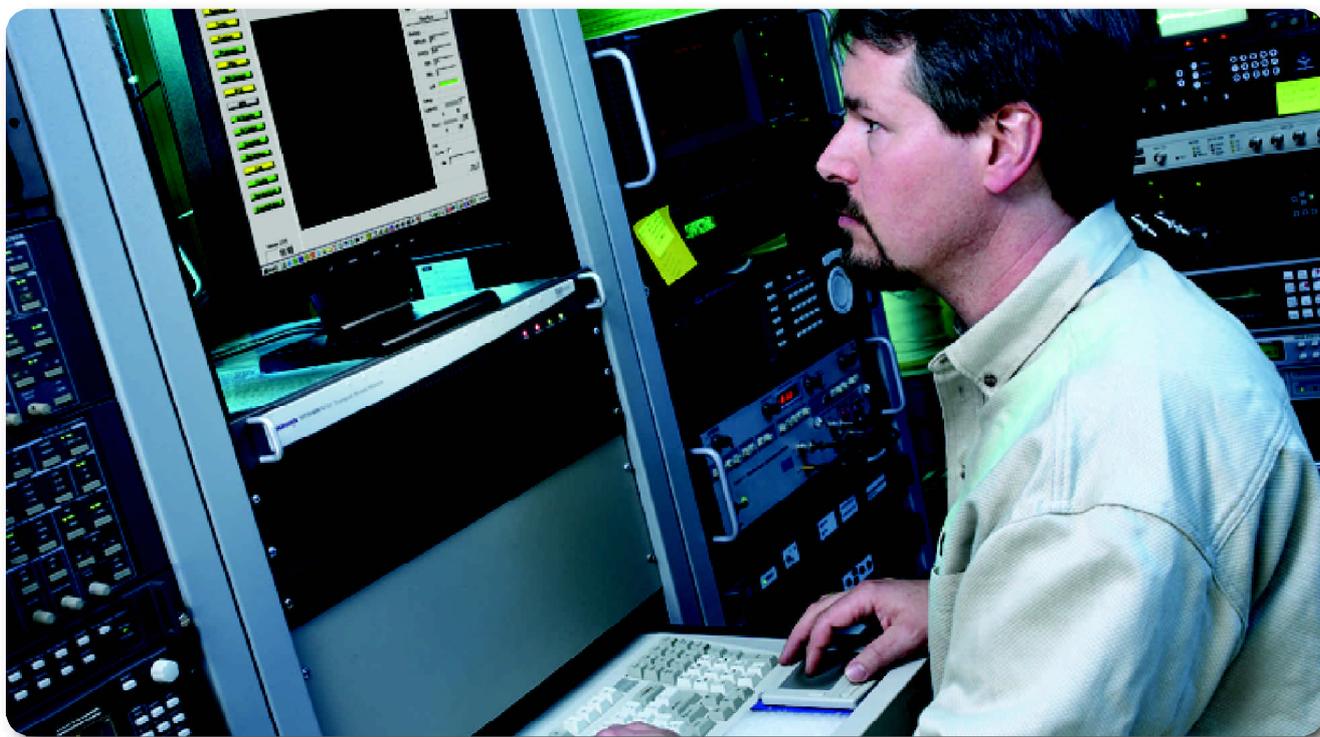


## DTV 系统中的关键 RF 测量



在各种不同类型的数字电视传输系统中,为了自始至终提供可靠的高质量的服务,最重要的就是必须关注那些对系统的完整性可能有所影响的各种因素。在这本应用文章中,介绍了这些关键的RF测量参数,它有助于我们在觉察到服务水准和图象质量降低之前就能检测出系统中的潜在问题。

当信号在传输通道中出现噪声、失真和受到干扰时,现代数字有线系统、卫星或地面系统的表现特性完全不同于传统的模拟电视。现在的电视收看用户已经习惯于模拟电视的接收方式,如果接收的图象质量较差,通常是调整一下室外天线,这样接收的图象就可能要好一些。即便是图象质量仍然很差,但如果节目的内容足够吸引人,那么,只要还有声音,观众仍会继续收看。

DTV可不这样简单。一旦接收的信号中断,要恢复信号的通路并非总是奏效。产生的原因可能是MPEG SI或PSIP表中出现错误,或者仅仅是由于RF功率在数字工作门限电平以下或在“崩溃”(cliff)点电平以下。而RF中的问题又可能由以下原因所引起:卫星碟形天线或低噪声变频

