

# 基于 USB 的 TDS 电路设计

林定君 臧元章 刘素芳 汪瑞

(中国电子科技集团公司第五十研究所 上海 200331)

**摘要:** 简要介绍了一套针对太赫兹时域光谱系统(TDS)研制的基于 USB 通信的电路系统。该电路系统通过给太赫兹发射器提供偏压,控制光学延迟线实现对样品的时域光谱的测量,实现太赫兹探测器数据采集,并通过 USB 实现数据的上位机传输,最终通过数据处理得到太赫兹的时域信号和频域信号。通过模式识别算法与样品库中的频谱进行比对,识别待测物品成分。测量结果表明,电路系统符合实际需求,太赫兹时域光谱系统的可利用带宽可以达到 3 THz,光谱分辨率优于 10 GHz,能够很好的满足样品的光谱测量。

**关键词:** 光学延迟线;USB;光谱测量;模式识别

**中图分类号:** TP99    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 510.40

## Design of terahertz time-domain spectroscopy system based on USB

Lin Dingjun Zang Yuanzhang Liu Sufang Wang Rui

(No. 50 Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Shanghai 200331, China)

**Abstract:** This paper introduced a circuit system based on USB and is designed for TDS (time-domain spectroscopy system). We can realize the measurement of time domain spectra of samples by controlling the optical delay line using this circuit system to provide bias control for terahertz transmitter, and acquire the data of terahertz detectors which then will be transformed by USB to the PC and finally we will get the signal time domain and frequency domain signal THz through data processing. By comparison of spectrum pattern recognition algorithm and sample library, identification of objects to be measured component. The terahertz time-domain spectroscopy system can achieve the bandwidth of 3 THz, the spectral resolution is better than 10 GHz, and it can well satisfy the spectral measurement of the samples.

**Keywords:** optical delay line; USB; spectrum measurement; pattern recognition

## 0 引言

在安全检查和质量控制领域,对爆炸物、毒品、食品中的有害成分、环境中有害气体等危险有害物质进行快速、准确的检测是一项难题。由于检测对象的复杂多样性、受外界环境的影响大等特点,现有的技术的适用范围、分析速度和准确性存在各自的局限性,通常没有一种技术能够满足所有检测任务的需求<sup>[1]</sup>。太赫兹波是指电磁频率在 0.1~10 THz(波长在 3 mm~30  $\mu\text{m}$ )的电磁波,波段介于微波与远红外光之间。在 20 世纪 80 年代中期以前,由于缺乏有效的产生方法和检测手段,科学家对该波段电磁辐射性质的了解非常有限<sup>[2]</sup>。近年来超快激光技术的发展为太赫兹波脉冲的产生提供了稳定、可靠的激发光源,使太赫兹辐射的研究蓬勃发展。由于太赫兹辐射具有光谱识别性、透视性以及低能性等独特优点,太赫兹技术在安全检测、生物医学、无损检测等许多方面具有诱人的应用前景<sup>[3-4]</sup>。

太赫兹波的时域光谱技术可以直接测量太赫兹波的时域电场。与传统的光学方法只能测量莫伊频率光的强度不同,通过时域数据的傅里叶变换可以给出太赫兹波的大小和相位<sup>[5]</sup>。可以直接提供介电常数的实部和虚部,这使得测量与太赫兹波相互作用的介质折射率和吸收系数变得更精确<sup>[5-6]</sup>。

不同的物质在被太赫兹波照射后,会在特定的频率上产生较强的吸收从而出现吸收峰<sup>[7]</sup>,通过模式识别算法将被测物品的吸收谱与样品库中已知物品的光谱进行比对,从而实现物品识别的功能。针对这一情况,设计了一套基于 USB 通信,通过控制光学延迟线,实现测量物品光谱的电路系统。

## 1 系统方案

太赫兹时域光谱系统如图 1 所示,由飞秒激光器、太赫兹发射器、延迟线和太赫兹探测器构成。飞秒激光被分为两束,泵浦光和探测光,泵浦光照射在发射器上产生太赫兹

脉冲,探测光经过延时线后与太赫兹脉冲一起聚焦在探测器上,此时的太赫兹电场感应产生的瞬变可以由探测脉冲测量。改变延时线,可以测得整个太赫兹脉冲的电场,即获得太赫兹脉冲的时域波形。对时域波形进行快速傅氏变换(fast fourier transformation,FFT)变换可获得频域波形。

