5G给手机行业带来了新的射频挑战

5G Brings New RF Challenges for Handsets

BenThomas，Qorvo，北卡罗来纳州格林斯巴勒市

在一定程度上，由于标准制定的速度加快，5G正迅速迈向全球部署，给智能手机制造商带来了许多新的射频（RF）挑战。移动运营商今年开始安装基础设施，首批5G手机有望于2019年推出。尽管在未来许多年内，4G LTE仍将是最主要的蜂窝网络接入技术，但据业内估计，5G智能手机的销量将稳步增长。最新的爱立信移动报告预测，到2023年底，5G移动用户数将超过10亿，占全球移动数据流量的20%。

随着首批5G部署即将问世，智能手机制造商面临巨大压力，他们需要制定实施策略，将5G技术应用到手机产品上。这不是一项简单的任务，因为5G会极大地增加射频的复杂性，在带宽、线性度和电源管理等方面带来挑战。

5G概况

针对5G规范所做的早期工作主要侧重于增强型移动宽带（eMBB），即第一个5G用例。eMBB提供的数据速率预计会达到现今LTE速度的20倍。于2017年12月发布的3GPP 15版（见图1）的第一阶段包含了非独立（NSA）5G新无线电（NR）的草案规范。NSA利用LTE锚频段进行控制，并使用5G NR频段提供更快的数据速率（见图2）。这是为了让运营商能够使用其现有的LTE网络来更快地提供5G速度。

2018年6月，3GPP接着推出了5G独立（SA）NR规范。SA无需LTE锚点，但需要建设一个全5G网络。如图1所示，该标准组还制定了未来18个月的时间线，包括“后期放弃”15版的额外特性，以及16版的工作计划，这些内容会开始将5G规范的范围扩展到移动宽带以外的各种新应用，包括自动驾驶汽车和物联网。

为了实现加快数据速度的承诺，以及支持更高的容量，5G将大幅增加用于手机通信的频谱范围和带宽。频谱分配到两个频率范围：低于6GHz，指定为FR1；毫米波，指定为FR2（见图3）。最初的移动部署将使用FR1，其中包括若干3GHz以上的新5G频段。目前正在开发在手机中支持毫米波频率的技术方法，但该技术不如支持低于6GHz频段的技术成熟。

在FR1中，单个载波的最大带宽为100MHz，是LTE的最大带宽20MHz的5倍。5G规范强制要求手机支持频段在1GHz以上的2个上行载波和4个下行载波，以分别实现200和400MHz的总带宽。15版规范包含600多个新载波聚合(CA)组合，包括许多4G和5G波段的NSA组合。管理这一前所未有的带宽和CA组合所面临的挑战波及了整个射频子系统。5G定义了两种替代波形，这进一步增加了复杂性：CP-OFDM和DFT-s-OFDM。CP-OFDM在资源模块中提供了很高的频谱封装效率，并为MIMO提供了良好的支持。DFT-s-OFDM是用于LTE上行链路的同一波形，其频谱封装效率更低，但范围更广。

对手机设计的影响

5G将对手机射频前端(RFFE)产生巨大影响。该标准要求手机在基本同样大小的空间中解决额外的复杂射频问题（见图4）。需要采用创新方法来支持多个同步上行链路和下行链路连接的要求，且RFFE在支持这种海量带宽的同时，需要提供非常高的线性度并管理好功耗。

NSA双连接

尽管5G NSA为运营商提供了加快5G部署的方法，但也增加了射频复杂性，因为它要求实现LTE和5G双连接。在某些情况下，手机可能会在一个或多个LTE频段中传输数据，同时在一个5G频段上接收数据。这就大大增加了传输频率谐波降低接收器灵敏度的可能性。其中一个示例就是LTE频段1、3、7和20与新5G FR1频

