

简化多通道频率和 相位同步



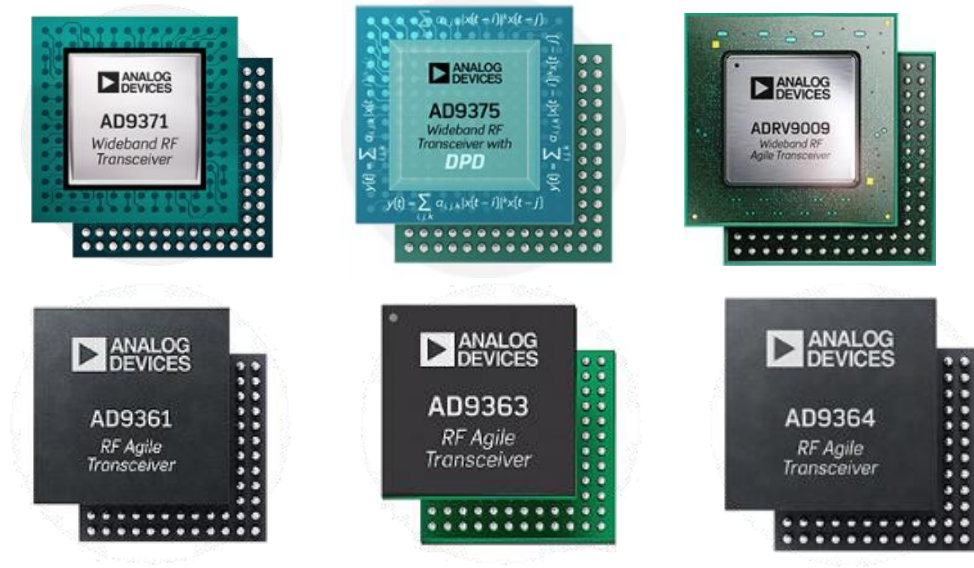
- ▶ 动机
- ▶ 快速原型制作解决方案：ADRV9009-ZU11EG系统化模块
- ▶ 解决方案SOM提供
 - 数据流传输和开发
 - 跳频
 - 多通道同步
- ▶ 软件和HDL支持
- ▶ 总结

覆盖更多通道和频率

- ▶ 平台向小型化发展
 - 固定翼到无人飞行器
- ▶ 通道密度不断提高
 - 同时覆盖更多频段
 - 高阶波束成型
- ▶ 更大频率范围
 - 更高吞吐量



从器件/芯片：



- ▶ **AD936X**是高性能敏捷收发器的SDR标准
- ▶ **AD937X**设计用于需要宽频率范围的高性能无线电传输应用，例如具有高级信号处理功能的3G/4G BTS
- ▶ **ADRV900X**设计用于需要超宽频率范围的高性能无线电传输应用，包括4G/5G BTS和相控阵雷达系统

挑战

从器件/芯片：

到产品：



RadioVerse评估和原型制作硬件

ADALM-PLUTO

- AD9363
- 1 x Rx, 1 x Tx
- 325 MHz – 3.8 GHz
- 200 kHz – 20 MHz
通道带宽



AD-FMCOMMS2 AD-FMCOMMS3

- AD9361
- 2 x Rx, 2 x Tx
- **调谐范围**
 - 2.2 GHz – 2.6 GHz
 - 70 MHz – 6 GHz
- 200 kHz - 56 MHz
通道带宽



AD-FMCOMMS4

- **AD9364**
- **1 x Rx, 1 x Tx**
- 70 MHz – 6 GHz
调谐范围
- 200 kHz - 56 MHz
通道带宽
- 立即发货



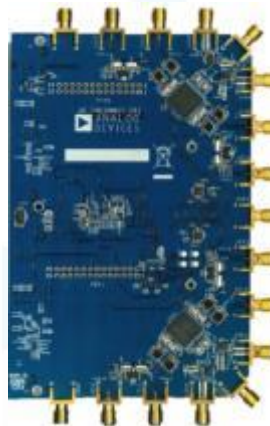
ARRADIO

- AD9361
- HSMC, 非FMC
- 2 x Rx, 2 x Tx
- **2.2 GHz – 2.6 GHz**
调谐范围
- 200 kHz - 56 MHz
通道带宽
- 立即发货!



AD-FMCOMMS5

- **2 x AD9361**
- **4 x Rx, 4 x Tx**
- **同步射频**
- 70 MHz – 6 GHz
调谐范围
- 200 kHz - 56 MHz
通道带宽
- 立即发货!



ADRV9371-N/PCBZ ADRV9371-W/PCBZ

- **AD9371**
- **2 x Rx, 2 x Tx, 2 x Obs,**
1x 侦听器
- 调谐范围
 - 1.8 GHz – 2.6 GHz
 - 300 MHz – 6 GHz
- Tx合成带宽250 MHz
- Rx带宽: 8 MHz至100 MHz



ADRV9375-N/PCBZ ADRV9375-W/PCBZ

- **AD9375**
- **2 x Rx, 2 x Tx, 2 x Obs,**
1x 侦听器
- 调谐范围
 - 1.8 GHz – 2.6 GHz
 - 300 MHz – 6 GHz
- **DPD执行器和自适应引擎,**
用于PA线性化



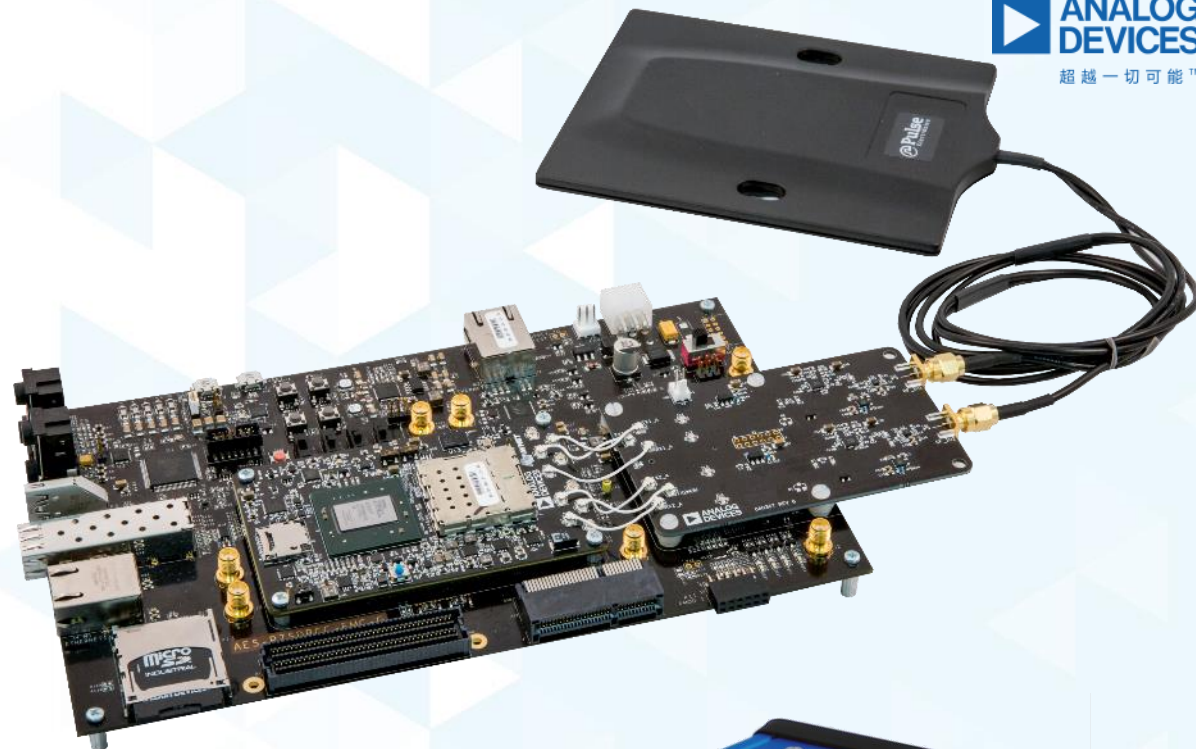
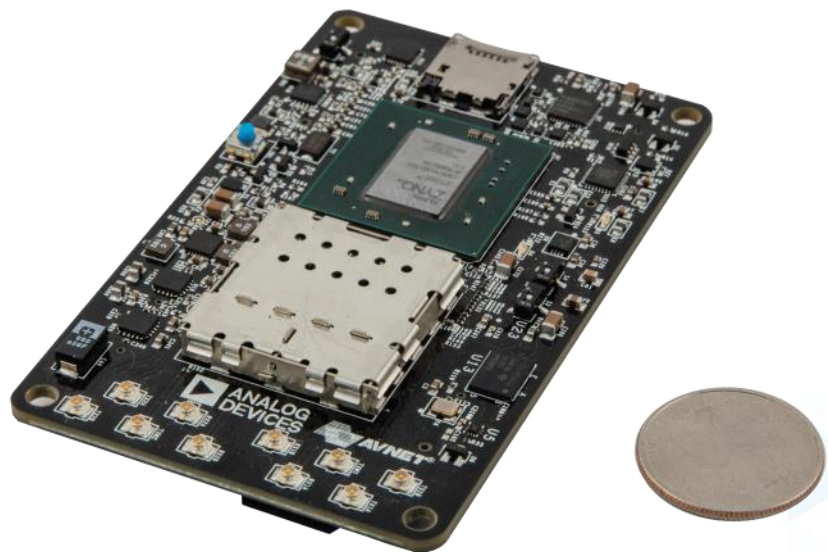
ADRV9008-1W/PCBZ (Rx) ADRV9008-2W/PCBZ (Tx/Obs)

- **ADRV9009-W/PCBZ (TDD)**
- **ADRV9008-1, ADRV9008-2,**
ADRV9009
- **2 x Rx, 2 x Tx, 2 x Obs, 1x 侦听器**
- 75 MHz - 6 GHz调谐范围
- Tx合成带宽450 MHz
- Rx带宽达200 MHz

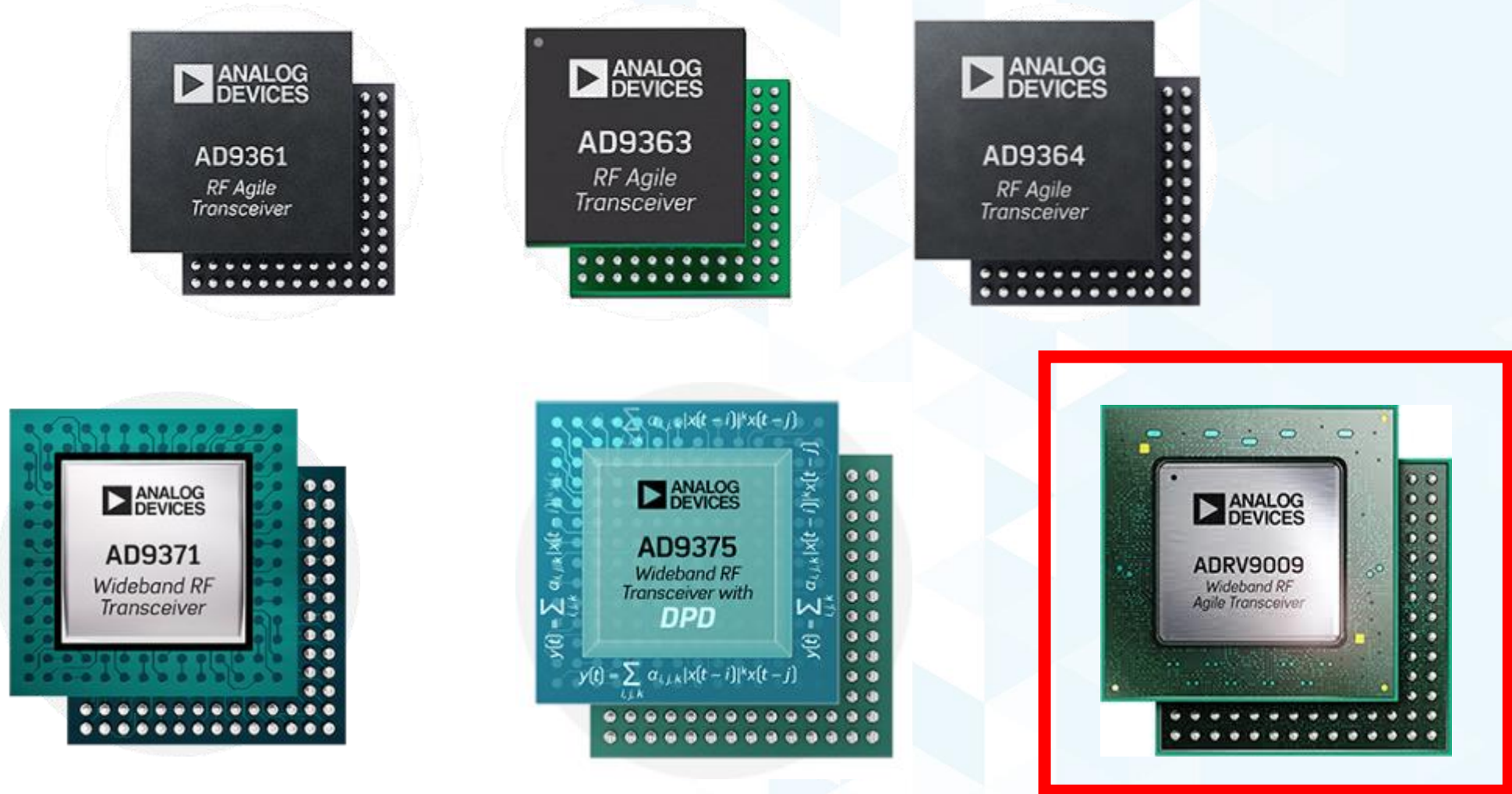


系统化模块(SOM)

- ▶ AD9361/4收发器系列的现有SOM
- ▶ SOM是FPGA+收发器
- ▶ 包括HDL/软件驱动/应用集成



收发器系列



ADRV9009简介：宽带射频收发器

► **调谐范围**：100 Mhz至6 GHz

► **带宽**：200 MHz接收器、450 MHz发射器和观测接收机

► **功能**：

- 两个Tx、两个Rx/Orx (共享通道)
- 共享LO (仅TDD)
- 相位对齐特性
- ~70us跳频模式

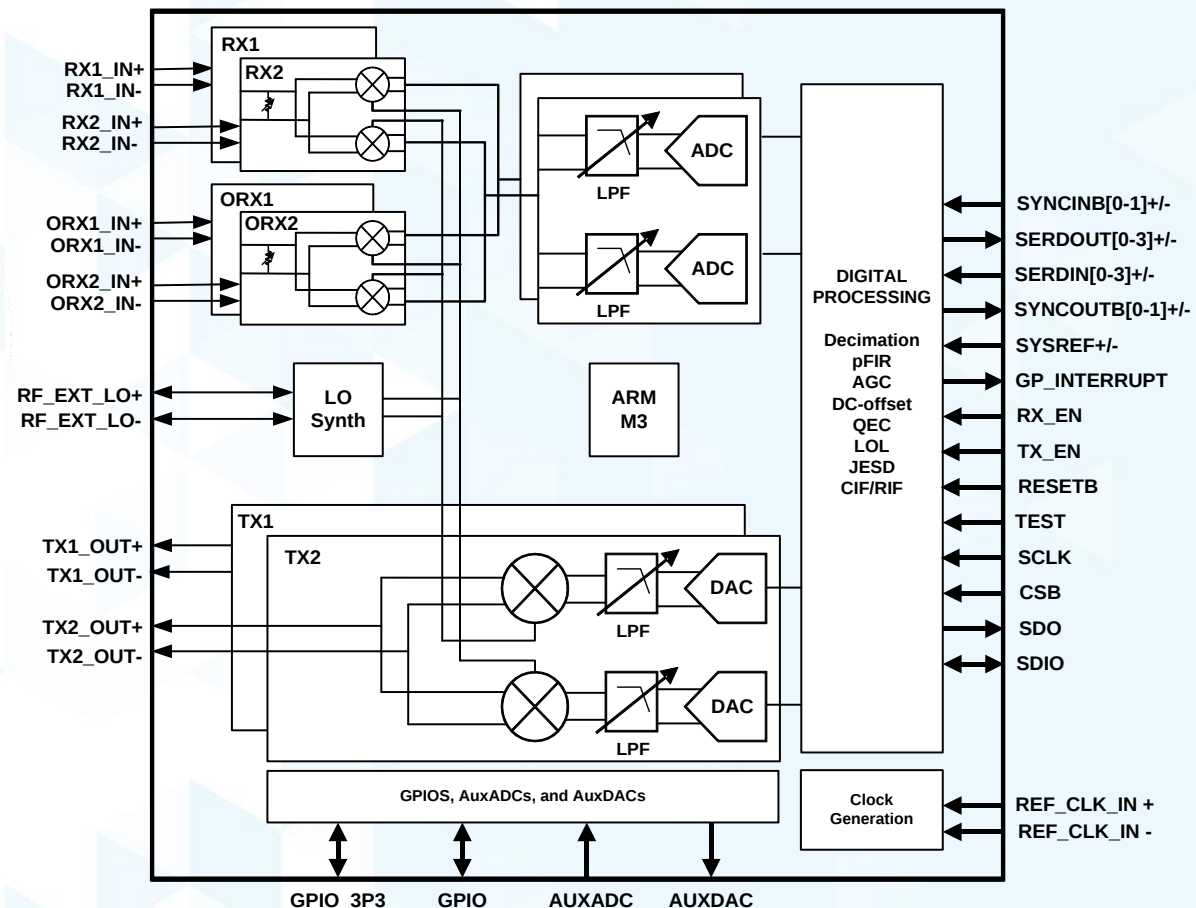
► **接口**：12 Gbps JESD204B (4通道)

