

DVB 测试关键指标和测试仪器选择

近两年与国内数字电视客户技术交流过程中，我们发现由于国内数字电视起步较晚，部分客户对一些技术概念出现误解，从而导致失误，现将我们经常遇见的问题列举如下，希望能对大家在今后的故障判断和测试设备选择时提供帮助。

一、平均功率与峰值电平完全不同

峰值电平在模拟电视广播时用于表征频道信号电平强弱。

模拟电视信号是单极性、不对称的，即电视信号有一个固定黑色参考电平，比黑色亮的信号处在黑色电平线一边，同步脉冲处在另一边。单极性调制载波，有两种方式，①正极性调制指亮度增加时载波幅度增大，同步脉冲始终对应发射功率最小值；②负极性调制指亮度增加时载波幅度减小，同步脉冲对应发射功率最大值。负极性调制由于具有受干扰小等优点，我国和世界大多数国家都采用负极性调制。

测量模拟电视信号电平，使用频谱分析仪在规定带宽/300KHz 对信号同步脉冲的峰值电平进行测量，并以此作为判别信号强弱的标准。因为这里集中了信号在频道内的主要能量（超过 98%），所以可以认为对载波同步脉冲的测量可代表信号在测量频道内的电平值。

在工程维护过程中，国内通常使用模拟电视场强仪测量频道电平强弱，测量时场强仪的接收通道调谐于图像载波频率，场强仪的 RBW 带宽为 300kHz，由于图像载波电平随图像内容的变化而变化，所以场强仪采用峰值保持采样的方法测量图像载波峰值电平，通过换算可近似表征频道电平的强弱。

平均功率在数字电视广播时用于表征频道信号功率强弱，也称信道功率，与模拟电视峰值电平概念和测量手段完全不同。

数字调制信号类似噪声，信号在调制到射频载波前被进行了随机化处理。一个数字载波信号，无论是否调制了数据，在频域观察时一般是相同的。而在频域中观察通常也说明不了调制方式是 QPSK、16QAM、64QAM.....，只能表征信号幅度、频率、平坦度、频谱再生等信息。由于数字信号以噪声形式出现，但它更像随机加入到频域测试设备中的一组组脉冲，所以采用平均功率判定信号强弱。数字电视信号平均功率不随调制内容的变化而变，平均功率和最大响应没有关系。

数字电视频道平均功率和带宽有关，带宽越宽信道平均功率越高。模拟电视场强仪只对 RBW 带宽 300kHz 内的窄带峰值信号进行采样，完全不能表征在宽带（如数字电视 8MHz）内的能量，仅当该数字频道的带内平坦度相当好时可以近似换算。

我们在国内进行技术交流和测试中发现，由于有线网络的所使用调制器、电缆、接头、放大器、分支分配器和网络维护并不完全令人满意，数字电视频道带内平坦度相当差，各种带内频谱形状都有出现，用模拟场强仪所测量的窄带 300kHz 峰值电平来换算数字频道的宽带（8MHz）平均功率，完全不可信，也不能评价信号的好坏。必须采用具有平均功率功能的设备来进行信号评价，如德力 DS2008Q/1883Q 误码测试仪、DS1191/A/B QAM 分析仪、DS8822Q 有线电视综合测试仪。

二、为何 64QAM 数字频道平均功率要调整为比模拟频道电平低 10dB？

对于 64QAM 调制，通常建议其数字频道平均功率要调整为比同系统的模拟频道峰值电平低 10dB；对于 256QAM 要低 6dB。产生这样的要求，是基于两个原因：

①数字信号抗干扰能力强，对载噪比要求比模拟信号低，所以数字电视信号可用比模拟

信号低得多的幅度进行传送，这样每个数字频道的传送功率降低，整个通带内总传送功率就降低，干线放大器的总体输入功率就会降低，因此在同一个线路中可以传送比原来更多信号，更多内容。

