

ADI射频收发芯片 助力ETC路侧模块开发

Tairan Sun, 产品应用工程师

Bill Wang, 系统应用工程师

Shawn Liu, 应用工程师

Aaron He, 系统应用工程师

简介

受政府政策影响, 2019年, 电子道路收费(ETC)应用在中国出现爆炸式增长。仅仅一年的时间里, 安装车载单元(OBU)的汽车数量就从8000万飙升至2亿。在OBU安装量激增的同时, ETC的应用范围也从高速公路扩展到城市, 例如停车收费和车辆信息收集。目前, 停车收费和车辆信息收集系统都基于摄像头, 所以如果要在城市环境中推广ETC应用, 还需要将ETC路边单元(RSU)集成到摄像头系统中。本文介绍使用AD9361射频(RF)收发器的ETC RSU模块方案。该方案的目标应用是中国的ETC RSU, 因此必须符合中国的GB/T 20851-2019《电子收费—专用短程通信》标准。¹该模块紧凑小巧, 仅11 cm × 6 cm, 可以轻松集成到摄像头系统中。此外, 这个ETC RSU模块也可以配置为一个简单的RF仪器, 用于测试客户生产线中的ETC RSU模块。客户无需在生产线上使用昂贵的RF仪器, 可以大大节省成本。

标准汇总

根据GB/T 20851-2019标准, 汇总了ETC RSU物理层的要求, 具体如表1和表2所示。

表1. ETC RSU下行链路物理层关键要求汇总

参数	描述	
载波频率	通道1: 5830 MHz 通道2: 5840 MHz	
占用带宽 (OBW)	≤5 MHz	
频率容差	±10 × 10 ⁻⁶	
EIRP	≤33 dBm	
杂散发射	30 MHz至1 GHz	≤-36 dBm/100 kHz
	2400 MHz 至 2483.5 MHz	≤-40 dBm/1 MHz
	3400 MHz 至 3530 MHz	≤-40 dBm/1 MHz
	5725 MHz 至 5850 MHz*	≤-33 dBm/100 kHz
	其他频率: 1 GHz至20 GHz	≤-30 dBm/1 MHz
邻道泄漏比	≤-30 dB	
调制类型	ASK	
调制深度	70% 至 90%	
数据编码	FMO	
位速率	256 kbps	
位速率精度	±100 × 10 ⁻⁶	

*远离载波频率的2.5倍载波带宽

表2. ETC RSU上行链路物理层关键要求汇总

参数	描述	
载波频率	通道1, 5790 MHz 通道2, 5800 MHz	
频率容差	$\pm 200 \times 10^{-6}$	
接收机灵敏度	≤ -70 dBm	
最大输入功率	≥ -20 dBm	
通道内的干扰抑制比	$< +10$ dB	
邻道干扰抑制比	< -20 dB	
阻塞抑制比	< -30 dB	
接收带宽	通道1	通道2
	最大值: 5787.5 MHz 至 5792.5 MHz 最小值: 5788.5 MHz 至 5791.5 MHz	最大值: 5797.5 MHz 至 5802.5 MHz 最小值: 5799.5 MHz 至 5801.5 MHz
调制类型	ASK	
调制深度	70% 至 90%	
数据编码	FMO	
位速率	512 kbps	
位速率精度	$\pm 1000 \times 10^{-6}$	

基于AD9361的ETC RSU解决方案

基于AD9361的ETC RSU模块的框图如图1所示。前视图和后视图如图2所示。

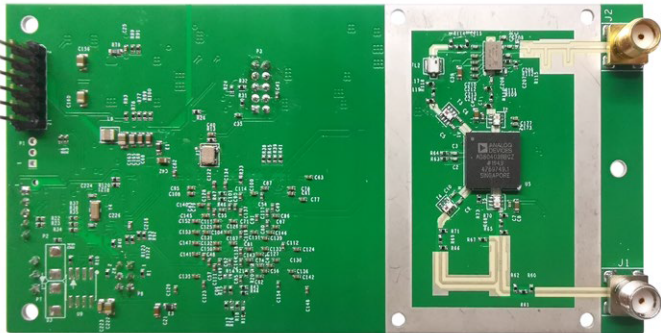
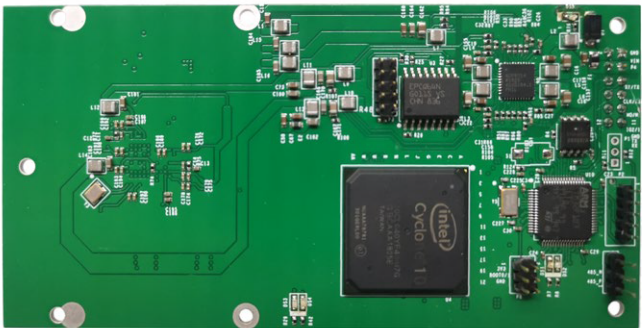


