

## QUEENTEST QT1509RF

PCIe射频收发平台

75MHz至6GHz调谐范围

200MHz瞬时带宽

Data Sheet



## 简介

坤驰科技自主研发的QT1509RF是一款基于RF-IC芯片PCIe总线的射频收发板卡,板卡提供双通道发射器和接收器、集成式频率合成器以及数字信号处理功能。满足3G、4G和5G宏蜂窝时分双工(TDD)基站应用要求。接收链路由两个独立的带宽、直接变频接收器组成,具有出色的动态范围。发射链路采用直接变频调制器,以小巧的体积完成高精度低噪声信号调制。射频通道具备程控增益控制电路,能够利用软件提供的API完成手动或者自动增益控制功能,配合基带的数字滤波功能,板卡提供灵活增益控制模式以及对应的滤波器配置。

QT1509RF搭配坤驰科技的上位机可视化软件,通过上位机软件实现对板卡的操作,可通过上位机软件的频域图和瀑布图动态进行频谱分析,对于有二次开发需求的用户,提供多种语言的二次开发接口及板卡控制参考例程。

## 特性

- 2个射频接收通道,频率覆盖范围75MHz~6GHz,信号瞬时带宽200MHz
- 2个射频发射通道,频率覆盖范围75MHz~6GHz,信号瞬时带宽200MHz,最大合成带宽450MHz
- 支持内部参考时钟和外部参考时钟
- 支持TDD应用模式,同一时刻接收和发射频点相同
- 支持PCIE x8 Gen2数据采集流盘模式
- PCIE x8 Gen2,连续传输速率2GB/s
- 10Gbps光口,连续传输速率900MB/s
- 3GB(PS: 1GB、PL: 2GB)DDR3存储空间
- 集成GNSS授时模块,支持采样时戳功能,支持BDS、GPS等系统
- 集成8GB EMMC Flash和SD卡接口,满足大容量数据存储
- 集成10/100/1000Mbps Ethernet接口、10Gbps光纤接口以及USB2.0接口
- PCIE接口和光口复用设计,仅支持同时使用的模式如下: PCIE x4 Gen2和SFP+, PCIE x8 Gen2
- FPGA定制应用,提供Verilog-HDL二次开发接口

\*注:若使用外触发功能则光口不可使用

## 应用领域

- 3G、4G、5G TDD模式通信
- TDD有源天线系统
- 软件无线电
- 宽带MIMO应用
- （雷达/声纳）电子战
- 仪器仪表和测量

## 客户价值

- 通过快速PCIe总线实时传输采集数据
- 灵活的子母卡配置方案
- 缩短开发时间，加快产品上市速度
- 可集成满足OEM领域应用的实时信号处理模块：如DDC、DUC以及FFT等

# 系统框图

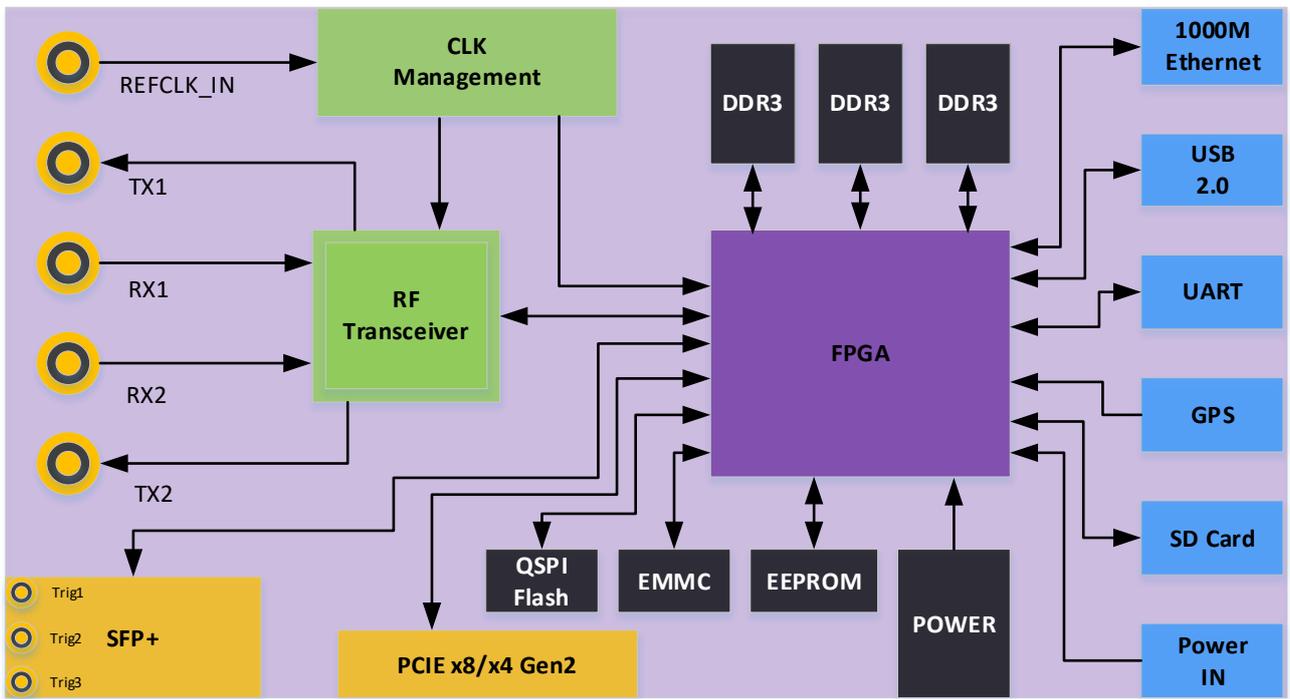


图 1 系统框图

QT1509RF包含2路接收、2路发射的集成射频收发器，主控系统采用Xilinx FPGA ZYNQ系列，内部集成ARM处理器，能够实现多种接口控制功能。



图 2 侧视图      图 3 前视图      图 4 后侧视图      图 5 前侧视图

## 模拟信号输入 (RX)

模拟信号输入设计采用AC耦合50Ohm阻抗匹配，支持信号输入频率范围75MHz~6GHz，支持最大信号瞬时带宽200MHz。支持最高信号输入功率-10dBm（由于支持频率范围较宽，不同频点的输入信号饱和功率不同）。

表 1 射频输入接口特性

RF INPUTS AC-COUPLED (-6dBFS)
-------------------------------

RF 输入	2	
SNR@1900MHz	54	dB
SFDR@1900MHz	75	dB
LOL@1900MHz	-80	dB
AC耦合输入阻抗	50	Ohm
最大输入功率@1900MHz	-6	dBm
连接器类型	SSMC	

