

白皮书

# 增强数字无线通信设备的性能

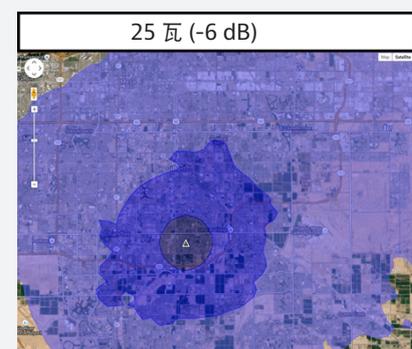
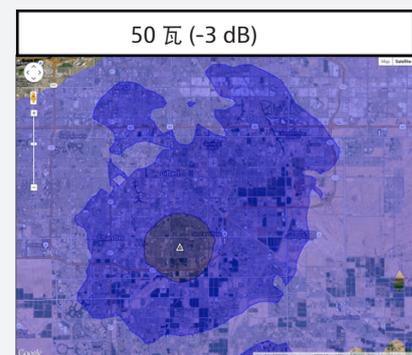
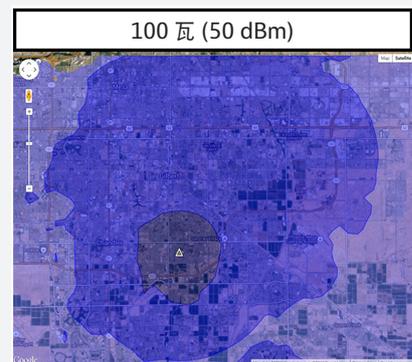
射频调制参数的正确测试和验证才能确保最佳的数字网络性能。

随着世界上许多地区的专网通信正从模拟制式向数字制式演进，我们必须认识到数字无线通信设备需要进行比模拟设备更加精确的校准才能够实现其最佳性能。校准过程需要测试和验证大量基于射频参数的特性和数值，如此才能最大程度地体现数字技术所带来的更高性能。而不正确的校准则会导致数字调制信号精度的下降，这对数字接收机恢复通信数据的能力会产生明显的负面影响。

## 简介

大多数射频专业人士都知道发射机功率的改变会直接导致通信覆盖范围的增减。假设除了功率电平之外，所有的技术参数与环境因素都保持不变，则随着无线电发射机功率电平的逐步降低，信号覆盖区域也将逐渐变小。这个明确的物理现象对于模拟和数字无线通信系统都是一视同仁的。

然而，对于数字无线通信系统而言，除了发射功率之外，数字信号的调制精度对通信覆盖范围同样有着显著的影响。实验室测试表明，数字无线电发射机的调制参数如果校准不当，同样会对处于远端的数字无线电接收机的性能产生明显的负面影响。实验数据表明，数字发射机调制参数20%的校准误差，对通信距离的影响程度几乎相当于发射功率被降低了75%。



了解数字无线设备的操作和校准，正确设置音频滤波器参数，以及进行更为精确的频偏测试，都将显著提高数字无线设备的性能。相反，进行不准确的频偏测量、选择不恰当的滤波器设置，以及对测试仪表规格和操作的缺乏了解，则会对数字无线设备性能产生巨大的负面影响。

## 模拟和数字通信技术对测试要求的差异

为了验证数字无线信号的调制质量，必须对数字射频发射机的一系列参数进行测量。在多种主流的数字专网无线通信制式中，信号的调制质量与调频 (FM) 频偏的数值直接相关。接收机必须接收到到一定质量要求的数字调制信号，才能正确的解码 1 和 0。这就需要发射机参数进行精准的测量，以确保发射信号的质量符合公开的技术规格。

为了在空中传输数字 1 和 0，许多数字无线专网通信技术使用了四频移键控 (4FSK) 的调制方式。4FSK 的调制方式意味着承载调制数据的射频载波（也被称为符号）有四种被允许的频率偏置状态。这些符号被称为“双比特位”，即每个符号代表两比特位的数据：00、01、10 和 11。频偏状态必须与符号时钟精确同步。对于 Project 25 (P25)，这些频偏点为 -1800 赫兹、-600 赫兹、+600 赫兹和 +1800 赫兹，并参考每秒 4800 个符号的符号时钟。因为每个符号包含两个比特位，所以比特速率是每秒 9600 位 (bps)。

