

采用RF DAC的多频段、多标准发射器设计

Assaf Toledano和Yi Zhang, ADI公司应用工程师

简介

无线通信网络正在迅猛发展。在多种空中标准共存的同时,消费者对数据服务需求的快速扩张呼唤更广的覆盖范围和更宽的带宽。不同的无线电技术以及不断增加的频率分配使控制网络和降低成本变得更为复杂。无线服务提供商正在寻求不仅能保护他们的现有投资,并且还能简化系统,以便未来网络升级和扩容的解决方案。

为了满足这些需求,必须通过有效且相对廉价的方案来解决多频段、多标准无线电(MB-MSR)基站构建问题。支持基站设计变革的技术进步之一是新一代射频数模转换器(RF DAC),比如ADI公司的AD9129。本文将论述采用RF DAC设计MB-MSR发射器时需要考虑的主要方面。

传统发射器架构

图1(a)显示了一个广泛用于无线基站发射器设计的架构。同相(I)和正交(Q)输入数据经过数字调制,然后由DAC转换为对中频(IF) I和Q输出信号。应当选择合适的IF,以便其数值足够高,使带通滤波器能够抑制调制镜像;而同时又足够低,使DAC能够保持良好的输出性能。该架构已成功应用于数代单频段无线电设计中。

其优点和设计权衡因素已广为人知。然而,该架构有一些固有的限制,在规划多频段无线电设计中的频率时将会遇到诸多困难。图1(b)显示直接将此架构应用到多频段设计时经常会碰到的一种限制情形。在单频段无线电应用中,DAC输出端的信号谐波通常视为带外杂散信号,可由DAC之后连接的低通滤波器加以抑制。在双频段应用中,这些谐波可能会成为带内信号并进入较高的发射频段内。这一限制可通过图1(c)所示方法加以避免。这两个信号频段围绕复数域内的直流居中配置。谐波变为带外信号,可通过滤波消除。该方法对DAC采样速率和低通滤波器带宽的要求也更低,因为实际信号带宽较窄。虽然如此,这种频率规划下的调制器输出会产生问题。由于每个频段与本振(LO)的距离有所不同,每个信号的调制镜像将会在靠近另一频段处下降。虽然复杂的正交误差校正(QEC)算法有助于抑制该镜像,它可能对基带信号处理引擎造成额外的负担,因为当镜像落入带内时,模拟滤波技术不起作用。

直接至RF发射器架构

从架构的角度来说,DAC在无线电传输系统中扮演着关键的角色。DAC的速度和性能决定了执行数模转换时,其有多接近天线。RF DAC将数字信号处理的范围由基带频域扩展至天线。它实

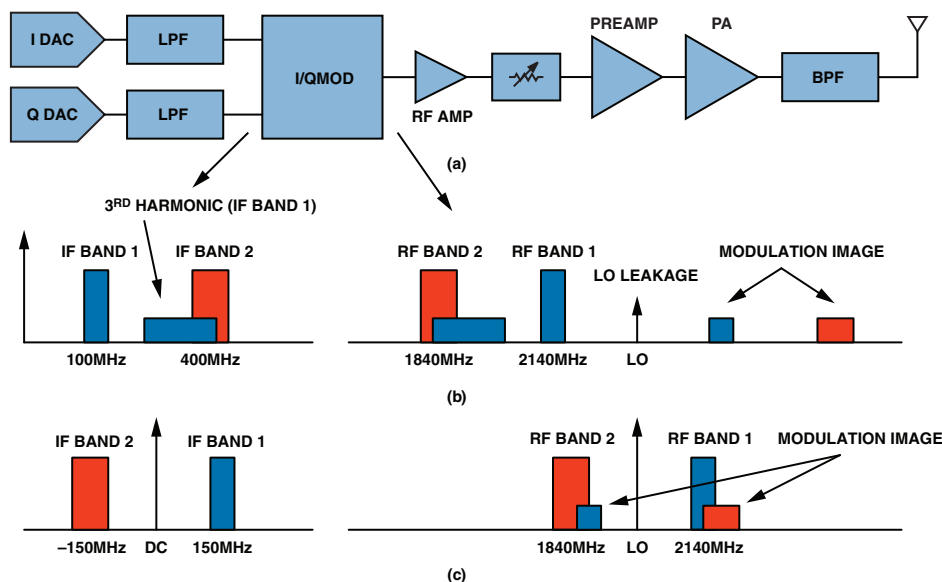


图1. 传统发射器架构中的双频段无线电(频段1和频段3)频率规划示例: a) 发射器信号链组成; b) IF变频; c) 直接变频

现了基带数字信号直接合成至最终输出频率，并事实上将传统架构的模拟上变频操作带进了数字域中。数字频率转换在频率规划和噪声等方面具有更高的灵活性和性能。这是MB-MSR设计特别引人入胜的地方。