器小盒(LNB)中的故障;地面RF信号的反射;信道噪声性能太差;信号传输通道中的干扰;有线放大器或调制器损坏等。

为了解决DTV信号的接收问题,可以有两种解决方法。一种解决方案是使机顶盒接收机对劣化的信号不再敏感,但对工作人员来说更好的解决方案是始终保持清晰、高质量的RF信号。

为此,泰克公司提出了关键RF测量的解决方案,在这种解决方案中,集MPEG实时监视与记录功能于一体,这就是MTM400监视器。从经济上考虑,可以将MTM400配置在传输链路中的各监测点上,从下行链路和编码处理,通过复用和再复用,直至经由上行链路、前端和发射机站点的最终传送。

## DTV 系统中的关键 RF 测量

### ► 应用文章

用MTM400来进行这项工作,工作人员只需投资其它专用RF测试设备费用的若干分之一,即可完成关键的RF测量。

通过基于Web的遥控设置,可在整个传输链路中的相应信号层面上进行正确的RF测量,这样的测量既经济、又高效。

#### 关键 RF 测量参数

<b>RF 信号强度</b>	接受到的信号有多强
<b>星座图</b>	表征链路和调制器性能
<b>MER (调制误差比)</b>	信号劣化的早期指示参数,它为信号功率与误差矢量功率的比值,以 dB 表示
<b>EVM (矢量幅度误差)</b>	EVM的测量与MER类似,它是RMS误差矢量幅度与最大符号幅度的比值,以百分比表示
<b>BER(误码率)</b>	BER 用来表征前向纠错(FEC)的误码纠错量。 $BER = \frac{\text{已校正的比特}}{\text{所发送的全部比特}}$
<b>TEF (传输错误标志)</b>	TEF用于指示 FEC 无法校正所有的传输错误。 TEF 也称为“未校正的里德-索罗门分组码计数”

#### BER 或误码率

误码率是错误比特与全部传送比特之比。在早期的 DTV 监视接收机中,误码率作为数字信号质量的唯一测量值。误码率的测量简单易行,因为它通常可由调谐解码器芯片组提供且容易进行测量。不过,调谐器的输出 BER 通常是在前向纠错(FEC)之后,最好是在 FEC(“前维特比”)之前来测量BER。这样,通过测量BER可以反映出FEC的校正能力。在维特比去交织之后,采用里德-索罗门(Reed-Solomon, R-S)解码可以校正错误比特以在输出端获取准无误码(quasi error-free)信号。

如果传输系统的工作状况远离信号崩溃点,这种运行状态是合适的。这时,只有很少的数据错误发生,前维特比(pre-Viterbi)误码率接近为零。如果传输系统工作在崩溃点边缘附近,则前维特比 BER 就会逐渐增加,后维特比(post-Viterbi)BER的变化就比较陡峭,后 FEC(在RS之后)就非常陡峭。

因此,FEC能够对崩溃点的陡峭程度产生影响。这样,非常灵敏的误码率测量的确会产生告警信号,但对于要采取的校正而言,通常又显得太迟。

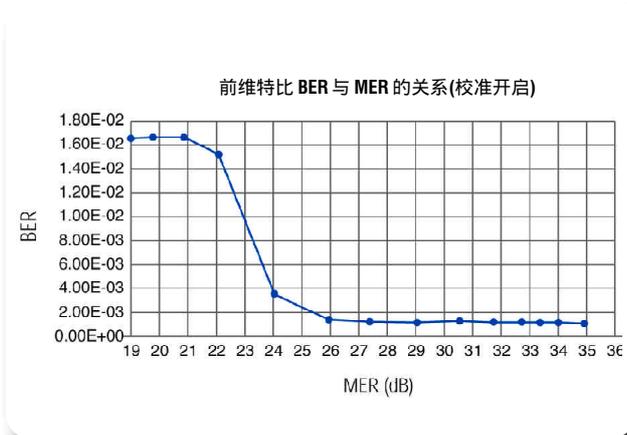
对于被传送信号质量的定量测试和运行记录而言,显示BER仍然是有用的。BER通常用来记录长时间的系统运行状态。最好是用来识别周期性损伤、瞬态损伤。

