

在点对点微波发射系统中使用正交数字上变频器(QDUC)的优势

作者: David Brandon、David Crook和Ken Gentile

简介

无线系统通常使用直接变频和超外差发射机架构。本应用笔记简要评述各种方法的利弊(欲了解其它资源,请参阅“参考文献”部分),并提供一种架构选择(直接实IF),它非常适合用来在微波点对点无线电室内单元(IDU)中IF的产生。

直接变频

图1所示为直接变频发射机。与超外差方法相比,此架构具有结构简单和成本低廉两种优势,因此很受欢迎。其关键架构模块包括双通道基带数模转换器(DAC) AD9779、相关的重构滤波器、模拟正交调制器AD8349或ADL537x、带通滤波器和功率放大器(PA)电路。调制器由RF PLL产生的本振(LO)信号驱动。

双通道DAC输出通过调制映射、脉冲整形和向上采样(借助插值滤波器)至DAC采样时钟频率,从而产生复数基带信号的同相和正交(I/Q)成分。DAC重构滤波器通常由成本

低廉的分立电感和电容来实现。必须注意避免在重构滤波器引入群延迟变化,否则将会引入调制失真,从而导致EVM降低。

基带I/Q信号经过滤波之后,与LO信号一起驱动模拟正交调制器的相应I/Q和LO输入。接着,正交调制器以大小等于LO频率的载波频率产生调制RF波形。然后,该调制输出信号经过带通滤波器滤波(以消除带外杂散),并由PA电路加以放大。

这种方法的常见问题之一是“LO泄露”,即调制信号带宽内存在LO信号。由于此类失真项位于带内,因此无法用滤波器来滤除。此类误差源自于寄生耦合以及调制器输入端信号的直流成分不匹配。这包括DAC失调,以及与模拟正交调制器相关的输入失调电压。虽然可以应用来自DAC的补偿失调信号来消除这种效应,不过要想获得稳定可靠的解决方案,该校正信号必须能够跟踪因温度和电源电压变化而产生的误差。

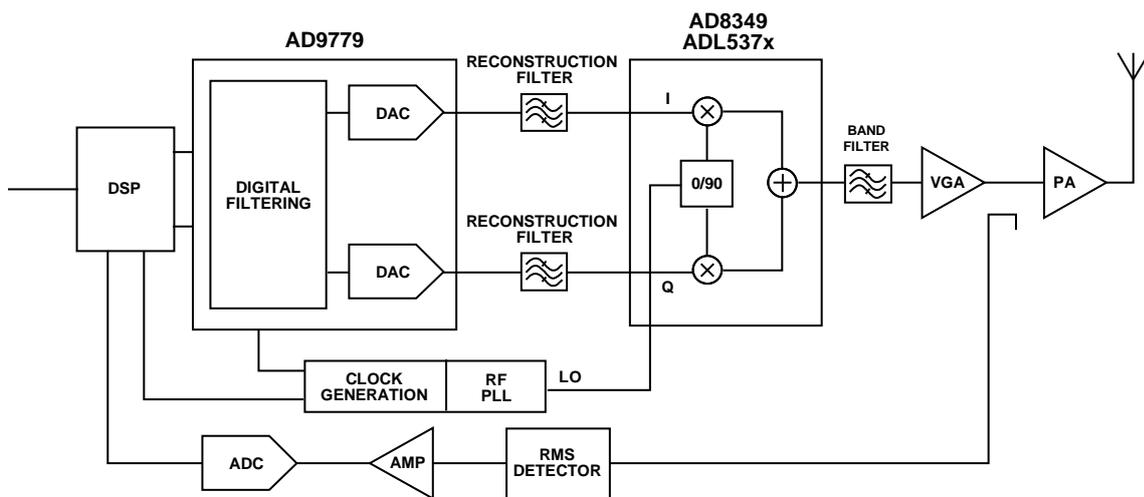


图1. 直接变频发射架构框图

目录

简介.....	1	直接实IF.....	4
直接变频.....	1	参考文献.....	7
超外差.....	3		

这种架构的另一问题与I/Q不平衡的影响有关。来源包括DAC输出功率和/或重构滤波器不匹配，以及模拟正交调制器所引起的相位和/或幅度误差。对于这类误差，可以通过向DAC输出信号中添加补偿幅度和相位调整来进行补偿。这些补偿信号同样也需要能够跟踪因电源电压和温度变化而产生的误差。此外，补偿算法会增加线性方案的复杂度。

