

为何 FM 信号承载的音频只到 15KHz?

度纬科技 Application Notes-065-V1.0

www.doewe.com/info@doewe.com

一、标准解读

相关国际标准 ITU-R BS.450、BS.640 以及中国《调频广播技术规范》都明文规定：

- 音频通带 50Hz–15kHz (± 1 dB)
- 15kHz 以上衰减 ≥ 40 dB

标准将 FM 承载的音频信号频率限制在 15KHz 是为了防止邻道干扰，降低噪声，从而保证全球兼容。

若发射端把 15kHz 以上频率的能量放出去，一般来说会被判定为“超标发射”。

二、标准限制 15KHz 的原因

在 FM 广播里把音频信号的上限频率限制在 15kHz，主要有三方面原因：

1、人耳可听范围与主观感知

- 人耳对 15kHz 以上的声音非常不敏感，成年人往往只能听到 16–17kHz 以下，继续保留更高频段

对“听感”几乎无贡献。

- 音乐中的泛音能量在 15kHz 以上迅速衰减，保留它们对音色改善微乎其微，却带来额外噪声和失真。

2、带宽与信噪比的经济权衡

- FM 的频道间隔通常为 200kHz（北美）或 100kHz（欧洲部分国家）。
- Carson 带宽公式： $B \approx 2(\Delta f + f_m)$ ，其中 Δf 为最大频偏（75kHz）， f_m 为最高音频频率。
 - 若 $f_m = 15\text{kHz} \rightarrow B \approx 2(75\text{k} + 15\text{k}) = 180\text{kHz}$ ，刚好落在 200kHz 的频道内。
 - 若 f_m 提高到 20kHz $\rightarrow B \approx 190\text{kHz}$ ，边缘余量太小，邻道干扰风险大增。
- 更高的 f_m 还会让噪声功率（与 f_m^2 成正比）显著上升，降低信噪比

因此整体上来看，限制在 15kHz 可在“可听带宽”与“系统噪声”之间取得最优折中。

3. 历史标准与兼容性

• 1961 年制定的 FM 立体声标准直接沿用了早期单声道 FM 的 15kHz 上限，全球接收机无需改动即可兼容。

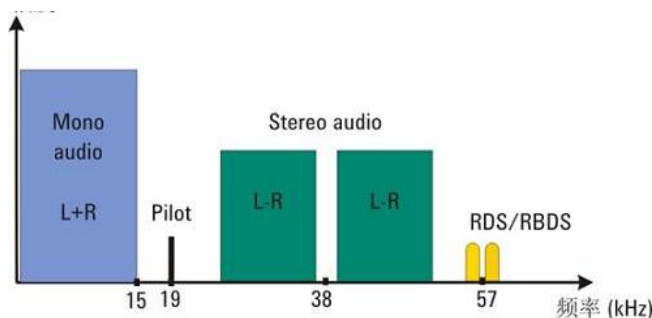
- 电视伴音、无线麦克风、对讲机等大量衍生系统也照此设计，形成产业惯性。

因此，FM 广播把音频上限定在 15kHz，是一种兼顾“人耳感知、带宽利用、信噪比、历史兼容”的综合工程决策。

鉴于此，预加重曲线也都是到 15KHz。

三、现代仪器的设计架构限制

我们看一下 MPX 的频谱图，如下：



现代仪器得益于现代电子技术的发展，可以通过更多的软件工程实现仪器更灵活的升级和兼容性，比如一台仪器可以实现多个标准的兼容。但是软件工程主导的仪器也会有一些缺陷，毕竟“鱼和熊掌不可兼得”。

现代仪器或多或少都会更多采用软件技术，比如软件滤波。我们要对 MPX 进行解码时，就需要利用软件滤波来进行处理。为了更好的获得 L 和 R 信号，我们需要进行低通滤波，考虑到 19KHz 的导频信号，滤波器截止频率需要在 15KHz 和 19KHz 之间做个权衡（滤波曲线影响），RWC2500A 选择在 16KHz，这也是我们的 LPF 设置只到 16KHz 的根本原因。不仅 RWC2500A 如此，ETL 也如此。

其实归根结底，还是整个标准体系基本只考虑到了 15KHz，所以导频才设置在 19KHz。

四、两个核心指标分析

基于上述分析，有两个核心指标需要讨论：

1、频率响应

频率响应按照标准要求测试到 15KHz 就可以反应性能，所以 RWC2500A 目前按照 15KHz 来显示结果。

值得注意的是：演播室应用比较特殊，演播室不仅仅应对 FM 广播发射要求，还要考虑各类其他的广播电视应用，比如 DAB/DRM 或 CDR 等数字广播应用，而数字广播是要求支持到 20KHz 的音频范围的。这类测试需要兼容到 20KHz。

2、THD 测试

THD 本质上是检测信号的谐波成分，最低是 2 次谐波。按照我们前述的 LPF 设置到 16KHz 为例，那么可以支持的基带音频频率就是 8KHz。换句话说，高于 8KHz 的基带音频，谐波成分将不会得到计算，因此所有的 THD 值理论上就是 0。

不仅 RWC2500A 如此，ETL 亦如此。

五、总结

现代广播测试仪器如 R&S ETL 和 RWC2500A，大都是在基础硬件架构上尽可能采用软件技术，实现更好的标准兼容性和扩展性，功能强大，展示灵活，数据导入导出方便。这类仪器与几十年前的晶体管仪器有所不同，很多滤波都是基于软件算法。

按照标准要求和实际测试仪器开发需要，针对 FM 立体声测试，我们实现到 15KHz 的频率响应测试已经满足标准要求。更重要的是，几十年前行业测试标杆仪器 FMAB 几乎绝迹，R&S 替代 FMAB 的仪器 ETL 也已停产，即便不停产，ETL 在某些表现上也不如 FMAB，尤其是滤波特性、谐波特性和平坦度方面。

RWC2500A 性能指标匹敌 ETL，同时解决了 ETL 不支持 AM 实时解调测试的问题。更重要的是，RWC2500A 解决了 FMAB 和 ETL 操作界面和流程极其复杂的问题。从这个意义上说，RWC2500A 是 FMAB 和 ETL 的完美延续，继续为广播发射质量保驾护航。