

带有LTE-Advanced 载波聚合移动终端的多路复用器的多路复用器

Multiplexers in Mobile Handsets with LTEAdvanced Carrier Aggregation

作者：Uli B. Koelle 安华高科技公司

在世界的许多地方，智能手机已经成为日常生活中不可或缺的一部分，许多用户依赖手机作为上网的一种简单的方式。在美国，据报道，2011年初1/3的美国人拥有智能手机。到了2015年，这个数字几乎翻倍了。预测表明，2016年智能手机在美国的市场份额将超过80%。智能手机数量的持续增长，以及用户群的扩张提出了增加无线数据流量的需要，而这只能依靠可用带宽的提高来实现。移动宽带的3GPP标准指定了可用于无线通信波段的频谱分配。由于无线频谱已经很拥挤了，新的无线频谱块很难获得的。3GPP的LTE-Advanced规范确定载波聚合(CA)作为在现有LTE波段上增加带宽的办法。

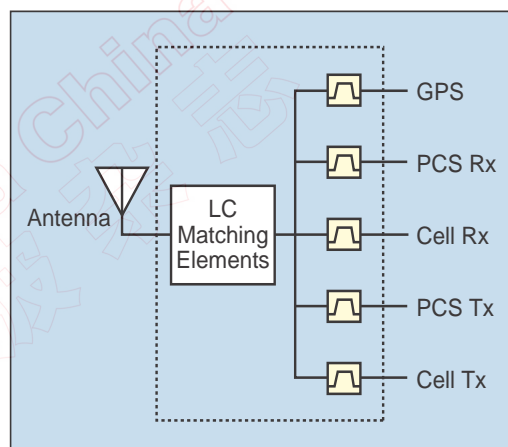


图1. 五路复用器包含5个不同通带频率的滤波器。

利用LTE，数据流量被聚合在子载波中，这些载波是1.4, 5, 10或者20MHz宽的频率块。为了提高比特速率，载波聚合可以聚合多达5个子载波，这些子载波可以是同一波段的也可以是跨越不同波段的。

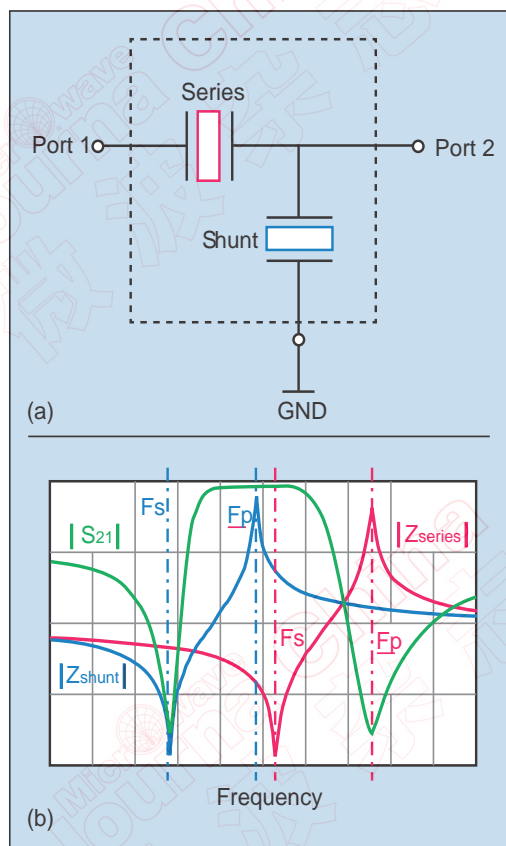


图2. 一级半梯形滤波器拓扑结构(a)及相应的谐振器阻抗($Z_{串联}$, $Z_{并联}$)和滤波器响应(b)。实际使用多级这种滤波器单元级联。

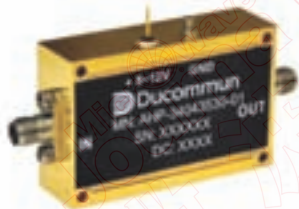
从产品到解决方案

RF 微波毫米波

在标准及定制毫米波放大器产品的设计, 测试和制造方面, Ducommun 积累了45年的经验



· 大功率, 单一直流供电/内部偏置电路



32-36 GHz 3-W 功率放大器

- AHP-34043530-01
- 增益: 30 dB (最小值)
- 增益平坦度: +/- 2.0 dB (最大值)
- 功率: 34 dBm (P1dB), 35 dBm (Psat)