- ②另一个主要原因是：通常 64QAM 调制的数字频道，其频道内统计峰值电平比平均功率高约 10dB。为避免放大器失真，产生互调干扰，干扰其他频道信号，需要使数字频道的峰值电平调整到同模拟频道的峰值电平相同大小的程度，这样 64QAM 数字频道平均功率同比模拟频道峰值电平就低 10dB。下面详细解释这个技术概念：

RF 信号在传输过程中，可能出现超过平均功率的更高峰值电平，要想得到这些无规律的峰值幅度，必须对全部时间内的功率进行测量，以获得统计峰值电平，进而得到统计峰值电平和平均功率的比值，即峰值-平均值比。

在有较低的峰值-平均值比的调制形式中，偶然的峰值电平只产生较低功率。因此即使出现偶然高幅度峰值电平，也不会产生紊乱的放大器互调失真，放大器不需要很多功率余量去接受这些高幅度的峰值电平。

所以恒定幅度的调制包络信号，为提高输出功率放大器的工作效率，可以使放大器工作在接近饱和且在功率输出端不需要补偿的状态。由于信号功率是恒定的，功率会不断传送给负载，其峰值功率等于平均功率。

对于功率不断变化的 RF 信号，其峰值功率与平均功率就不同。峰值-平均值比越低，信号就越接近 1dB 压缩点的电平，在这个电平上能够驱动放大器且不会产生额外互调失真。对于有很大的峰值-平均值比的信号，为不产生额外失真，放大器要有很大余量去放大这些偶然的峰值信号。

QAM 调制的调制包络是非恒定幅度的，峰值的出现时间一般没有规律（QAM 调制中峰值是由一个星座点到另一个星座点的调制偏移引起），一般使用在最大功率输出点补偿性能良好的线性放大器，这样放大器的功率余量大，工作效率会很低，但可以避免大量的频谱再生，大多数频谱再生是互调失真的另一种形式，会产生附加无用信号，对其他频道造成干扰。

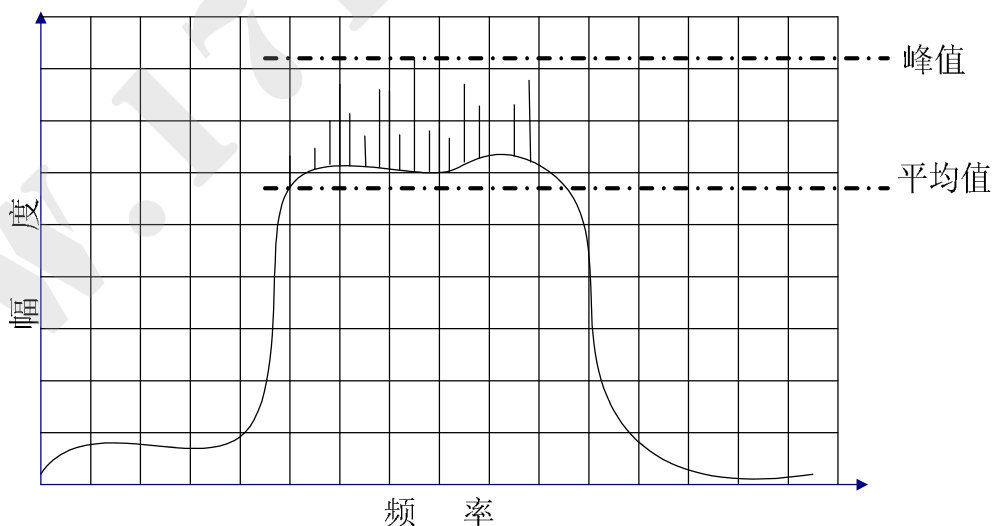


图 1 数字信号的峰值幅度和平均幅度

通常情况下，由于有线网络上放大器的工作状态是按照模拟频道的峰值电平选配和调整的，如果让数字频道的平均功率和模拟频道的峰值电平工作在相同电平值，那么数字信号的峰值电平信号在进入放大器时可能引起放大器失真，造成这些峰值信号的增益压缩，引起频谱再生，产生互调干扰产物，干扰其它频道的信号。所以通常建