BER 的测量值常常用工程记数法来表示,并标明为瞬时码率和平均码率。

典型的目标误码率为:1E-09,准无差错的误码率为2E-04;临界误码率为1E-03;当误码率大于1E-03时则处于传输服务允许值之外。

### 如何改善 BER - 通过 MER

TR101 290 标准是用来描述 DVB 系统的测量准则。在标准中，调制误差比(MER)指的是被接收信号的单个“品质因数”(figure of merit)。MER 往往作为接收机对传送信号能够正确解码的早期指示。事实上，MER 是用来比较接收符号(用来代表调制过程中的一个数字值)的实际位置与其理想位置的差值。当信号逐渐变差时，被接收符号的实际位置离其理想位置愈来愈远，这时测得的 MER 数值也会渐渐减小。一直到最后，该符号不能被正确解码，误码率上升，这时就处于门限状态即崩溃点。



► 图1. 64-QAM 接收机的 MER 测量曲线

图 1 是将 MER 接收机与一测试调制器相连接时所测得的曲线。连接妥当后，逐渐引入噪声，同时记录 MER 和前维特比 BER 的数值。在没有引入噪声时，MER 的起始值为 35dB，而 BER 接近为零。随着噪声的增加，MER 值逐渐降低，而 BER 却保持恒定。当 MER 降低至 26dB 附近时，BER 才开始攀升，说明崩溃点就在此值附近。因此，MER 可用来指示系统在崩溃点之前的早期劣化渐变过程。

### MER 的重要性

泰克公司设备能够测量非常高的极限 MER 值（在 QAM 系统中，极限 MER 的典型值为 39dB），因此，如果下游 MER 的缩减因子（安全余量）是已知的，或者可在用户点（或其附近）测出 MER 的安全余量，那么，位于前端调制器处的监视设备通过测量 MER 即可提供信号劣化的早期指示。当 MER 下降至 24dB（64-QAM）或 30dB（256-QAM）时，通用机顶盒就不能正确解调。至于其它的一般测量设备，只能给出较低的极限 MER 测量值，因此也就不能用于信号劣化的早期告警。

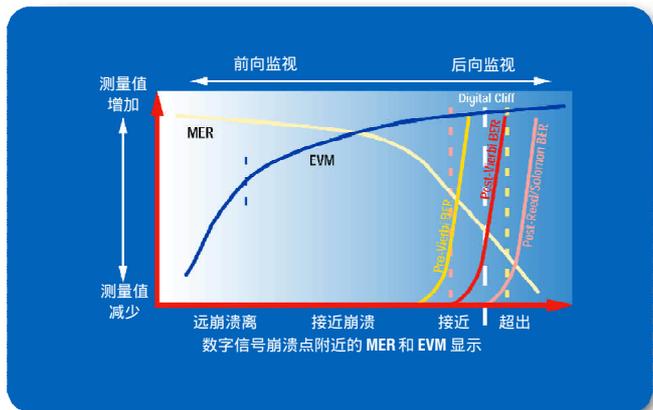
对于数字有线(QAM)前端，典型的 MER 值为 35dB 至 37dB。而在模拟有线系统中，典型的 MER 值为 45dB。模拟系统和数字系统的 MER 差值为 10dB，在数字分配系统中，MER 值在 35dB 左右。

## DTV 系统中的关键 RF 测量

► 应用文章

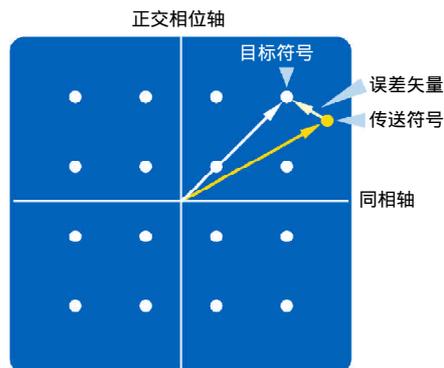
### EVM(误差矢量幅度)

EVM的测量与MER有些相似，但表示方法有所不同。EVM是误差矢量的RMS幅度与最大符号幅度之比，并以百分比来表示。信号损伤增加时，EVM增加；信号损伤降低时，EVM减小。