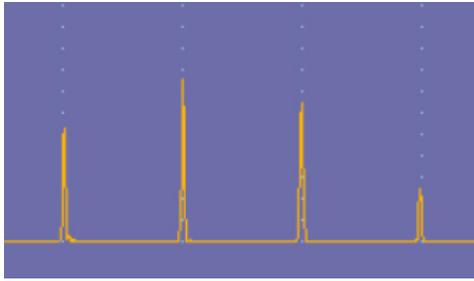
数字接收机则使用比特误码率 (BER) 作为标志参数用来测试接收灵敏度，这与模拟接收机使用信纳比 (SINAD) 读数进行接收灵敏度测试的原理是相似的。接收机工作过程中的产生问题会增加比特误码率，并对系统性能产生负面影响。在数字双向无线通信系统中，被发射机所发送的信号质量也会影响到接收机的比特误码率。

由于发射机必须在符号时钟的时间点用 4FSK 将载波调制到尽可能准确的符号偏置点，所以实际的符号频偏数值与理论值的差异也将影响接收机对无线信号的接收和分析工作。发射机调制精度的测量用调制保真度（在 P25 系统中）或 4FSK 误差来表示。在短距离无线传输过程中，调制质量欠佳的 4FSK 信号可能并不会对通信效果造成明显的负面影响。然而，在实际工作状态下，在发射机和接收机之间通过空中接口传输的射频信号都会收到很多外部因素所引入的负面影响。诸如噪声、干扰、多径和符号间干扰 (ISI) 等影响会降低接收信号的质量。

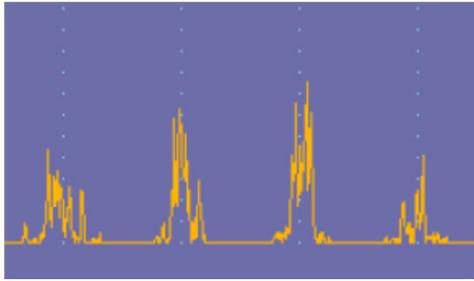
所有射频信号，无论是模拟信号还是数字信号，都会随着无线电波传输距离的不断增加而耗散功率，并且更容易受到噪声的影响。对于模拟信号，噪声将被直接解调并最终体现在扬声器的音频输出信号质量上。然而，对于数字 4FSK 信号，噪声会降低符号质量，使得数据恢复更加困难。不正确的调频频偏的校准会导致同样的问题出现，这将降低有效通信范围并恶化解调语音质量。

由于符号时钟与频率偏置状态的关系对于保障接收机进行正确的符号解码至关重要，因此为了确保数字系统的最佳性能得以体现，数字无线设备必须得到正确的维护和精确的校准。数字设备频偏校准的误差与用于该项校准的测试仪表的精度有直接的关系。在调制频率测试范围内，仪表的绝对精度和相对精度都是正确测量调制频偏的重要因素。无线设备的校准完成后，还必须验证数字调制性能（符号频偏和调制保真度或 FSK 误差）。这样的操作才可确保通过模拟参数校准后的设备可以产生良好的数字信号。

在所示的例子中，一旦信号质量受距离和环境因素影响进一步恶化，接收机将难以对调制质量欠佳的信号进行解码。



调制良好的 4FSK 信号



调制欠佳的 4FSK 信号

## 频偏测试仪

频偏测试仪可以看作是一个峰值响应的交流 (AC) 电压表，用于测量从被测接收机解调输出的音频信号。在数字无线设备的校准中，有两种不同类型的调频频偏测量要求：绝对值和相对值。

绝对值测量必须参考绝对值，射频功率、频率误差、音频电平和调制频偏都是参考绝对标准的参数。重要的是测量时要考虑所有可能影响这些测量结果的因素。调频频偏测试仪均为峰值读数；因此，其他频率分量将被叠加，并增加测量仪表所显示的频偏数值。噪声是频偏测量的最大附加因素。大多数采用超外差接收机原理的测试接收机或调制度分析仪都允许设置音频 (AF) 和中频 (IF) 滤波器，以限制允许通过并影响测量的噪声量。

例如，P25 无线设备的典型测量方式是将 1200Hz 音调的频偏数值设置为 2.83 kHz。这是一个业界通用的校准方式，也是一个需要绝对精度来表征频偏数值的示例，因为它将直接影响发射机数字信号的符号频偏。

相对值测量是测量某个音调的测试值相对于另一个音调测试值的关系。在 P25 和 DMR 数字无线系统中，需要首先测量低音调（例如 100 Hz），之后将相应的高音调（3 kHz 至 6 kHz）设置为与低音调的数值完全匹配。本质上是测试 3 kHz 或 6 kHz 的音调测试结果相对于 100 Hz 音调测试结果的差异。

调频频偏测试仪在不同频率之间的测试精度必须保持不变。换句话说，不应该有从一个频率值到另一个频率值的“明显斜率”。这个参数很重要，如一家设备制造商的规格所示，要求高音调的测试结果在低音调测试结果的 0.05dB 变化范围以内。测试平坦度是频偏测试时进行相对值测量的关键。