- 最大发射速率：491.52 MSPS (1966.08 MB/s)
- 最大观测速率：491.52 MSPS (1966.08 MB/s)

► **封装**：12 x 12 BGA

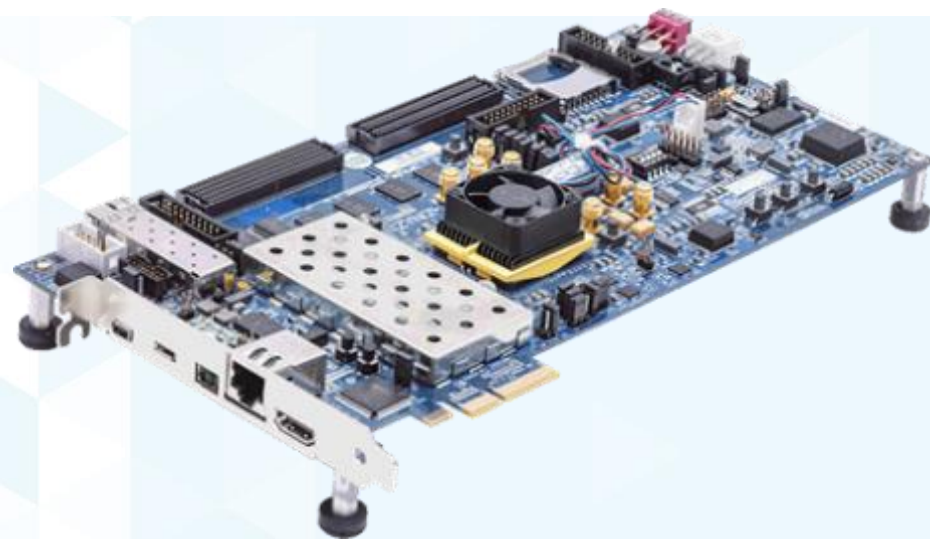
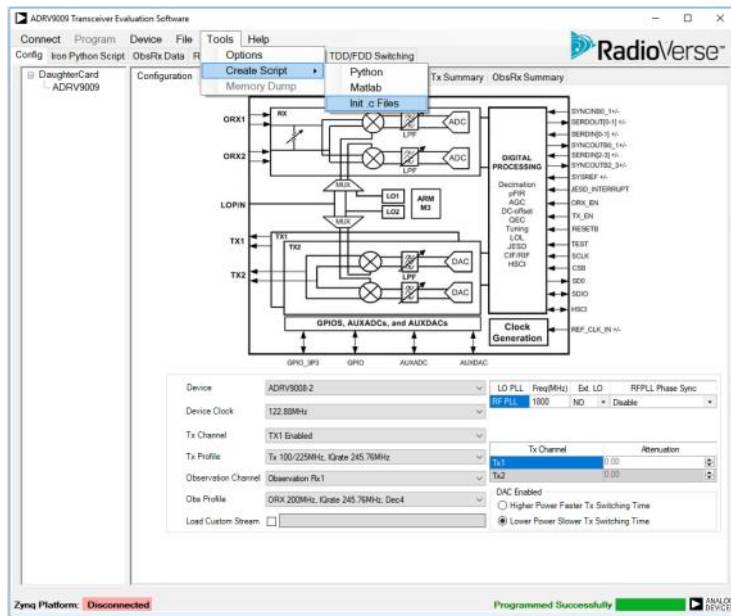


功能框图



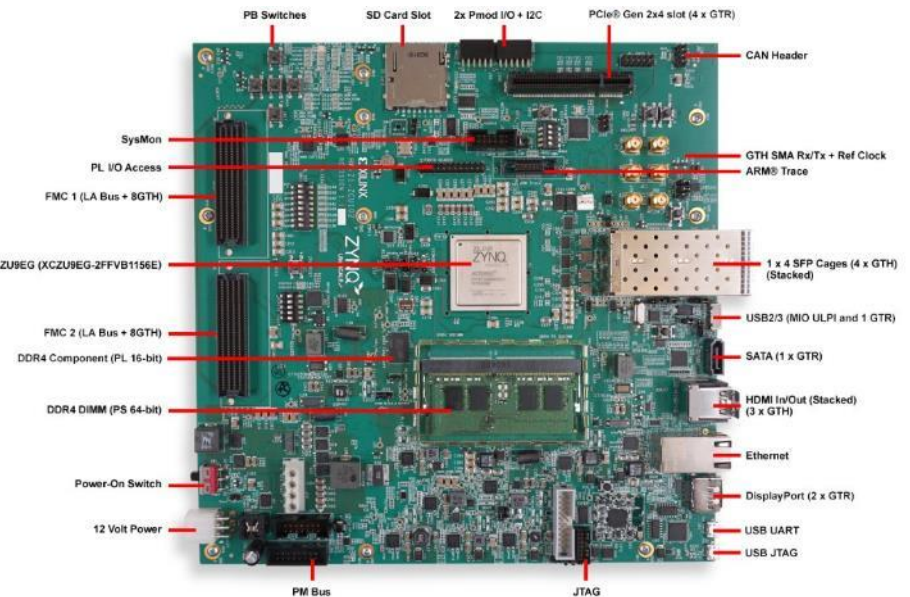
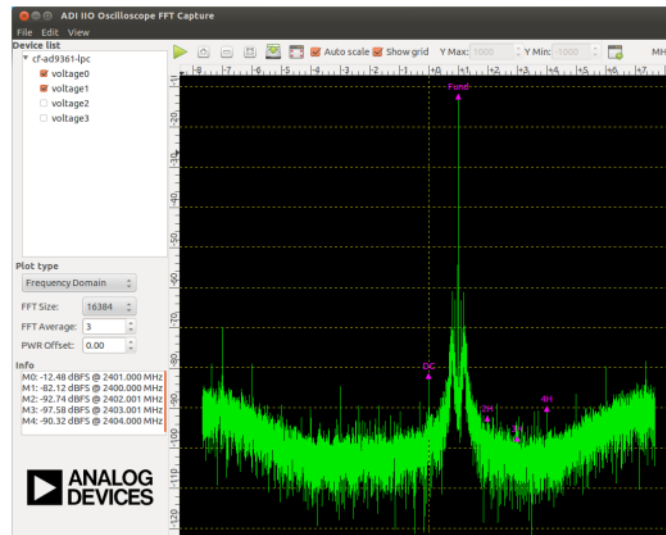
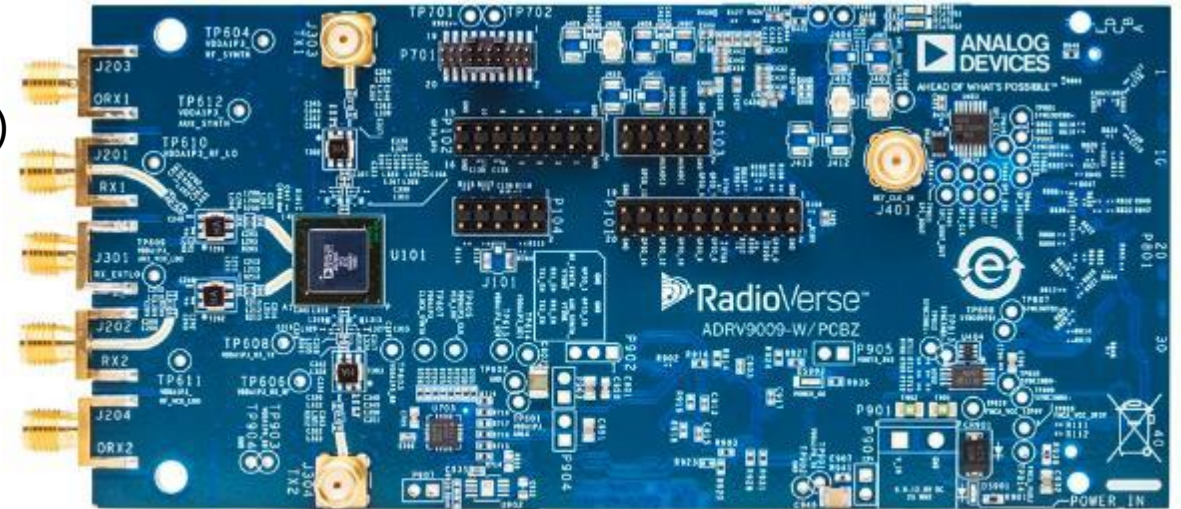
带收发器评估软件(TES)的ADRV9009开发板

- ▶ 收发器评估软件
 - 仅支持EVAL-TPG-ZYNQ3
 - IronPython脚本支持
 - 仅用于评估目的
- ▶ EVAL-TPG-ZYNQ3
 - -3速度等级，带有Z7045 (ZC706为-2)
 - 仅由ADI支持 (不支持Xilinx)
 - 不包括Vivado

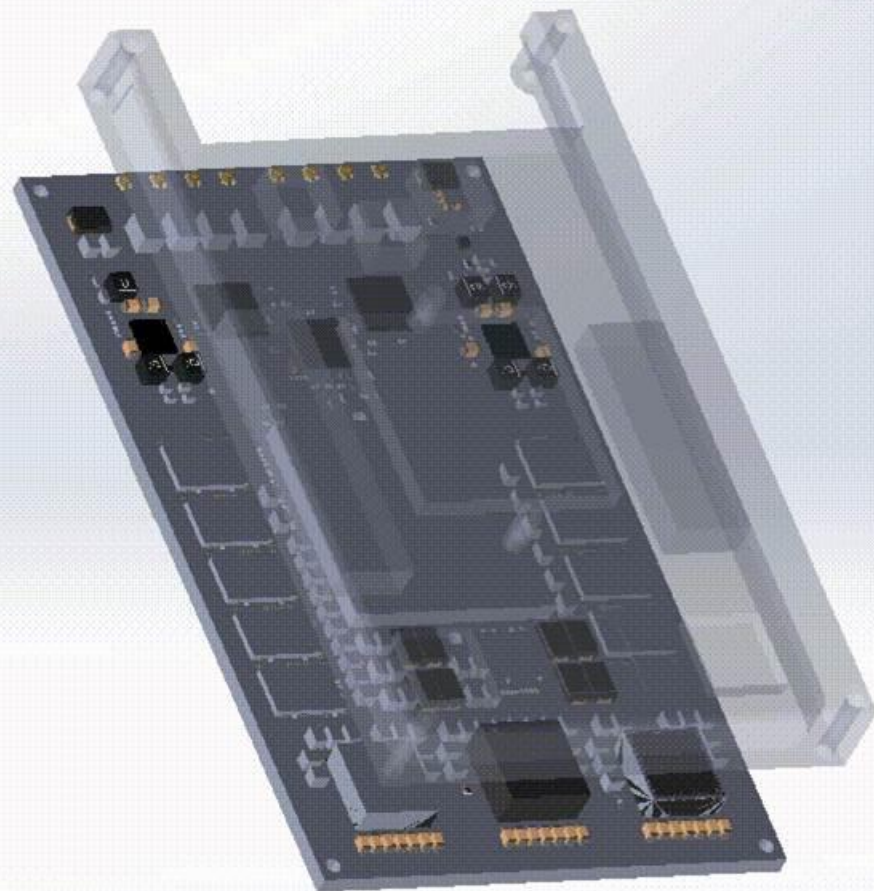


带原型制作平台的ADRV9009开发板

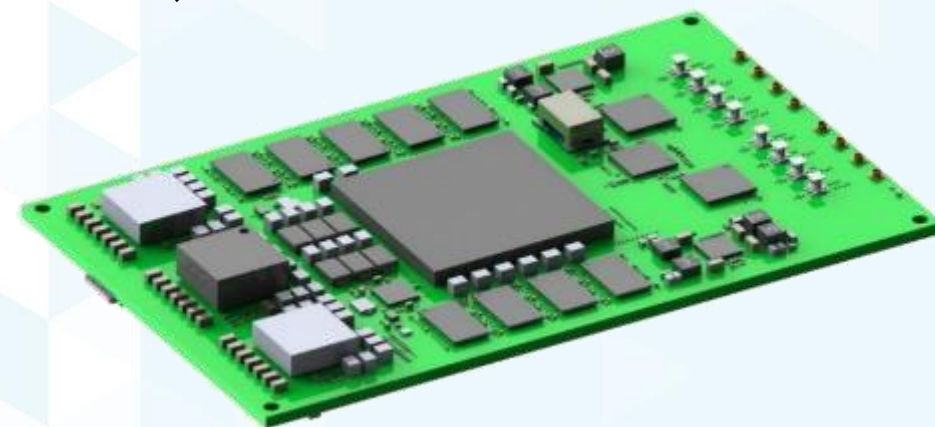
- ▶ 原型制作平台
 - 支持ZCU102、ZC706（降低速度以支持RX和TX应用）
- ▶ ZCU102
 - Ultrascale+
 - Xilinx支持
 - 包括Vivado
- ▶ 开放式HDL、软件驱动和应用级集成
 - MATLAB
 - GNU Radio
 - IIO-Scope



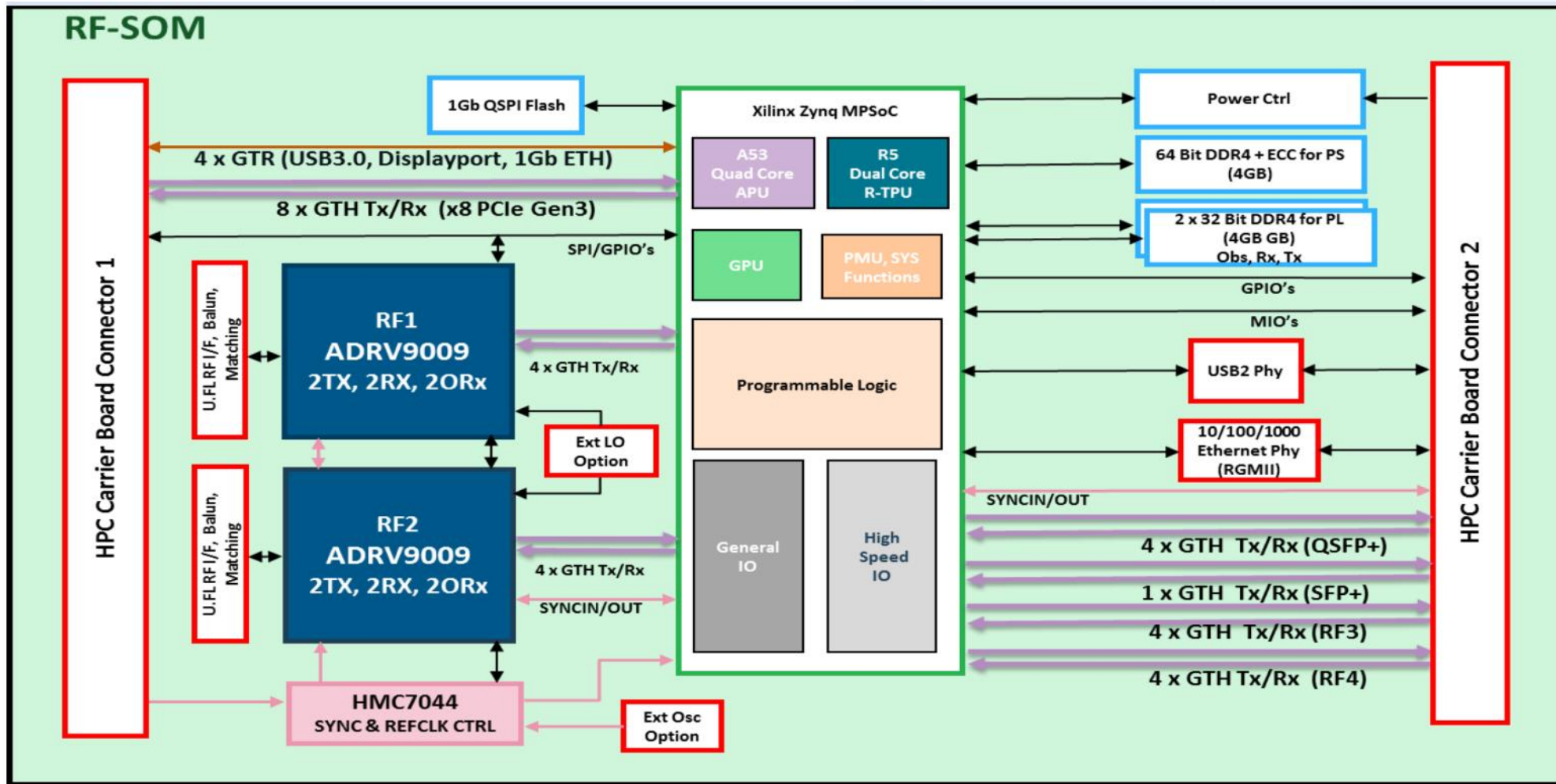
ADRV9009-ZU11EG



- ▶ 双ADRV9009+扩展子板
 - 4T4R或8T8R (带子板)
- ▶ Xilinx Ultrascale+ ZU11EG
 - 653K逻辑单元
 - 2928 DSP分片
- ▶ 4 GB DD4 ECC支持PS
- ▶ 2 x 2 GB存储库专用于PL
- ▶ SFP+、QSFP+、USB3、PCIe 3.0 x8