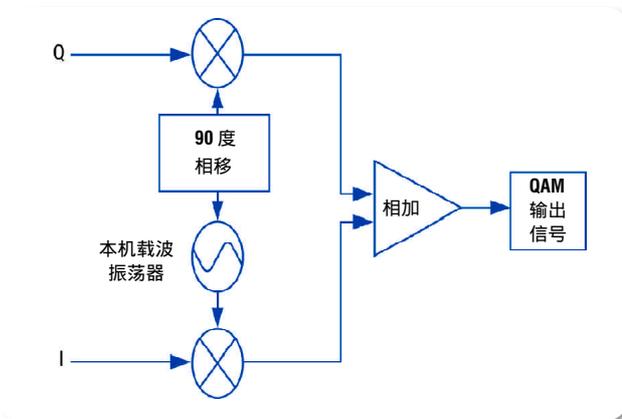


► 图2. 通过测量MER和EVM，能在BER迅速攀升和接收信号中断之前预测出系统的安全余量。

MER和EVM可以相互导出。EVM是IQ（同相轴和正交轴）星座图中被检测载波与理论上的理想着陆点（landing point，参见图3）之间的距离，即为“误差信号矢量”与“最大信号幅度”的比值，并用RMS百分比数值来表示。EVM是按照TR 101 290的附件部分作出的定义。泰克公司的MTM400，既可以测量MER，也可以测量EVM。



► 图3. 误差矢量。



► 图4. QAM 调制器。

### 传输系统的调制方式

在卫星、有线和地面数字电视传输系统中，信号的调制方式通常为正交调制，用已调制信号波形的相位和幅度来代表数据符号。在数字电视传输系统中，最常用的调制方式是正交幅度调制（QAM）。

例如，在广泛使用的地面数字调制方式中，COFDM 采用的是 16-QAM 或 64-QAM 调制方式，8VSB 使用的是 8 列系统。在卫星数字系统中，所采用的数字调制方式是四相或正交相移键控（QPSK），它等效于 4-QAM。QPSK 是一种非常可靠的调制方式，它已经使用很多年了。QPSK 也常用于分配馈送系统中，它可以有效地利用可用带宽，但需要较高的载噪比。

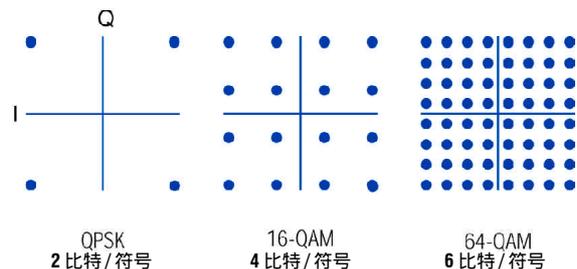
有线传输系统也是以 QAM 为基础，有着更多的调制方式，现在仍在开发之中。在有线系统中，增加了调制状态数（16-QAM、64-QAM、256-QAM 和 1024-QAM），改善了频谱利用率。这样，在给定的带宽内，可以容纳更多的电视频道。

在美国的数字传输系统中，采用 64-QAM 每秒可以传送 27Mb 的数据，这相当于在 6MHz 的带宽内可以传送 6 至 10 个 SD 电视频道或 1 个 HD 电视频道。而 256-QAM 的数据率为 38.8Mbps，它等效于在 6MHz 带宽内传送 11 至 20 个 SD 电视频道或两个 HD 电视频道。采用新的压缩技术，通过 256-QAM 调制方式可进一步增加到三个 HD 频道。在欧洲的数字传输系统中，使用 256-QAM 调制方式，8MHz 带宽内的数据率可达 56 Mbps。

