移动射频前端，CMOS也来搅局

CMOS Makes Waves in the Mobile Front-End

作者：Eric Higham Strategy Analytics 公司

GaAs 器件行业已经连续 8 年增长，到 2012 年其产值已经超过 53 亿美元。该行业的快速增长始于 2004 年，到现在产值已经是当时的两倍多。当然，如此快速的增长和无线通信的商用新纪元的到来不无关系。在越来越高端的移动电话设计中，功放、开关已经成为最为基础的射频组件，随着移动手持设备的快速增长，整个 GaAs 器件行业也从中获益颇多。时至今日，无线标准已经演进到 HSPA+ 和 LTE，为满足人们对于数据流量的需求，各国也都制定了新的通信频段，同时，手持设备前端的射频组件也增加了。Strategy Analytics 公司估计仅移动设备出货量的增加连同每个 GaAs 器件的价格的增长趋势就拉动了 2012 年 GaAs 器件超过 55% 的总收入。据估计，在 2013 年移动设备的出货量仍然会增长，智能手机继续占领市场份额，这一切似乎预示着 GaAs 器件行业的收入将会长期保持增长的的势头，但是最近的一个发布会给了整个 GaAs 产业一个危险的信号。

今年 2 月，就在全球移动通讯大会前夕，高通官方发布了一款基于 CMOS 的射频前端 RF360 系列产品。该产品集成了多模多频段功放，包络跟踪电源管理电路以及和功放、开关、滤波器相关的天线调制解调包。高通此次发布会也让华尔街的众多投资商感到震惊，受高通新品发布会的影响，绝大多数的 GaAs 功放制造厂商的股票都大幅下跌。此外，该新产品的发布同样促使功放提供商和包络跟踪研发公司不得不做出相应的声明，以应对高通公司的挑衅。在全球移动大会上就有不少于十家公司公布了他们的多模多频功放和包络跟踪器将如何支持 LET 的诸多细节。

高通公司声明他们研发该系列的手机射频前端方案是为了解决频带碎片的问题，该问题一度成为其 LTE 芯片组应用的障碍。作为占市场主导地位的 LTE 芯片组提供商，为保持 LTE 移动设备市场按预期快速增长做出努力是值得的。该方案在功率放大器市场中不乏创新。尽管在过去的两年中 GGE 手机已经越来越多的使用 CMOS 功率放大器，但是这次高通公司发布的却是第一款商用的多模多频段 CMOS 功率放大器。它也是第一个单片集成天线开关支持 LTE 并且能和包络功率跟踪器协同工作的 CMOS 功率放大器。

不出意料，GaAs 阵营对高通公司的 RF360 系列前端产品准备有不同的观点。他们认为传统的 GaAs 功率放大器、PMIC、双工器、滤波器和开关的混合设计和匹配方法就效率、性能表现和灵活性而言总能提供最好的可行方案。最终市场会决定哪种方案（CMOS 或者 GaAs）才是最好的，并且在最好的方案出现之前，两种技术都还会有很多新的发展。但是由于 GaAs 器件行业超过一半的收入都来源于移动射频市场，现在正遭受来自高通的潜在威胁，因此，高通的 CMOS 射频前端的发布无疑会引起众多 GaAs 器件制造商的注意。

“小”就是“多”：新的移动射频前端

作者：Peter Carson， Steve Brown Qualcomm 公司

在移动领域，智能手机中印刷电路板的面积已经成为仅次于无线电频谱的最为宝贵和最具争议资源。讽刺的是，为了消除通信频带资源不足，最近新增添的通信频带给智能手机印刷电路板的设计施加了更多的压力。更多的通信频段意味着需要更多的射频前端组件比如功率放大器、多频段开关、双工器、滤波器以及相关的匹配组件。再加上人们对于大屏幕、四核应用处理器、网络连接性、电池以及其它附加性能的需求不断提高，这一切都要被设计进超薄的手机中，很明显已经没有任何多余的空间提供给射频前端部件了。由于空间的限制，即使是在单个的 SKU 设计中加入能够实现全球 LTE 漫游的双频或三频射频前端组件已经很困难（参看图 1）。