使用RF DAC可更灵活地进行频率规划，因为数字调制非常理想，且不产生干扰信号的调制镜像。DAC采样时钟频率是进行频率规划时唯一需要确定的设计变量。图2显示采用RF DAC的直接RF频率合成架构，以及该架构在传统架构中可完美支持双频段应用的能力。本例中，双频段信号在最终传输频段中直接合成。选择DAC采样时钟频率，使信号谐波落在远离目标频段的位置，并且可在信号馈入下一个RF级之前加以过滤。

有两个原因使直接至RF架构的噪声性能更佳。第一个原因是无需使用模拟上变频级。在传统架构中，发射信号链的整体噪声系数通常由调制器噪声确定，因为DAC对调制器输出的噪声贡献相比折合到调制器输出端的噪声而言一般更低。移除调制级可让系统设计降低系统噪声系数，方法是利用DAC的低噪底和RF放大器的高增益。噪底性能更佳的第二个原因是发射多频段信号时，天线的插入损耗更少。这是因为它不需要使用合路器。RF DAC合成多频段的能力改善了系统的整体性能，同时还降低了复杂程度，进而缩小了尺寸和成本。

直接至RF架构的电路板设计考虑

典型的多频段通信系统包括数据接口逻辑、现场可编程门阵列(FPGA)或专用ASIC、DAC、滤波器、增益模块和RF功率放大器。在通道卡内，DAC用作数字逻辑和RF模拟输出驱动网络之间的接口。DAC在系统中发挥着重要的作用，因为它的性能、采样速率和带宽都会影响系统架构和设计。

需重点关注某些关键电路——如DAC输出路径、时钟电路、传输线路、电源和返回路径——以确保它们的设计可实现最佳性能。可能需要对这些模块以及DAC印刷电路板(PCB)进行分析与仿真。

此外，电源布线也具有一定的挑战性。数字逻辑包括I/O和内核逻辑电源，而RF输出网络可包括多达四个或五个额外电源。电源

域必须彼此隔离，信号返回路径应仔细管理，以确保电源域间无串扰。保持电源之间的隔离对于实现低噪声性能而言极为关键。

DAC主时钟是系统卡上最重要的信号。DAC时钟为差分信号，通过护栏与其他信号隔离。此外，控制返回路径，以确保无耦合或串扰。耦合至时钟的任何信号将直接出现在DAC输出端。破坏时钟的数字信号可减少系统内的噪声裕量。必须防止DAC输出耦合至时钟，否则将造成二次谐波，甚至可能造成输出频谱的其他谐波问题。时钟驱动器最好尽可能靠近DAC，以减少噪声和其他耦合问题。DAC输出通过传输线路连接到各自的负载。仔细控制这些连接负载的传输线路的阻抗，确保DAC输出信号具有可预测的性能。RF DAC的输出阻抗与封装和芯片有关，因此进行输出级的分析和仿真时必须考虑到层压板的影响。DAC与负载间的阻抗匹配非常重要，这是为了实现从DAC到目的地的最大能量传输，将从目的地返回DAC的反射降至最低。合理的传输线路设计可改善信噪比(SNR)，对于优秀的多频段通信系统而言是必需的。

目前，典型的多频段通信系统包括多RF链，它们由IF DAC、正交调制器、带通滤波器、RF功率放大器和天线前的最终滤波器级组成。该架构要求极大的电路板面积，以便将多个频段集成到单个发射器中。如此多的元件功耗也非常大，并会产生相当多的热量，需通过散热片或风扇来散热，这使得整体系统设计的复杂程度和成本都有所上升。由于RF DAC具有足够的带宽来合成多个RF频段，因此它们可用来建立具有多频段输出的单个发射器。例如，三频段发射器可能需要使用三对IF DAC，而三个调制器和三个带通滤波器可用单个RF DAC和输出滤波器代替，从而生成全部三个频段。随着功率放大器的设计向更宽的带宽过渡，甚至可以节省更多电路板空间，因为只需在不同RF链上的功率放大器之后使用元器件即可，从而降低了所需元器件的数目。因此，采用RF DAC、DAC与功率放大器之间的输出滤波器、功率放大器以及功率放大器与天线之间的输出滤波器，便可实现多频段发射器。