## 噪声和失真性能

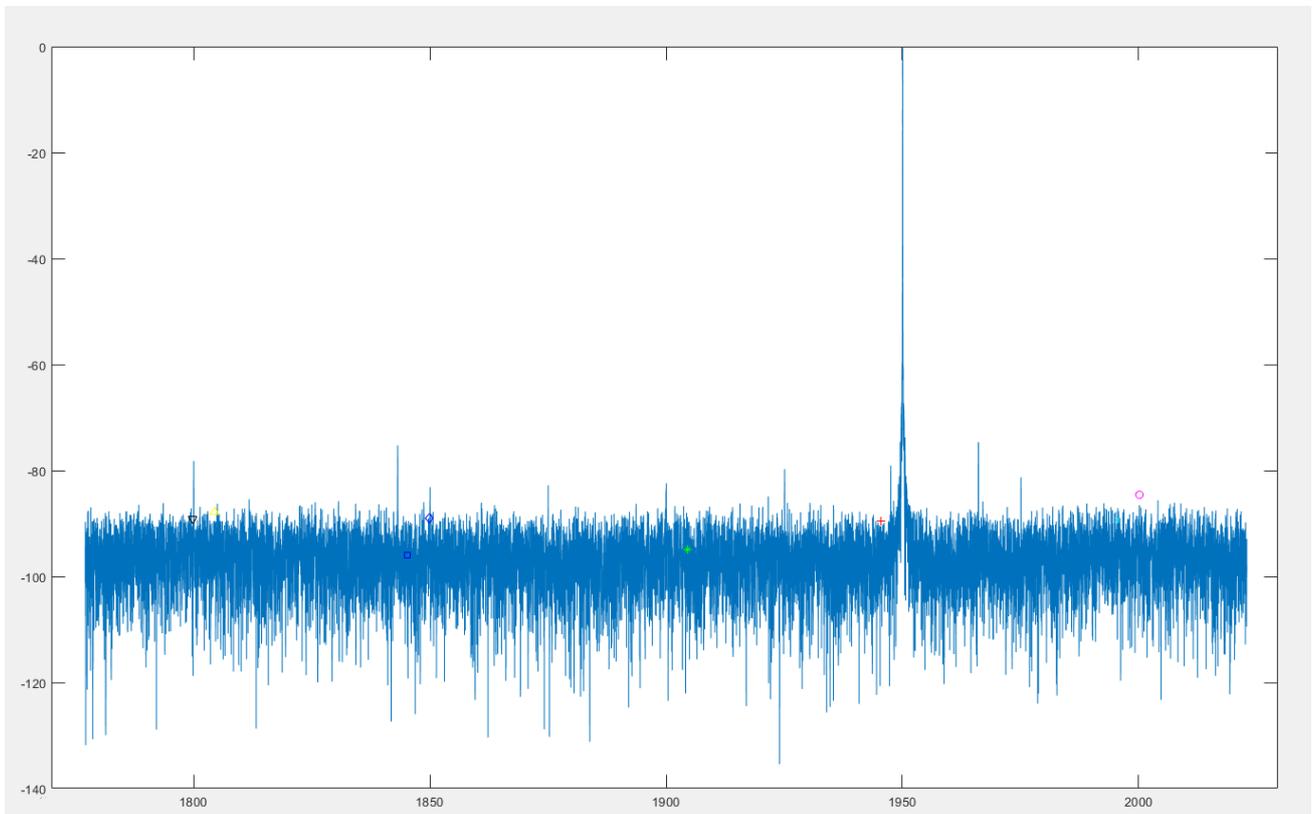


图 6 1950MHz输入信号频谱图

表 2 1950MHz输入信号频谱指标

SNR@1950MHz	54	dB
SFDR@1950MHz	74	dB
LOL@1950MHz	-80	dB
ENOB@1950MHz	9.7	LSB

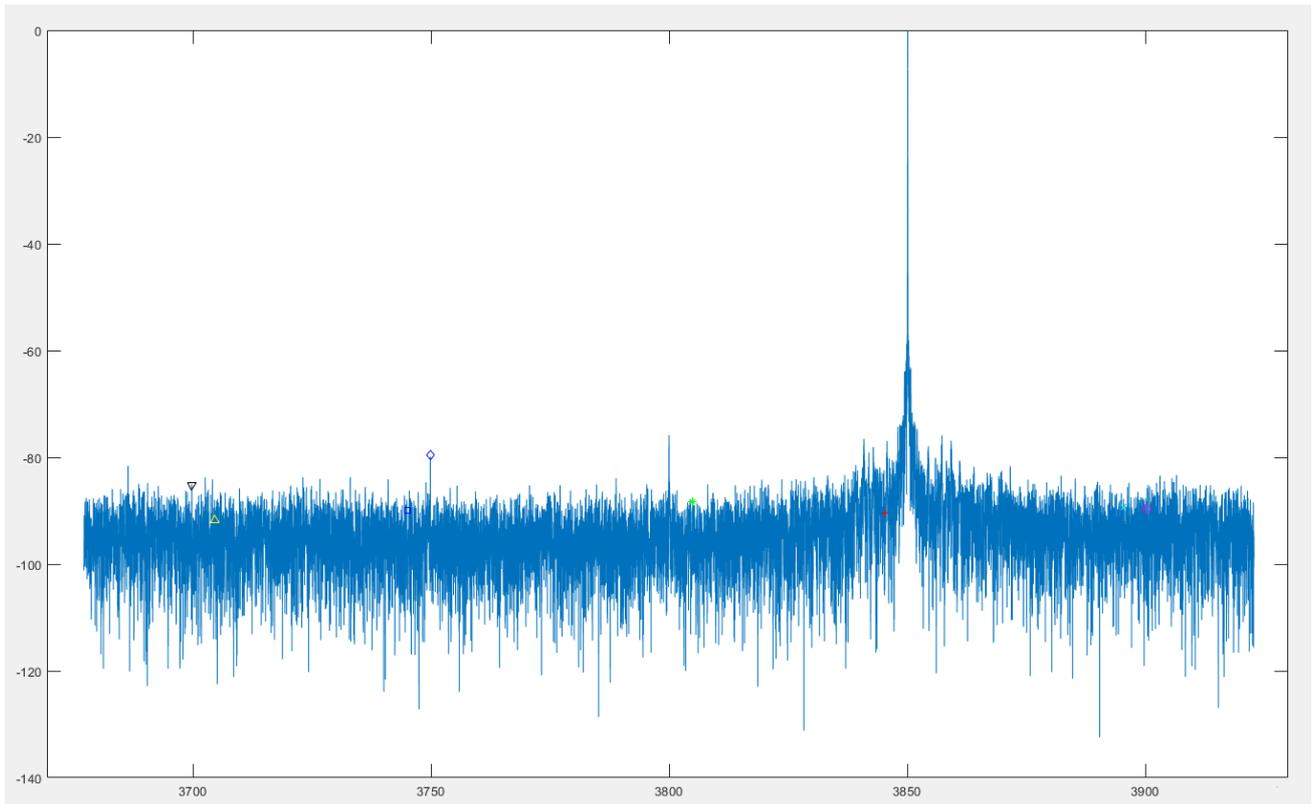


图 7 3850MHz输入信号频谱图

表 3 3850MHz输入信号频谱指标

SNR@3850MHz	53	dB
SFDR@3850MHz	70	dB
LOL@3850MHz	-70	dB
ENOB@3850MHz	8.6	LSB

## 频率响应

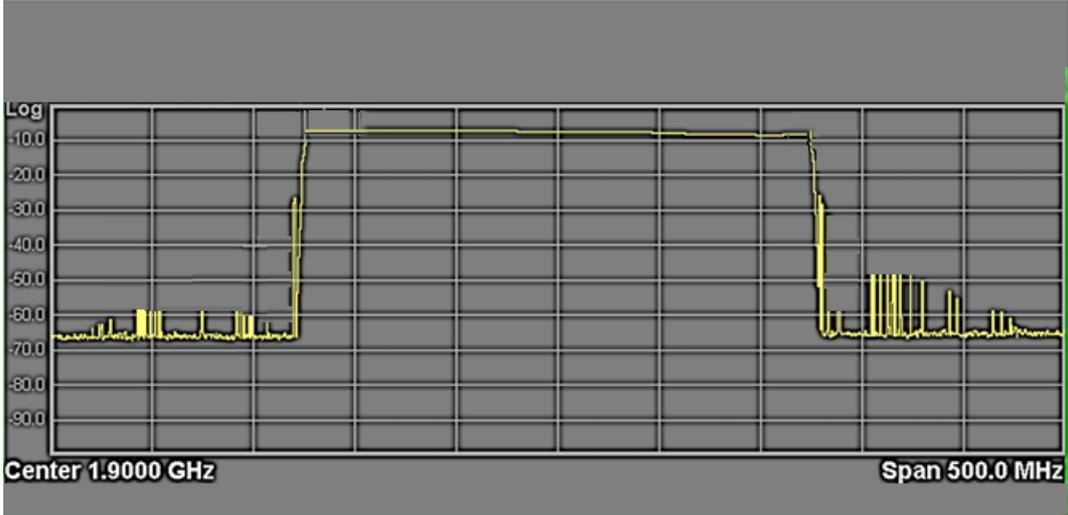


图 8 1900MHz输入200MHz宽带信号带内平坦度 (~1.3dB)