高通公司的 RF360 射频前端方案可以解决这个问题以及其它相关难题。一个高度集成的射频前端包括了天线与调制解调器之间的所有必需组件：一个集成了天线开关的射频功率放大器、无线收发机、天线匹配调谐器、包络功率跟踪器。这为蜂窝网射频前端设计中的诸多复杂挑战提供了一个 360 度全方位的解决方法。在通信频段扩充之后，利用该方案可以让产品的尺寸更小、性能表现更优从而实现产品吸引力的最大化，同时减少了再为产品进行单独 SKU 设计，因此具有巨大的产品规模优势。该射频前端从一开始就是为提供一个完整的系统解决方案而设计的，它可以和设备的调制解调器、无线收发机以及传感器交互工作最终使得系统的性能表现得到提升。与此相关的 OEM 厂商的产品预计将在 2013 年晚些时候上市。

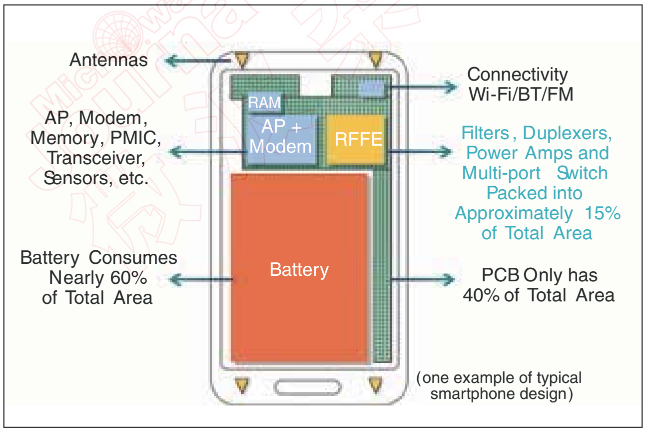

图 1. 典型智能手机的有限 PCB 空间。

设计方法

就广的技术层面上讲，该设计主要用于解决在覆盖全世界的 2G 和 3G 网络的基础之上发展 4G LET（频分复用 FDD，时分复用 TDD）所带来的频带碎片问题。该设计是为了在不增加设计面积或者对性能进行折衷的情况下，在一个设备中或者更少的 SKU 中就实现对所有相关通信频段的支持。就经济层面而言，该设计是为了保证蜂窝设备制造商的产品规模以及其巨大的成本优势。一个 OEM 厂商可能只需要三个或者更少的不同的设计就可以实现对全球 LTE 通信频段的支持，而不是需要高达十几个不同的设计。而且这些不同的设计之间电路的版图布局都可以保持一致，或者不会增加电路版图占用的空间。

射频频段扩充，PCB 占用空间不增

如今，射频的主要挑战在于世界范围内蜂窝通信频段的扩充。为解决服务需求暴涨以及网络容量的难题全世界的通信频段已经多达 40 个并且还在不断的增加。为了满足 OEM 厂商希望最大化他们产品投资回报收益的愿望，就不得不同时发布数款终端，这催促着移动设备制造商同时为不同模式的手机开发不同的版本，但是每一个产品都有生产规模小的的潜在危险，因为依靠传统的射频解决方案一个产品只能支持部分频带。为了实现在更大的区域覆盖范围内能够使用设备，一个设备中就需要多个芯片组。

高通公司提供的方案解决了射频频带扩充之后所带来的一系列挑战，仅用一个电路板级的 SKU 设计就可以实现在任何的模式和频段（所有的 GSM 蜂窝通信模式，并且具有向上兼容的能力，以及最新的用于 3GPP 通信的频段）下工作，这将实现全球漫游，

