

让学习变得更简单

Qorvo 专版 (第 2 版)

RF 滤波器技术

for
dummies[®]
A Wiley Brand



了解 RF 滤波器
技术的特性

了解如何使用滤波器
实现共存

了解滤波器可用
在哪些地方

洞悉新知尽在

QORVO

all around you

关于 Qorvo

Qorvo (纳斯达克代码: QRVO) 将核心 RF 和功率解决方案带到你我身边 (all around you™), 以实现更加美好的互联世界。我们结合一流的产品和领先的技术优势, 运用系统级专业知识和全球制造规模, 快速解决客户的复杂技术难题。Qorvo 服务于多个高速增长的全局市场, 包括消费电子、汽车 /EV、工业、医疗和航空 / 国防。敬请访问 www.qorvo.com, 了解我们多元化的创新团队如何连接地球万物, 提供无微不至的保护和源源不断的动力 (connect, protect and power™)。



RF 滤波器 技术

Qorvo 专版 (第 2 版)

**作者: David Schnaufer,
Brian Robbins, Warren Strand,
Gernot Fattinger, Robert Aigner,
Fouad Boueri, Shawn Gibb,
Igor Lalicevic, Mark Gallagher**

for
dummies[®]
A Wiley Brand

RF 滤波器技术 Dummies[®], Qorvo 专版 (第 2 版)

出版商:

John Wiley & Sons, Inc. (约翰·威利父子出版公司)

111 River St.

Hoboken, NJ 07030-5774

www.wiley.com

新泽西州霍博肯市约翰·威利父子出版公司版权所有 © 2023

非经出版商事先书面准许,不得复制本出版物的任何部分,或将其保存于检索系统,或以电子、机械、影印、录制、扫描等形式或方式传输,但根据《1976 年美国版权法》第 107 条或 108 条规定获得准许的情况除外。需要向出版商申请批准的,应将申请发送至:Permissions Department, John Wiley & Sons, Inc., 地址:111 River Street, Hoboken, NJ 07030, 电话:(201) 748-6011, 传真:(201) 748-6008, 也可在线提交,网址:<http://www.wiley.com/go/permissions>。

以下商标: 威利 (Wiley)、For Dummies、Dummies Man 标识、The Dummies Way、Dummies.com、Making Everything Easier 以及相关商业外观均为约翰·威利父子出版公司和/或其在美国和其他国家关联机构的商标或注册商标,未经书面准许,不得使用。所有其他商标分别归属于各自所有者。约翰·威利父子出版公司与书中提及的任何产品或销售商之间不存在任何关系。

责任限制 / 保证责任免责声明: 尽管出版商及作者已尽最大努力编制本书,但对于本书内容的准确性或完整性不做任何声明或保证,并且特别声明免除一切保证责任,包括但不限于对适销性或特定用途的适合性的默示保证。销售代表、书面销售资料或促销声明不得为本书创建任何保证或延长保修。书中提及某个组织、网站或产品作为引证和/或潜在补充信息来源的,这种情况并不表明出版商和作者认可该组织、网站或产品所提供的信息或服务或建议。本书在销售时,即已理解出版商不提供任何专业服务。书中提出的建议和策略不一定适合您的情况。您应当在适当的时候咨询专家。此外,读者应当认识到,在作品成书与读者读到这段期间,书中出现的网站可能已经变更或不复存在。出版商或作者对任何利润损失或任何其他商业损害概不负责,包括但不限于特殊、伴随、后果性或其他损害。

ISBN 978-1-119-898-36-8 (pbk); ISBN 978-1-119-898-37-5 (ebk)

关于我们其他产品和服务的一般信息,或者如何为您的企业或组织定制 *For Dummies* 图书,请联系我们在美国的业务发展部,电话:877-409-4177,电子邮件:info@dummies.biz,网址:www.wiley.com/go/custompub。关于如何为产品或服务申请 *For Dummies* 品牌许可,请联系:BrandedRights&Licenses@Wiley.com。

出版商鸣谢

为本书上市做出贡献的部分人员包括:

项目编辑: Elizabeth Kuball

生产编辑: Tamilmani Varadharaj

购置编辑: Ashley Coffey

特别援助: Stephanie Orr、Alexis

编辑经理: Rev Mengle

Mariani、Cindy Warschauer、

Faithe Wempfen

资深客户经理: Molly Daugherty

引言

5 G 和无线应用在全球的部署不断加快，对高数据速率和高数据容量的需求也在增加。这些趋势会增大信号干扰的几率，对许多射频 (RF) 设备应用中的无线技术带来了新的挑战。要消除这些干扰，就需要使用 RF 滤波器技术。

体声波 (BAW) 和表面声波 (SAW) 技术不断发展，力求解决这些挑战。这些滤波器技术正朝着应对更高频率、更小器件尺寸和更多干扰的方向发展。

本书针对 RF 滤波器技术 (例如 BAW 和 SAW) 提供了详实的基础性介绍。其中提及了这些技术和推动滤波器技术实现的驱动因素，以帮助了解采用滤波器技术的益处。书中还调查了系统工程师使用滤波器技术的现状，包括成熟应用领域和前沿应用领域。阅读本书之后，您将了解 RF 滤波器技术如何在电子工程行业掀起一场革命，以及它将如何继续保持这一势头。

傻瓜式假设

尽管过去的数假在如今大多已经失效，但我们还是要作出以下假设。我们的主要假设您是技术或半导体行业的利益相关者，并且长期关注 SAW 和 BAW 等技术。您可能是工程师、设计架构师、技术员、技术主管、销售人员、技术学员或投资者。我们还假设您对半导体技术有一定的了解。因此，本书的主要受众为像您一样有一定技术背景的读者。

如果上述假设中有一条猜对的话，那么本书很适合您！但即便都没猜中，也建议您读下去。这本书很有用，读完后，您会对 RF 滤波器技术有一个初步的了解！

书中符号

在书中，我们偶尔会使用一些符号，以引起读者注意一些重要信息。您不会看到典型的可爱笑脸符号或其他闪烁的表情符号，但您确实需要停下来留意这些符号！书中符号如下：



谨记

查看关键定义和要点。



警告

注意这些陷阱、缺点和缺陷。



技术内容

探索技术性很强的内容，可能会激起您内心的极客精神。

书本之外

尽管本书都是有用信息，但 48 页的篇幅无法涵盖太多内容！如果您在读完本书后还想要了解更多信息，请访问 www.qorvo.com/products/filters-duplexers，您可以在该网站上获得有关 RF 滤波器技术及产品的更多信息。

- » 了解 RF 滤波器
- » 比较 SAW 和 BAW 滤波器
- » 识别滤波器的温度系数和 Q 因数
- » 了解滤波器耦合系数如何影响性能
- » 了解滤波器封装

第 1 章

探索 RF 滤波器技术

在过去十年中，移动无线数据快速增长，使得运营商愈加迫切地需要新频段和新技术，以满足用户对无线数据容量的需求。这种需求不仅推动了无线技术的发展，也增加了对增强型射频 (RF) 滤波器技术的需求，以帮助减少系统干扰，扩大 RF 覆盖范围，增强接收器性能，并提升共存特性。

本章内容介绍 RF 滤波器的工作原理，以及如今的应用中使用的各种技术版本。本章首先介绍关于滤波器的一些基本实情，以及它们带来的益处。

有关 RF 滤波器的基础知识

您是首次接触 RF 滤波器技术？那么，先来了解这些重要的滤波器术语和概念，这有助于您阅读本书

- » **衰减**：信号在通过 RF 滤波器后产生的振幅损失，通常以分贝 (dB) 为单位衡量。在滤波器通带范围以外引用时，它也被称为*抑制*。
- » **截断**：滤波器响应降低 3 dB 时对应的点。
- » **插入损耗**：滤波器的目标通带中的信号功率损耗。
- » **隔离**：将信号彼此隔开，以防止它们之间产生不必要的交互。例如，您可能会隔离发送信号和接收信号，以防它们产生交互。
- » **通带**：信号通过，但几乎无衰减的区域。
- » **Q 因数**：*品质因数*的简称，是指在每个振荡周期，存储能量与损失能量之间的比率。用于测量谐振电路的选择性。
- » **纹波**：通带中插入损耗的差异。
- » **选择性**：对滤波器通过或抑制特定频率（相对于中心频率）的能力的测量。选择性一般是指在与滤波器的中心频率相差指定频率的节点所发生的损耗。
- » **阻带**：滤波器达到所需的带外抑制（由所需的分贝数表示）时应对的频段。

图 1-1 使用之前介绍的术语描述典型的 RF 滤波器响应。

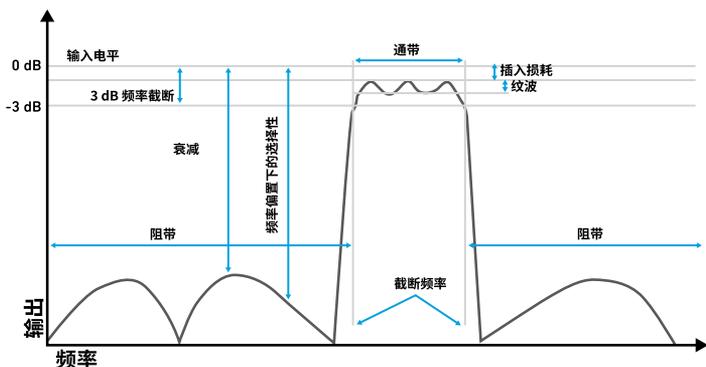


图 1-1: 典型的 RF 滤波器响应。



谨记

滤波器去除信号中多余的频率成分，同时保持所需的频率带宽。图 1-2 显示四种基本的滤波器以不同方式接收或抑制信号：

- » **低通滤波器**：允许低于某个频率的所有频率通过，并阻止所有其他频率（和高通相对）
- » **高通滤波器**：允许高于某个频率的所有频率通过，并阻止所有其他频率（和低频相对）
- » **带通滤波器**：允许介于两个频率之间的所有频率通过，并阻止所有其他频率（和带阻相对）
- » **频段抑制滤波器（也称为带阻或陷波滤波器）**：阻止介于两个频率之间的所有频率，并允许所有其他频率通过（和带通相对）