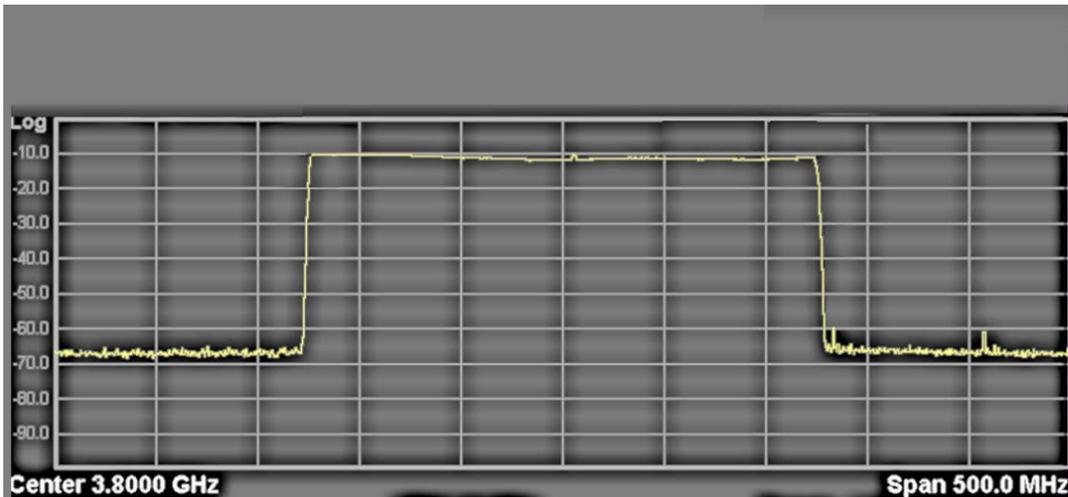


图 9 3800MHz输入200MHz宽带信号带内平坦度 (~0.5dB)

## 模拟信号输出 (TX)

模拟信号输出设计采用AC耦合50 Ohm阻抗匹配，支持信号输出频率范围75MHz~6GHz，支持最大信号瞬时带宽200MHz，本手册中的测试指标按照200MHz带宽进行测试（需要最大带宽测试数据，请联系销售），支持最高信号输出功率4dBm@1900MHz（由于支持频率范围较宽，不同频点的输出信号驱动能力不同）

表 4 射频输出特性

RF INPUTS AC-COUPLED (-1dBFS)		
RF 输出	2	

SNR @1900MHz	61	dB
SFDR @1900MHz	63	dB
LOL @1900MHz	-63	dB
AC耦合输出阻抗	50	Ohm
最大输出功率 @1900MHz	4	dBm
带宽 (-3dB) @1900MHz	1800MHz~2000MHz	
连接器类型	SSMC	

## 噪声和失真性能

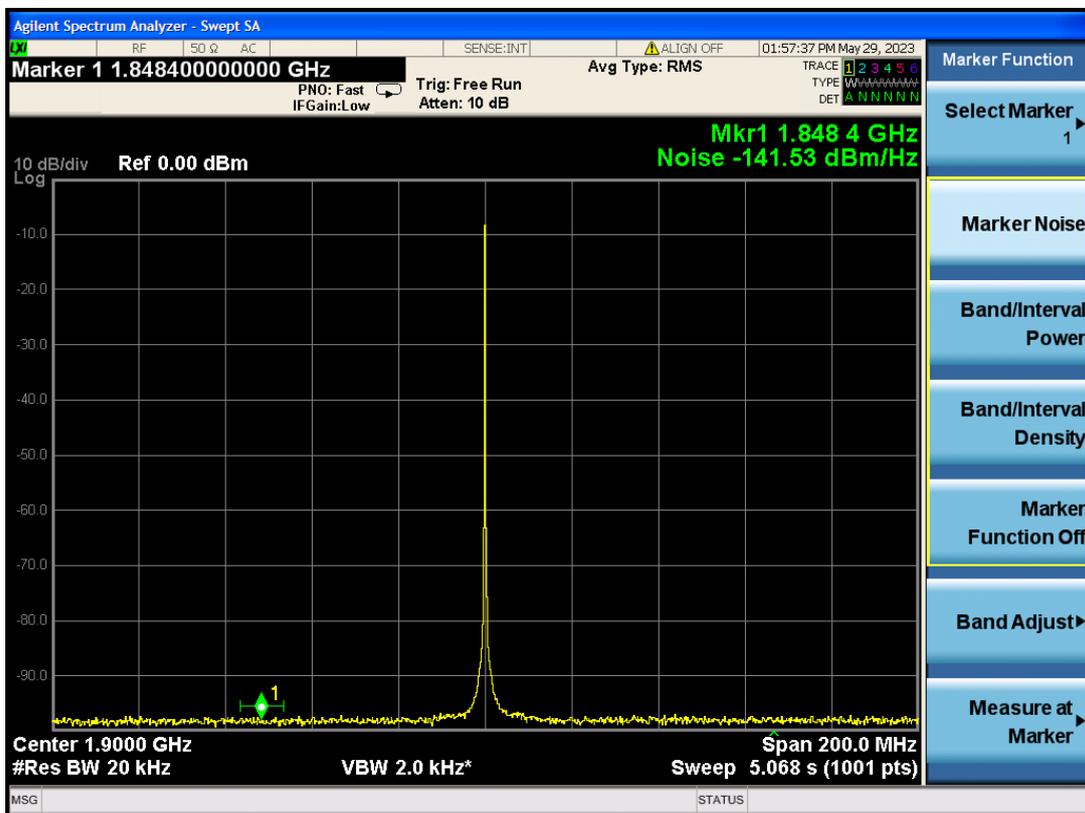


图 10 1900MHz输出信号的功率谱密度

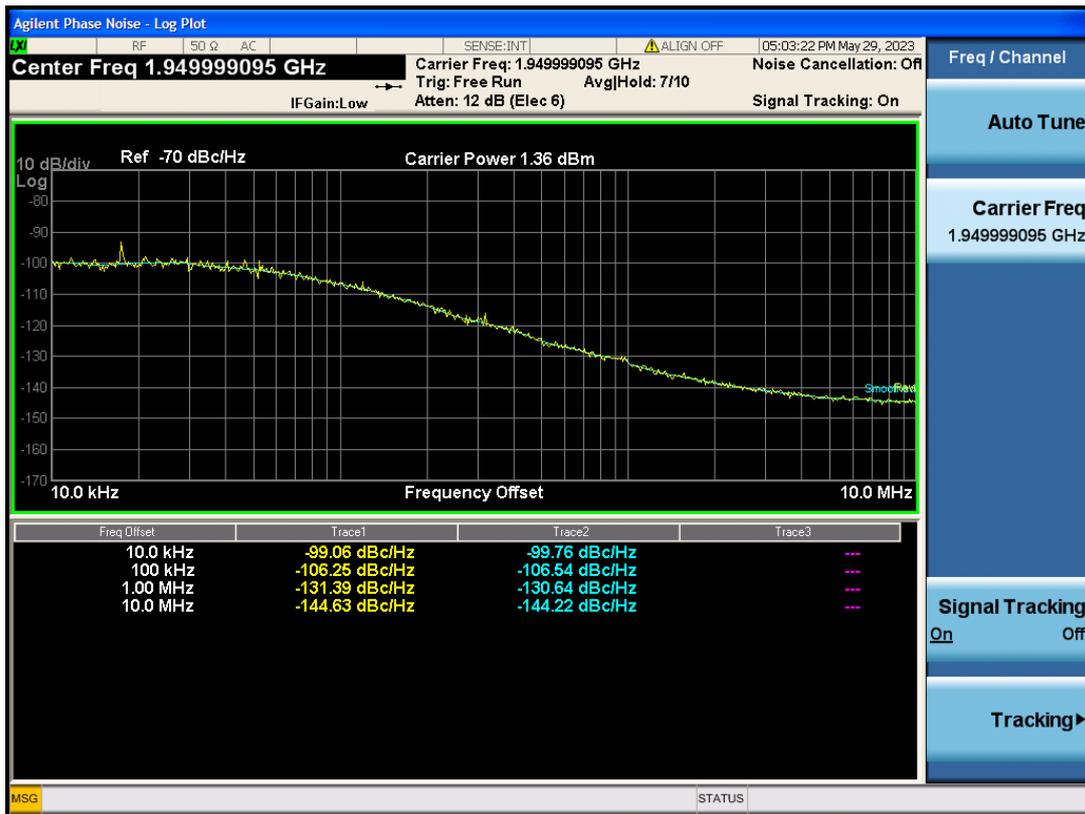


图 11 1900MHz输出信号的相位噪声

表 5 射频输出特性

Offset Frequency	Sideband phase noise (dBc/Hz)
10kHz	99
100kHz	106
1MHz	130
10MHz	144