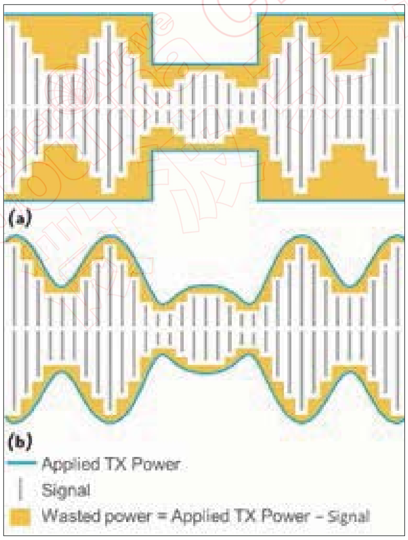

图 2. 采用平均功率电平跟踪技术所节约的功率（a）采用包络功率跟踪技术所节约的功率（b）。

尤其支持在 4G LTE 网络制式下的漫游服务。在不大量运用分立部件的情况下，单个射频解决方案就可以应对世界范围内众多不同的通信频段，这是怎么办到的呢？其实，这是一系列的核心技术的组合，高通公司通过对这些技术进行整合优化，最终才形成了一个端到端的系统解决方案。

功率包络跟踪

第一项核心技术便是包络跟踪技术，该技术根据信号传输实时情况来决定向功放提供多少功率，与传统的平均功率跟踪技术相比，该技术具有很大的进步。传统的平均功率电平跟踪技术，不是根据传输信号所需的实时功率而是根据功率电平的分组为放大器提供功率，无用的能量不仅消耗了电池电量，而且还产生多余的热量，这又不得不为散热提供更多的空间（参看图 2a）。利用包络功率跟踪技术，输送的功率为信号传输所需的实时功率（参看图 2b）。

通过和设备的调制解调器协同工作，包络功率跟踪机制所传输的功率能够恰好满足实时信号传输的需求，而不是在很长的一段时间中提供一个恒定的功率。这种调制解调器辅助的包络跟踪技术，还是首次出现在用于 3G/4G LET 的行业中，根据高通的测试分析表明，使用该技术可以使功耗降低高达 20%，发热量减少约 30%。这将使得电池的续航时间更长同时也将减少拥挤的智能手机中用于散热所占的空间。

通过与调制解调器协同工作，包络跟踪起器实时感知功率需求，从而管理功率放大器。基于 CMOS 的功率放大器，集成度有极大的提升，其目标直指完全集成射频前端的片上系统。一个片上系统意味着先进的 3D 封装技术对于射频前端来说已经成为了可能。

射频封装技术

高通射频前端所包含的第二项关键技术便是业界第一的堆栈式 3D 射频封装技术（RF POP 解决方案）。利用先进的 3D 封装将单片多模功率放大器连同天线开关集成到一个“基础包”中，同时将滤波器、双工器整合到一个衬底上，然后将该衬底堆栈到“基础包”上最终形成一个“3D”芯片组的组合，这样就使的产品设计复杂程度得以简化，也不需采用当今射频前端模块中广为使用的引线键合。这个包含了集成功率放大器和天线开关的“基础包”成为基本的衬底层，对于所有的器件来说都有相同的引脚面积。而位于功放和天线开关基片上的包含了滤波器和双工器的“包”则是全局可配置的或者说是多个区域频段的组合，这很像在一个通用的基石之上有一个用户可定制的“屋顶”。整个模块厚度为 1mm，仅为高通公司之前射频前端模块的一半。最为重要的是，用户为不同地区定制的射频前端模块无需对已有电路板的布局做任何调整，因为功放 / 天线开关层的结构是固定不变的（参看图 3）。