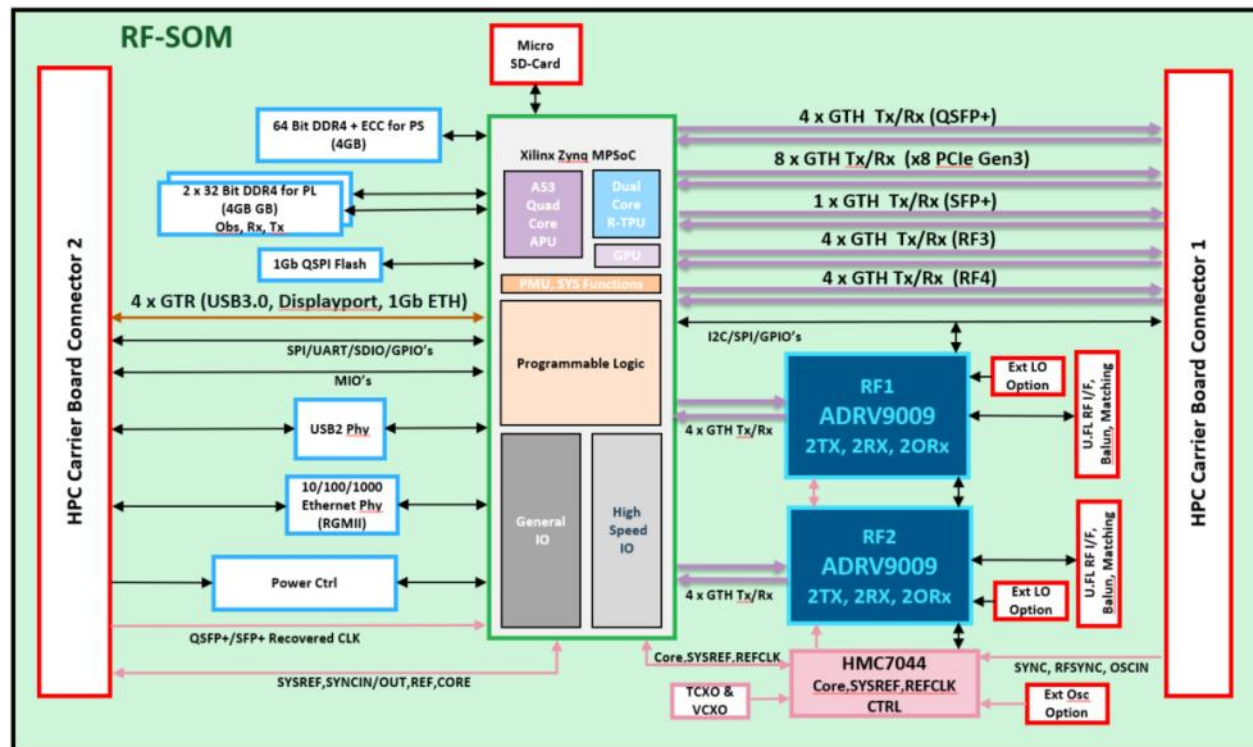


SOM系统图



FPGA + 收发器

功能框图 – 射频系统化模块

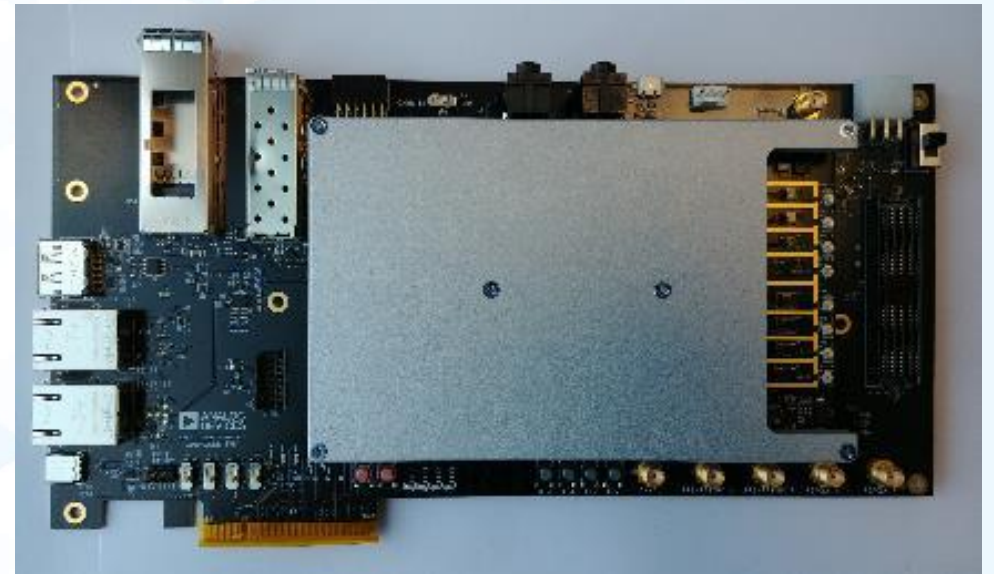
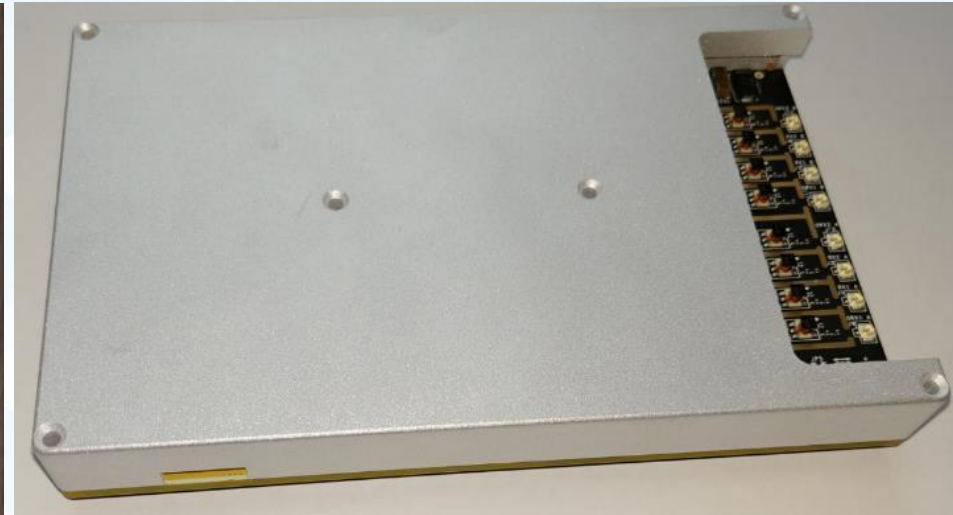
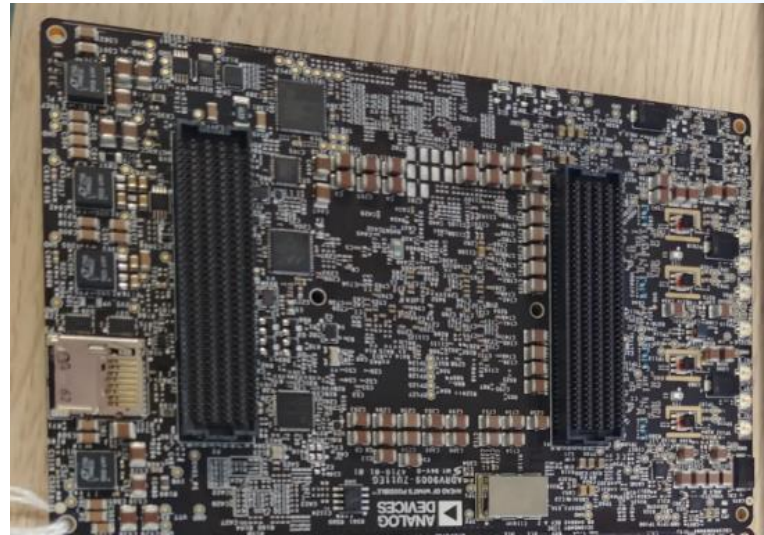


FPGA + 收发器

ADRV9009-SOM + FMC/PCIe-载板



硬件样品照片



SOM + 定制载板



专用载板



SOM主要产品特性

▶ 高带宽数据连接流传输和突发模式

- 多达4个双通道收发器，可以在一个RF-SOM+DB上实现频率和相位同步
- 支持多SOM同步

▶ I/O连接

- USB 3.0、1 Gb以太网、PCIe x8 Gen 3、SFP+、QSFP+、Displayport、PMOD、JTAG

▶ 大规模FPGA SoC

- 利用Zynq® UltraScale+™实现嵌入式处理

▶ 小尺寸

- RF-SOM为94 mm x 150 mm，工业环境工作温度（-40 C至+85 C）
- 板载uSD卡支持本地引导

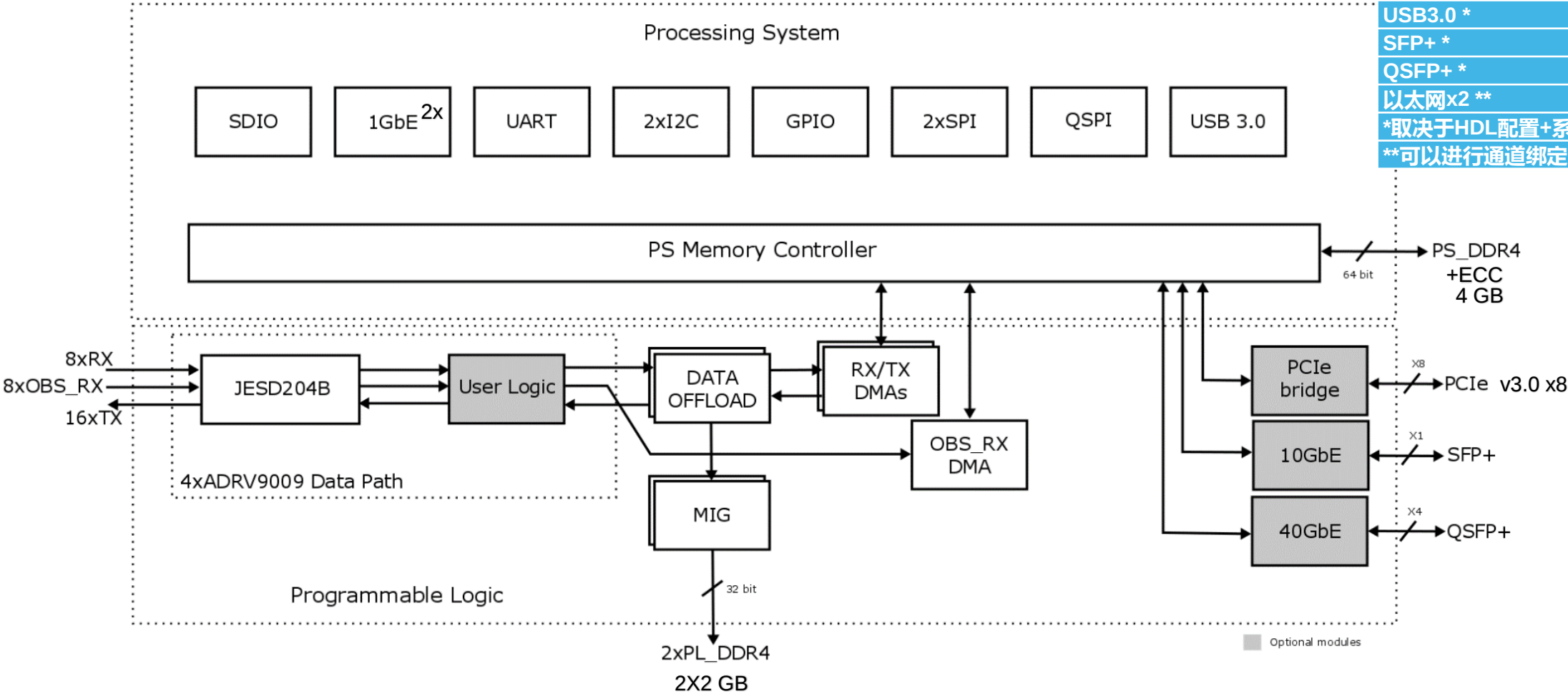
▶ 可立即用于生产的模块

- 额定工业温度，根据MIL-STD 202G方法进行了热、振动和冲击测试。

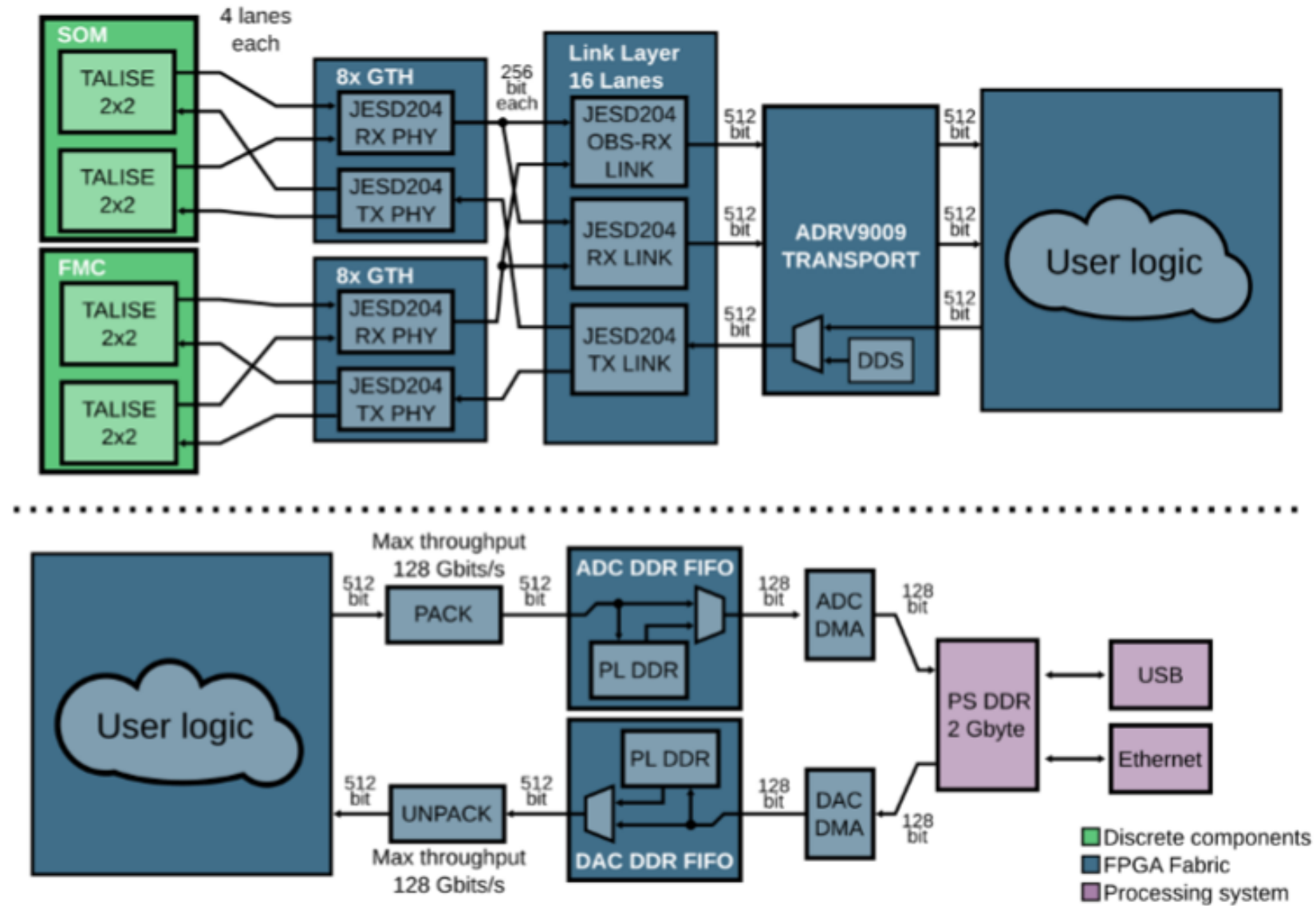
Zynq器件 – EG系列 – ZU11EG是目标SoC

		Device Name ⁽¹⁾											
		ZU2EG	ZU3EG	ZU4EG	ZU5EG	ZU6EG	ZU7EG	ZU9EG	ZU11EG	ZU15EG	ZU17EG	ZU19EG	
Processing System (PS)	Application	Processor Core	Quad-core ARM® Cortex™-A53 MPCore™ up to 1.5GHz										
	Processor Unit	Memory w/ECC	L1 Cache 32KB I / D per core, L2 Cache 1MB, on-chip Memory 256KB										
	Real-Time	Processor Core	Dual-core ARM Cortex-R5 MPCore™ up to 600MHz										
	Processor Unit	Memory w/ECC	L1 Cache 32KB I / D per core, Tightly Coupled Memory 128KB per core										
	Graphic & Video	Graphics Processing Unit	Mali™-400 MP2 up to 667MHz										
	Acceleration	Memory	L2 Cache 64KB										
	External Memory	Dynamic Memory Interface	x32/x64: DDR4, LPDDR4, DDR3, DDR3L, LPDDR3 with ECC										
		Static Memory Interfaces	NAND, 2x Quad-SPI										
	Connectivity	High-Speed Connectivity	PCIe® Gen2 x4, 2x USB3.0, SATA 3.1, DisplayPort, 4x Tri-mode Gigabit Ethernet										
		General Connectivity	2xUSB 2.0, 2x SD/SDIO, 2x UART, 2x CAN 2.0B, 2x I2C, 2x SPI, 4x 32b GPIO										
Integrated Block Functionality	Power Management	Full / Low / PL / Battery Power Domains											
	Security	RSA, AES, and SHA											
	AMS - System Monitor	10-bit, 1MSPS – Temperature and Voltage Monitor											
PS to PL Interface		12 x 32/64/128b AXI Ports											
Programmable Logic (PL)	Programmable Functionality	System Logic Cells (K)	103	154	192	256	469	504	600	653	747	926	1,143
		CLB Flip-Flops (K)	94	141	176	234	429	461	548	597	682	847	1,045
		CLB LUTs (K)	47	71	88	117	215	230	274	299	341	423	523
	Memory	Max. Distributed RAM (Mb)	1.2	1.8	2.6	3.5	6.9	6.2	8.8	9.1	11.3	8.0	9.8
		Total Block RAM (Mb)	5.3	7.6	4.5	5.1	25.1	11.0	32.1	21.1	26.2	28.0	34.6
		UltraRAM (Mb)	-	-	13.5	18.0	-	27.0	-	22.5	31.5	28.7	36.0
	Clocking	Clock Management Tiles (CMTs)	3	3	4	4	4	8	4	8	4	11	11
	Integrated IP	DSP Slices	240	360	728	1,248	1,973	1,728	2,520	2,928	3,528	1,590	1,968
		PCI Express® Gen 3x16	-	-	2	2	-	2	-	4	-	4	5
		150G Interlaken	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	4
		100G Ethernet MAC/PCS w/RS-FEC	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2	4
	Transceivers	AMS - System Monitor	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		GTH 16.3Gb/s Transceivers	-	-	16	16	24	24	24	32	24	44	44
		GTY 32.75Gb/s Transceivers	-	-	-	-	-	-	-	16	-	28	28
	Speed Grades	Extended ⁽²⁾	-1 -2 -2L	-1 -2 -2L -3					-1 -2 -2L -3				
		Industrial	-1 -1L -2										