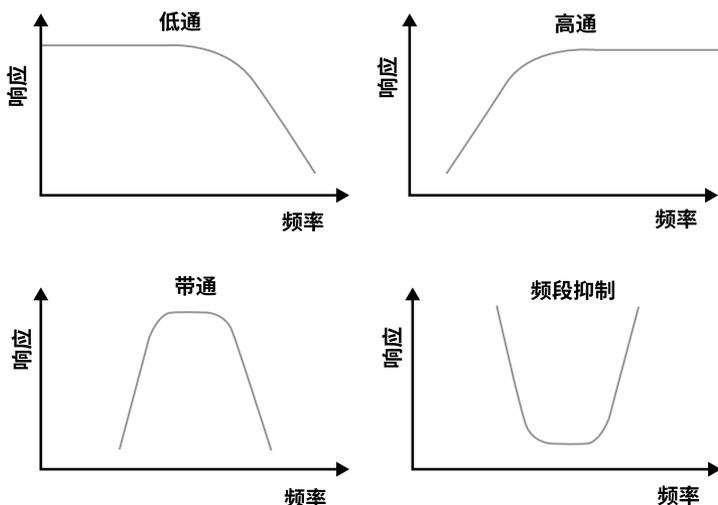


图 1-2: 基本的 RF 滤波器和响应。

滤波器技术的比较

根据应用的不同，滤波器的结构也不同。RF 滤波器技术最常见的差异在于尺寸、成本和性能。滤波器的结构是导致这些差异的主要因素。以下是一些 RF 滤波器结构示例：

- » **声学滤波器：**一种滤波器，能够满足低频率和高频率（高达 9 GHz），在有些特殊情况下能够满足高达 12 GHz 频率。它体积小，提供极佳的性能和成本组合，以满足复杂的滤波器要求。声学滤波器是商用 RF 微波应用（例如手机、Wi-Fi 和全球定位系统 (GPS)）中最常见的滤波器结构。
- » **空腔滤波器：**一种只用在基础设施应用中的滤波器。它能在合理的成本下实现良好的性能，但体积比声学滤波器大。
- » **分立式电感-电容 (LC) 滤波器：**一种结构成本低，性能和体积中等的滤波器。LC 元件有时候以印制结构的形式集成在基板上，称为集成式无源器件 (IPD)。LC 滤波器也可以通过分立式表贴器件 (SMD) 元件实现。

- » **单体式陶瓷滤波器：**一种成本和性能均高于多层陶瓷滤波器的滤波器。它的体积也更大，不适合用于移动应用。
- » **多层陶瓷滤波器：**一款中低成本的滤波器，性能与 LC 滤波器相当。其占用面积通常较为合理，但厚度更大，使其无法用于有些应用。

滤波器可以设计用于满足多种要求。虽然它们使用相同的基本电路配置，但当电路被设计用于满足不同的标准时，电路值会有所不同。比如，当需要满足带内纹波、以最快速度过渡到最终滚降、最高的带外抑制等标准时，会导致不同的电路值。



谨记

滤波器只允许特定频率或频段通过，对 RF 设计工程师来说，是必不可少的工具。

了解压电式声学滤波器

对于如今的许多应用，首选的滤波器技术是压电式滤波器。这些 RF 滤波器是体积小、经济高效的解决方案，用于许多商业、军事和科学应用中。



技术内容

压电效应是一种可逆的物理现象。晶体物质在受到机械应力时产生电流，反之亦然。当施加电场或电压时，晶体会发生微小幅度的拉伸。压电材料将施加的机械应力转化为电能，也能将电能转化为机械应力。

市面上提供两种声学滤波器，分别是表面声波 (SAW) 和体声波 (BAW)。

如图 1-3 所示，SAW 和 BAW 滤波器可以分为两类：梯式和栅格式。梯式滤波器在通带附近有很高的抑制，但带外抑制性能很差。栅格式滤波器提供良好的带外抑制，在通带附近提供较低的抑制。而梯式 - 栅格式的混合配置在抑制和通带抑制性能之间实现折衷。

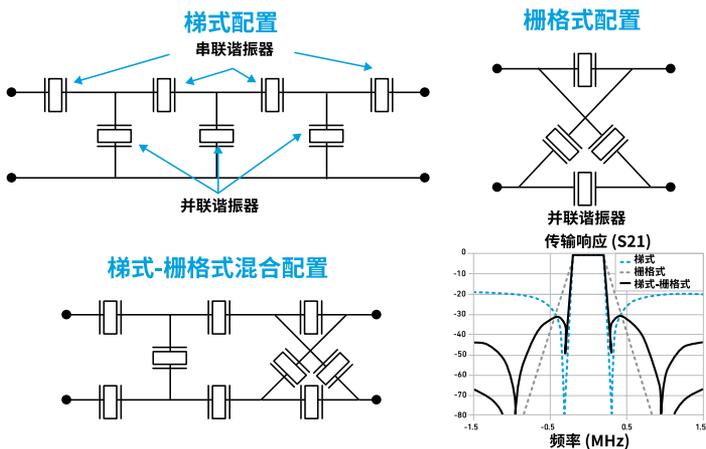


图 1-3: SAW 和 BAW 配置设计。

SAW 滤波器

SAW 滤波器应用广泛，非常成熟。它横向传播高频波。如图 1-4 所示，利用在石英、钽酸锂 (LiTaO_3) 或铌酸锂 (LiNbO_3) 等压电基板上创建的交错金属叉指式换能器 (IDT)，将电输入信号转换为声波。SAW 滤波器速度慢，可用于适应极小器件中穿过 IDT 的许多波长。

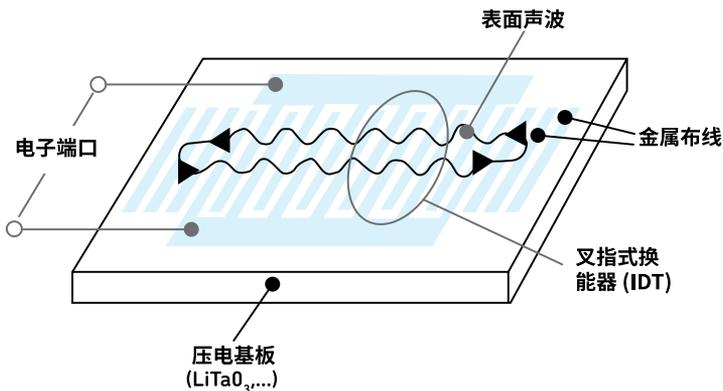


图 1-4: 基本的 SAW RF 滤波器。

SAW 的一个关键优势在于，它能够优化用于 600 到 1900 兆赫兹 (Mhz) 的标准滤波器应用。它不仅能满足 600 MHz 的低 5G 频段，而且在 1、5、8、13 低手机频段以及 GPS 频段下也表现出色，且经济高效。

为了达到 1900 Mhz 以上，我们采用分层 SAW 技术，例如低损耗谐振器技术 (LRT)、薄膜 SAW (TF-SAW)、超 SAW 或性能极高 (IHP) 的 SAW。这些技术使多层 SAW 能达到 2.7 千兆赫 (GHz)，可用于中高频段应用。高于 2.7 Ghz 时，SAW 滤波器的选择性下降。但是，在 SAW 滤波器的效用结束时，BAW 滤波器（本章稍后会进行介绍）开始发挥作用。

温度补偿 SAW

在诸多 SAW 技术创新中，有一种温度补偿 SAW (TC-SAW)。这种类型的 SAW 使用热补偿层来避免热漂移，如图 1-5 所示。由于具有更高的温度稳定性，其性能要优于标准 SAW。

与传统的基于 SAW 的滤波器和双工器相比，TC-SAW 器件集成在单晶钕酸锂上，且将 IDT 电极埋入二氧化硅 (SiO_2) 层中，提高了 TCF 和品质因数。

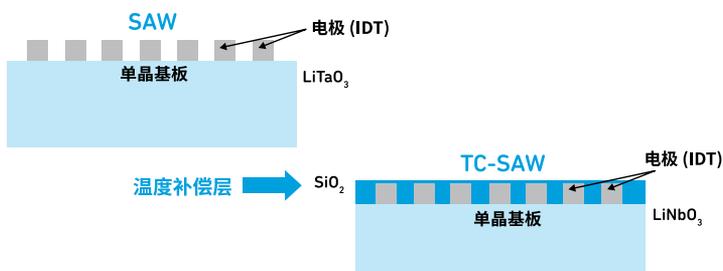


图 1-5: SAW 与 TC-SAW 比较。



技术内容

要在 SAW 上采用温度系数，需要将叉指式换能器 (IDT) 与任何环境温度变化隔离开来。要实现这种隔离，需要使用 SiO_2 层覆盖 SAW 结构，有时还需要额外的氮化硅层，如图 1-5 右侧所示。

TC-SAW 改善滤波器性能，以应对 LTE 和 5G 严格的频段分配，以及上行链路和高功率用户设备 (HPUE) 的载波聚合 (CA)。这些改善包括更低的插入损耗、更陡的裙边特性、温度稳定性、更高的电源耐久性、更宽的带宽频率范围、更高的线性度、更小的尺寸和集成。为了实现这些特性，需要使用更高的 Q 因数和较小的频率温度系数 (TCF)。

多层 SAW

在传统的 SAW 基板结构中，声波沿表面传播，在电极下达到几个波长，体声波辐射模式则是出现在基板深处。这会导致体声波泄漏，使 Q 因数、TCF 和耦合降低。

降低这种泄漏的方法之一是创建一个新的多层结构或是创建 TC-SAW 的变型，如 1-6 所示。在压电层和功能层表面以下增加这个额外的 SiO₂ 层会提供一个重要益处：将在表面传播的 SAW 引入压电层和功能层。这会将声学能量限制在表面附近，从而改善 TCF 和 Q 因数。

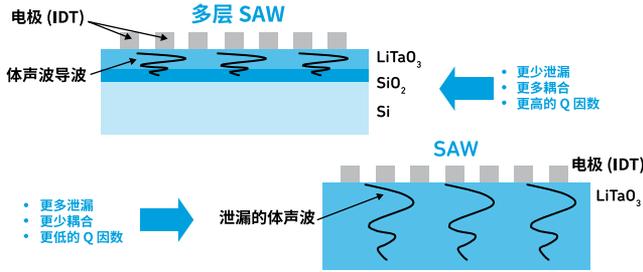


图 1-6: 多层 SAW 与 SAW 的比较。

市面上有几种类型的 SAW 滤波器。它们被称为 SAW、TC-SAW 和多层 SAW，也被称为引导式 SAW、LRT-SAW、TF-SAW、ultra-SAW 和 IHP-SAW。它们都属于 SAW 种类，在基板和功能层之间增加一层，例如 SiO₂，如图 1-6 所示。在本书中，我们将这种类型称为多层 SAW。

多层 SAW 的性能要高于标准 SAW 滤波器。在有些频段中，多层 SAW 的性能能媲美 BAW 滤波器，接下来我们会讨论这一点。



谨记

多层 SAW 技术以分布在隔离器上的压电材料为基础。在多层 SAW 中，热补偿机制直接来自基板，而不是源自电极表面。

表 1-1 比较了各种声学 SAW RF 滤波器技术的不同特点。

表 1-1: 各种 SAW 滤波器技术的定性比较

参数	SAW	TC-SAW	多层 SAW
结构	单晶压电	单晶压电	单晶压电
基板材料	单晶压电	单晶压电	分层基板
性能	良好	更优	最好
温度系数	良好	更优	最好
制造成本	\$	\$\$	\$\$\$

