

用于汽车和工业传感器应用 的高性能、集成式 24 GHz FMCW 雷达收发器芯片组

John Morrissey和Patrick Walsh
ADI公司

ADF5904: 4通道、24 GHz接收机 下变频器MMIC

ADF5904是一款高度集成的4通道、24 GHz接收机下变频器MMIC，具有业界卓越的低噪声性能、高线性和低功耗组合。ADF5904集成式多通道接收机下变频器具有10 dB噪声系数性能，优于竞争型对手器件3 dB。该器件功耗低50%，采用小型、性价比高的5 mm × 5 mm LFCSP塑料封装。该器件的四个片内接收通道采用简单的单端连接与四个独立天线相连，从而简化了射频传输线设计和PCB布局布线，同时缩小了电路板尺寸。接收机下变频器可同时直接放大并转换4路24 GHz接收机信号，以产生高质量、高幅度基带信号或降低频率信号，以便轻松连接ADI 4通道模数转换器或模拟前端(AFE)。ADF5904还提供集成式温度传感器，无需使用分立式检测元件；这些元件原本可能需要在系统装配和测试期间占用额外的时间与资源来校准。

ADF5904针对采用数字波束成形的多通道接收机高频应用设计，如汽车ADAS雷达、微波雷达传感器和工业雷达系统；在这些应用中，能效正在成为越来越重要的系统级设计考虑因素。ADF5904 24 GHz接收机具有同类一流的接收机灵敏度，相比竞争型RF IC技术整体功耗更低，因而适合此类应用以及其他传感器应用。

主要特性

- ▶ 4个接收通道，接收机通道增益：22 dB
- ▶ 噪声系数：10 dB，P1dB：-10 dBm
- ▶ 功耗：0.5 mW（全部4个通道开启）
- ▶ LO输入范围：-8 dBm至+5 dBm
- ▶ 接收机至IF隔离：30 dB
- ▶ RF信号带宽：250 MHz
- ▶ 模拟输出的片内温度传感器：±5°

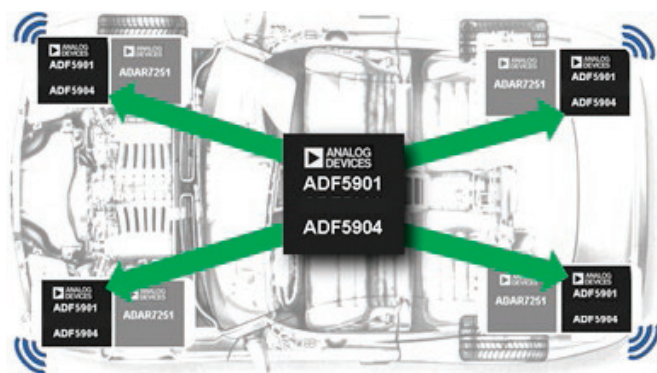


图1. ADF5904, 4通道、24 GHz接收机下变频器MMIC

技术细节

ADF5904是一款4通道、24 GHz接收机MMIC，其中4个RF通道频率下变频至差分基带信号，然后直接驱动至专用多通道ADC，以便对输入模拟接收机信号进行数字化处理。这些数字信号可通过快速傅里叶变换(FFT)或其他运行在系统微处理器上的复杂雷达检测软件算法进行验算，以便检测出现在雷达传感器系统前方的目标，并实现目标的速度、距离和位置的计算。

ADF5904使用本振输入信号或发射机配套IC（称为ADF5901）产生的LO源对接收机信号进行下变频处理。ADF5904上的所有RF输入均为简单的单端输入，它们内部连接至集成式巴伦，用来将接收机信号转换为差分信号，以实现更高的放大性能和下变频处理。设计IC的RF端口与印刷电路板(PCB)天线的连接时，单端RF接口连接可大幅简化PCB设计任务；此时只需50 Ω PCB线路走线即可，无需外部匹配无源元件，节省了大量的电路板空间。ADF5904的众多技术亮点之一，是在如此高的集成度以及采用低成本塑料封装的情况下还能具备30 dB的一流接收机间通道隔离性能。为了保持30 dB的出色接收机间隔离性能，需仔细设计围绕接收机输入引脚的RF布局。