该设计基于一个能够支持世界范围内 700MHz 至 2.7GHz LTE 通信频段的架构，并且同时支持 2G 和 3G

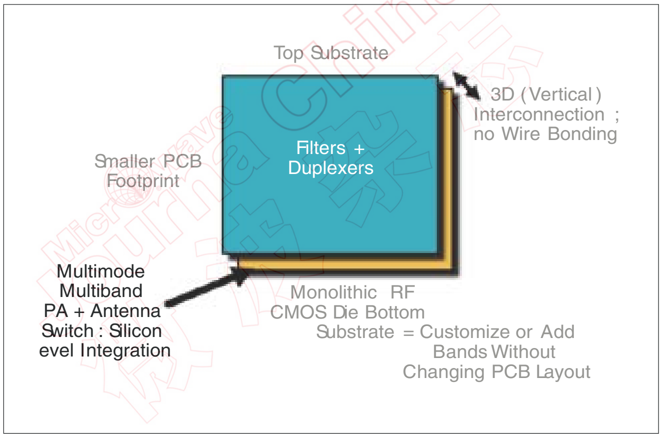

图 3. CMOS 前端 RF POP 3D 设计。

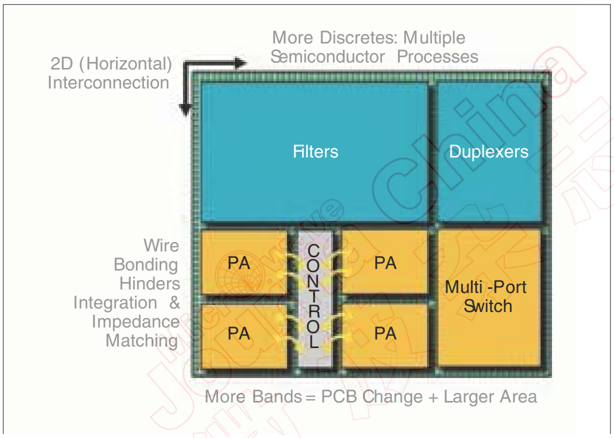

图 4. 肩并肩 RF 前端设计。

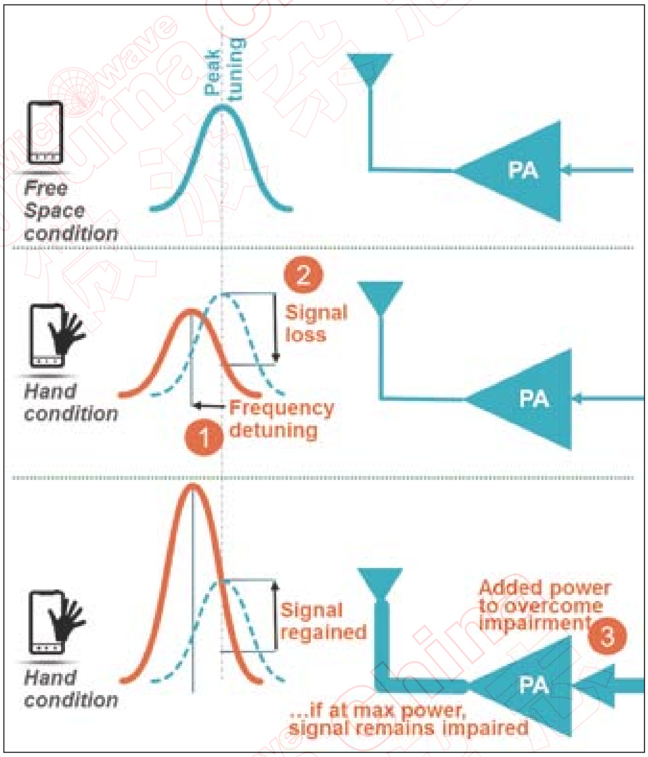

图 5. 常规 RF 前端频率调谐导致功率增加或者掉线。

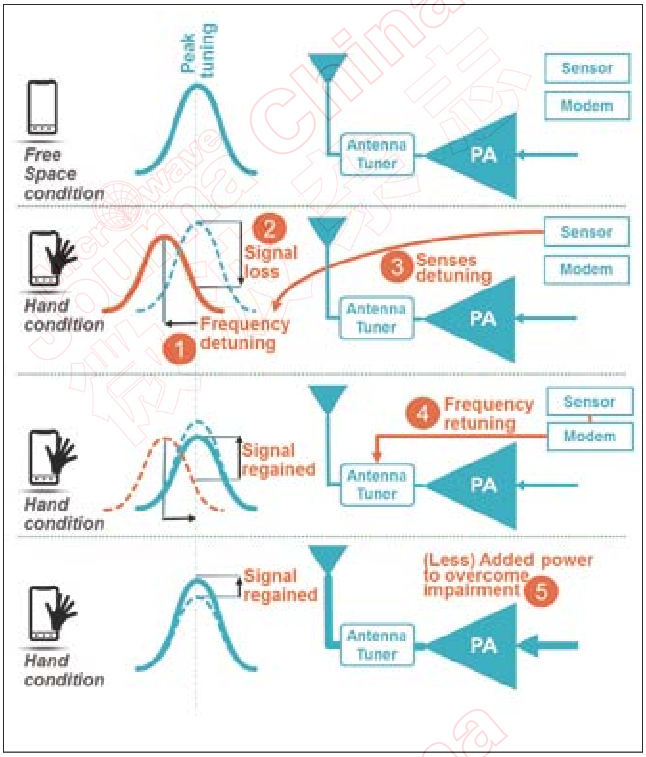

图 6. Qualcomm RF 360 调谐激起重新调谐。

频段通信。对众多通信频段的支持，减少了定制通信频段的麻烦，简化了可定制的”屋顶“的多样程度。利用 RF POP 技术，2 个或者 3 个 PCB 设计就可以满足全球众多 OEM 厂商的需求，而这在以前往往需要几十个不同的 PCB 设计才能实现。正如四频技术对 GSM 的拉动以及五频技术对 3G 的拉动一样，由于多频段的设计可以采用同样的电路版图布局，这将为拉动 LTE 产品经济，创造潜在的规模效应。