接口	最大输出
	(理论值)
PCIe Gen 3 x8通道*	63.04 Gb/s
USB3.0 *	5 Gb/s
SFP+ *	10 Gb/s
QSFP+ *	40 Gb/s
以太网x2 **	1 Gb/s (每个接口)
*取决于HDL配置+系统资源	
**可以进行通道绑定	



HDL的数据流架构

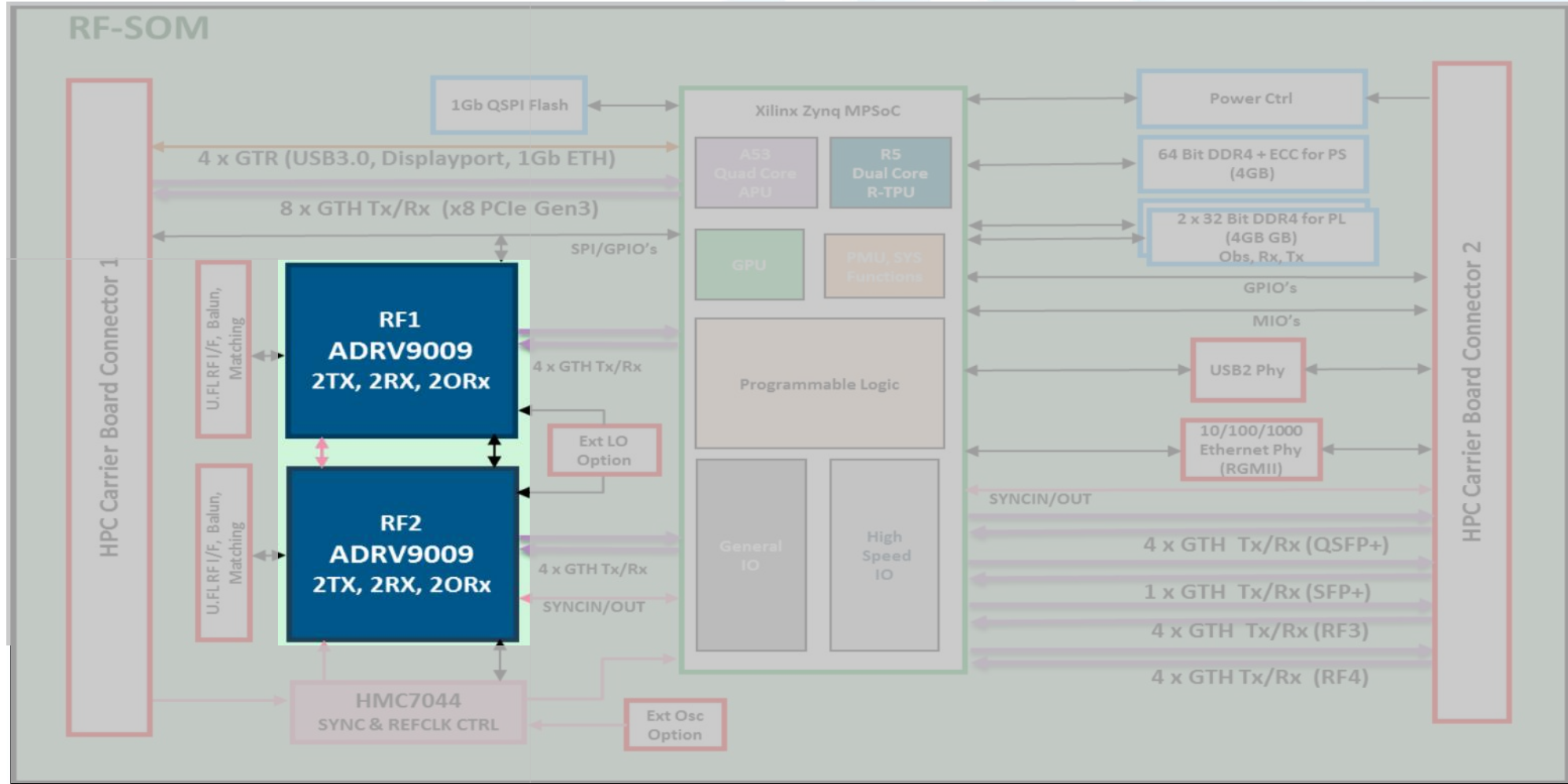


存储器与数据速率

通道带宽(MHZ)	数据速率 (MSPS)	通道数据速率(MB/s)	I/Q数据速率 (MB/s)	RX通道	PL存储器 (MB)	RF数据 (秒)
200	250	500	1000	1	4096	4.10
100	125	250	500	1	4096	8.19
50	75	150	300	1	4096	13.65
200	250	500	1000	2	4096	2.05
100	125	250	500	2	4096	4.10
50	75	150	300	2	4096	6.83
200	250	500	1000	4	4096	1.02
100	125	250	500	4	4096	2.05
50	75	150	300	4	4096	3.41
200	250	500	1000	8	4096	0.51
100	125	250	500	8	4096	1.02
50	75	150	300	8	4096	1.71

多通道和跳频

每个芯片都有独立LO和跳频模式(FHM)



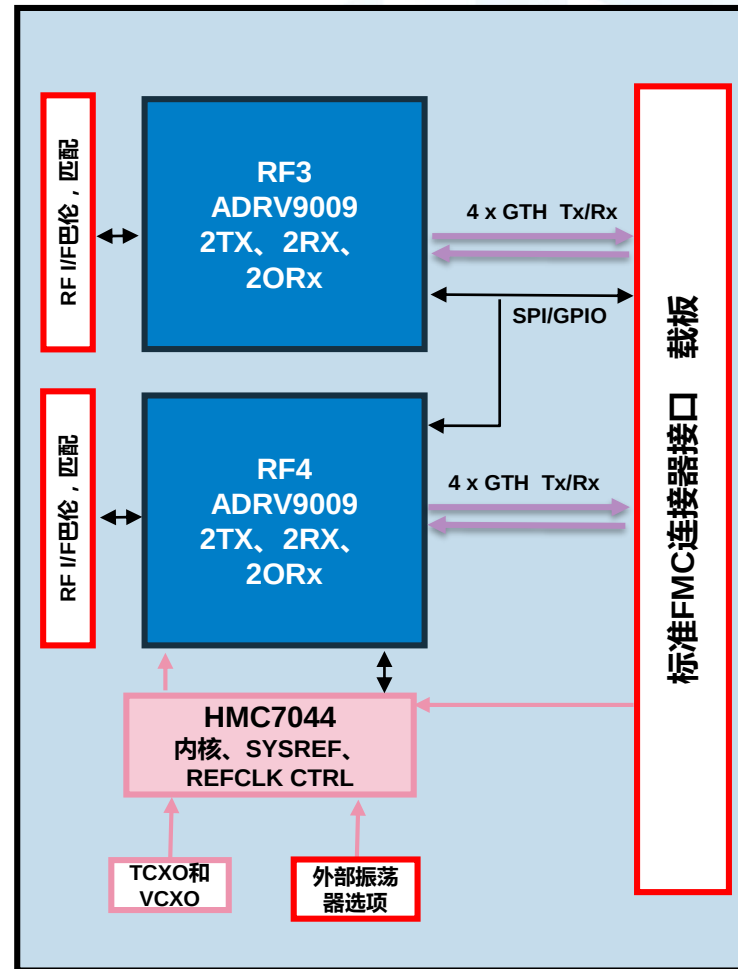
跳频比较

参数	有快速锁定的AD9361	无快速锁定的AD9361	AD9371	ADRV9009	ADRV9009-ZU11EG
频率覆盖范围	3 GHz	3 GHz	3 GHz	3 GHz	6 GHz
瞬时带宽	40 MHz	40 MHz	100 MHz	200 MHz	200 MHz (每个芯片)
跳频时间	15 us	250 us	1 ms	70 us	70 us
IQ速率	50 MSPS	50 MSPS	125 MSPS	250 MSPS	250 MSPS
跳数	75	75	30	15	15 (每个芯片)
最小FFT大小	16384	16384	32768	65536	65536
停留时间	328 us	328 us	262 us	262 us	262 us
总覆盖时间	25.7 ms	43.3 ms	37.8 ms	5 ms	5 ms

功能框图 – 射频评估子板

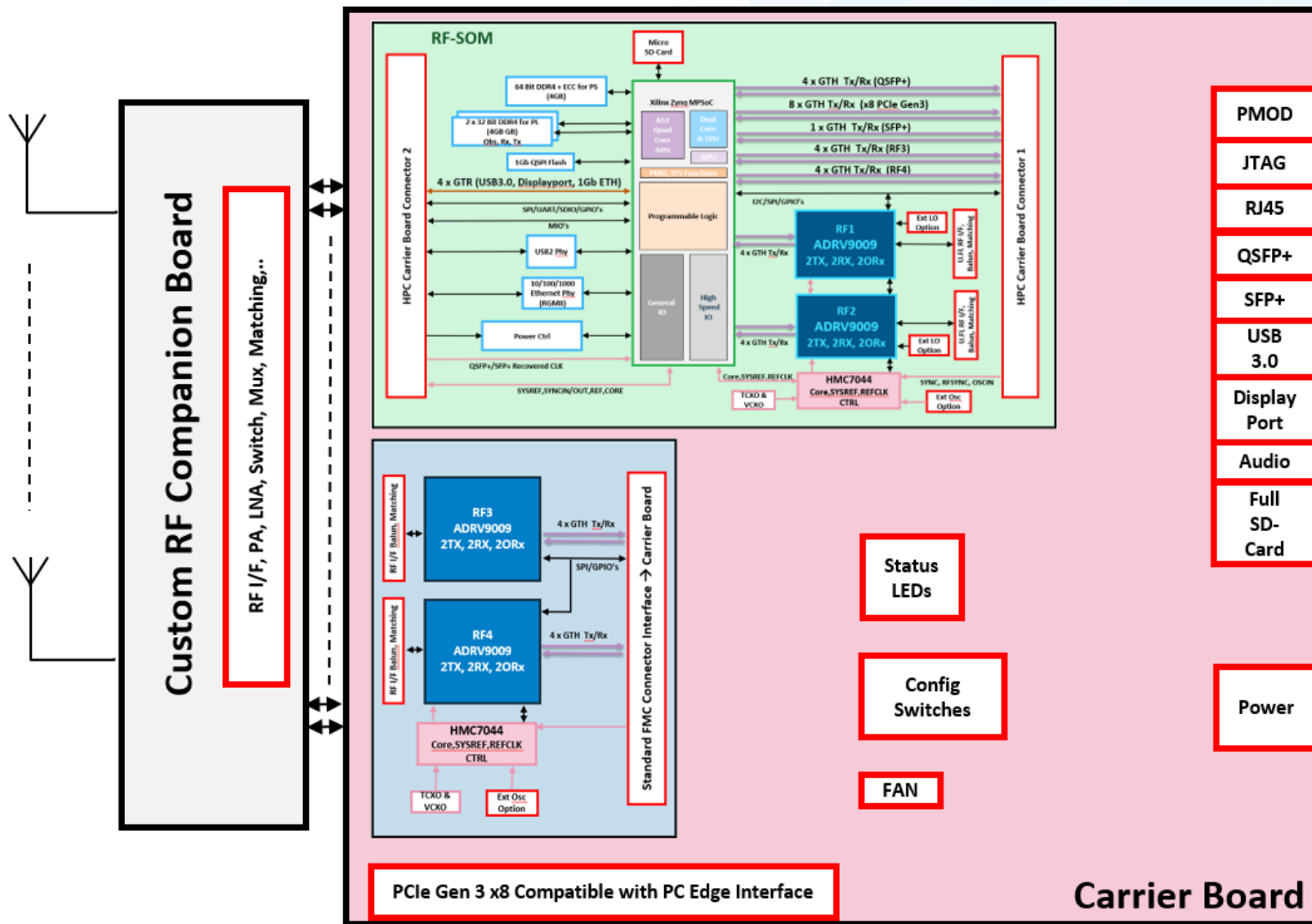
子板

(HD FMC接头接口)