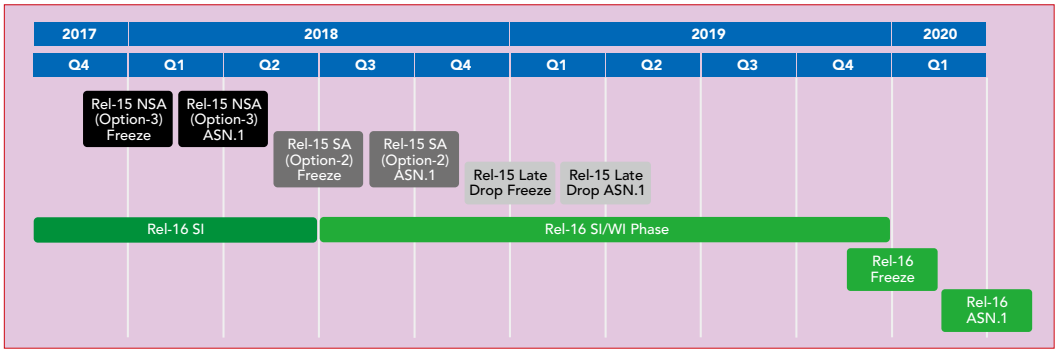


图1：3GPP 5G标准时间线。

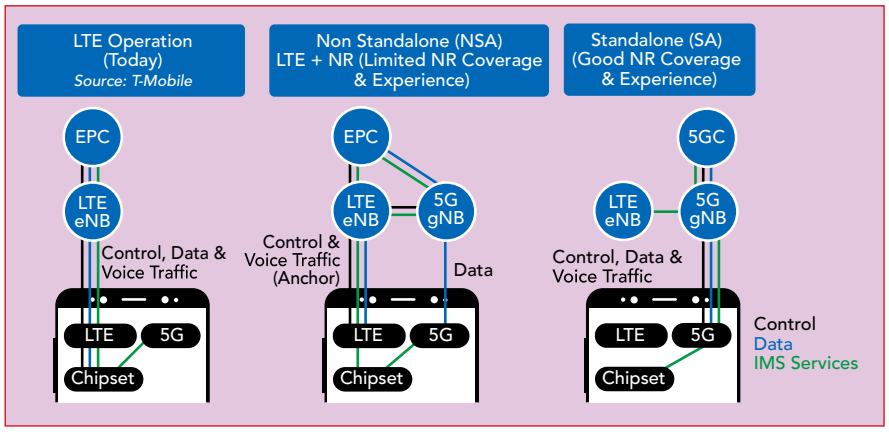


图2：NSA和SA实施选项（与LTE相比）。

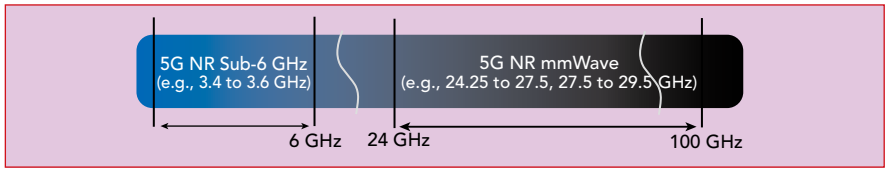


图3：5G频谱将包括6GHz以下和毫米波频率的新频段。

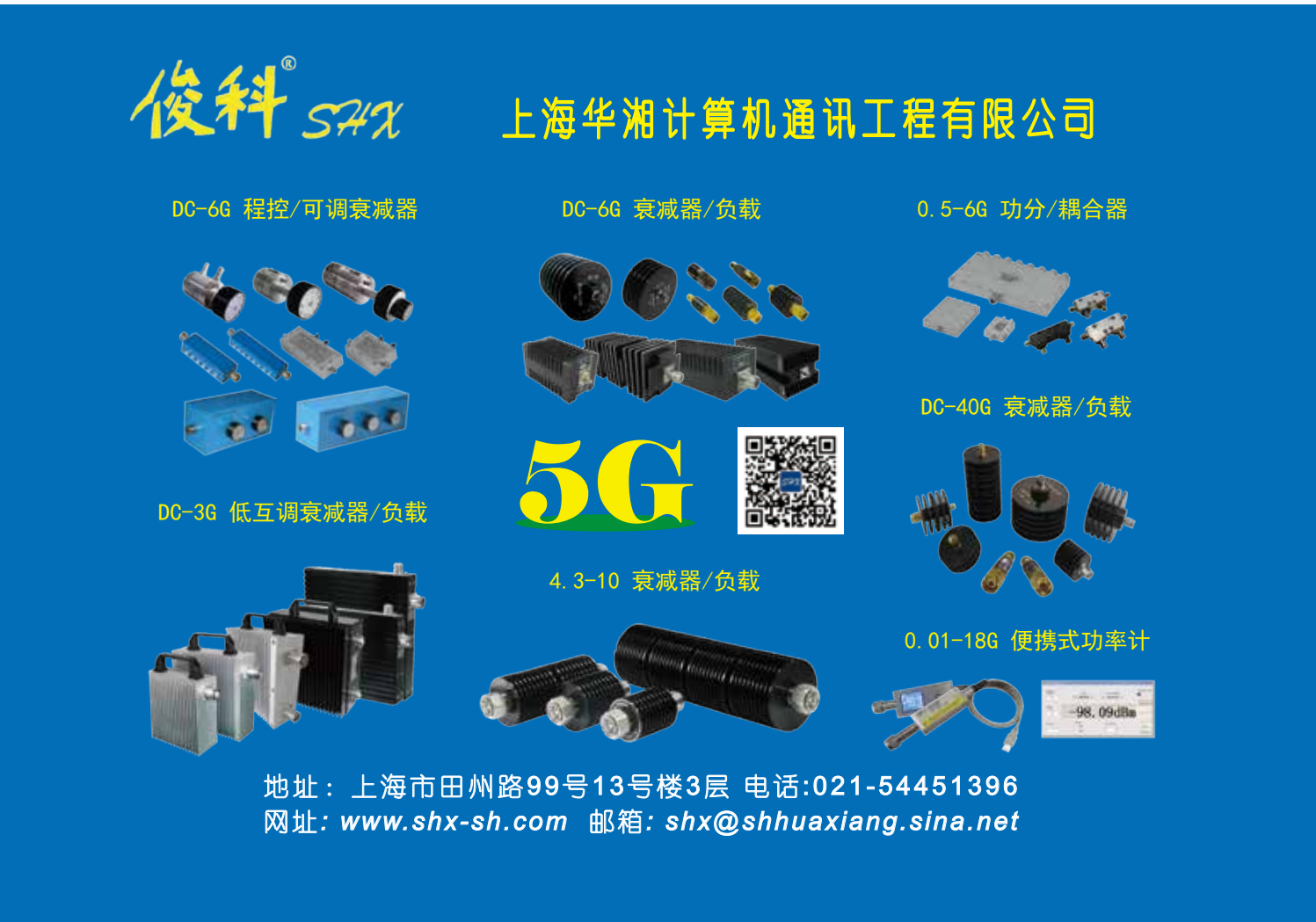
段n78的CA组合。n78占用的频率范围比LTE频段要高，且非常广泛，从3.3至3.8GHz。这样一来，在其中一个LTE频段上传输数据生成的谐波将更有可能落入n78频率范围。通过滤波来衰减谐波可能增加RFFE插入损耗、提高所需的功率放大器(PA)输出功率，并降低系统的总效率。

海量带宽和新波形

海量带宽、新CP-OFDM波形和更高输出功率相结合，给射频线性度和功率管理造成了重大挑战。4G手机广泛采用包络跟踪（ET）来最大程度降低PA功耗。ET通过不断调整PA电源电压以跟踪射频包络的方式来提高效率。但是，在首次部署5G时，包络跟踪器预计最大只能支持60MHz带宽，该带宽不足以支持100MHz的5G载波。因此，PA必须在固定电压平均功率跟踪（APT）模式下运行，以实现宽带传输，这会降低效率和缩短电池续航时间。

新的CP-OFDM波形拥有更高的峰均功率比（PAR），这进一步增加了难度。结合更高的信道带宽，5G需要比LTE更高的PA回退值，以避免超过规定限制，并维持高质量数据链路所需的线性度。最后，许多运营商都计划实施2级功率标准，以最大程度扩大5G手机的工作范围。2级功率让手机天线的输出功率翻倍，以克服更高频率的FR1频段遇到的传输损耗增大的问题。