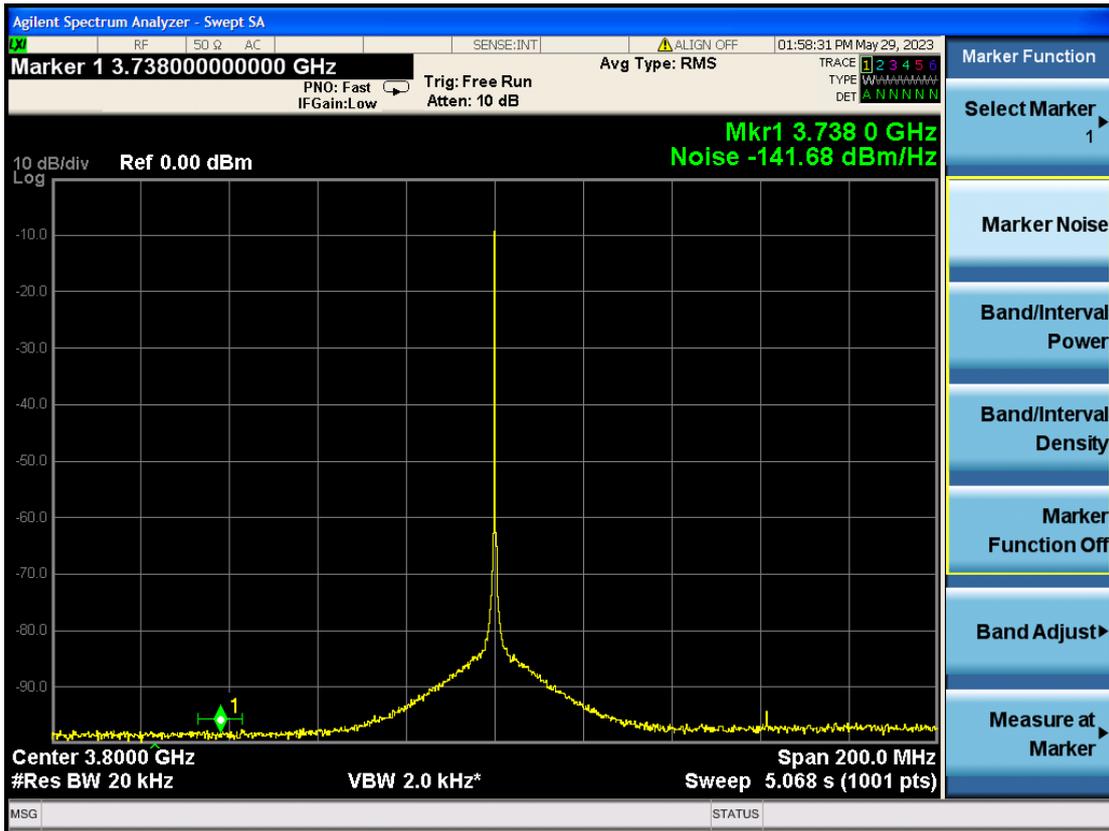


图 12 3800MHz输出信号功率谱密度

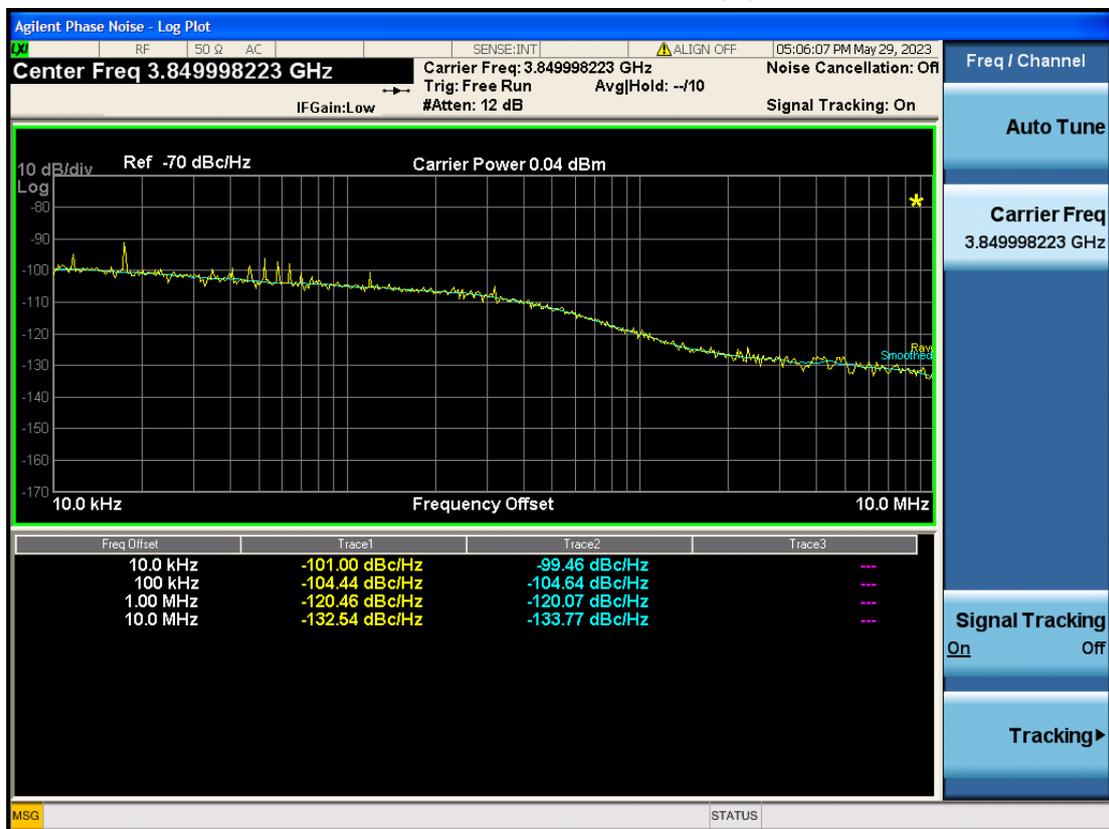


图 13 3800MHz输出信号的相位噪声

表 6 3800MHz输出信号的相位噪声

Offset Frequency	Sideband phase noise (dBc/Hz)
10kHz	99
100kHz	104
1MHz	120
10MHz	133

