

适合于 V2V 和其他汽车电子应用的 先进 RF 滤波器

作者：
Robert Aigner、Connie MacKenzie、Alex Zajac

摘要

在本文中，我们将探讨 BAW 滤波器技术的三个关键挑战：DSRC 频段中的 802.11p、LTE-Wi-Fi 共存以及卫星无线电。我们还将专门讨论与汽车应用有关的可靠性和温度稳定性。

引言

随着汽车具备更多数字化功能，它们会依赖更多的无线技术来与外界来保持通信。目前，许多车辆都支持 LTE 数据连接，可作为小型 Wi-Fi 热点。未来几年，利用 5.9 GHz 专用短程通信 (DSRC) 频段上的 IEEE 802.11p 标准，有关车辆间 (V2V) 和车辆与基础设施间 (V2X) 通信的长远规划目标终将成为现实。随着碰撞避免和其他智能交通运输的应用，终将证明它们对消费者和其他相关者（例如保险公司和政府机构）的价值，该技术最终有望覆盖整个汽车行业的数百万辆汽车。

随着这种互联汽车趋势不断发展，汽车将越来越多地使用与其他用途的频段更为接近的更高的 RF 频段，而这些频段之间的干扰将成为一个重要问题。在许多情况下，频段之间几乎无间隔，因此非常难以满足减少带外杂散的监管要求。举例来说，DSRC 频段非常接近欧洲收费系统使用的 5.8 GHz 频段，而车载卫星无线电服务使用的频谱与相邻的 LTE 频段之间则只有几 MHz 的间隔。

如要避免在这些情况下产生干扰，高性能 RF 带通滤波器就应具备高频能力。这些滤波器须提供陡峭的过渡带，防止信号干扰相邻频段，且通带应具有低插入损耗，以保证输出功率和覆盖范围。汽车应用中使用的滤波器也必须能够在恶劣环境条件下运行，在预期的汽车使用寿命内可靠运行，同时适应极端温度和湿度。特别是 DSRC 也带来了挑战，要在远高于传统手机频段的频率下提供这一性能。

只有体声波 (BAW) 滤波器具备所有这些特性，能够提供 5.9 GHz 频段所需的所有功能。BAW 滤波器属于声波滤波器，基于大量沉积层构成，包括薄膜压电层和板形电极。声波垂直穿过这些沉积层，层厚决定谐振频率：层厚越薄，频率越高。BAW 滤波器提供陡峭过渡带，其高品质因数 (Q) 高达 3,000，尺寸远小于传统陶瓷和介质滤波器。BAW 滤波器选择性精度高，尺寸小巧，被广泛用于智能手机和其他移动设备；这些特性也使它们适合于高级汽车 RF 应用。BAW 滤波器一般用在高于 1.5 GHz 并且需要高性能的应用中，此技术基本上能够适应高达 10 GHz 以及更高的工作频率。

但是，制造 BAW 滤波器的过程并不容易，且频率越高，难度越大。如果 BAW 滤波器要在 6 GHz 条件下工作，那么层堆栈中的所有薄膜（包括电极）都必须非常薄。出现的难点涉及电极的表面电阻以及能否构建足够平滑、均匀的层。此外，固体材料的声损耗也随频率平方增加而增大。因此，需要采用专业制造流程来弥补与温度相关的频率漂移，确保获得所需的可靠性。

802.11p 和欧洲收费系统

5.9 GHz DSRC 频段就是频段推动先进 RF 滤波器技术极限的最佳示例。其频率高于现有手机频段的频率，所需的过渡带陡峭度也非常严格。在这种频率下，传输链所有部件的损耗都将非常高，且链路预算将取决于滤波器防止与其他系统产生干扰的能力。

对于此频段下运行的 802.11p 系统，一个重要的问题是如何与欧洲电子收费系统共存。在许多欧洲国家，这些收费系统都在 5795-5815 MHz 频段工作，欧洲电信标准协会 (ETSI) 也制定了严格的带外杂散要求。

截至目前，尚未出现支持 802.11p 系统满足 ETSI 要求的可行且经济的解决方案。如图 1 所示，解决方案必须能够在整个 DSRC 频段内提供低插入损耗，具备极为陡峭的过渡带，以避免与收费系统使用的频谱（仅有 15 MHz 的保护间隔）产生干扰。如果不具备高品质因数 ($Q > 1,000$)，则滤波器无法应对这些挑战。基于测试结构得出的仿真结果确认，BAW 滤波器能够超越这些需求，并且在这个频段具备高于 0.15% 的频率误差。