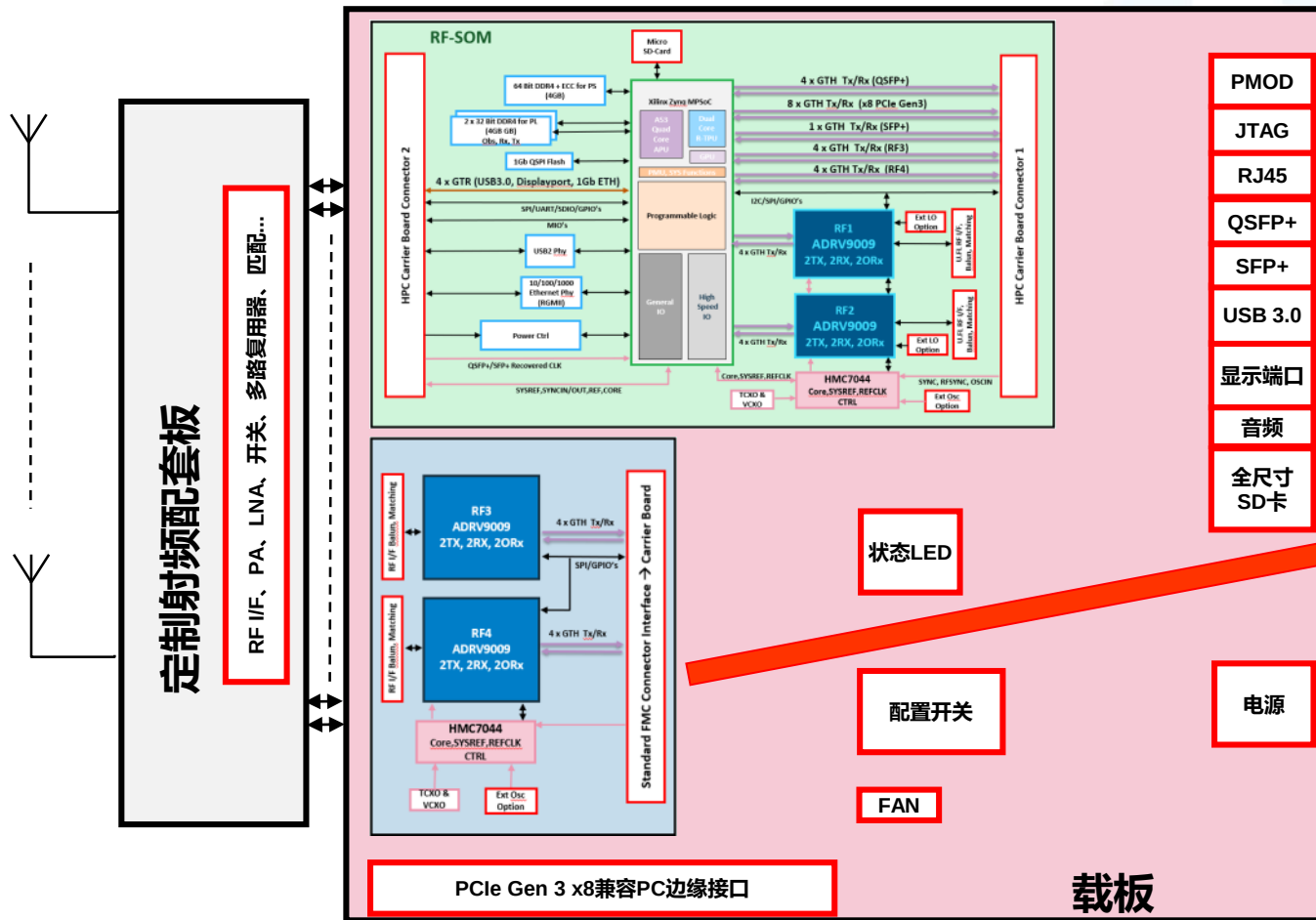


- ADRV9009与SOM上的器件相位/频率相干

SOM + 载板 + 子板



功能框图-完整原型评估系统

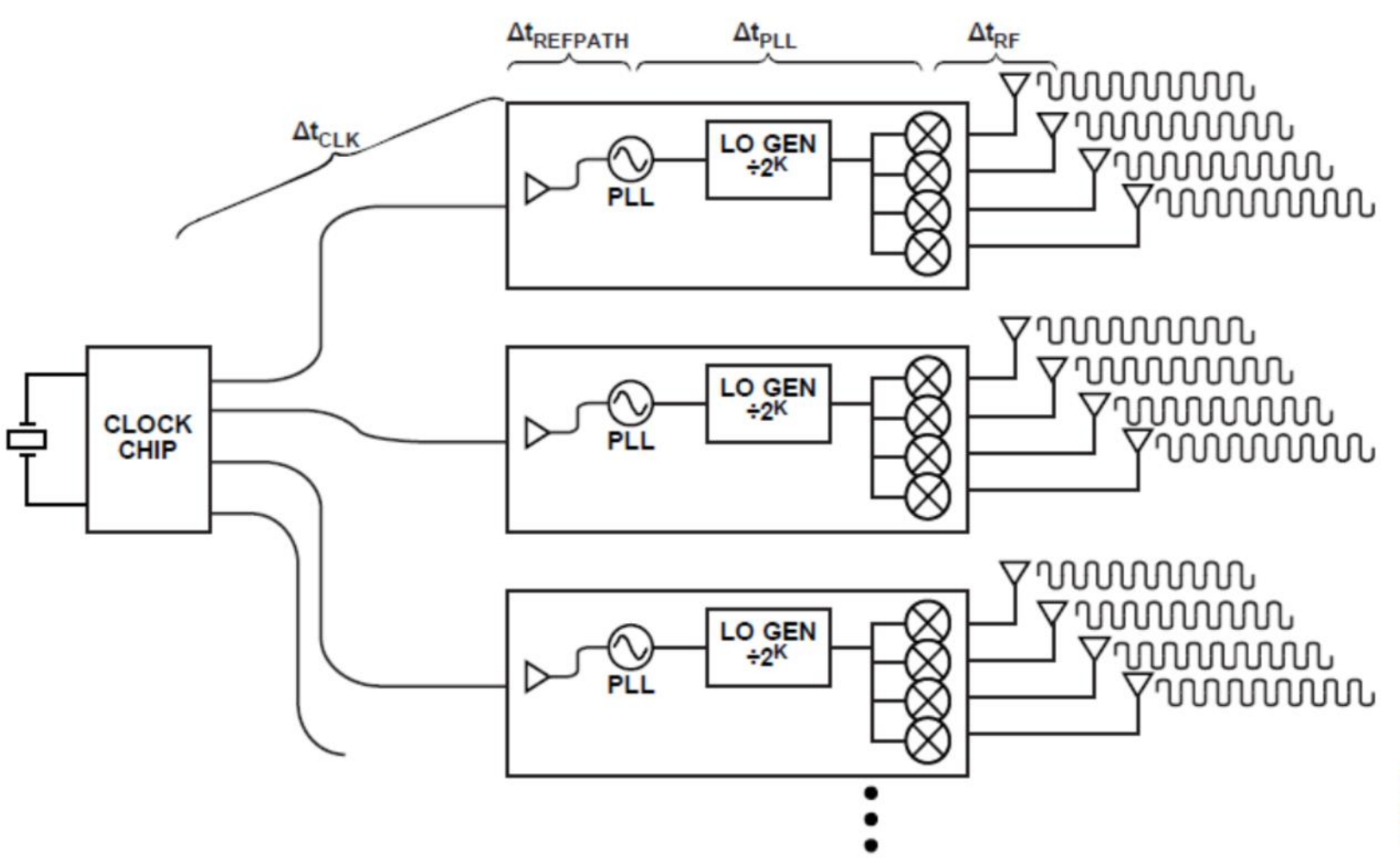


跳频比较

参数	有快速锁定的 AD9361	无快速锁定的AD9361	AD9371	ADRV9009	ADRV9009- ZU11EG	ADRV9009- ZU11EG+DB
频率覆盖范围	3 GHz	3 GHz	3 GHz	3 GHz	6 GHz	6 GHz
瞬时带宽	40 MHz	40 MHz	100 MHz	200 MHz	200 MHz (每个芯片)	200 MHz (每个芯片)
跳频时间	15 us	250 us	1 ms	70 us	70 us	70 us
IQ速率	50 MSPS	50 MSPS	125 MSPS	250 MSPS	250 MSPS	250 MSPS
跳数	75	75	30	15	15 (每个芯片)	7 (每个芯片)
最小FFT大小	16384	16384	32768	65536	65536	65536
停留时间	328 us	328 us	262 us	262 us	262 us	262 us
总覆盖时间	25.7 ms	43.3 ms	37.8 ms	5 ms	5 ms	2.5 ms

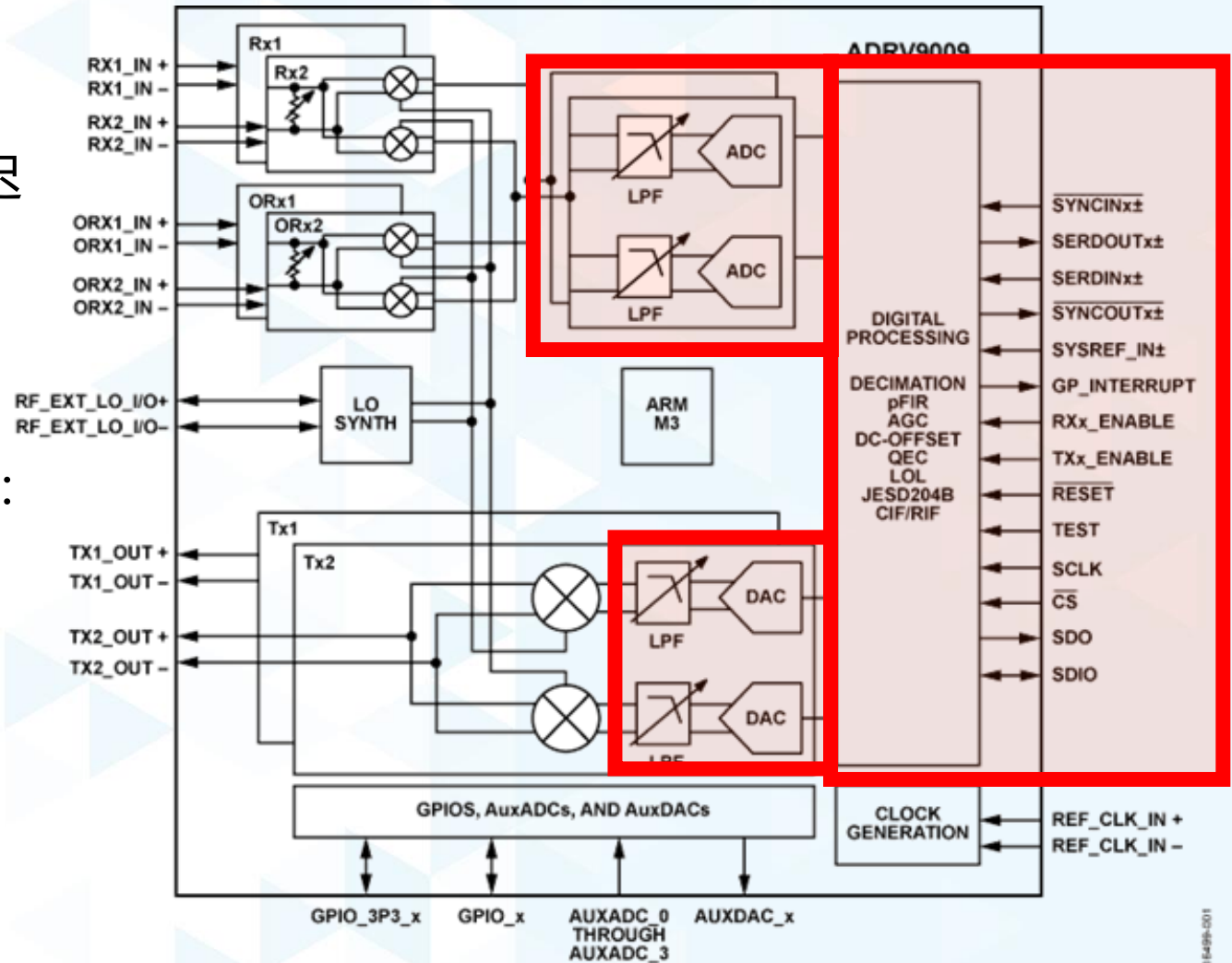
MIMO和同步

多通道系统同步



多芯片同步

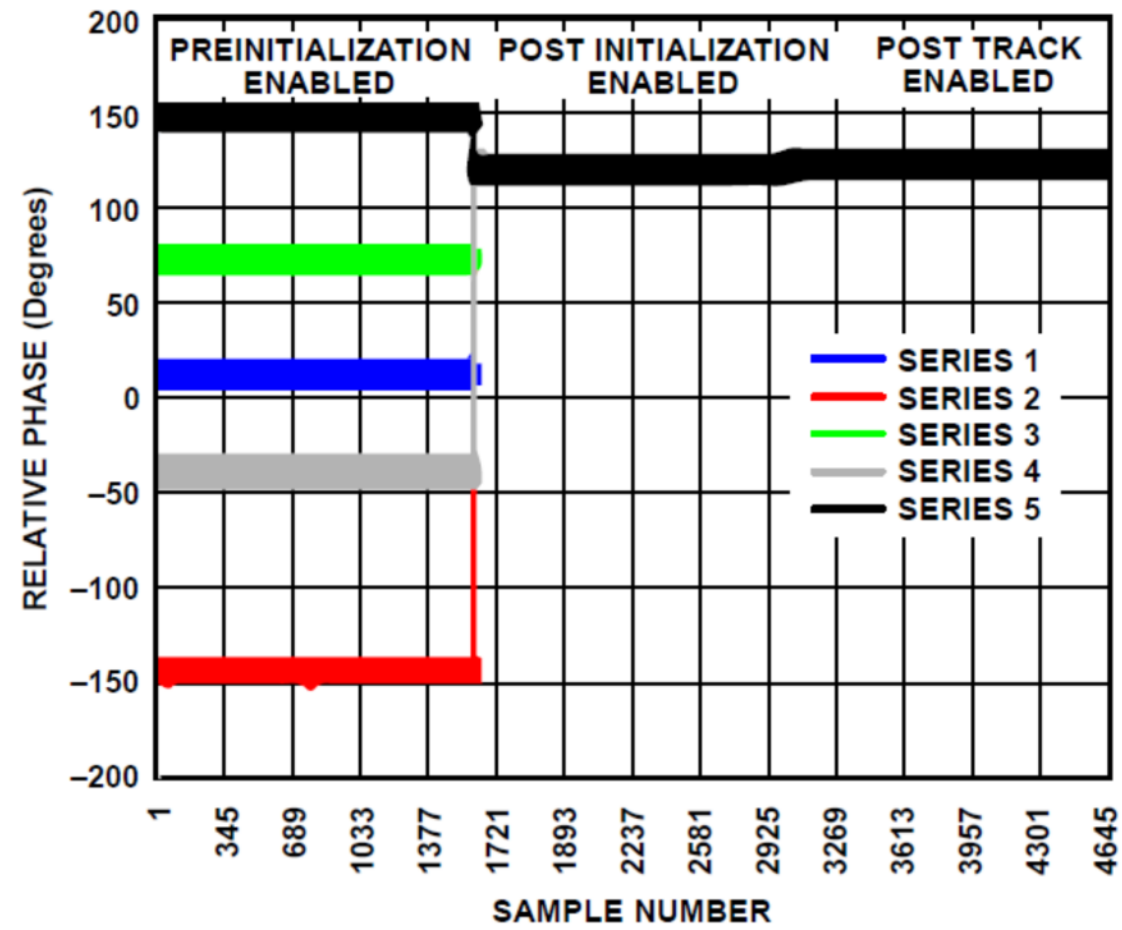
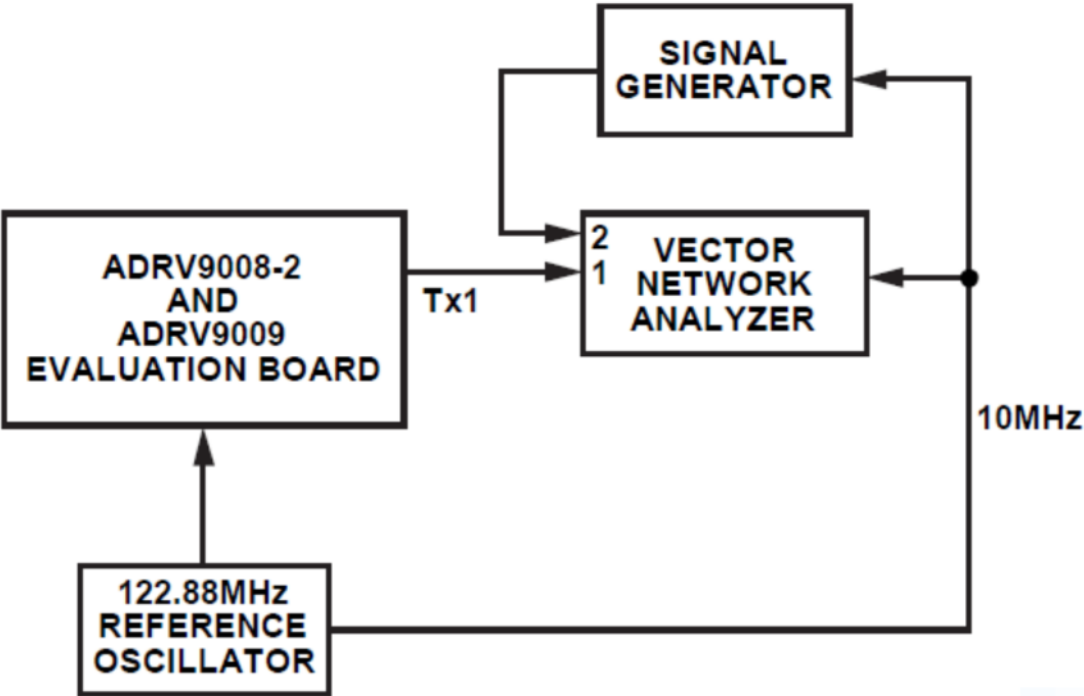
- ▶ 多芯片同步(MCS)
同步基带数据路径
- ▶ 通过SYSREF、REF_CLK和JESD确定性延迟实现
- ▶ 通过API函数控制
- ▶ 类似于AD9371和AD9361
- ▶ 提供基于样本的同步和以下元件/参数的同步：
 - NCO
 - JESD LMFC
 - RF PLL相位