议数字频道平均功率要调整为比同系统的模拟频道峰值电平低 10dB，对于 256QAM 要低 6dB。

当然这个 10dB 和 6dB 的数值是在通常情况下统计得出的，由于国内网络情况千差万别，在实际工程维护中，准确测量需要使用的仪器要具备：平均功率测量功能，并且要求具有快速频谱扫描和频谱峰值曲线保持能力，以测量在 8MHz 带宽内的峰值电平。显然，普通场强仪只能在窄带 300KHz 内进行峰值电平测量，不具备快速频谱扫描能力，即使能测平均功率，也不能满足使用。建议使用德力 DS8831Q、DS1191 等设备。

三、MER 与 BER 的关系

调制误差率 (MER: Modulation Error Ratio) 的定义

在模拟电视中我们常使用 C/N 来表征信号质量，在数字电视中，MER 是表征数字信号质量的最重要指标，它精确表明数字信号在调制和传输过程中所受到的损伤，也一定程度上说明该信号是否能被解调还原，以及解调还原后信号质量状况。

QAM 调制信号从前端输出，经各级网络传输、入户，其 MER 指标会逐渐恶化，MER 的经验门限值对于 64QAM 为 23.5dB，对于 256QAM 为 28.5dB，低于此值，星座图将无法锁定。另外对于网络不同部分的 MER 指标也存有一些经验值：64QAM 时在前端要求 >38dB，分前端 >36dB，光节点 >34dB，用户端 >28dB。所以要求使用 QAM 分析仪对 MER 指标进行测量。

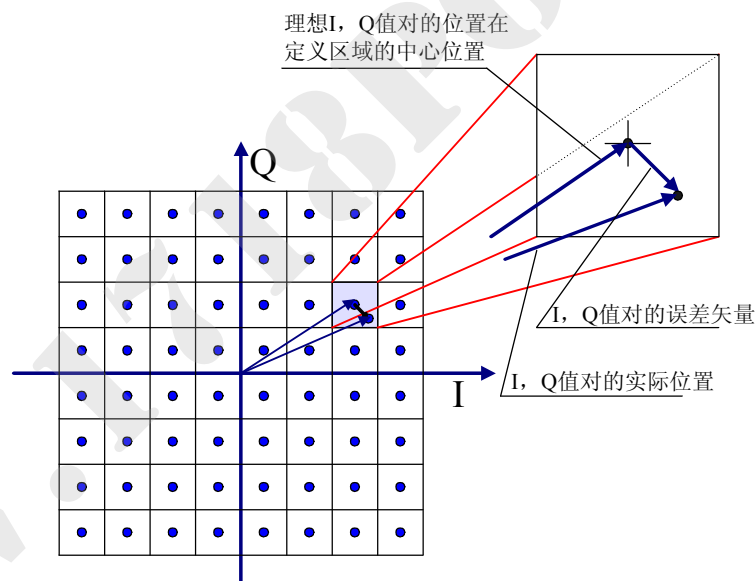


图 2 MER 的原理示意图

QAM 分析仪首先对被测量数字调制信号进行高速采样，将采样到信号解调为不同相位格上的 I 和 Q 两个矢量信号，即相位、幅度信息，并将其矢量和位置点直观地描绘在星座图上，对于理想的 I、Q 信号，其矢量和位置点应位于星座图相应相位格的正中心，但实际信号与理想信号相比都有偏差，其矢量和位置点将会偏离相应相位格的中心位置，如果我们将 I 和 Q 定义为星座图中理想位置点的矢量数值， $(\delta I, \delta Q)$ 定义为实际信号与理想信号的误差矢量，即相位误差和幅度误差，就可计算出相应相位格中心位置点到实际符号位置点的距离，并按下式计算出 MER 的大小。下式中 N 是一段时间内捕获符号的点数，它一般比星座图中实际显示的点数多。

$$MER = 10 \cdot \log \left\{ \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right\} dB$$

观察发现，在干扰小的时候 MER 变化缓慢，随着干扰的增大，当出现误码率时，MER 变化很快。当 MER 指标出现偏差时，可直接观测星座图，不同的星座图显示表征了不同的干扰类型，了解干扰类型可直接查找出干扰源或故障设备所在。