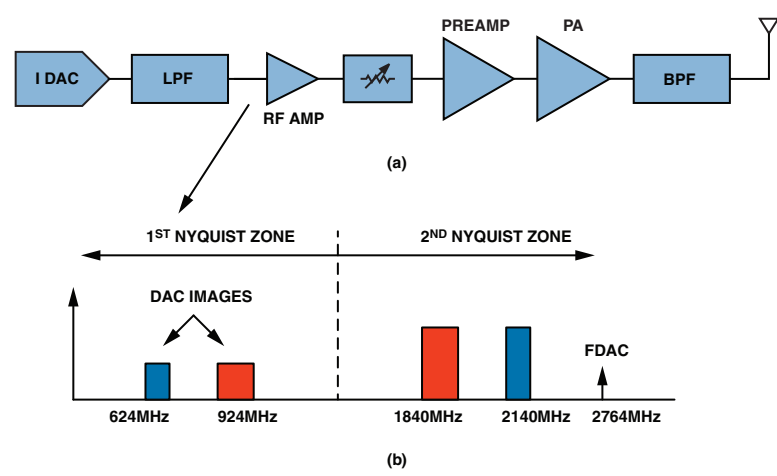


图2. 直接至RF发射器架构中的双频段无线电(频段1和频段3)频率规划示例: a) 发射器信号链组成; b) 直接至RF变频

测量结果

信号链

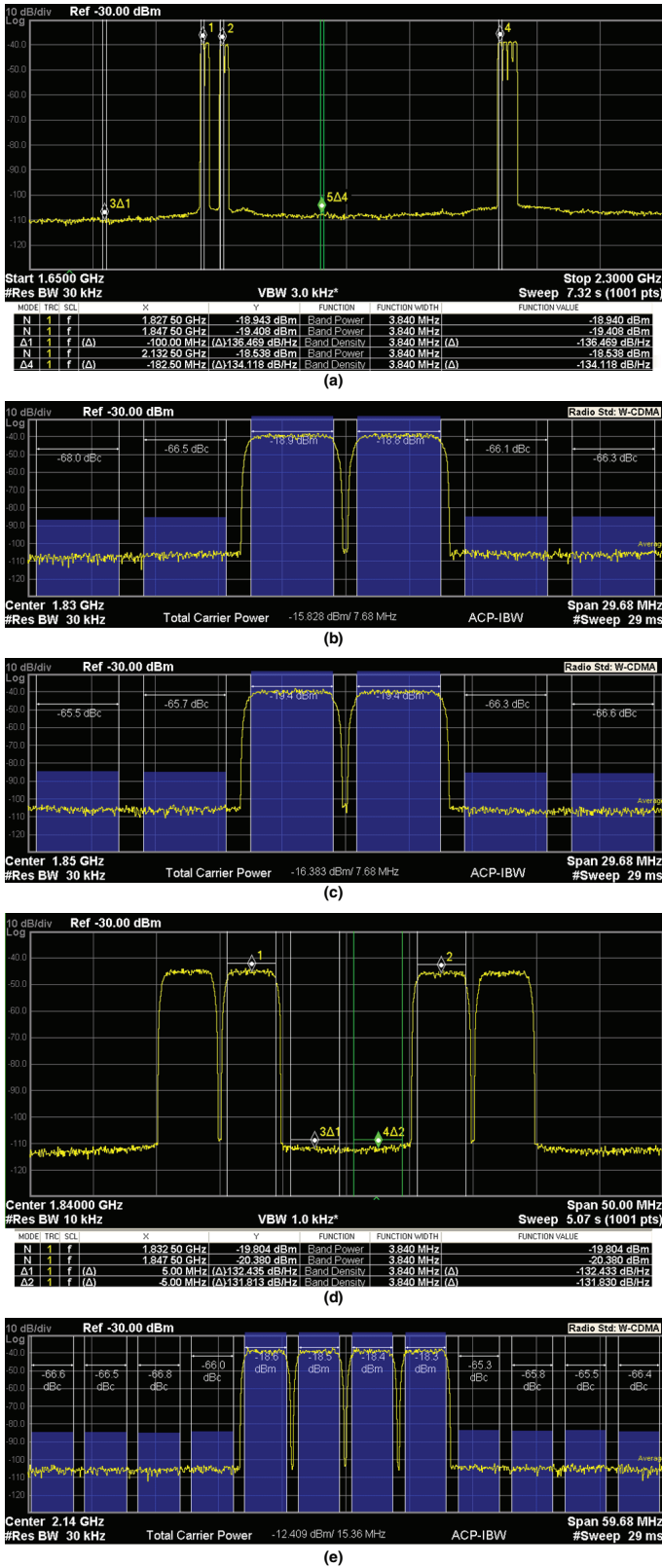


图3. AD9129 RF DAC输出的频谱分析仪实测图(采样速率为2764.8 MSPS): a) 第二奈奎斯特区中的8个5 MHz宽W-CDMA通道; b) 1825 MHz至1835 MHz的2个5 MHz宽W-CDMA通道; c) 1845 MHz至1855 MHz的2个5 MHz宽W-CDMA通道; d) W-CDMA通道之间两通道的间隙; e) 2130 MHz至2150 MHz的4个5 MHz宽W-CDMA通道