在 ITU.J83 规范中，规定了三种区域性的 QAM 有线标准，它们是：

- 附录 A - 欧洲
- 附录 B - 北美
- 附录 C - 亚洲

在 MTM400 中，备有 RF 接口选项，可以测量上述的全部 QAM 调制标准，还可测量卫星数字传输应用中的 QPSK 调制方式。



► 图5. 数字传输系统中的调制方式

## DTV 系统中的关键 RF 测量

### ► 应用文章

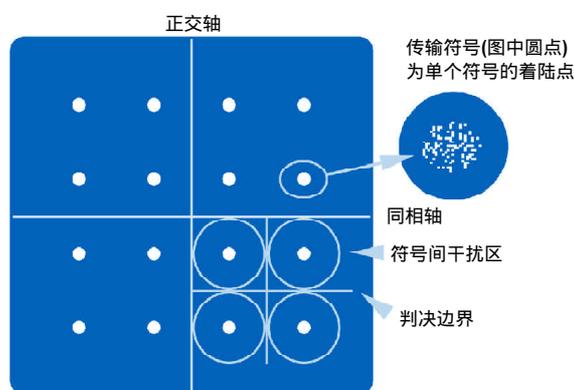
#### 星座显示

数字调制系统的星座显示图形相当于矢量仪中的矢量显示,用来表示QAM信号中的同相(I)分量和正交分量(Q)。符号是给定调制系统中传输信息的最小部分,一个符号在星座图中可描绘为一单个点。这些符号比特是通过复杂的代码转换过程由原始的MPEG-2传输流中导出的。这一转换过程包括了里德-索罗门编码、交织、随机化处理,北美地区的QAM和格形编码或QPSK系统中的卷积(维特比)编码。人们希望能对系统的传输提供防护并能纠正比特错误,抵御脉冲噪声,将传输能量平均地分布于整个频谱。解码器端所采取的处理方式与上述过程相反,应能恢复基本上无差错的比特流。由于采取了误码校正,仅对传输流进行检查并不能提供传输通道或调制器和处理放大器包含有错误的任何指示,使得系统靠近“数字崩溃点”。

一旦MPEG码流中的传送错误标志(TEF)作出报告,这时再采取校正措施常常是太迟了。

#### 星座图

可以把星座图认为是一种数字信号“2维眼图”的阵列,在星座图中标出了符号的着陆点,并给出了着陆的允许范围和判决边界。符号着陆点愈是靠近而聚集在接收符号的“云层”中,那么信号质量就愈佳。由于星座图映射为屏幕上信号的幅度和相位,因此可以利用该阵列的形状来判断和确定传输系统或传输通道中故障和失真的严重程度,有助于阻止传输质量的下降。



► 图6. 星座图显示

利用上述星座图,可以判断下述调制问题:

- 幅度不平衡
- 正交错误
- 相干干扰
- 相位噪声,幅度噪声
- 相位错误
- 调制误差比

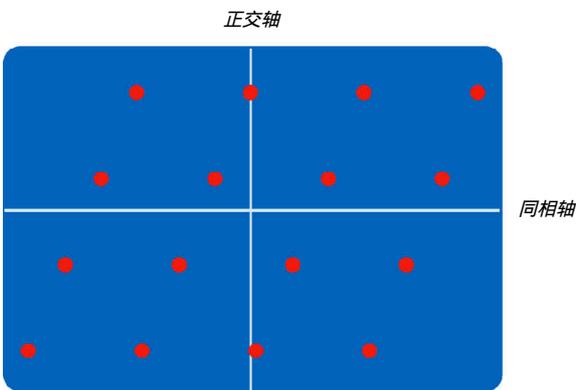
星座图的遥控显示

在 MTM400 中，采用了特有的网络浏览器 (Web-browser) 技术，可通过因特网或专用网络在各个不同地点甚至不同国家观察到无人监测点处的星座图显示。可以调整用户界面的余辉特性，使得先前接收的载波显示点逐渐减弱，就象传统的显示仪器一样。

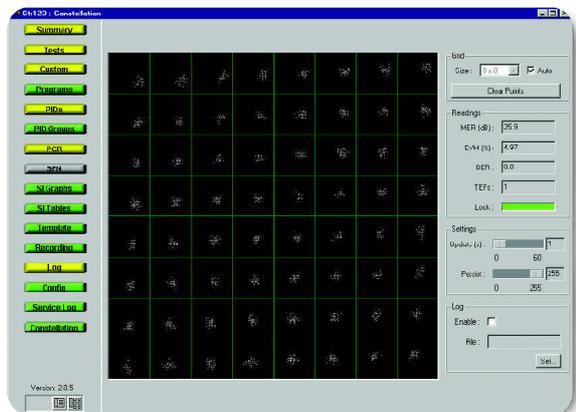
说明：以下的 MTM400 屏幕快照是按照仪器的测试设置显示的，这样在所有情况下的 MER 和 EVM 都是相似的。仅星座图形不同。

正交误差

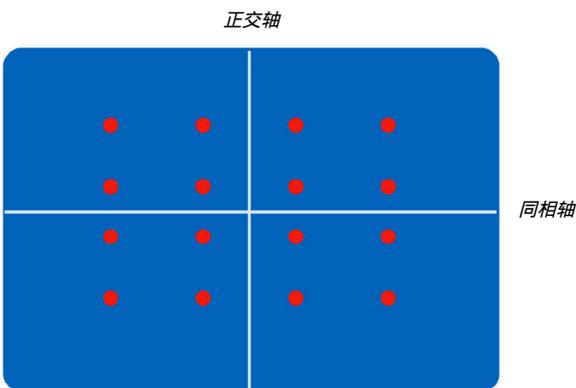
传输系统中的正交误差使得符号着陆点靠近边界容限，因而降低了噪声余量。当 I 信号和 Q 信号彼此间的相位差不是准确的 90 度时就会出现这种情形。正交误差使星座图失去了“方形”结构而呈现为平行四边形或呈菱形。