图2. ETC RSU模块前视图和后视图。

ADI公司的AD9361是一款高集成度的RF收发器，能够通过不同配置实现各种广泛应用。它在单个器件中集成了提供所有收发器功能所需的RF、混合-信号和数字模块。

值得注意的是，AD9361具有多种非常适合ETC RSU应用的功能。

首先，AD9361在发射路径和接收路径中都集成了可编程的多相FIR滤波器，这意味着所有数字域滤波都可以在AD9361内部完成，而不是在FPGA中完成。这样可以节省大量FPGA资源，且可以选择使用成本更低的FPGA。例如，为了满足接收带宽要求，客户可以使用ADI公司提供[滤波器向导](#)工具来设计和调整FIR滤波器响应，然后将滤波器系数下载到AD9361中。

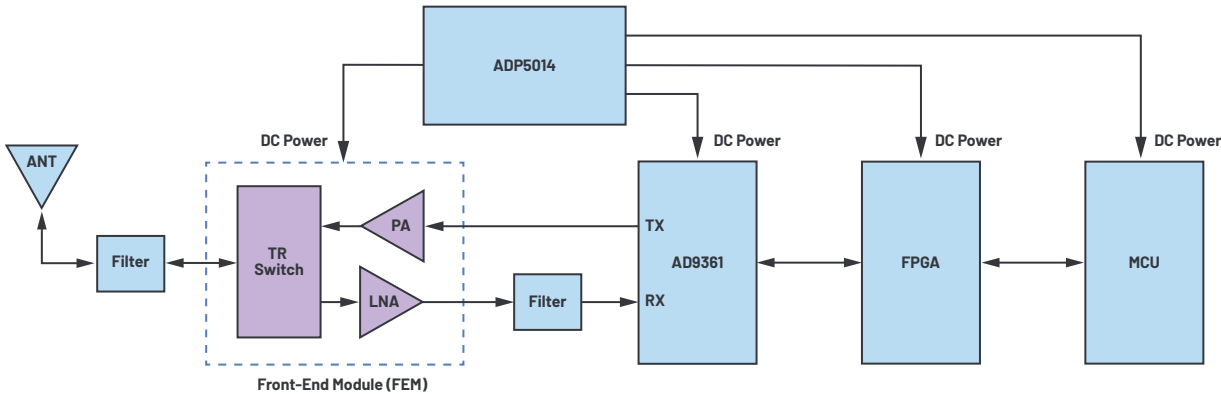


图1. ETC RSU模块框图。

其次, AD9361具有DCX0功能, 这表示AD9361集成的电容可用作外部晶振。AD9361能够调谐电容, 意味着AD9361能够精准控制外部晶振的频率。在一般实现方案中, 客户可以通过调节RF PLL N分频器来满足RF频率容差要求, 但能否满足位速率精度要求, 则取决于晶振的性能, 且不能调整。对于基于AD9361的解决方案, 客户可以使用DCX0功能来调整晶振频率, 以同时满足位速率精度和RF频率容差要求。我们可以制作一个查找表来补偿晶振频率温度漂移, 以确保ETC RSU模块在整个工作温度范围内都能满足频率容差和位速率精度要求。

第三, AD9361实现了接收器AGC功能。它提供两种模式: 慢速AGC和快速AGC。它是全自动的, 客户根本不需要在FPGA中提供任何接收器增益控制功能。快速AGC模式在ETC RSU应用中非常有用, 且已通过测试, 因此增益调整在开始传输上行链路导频信号时便能稳定下来。

在发射路径中, 首先由FPGA将发射器数字基带信号发送给AD9361。随后数字基带信号在AD9361中进行滤波和插值(从10.24 MSPS至163.84 MSPS)。然后, DAC将数字基带信号转换为模拟基带信号, 再进行低通滤波。最后, 通过上变频得到5.83 GHz(通道1)或5.84 GHz(通道2)的RF信号。在发射器RF域中, AD9361集成了一个衰减器, 可以在大于80 dB的范围内控制发射器输出功率。该衰减器可用于调节发射器的输出功率电平, 以及整个发射器链路的增益温度补偿。之后, 将发射器信号馈入前端模块(FEM)内部的功率放大器(PA), 经过进一步放大之后再流经微带低通滤波器(LPF)滤除谐波, 以满足发射器的杂散发射要求, 最后, 将信号馈送至天线。在我们的ETC RSU模块设计中, 将AD9361的发射器衰减设为8 dB, 天线端口的输出功率可达到29 dBm, 这意味着AD9361具有足够的衰减动态范围来补偿高温增益下降和低温增益上升。