BER (Bit Error Rate) 的定义

定义：BER (比特误码率) 是发生误码的数据位数与传输数据总位数之比

BER 通常以科学计数法表示，如误码率为 3E-7，表示在 10 的 7 次方个传送位中有 3 个误码，此比率通常采用一个较小时段内传送数据的分析结果来推估，越低的 BER 代表越好的信号质量。

BER(Pre-FEC)纠错前误码率：FEC 纠错算法可以检测出的实际错误码数量。接收机可以通过纠错算法纠正其中的一部分误码，纠错前误码率就是实际发生错误的比特数和总传送比特数的比值。

BER(Post-FEC)纠错后误码率：FEC 纠错算法根据自身的纠错能力，对接收到的部分错误码进行纠正后，无法被纠正的错误比特数与总传送比特数进行比较，得到纠错后误码率。

当信号质量很好的情况下，纠错前与纠错后的误码率数值是相同的，但有一定干扰存在的情况下，纠错前和纠错后的误码率就不同，纠错后误码率要更低。典型目标值为 1E-09，对于数字电视而言，这时观看效果清晰、流畅；准无误码为 BER 为 2E-04，偶然开始出现局部马赛克，还可以观看；临界 BER 为 1E-03，大量马赛克出现，图像播放出现断续；BER 大于 1E-03 完全不能观看。

尽管较差的 BER 表示信号品质较差，但 BER 指标只具有参考价值，并不完全表征网络设备状况，因为 BER 测量侦测并统计每个误码，问题可能是由瞬间的或突发噪声引起。

MER 和 BER 之间的关系

MER 是对叠加在数字调制信号上失真的对数测量结果，受多种因素影响，包括载噪比、突发脉冲、失真及 IQ 偏移量对信号造成的损伤。在数字调制信号中，突发脉冲、失真、IQ 偏移量对信号造成的损伤十分相似。如果系统的 MER 减小，信号受到的损伤就会变大，出现误码的概率增加。

MER 可为接收机对传输信号进行正确解码的能力提供一个早期预警。当信号质量降低时，MER 将会减小。随着噪声和干扰的增大，MER 逐渐降低，而 BER 仍保持不变，只有当干扰增加到一定程度，MER 继续下降，BER 才开始恶化。

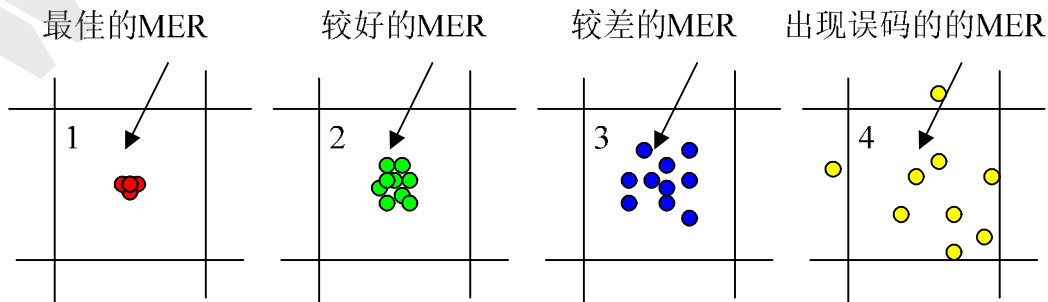


图 3 干扰信号对 MER、星座图和 BER 变化的影响

上图说明了 MER、星座图和 BER 之间的相互关系。实际在一个星座图中是不会同时出现这几种情况的，这里是将四种不同情况综合在一起进行互相对比说明。

第一个方框红色的点是 MER 的最佳状态，所有的点几乎都集中在理想位置，BER 测量值很好；第二个方框绿色的点受到一些噪声干扰，干扰比较小，所以基本都环绕在理想中心位置周围，属于比较好的 MER，BER 仍不变；第三个方框的蓝色点受到的干扰比较大，各个点无规则的散落在方框内，这时 MER 的指标比较差；第四个方框受到很大的干扰，各个点不仅散落在本方框内，而且还有两个点已经离开本方框所划定的范围，BER 恶化。