直接变频方法的第三个主要缺陷与一种称为PA输出引起的LO注入牵引现象有关。出现这种牵引现象的原因是PA的输出频率与LO的输出频率相同，但却又包含与调制过程相关的其他临近频率。这些频率会在调制PA输出时耦合到LO上，因而实际上会使频率稍稍偏离所需LO频率，从而产生EVM误差。

通过应用各种隔离技术可以最大程度地减弱这种效应，如屏蔽和最佳PCB布局。还有一项技术采用偏移VCO来产生载波频率，从而使得LO频率出现足够偏移，以防止产生注入牵引。显然，这项技术会增加另一VCO及相关PLL电路的成本。

尽管存在上述缺陷，但是随着模拟正交调制器性能的不断增强以及采用DAC补偿信号来消除误差项等先进技术的出现，再加上结构简单且极具成本竞争力，直接变频方法越来越受欢迎。

超外差

图2所示为超外差架构。与直接变频架构一样，该架构包含双通道基带DAC及其相关重构滤波器。这些器件的工作方式与直接变频方法类似，不同之处在于模拟正交调制器和第一个LO(IF LO)会将复数基带信号调制到较低频率的IF载波信号，而不是直接调制到最终的RF载波信号。相对于直接变频方法，调制器工作频率较低(IF而非RF)，因此这样可以提高调制器的动态性能。

通常，声表面波(SAW)滤波器带宽会限制IF级输出端的信号，因而实际上可以在信号链的这点上滤除不良的杂散信号。接着，混频器和RF LO将IF信号转化成RF载波频率。RF输出端需要增加一个带通滤波器，以抑制混频过程中以及可能存在的任何RF LO泄露所产生的镜像。通过采用高IF可以使所需信号更加远离LO泄露项，从而让滤波变得更为容易，这样会有所帮助。

由于IF级易受LO泄露和I/Q不平衡干扰，因此超外差方法在IF级上存在与直接变频方法类似的问题。该方法的主要缺点在于，元件数量较多，因而相应成本也较高。

而主要优势则在于不存在LO注入效应，并且通过IF和RF带通滤波器消除了发射频谱中的不良杂散成分。

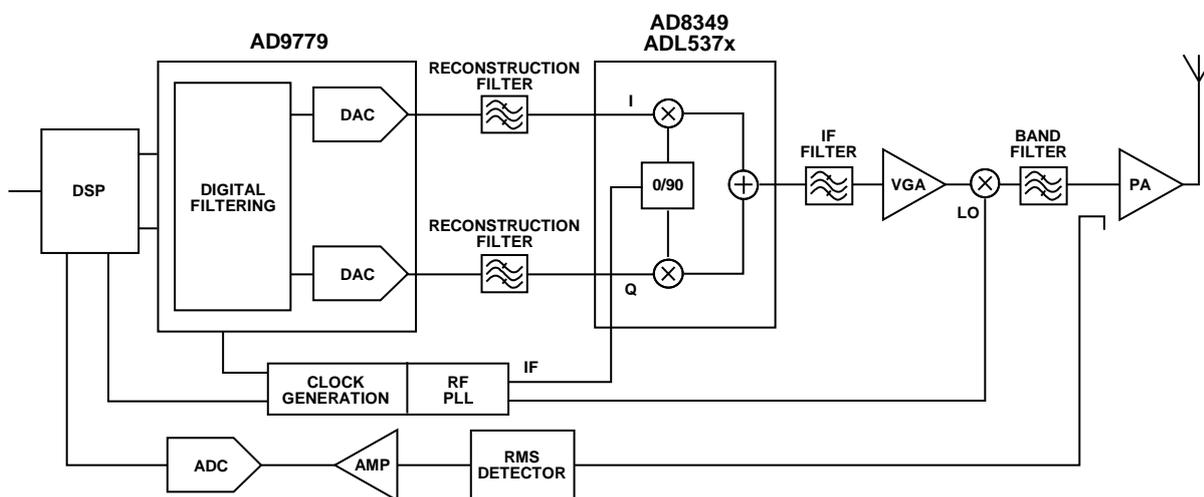


图2. 超外差发射架构框图

07997-002

AN-0996

直接实IF

图3所示为直接实IF架构。该实现方法与图2中所示的超外差方法类似，不同之处在于IF信号来自正交数字上变频器(QDUC)。图4以框图形式给出了一个QDUC (AD9957)示例。