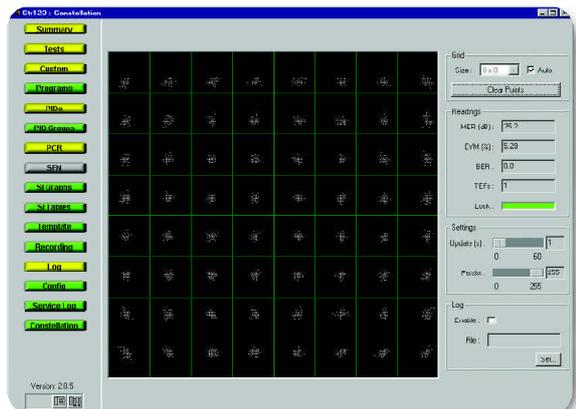
► 图7. 星座图中同相轴和正交轴间的正交误差使得图形不是方形而呈菱形



► 图8. MTM400 中的屏幕俘获显示，说明 IQ 间有 5 度的正交相位差。



► 图9. 信号的同相分量和正交分量间的增益差使得星座图不为方形而为矩形。



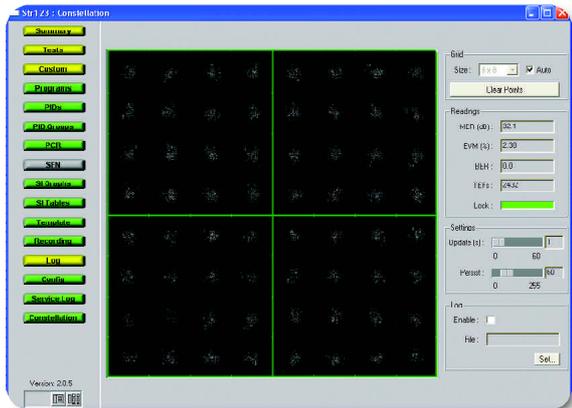
► 图10. MTM400 显示出 IQ 间的幅度不平衡为 10%。

## DTV 系统中的关键 RF 测量

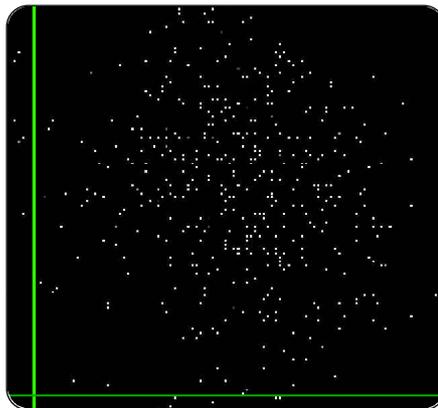
### ► 应用文章

#### 噪声误差

噪声是任何信号中最常见的也是无法避免的信号损伤，QAM 信号也不例外。噪声损伤的常见形式是加性高斯（白）噪声（AWGN）。由于白噪声（按频率分布，噪声功率为平坦密度函数）和高斯噪声（数学上称为正态幅度密度）的存在，使得所接收的符号在星座图中呈簇状分散在理想位置附近。



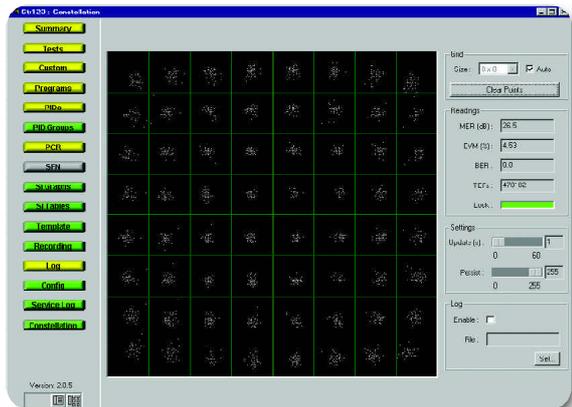
► 图 11. 噪声误差 (QAM-64 有线系统)