- **每个收发器芯片的相位都是唯一的**

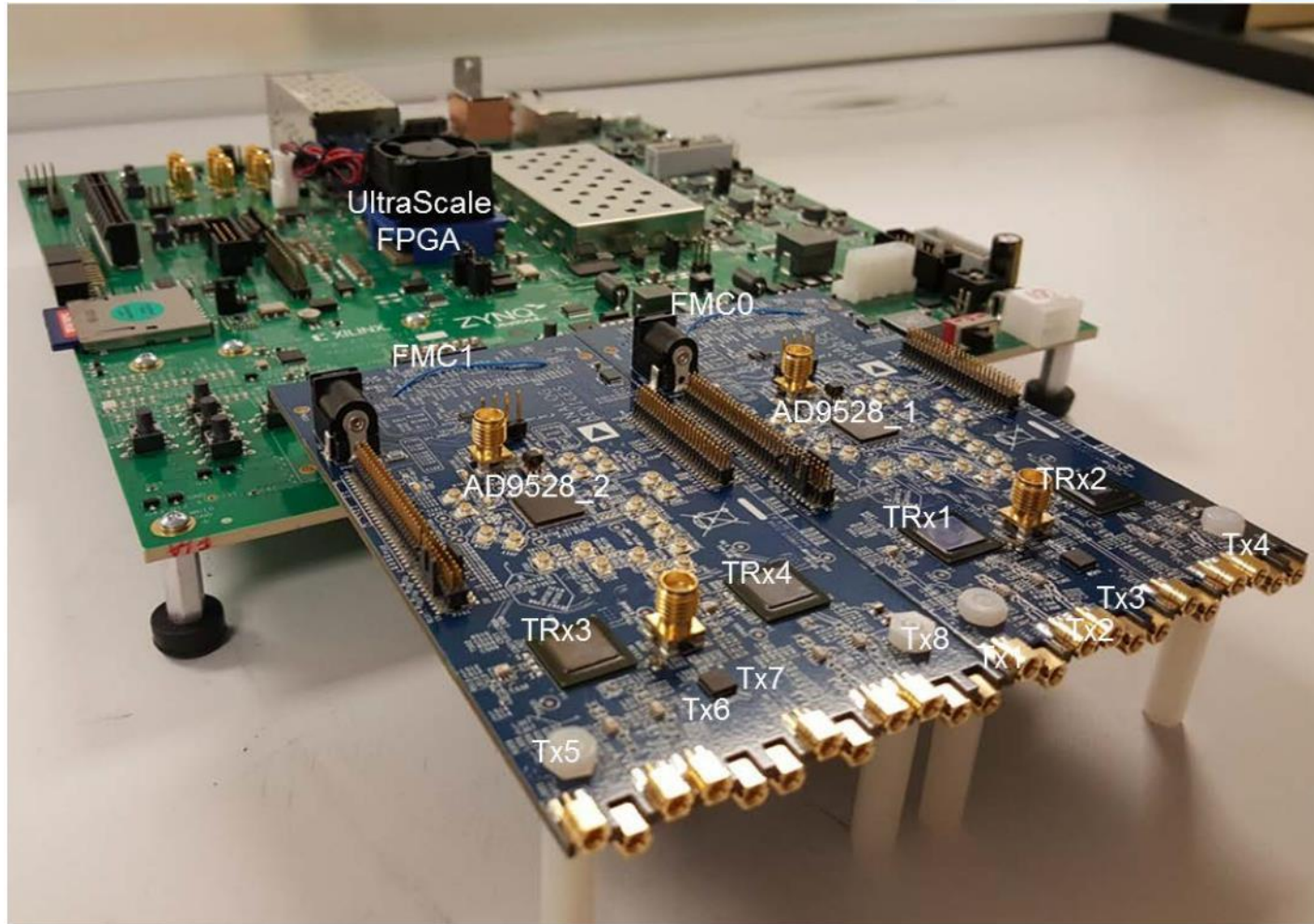


单个ADRV9009跨越多次上电重启保持相位同步

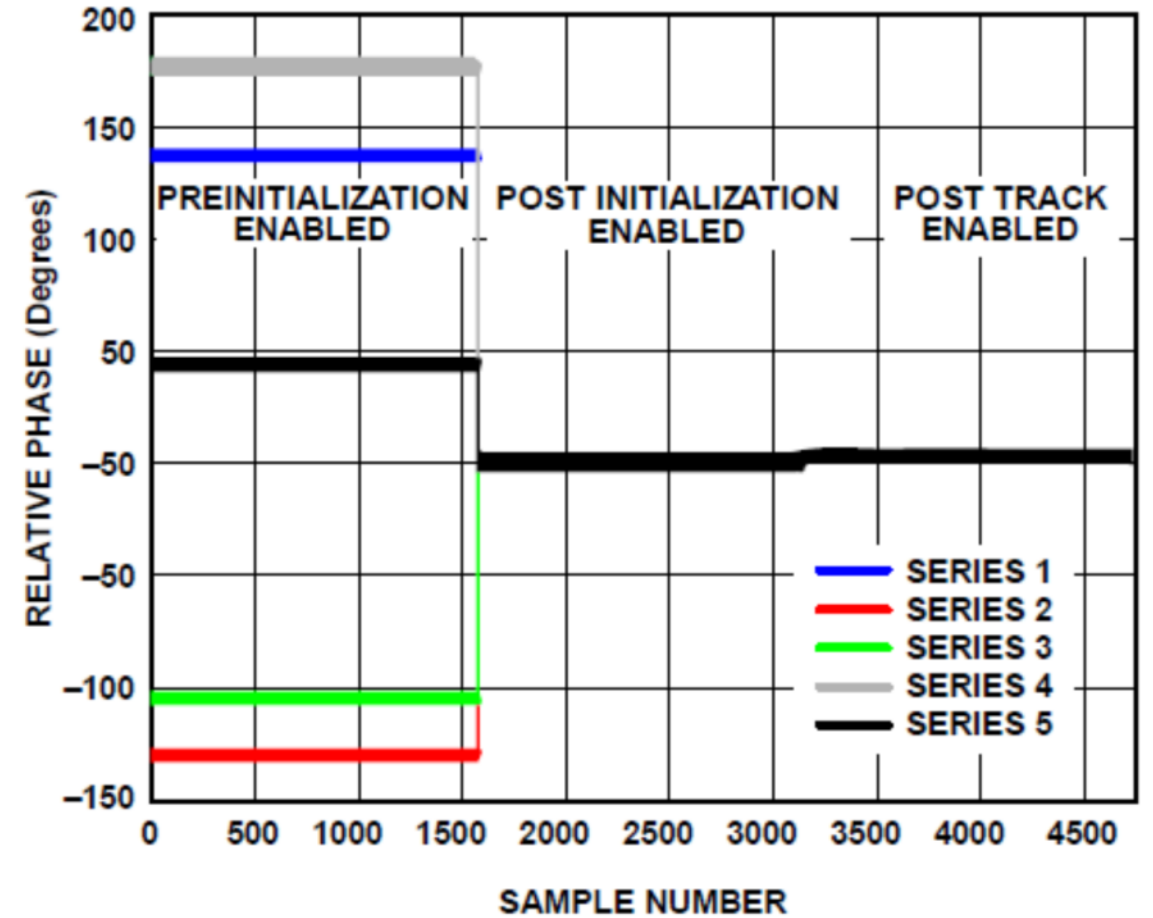
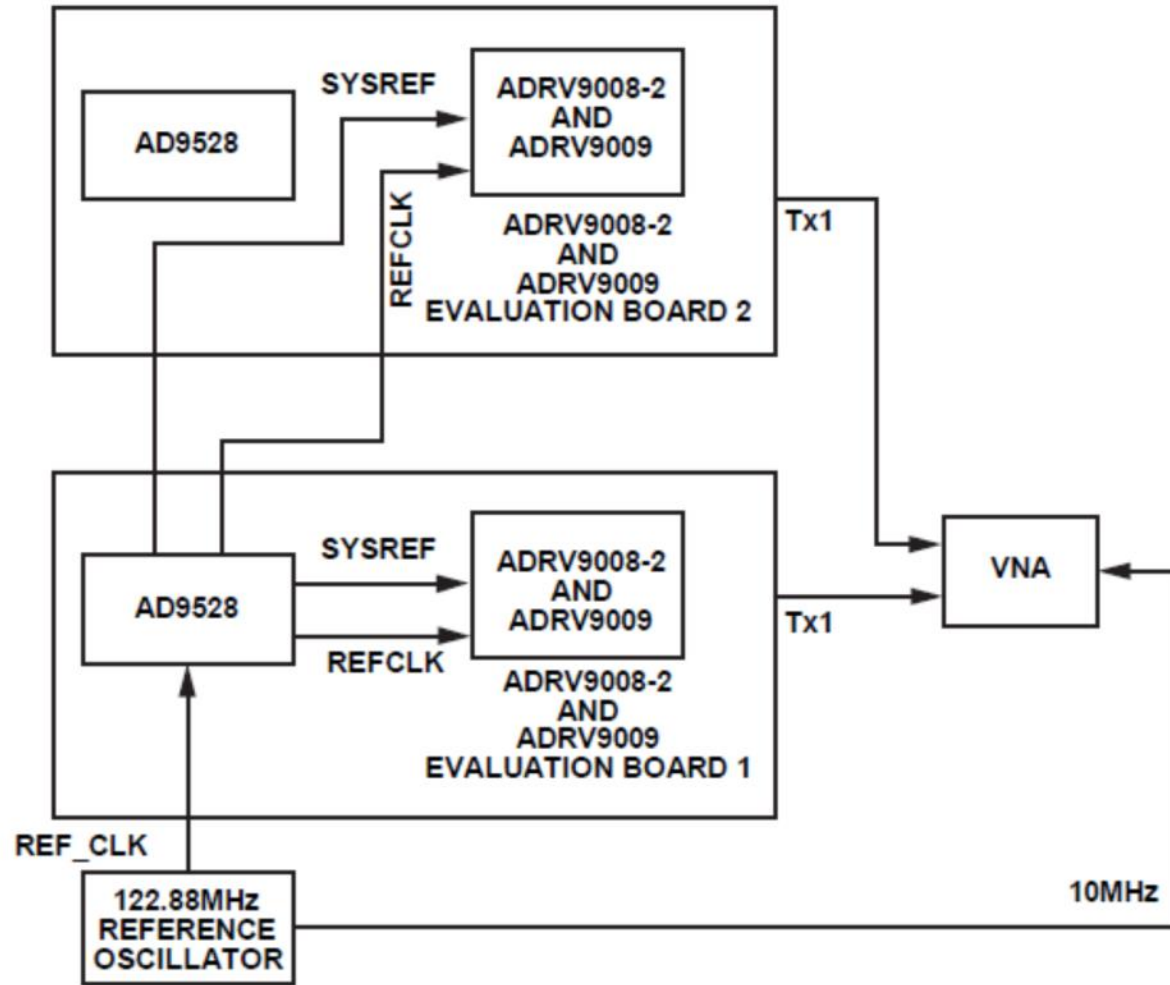


多ADRV9009原型系统

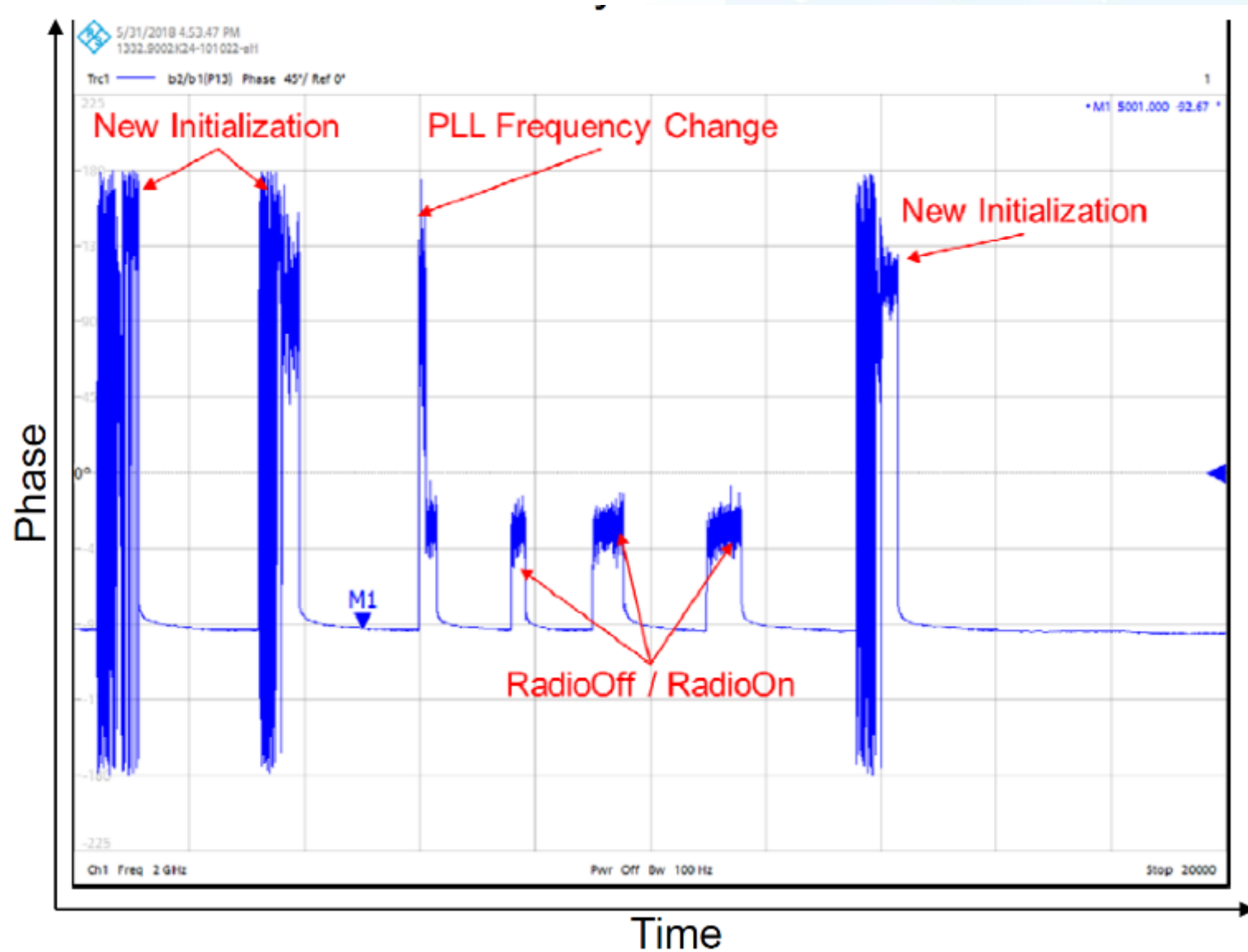
- ▶ 四通道ADRV9009原型系统
- ▶ 8发射
- ▶ 8接收



ADRV9009之间的相位同步

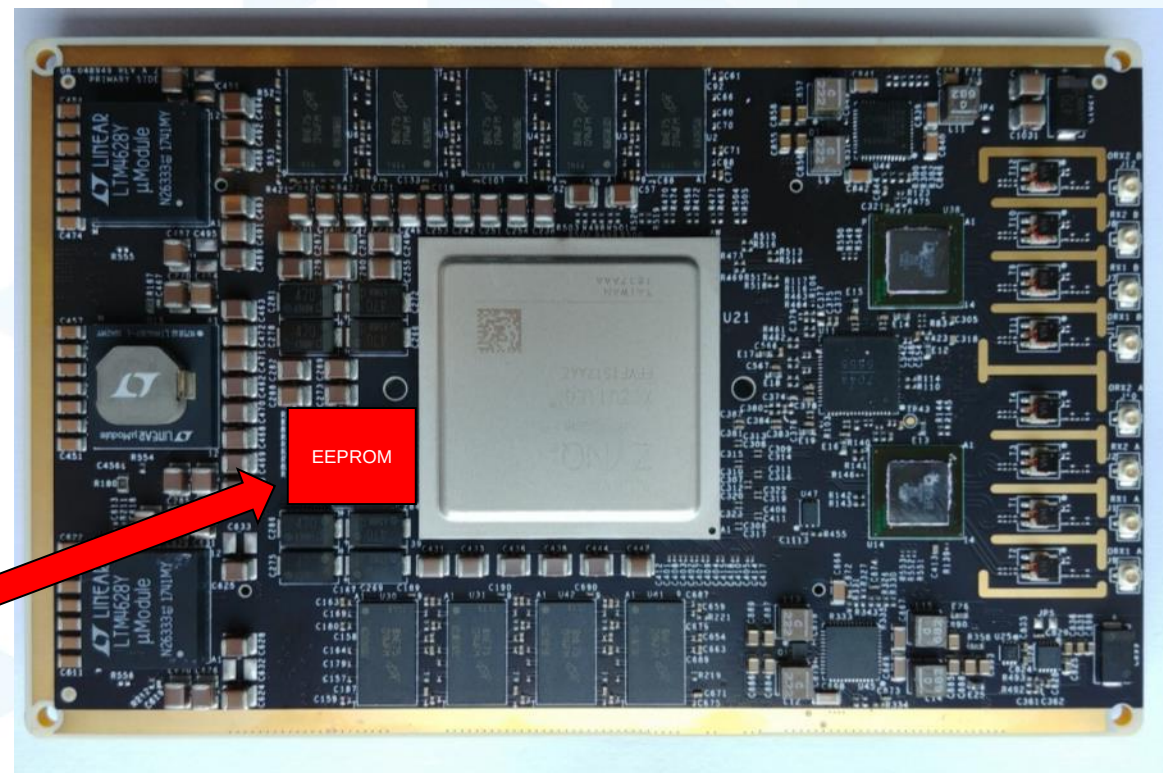
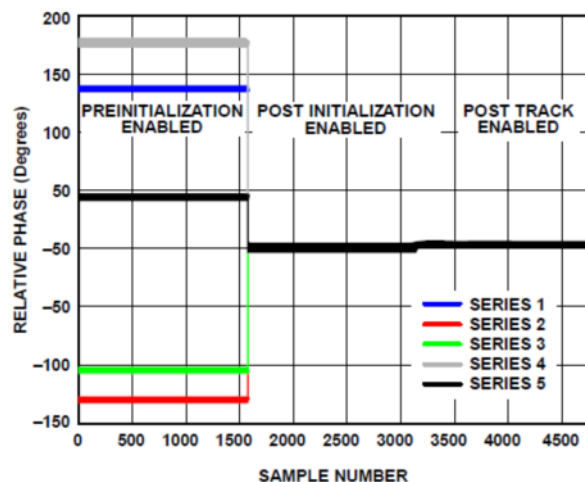