## 减少误差

当选择 AF 和 IF 滤波器时，较宽的滤波器将允许更多的噪声分量通过，这些噪声分量也将成为测量信号的一部分。因此，滤波器的设置应不超过必要的宽度，以减少因允许多噪声分量通过而引入的测试误差。同时滤波器设置也需要保证足够的带宽，以使通过滤波器的信号电平不会过多的被衰减。有一些方法可以帮助我们确定适当的滤波器设置。对于 AF 滤波器，通常将滤波器设置为音调频率的两倍，以适应音调频率。

对于 IF 滤波器，建议使用修改后的卡森规则确定带宽设置。卡森带宽规则的这种变化表明，滤波器宽度达到调制速率和调制频偏数值之和的两倍将可以通过模拟系统 98% 的音频能量。对于数字系统，我们需要获得大于 98% 的能量才能获得最精确的读数，因此基本规则是使用调制速率和调制频偏数值之和的三倍： $3 * (\text{速率} + \text{频偏})$ 。

旧款的调制频偏测试仪通常使用指针式的表头。仪表有一个指针，根据它在表盘上移动的角度指示测得的调制频偏数值。这种调制频偏测试仪的典型规格是：

范围	2 kHz 至 60 kHz (满量程, 2-6-20 序列)
精度	读数的 $\pm 5\%$ , 满量程的 $\pm 3\%$ (1 kHz 音调)

虽然这台仪表在  $\pm 5\%$  的精度水平上看起来相当不错，但该规格表明确提到需要增加满量程的  $\pm 3\%$ 。对于这种仪表，可用的仪表范围是 2-6-20 序列中的 2 kHz 到 60 kHz。如果我们测试一个 3 kHz 频偏的调制信号，我们必须使用 6 kHz 的测试范围。根据该规格表的表述，您的读数精度还必须增加仪表满量程数值的  $\pm 3\%$ 。因此，可以计算出仪表的实际测试精度。

测试 3 kHz 频偏的信号：

- 3000 Hz 读数的  $\pm 5\% = \pm 150$  Hz
- 6000 Hz 满量程的  $\pm 3\% = \pm 180$  Hz
- 可能的总误差 =  $\pm 330$  Hz
- 实际精度 =  $330 \text{ Hz} / 3000 \text{ Hz} = \pm 11\%$

另一个重要的问题是，这种类型的仪表没有规定在 1 kHz 以外的音频音调下的性能。当查看相对偏差测量值时，我们需要知道仪表在测试调制频率 100 Hz 和 6 kHz 之间的响应曲线是否平坦。对于上述的规格表，我们根本不知道这台频偏测试仪表在 100 Hz 和 6 kHz 下的测试精度。模拟仪表通常在 4 kHz 后滚降，如果与不正确的 IF 和 AF 滤波器设置相结合，则会产生超过 20% 的测量误差。数字仪表的规格也有类似的限制。仪表的典型规格是 3% 的绝对精度和 0 dB 的平坦度。

通过了解调频频偏测试仪误差如何影响无线电的数字 FSK 性能，我们可以确定发射信号的质量对接收机解码调制能力的影响。下表显示了对 P25 接收机的影响。由于调制类型的相似性，以下结果对于当前其他类型的数字专网无线系统来说也是具备参考意义的。在本例中，使用精度较差的调频频偏测试仪、对 IF 滤波器和 AF 滤波器设置不当，或者测试平坦度斜率过大，都会对接收机灵敏度造成相当于功率降低 72% 的影响。

校准误差	-5%	-10%	-15%	-20%
接收机比特误码率下降	-0.2 dB	-1.6 dB	-3.3 dB	-5.5 dB
等效功率降低	-5%	-31%	-53%	-72%

## 结论

正确理解数字无线电操作，可以显著提高系统性能。正确地设置音频滤波器参数和使用精确的频偏测试仪可以提高数字无线设备的性能。相反，使用不准确的调频频偏测试仪，再加上不正确的音频滤波器设置和缺乏对仪表规格和操作的知識，会对数字无线电的性能产生显著的负面影响。



北京  
上海  
上海  
  
深圳  
网站:

电话: +8610 6539 1166  
电话: +8621 6859 5260  
电话: +8621 2028 3588  
(仅限 TeraVM 及 TM-500 产品查询)  
电话: +86 755 8869 6800  
www.viavisolutions.cn

© 2020 VIAVI Solutions Inc.  
本文档中的产品规格和描述如有更改，恕不另行通知。  
Enhancing\_Digital\_Radio\_Performance-wp-rts-nse-zh-cn  
30191089 900 0120