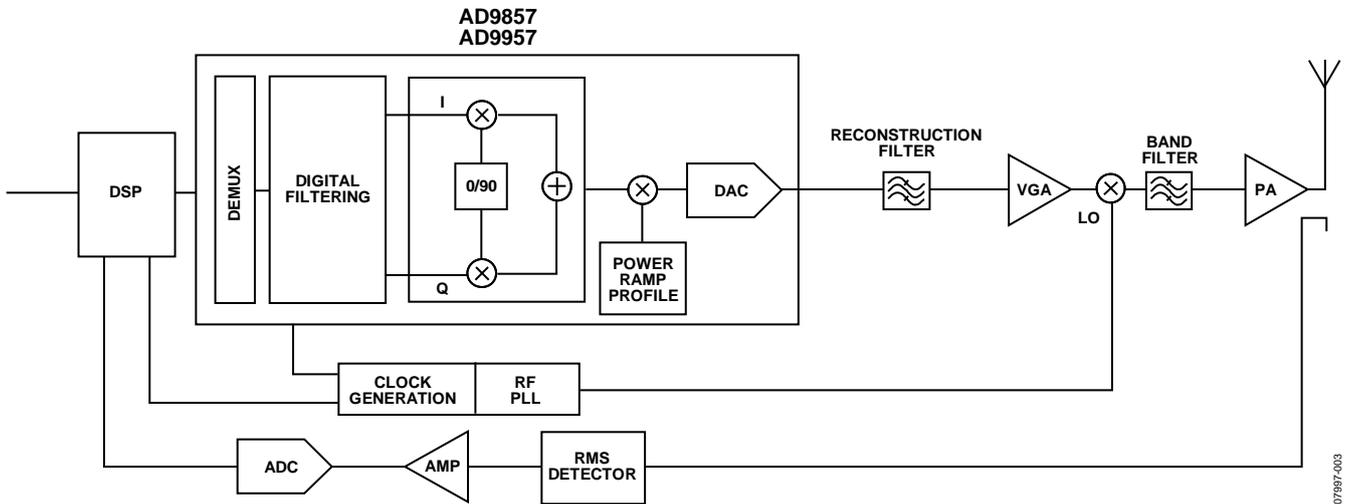


图3. 直接IF发射架构框图

07997-003

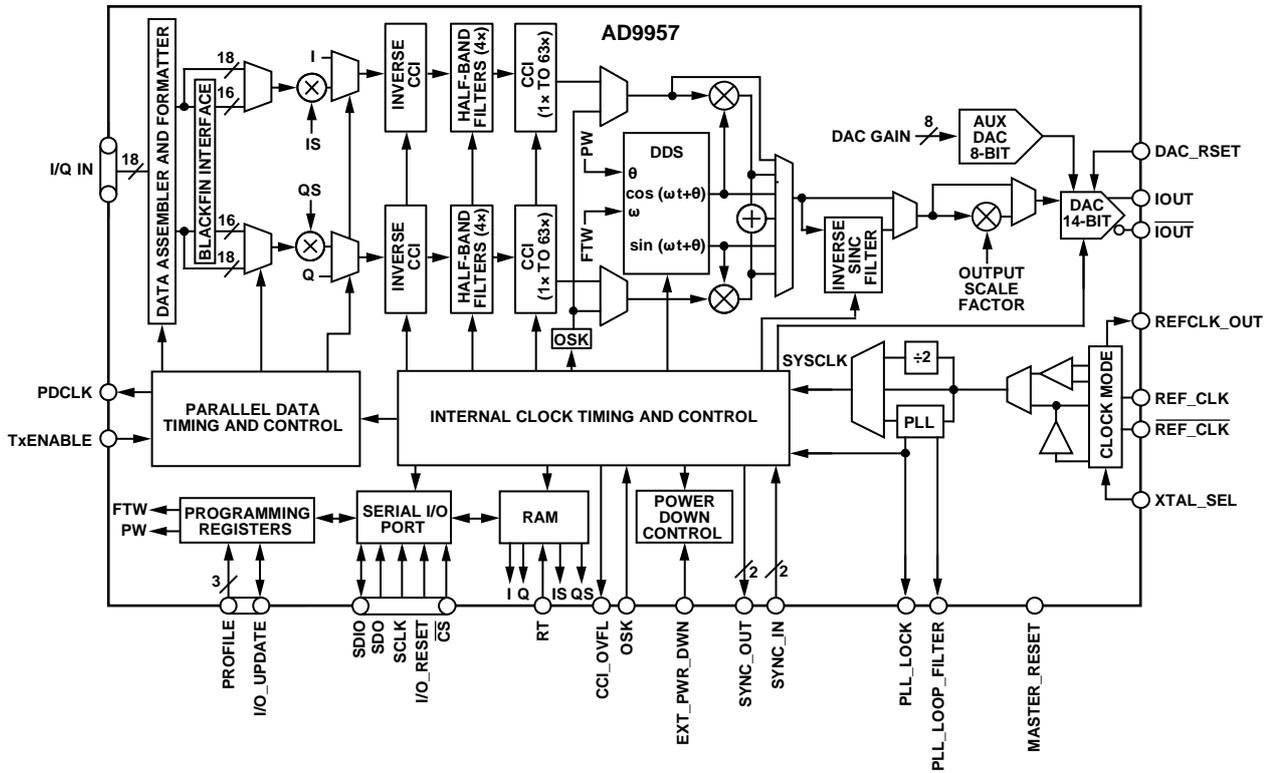


图4. AD9957 QDUC详细框图

07997-004

AN-0996

在该方法中，数字基带I和Q数据经过调制映射和脉冲整形，然后输入QDUC。对于AD9957，I和Q数据字以时序交错形式(I字、Q字、I字，依此类推)递送，速率最高可达250 MWPS。这使得AD9957可以对很大带宽范围内的信号进行上变频，如点对点微波系统中需要的那些信号。在QDUC中，一串半带插值滤波器及后置的CCI滤波器对此数字基带数据进行向上采样。经过向上采样之后，数字基带信号接着馈入数字正交调制器。数字调制器的LO输入信号来自正交NCO且带有32位频率调谐字。

数字调制器的输出为调制的数字载波，载波频率由NCO设定。数字调制器将信号馈入反Sinc滤波器(可选)，然后后者补偿DAC的 $\sin(x)/x$ 频率响应特性。反Sinc滤波器可以在DAC的奈奎斯特带宽范围内提供增益平坦度，而增益平坦度则是宽带调制信号保持EVM性能所必需的。DAC输入端的数字幅度调节电路提供对数字调制信号的数字增益控制。但值得注意的是，使用数字调节电路来衰减输出信号会导致动态范围缩小。高速DAC将数字IF信号转换成模拟IF信号。DAC拥有独立的增益调整机制。该机制允许控制DAC的峰值输出电流，进而设定DAC输出端的RF功率水平。AD9957支持最高1 GHz的系统时钟和DAC采样速率。