BAW 滤波器

BAW 可用于替代 SAW。BAW 滤波器支持 1.4 至 9 GHz 频率范围。

除了结构之外，BAW 和 SAW 的主要区别在于滤波器赖以使用的压电材料。BAW 滤波器使用多晶氮化铝，具有更高的耦合系数和更高的波速。

BAW 滤波器的声学能量密度非常高，且其结构能够很好地捕捉声波，因此能够实现极低的损耗。此外，相比在微波频率下使用的其他尺寸合适的滤波器类型，它们可实现的 Q 因数更高。如此可以实现出色的抑制和插入损耗性能，在关键的带通边沿也是如此。



谨记

BAW 滤波器提供更低的插入损耗，有助于延长智能手机应用中的电池使用寿命。BAW 还适用于上行链路和下行链路之间间隔很短的应用，以及在紧密排列的相邻频段中对衰减要求很高的应用。

与 SAW 滤波器不同，BAW 滤波器中的声波是垂直传播的。如图 1-7 所示，谐振器使用石英晶体作为基板。石英顶部和底部两侧的金属路径激发声波，声波从顶部反弹到底部表面，形成驻波。平板的厚度和电极的质量决定了谐振发生的频率。在 BAW 滤波器有效的高频率下，压电层必须只有几微米厚，这就要求谐振器结构是以载波基板为底，利用薄膜淀积和精密加工构成。

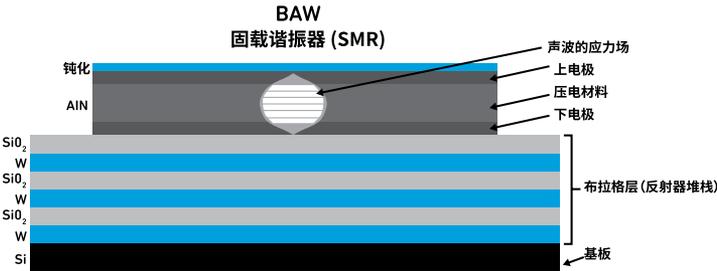


图 1-7: 基本的 BAW RF 滤波器。

在这种类型的滤波器中，为了防止声波逃逸到基板中，会堆叠刚度和密度交替变化的薄层来创建布拉格声学反射器。构建出的器件被称为**固载谐振器 (SMR) BAW**，如图 1-7 所示。



技术内容

布拉格反射器由多层交替材料构成，这些材料的折射率各不相同。

市面上主要有两种类型的 BAW 滤波器，如图 1-8 所示：固载谐振器 (SMR) BAW 和多晶薄膜体声波谐振器 (FBAR)。

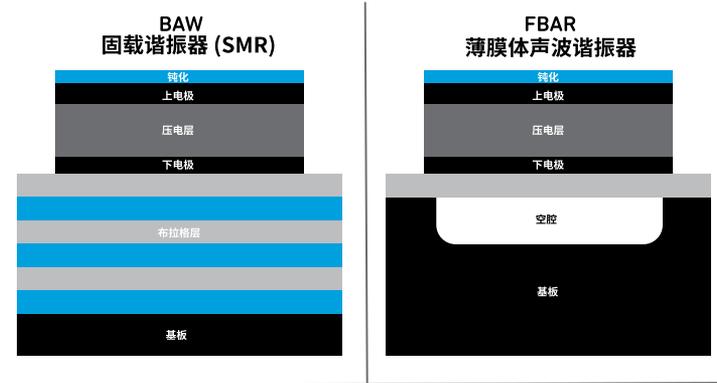


图 1-8: BAW 滤波器技术的截面比较。

从技术角度来看，最大区别在于基板，以及基板和底层电极之间的空腔。根据表 1-2，可以看出堆叠层 BAW 的温度补偿性能最佳。

表 1-2: BAW 和 FBAR 滤波器技术的定性比较

参数	BAW	FBAR
压电栅格式结构	多晶压电	多晶压电
谐振器压电材料	氮化铝 (AlN) 或钪氮化铝 (ScAlN)	AlN 或 ScAlN
基板材料	硅	硅
温度系数	最好	良好
声反射器	堆叠层	空腔
制造成本	\$	\$

有些公司会使用自己的品牌名称来指代 FBAR 或 BAW 技术，但它们都归属于 BAW 或 FBAR 这两类技术。例如，XBAW 就是另一种 FBAR，超 BAW 是另一种 BAW。

XBAR 是一种剪波 BAW 技术，具有场横向耦合的特性。但是，这项技术还处于研发阶段，尚未投产。

了解滤波器的温度系数

似乎每年都会为手机、Wi-Fi、汽车等应用分配新的频谱。增加新的频谱是好事，它们会推动无线设备逐步改进。但增加这些额外的频谱有时候会影响到某些区域，导致其中的频段相互重叠。此外，因为 RF 路径增加，会导致系统发热量随之增加。

为了确保妥善隔离这些信号路径，会使用温度系数较低的 RF 滤波器。但并不是任何一种滤波器都适用于这些频段紧密相连的应用。如图 1-9 所示，手机和 Wi-Fi 频段有时候紧挨着彼此，只相差几个兆赫兹。我们使用 BAW 等 RF 滤波器技术来确保这些频段彼此共存。

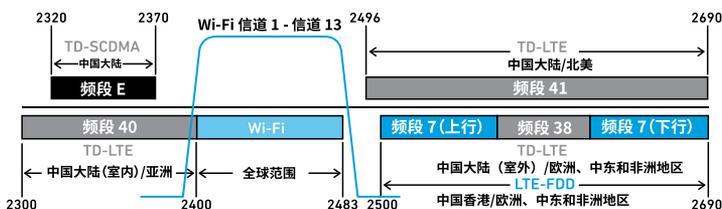
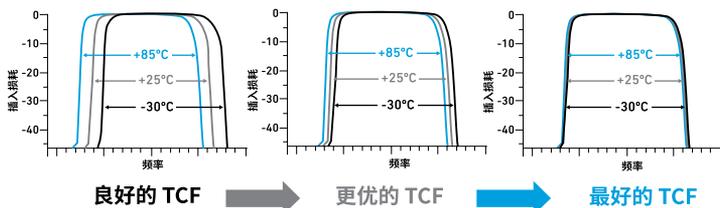


图 1-9：紧密连接的 Wi-Fi 和手机频段的示例。

在 SAW 和 BAW 技术中，采用最优的温度系数至关重要。它可以决定一个应用是容易遭到 RF 干扰，还是具有出色的信号质量。在 BAW 和 SAW 技术中，滤波器响应基于温度变化，如图 1-10 所示。

RF 滤波器的温度漂移



技术	SAW	FBAR	TC-SAW	BAW	Layered-SAW
温度系数 频率 (TCF)	≈ -40 ppm/°C	≈ -20 ppm/°C	≈ -20 至近 0 ppm/°C	≈ -17 ppm/°C	≈ 0 ppm/°C

图 1-10: 压电式滤波器的温度漂移。

当滤波器响应随着应用温度而改变时，滤波器带宽在变冷时向右漂移，在变热时向左漂移。滤波器的温度漂移是由工艺的百万分之一摄氏度 (ppm/°C) 特性和滤波器在应用中经历的温度漂移决定的，如图 1-10 所示。

应用的频率和环境条件通常是固定的，因此，要将滤波器的温度漂移降到最低，唯一方法是通过工艺技术。使用温度补偿 (TC) 滤波器工艺技术会影响滤波器的整体响应。如图 1-10 所示，TC-SAW、多层 SAW 和 BAW 工艺技术大大降低了单个滤波器的温度漂移。这些 BAW、多层 SAW 和 TC-SAW 工艺技术提供更低的插入损耗，产生更陡的滤波器裙边，并提供更好的温度响应，这些都等同于温度变化期间更好的带外衰减。它们还能提高接收器的灵敏度、隔离和抑制。



谨记

与 SAW 滤波器相比，BAW 滤波器本身对温度变化的敏感度更低。温度补偿 (TC-SAW 和 TC-BAW) 甚至会进一步降低温度敏感度。

在 BAW 中，可以使用某些设计技术来创建 TC-BAW 类型的结果，但一般来说，当涉及到实现良好的温度系数值时，BAW 是有效的。但是，由于结构不同，三种类型的 BAW 在求解温度系数时存在差异。

图 1-11 说明空腔可能会影响散热路径，从而影响滤波器的温度系数。在 5G 和 Wi-Fi 应用中，当处于更高频率时，BAW 相较于 FBAR 的优势会更加明显。由于谐振器的尺寸更小，所以在更高频率下，处理滤波器的功率会变得更具有挑战性。但是，在使用 BAW 时，反射器层也会变得更薄，这会进一步改善散热。

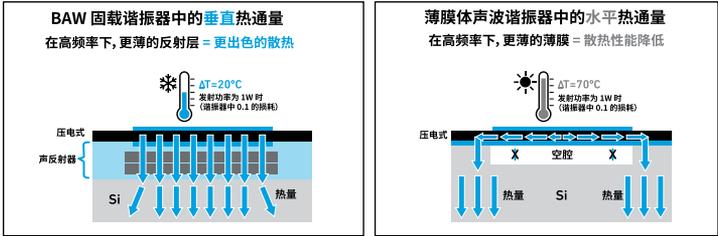


图 1-11: BAW 与 FBAR 滤波器在功率和散热方面的比较。

相比之下，使用 FBAR 时，空腔上方的膜变得更薄，降低了它从谐振器转移热量的能力。因此，当 BAW 和 FBAR 之间的插入损耗为常数时，发射功率每升高一瓦，温度升高 20°C ，FBAR 则是每瓦升高 70°C 。温度变化越小，性能越高，使得 BAW 滤波器能够满足系统在高功率、高温条件下的插入损耗和带外衰减要求。此外，因为高 Q 因数和高耦合，BAW 滤波器具有低插入损耗，这有助于降低功耗和相关的散热问题。

由于如今的高频率和小尺寸应用，温度方面的限制也愈加严苛。此外，设计的频率越高，要满足参数要求的难度就越大。其中一个关键参数是插入损耗。线路长度、匹配组件、滤波器组件和连接走线都会对插入损耗产生额外影响。频率高于 3 GHz 时尤其如此。为了优化系统的链路预算，需要使用低插入损耗滤波器。

Q 因数评估



谨记

滤波器的插入损耗由多种因素决定。其中包括相对于中心频率的滤波器带宽、滤波器的阶数，以及组成组件的谐振器的 Q 因数。Q 因数是衡量谐振电路的选择性的一个指标。

如图 1-12 所示，谐振器损耗和耦合是实现低插入损耗和高选择性的关键。如果谐振器的耦合和阻抗相似，可以通过 Q 因数来比较它们的性能。

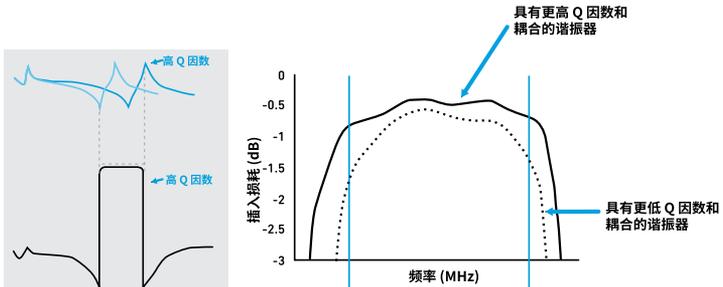


图 1-12: RF 滤波器的 Q 因数、带宽和衰减特性。

了解滤波器耦合系数

在滤波器技术中，驱动应用性能的两个性能参数是滤波器耦合系数和 Q 因数。

RF 滤波器谐振器耦合系数是决定声学耦合滤波器带宽的关键因素。在 SMR 或 FBAR 配置中，提高 BAW 滤波器谐振器的耦合效率可以在小封装尺寸下提供低插入损耗和高性能。