增加带宽、新波形和更高输出功率这三种需求相结合，给PA设计带来了非常具有挑战性的线性度要求，且有可能



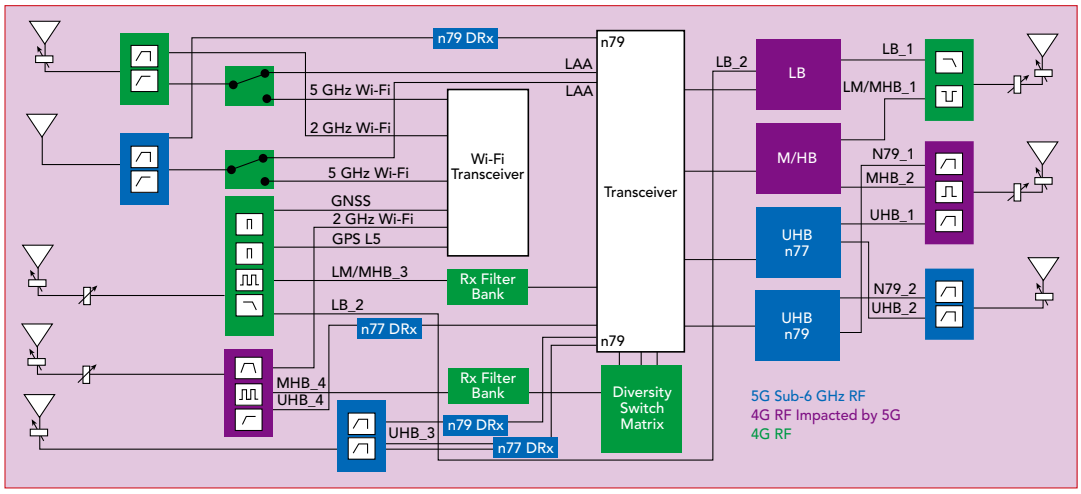


图4：5G智能手机射频前端的复杂性，还不包括任何毫米波频段。

会降低传输链效率。

4×4 MIMO

LTE需要两条下载通道，用于接收分集，而5G需要四条1GHz以上频段的独立射频下行链路，以通过4× MIMO和CA提供更高的数据速率。在某些频段上，5G还会指定两条可选的上行链路。手机制造商面临的挑战是如何将这些额外的信号路径装入分配给RFFE的有限空间中。

解决这个问题的关键在于提高集成度，即使用通常集成了PA、开关和滤波器的集成模块。除了节省空间和提高性能外，集成模块还提供预测试射频构建模块，这有助于手机制造商满足行业严苛的手机开发周期。以前从3G过渡到4G时，手机主要采用分立式元件，而此次过渡与之前不同，几乎所有手机制造商都一致认同使用集成式RFFE来加快其首批5G设备的上市速度。

天线的空间

射频复杂性的提高也使得天线数量有所增加，接近手机可达到的实际极限。为了支持4×下行链路MIMO、双上行链路MIMO、范围更广泛的频段和要求（例如2× Wi-Fi MIMO），如今LTE手机的天线数量预计会从3个增加到5个，5G智能手机则会从4个增加到8个，或者更多。与此同时，随着手机行业转而采用全屏设计，放置手机天线的边框区域会缩小，因此天线可用的空间实际上也会缩小。需要在更小的空间内安装更多的天线就意味着天线的尺寸必须缩小，因此天线的效率会降低。

这些趋势将推动RFFE采用两类天线解决方案。一类是天线调谐，可以将每根天线都调谐到工作频段，使它更加高效。在某种程度上，LTE手机已经采用了天线调谐，主要用于提高性能。对于5G手机，鉴于其天线数量有限，且必须支持更广的频率范围，因此必须使用天线调谐来维持性能。另一种天线技术是天线转换开关，它在一些LTE手机中是一种高性能选项，而在5G手机中将成为必不可少的技术。天线转换开关利用单个模块覆盖多个频率，使得多条射频通道可以同时连接至天线，同时防止通道之间的干扰。天线转换开关目前被有些LTE手机用于路由CA信号，但它将会成为5G手机不可缺少的组件，用于支持15版和之后版本的规范所定义的海量双连接CA选项。