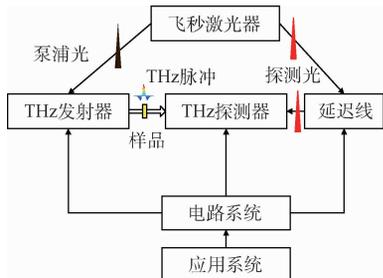


图 1 系统组成

太赫兹时域光谱系统中电路系统是连接整个系统(主要部件 THz 发射器、THz 探测器、延迟线等)与应用软件的桥梁,其主要作用是给 THz 发射器提供偏压、控制延迟线、对检测信号进行采集,并传输至 PC 机(应用软件)进行后续的处理、显示及保存等。

电路系统是连接光学系统与软件系统的桥梁,其主要任务包括:1)各光学组件的控制,包括光学延时线的控制;2)太赫兹时域信号采集与处理;3)与软件之间的指令及数据传输;4)为各电学器件提供电源。电路系统的原理如图 2 所示。

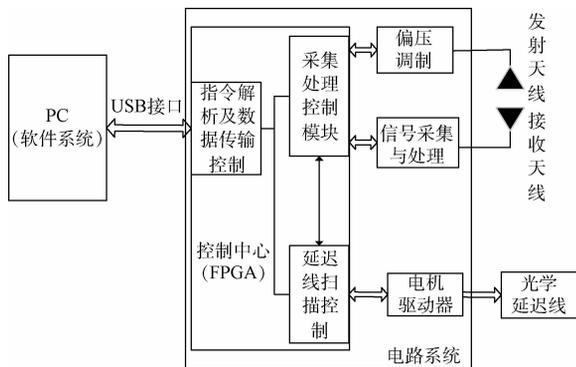


图 2 电路系统原理

经过分析论证,选用 FPGA 作为控制器,延迟线采用 FPGA 加音圈电机的方式,电路系统与 PC 间的数据通信拟采用 USB 接口。

## 2 系统硬件实现

根据发射天线的数据参数,为保证其正常工作,需提供 +60 V 的偏置电压,考虑快扫模式<sup>[7]</sup>的时间要求及天线的响应速度,将调制频率定为 40 kHz,即电子学系统应为发射天线提供一频率为 40 kHz 的方波信号,高电平为 60 V,低电平为 0 V,带载能力为 1 mA。经论证分析,系统采用升压 DCDC 模块将 48 V 升压到 60 V,然后通过 FPGA 控制 MOSFET 的通断来控制产生 0~60 V 的方波信号,如图 3 所示。

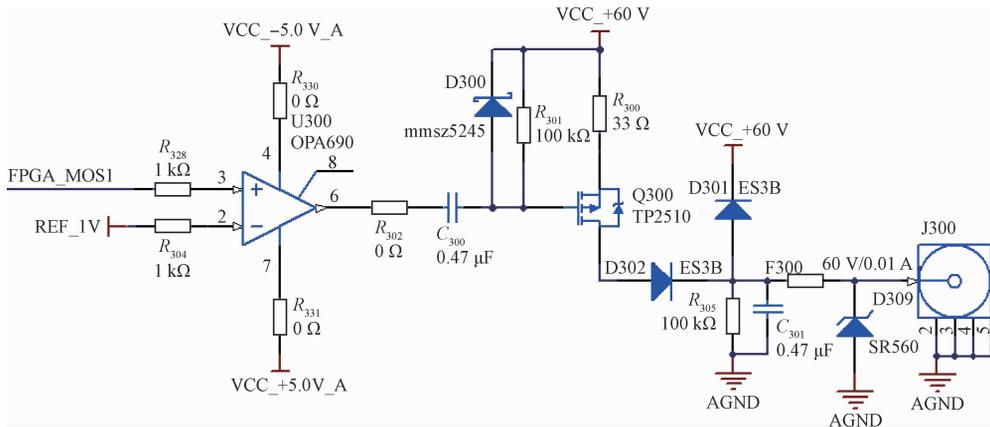


图 3 发射天线 0~60 V 偏压调制电路

接收天线输出信号为一较大的直流偏置上叠加一个微弱信号,经过仿真分析,直流去除功能将通过积分电路实现,即在放大电路的输出端接入一个积分电路,并将积分电路和输出反馈至输入端,与输入信号进行减法运算。放大采用的是仪表放大电路,滤波则采用简单的有源滤波电路。