## 频率响应

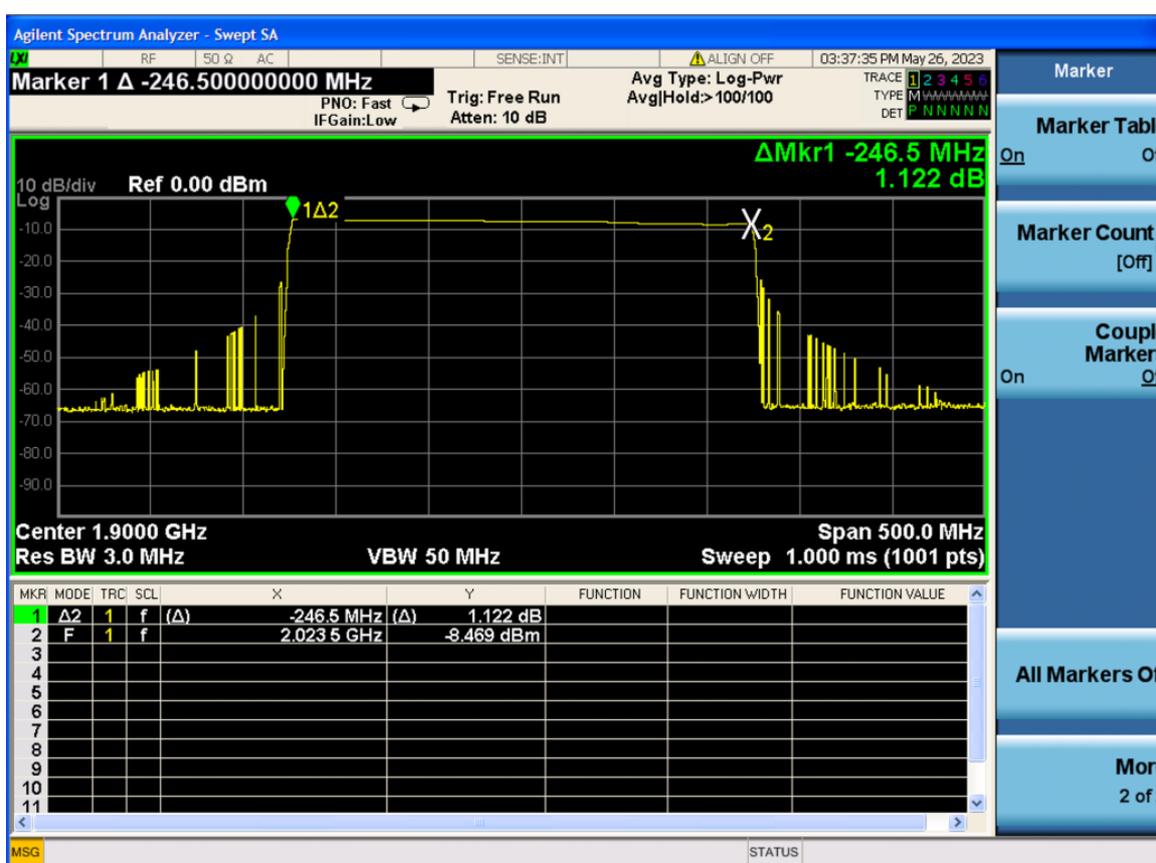


图 14 1900MHz发射200MHz宽带信号带内平坦度(1.1dB)

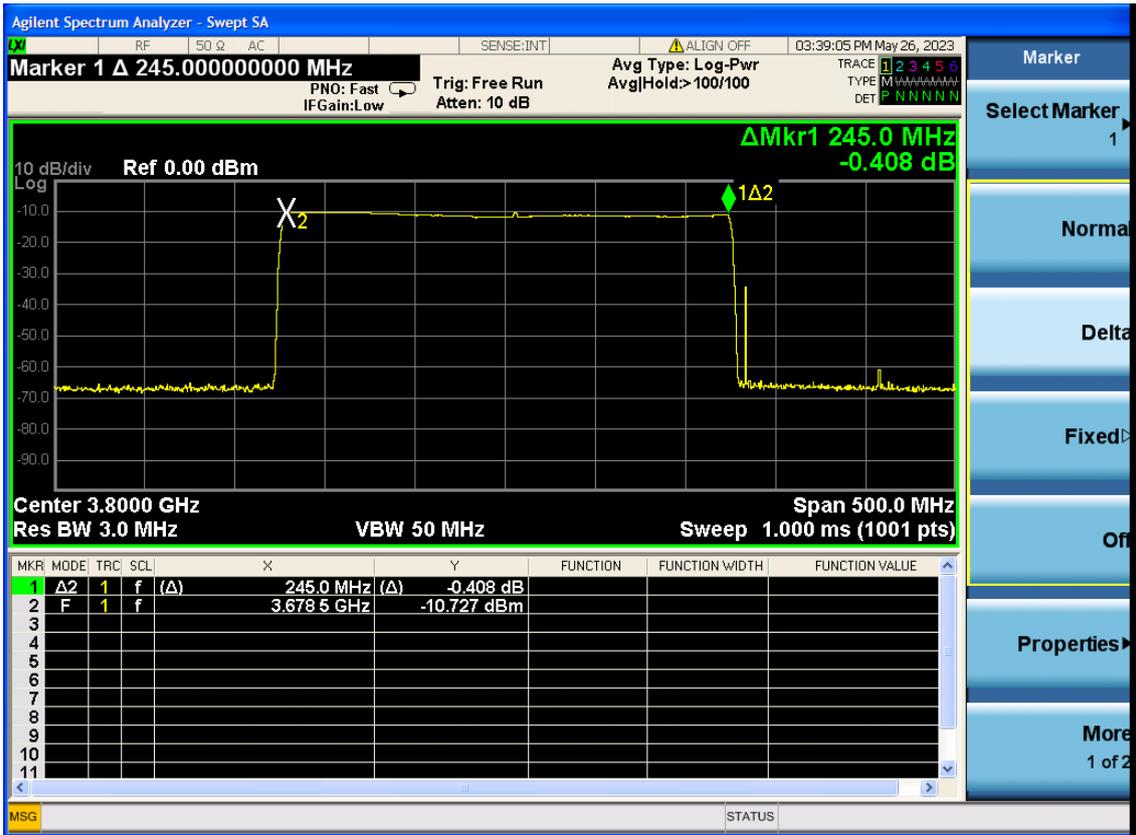


图 15 3800MHz发射200MHz宽带信号带内平坦度(0.4dB)

## 数据处理系统

QT1509RF平台由射频收发器和控制及数据处理系统组成。由Xilinx FPGA ZYNQ系列基于SoC方案内部集成ARM硬核，完成板上射频芯片以及其他外设的控制功能及数据处理功能，基础信号采集功能占用较少的逻辑资源。板上集成了多种通信接口和多种存储介质，可满足多样的二次开发需求。通过简单易用的API接口，用户可以快速的进行二次开发。

表 7 主要接口技术参数

接口技术参数		
内部参考时钟		
频率	30.72 MHz	
时钟精度	$\pm 5/\text{year ppm}$	
外部参考时钟		
频率	$30.72 * N(1, 2..N) \leq 250 \text{ MHz}$	
输入功率	6 dBm ~ 10 dBm	

AC耦合输入阻抗	50 Ohm	
输入信号电平	正弦波或方波	
占空比	50% ± 5%	
连接器类型	SSMC	
<b>电源</b>		
额定电压	12 V	
额定功率	36 W	
<b>存储（缓存及Flash）</b>		
DDR3	PS:1GB、PL:2GB	
EMMC	8GB	
SD	≤32GB	
<b>数据接口</b>		
PCIE	x8 Gen2或x4 Gen2	
USB	USB2.0	USB TypeA
Ethernet	10/100/1000Mbps	RJ45
UART	LVC MOS 3.3V	Micro USB
FIBER	SFP+/10Gbps	SFP+
GPIO（IN and OUT）	13个 LVC MOS 3.3V	金属插针2.54mm间距

## 时钟系统

QT1509RF集成高精度时钟源，以及高性能数字锁相环和时钟分发系统，保证整个系统良好的相噪性能。板卡可以采用板上集成的时钟源独立工作，支持固定频点的外参考时钟达到与外部系统的系统间同步。板上的锁相环芯片基于输入的参考时钟，软件可以灵活配置时钟的倍频以及分频，根据不同射频工作频点的要求，为FPGA和射频收发器提供合适的工作时钟。