26-40 GHz 低噪声放大器

- ALN-33144030-01
- 增益: 30 dB (最小值)
- 增益平坦度: +/- 1.0 dB (最大值)
- 噪声系数: 4.0 dB (典型值)

欲了解更多信息, 请联系我们的销售团队
 ☎ +1 (310) 513-7256
 ✉ rfsales@ducommun.com
 微信号: rfsalesducommun

联 方 代 理

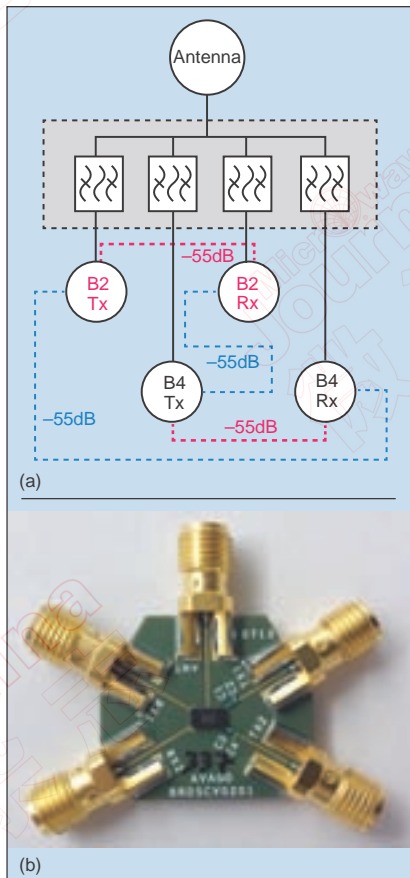


图 3. 2/4 波段四工器框图 (a) 和测试板 (b)。虚线表示载波聚合所需的高隔离度的 Tx / Rx 路径。

下行链路载波数的数量必须大于等于上行链路的载波数量。由于大部分流量需求在下行链路方向, 只需要使用一个上行链路, 因而载波聚合

(dB)	Tx Insertion Loss	Rx Insertion Loss	Tx Band Isolation	Rx Band Isolation	Tx 2f ₀ Rejection	Tx 3f ₀ Rejection
Band 2	2.0	2.9	58	59	37	38
Band 4	2.0	2.0	61	60	41	14

主要限制于下行链路方向。

现在市面上的所有智能手机都具有在不同频段上发射和接收的能力, 以用来实现漫游功能。但是, 实现对用来聚合的两个分离 LTE 频带的同时操作对手机硬件组件和数据流量的管理提出额外的约束。尤其是, 波段间聚合有两个频分双工

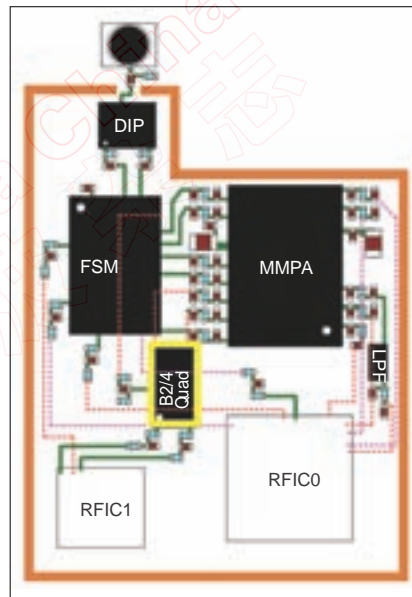


图 4. PCB 上的波段 2/4 四工器的 RF 前端模块。

(FDD) LTE 波段, 这意味着现在每个发射波段具有两个同样有效的接收波段与之配合。

多路复用器

智能机将很多功能组合在一个相对较小的外壳里, 而且手机中很多组件的尺寸都受到限制。手机中的射频前端包括了天线和基带 / 收发芯片之间的所有元件, 比如滤波器元件, 开关, 功率放大器, 低噪声放大器, 以