AD9957输出端的重构滤波器负责消除与DAC输出相关的奈奎斯特镜像。经过滤波之后，信号会馈入混频器并进行上变频，从而得到最终的RF载波。重构滤波器可以配置为分立低通滤波器，通常采用五到七阶椭圆设计。这些滤波器的截止频率通常设置为DAC采样速率的40%至45%。因此，AD9957可以产生接近400 MHz的IF信号。在该架构中，通常以SAW滤波器代替低通重构滤波器。就和超外差方法中一样，高IF可以简化RF镜像滤波。

这种架构非常适合微波点对点系统。在这类系统中，中长路径的最终载波频率范围为6 GHz至11 GHz，而较短路径

最高可达到23 GHz。这些载波频率需要进行额外的上变频，甚至对于目前可实现的直接变频方法亦是如此。

直接实RF方法的主要优势之一是可以实现I和Q的精确匹配，这是因为正交调制功能完全是在数字域内实现的。类似地，由于以数字方式实现，因此IF级的LO或载波泄露极低，大约为-75 dBc。

直接实RF架构的另一优势是，NCO使得可以在IF级获得极其精确的调谐分辨率。这提高了发射机频率规划的灵活性。根据具体应用，实际的RF通道调谐可以通过调谐IF级的载波(通过NCO)，而不是调谐RF LO来实现。这样可以提供非常精确的频率和相位控制，也可以需要时提供速度极快的跳频。

图5、图6和图7显示了在AD9957输出端的测量结果，各自分别包括以350 MHz为中心的256-QAM 56 MHz带宽信号频谱图、产生的星座图以及对应的调制结果(如EVM)。EVM仅为0.9%，这表示I/Q匹配出色。星座点居中，这表示I/Q失调很低且LO泄露非常小。以单边带抑制载波(SSB-SC)信号作为AD9957的输入可以直接测量出LO泄露。LO泄露测量结果如图8所示，从图中可以看出，SSB-SC频谱以350 MHz为中心且LO泄露为-76 dBc。