这4个接收机信号路径中的每一个均含有低噪声放大器(LNA)，后接一个低噪声混频器和一个差分输出放大器。这4个通道共享ADF5901芯片产生的LO信号。整体接收机链路具有22 dB固定增益，P1dB为-10 dBm，其低噪声设计使接收机信号链具有10 dB噪声系数，并且即使在所有4个接收机通道同时开启以及采用3.3 V单电源的情况下亦可实现550 mW的极低功耗系数。系统采用上电占空比后，总功耗还可进一步降低；未使用的接收机通道可独立掉电，进一步降低功耗和热管理。ADF5904集成片上温度传感器，其作为模拟电压连接A测试引脚，可监测系统温度。ADF5904具有D_{OUT}引脚，提供针对四线式SPI的简单控制，允许回读寄存器内容，以检查针对芯片控制寄存器的正确写入操作。

ADF5901：2通道、24 GHz发射机MMIC

ADF5901是一款24 GHz发射机MMIC，片上集成24 GHz VCO，涵盖250 MHz ISM频段（24 GHz至24.25 GHz），该VCO连接至2个发射机PA，可提供8 dBm输出功率、驱动接收机MMIC ADF5904的LO输出，以及差分辅助输出，以便通过ADF4159斜坡发生PLL进行闭环控制。芯片组将这些元件相结合，形成了完整的24 GHz ISM雷达系统RF信号链。

驱动器件发射机输出的片上VCO经过频率和功率校准，确保能在ISM频段内工作，同时保持最优的VCO功率电平，保证了1 MHz失调时的-108 dBc/Hz出色相位噪声。该器件还集成发射机输出功率校准电路，可校准发射机输出功率，确保功率保持在允许的功率电平限值内。校准电路采用外部参考时钟，此时钟信号通过REF_{IN}引脚向器件提供；同样的参考时钟可共享ADF4159 PLL的参考输入。

为了适应功率校准，发射机提供片上功率检波器，可检测发射机输出引脚上的功率。功率检波器用作校准引擎的一部分，控制输出功率。输出功率校准在温度和电源范围内精确。

采用片上R（基准电压源）和N (RF)分频器计数器可以校准VCO频率，用来将分频RF信号与来自参考时钟的已知频率信号对比。

这个N计数器模块还可用于MU_{OUT}引脚的馈入信号，从而允许芯片工作在开环鉴频器系统中。然后，它还需要额外的外部监控电路来测量分频VCO频率和DAC转换器，以便调节器件的V_{TUNE}引脚，确保工作在ISM频段。此外，使用这种开环方法时，还需考虑温度变化，确保频率不会漂移到ISM频段外。所有这一切都需要DSP干预，来执行校准。使用ADF4159的闭环系统无需这些额外的DSP工作量，因为闭环PLL确保频率的正确性，且没有温度或电源电压变化效应，这使得这款器件更为稳定且易于使用。

ADF5901上的两个发射机输出单独受控，支持虚拟天线和雷达传感器的MIMO操作。

ADF5901上的发射机和LO输出为单端输出，方便RF与器件接口，并由于只需要50 Ω PCB走线而减少PCB设计任务。

ADF5901上的LO输出具有固定输出功率，用于驱动ADF5904接收机芯片上的LO输入。功率电平足以让它驱动多个ADF5904接收机器件，且需要外部元件以便支持接收机通道数更多的可扩展系统。

差分辅助输出支持对基波VCO频率进行2分频或4分频输出。因此，同时提供12 GHz或6 GHz输出，可让ADF4158或ADF4159斜坡发生PLL用于反馈路径，锁定ADF5901 VCO，同时生成所需的高度线性FMCW调制斜坡。

此外，ADF5901片上集成温度传感器，支持ATEST引脚输出模拟信号。另外，可以通过片上8位ADC对传感器信号进行数字化处理，产生的数字字回读至D_{OUT}数字引脚。D_{OUT}引脚还可用来回读寄存器，检查芯片控制寄存器的写入操作正确性。器件关断后，3.3 V单电源以100%占空比退出700 mW——系统占空比降低总功耗。