(dB)	Tx Band Isolation	Rx Band Isolation
Band 2 Tx to Band 4 Rx	60 (B2)	65 (B4)
Band 4 Tx to Band 2 Rx	62 (B4)	61 (B2)

及一系列的匹配和路由部分。对于所有的 FDD 波段，一个双工器包括两个射频滤波器，确保上行传输信号 (Tx) 不会干扰下行传输信号 (Rx)。集成多个非重叠滤波通带到单个模块 (多路复用器) 可以减少组件数量和手机的射频前端的大小，以及简化

和加快在手机中集成。几年前就提出，多路复用器已成为一种标准的方式来优化，小型化和简化多波段的手机滤波需求，它只需要一个天线覆盖多个波段，没有天线和滤波器之间切换开关。例如，五路多工器的功能模块示意图如图 1 所示。因为 CA (载

波聚合) 需要不同的波段在同一时间开启 (即没有波段间的切换)，一个多路复用器能够简便的满足 CA 过滤需求。

尽管在前几代无线通信中很普遍，但 LTE 手机的射频前端架构没有在收发器和功放之间放置级间滤波器。所有的 FDD 滤波都利用双工器或者多路复用器实现，这使得对滤波器的性能要求更加苛刻。所有从功放到天线的杂散信号都必须在接收通路上滤掉，防止降低手机的灵敏度。在双工器的规范中，发射/接收通路的隔离度在发射接收频率上通常是至少 55dB。不仅在单个 FDD 波段上，而且在 CA 中用到的不同 FDD LTE 波段上，载波聚合多路复用器中的滤波器都必须具有很强的发射/接收隔离。

由于尺寸和性能要求，基本上手机中的所有射频滤波装置都包含表面声波 (SAW) 或体声波 (BAW) 谐振滤波技术。SAW 和 BAW 技术以压电晶体谐振器作为基本构建模块，这对射频滤波来说已经是非常完善和成熟的技术。对于滤波器设计者来说，SAW 和 BAW 谐振器最值得关注的是其声耦合 (kt^2) 以及 Q 值。组合谐振器来创建一个滤波器，图 2a 说明了一个 1 级半梯形滤波器的拓扑结构，它作为许多滤波器的基本部分。当串联谐振器比并联谐振器具有更高的共振频率时，这种构造会形成一个通带 (见图 2b)。基于此基本拓扑结构，任何实际滤波器可以通过级联多个半梯级来提供足够的自由度，以满足实际带内和带外滤波需求。通过这种方法，多级滤波器将极点置于通带内，将零点置于通带外。