接收天线辐射信号经过剪除放大滤波后输出电压为 0.01 mV~100 mV,接收天线辐射信号量级差达到了

10 000 倍,故 AD 量化必须  $\geq 14$  位,考虑量化噪声及系统实际噪声影响采用 14 位 AD 量化。综合分析后选用 TI 公司生产的 ADS5553,可以实现双通道采样,每个通道的采样速率可以达到 65MSPS,信噪比可以达到 74 dB,使用 3.3 V 单电源供电,14 位并行输出。其时序图如图 4 所示。

根据系统要求分析,采样率需达到 200 kHz 以上,AD 为 14 位量化,则需要的传输率为 2.8 Mbps。另外,在传输

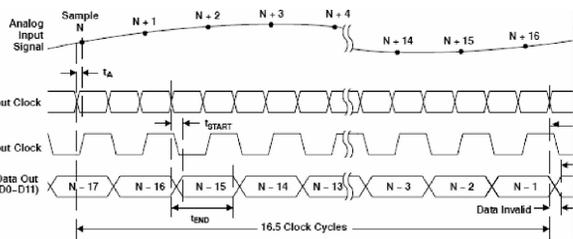


图4 ADS5553时序图

过程中还要加入帧头等相关信息,传输率略高于2.8 Mbps,约为3 Mbps。USB2.0可以满足该速率要求,本方案中拟选用USB2.0作为指令及数据传输接口。近年来,USB2.0接口凭借其高传输速率、低成本、支持热插拔等优点得到广泛的应用,其理论传输速率可达到480 Mbps,采用USB2.0完全可以满足系统要求,同时可以预留足够量以满足将来增加功能的需求(如提升电机运行速率后带来的数据量增加等)。

USB控制芯片选用Cypress公司的CY7C68013A,它集成了USB2.0标准的收发器、串行接口引擎(serial interface engine, SIE)、增强型8051内核及可编程外围接口<sup>[8-10]</sup>。USB数据传输支持同步传输、批量传输及控制传输等方式,为保证指令及数据快速有效传输,对于指令传输采用控制方式,而数据传输采用批量传输模式。

CY7C68013A与FPGA连接如图5所示,其中EEPROM(24C02)用来存储该USB设备的PID/VID,避免与接入计算机的其他设备冲突。所有控制信号及数据信号均由FPGA提供<sup>[11]</sup>。

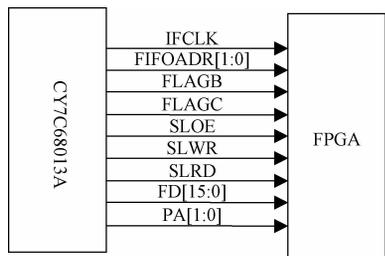


图5 CY7C68013A与FPGA连接

电源系统接收外部提供的48V电压,并将其转换成其他模块工作所需电压包括为发射天线提供偏压所需的60V,电机工作所需的15V,接收天线前置的信号剪除放大电路所需的±9V,信号采样所需的±5V和3.3V,数字电路工作所需的3.3V、2.5V和1.2V。电源部分原理如图6所示。