有效耦合系数 (K^2_{eff}) 是测量谐振频率 (f_s) 和抗谐振频率 (f_p) 之间的相对间距的一种指标。它的值取决于许多因素，包括电极和压电特性。



机电耦合系数用于测量压电式器件在将电能转化为机械能时的效率，反之亦然。互能，或可转换能，是弹性能和介电能。为了使滤波器谐振器的耦合系数达到最大，提供的声能反射应尽可能接近谐振器，这一点至关重要。

在 BAW 滤波器中，谐振器的有效耦合系数决定了滤波器可获得的平坦通带带宽。

了解滤波器封装

在许多（如果不是全部）应用中，射频前端 (RFFE) 的表面积在不断缩小。之所以出现这种变化，主要是因为器件尺寸不断缩小，以及需要为更多消费电子功能腾出空间。

如今的大多数封装都是模块和单片集成，或者两者的组合集成。图 1-13 展示了一个高度集成的模块，包括功率放大器、BAW 滤波器和天线开关。这个模块又会集成到更复杂的系统级封装 (SiP) 中。而这只是常规应用中单个 SiP 内集成的多个复杂模块中的一个。

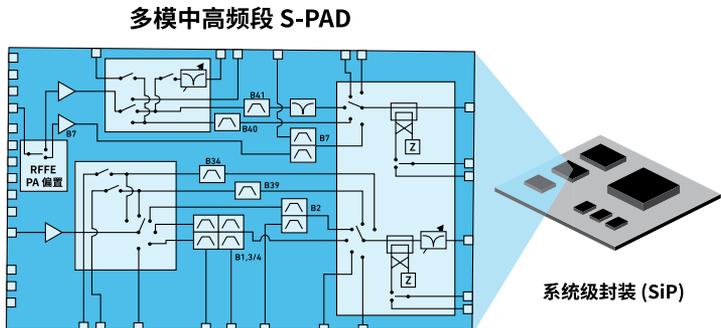


图 1-13: SiP 内部的复杂 RF 模块。

- » 了解拥挤的频谱
- » 确定哪个滤波器适用于哪种应用
- » 介绍多路复用器和天线复用器

第 2 章

了解 RF 前端和滤波器

在 网关、手机和其他无线设备中，滤波器技术是减少串扰干扰、保持峰值信号性能和优化系统效率的关键。如果没有这些滤波器，设计人员将难以达到多项系统级规格要求，从而提供统一且始终在线的连接。

滤波器大大改善了如今的最终产品设计，帮助系统工程师降低或完全消除了系统级挑战。此外，滤波器可以为系统设计人员创建可行的首选解决方案，从而缩短设计时间。

阅读本章，了解当前的应用正如何推动 RF 前端 (RFFE) 中新的射频 (RF) 滤波器设计。您可以查看滤波器系列，开始了解双工器、多路复用器和天线复用器，以及它们如何用于如今的应用中。

了解 RFFE 和 RF 滤波器

面对频谱的快速增加、大量频段被用于满足速度和容量要求，再加上超宽带 (UWB) 和车对万物 (C-V2X) 蜂窝网络等新技术，滤波器技术在这些因素的推动下不断发展，以帮助实现多个频段之间的共存。作为 RFFE 的核心

组件，RF 滤波器广泛应用于基站、汽车、Wi-Fi、无线通信等领域。在接下来的章节中，我们将深入研究滤波器技术的技术方面以及它与 RF 之间的关系。

了解双工的作用

双工实现了在单个通信信道上进行双向通信。有两种基本的双工操作模式：

- » **半双工**：通信方轮流进行发送和接收。一方在进行发送时，另一方进行接收。
- » **全双工**：通信方可以同时发送和接收。

全双工通过频分双工 (FDD) 实现，半双工通过时分双工 (TDD) 实现，如图 2-1 所示。

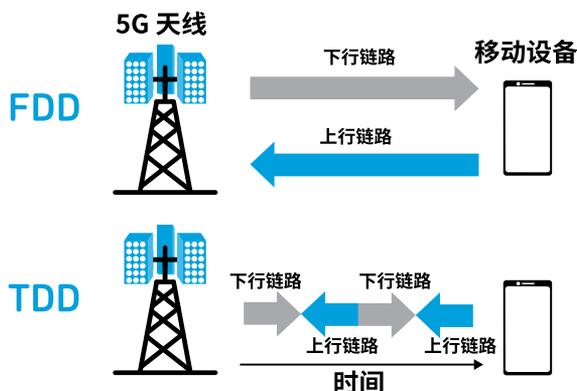


图 2-1：FDD 与 TDD 上行链路和下行链路的比较。

FDD 使用两个单独的频段或信道来实现全双工通信。这两个频段的频率以物理方式分隔（称为双工带隙），以防止产生干扰。

TDD 通过半双工链路来模拟全双工通信，使用单个频段进行发送和接收。TDD 分配快速交替的时隙来发送和接收通信设备的操作。虽然 TDD 传输是并发的而不是同时的，但由于 TDD 是高速发生的，通信方无法察觉到通信的间歇性质。

介绍隔离和交叉隔离

双工器常用于 FDD 无线电应用，其中一个滤波器是发送 (Tx) 滤波器，另一个滤波器是接收 (Rx) 滤波器。双工器的设计使得每个滤波器不会出现通带加载错误。



技术内容

隔离程度用于测量从一个 RF 端口路径泄露至另一个 RF 端口路径的功率量。两个 RF 路径之间的隔离程度越高，泄漏越低。如果隔离程度很低，信号会彼此混入，导致干扰，或导致接收器减敏（灵敏度降低）。

必须对接收滤波器输出端的发送信号实施大幅衰减。必须实施这种高水平的隔离，以免信号过度驱动接收器的前端。这种隔离通常被称为发送 - 接收隔离，隔离值通常为 55 分贝 (dB) 或更高。

在接收频率下，也必须采用高水平的发送 - 接收隔离。这是为了防止来自发送信号（即在接收频率下）宽偏置位置的噪声出现在接收器输入端，导致灵敏度降低。这两项隔离需求促使实现带内隔离。

随着无线设备不断发展，每一代设备的 RF 路径之间的隔离变得越来越具有挑战性。例如，现在有些智能手机型号是可以折叠的，如图 2-2 所示。这些手机不止集成多根天线，以在蜂窝、Wi-Fi、全球定位系统 (GPS)/ 全球导航卫星系统 (GNSS)、UWB、毫米波 (mmWave) 和蓝牙范围内提供服务，还需要解决一些挑战，因为现在这些路径彼此重叠，更容易发生干扰。这使得这些 RF 路径、标准和紧密对齐的天线之间的隔离变得更加重要。RF 滤波器设计人员必须付出更多努力来满足更严格的隔离、通带和衰减参数，确保这些折叠手机能够不受干扰，正常运行。

天线

- ① 蜂窝
- ② Wi-Fi
- ③ UWB
- ④ mmWave
- ⑤ GPS/GNSS
- ⑥ 蓝牙

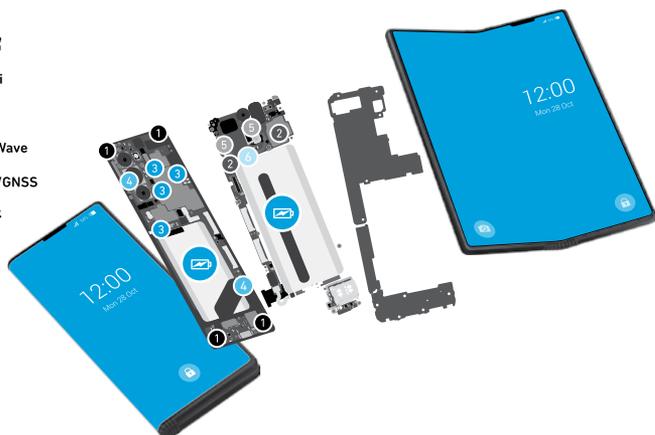


图 2-2: 具有多根天线的折叠手机。

了解 RF 接收器减敏和灵敏度

接收机灵敏度是指数字无线电接收机的最小可检测接收信号功率。如果无线电接收器减敏，这意味着电磁干扰会导致本底噪声升高。这种干扰会降低接收到的信噪比，降低接收器的性能吞吐量（相对于范围）。

在 RF 干扰和高接收信号功率下保持接收机性能是无线电接收机的主要要求。

减敏是由于噪声源导致的接收器灵敏度下降，这些噪声源通常是由相同的设备无线电产生的。减敏是由电磁干扰引起的，电磁干扰可能来自内部源，也可能是系统内部自行产生的强力干扰。大多数情况下，干扰是自行产生的。

了解 RF 前端选择性 / 共存

在理想的滤波器中，通带内的插入损耗应为 0 dB，在阻带内的插入损耗应为负无穷大 (dB)。通带和阻带之间存在 0 dB 到负无穷大的过渡。它可以在不增加或不从 RF 信号中去除某些因素的情况下传输所需的功率。但是，

我们无法获得这样完美的滤波器。在真实的滤波器中，阻带内具有插入损耗、通带纹波和非零增益（参见第 1 章中的 1-1）。

在给定应用中，过渡频段可能是决定滤波器有用性的一个关键特性。过渡频段是通带和阻带之间的滚降的陡峭度。

接收器的选择性也非常重要。由于要传输许多 RF 信号，无线电接收器必须能够只接收所需的信号频率，抑制不需要的信号。接收器的选择性性能决定了接收器将会经受的干扰水平。因此，接收器需要能够抑制不需要的频率，使其性能不受干扰影响。



技术内容

选择性是指滤除信号的能力。在 RFFE 接收器中，选择性是指抑制相邻无用信号的能力。优越的插入损耗和带外衰减可以提升接收器上的信号之间的隔离程度。信号路径之间的高度隔离也是限制互调产物和满足带外发射规范的重要因素。在定义选择性时，接收器的滤波器性能是关键。

滤波器的选择性也与品质因数（Q 因数）密切相关。降低滤波器的带宽会使其 Q 因数增大。裙边会变得更陡，滤波器的选择性会更高。因此，带通滤波器的选择性随着 Q 因数的增加而增加。一般来说，要设计出具有出色选择性的滤波器，需要在陡峭的裙边、插入损耗和 Q 因数之间进行权衡。