将两个滤波器组合到双工器中是多路复用器最简单形式。当把射频滤波器组合进具有载波聚合功能的多路

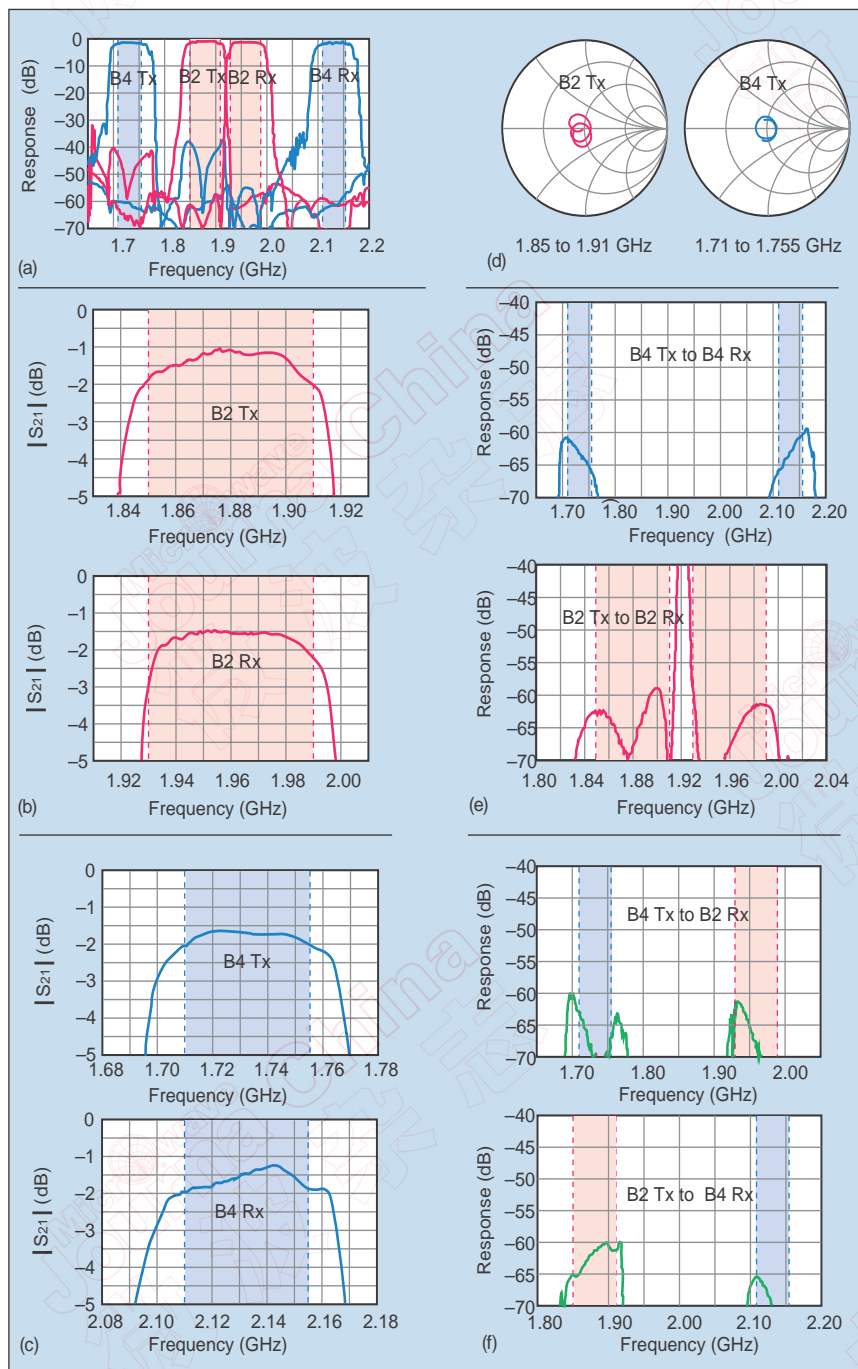


图 5. 一个波段 2/4 双工器频率覆盖范围的测试结果 (a) 波段 2 的插入损耗 (b) 波段 4 的插入损耗 (c) 波段 2 和波段 4 的 Tx 通路阻抗匹配 (d) 带内 Tx/Rx 通路的隔离度 (e) 跨频带的 Tx/Rx 通路隔离 (f)。

复用器时，有两个重要的设计限制。首先，多路转换器中的所有滤波器都必须在共用天线节点匹配。对于通带内的任何频点，只有对应的滤波器与天线端口阻抗 Z_{ant} 匹配，以减少手机中天线与多路复用器之间的射频反射；所有其他的滤波器必须像开路一样，使得没有信号泄漏到任何其他滤波器路径。其次，高的 Tx/Rx 隔离，无论是在带内还是跨越不同通带，这是多路复用器载波聚合功能所需要的。在制作复用器模块时，寄生串扰或直接的 Tx/Rx 信号泄漏会降低隔离度，这需要在最终产品中进行评估。这两个问题需要在具有 CA 功能多路复用器的设计中加以解决。解决这些问题的技术现在已众所周知。最终，滤波器的设计者使用电路仿真软件以及 3D 电磁场仿真软件来预测多路复用器的性能。