在第一、二、三方框中的信号有一个共同点，所有的点都落在了自己所在方框所划定的范围内，根据数字电视信号的判决规则，只要在判决范围内（方框内）就不会出现误码；只有第四个方框的点超出了划定的界限，这些点一旦进入其它星座点的范围就被判决为该星座点，这样就出现了误码。这说明为什么在一定干扰信号下 MER 的值在下降，却没有出现误码，直到 MER 下降到一定程度，才会出现误码，BER 的数值开始恶化。

四、MER 和 S/N（信噪比）与 C/N 载噪比

MER 与 S/N

在理想状态下，如果信号中出现的有效损伤仅仅是高斯噪声，MER 可被 S/N 信噪比表征，MER 等于 S/N。但实际应用中，由于传输信号不仅包括高斯噪声，还包括接收星座图上所有其它不可校正的损伤，包括网络传输中引入噪声，潜入调制信号中的幅度噪声、相位噪声、码间串扰和调制损伤等。所以简单地使用 S/N 来推算 MER 完全不可行。

S/N 应根据解调后的星座图数据进行测量。对于星座图中的每一符号，从其云状轨迹可以得出其统计分布。在去除正交失真、幅度不均匀、原点位移误差残留载波、非线性失真、相位抖动、连续波干扰的影响之后，剩余的云状轨迹才可以认为是由高斯噪声引起的，这剩余的云状轨迹也是计算信噪比的基础。

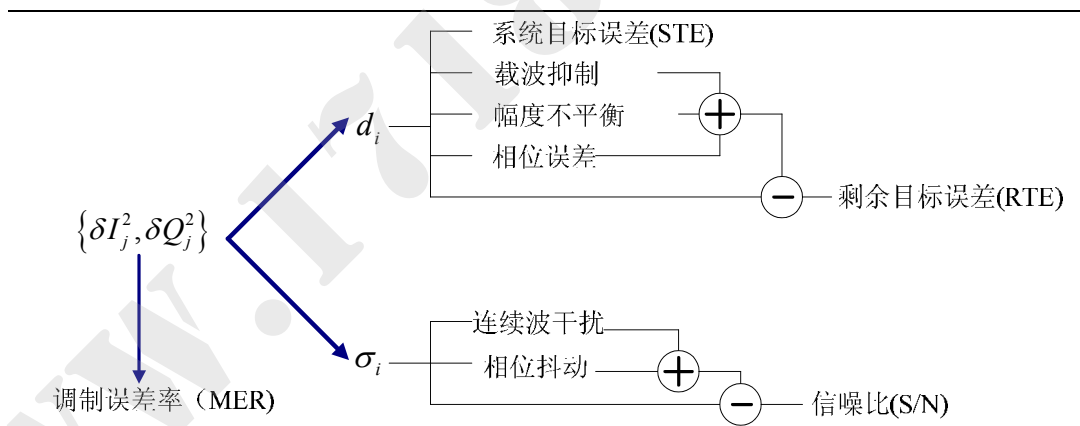


图 4 不同失真参数之间的关系

C/N 与 S/N

信噪比(S/N)是指传输信号平均功率与加性噪声的平均功率之比，载噪比(C/N)指已经调制的信号平均功率与加性噪声平均功率之比，它们都以对数方式计算，单位 dB。

信噪比与载噪比区别在于，载噪比中已调信号的功率包括传输信号功率和调制载波功率，而信噪比中仅包括传输信号功率。因此对同一个传输系统而言，载噪比要比信噪比大，两者之间相差一个载波功率。当然载波功率与传输信号功率相比通常是很小的，因而载噪比与信噪比在数值上十分接近。在调制传输系统中，一般采用载噪比指标；而在基带传输系统中，一般采用信噪比指标。所以，这里 S/N 主要描述解调后信号的信噪比。