接收器必须具有辨别信号的能力。接收器的选择性通常用相邻信道抑制（ACR）、相邻信道选择性（ACS）、带内阻断和带外阻断来判断。

关于拥挤频谱

随着我们继续往已经很拥挤的 RF 空间中挤入更多的频段，频谱空间继续被挤压。某些情况下，通带与阻带之间的转换仅 2 MHz，这使其很难满足系统级要求。由温度漂移主导的滤波器响应变化可能会超出频段转换自身的宽度。这可能导致干扰、低信号质量，或两者兼有。在这些情况下，滤

滤波器最为有用。图 2-3 举例说明了 RF 滤波器如何帮助分隔 Wi-Fi 和车对万物 (V2X) 频段。在这种情况下，必须使用具有陡峭的带外转换的滤波器。

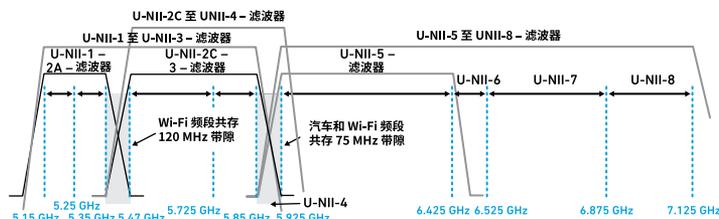


图 2-3: Wi-Fi 频谱和 V2X 频段。



谨记

由于频谱是一种稀缺资源，政府必须对其进行配给。这迫使 RF 系统设计人员必须率先解决设计中的挑战，例如减轻几个频谱区域的演进产生的影响，例如 Wi-Fi、汽车、物联网 (IoT) 和手机的频谱区域，它们都会在频谱演进时相互融合。这些技术频段需要使用几乎无温度漂移和具有出色的插入损耗的陡峭曲线滤波器来隔离信号，否则可能产生 RF 干扰。

了解小型器件应用如何影响滤波器设计

所有无线设备解决方案的尺寸都在不断减小。如今，Wi-Fi 家用网络架构和企业架构被称为分布式 Wi-Fi 或 Wi-Fi 网络。它们以“每个房间一个 pod”架构为基础，正越来越普及。这些 Wi-Fi pod 接入点或网格网络设备正变得越来越小巧。在移动智能手机中，RF 区域不断缩小，以适应更大的电池、更多的摄像头和更多的 RF 路径。在无线基础设施发射塔中，RF 部分随着天线向塔顶移动，要求 RFFE 变得更小，以满足更高的发射和接收性能。

例如，受几个因素影响，智能手机中的印刷电路板 (PCB) 面积不断减小。手机制造商不断增大电池尺寸，以支持新功能，例如集成更多的摄像头和天线，以实现 UWB、毫米波和多样化的功能。为了支持 Wi-Fi、低频段、

中频段、高频段、超高频段、UWB 和毫米波等广泛的频率范围，我们需要使用更多天线，如今的多款智能手机已经使用多达 6 根天线（参见图 2-4）。除了小型 RFFE 模块中集成这些滤波器之外，这还迫使 RFFE 系统设计人员创建更小的前端组件，包括滤波器。

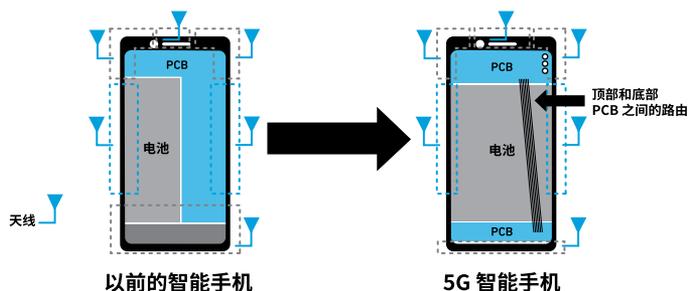


图 2-4：5G 手机中体积更大的电池会占用更多印刷电路板空间。

随着增加新的天线来适应许多新的和现有的频段，必须具备高天线性能。为了实现高天线性能，天线需要保持足够的体积和间距，但是，面临的实际情况却是空间变得越来越小。

为满足这项要求，制造商面临着一个艰难的架构抉择，而这个问题以前是通过使用单独的滤波器来解决的。制造商可以尝试在一个不断缩小的区域中增加更多的天线，但这可能会降低天线和系统级别的性能。他们也可以选择在设计中使用新开发的技术。比如，使用天线复用器来解决问题——我们会在第 4 章深入探讨这个主题。



简单来说，*天线复用器*将多个 RF 滤波器组合在一起，使几个不同的无线电（例如手机 Wi-Fi、GPS 和 UWB）能共用一根天线。通过使用天线复用器，移动设备可更有效地利用现有的天线面积，同时增加对新频段的支持，且不会对现有外形尺寸或功能产生任何影响。天线复用器取消了使用单独的天线的需求，同时可以满足共存滤波和插入损耗的要求，如图 2-5 所示。

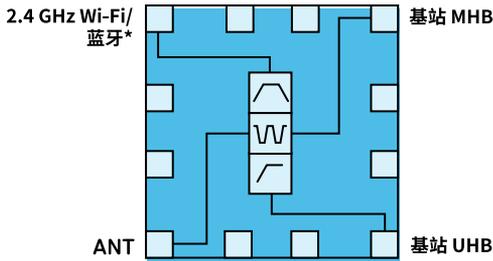


图 2-5: 利用天线复用器，Wi-Fi 及蜂窝中频段和超高频段频率可共用一个天线。

Wi-Fi RFFE 制造商也在利用前端模块技术缩小产品尺寸，减少匹配组件的数量，减小印刷电路板的空间面积，创造更小、更时尚的设备。通过使用集成多条 RF 路径的前端模块，如图 2-6 所示，系统设计人员可以节约成本，缩短设计时间，更快地将产品推向市场。

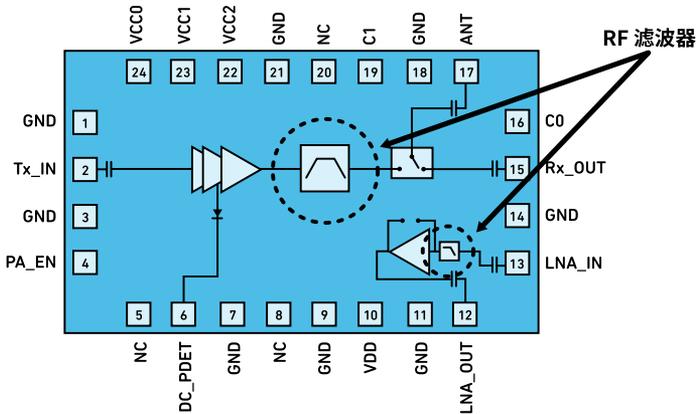


图 2-6: 集成滤波器的 Wi-Fi RF 前端。

在 6 Ghz 范围内增加多输入 / 多输出 (MIMO) 和更高的频率会提高 Wi-Fi 网关的系统温度。为了满足更多的散热和共存要求，必须使用支持高温和多个频率范围的可靠 RFFE 组件。

为了解决这一挑战，已开发出多款具有温度补偿功能的滤波器技术。这一成果，加上创建完整的 RFFE 模块解决方案，使 Wi-Fi 网关、汽车和 5G 领域的系统设计人员能够满足他们各自的要求。

Wi-Fi RFFE 的 RF 发送端使用的一些滤波器可以帮助提升信号性能。例如，当 Wi-Fi 信号接近 Wi-Fi 信道频段的边沿时，例如信道 1，并且信号正以全功率传输，就会在频带外发生一些“泄漏噪声”。我们通常会降低这些信道的输出功率来解决这个问题，但这会降低输出功率信号输出和范围。使用 RF 滤波技术之后，在这些情况下则无需降低功率，同样能够降低带外的无线电信号泄漏。这使得无线电能够以最大功率范围在这些边沿信道中传输。

介绍多路复用器和天线复用器



谨记

单凭带通滤波器和双工器，已不足以确保在当今复杂的 RF 设备中实现共存。我们需要使用更加复杂的滤波器技术来支持现今的连接设备和功能，例如手机和网关。在这些复杂的系统中，多路复用器和天线复用器相当有用。

这些更复杂的滤波器技术之间有什么区别？图 2-7 简明直观地显示了这些区别。天线复用器用于天线附近，帮助有效且高效地引导合适的信号进入设备深处。使用天线复用器之后，无需再使用多个分立式组件，还能减少系统中使用的天线的数量。例如，天线复用器可以将 GPS、Wi-Fi 和手机频段组合起来，使用一根天线来支持所有这三条 RF 路径。

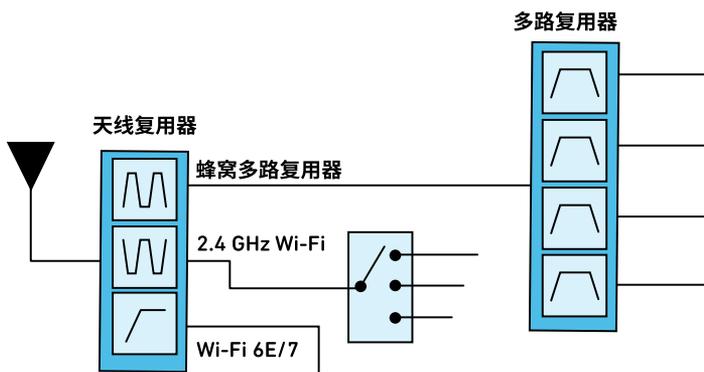


图 2-7: 框图中的天线复用器和多路复用器。

多路复用器位于 RF 前端链更下方的位置，靠近收发器。多路复用器会分隔 RF 路径，降低系统复杂性，并且减少对单个分立式 RF 滤波器的需求。它还提供载波聚合 (CA) 支持，可以实现大容量数据吞吐量。

接下来的两章将进一步深入探讨这些滤波器，帮助大家更好地了解它们的优势，以及它们如何用于 RF 系统中。

- » 了解双工器、带通滤波器和多路复用器之间的不同
- » 研究滤波器隔离和交叉隔离
- » 比较多路复用器和载波聚合

第3章

了解多路复用器滤波器

本

章将更深入地介绍多路复用器滤波器，以及它们如何用于各种应用中。您将了解到多路复用器如何帮助设计人员创造出更复杂的无线产品。

了解多路复用器

多路复用器是一组射频 (RF) 滤波器，它们组合在一起，但不会彼此加载，可以在输出之间实现高度隔离（参见第 2 章中的图 2-7）。多路复用器被用于 RF 前端中靠近功率放大器 (PA) 的位置，对于载波聚合 (CA) 产生很大影响；天线复用器被用在射频前端后面，以简化与天线之间的路由。多路复用器滤波器可以包含多种滤波器，都集成在一个封装中。图 3-1 提供了嵌入在复杂的模块设计中的多种类型的滤波器的示意图。图中的这些单独的双工器、带通滤波器和陷波滤波器也可以成为多路复用器群组的一部分，称为**四工器**、**五工器**和**六工器**，如图 3-2 所示。