2/4波段的四工器

CA 被部署在全球各地及相应的混合 LTE 波段具有 CA 功能的多路复用器在市场上逐渐出现。拿美国无线通讯市场来说，最近装备的具有 CA 功能的多路复用器是在波段 2 (1.9GHz PCS) / 波段 4 (1.7/2.1 GHz AWS) 的四工器 (见图 3)。波段 2 和波段 4 是北美最普遍的 FDD 波段，由于载波聚合已经在很多地方可以使用，因此这样的四工器模块需要有一个成型的产品。具备 CA 功能凸显 2/4 波段四工器模块的价值地位。然而，这项工程具有挑战性的原因有多种。

波段 2 双工器: 滤波器的通带 (Tx/Rx) 很窄，大约是工作频带 1910MHz 的 1%。要使得在两个滤波器的通带角 (波段 2 的发射高频通道和接收低频通道) 都具有低的插入损耗，接收和发射滤波器都需要急剧的滚降系

数。即使没有其他滤波器复用到同一天线节点上，这也是很艰难的。

波段 4 双工器: 滤波器在通带内具有低的插入损耗是很容易实现的，因为通带比较窄，而且发射 / 接收带隙比较宽。但是，在这么宽的频带上保持高的发射 / 接收隔离度却需要挑战制造公差，因为大部分信号抑制是电气性的 (L-C 谐振器，远离其他滤波器的声学零点)。

CA 规范: 不同频带间的高隔离度是滤波器的附加要求 (波段 4 Tx/波段 2 Rx, 波段 2 Tx/波段 4 Rx, 给出了前文提到的第二条多路复用器设计的限制)。附加了带外衰减的要求会牺牲带内的性能 (例如，插入损耗)，这需要仔细权衡。

波段 2 和波段 4 滤波器的频带在频率上非常接近，波段 4 的滤波频率包围波段 2 的通带。天线匹配不能依靠一个信号分离电路来隔离滤波频带。这个四工器中的所有滤波器需要进行联合设计来优化天线匹配，并保证接收 / 发射通道的高隔离度 (在所有带内以及跨频段上)。增加连接到同一天线节点的滤波器的数目会导致在每个滤波器的通带插入损耗增加。这是不可避免的，因为开路条件从来不是理想的或无损的 (参照前文所述的第一条多路复用器设计约束)。要阐述一点：要优化多路复用器的性能，不仅可以通过获得低的插入损耗以及谐振模块的高 Q 值谐振得来的良好的带内性能，而且还可以通过非谐振频点上获得尽量小损耗的谐振性能来实现。天线端口的开放性滤波匹配在非谐振点低损耗，有最小的寄生噪声并且不会降低任何通带的带内性能。波段 2/4 四工器优化工作的一部分是通过利用可获得的 SAW 或者 BAW 谐振滤波技术

来减少所有四个滤波器在所有四个通带上的损耗。

在组合波段 2/4 上具备 CA 功能的四工器已经被几家供应商证实，而且部分可供销售。图 4 展示了四工器通常是如何与智能手机射频前端的其他射频部件集成的。一个安华高科技的波段 2/4 四工器的性能测试结果示于图 5，关键性能参数总结在表 1 和 2 中。这个四工器采用 FBAR 技术，类似于 BAW 谐振技术。FBAR 是低损耗谐振器，在谐振与非谐振点上均如此。四工器的低能耗，反过来，优化了手机的性能和用户体验：提供更高的灵敏度和电池寿命，受益于通过 CA 而实现的快速无线数据传输。

结论

智能手机不断在普及和市场渗透上脱颖而出，他们的计算能力和无线连接正在稳步提高。不同 LTE 频段的 LTE-Advanced 载波聚合正在铺开，以增加无线数据传输速率。由于此频段组合继续在不同地区部署，相应的 CA 复用器正逐渐出现在市场上。对手机 OEM 厂商而言，这些组件可以优化 RF 性能，整合空间和易于集成。低损耗滤波器技术，诸如 FBAR 将继续提高多路复用器的性能。对于未来的 CA 多路复用器，更高的集成度是可行的，如结合三个或更多个 FDD 的频带。当设计这样的多路复用器模块时，滤波器损耗和天线匹配需要仔细处理，以确保一个有吸引力的产品。■