ADF4159—13 GHz小数N分频FMCW斜坡发生PLL

ADF4159 PLL具有同类一流的相位噪声性能（归一化相位噪声FOM为-224 dBc/Hz），并提供灵活的斜坡调制方案，用于FMCW操作。该器件的最大PFD频率为110 MHz，支持慢斜坡（1 ms至10 ms）和快斜坡（20 ms至1 ms）概念。ADF4159的最大RF输入频率为13 GHz，可与发射机IC ADF5901的辅助输出轻松实现接口，完成闭环FMCW生成。ADF4159灵活斜坡生成引擎支持多种三角和锯齿斜坡曲线，具有灵活的时间和频率偏差。此外，它还支持快斜坡曲线，最大程度减少斜坡折回阶段的过冲/欠冲，并最大化RF带宽扫描频率，实现雷达系统的精细范围分辨率。ADF5901与ADF5904的接口无需外部无源元件，因而无需使用昂贵的高频电容。ADF5901和ADF4159之间的辅助信号无需藉由耦合电容实现。全部三款IC均提供出色的ESD性能，且完全符合AEC-Q100标准，保证了更为稳定的传感器设计。

雷达系统优势

如图3所示，当用来构建雷达传感器执行器，并且每一dB的接收机灵敏度提升及检测范围都至关重要时，芯片组提供的这些高性能规格组合就显得十分必要。很多基于IC的雷达系统都受限于发射机（相位噪声）和接收机噪声，从而限制了接收机的总信噪比(SNR)。当存在或靠近较大物体时，通常这会限制雷达系统检测较小物体或目标。在实际的雷达应用中，当信号繁忙或嘈杂时——目标场景包括存在杂乱的接地信号——所有这一切都会累积，增加系统相位噪声，降低雷达接收机灵敏度。

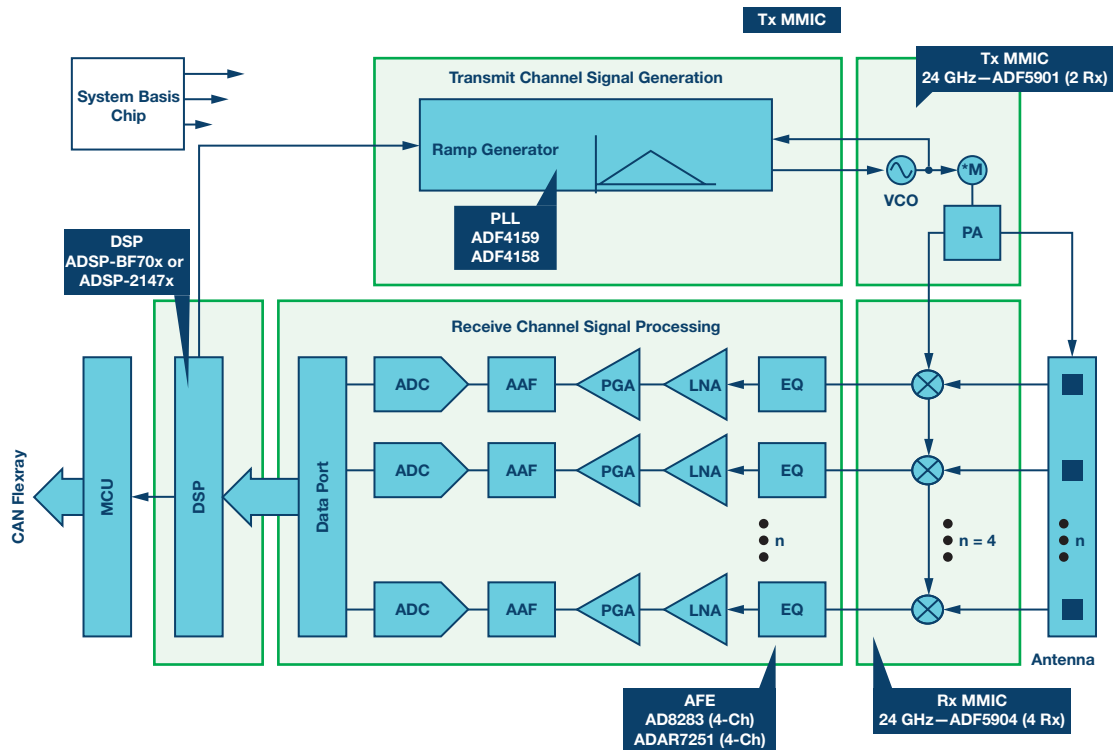


图3. ADI 24 GHz全信号链产品

较高的系统噪声会屏蔽或隐藏较小的目标并阻止检测，从而可能导致传感器安全问题。例如用在汽车检测等存在大目标（以及非常大的目标，比如反射墙或停靠的车辆导致儿童难以分辨）的情况下需要更好地检测小目标（比如儿童或小障碍物）的应用中。