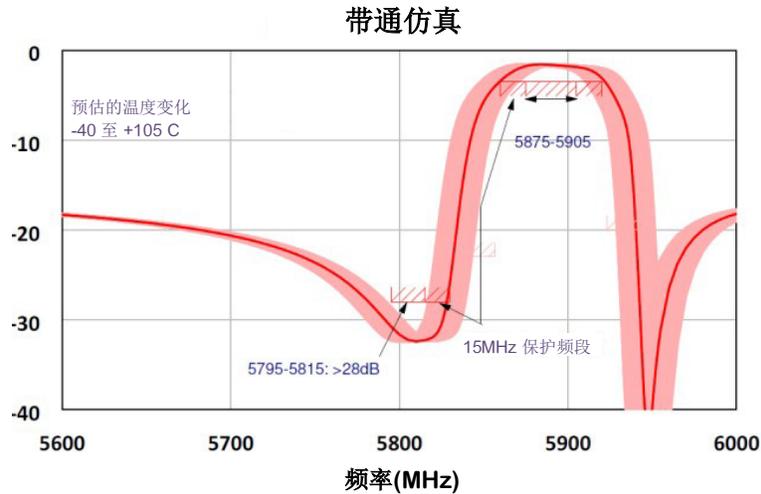


图 1. 仿真显示 802.11p BAW 滤波器为了避免与欧洲电子收费系统产生干扰所需要的性能

在宽的温度范围内，汽车滤波器必须能够满足这些严格的要求。在避免相邻频段之间的干扰时，温度漂移 — 滤波器频率响应随温度变化出现的漂移 — 成为了最大阻碍。对于汽车应用，由于其规定的运行温度一般在 -40 C 至 +105 C 之间，所以这一问题尤其严重。车辆的驾驶条件多变，有夏季的酷热，也有冬季的严寒，而滤波器所在的位置常常面临更大的温差和热应力，例如车顶天线或发动机舱。

相比其他滤声器，BAW 滤波器本身对温度变化的敏感度较低，但即使如此，采用传统 BAW 制造流程也可能无法达到欧洲对 DSRC 系统的严格要求。要解决这个问题，就需要更加先进的流程，制造出能够更稳定响应温度变化的滤波器。滤波器材料一般会随温度升高而软化，这种情况造成了温度漂移；可通过添加二氧化硅 (SiO_2) 来抵消这种影响，这种材料的表现正好相反，会随温度上升而变硬。这种温度补偿可将温度漂移量降低至接近 0，使 BAW 滤波器的频率温度系数 (TCF) 保持在 $0 \pm 2 \text{ ppm/C}$ 。

卫星无线电和 WCS 频段

卫星无线电是另一个示例，标准的 BAW 滤波器已经无法满足要求，需要温度补偿型 BAW 滤波器。卫星数字广播音频服务 (SDARS) 频段位于 FDD-LTE Band30 的上行链路和下行链路频段之间，在无线通信服务 (WCS) 频谱 (图 2) 上工作。SDARS 频谱每侧只存在一个 5 Mhz 的保护间隔。为了支持卫星广播服务的运行，同时避免相邻的 WCS 频段相互干扰，需要使用一个 TCF 接近 0 的全温度补偿型 BAW 滤波器。该滤波器内嵌在汽车天线之中。



图 2.卫星无线电/LTE Band 30 共存挑战。

Wi-Fi/LTE 共存

Wi-Fi 和 LTE 通信在汽车中通常必须共存，因此要求两者能在不干扰的情况下同时运行。许多车型目前都被用作 Wi-Fi 热点，通过 LTE 数据连接，与外界进行数据交换。乘坐汽车的人员也可能同时在其移动设备上使用这些技术。

最大的挑战在于 2.4 GHz Wi-Fi 与 LTE Band40 和 41 之间的共存。Band40 是一种 TDD-LTE 频段，在中国境内使用。Band41 则在中国和美国境内使用。Band7 主要在欧洲使用，也接近 Wi-Fi 频谱。LTE Band40 和 Wi-Fi channel 1 之间只有 1 MHz 的保护间隔，Wi-Fi channel 14 和 LTE Band 41 之间也是如此。使用温度稳定型 BAW 滤波器，只需牺牲极小带宽即实现了 Wi-Fi 与两种频段的共存。

可靠性

对于用在汽车中的滤波器，可靠性是一个重要问题，因为汽车的使用寿命比其他设备（例如智能手机）要长得多。因此，比起其他商业应用，汽车滤波器应接受更广泛的测试和审核。美国汽车电子协会针对无源器件（例如滤波器）的 AEC-Q200 质量标准包括对高温和温度变化条件下的稳定性的严格应力测试；耐湿性；以及机械应力，例如冲击、振动和板子变形。

结论

随着各类无线设备激增，更多无线频段分配到更高频率，以及全球频谱管理仍然维持碎片化流程，RF 干扰抑制将变得更加具有挑战性。温度补偿型 BAW 滤波器（例如 Qorvo 的 NoDrift™ 和 LowDrift™ 滤波器）提供温度稳定性、高品质因数以及陡峭过渡带，使得 BAW 技术能够满足汽车行业最严苛的要求。利用 BAW 实现良好的性能和可制造性并不容易：这需要拥有高超的流程控制力和独特的材料科学知识。汽车应用滤波器制造商还应展示产品在温度和环境压力条件下经过检验的可靠性。

如需了解更多信息，请访问 www.qorvo.com/applications/automotive。