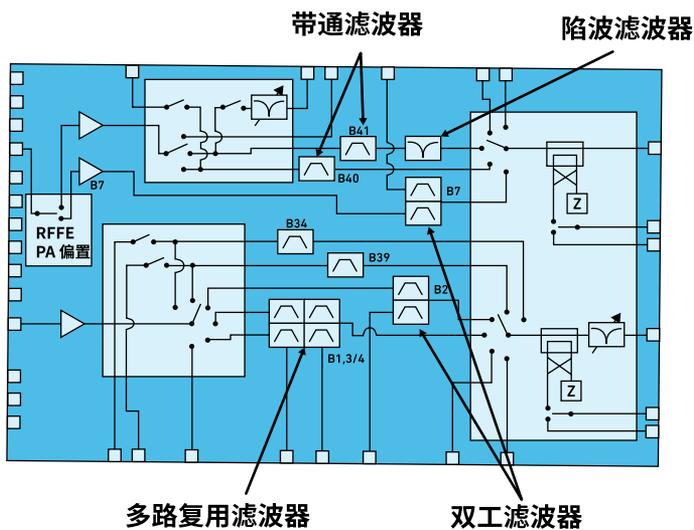


图 3-1: 功能框图中的带通滤波器、双工器、陷波和多路复用器。

一个简单的双工器可以与其他的双工器和滤波器组合，创建更复杂的多路复用器设计。就像频分双工 (FDD) 频段是 1 和 3，时分双工 (TDD) 滤波器是频段 41。

如今的无线系统和设备必须支持更多的功能，所以它们需要使用更加小巧的组件。将多个不重叠的滤波器频段集成到一个多路复用器中，可帮助减少射频前端 (RFFE) 的组件数量和尺寸。图 3-2 展示了一些类型的多路复用器设计，它们帮助减少总体的 RFFE 组件数量，以满足新设备减小尺寸的要求。多路复用器使系统设计人员能够优化、缩小和简化整体设计，以满足系统要求。

多路复用器是一种非常好的解决方案，并且在许多情况下，对于使用小间隔频段的载波聚合 (CA) 组合，多路复用器是唯一切实可行的解决方案。多路复用器将聚合分量载波 (CC) 所需的所有发射和接收滤波器集成至一个元件中，不仅进行了必要的隔离，而且允许多个 CC 同时连接到天线。

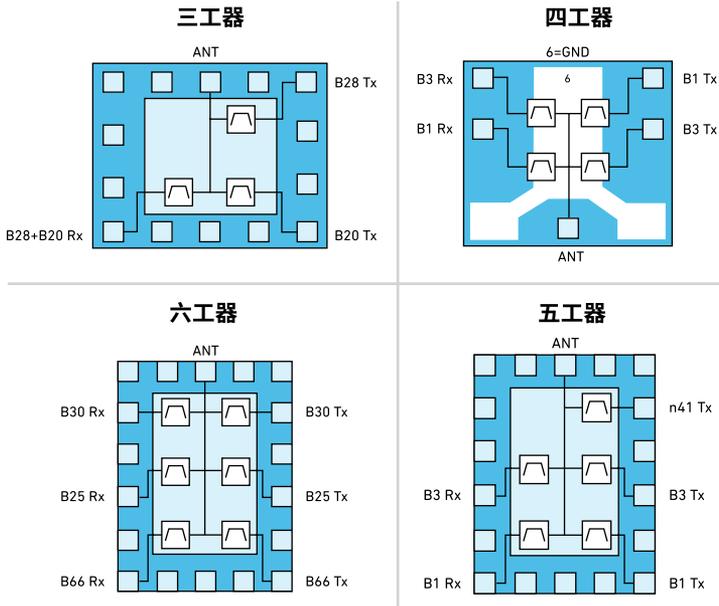


图 3-2：多路复用器滤波器的类型。

为了获得所要求的性能，多路复用器滤波器必须经过精心协同设计和匹配。图 3-3 显示了每个滤波器的六工器 RF 插入损耗。正如大家所看到的，这个多路复用器（六工器）中的每个双工器都是匹配的，以实现最佳插入损耗和通带。此外，单个滤波器的设计确保它们不会相互加载。



谨记

凭借高集成度，设计优良的多路复用器能够为移动设备工程师带来更多好处。与使用分立式滤波器相比，将多个滤波器整合至单个组件可以节省关键的印刷电路板空间。



警告

关于在这些复杂的系统中使用可调滤波器，有过一些讨论。然而，使用可调滤波器可能不会提升系统的功能性，因为如今的所有系统都需要同时使用多个 RF 路径。为了适应这种多路径功能，可调滤波器可能变得更加复杂，所以制造商一直在推动将更高级的多路复用器设计用于更复杂的设计，例如八工器，它具有八条 RF 功能路径。

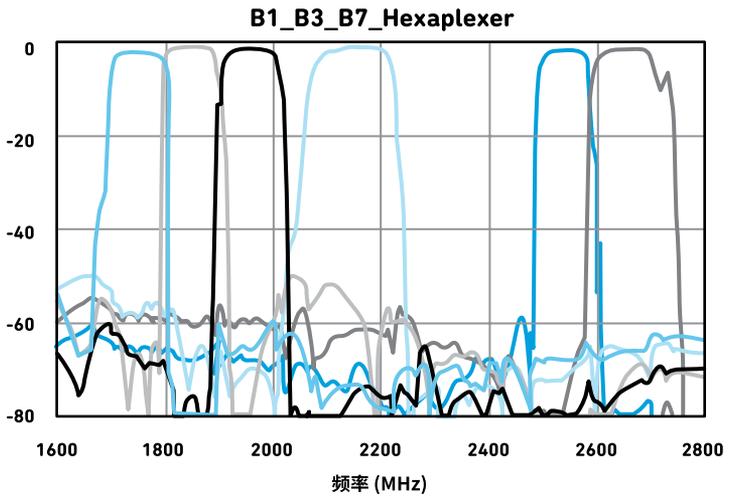


图 3-3: B1 + B3 + B7 六工器滤波器插入损耗测量。

了解多路复用器隔离和交叉隔离

第 2 章提到过，隔离程度和交叉隔离都是值得关注的重要参数。*隔离程度*是滤波器防止信号出现在 RF 电路或系统的某个节点上的能力。例如，需要在发射或接收路径提供高水平隔离，以免各个信号相互渗透。



技术内容

*交叉隔离*是指跨频段的隔离，如图 3-4 所示。双工器要求在相应的 Rx 频率输出端对 Tx 信号进行大幅衰减。对于四工器这样的多路复用器，需要在两个接收输出端对 Tx 信号进行大幅衰减。同样，现在必须在两个 Rx 输出端隔离 Rx 频率下的 Tx 信号，以控制 Rx 频段下的噪声。当您考虑所有的情况时，四工器中有八个重要的隔离，而双工器中只有两个。图 3-4 展示了频段 1 Tx 和 Rx 之间的隔离测量（上方的图）。对于相同的组件，我们展示频段 3 Rx 和频段 7 Tx 之间的交叉隔离测量（下方的图）。交叉隔离是对同一个组件中的两个不同的 Tx 至 Rx 频段之间的测量，隔离是对同一个频段的 Tx 和 Rx 之间的测量。

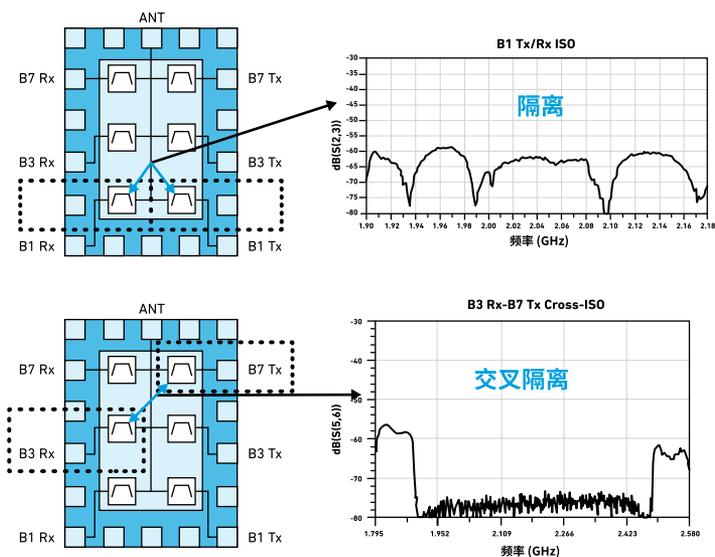


图 3-4：频段 1 RX 隔离和频段 1 和 7 TX 交叉隔离的测量。

多路复用器有助于实现聚合 RF 路径之间所需的交叉隔离，以实现在所有聚合载波上同步通信，同时衰减每个路径的带外 (OOB) 信号。

了解多路复用器和载波聚合

CA 是 RFFE 的另一个复杂功能。滤波器技术的进步是推动采用基于长期演进 (LTE)、4G 和 5G 的载波聚合 (CA) 的关键。滤波器材料在耦合、氮化铝增强和材料掺杂方面的进步有助于实现高 OOB 衰减、低回波损耗和启用多路复用器滤波器 CA 所需的交叉隔离。

随着 CA CC 数量的增加，多路复用器的重要性会不断增加。例如，聚合三个或更多的 CC 会显著增加使用紧密连接的频段的可能性。这些机会增加了使用多路复用器的可能性，例如四工器或六工器。

CA 使微波设备能够通过组合两个或多个载波信号来实现更高的数据速率。随着越来越多的波段被添加到组合选项中，CA 变得更加复杂。5G 定义了数百种最多可达 16 个 CC 的新组合，每种组合的连续带宽可达 100 MHz，总聚合带宽可达 1 GHz 左右。

CA 可以分为三类，如图 3-5 所示：

- » **带内连续聚合：**当频谱模块是同一频段内相邻的频谱时使用。
- » **带内非连续聚合：**当频谱模块在相同的频段内彼此独立时使用。
- » **带间聚合：**不同频段中的频谱聚合。这些频段可能远远隔开，或连在一起。

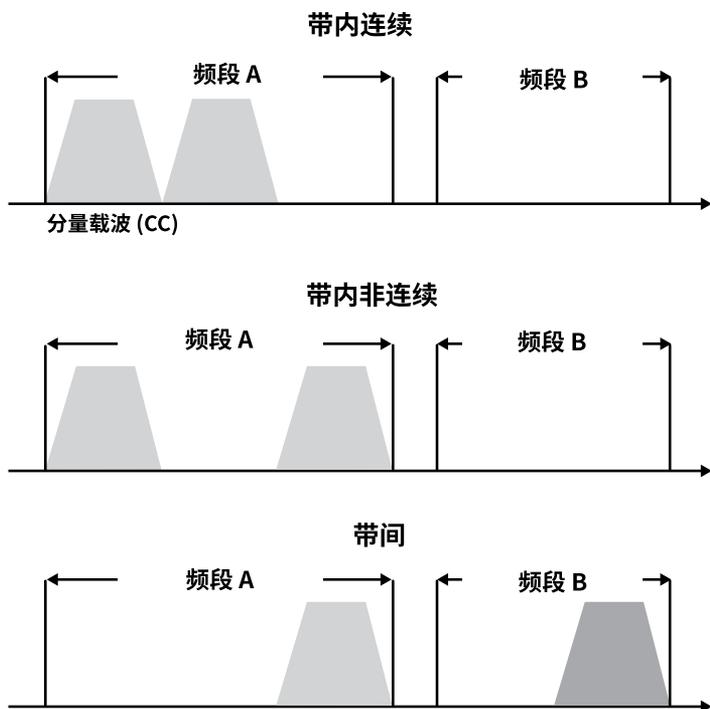


图 3-5：三种类型的 CA。

具有高 OOB 抑制的线性多路复用器滤波器支持使用多种 CA 组合。通过使用最新的滤波器技术，例如 BAW，工程师可以使用最小插入损耗低于或约为 1 分贝 (dB) 的多路复用器。这种低插入损耗最大程度降低了对功率放大器电流消耗和设备电池使用寿命的负面影响。像 BAW 这样的增强型滤波器技术还提供出色的频段隔离和交叉隔离，以获得最佳的系统级性能。