### 3 系统软件实现

FPGA主要完成时钟和复位产生、控制器与上位机通信、探测器信号采集处理、二维平移台扫描控制等功能,代码架构如图7所示。

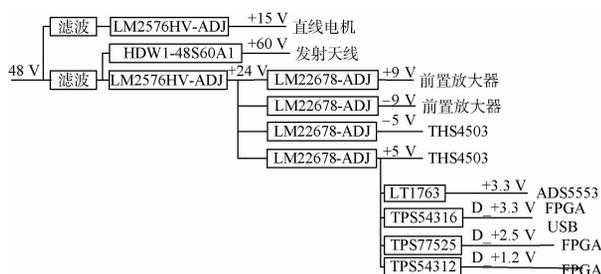


图6 电源原理

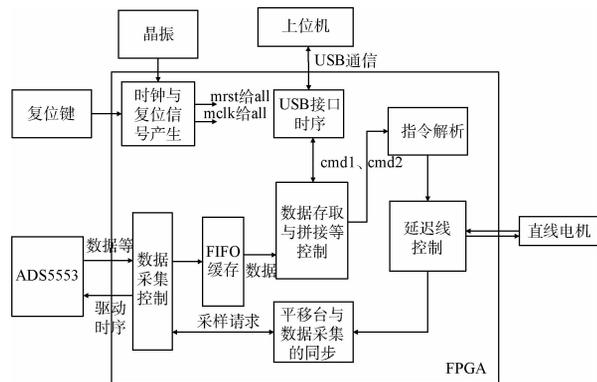
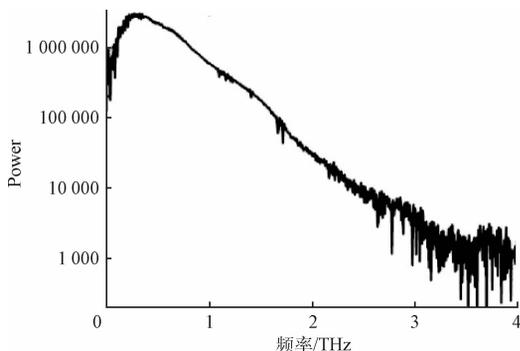


图7 FPGA代码框图

### 4 实验结果

为了验证太赫兹时域光谱系统测谱的性能,在充满氢气的封闭气室测量了系统的时域信号和频谱信号作为系统测量的标准信号如图8(a)所示,然后分别测量了在水蒸气和乳糖的吸收谱如图8(b)、(c)所示。对测得物质的太赫兹谱,提取频谱特征,通过模式识别算法与样品库中的频谱进行比对,通过神经网络<sup>[12]</sup>、支持向量机<sup>[13]</sup>等模式识别的算法识别混合物质的成份。

为了验证系统的频谱误差,在太赫兹发射器和探测器中间放置一个厚度为300 μm的硅片通过测量太赫兹光直接通过硅片和经过一次反射后的太赫兹光所测量得到的频域信号。然后将2次的频域信号进行一定的算法处理



(a) 充满氢气的频谱

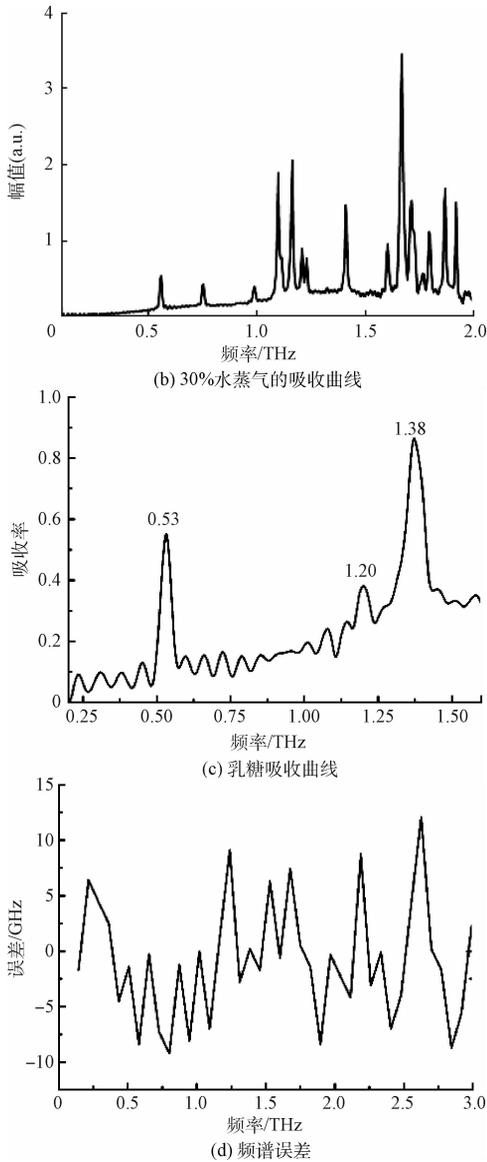


图 8 系统测谱性能结果

后得到系统的频谱误差曲线如图 8(d)所示。

为了验证系统的成像性能,制作了样品,然后控



制二维样品平移台的运动对所选的样品乳糖和铁环进行扫描,然后通过对扫描得到的太赫兹信号进行图像处理<sup>[14]</sup>算法后得到样品的成像结果如图 9 所示。