ADF5904出色的低噪声系数（优于竞争型产品3 dB）使其具备性能与功耗亮点，搭配配套IC（发射机ADF5901芯片和ADF4159 PLL）使用后兼具高性能相位噪声、输出功率和高速斜坡能力，使该器件针对传感器具有更低的噪声性能。可以实现更高的接收机系统SNR，提供更为可靠、值得信赖的检测，并具有更快的结果参数估算能力。该集成式芯片组的高性能特性为雷达系统设计人员提供至少两倍的灵敏度提升，以及多达1.5倍的检测范围提升，而总功耗则大幅降低，从而使小尺寸传感器的性能更为稳定可靠，易于设计。

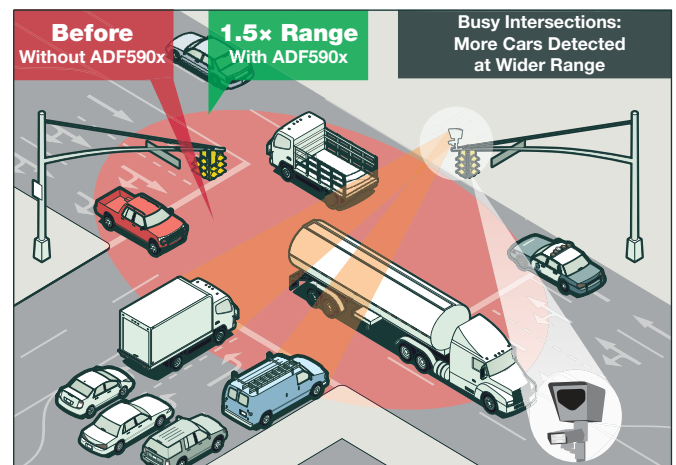


图2. 智能交通灯雷达传感器 3D目标跟踪

作者简介

John Morrissey毕业于爱尔兰利默里克大学，获得电子工程(BENG)学士学位，并于1984年加入ADI公司。在1984年至1998年期间，John担任模拟IC设计师一职，致力于工业和通信应用的DAC、ADC和混合信号模拟电路新产品开发。在ADI工作的1999年至2007年期间，他的设计技能与工作兴趣延伸到了通信产品的RF和微波设计上。从2007年开始，他在ADI公司内担任过很多传感器技术工程与业务管理职位，包括设计和营销。目前他担任ADI公司RF和微波部门(RFMG)产品线总监一职，支持ADI汽车与工业雷达等业务。

Patrick Walsh毕业于爱尔兰都柏林理工大学，获得电气/电子工程学士学位，并于1998年毕业后加入ADI公司。在1998年至2001年期间，Patrick担任一名设计工程师，负责RF PLL频率合成器。从2011年开始，他担任应用工程师一职，支持RF和微波器件，以及汽车和工业雷达中的24 GHz MMIC。

在线支持社区

访问ADI在线支持社区，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 ezchina.analog.com

全球总部

One Technology Way
P.O. Box 9106, Norwood, MA
02062-9106 U.S.A.
Tel: (1 781) 329 4700
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部

上海市浦东新区张江高科技园区
祖冲之路 2290 号展想广场 5 楼
邮编: 201203
电话: (86 21) 2320 8000
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司

深圳市福田中心区
益田路与福华三路交汇处
深圳国际商会中心
4205-4210 室
邮编: 518048
电话: (86 755) 8202 3200
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司

北京市海淀区西小口路 66 号
中关村东升科技园
B-6 号楼 A 座一层
邮编: 100191
电话: (86 10) 5987 1000
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司

湖北省武汉市东湖高新区
珞瑜路 889 号光谷国际广场
写字楼 B 座 2403-2405 室
邮编: 430073
电话: (86 27) 8715 9968
传真: (86 27) 8715 9931

©2016 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices. TA13594sc-0-11/15

analog.com/cn

