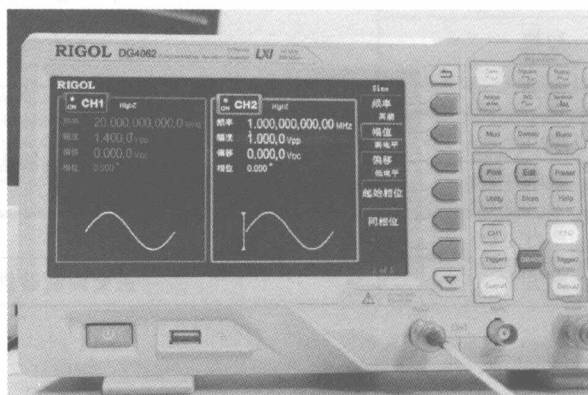


图 1-6 输入正弦信号

(2) 当 TSW1400 的 USB 与 PC 连接并打开 TSW1400 电源后,打开 High Speed Data Converter Pro GUI,出现图 1-7 所示的界面,单击 OK 按钮,棕黄色的未连接提示将变为绿色的已连接提示。

(3) 然后会提示选择设备加载固件。单击“确定”按钮后在 GUI 的界面上选择 ADC 的标签,如图 1-8 所示,则通过左上角的 Select ADC 标签选择实验板芯片的型号,这里我们选择 ADS4229。

(4) 选择 ADS4229 后,将弹出对话框,更新 ADC 的固件。

单击 YES 按钮,则出现固件下载界面。大约经过 20 s,固件下载界面消失,TSW1400 的 LED 指示灯 D1,D2,D3,D4,D7,D8,D9 点亮,连接 ADC 板并通电后 D5 灯也被点亮。

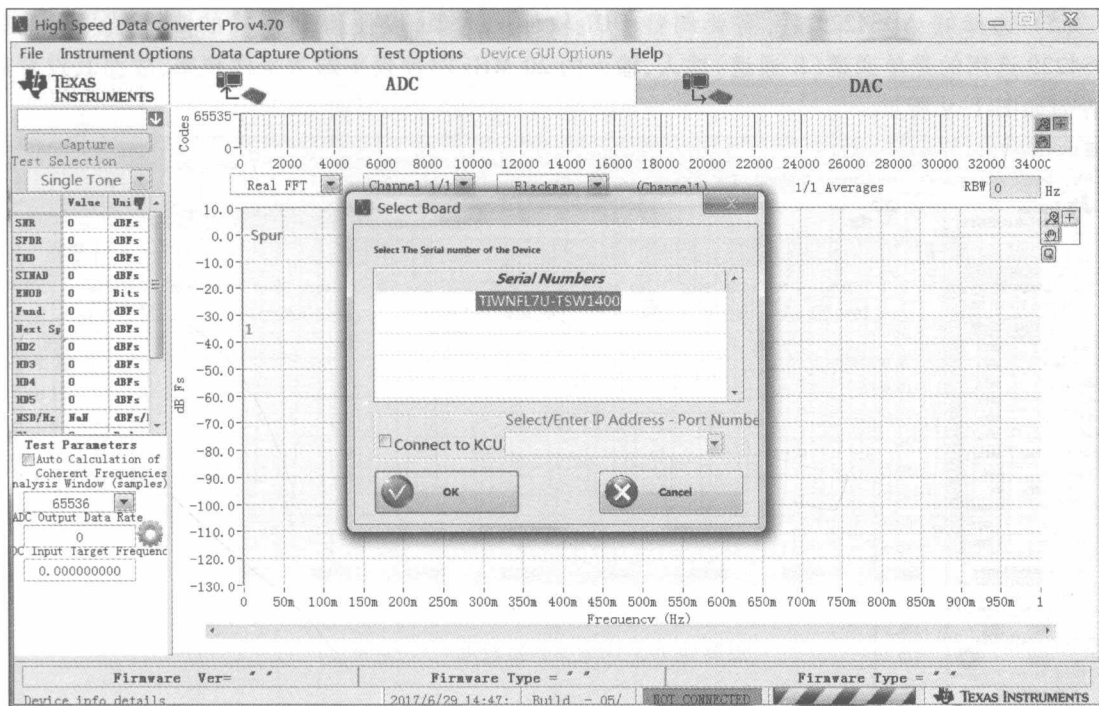


图 1-7 Select Board 对话框

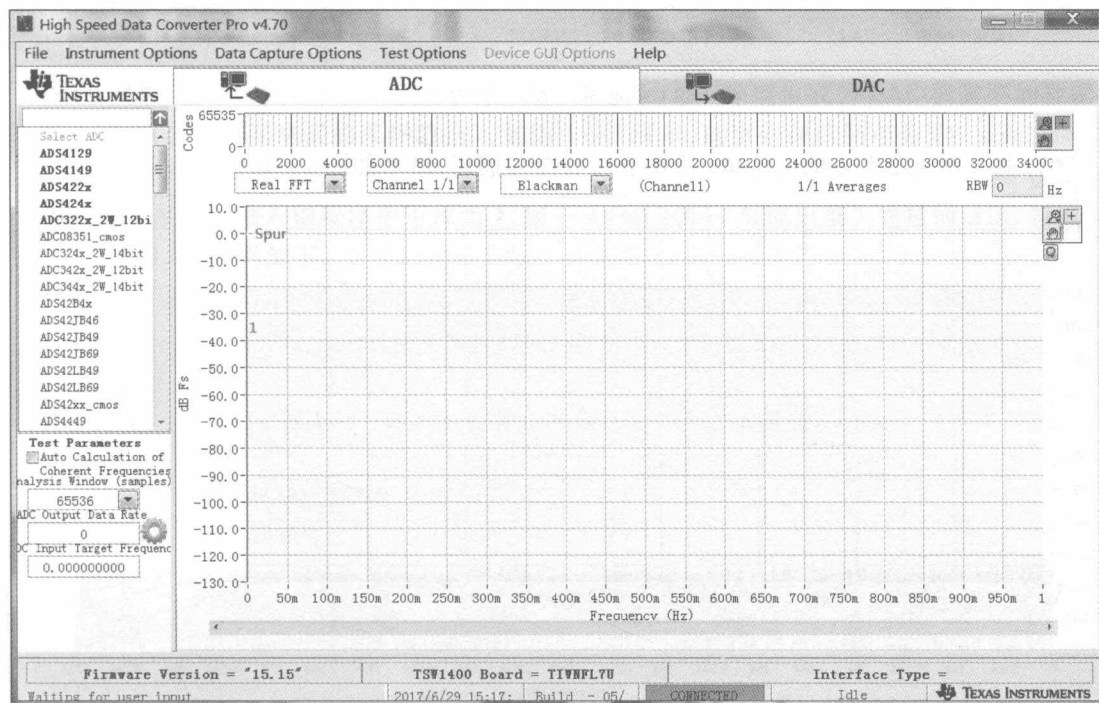


图 1-8 TSW1400 数据捕获 GUI 界面