应对挑战

在大肆宣传5G的背后，现实中部署的速度远远快于最初的预期，让智能手机制造商添加5G功能的压力越来越大。新标准带来了前所未有的射频挑战，包括更高程度的复杂性、海量带宽、线性度和功率管理。

在3GPP制定5G标准的同时，Qorvo和其他RFFE供应商通过与无线基础设施制造商、网络运营商、芯片提供商和智能手机制造商合作，为这些工作提供支持。如同在之前的技术过渡过程中，解决复杂的5G挑战将需要创新型射频解决方案，让制造商能够为消费者推出新的产品。■

上接第22页

实物加工与测试结果

本文所设计的DPA在Rogers 4350基板上制造而成（图3）。BST铁电电容的偏置电压为45V以产生90度相移。主放大器和峰值放大器都采用NXP MRF8P26080H LDMOS功率晶体管。主放大器和峰值放大器的V_{DS}均为28V，而主放大器和峰值放大器的V_{GS}分别为2.65V和2.28V。工作的频率范围为2570-2620 MHz。

在频率为2.6GHz时，与传统DPA所测得的PAE相比，本文所设计的DPA的模拟和测量PAE如图4所示。该DPA与传统DPA相比具有更高的PAE，最大PAE为46.2%。图5展示了在使用2.6GHz中心频率和5MHz间隔的双音信号时，该DPA的IMD3模拟与测量值与传统DPA的IMD3测量值的比较。与常规DPA相比，该DPA的IMD3得到显著改善。在低功率状态时，它们几乎相同，因为此时峰值放大器处于关闭状态。然而，当峰值放大器导通时，IMD3的改善幅度高达16dB。

表1将本工作与最近发布的具有高线性度和效率的PA进行了比较。

总结

通过改变DPA中BST铁电电容谐振单元的电压，抑制了峰值放大器的AM到PM失真。与传统的DPA以及最近发布的其他工作比较表明，本文所设计的DPA在效率上达到了一个较好的水平，并且具有提高线性度的潜力。■

参考文献

1. Mung S W Y, Chan W S. Wideband phase inverter integrated in Doherty power amplifier for linearity improvement[J]. Electronics Letters, 2015, 51(10):771-773.
2. Ji S H, Sang K E, Cho C S, et al. Linearity Improved Doherty Power Amplifier Using Composite Right/Left-Handed Transmission Lines[J]. IEEE Microwave & Wireless Components Letters, 2008, 18(8):533-535.
3. Tsai J H, Huang T W. A 38–46 GHz MMIC Doherty Power Amplifier Using Post-Distortion Linearization[J]. IEEE Microwave & Wireless Components Letters, 2007, 17(5):388-390.
4. Kim J, Fehri B, Boumaiza S, et al. Power Efficiency and Linearity Enhancement Using Optimized Asymmetrical Doherty Power Amplifiers[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory & Techniques, 2011, 59(2):425-434.
5. Kuylenstierna D, Vorobiev A, Linner P, et al. Composite right/left handed transmission line phase shifter using ferroelectric varactors[J]. IEEE Microwave & Wireless Components Letters, 2006, 16(4):167-169.
6. Sazegar M, Zheng Y, Maune H, et al. Low-Cost Phased-Array Antenna Using Compact Tunable Phase Shifters Based on Ferroelectric Ceramics[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory & Techniques, 2011, 59(5):1265-1273.
7. Kim J H, Cho C S, Lee J W, et al. Linearity improvement of class-E Doherty amplifier using gm3 cancellation[J]. Electronics Letters, 2008, 44(5):359-360.
8. Cho Y, Kang D, Kim J, et al. Linear Doherty Power Amplifier With an Enhanced Back-Off Efficiency Mode for Handset Applications[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory & Techniques, 2014, 62(3):567-578.