在微波点对点发射机中，IDU通常会生成350 MHz左右的IF。该信号通过电缆连接到室外单元，且电缆最长可达100英尺。虽然可以使用千兆赫范围内的高IF或RF信号(如从直接变频发射机中获得的信号)，但是这时要求以价格更贵的电缆连接ODU，以防出现过大的信号衰减。电缆成本显著增加，最高可达350 MHz IF时电缆成本的三倍。通过AD9957产生直接IF的优势是正交匹配出色、载波泄露低、频率灵活且只需附加极少硬件，成本影响非常小。

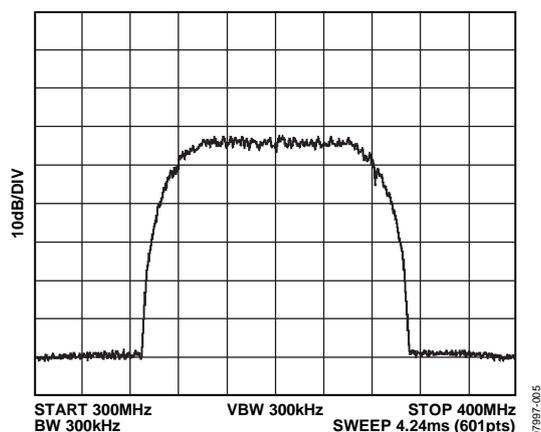


图5. 256-QAM 56 MHz带宽信号频谱图

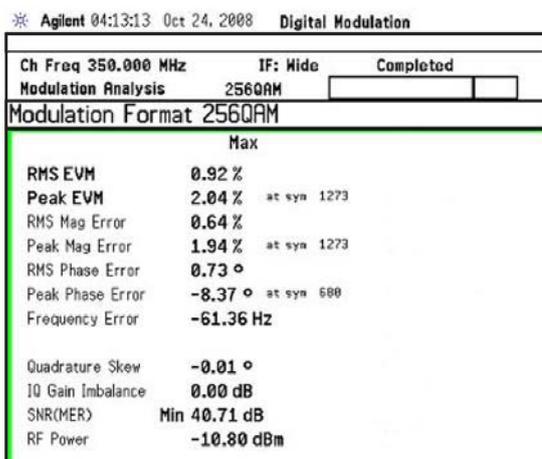


图7. 256-QAM 56 MHz带宽信号测量结果

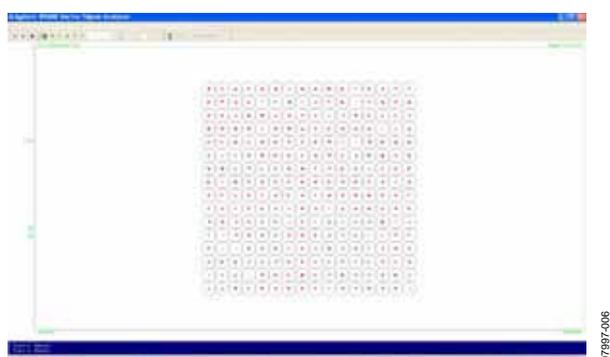


图6. 256-QAM 56 MHz带宽信号星座图

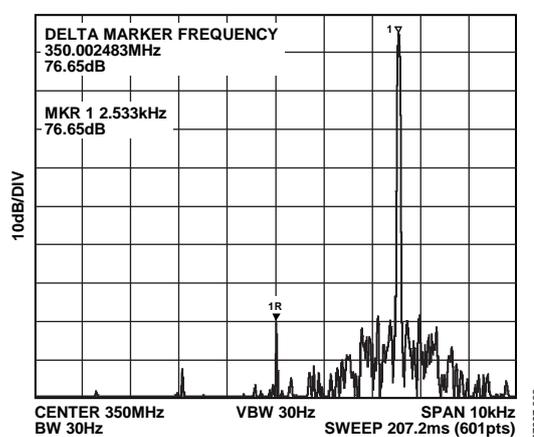


图8. 350 MHz时单边带抑制载波的LO泄露

参考文献

欲进一步了解直接变频和超外差架构的好处和弊端，请参阅下列技术文章（网址为www.analog.com）

DeSimone, Anthony and Eamon Nash. 2002. "Simplifying Direct-Conversion Tx Paths in Wireless Designs." *Comms Design*.

Gentile, Ken. 2007. "Digital Pulse-Shaping Filter Basics." Application Note AN-922. Analog Devices, Inc. (September).

Nash, Eamon. 2004. "Assessing Multicarrier Direct-Conversion Transmitters." *Microwaves and RF*.

AN-0996

注释