图3显示AD9129 RF DAC在2764.8 MSPS采样速率下的输出, 采用DAC提供的可选模式, 支持第二奈奎斯特区。八个5 MHz宽W-CDMA通道在三个不同频段内合成。建立两个1825 MHz至1835 MHz通道、两个1845 MHz至1855 MHz的通道, 以及四个2130 MHz至2150 MHz的通道。信号在可编程门阵列(FPGA)内产生, 然后由RF DAC直接合成。

图4显示AD9129在2764.8 MSPS采样速率下的输出, 使用的模式可在第一奈奎斯特区进行频率合成。带有四个LTE下游通道的四个5 MHz宽W-CDMA通道在两个不同的频段内合成。四个W-CDMA通道频率范围为871 MHz至891 MHz, 建立的四个LTE下游通道频率范围为729 MHz至749 MHz。

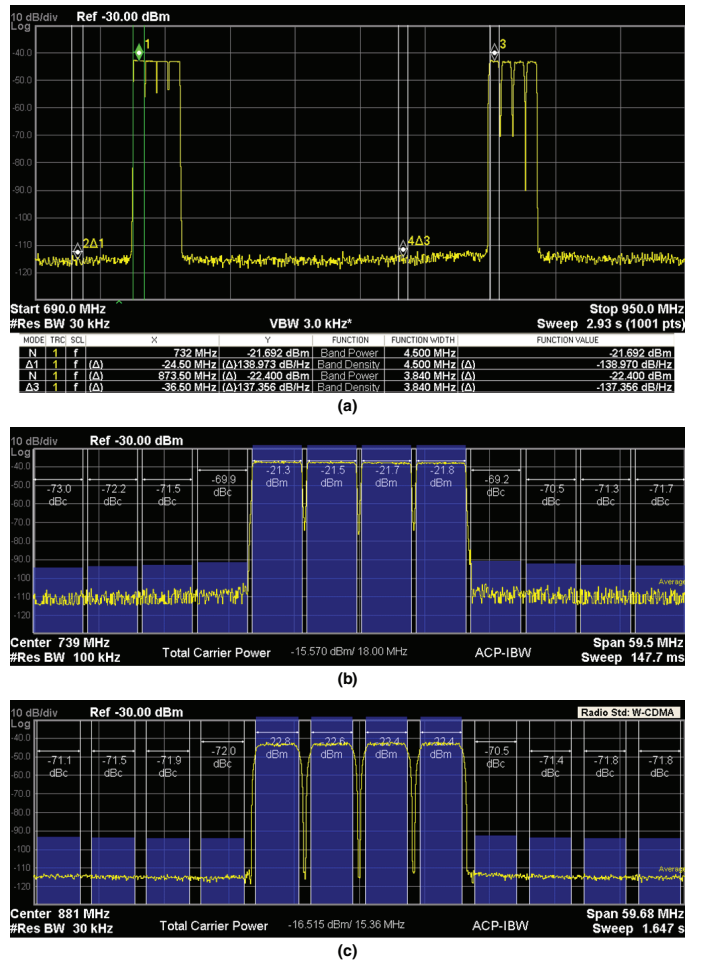


图4. AD9129 RF DAC输出的频谱分析仪实测图(采样速率为2764.8 MSPS): a) 第一奈奎斯特区中的4 MHz宽W-CDMA通道和4个5 MHz宽LTE通道; b) 729 MHz至749 MHz的4个5 MHz宽LTE通道; c) 871 MHz至891 MHz的4个5 MHz宽W-CDMA通道

小结

现代无线网络要求使用灵活、易于升级的多频段、多标准基站。直接至RF发射器架构为多频段、多标准无线电发射器设计提供了高性价比解决方案。RF DAC技术的发展(比如ADI的AD9129)有助于降低多频段和多标准无线电设计的门槛, 并展现了未来直接至RF架构应用于更多设计的发展前景。

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。

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
上地东路 5-2 号
京蒙高科大厦 5 层
邮编: 100085
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

亚洲技术支持中心

免费热线电话: 4006 100 006
电子邮箱:
china.support@analog.com
技术专栏:
www.analog.com/zh/CIC
样品申请:
www.analog.com/zh/sample
在线购买:
www.analog.com/zh/BOL
在线技术论坛:
ezchina.analog.com