ADRV9009同步



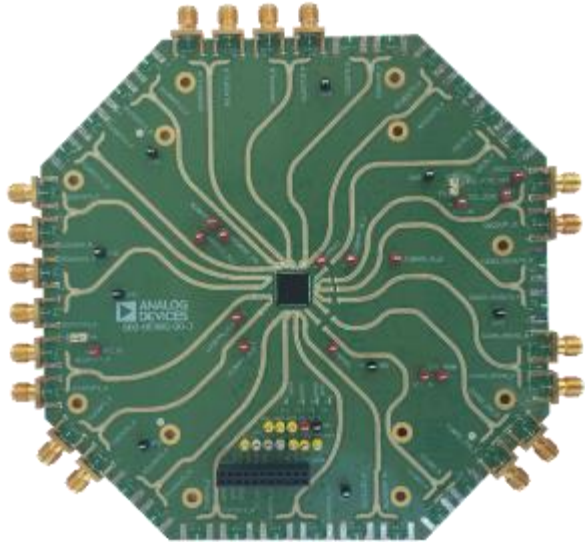
相位偏移和SOM

- ▶ SOM将利用EEPROM中提供的测量偏移进行工厂校准
- ▶ 校准的相位支持多SOM对齐同步
- ▶ 必要时用户可以更新EEPROM
- ▶ 校准程序将提供给用户

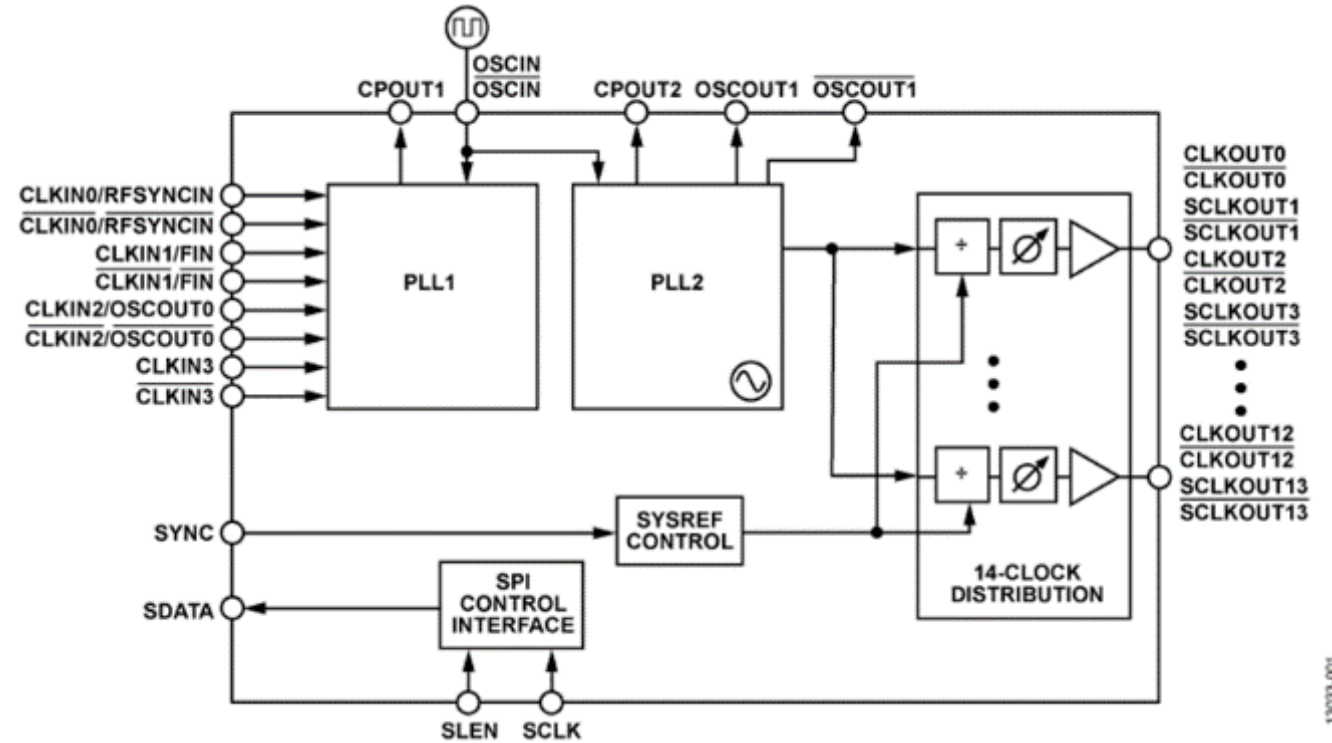


HMC7044

- ▶ SOM利用HMC7044为板载ADRV9009和多个SOM提供时钟分配
- ▶ JESD204B/JESD204C兼容系统参考(SYSREF)脉冲
- ▶ 14个低噪声和可配置输出
- ▶ 多个HMC7044可以同步