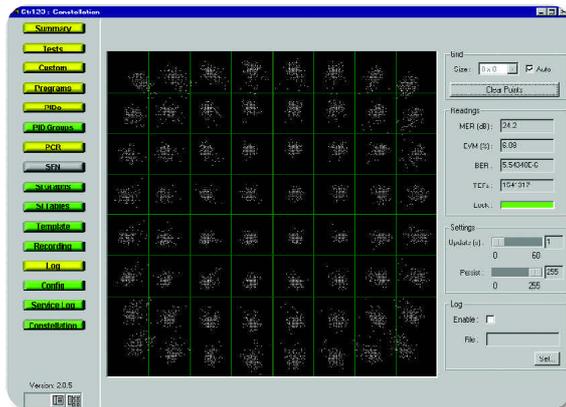
► 图 12. 噪声误差(来自卫星的 QPSK 信号)

#### 增益压缩

MTM400 可给出各种生动的实际信号显示，从中您可以观察到增益压缩现象，它在 I 和 Q 坐标显示图形的边角处呈圆弧形，不过这种显示只在调制器或光纤传输系统中才观察到，因为它们的信号驱动可达到其容限。这种现象发生在高幅度电平下，表现为非线性失真。其图形看起来象“球形”或呈“鱼眼透镜”(fish-eye lens)状。



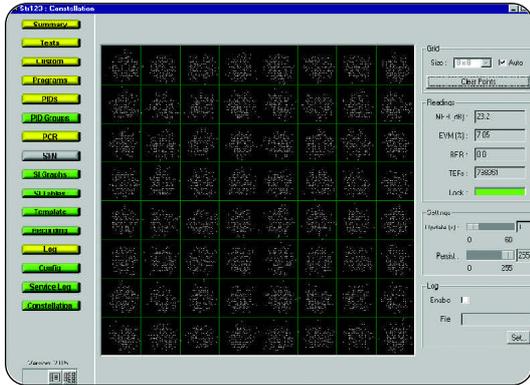
► 图 13. MTM400 的增益压缩显示。



► 图 14. MTM400 的显示图形，该信号具有明显的增益压缩误差。

相干干扰

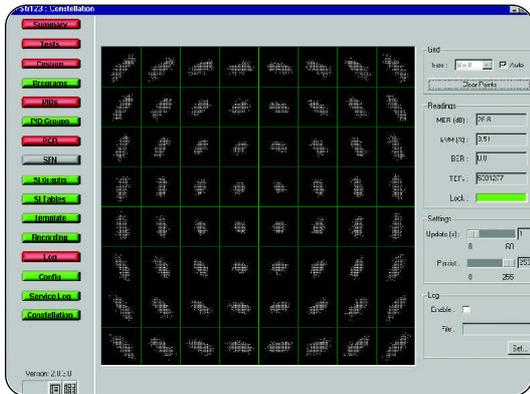
相干干扰是一种与IQ信号相锁定的通道干扰或谐波分量。相干干扰的存在使得显示阵列呈环状或呈“圆环图”。



► 图15. 相干干扰

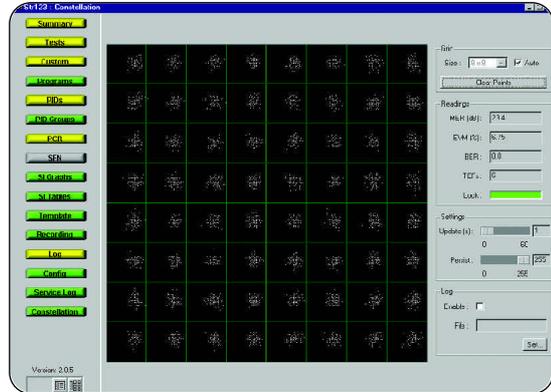
相位噪声(I 和 Q 信号中的抖动)

信号传输链路的载波信号或本机振荡器中存在着相位噪声或相位抖动,它叠加在所接收的信号上。在MTM400的显示图形中,载波符号呈现为同心圆弧状。



► 图16. 相位噪声(I 和 Q 信号中的抖动)