警告

重要的是要注意 CA 有更大几率会导致干扰。多频段信号可能因滤波器衰减不足而相互干扰。当 Tx 和 Rx 路径之间的隔离或交叉隔离不足时，也会发生系统减敏，从而造成接收器灵敏度降低的情况。

多路复用器中使用的低温补偿滤波器技术非常适合用于跨频段优化隔离、衰减和 OOB 衰减性能，帮助设计人员应对这些挑战。

此外，在 CA 应用中，与滤波器一起使用的 RFFE 开关需要超高的线性度和低插入损耗。由于插入损耗的增加可能导致系统噪声增加，所以设计人员必须采用接收器路径。插入损耗如果不佳，也会降低整体的 PA 效率，降低电池使用寿命和设备信号范围。

移动设备采用高速上行 / 下行链路来传输视频和数据。接收器的灵敏度会受到噪声的影响，进而影响信号的接收。该噪声会导致系统减敏。



谨记

减敏是由于噪声源导致的接收器灵敏度下降，这些噪声源通常是由相同的设备无线电产生的。

EN-DC 多路复用器和载波聚合

4G LTE-Advanced Pro 支持多达 5 个 CC。5G 新无线电 (NR) CA 支持多达 16 个连续和非连续的 CC，可以聚合频谱高达约 1 Ghz 的新 5G 频段，如图 3-6 所示。双连接允许用户设备同时发送和接收数据。再加上 CA，可以增加网络的数据容量。

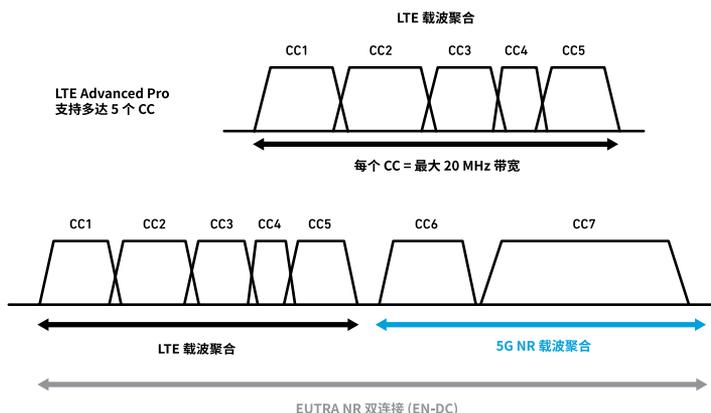


图 3-6: LTE 和 5G NR CA。



技术内容

双连接也广泛用于新的 5G 设备中。双连接使用户设备能够同时在两个单元小组（主进化节点 B [eNB] 和次节点 eNB）的多个 CC 上发送和接收数据。使用演进的通用陆地无线接入 (E-UTRA) (这是第 3 代合作伙伴计划 (3GPP) 的无线接口) 和 5G NR 双连接或 E-UTRA NR 双连接 (EN-DC) 时，网络可以利用 4G 和 5G 频谱来增加用户吞吐量，提供移动信号可靠性，并支持 eNB 的负载均衡。

非独立和 EN-DC

5G 无线电访问网络 (RAN) 专用于和现有的 4G LTE 网络配合使用。3GPP 版本 15 标准允许采用多种 NR 部署选项，例如非独立 (NSA) 和独立 (SA)。有关 NSA 和 SA 的更多信息，请阅读 Qorvo 的 5G RF *For Dummies* 电子书，阅读网址：www.qorvo.com/design-hub/ebooks/5g-rf-for-dummies。NSA 使用的方案与 CA 非常相似。它组合采用 LTE 锚频段进行控制，采用 5G NR 频段提供更快的数据速率，如图 3-7 所示。NSA 是一种部署模型，在没有端到端 5G 网络的情况下提供 5G 服务。其中用到了 EUTRA 和 NR 双连接。在 EN-DC 中，LTE 和 5G NR 载波同时使用。使用 EN-DC 时，一个设备传输两个高功率 RF 信号。

这种配置需要在智能手机狭小的设备区域中集成两条完整的上行链路信号路径。这带来了很大的挑战，即需要避免两个强信号彼此干扰。在这些情况下，必须实现高隔离滤波。

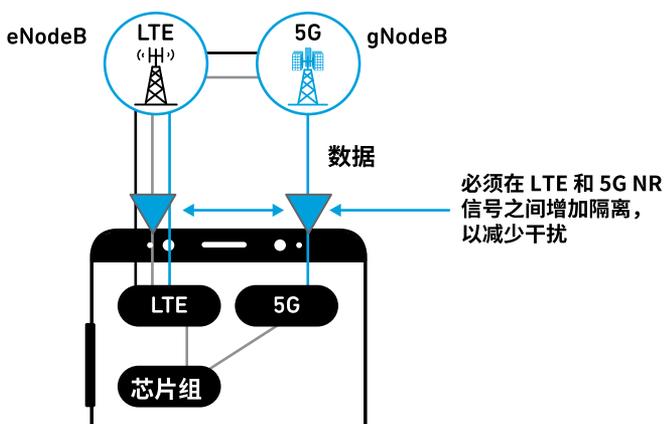


图 3-7: LTE 和 5G NR CA。

这两条信号路径之间的高度隔离对于限制互调产物和满足 OOB 发射规范来说至关重要。此外，在信号路径之间使用高度隔离的多路复用器，可在两个上行链路信号之间实现共存，进而提高效率，使智能手机和移动网络运营商可以节省电池用电和能源。

第 4 章

了解天线复用器

如今的制造商面临着一个重要的架构决策。他们可以尝试在不断缩小的设备区域内增加更多的天线，但这有可能降低天线性能，从而影响设备的整体性能。或者，他们可以选择使用新的替代方案：天线复用器，该器件可减少添加天线的需求，并可满足共存滤波和插入损耗要求。

在本章中，您将了解天线复用器如何用更少的天线实现更多的功能，并了解在许多无线应用中使用它们的优点。

为何如今的设备需要使用天线复用器

我们回头再看看第 2 章中的图 2-7，该图显示了天线复用器和多路复用器之间的不同。注意，天线复用器用于天线附近以降低复杂性，而多路复用器更靠近射频前端 (RFFE)，位于功率放大器 (PA) 附近。

天线复用器解决了 5G 系统无线制造商面临的一个关键挑战：在工业设计不断演进，导致可用的天线区域不断缩小的情况下，如何应对射频 (RF) 复杂性的急剧增加。通过利用天线复用器，制造商能够使用更少的天线满足新的 5G 频段、4x4 多路输入 / 多路输出 (MIMO)、多样性功能和其他新要求，同时不会对现有外形尺寸或功能产生影响。

在移动设备 Wi-Fi 应用中，天线复用器滤波器在降低设计复杂性和促进共存方面发挥着关键作用。它们还有助于提供高度隔离，帮助降低天线设计中的隔离参数，并允许使用成本更低的天线。如此一来，RFFE 隔离参数不再需要完全依赖于天线。这可将天线和屏蔽的成本降低高达 20%。

增加新的蜂窝和非蜂窝频段提高了所有无线电子设备中射频 (RF) 路径的总数，包括智能手机、汽车、Wi-Fi 网关等。例如，一部典型的 5G 智能手机 (支持毫米波 (mmWave) 和超宽带 (UWB) 频段)，其 RF 路径数量是传统 4G 手机的两倍。如今的许多手机需要六根或更多天线来使用主蜂窝和各种接收功能 (参见第 2 章中的图 2-4)。每条 RF 路径都需要连接至天线，但因为可用空间有限，要将天线的数量翻倍根本不可能。

此外，增加天线数量意味着它们必须彼此靠近，从而会降低天线之间的隔离度。这会导致耦合相关问题，从而增加射频前端 (RFFE) 中存在非线性元件的可能性，使接收器的灵敏度降低。

图 4-1 显示了多个频段；注意这些频段彼此的连接有多紧密。例如，Wi-Fi 2.4 GHz 和 GPS L5 都落在低频段和中高蜂窝频段之间。

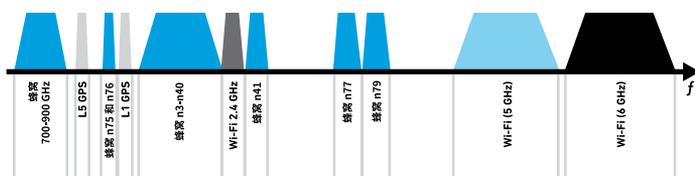


图 4-1: 智能手机设备中使用的多个频段

天线复用器有助这些单个频段彼此共存。它允许通过一个天线传输大带宽，为工程师降低了使用天线的复杂性。然后，由天线复用器将这个大带宽分成多个波段。如果没有天线复用器，就需要使用更多天线和开关。

天线复用器在分离单个低、中、高峰窝频段、Wi-Fi 和 GPS (L5、L1) 信号方面发挥着关键作用，同时有助消除干扰和降低系统损耗。在图 4-2 中，上方的智能手机图片显示天线上有许多个单独的滤波器。此外，左上角的图像中有三根天线。底部的智能手机图片显示在这种设计中采用天线复用器如何帮助降低复杂性、组件数量和尺寸。如左下方的图所示，使用天线复用器之后，您可以将天线的数量从 3 个减少到 1 个，还可以将组件数量从 4 个减少到 1 个。此外，如右下方的图所示，增加天线复用器可以将组件数量从 4 个减少到 2 个。这证明了天线复用器能够让系统工程师更轻松地构建设计。