在接收路径中, 来自天线的RF信号首先经过低通滤波器, 之后馈入FEM内部的低噪声放大器(LNA), 然后再通过带通滤波器(BPF), 以滤除带外干扰信号。在AD9361接收路径中, 该信号被进一步放大, 然后下变频为模拟基带信号。模拟基带信号经过低通滤波, 然后由ADC将它转换为数字基带信号。在数字域中, 会对信号进行滤波, 以满足接收带宽要求, 再进行抽取(从163.84 MSPS至10.24 MSPS)。然后, AD9361将信号发送至FPGA。

对于电源解决方案, 模块的输入电压为5 V。ADP5014包含4个高性能、低噪声降压调节器。它将5 V转换为3.3 V、2.5 V、1.8 V和1.3 V。5 V输入和ADP5014的4个输出电压提供FEM、AD9361、FPGA和MCU所需的所有电压轨。

发射器测试结果

按照标准中定义的所有发射器测试用例, 我们对基于AD9361的ETC RSU模块进行了测试, 最终均通过测试, 且具备不错的裕量。几项关键测试用例的屏幕截图参见图3至图6。

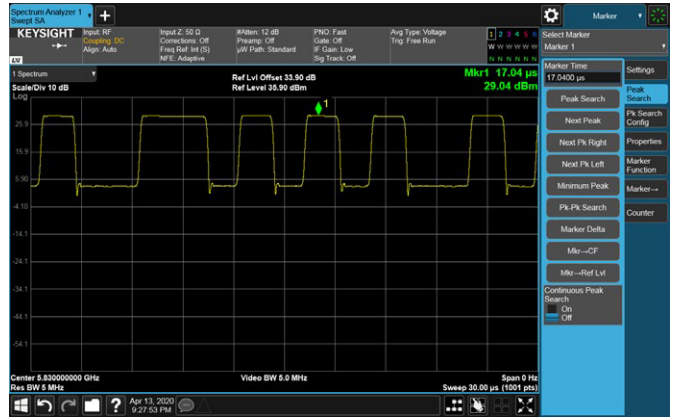


图3. 29 dBm输出功率。

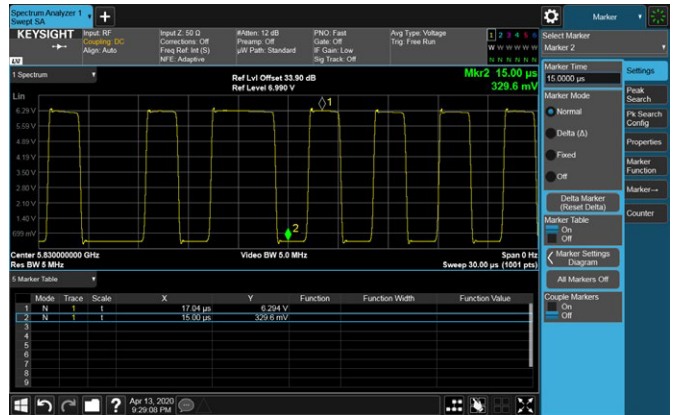


图4. 90%调制深度。



图5. -50 dBc ACLR。

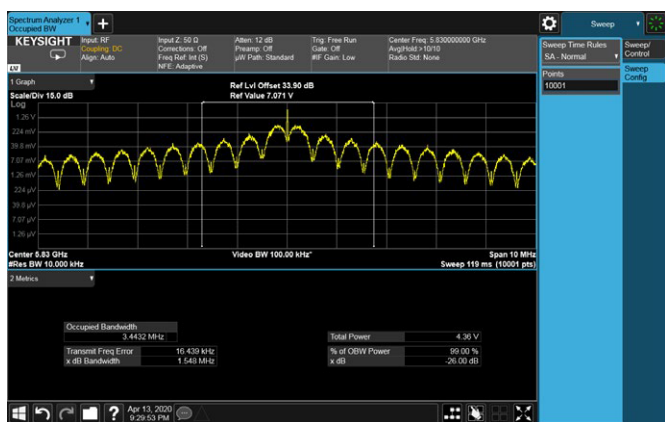


图6. 3.4 MHz占用带宽。

接收器测试结果

按照标准中定义的所有接收器测试项目，我们对基于AD9361的ETC RSU模块进行了测试，最终均通过测试，且具备不错的裕量。为了进行接收器灵敏度测试，将FMO编码、ASK调制信号下载到了信号发生器中，并在FPGA内实施解调算法。

测得我们的RSU模块接收灵敏度为-95 dBm，远优于要求的-70 dBm。图7是输入信号为-95 dBm时的I/Q数据FFT图和I/Q数据幅度图。图中显示，当输入信号电平为-95 dBm时，信号的SNR仍然非常不错。