载波抑制

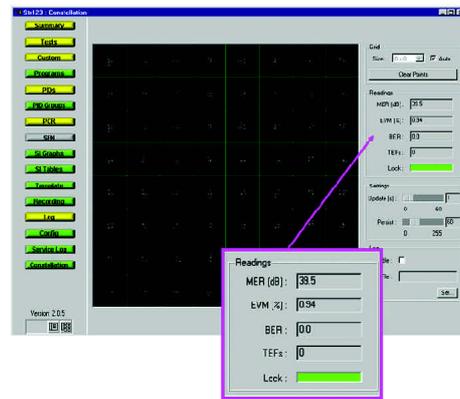


► 图17. 同相轴上的一种“直流偏置”效应,载波抑制为10%。在MTM400的显示中,符号位置向右偏移。

可接收信号

在现代全数字调制器中,一般情况下的IQ增益和相位误差是可以忽略的。这样的误差并非校准不当而是设备故障。另一方面,信号的压缩可能出现在调制器中,或上变频器中和传输网络中。

图 18 为 MTM400 中的正常信号显示。



► 图18. 工作正常的256-QAM 有线系统。

## DTV 系统中的关键 RF 测量

### ► 应用文章

#### 结束语

最好的解决方案是远在系统停止播送节目之前，尽早地对系统中的问题作出预测并及时予以修复。

无论是有线传输系统还是卫星传输系统，通过 MER 的测量，均能够及时地发现发射机和系统性能的微小变化，因此它是能够反映系统状况的一项最好的品质因数。EVM 和更传统的 BER 测量可用于跨接设备间的质量检验，它们有助于判断短期的信号劣化。

通过星座显示，可提供 RF 传输系统的“健康检查”，这是一项可靠的检查，它能发现系统的畸变、失真或设备的偏差。

总之，将上述关键的 RF 测量与综合性的 MPEG 传输流监视相结合，同时再提供各监测点的告警设置，就能在早期阶段检测到系统中的各种问题，而不会给观众的收看带来影响。

泰克公司的 MTM400 能够提供全面的关键 RF 测量，并具有广泛的各种接口，将 MPEG 测量集成到各个监测点中，这样的解决方案，既经济又高效。

#### 参考文献

国际电信联盟，ITU-T J.83，系列 J：用于有线分配的电视、声音和数据业务的数字多节目系统(04/97)。

DVB 系统的测量准则，ETSI 技术报告，TR101 290 V1.2.1 (2001-05) 数字视频广播 (DVB)；欧洲电信标准学会。

数字视频广播 (DVB)；有线系统的框架结构，信道编码和调制，EN 300 429 V1.2.1(1998-04)欧洲标准(电信系列)。

## DTV 系统中的关键 RF 测量

► 应用文章

泰克电子(中国)有限公司  
北京市海淀区花园路4号  
通恒大厦1楼101室  
邮编：100088  
电话：(86 10) 6235 1210/1230  
传真：(86 10) 6235 1236

泰克上海办事处  
上海市静安区延安中路841号  
东方海外大厦18楼  
邮编：200040  
电话：(86 21) 6289 6908  
传真：(86 21) 6289 7267

泰克广州办事处  
广州市环市东路403号  
广州国际电子大厦2107室  
邮编：510095  
电话：(86 20) 8732 2008  
传真：(86 20) 8732 2108

泰克深圳办事处  
深圳市罗湖区深南东路5002号  
信兴广场地王商业大厦4302室  
邮编：518008  
电话：(86 755) 8246 0909  
传真：(86 755) 8246 1539

泰克成都办事处  
成都市人民南路一段86号  
城市之心23层D-F座  
邮编：610016  
电话：(86 28) 8620 3028  
传真：(86 28) 8620 3038

泰克西安办事处  
西安市东大街  
西安凯悦(阿房宫)饭店322室  
邮编：710001  
电话：(86 29) 8723 1794  
传真：(86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处  
武汉市武昌区民主路788号  
白玫瑰大酒店924室  
邮编：430071  
电话：(86 27) 8781 2760  
传真：(86 27) 8730 5230

泰克香港办事处  
香港铜锣湾希慎道33号  
利园3501室  
电话：(852) 2585 6688  
传真：(852) 2598 6260



© 2004 年 Tektronix, Inc. 版权所有。 全权所有。 Tektronix 产品， 不论已获得专利和正在申请专利者， 均受美国和外国专利法的保护。 本文提供的信息取代所有以前出版的资料。 本公司保留变更技术规格和售价的权利。 TEKTRONIX 和 TEK 是 Tektronix, Inc. 的注册商标。 本文提及的所有其它商号分别为其各自所有公司的服务标志、 商标或注册商标。 02/04 opus/WOW 2TC-17370-0

**Tektronix®**  
Enabling Innovation