射频收发芯片内部集成高性能本振，能够满足输出频率覆盖75MHz~6GHz的频点范围。该芯片采用零中频架构，输出频点的准确度依赖于集成的本振源的精度，但是由于芯片体积限制，本振源对于不同频点提供的精度不同。

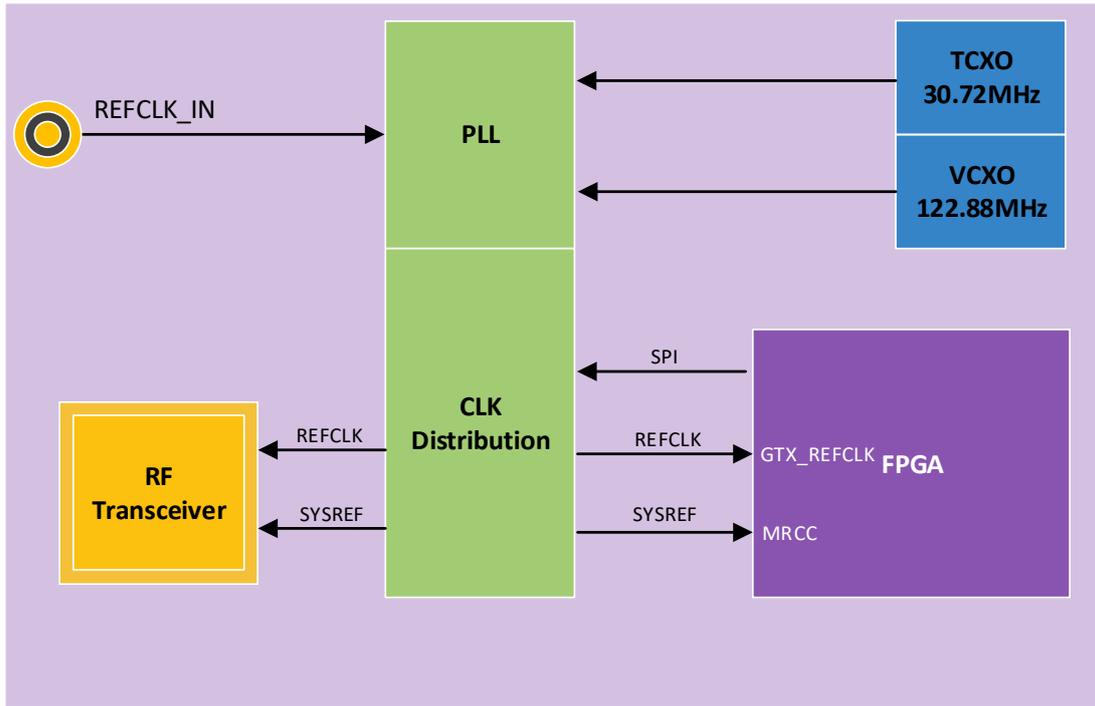


图 16 时钟系统框图

表 8 主要接口技术参数

时钟系统技术参数		
<b>内部参考时钟</b>		
频率	30.72	MHz
时钟精度	±5/year ppm	
<b>外部参考时钟</b>		
频率	$30.72 * N(1, 2..N) \leq 250$	MHz
输入功率	6 dBm ~ 10 dBm	
AC 耦合输入阻抗	50 Ohm	
输入信号电平	正弦波或方波	
占空比	50% ± 5%	
连接器类型	SSMC	
<b>RF 收发器本振</b>		
频率	187.5MHz~6GHz	
频率准确度 ≤ 3GHz	≤ 1	Hz

频率准确度 $3\text{GHz} \leq 6\text{GHz}$	$\leq 5$	Hz
本振步进	2.3	Hz

## 采集功能

QT1509RF具备多种采集模式：

- 无限点单次触发采集模式：一次触发启动采集一次，采集数据通过板载内存缓冲后连续不断的上传到计算机主内存中；
- 无限点多次触发采集模式：在无限点单次触发采集模式基础上，增加无限次接受触发功能，将每次触发的数据分段后源源不断的上传到计算机主内存中。

## 无限点采集模式

该功能将板载内存虚拟为一个大容量FIFO，允许采集数据由该FIFO缓冲后连续不断的通过PCI Express总线传输到主机内存或硬盘中。在FIFO模式下，系统会预先设置FIFO容量和实时监测FIFO状态，并自动启动PCI Express DMA操作，进行数据搬运工作。FIFO模式工作后，其采集数据长度容许无限长，限制条件为主机的内存容量或硬盘容量。

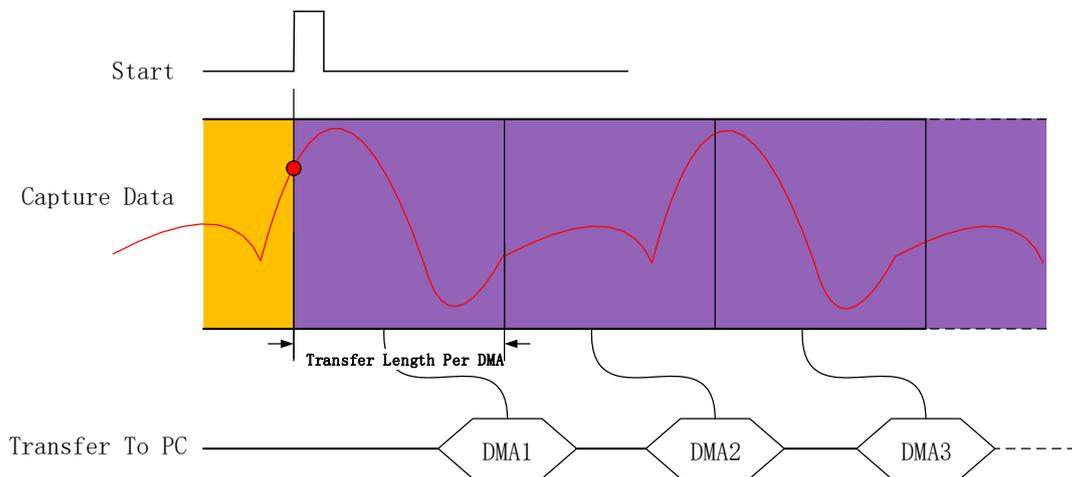


图 17 无限点采集模式

## 多次触发采集模式

多次触发采集模式将存储空间分成N个子段，可以接收连续触发操作。系统自动将每次触发前后采集的数据存入对应的存储器子段，这个过程不需要软件干预，采集卡也不需要重新启动。存储空间分段的数量受设置的每次采集数据长度和板载内存容量大小限制；FIFO模式下分段数量不受限制。