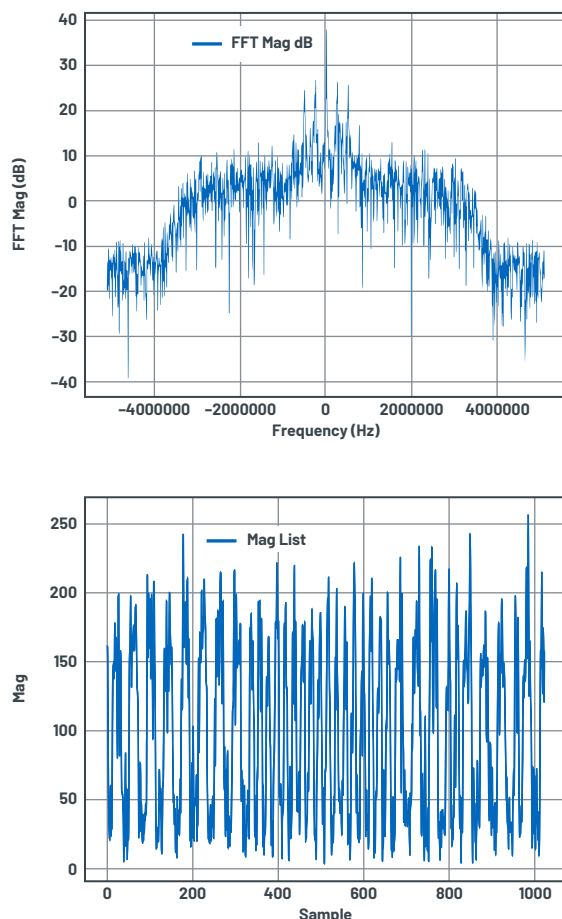


图7. 输入信号电平为-95 dBm时的I/Q数据FFT图（上图）和I/Q数据幅度图（下图）。

对于其他测试用例，例如最大输入功率、接收带宽、通道内的干扰抑制、邻道干扰抑制和阻塞抑制，该模块均通过所有测试。

简单的RF仪器方案

这个ETC RSU模块可以配置为一个简单的RF仪器，用于测试客户生产线上的ETC RSU模块和天线模块。

AD9361有两个RF通道。一个通道用于实现ETC RSU模块，另一个为RF通道，与板载高方向性微带耦合器配合使用，用于执行回波损耗测试。

进行模块发射器测试时，我们使用了AD9361接收信号强度指示器(RSSI)功能。AD9361的RSSI功能的校准后精度为0.25 dB，足以测试ETC RSU模块的输出功率。

进行模块接收器测试时，可以在一个或两个功率电平下校准AD9361的输出功率。然后，使用AD9361内部衰减器来提供各种精确的输出功率，以测试接收器。

结论

可以使用AD9361设计出紧凑小巧的ETC RSU模块。ADI公司提供包含硬件和固件的完整参考设计。该模块可以轻松集成到摄像头系统中，也可单独用作标准ETC RSU模块。该模块满足GB/T 20851-2019标准中定义的ETC RSU要求。此外，可以将它配置为简单的RF仪器，用于客户的生产线中。

参考资料

¹ GB/T 20851-2019 “[电子收费—专用短程通信](#)。”

作者简介

Tairan Sun是ADI上海分公司的产品应用工程师, 于2017年加入ADI。在此之前, 他在DJI (大疆) 担任算法工程师, 在ZTE (中兴) 担任架构工程师。Tairan于2012年获得上海交通大学电路与系统硕士学位, 于2009年获得合肥工业大学电子信息工程学士学位。联系方式: tairan.sun@analog.com。

Bill Wang是ADI北京分公司的系统应用工程师, 于2017年加入ADI。Bill于2014年获得广州大学光电信息科学与技术学士学位, 并于2017年获得华中科技大学光电检测技术硕士学位。联系方式: bill.wang@analog.com。

Shawn Liu是一名应用工程师, 于2019年加入ADI。他是ADI中央应用中心团队的一员, 该团队为ADI的宽带RF收发器产品提供支持。Shawn于2015年获得天津科技大学理学学士学位, 并于2019年获得天津大学理学硕士学位。联系方式: shawn.liu@analog.com。

Aaron He是ADI上海分公司的系统应用工程师, 于2017年加入ADI。加入ADI之前, Aaron曾在爱立信担任高级RF工程师。Aaron拥有超过十年的无线通信基站设计、集成和生产测试系统开发工作经验。Aaron于2001年获得西安交通大学通信工程学士学位, 并于2006年获得华中科技大学微波工程硕士学位。联系方式: aaron.he@analog.com。

在线支持社区



访问ADI在线支持社区, 中文技术论坛

与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答, 或参与讨论。

请访问ez.analog.com/cn