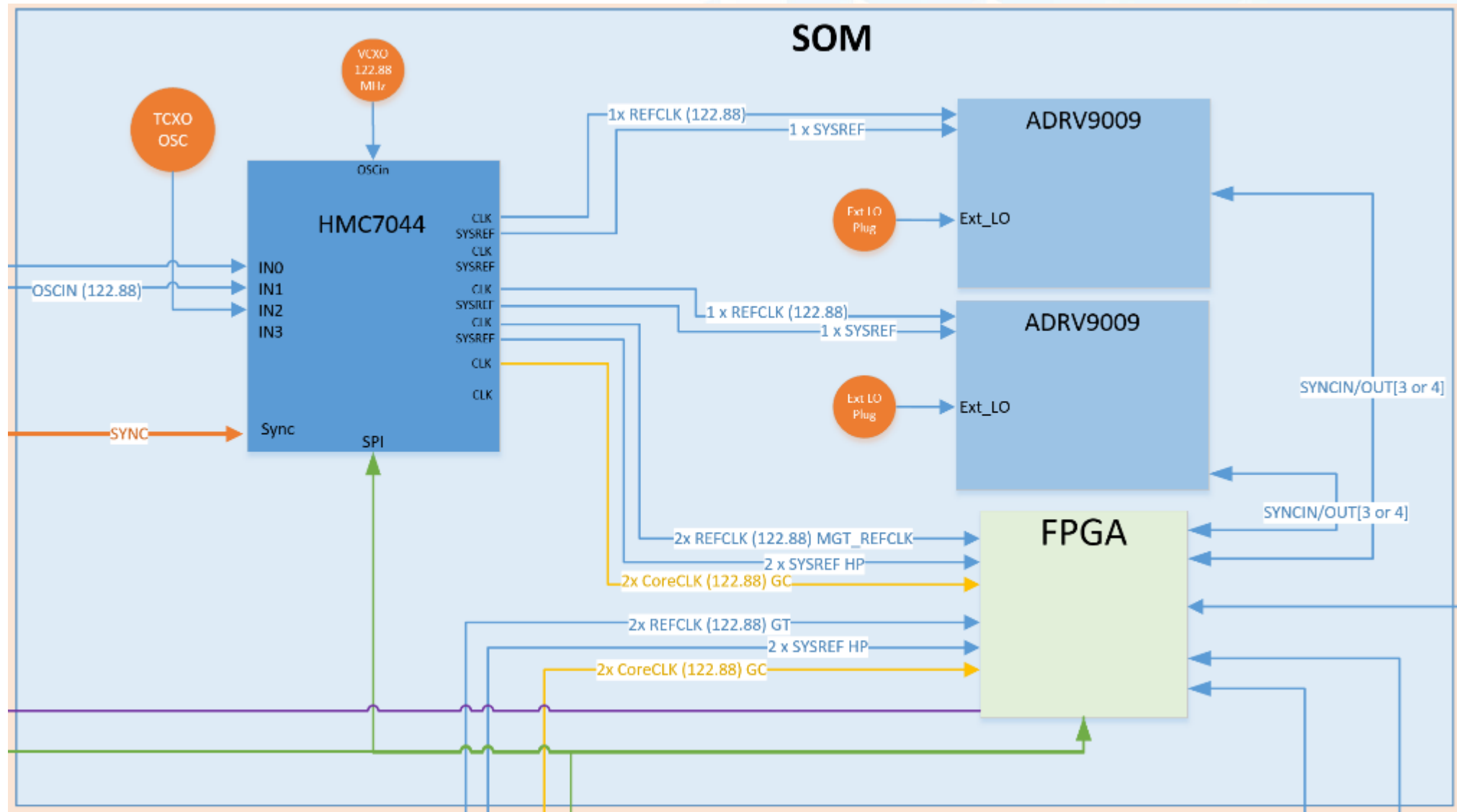


13033-001

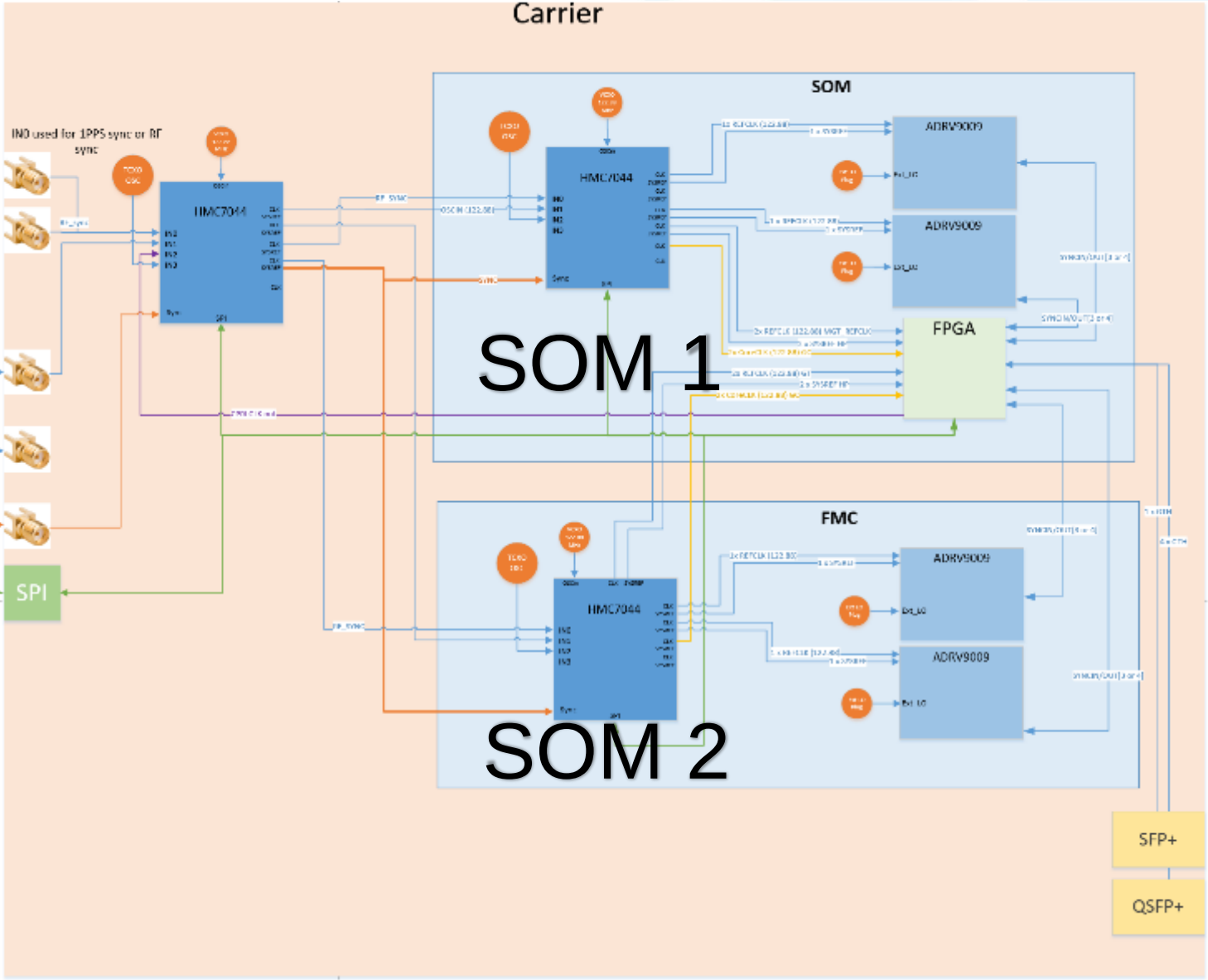


13033-001

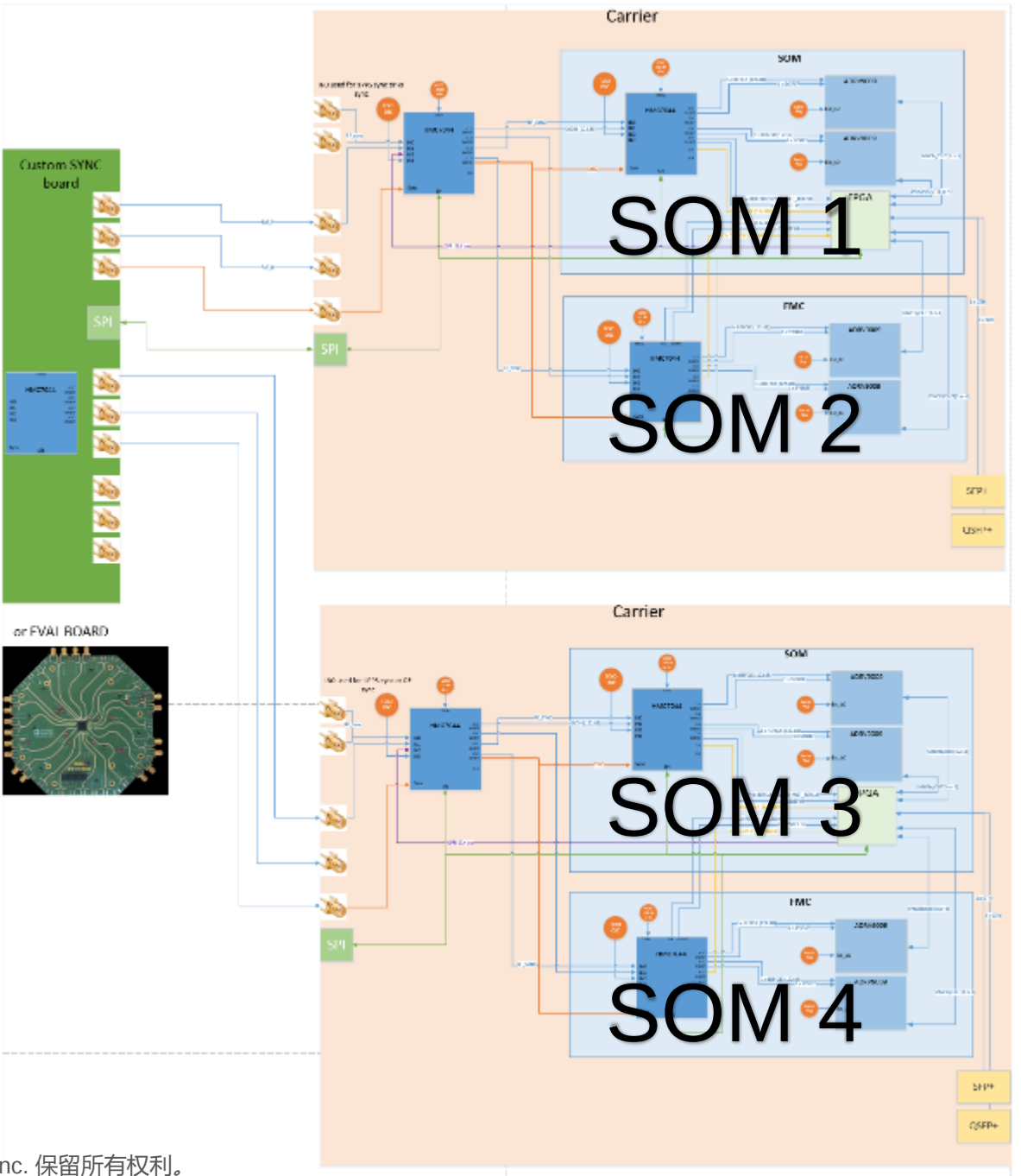
多ADRV9009同步



多个ADRV9009与子卡同步

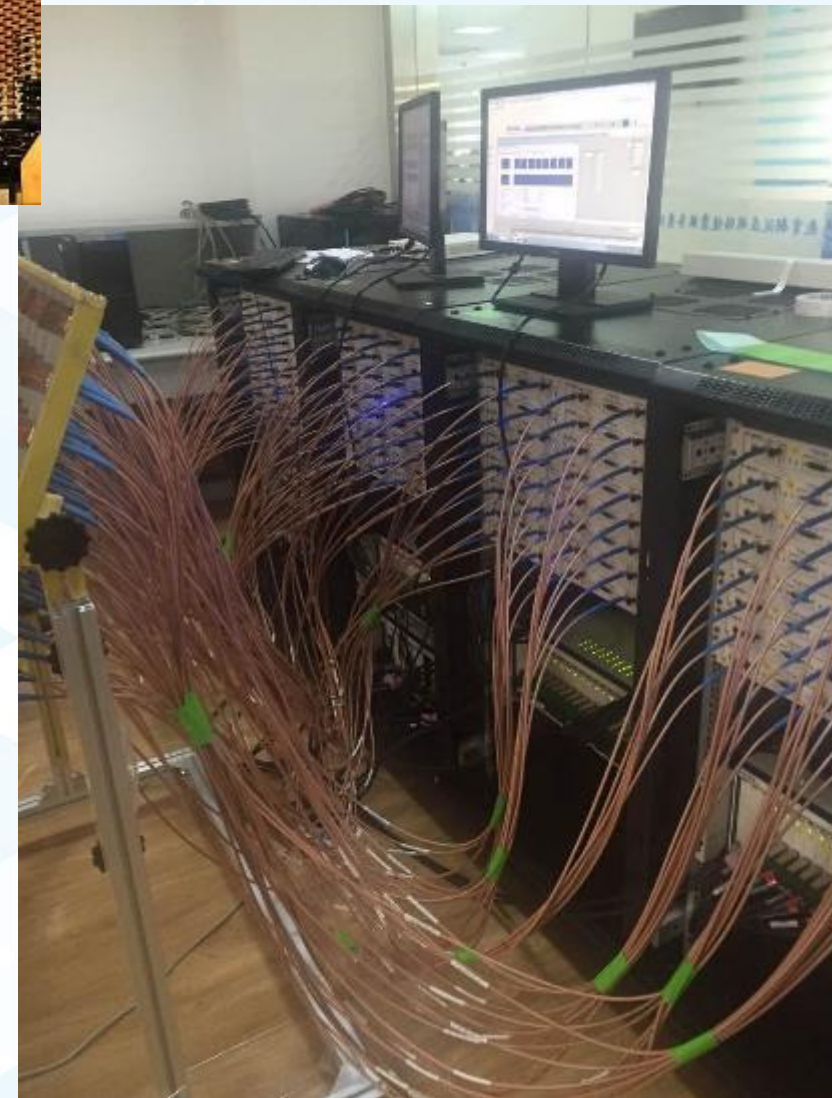
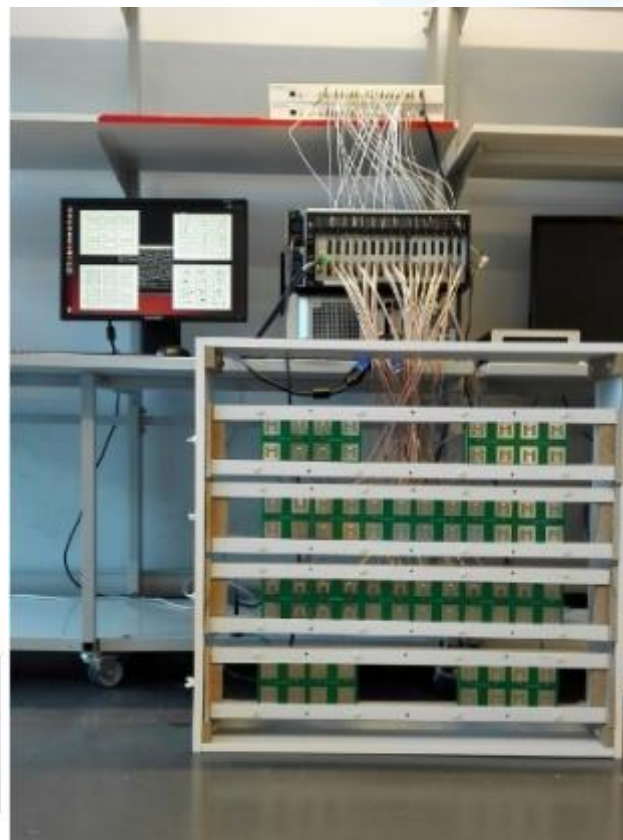


多SOM同步



简化的大规模阵列

- ▶ SOM简化相控阵的构建
- ▶ 从芯片构建，可处理整个系统的同步
- ▶ 实现易于扩展的系统

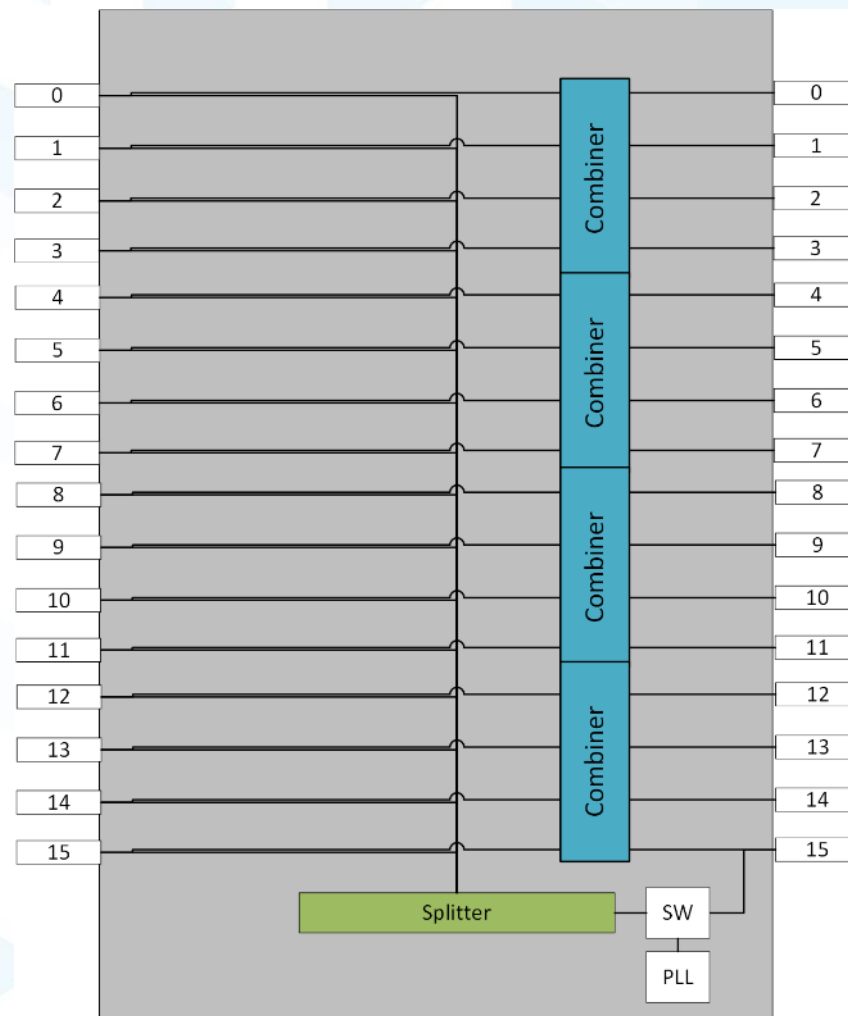


性能和同步验证

- ▶ 用于SOM验证的高通道数VNA



- ▶ 16通道测试板(WIP)



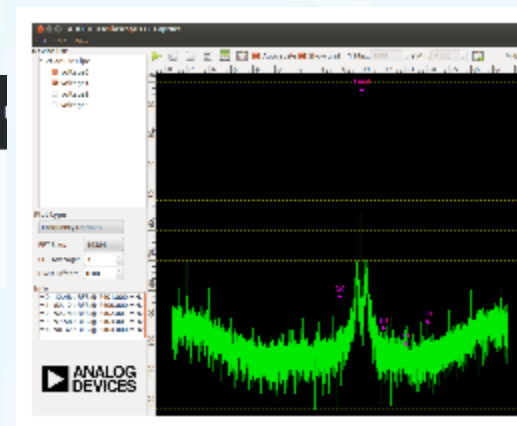
软件和HDL支持

主要特性 – HDL和软件

- ▶ HDL参考设计和驱动程序支持 “零” 日开发
- ▶ 操作系统
 - ADI公司Linux和无OS参考设计通过可引导SD卡支持Zynq® UltraScale+™
- ▶ 平台开发环境支持
 - GNU Radio
 - 行业标准Linux工业I/O应用
 - MATLAB®、Simulink®和流传输接口支持定制C、C++、python和C#应用。
- ▶ 开源代码
 - 提供由Github托管的开源代码支持包

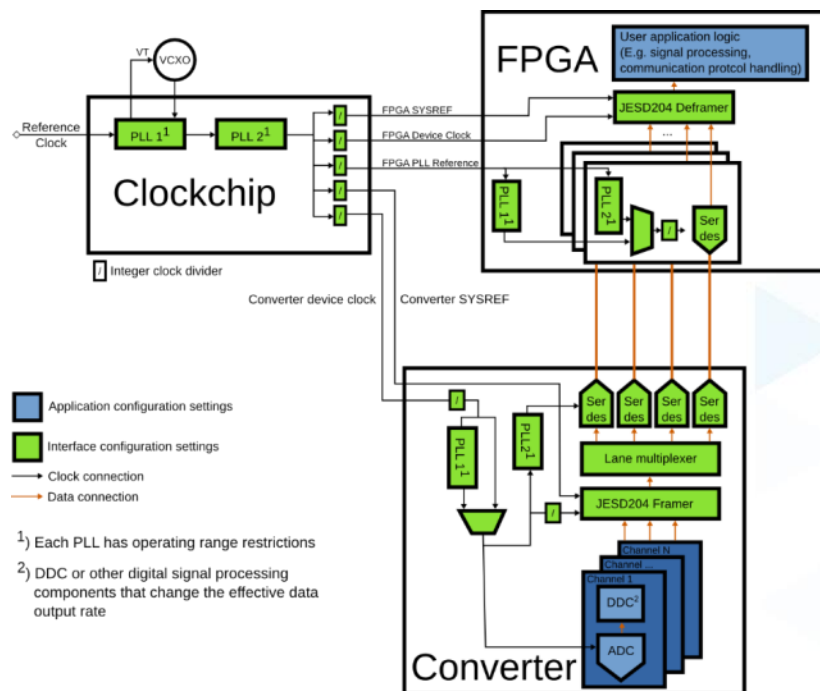


C# C
C++



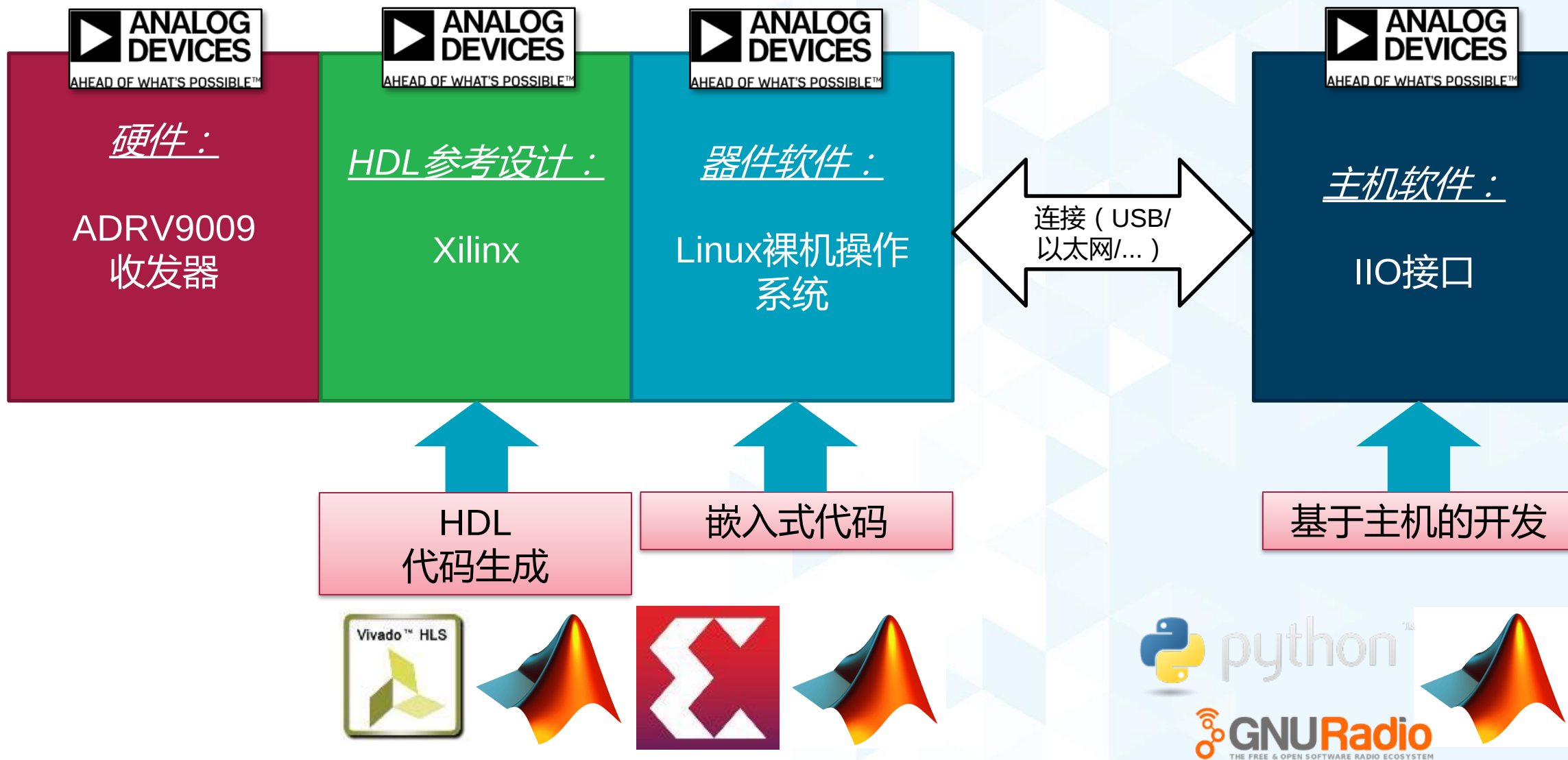
JESD204接口框架

- ▶ ADRV9009-SOM项目使用现有ADI JESD许可证
- ▶ 涵盖整个堆栈的集成框架
 - **硬件**：参考和快速原型制作系统
 - **HDL**：JESD204协议处理组件
 - **软件**：管理时钟芯片、转换器和HDL的驱动程序



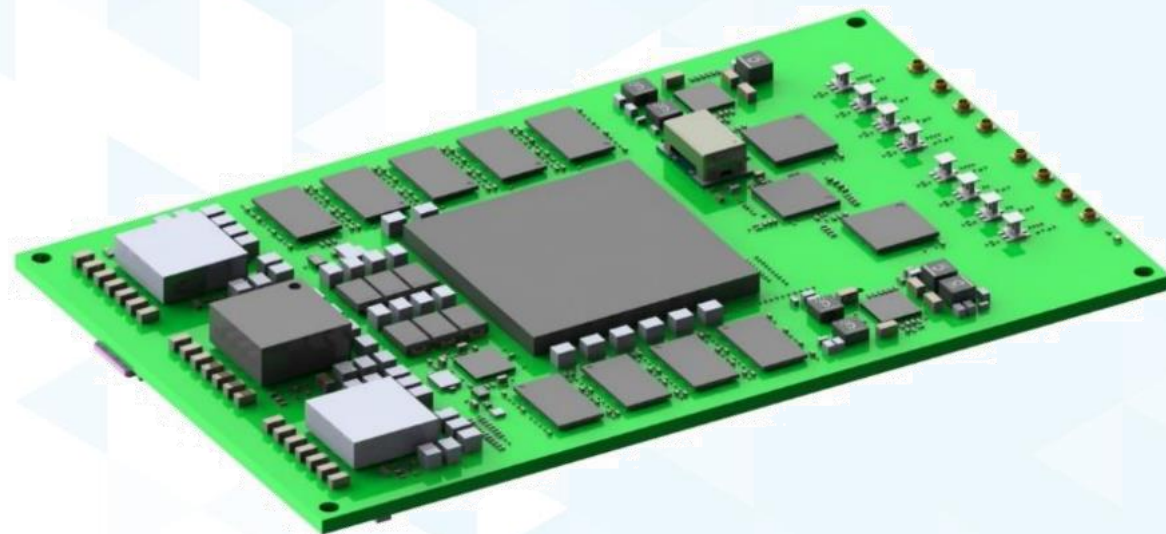
Third Party Tool Integration Matlab/Simulink Python GNU Radio
Software Reference Designs Configures drivers for HDL and hardware reference design
Software System Libraries Provides unified interface (API) Implements common system tasks
Software Drivers Manages Hardware Components Manages HDL Components
HDL Reference Designs Instanciates HDL IP for hardware reference design
HDL IP Components Phy Layer Transport Layer Link Layer DMA
Hardware Reference Desgins Rapid prototyping boards Evaluation boards
Hardware Components Converter Power Clockchip Analog Frontend

硬件和软件结合：大图景



总结和销售信息

- ▶ ADRV9009-ZU11EG
 - 2019年第一季度发布工程样品
 - 2019年第三季度量产
- ▶ 单件定价：
 - \$8,995 RF-SOM + 载板
- ▶ 批量价格
 - 请联系ADI
- ▶ 更多载板和配件即将推出
 - 多SOM载波
 - 多SOM时钟解决方案
 - 模拟前端解决方案
- ▶ 通过GitHub提供HDL和软件
- ▶ 通过EngineerZone提供支持



谢谢观看！

- ▶ **ADI中国地区技术支持热线：4006 100 006**
- ▶ **ADI中国地区技术支持信箱：**
china.support@analog.com
- ▶ **ADI样片申请网址：**
<http://www.analog.com/cn/sample>