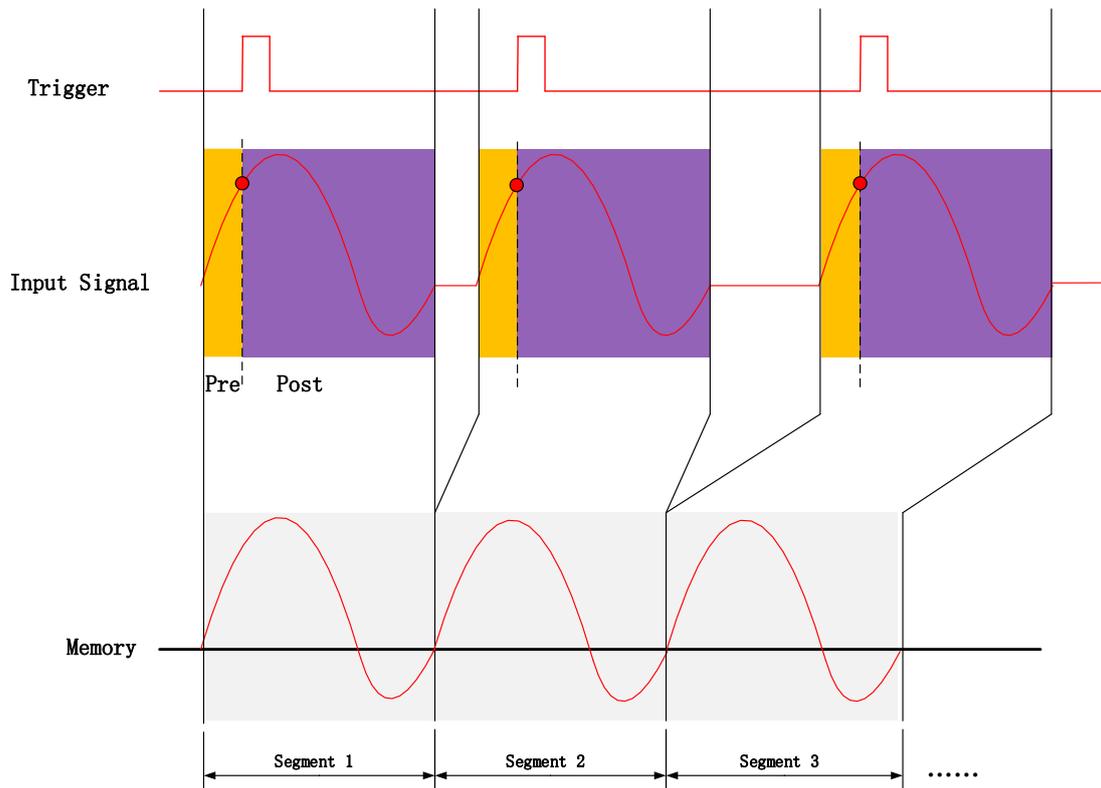


图 18 多次触发采集模式

## 回放功能

回放数据可在计算机上生成，波形可为任意波形。波形数据应为IQ数据，IQ为16bit有符号数。回放数据样点个数最大支持：单通道，512M个样点；双通道，每通道256M个样点。回放波形数据由上位机软件通过PCIe接口或光网口，一次性发送至QT1509RF设备DDR内存。在上位机软件控制下，可选择数据播放方式，如单次播放、循环播放。

回放信号的中心频率以及信号输出电平值，可由上位机配置。

## 触发功能

## 通用触发功能

QT1509RF支持多种触发模式，通过软件选择：

- 软件触发
- 通道触发，任意模拟通道均能设置为触发源，触发方式有上升沿、下降沿、高电平、低电平触发
- 外触发，前面板上任意一个数字 IO 管脚均可被设置为外触发输入，或者输出触发信号。可设置外触发的上升沿、下降沿，并具有触发延迟可设置

## GPS同步触发

QT1509RF可以连接具有打码功能的内部授时模块，实现分布式同步采集和精确时间戳。通过锁存当前触发时刻的BDS、GPS绝对时间，并将该时间信息解码并打到数据包中（绝对时间戳功能），可以实现多个采集系统远距离时间统一，从而方便组成精确的分布式采集系统。

QT1509RF自带的GNSS授时模组，支持高精度授时功能，支持BDS、GPS、GLONASS和Galileo系统。支持定点授时、优化位置授时、定位授时。1PPS精度(RMS)为20ns。

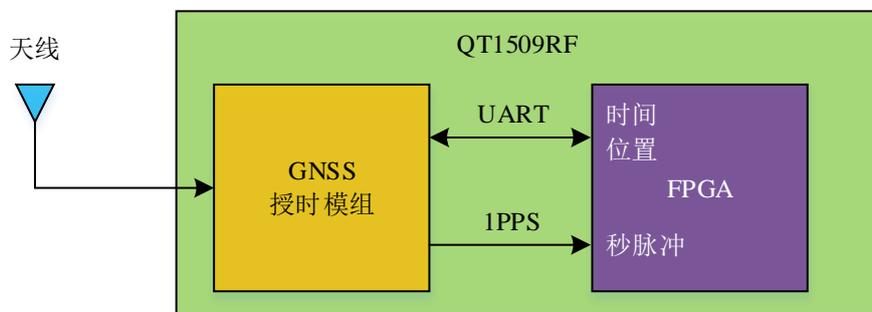


图 19 GPS同步模式

## 时间戳(timestamp)

QT1509RF采集卡提供在采集数据流中打入时间戳(timestamp)信息的功能，可选的时间戳信息为GPS时间戳及用户自定义时间戳（如计数器）。

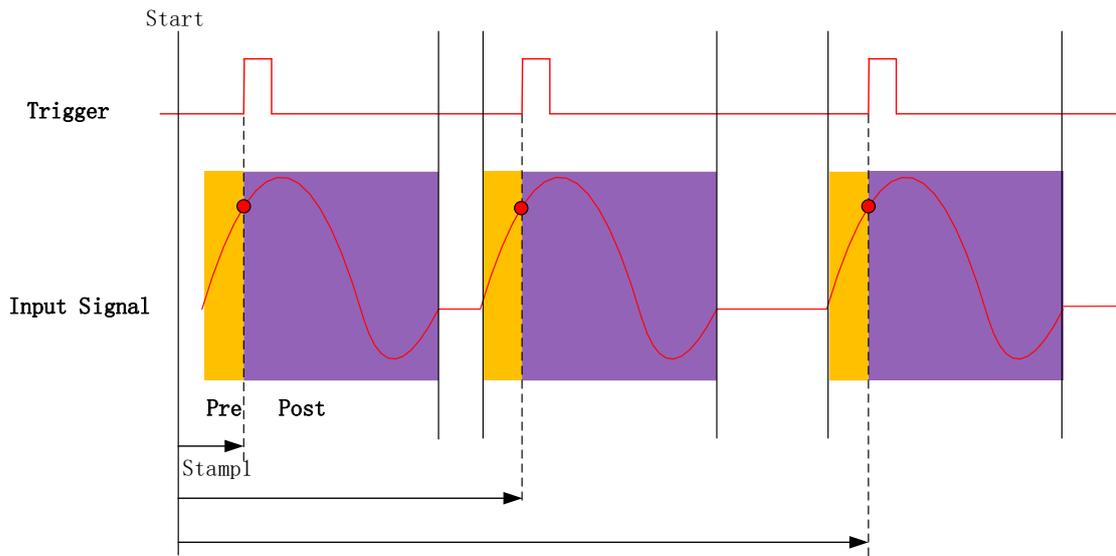


图 20 时间戳

## 用户FPGA开发包

QT1509RF支持用户自定义逻辑开发。我们提供完整的FPGA逻辑工程,并提供基于Verilog-HDL编写的用户逻辑接口源代码。FPGA开发软件使用XILINX Vivado2017.4、Vivado2018.3。

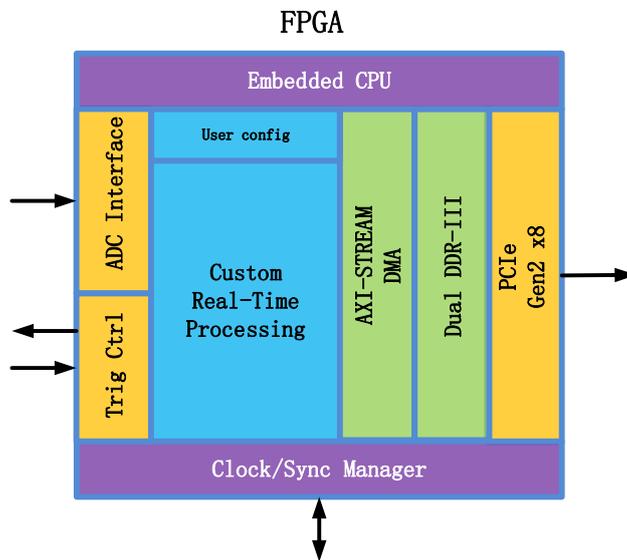


图 21 用户FPGA开发包

同时开放FPGA JTAG调试接口。用户可以使用XILINX USB-JTAG电缆和VIVADO软件进行逻辑在线调试。

## 实时信号处理模块（定制功能）

### 数字下变频模块DDC

数字下变频（Digital Down Converter）模块具有复数混频功能以及数字抽取低通滤波功能。复数混频用于将用户关注频段搬移至0Hz，支持多通道并行复数混频，可支持32路IQ复信号频率并行下变频。抽取滤波器采用多级低通滤波器级联方案，支持32路IQ并行低通滤波，抽取率1/2/4/8/16...1024。