相反的，传统的基于 PCB 模块的解决方案通过混合使用不同的技术（如 GaAs、基于 CMOS 的元器件）作为一个最佳的方案。但是每种解决方案只适用于单个设备的运行环境。为适应众多不同环境的设计将变得非常复杂，结果导致支持多应用的解决方案中不同元器件并排着被布局在一个器件内。如果希望最终设计的产品能够支持多个频段通信，这种“肩并肩”的解决方案往往需要多个功率放大模块。更多的分立芯片以及由此带来的引线键将会引入更多的辐射干扰以及增加阻抗匹配的难度，这将给芯片的集成带来很大挑战。如果需要支持更多的频段，通常需要改变电路版图，这又往往会带来版图尺寸的增加，最后为了减小体积又不得不针对每个设计进行优化（参看图 4）。

自适应天线调谐

第三个关键技术便是自适应天线调谐。如今设备的尺寸已经设计的越来越薄、越来越圆滑，这样用户的手或者头距离天线的距离将会越来越小，对天线的干扰就会加强，使得天线偏离设计的中心频率而失调。由于用户的手或者头的阻碍作用，设备将接收不到来自基站的信号。为了对衰减的信号进行补偿，基站便会向设备发送让其增大发射功率的指令。发射功率增加，电池的消耗便会增加。如果此时设备已经工作于最大的发射功率状态，那么通信质量将会受影响甚至掉线（参看图 5）。