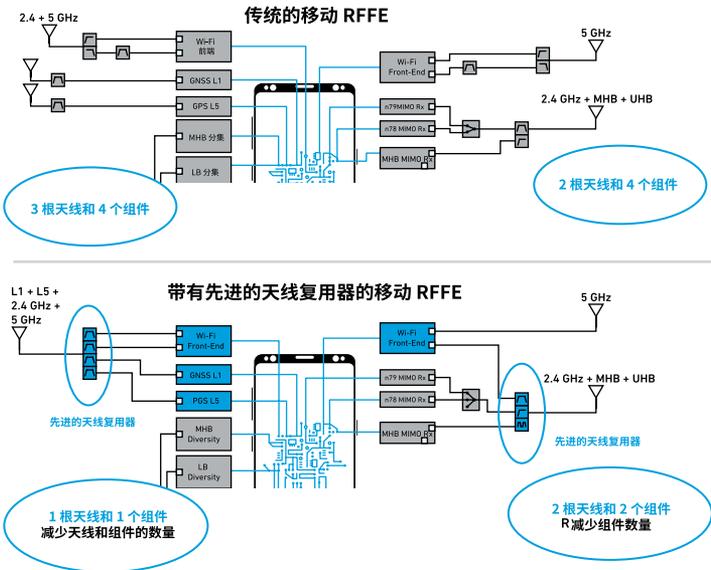


图 4-2: 智能手机有或没有天线复用器解决方案。



谨记

天线复用器为系统和模块设计人员提供了许多优点。它不仅减少了所需天线的数量，还在降低系统级减敏率的同时尽可能提高了性能。它还有助于提高设计灵活性，以支持架构和工业设计方面的变化。通过使用天线复用器，智能手机等设备可更有效地利用现有的天线面积，同时增加对新频段的支持，且不会对现有外形尺寸或功能产生任何影响。

深入了解天线复用器技术

现在您已经了解了使用天线复用器的原因，下面来看看其使用原理。在这一节中，您将了解天线复用器和隔离的类型。

了解天线复用器的类型

图 4-3 显示了多种天线复用器版本，它们都使用单根共享天线。例如，图中右上角所示的三工器分割了传输至一根天线的 Wi-Fi、中频段和超高频段，同时提供实现最优共存所需的带外 (OOB) 抑制。图 4-3 中剩余的两个天线复用器功能相似，但通过在系统中寻址蜂窝网络、Wi-Fi 和全球导航卫星系统 (GNSS) 来实现。但是，可以实现多种天线复用器滤波器组合。

了解天线复用器隔离

和多路复用器一样，天线复用器也需要在滤波器和频段之间提供高度隔离，如图 4-4 所示。该图显示了在该天线复用器中测量隔离的全球定位 L5 和 GNSS 滤波器。右图显示的是集成在同一封装设计中的两个滤波器之间的信号隔离水平。通常，基于声波滤波器的天线复用器具有最佳性能，因为它们集成了低插入损耗、多频段共存的地址 OOB 抑制功能，且共用天线的 RF 频率之间具有高隔离度。它们还支持适用于 5G、Wi-Fi 和 UWB 的超高频率。

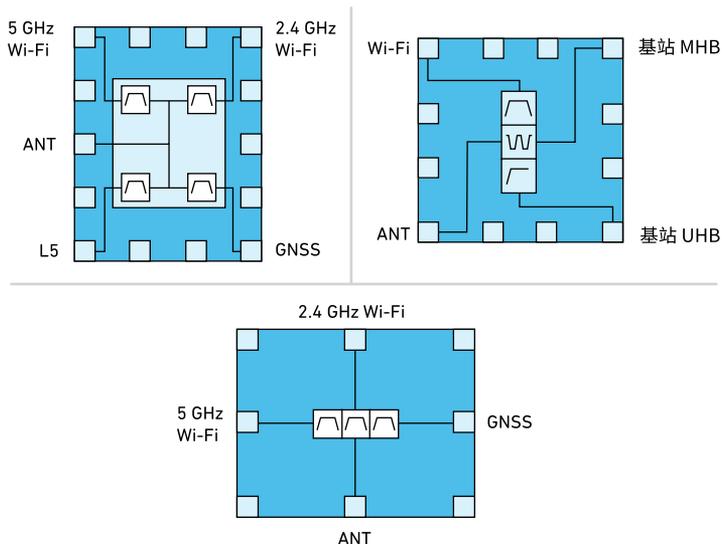


图 4-3：一些天线复用器示例。

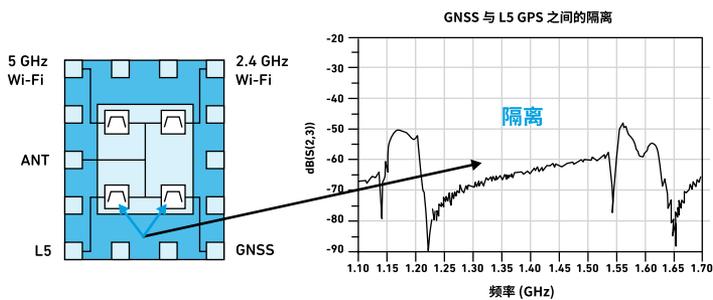


图 4-4：天线复用器隔离测量。

- » 总结 RF 滤波器技术的优势
- » 回顾 RF 滤波器采用的基本技术
- » 了解多路复用器和天线复用器的作用

第 5 章

十大关键点

赶 时间？那就从这里看起吧！这个精简列表概述了本书的要点。阅读这些章节要点，如果看到您感兴趣的内容，可在之前章节中查看完整的阐述说明。

- » **频谱是稀缺资源，射频 (RF) 滤波器有助对大量频段进行分类。**
无线网关、智能手机、基站和许多其他设备中使用的 RF 滤波器技术可以减轻串扰干扰，保持峰值信号性能，并优化系统效率。
- » **压电效应是一种可逆的物理现象。**晶体物质在受到机械应力时产生电流，反之亦然。当施加电场或电压时，晶体会会有微小幅度的拉伸。压电材料将施加的机械应力转化为电能，也能将电能转化为机械应力。
- » **体声波 (BAW) 技术提供出色的散热性能。**BAW 中包含不带气隙的堆叠反射器，在满足严格的设备散热和性能方面，它比其他方案更为适用。
- » **滤波器隔离程度用于测量从一个 RF 端口路径泄露至另一个 RF 端口路径的功率量。**两个 RF 信号路径之间的隔离程度越高，泄漏越低。滤波器中的高度隔离和交叉隔离意味着信号之间不太可能彼此渗透、导致干扰和减敏。

- » **减敏表示接收器灵敏度降低。**当噪声源可能是由设备本身的无线电产生时，就会发生接收器减敏。使用高度隔离的 RF 滤波器对个别信号路径进行适当隔离，可以防止无线电的另一条路径上出现信号或噪声。
- » **交叉隔离表示跨频段隔离。**双工器要求在相应的接收 (Rx) 频率输出端对发射 (Tx) 信号进行大幅衰减。对于四工器这样的多路复用器，需要在两个接收输出端对 Tx 信号进行大幅衰减，而非只是在对应的输出端进行衰减。例如，频段 1 和 3 四工器需要在 Rx 频段 1 和频段 3 上对频段 1 Tx 进行大幅衰减。频段 3 亦是如此。
- » **多路复用器使系统设计人员能够优化、缩小和简化他们的设计。**例如，智能手机有许多 RF 路径。多路复用器可以用来整合多个 RF 路径，使用更少的器件，以降低系统复杂性、路径损耗和尺寸。
- » **多路复用器是影响载波聚合 (CA) 的重要因素。**聚合三个或更多的分量载波 (CC) 会显著增加使用紧密连接的频段的可能性。多路复用器有助实现 CA，同时减少信号干扰。
- » **天线复用器为系统设计人员提供了许多优点。**在智能手机等设计中采用天线复用器可以减少天线数量，最大程度提升性能和系统级灵敏度，并提供更多的设计灵活性。
- » **天线复用器将多个 RF 滤波器组合集成到一个封装中。**天线复用器支持多种不同的无线电，包括 Wi-Fi、全球定位系统 (GPS)、超宽带技术 (UWB) 和蜂窝网络，以增加能够共享设备中单个无线电天线的频段的数量。

Qorvo® 滤波器解决方案

支持复杂的载波聚合, 蜂窝, 5G, 汽车, Wi-Fi, 智能家居架构等。

各种无线电 (GPS, Wi-Fi, 包括 5G 的蜂窝网络) 多路复用, 以共享单个天线



减少所需的天线数量, 为更小的边框和更大的无边框屏幕提供空间

出色的插入损耗, 隔离和功率处理



可延长电池续航时间, 减少通话掉线, 从而提升用户体验

广泛可扩展的天线复用器和多路复用器产品组合



实现设计灵活性, 以支持架构和工业设计变化

内部大规模晶圆制造, 组装和测试



可缩短上市时间, 同时提高品质, 尽可能减少缺陷

领先的衰减性能



支持双上行链路载波聚合 (CA) 和 EN-DC

查看我们的设计中心

从物联网和智能手机到国防应用, Qorvo 创造美好的互联世界。访问 cn.qorvo.com/design-hub, 浏览我们的资源, 了解如何实现此目标。

资源类别: 可下载软件

 Qorvo MatchCalc™

GaN 模型

 Modelithics®
Qorvo GaN Library

设计工具

 PCB 跟踪功率处理计算器

 级联计算器

 RF 阻抗匹配计算器

 框图

 博客

 手册

 电子书

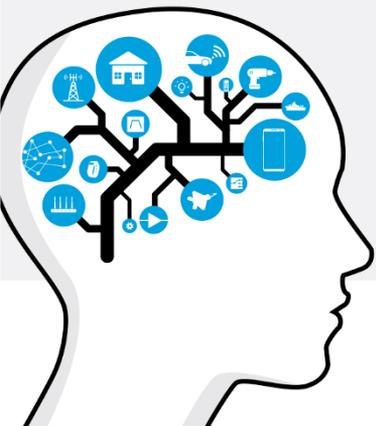
 视频

 技术文章

 白皮书

 信息图表





探索 RF 滤波器技术

RF SAW 和 BAW 滤波器技术被用于许多移动、Wi-Fi、汽车、GPS 和蜂窝基础设施应用中。这些 RF 滤波器技术使这些无线应用中的多个频段能够和谐共存。尽管这些滤波器技术已经存在了几十年，但它们经过不断发展，已经可以应对如今的复杂通信系统中所出现的许多新挑战。RF 滤波器帮助微波领域实现了许多技术进步，例如载波聚合、汽车中的 Wi-Fi 共存、天线信号路径管理，以及 Wi-Fi 网关中的 RF 信号范围扩增。

RF 滤波器已广泛用于我们身边的许多微波技术产品中。如今的 RF 滤波器为工程师助力，使下一代无线系统成为现实。

本书内容：

- 了解 RF 滤波器的独特材料属性
- 了解 RF 滤波器如何用于如今的许多无线应用中
- 了解 RF 滤波器技术如何助力实现下一代复杂设计
- 寻找最适合自身应用的滤波器技术
- 了解共存背后的秘密

QORVO[®]
all around you

访问 Dummies.com[™]，
获取视频、分步说明照片、指导
文章或进行购物！

ISBN: 978-1-119-89836-8

不得转售



for
dummies[®]
A Wiley Brand

WILEY END USER LICENSE AGREEMENT

Go to www.wiley.com/go/eula to access Wiley's ebook EULA.