DVB 广播传输系统属于调制传输系统，因此采用载噪比指标。载噪比代表噪声干扰相对于调制信号而言的强弱程度。噪声干扰的绝对强弱是没有意义的，因为不同传输系统的信号平均功率不同，而载噪比则直接反映出调制信号与噪声干扰间的相对强弱关系。

五、如何选择数字电视测试仪器

从前面的描述可以看出，选择一款优秀的数字电视测试仪器，是提高工作效率，减少误判的关键。按重要性排列，优秀的数字电视测试设备应具备 5 个功能，功能越多，价格越贵，实际用户在选择时，应根据自己的实际需求和资金状况，进行组合配置。

- ① **大动态的 MER 指标** 这是表征数字信号质量最重要的指标，对于网络的不同部分，MER 指标有一些经验值：64QAM 时在前端要求 $>38\text{dB}$ ，分前端 $>36\text{dB}$ ，光节点 $>34\text{dB}$ ，用户端 $>26\text{dB}$ 。测试仪器的 MER 指标也应按相应要求进行选择。

特别要注意的是，由于 MER 指标越大，说明信号质量越好。但作为测试仪器不仅要测量优质的信号，对实际网络中恶化需要检修的信号也应该能够准确测量，所以选择数字仪器，不仅要看其最优 MER 指标是多少，还要重点考察在各种实际网络情况下的实际测试准确度。

目前市场上已有客户买到只能测优质信号的仪表，网络信号质量稍差仪表就无法工作或偏差极大，严重影响了网络维护工作。

- ② **准确的平均功率测量** 平均功率反映了带内传输能量，过大或过小都会对传输质量产生影响。

以上两项功能相当于工程师日常使用的万用表，同时具有这两项功能的仪器目前被定义为数字电视测量的入门级仪器。

- ③ **可缩放的星座图显示** 星座图是数字信号调制质量最直观的图形显示，在实际工作中，相当于工程师日常使用的示波器。考察仪器的星座图功能，不仅要看仪器有没有这项功能，更重要的是要看其配置的星座图功能是否可用。

星座图显示要求能多级缩放，并且观察屏幕要大，这样才能清楚观察到星座点的位置，才有实际应用价值。目前国内外普遍认为显示屏幕在 4 吋以上观察星座图才有实际意义。

- ④ **快速的频谱分析功能** 由于信号在频域上传输，带内和带外的频谱分布和干扰对信号质量有直接影响，配置频谱功能可以准确观察信号在频域上的传输状况并捕捉突发干扰、噪声。对于数字信号测量，仪器所配置的频谱功能，按重要性排列应考察是否满足以下条件：

测试动态是否满足要求

RBW 接收带宽可否多级切换，最小 RBW 必须达到 30KHz 或更小

频谱扫描速度是否足够快，能否捕捉瞬间干扰或噪声

- ⑤ **直接观看数字电视节目** 在现场测量中，经常需要对数字电视节目图像和伴音质量进行直观检测，如果仪器能集成此项功能将大大方便工作。值得注意的是，在选择这项功能时，应考虑由于各地 CA 条件接收系统的差异性，测试仪器不一定能接收全部频道。

配置方案



数字电视传输系统测试仪器推荐配置表

应用场所	主要用途	推荐仪器	配置数量
前端机房	前端机房监测/系统工程验收/维护	DS8831Q 有线电视综合测试仪	1台/10000~80000户
	光网络施工/验收/维护	DS3620 OTDR	1台/5000~30000户
	前端机房监测/系统工程验收/维护	DS9000 码流分析仪	1台
分前段	数字分前端监测/维护	DS1191 数字电视 QAM 分析仪	1台/8000~30000户
	数字分前端监测/维护	DS1191B/2008Q/DS1883Q 数字电视误码测试仪	0.5~1台/人
	数字分前端监测/维护	DS3023 精密型光功率计	0.5~1台/人
传输与用户端	传输网/用户端网络施工维护	DS1191B/2008Q/DS1883Q 数字电视误码测试仪	1台/人
	传输网/用户端网络施工维护	DS3023/DS3026 光功率计	1台/人
	传输网/用户端网络施工维护	DS5112 可变频反向回传信号源	0.5~0.8台/人