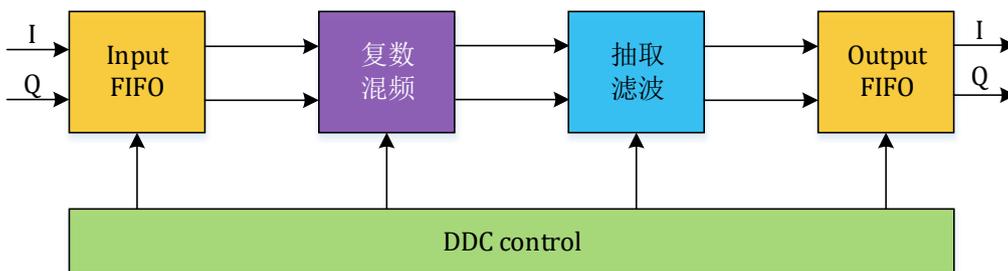


图 22 数字下变频模块DDC

### 数字上变频模块DUC

数字上变频（Digital Up Converter）模块具有复数混频功能以及数字插值低通滤波功能。复数混频用于基带IQ信号搬移至用户关注频段，支持多通道并行复数混频，可支持32路IQ复信号频率并行上变频。插值滤波器采用多级低通滤波器级联方案，支持32路IQ并行低通滤波，插值率1/2/4/8/16...1024。

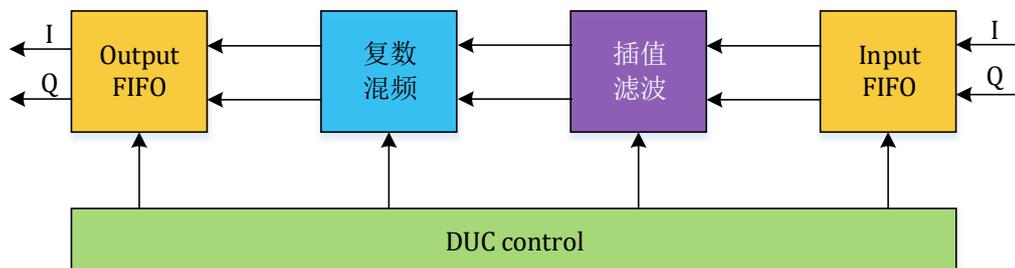


图 23 数字上变频模块DUC

## 软件支持

## 设备驱动

QT1509RF提供64位驱动程序。

Windows支持Windows 10, Windows11, Windows Server 2019等主流版本。

Linux系统支持Ubuntu, Centos, Redhat等版本, 嵌入式Linux系统, 国产化系统上也能够很好的支持。

## 采集回放软件

通过采集回放软件可进行信号分析、测量、回放, 无需编程。软件集成了硬件设置、数据显示、示波器、瞬态记录、分析和保存数据等功能, 并在易于使用的统一界面下完成以上所有功能。

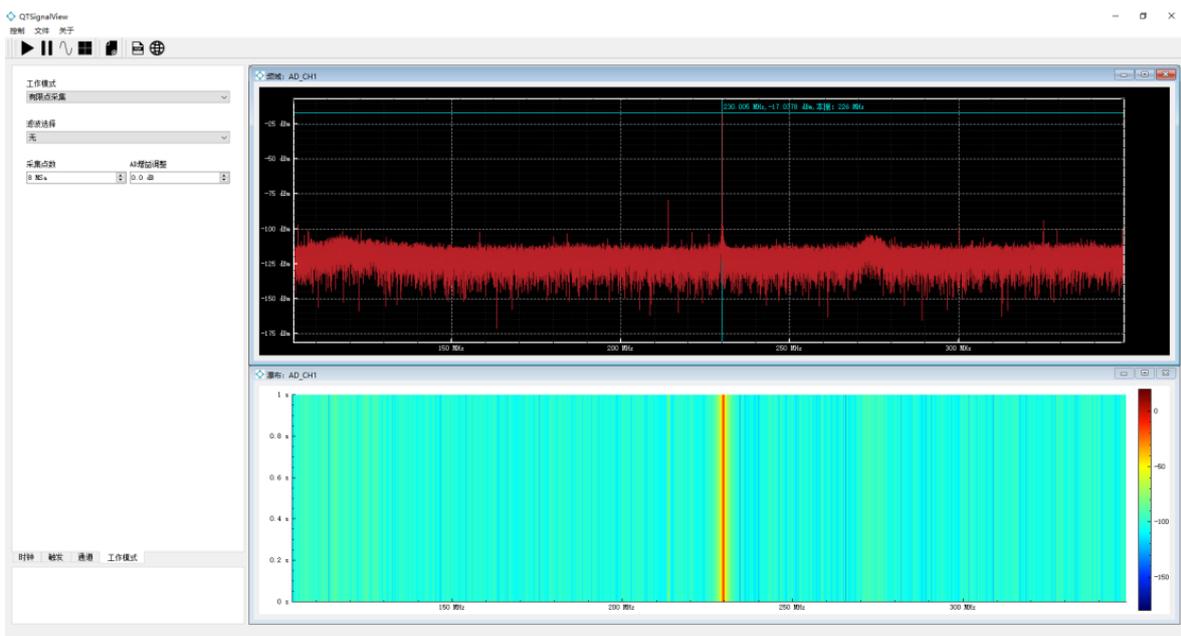


图 24 采集回放软件界面

## 软件开发包 (SDK)

QT1509RF提供计算机上使用的开发包, 通过软件编程实现对板卡功能的控制, 提供开发接口文档说明以及例程参考, 能够快速的将板卡功能集成到具体应用场景系统中。

开发语言支持C/C++、C#、Python等主流开发语言, 支持Visual Studio、QT Creator等多种开发环境。

## 关于我们

坤驰科技是专注于高速数据采集与信号处理的高科技公司，公司始运营于2008年，总部位于北京市海淀区中关村上地科技园区。坤驰科技立足模块化高速数据采集领域，为用户提供基于FPGA的高速AD、DA板卡与相关产品，功能覆盖高速信号采集与获取、高速数据存储与回放、高速信号处理等。为用户提供易用的模块化产品，创造深度的价值链是公司的市场立足点。

经过多年的发展，坤驰科技已形成以FPGA为核心的不同总线形态的产品线：PCIe、以太网、VPX等各类总线AD、DA、处理等模块类产品；IP产品类：SATA控制IP，PCIe IP、以太网接口类IP等；系统类产品：记录仪类产品、接收机类产品（雷达、卫星等）、及其他嵌入类产品。

公司具有”国家高新技术企业”认证，“ISO9001”质量体系认证，是北京市“瞪羚计划”入选企业，拥有多项软件著作权和多项专利技术。主要研发人员在大型企业从事研发超过10年。公司的研发方向主要围绕高速硬件电路设计、大规模FPGA逻辑开发、DSP算法开发，驱动层软件开发、应用层软件开发，及应用系统集成与开发等。

坤驰科技服务的客户涵盖：航空、航天、船舶、核物理、军工电子等行业，雷达、通讯、高能物理、电子对抗、光电、超声等各类应用领域。



地址：北京市海淀区上地信息路1号金远见大楼B座4层

电话：400-000-4026

传真：010-82894332-808

邮箱：[info@queentest.com](mailto:info@queentest.com)

网址：[www.queentest.cn](http://www.queentest.cn)