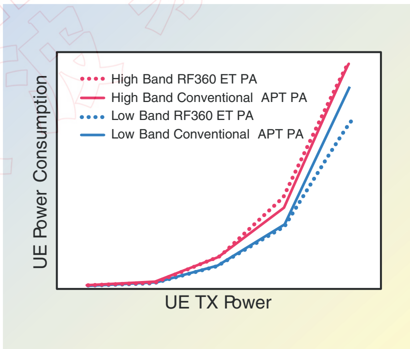

图 7. PA 性能比较。

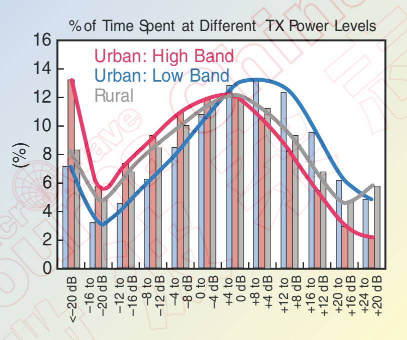

图 8. 发射功率使用模式。

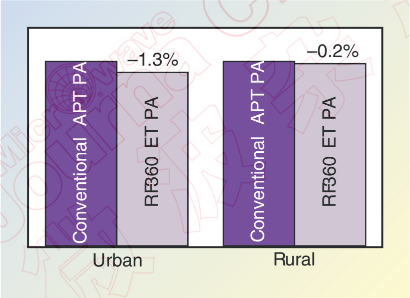

图 9. 总功耗比较。

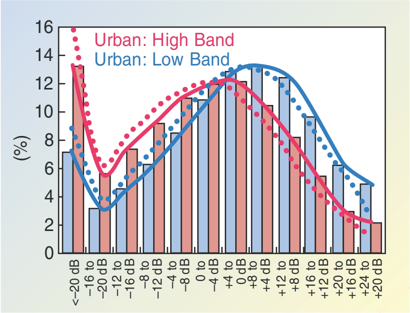

图 10. 利用天线调谐的 TX 功率曲线移动。

相反地，高通公司的系统解决方案通过与设备的传感器协同工作，能够检测到天线的失调和增益损失，调制解调器会指示天线调谐器重新调谐到正确的频率。这样就不需要为补偿频率失调而增加传输功率，功率的增加只用于补偿由于物理阻碍引起的衰减（参看图 6）。

功率放大器性能

和传统的基于模块化的 GaAs/CMOS 混合技术相比，全 CMOS 的射频前端的功率性能表现一直被认为是不足以满足蜂窝网通信的要求的，为此高通公司的 RF360 方案对系统进行了全面的设计。据高通的测试表明，在很宽的发射功率范围内，利用现在的集成 CMOS 功率包络跟踪器，高通公司的所提供的解决方案在发射功率性能上接近于传统的使用平均功率跟踪机制的功率放大器（参看图 7）。基于高通包络跟踪的解决方案和传统的平均功率跟踪方案在不同的功率电平下只有很小的差异。此外，为了在实际使用的发射功率范围内获得一流的通话时间以及数据传输，该系统针解决方案还专门针对性能、效率做了优化。从高通公司利用商用网络在加利福尼亚乡下七天 (2013 年，每天早上 8 点到晚上 8 点) 的观测数据以及在洛杉矶（2011 年，从早晨 6 点到晚上 7 点）一天的测试数据可以看到高通公司方案在实际常用的发射功率下与传统功率放大器性能相当接近，并且即使在实际中不常用到的传输功率范围内也与传统的放大器性能接近（参看图 8）。当基于实际应用中的功率对不同频段下的功率性能表现进行衡量时可以看到，在乡村环境下使用高通 RF360 方案的总功率消耗与传统功放一致，在城市环境下甚至还要比传统功放稍好一些（参看图 9）。

值得注意的是在这些性能对比中并没有考虑利用精准模拟电路技术对功放和包络跟踪器进行优化所带来的性能提升，比如，加入多个可编程增益状态。天线调谐增益同样没有被考虑在内。高通的测试表明，天线调谐将带来 2dB 的增益，这将使得在实际功率分布图中的 TX 功率 - 频率曲线向左移动 -2dB（参看图 10）。

将这些移动之后则 TX 功率 - 频率分布图应用于性能分析将表明总功耗有了额外的改善。因此，即使不考虑对功放进行优化以及天线调谐所带来的性能提升，系统的总体性能达到了对射频前端模块的要求，就效率而言也是可以和其他前端解决方案相比拟的，并且占用的 PCB 空间更小支持的射频频段更广。

结论

高通的射频前端集创新于一身：

- 第一个全集成的单片多模多频段 CMOS 功率放大器，集成了天线开关。
- 第一个堆栈式的 RF POP 解决方案（3D 封装）。减小了射频前端占用面积，可以使用通用的电路板布局，简化了射频频段的定制和扩展。
- 第一个用于 LTE 的 CMOS 功率放大器。
- 第一个采用包络跟踪机制的 CMOS 功率放大器。
- 第一个动态可重置的 LTE 多模天线调谐器。

总得来说，这是第一个全 CMOS 射频前端，包括了天线到调制解调器之间的一切元器件。

全世界范围的 LTE 频段扩充给移动设备的商用生产带来了挑战，该方案成功解决了此问题，使得能够在有限的 PCB 空间实现需要的设计。RF POP 技术简化了射频频段的扩展和定制，不同设计可以采用相同的电路布局，这将加快产品的研发设计设增大生产规模。更小的射频前端模块、更少的耗热量以及更长的电池续航时间，将使得超薄、圆滑、功能强大、效率更高的产品成为现实。另外，为应对当下建立商用 LTE 网络和全球漫游的挑战，现在已经提供该方案的样片。■