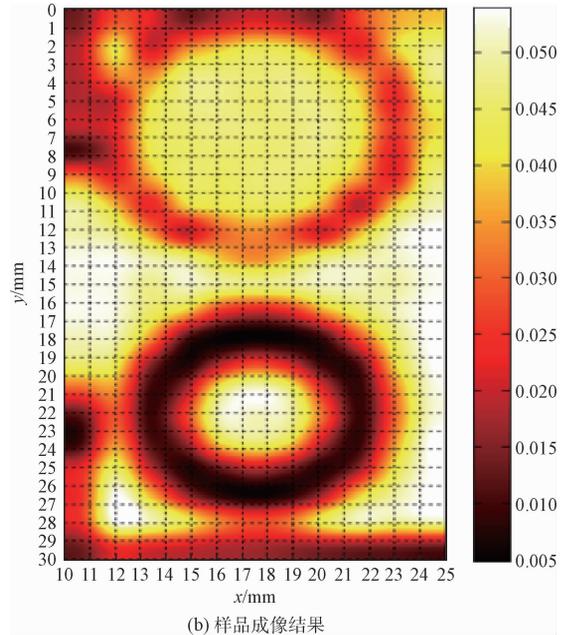


图 9 样品及成像结果

## 5 结 论

设计了一套基于 USB 通信的应用于太赫兹时域光谱系统,并将其应用于物品光谱测试和成像测试,从测谱性能图中可以看出,作者利用该设备实现了对物品的光谱测量,光谱的可利用带宽达到了 3 THz,频谱误差优于 10 GHz,而且成像效果理想,验证了该电路系统能够很好的满足光谱测量的需求。

## 参 考 文 献

- [1] 赵国忠,申彦春,刘影. 太赫兹技术在军事和安全领域的应用[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(8): 1097-1101.
- [2] 江兆凤,张群英,李超,等. 室内实测数据太赫兹合成孔径雷达成像研究[J]. 电子测量技术, 2016, 39(10): 65-71.
- [3] ZHANG W, LIANG D, TIAN Z, et al. Optical generation, detection and non-destructive testing applications of terahertz waves[J]. Instrumentation, 2016, 3(1): 1-20.
- [4] 熊兆贤,黄金保,薛昊,等. 太赫兹时域光谱系统检测 MCT 陶瓷太赫兹性能[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2014, 12(5): 663-666.
- [5] 殷贤华,王宁,陈晶溪. 基于太赫兹时域光谱系统的橡胶分类识别[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(6): 19-23.

- [6] 张旭涛,孙金海,蔡禾,等. 太赫兹时域光谱系统静区测试及数据处理[J]. 激光技术,2016,45(11):1-5.
- [7] 潘学文,尹向东,赵永红. 基于太赫兹光谱和 APSO-SVM 的转基因棉籽识别方法[J]. 电子测量与仪器学报,2017,30(3):377-382.
- [8] 周德亮,刘素芳,鲁斌,等. 基于 USB 的主动太赫兹成像电路设计[J]. 电子测量技术,2017,40(3):153-157.
- [9] 吕骏,王仁波,汤彬,等. 基于 USB 总线的多点数据采集系统的设计[J]. 电子测量技术,2015,38(11):88-91.
- [10] 陈旭东,陈章进,李翰超,等. 基于 FPGA 的频谱分析系统研究与实现[J]. 电子测量技术,2016,39(11):113-117.
- [11] 王具民,殷世民,陈洪波,等. 基于 FPGA 的傅里叶变换成像光谱仪实时数据采集与显示系统设计[J]. 电子器件,2017,40(1):103-107.
- [12] 刘浩然,赵翠香,李轩,等. 一种基于改进遗传算法的神经网络优化算法研究[J]. 仪器仪表学报,2016,37(7):1573-1580.
- [13] 胡冬梅,宋路,牛国成. 基于支持向量机的波片相位延迟测量新方法[J]. 仪器仪表学报,2016,37(7):1517-1523.
- [14] 刘斌,乔双梁,魏艳萍. 基于采样三通道不可分小波的多光谱图像融合[J]. 仪器仪表学报,2015,36(3):645-653.

## 作者简介

林定君,1990 年出生,工程师,主要研究方向为电子电路设计、雷达信号处理等。

E-mail:lindingjun0807@163.com