

数字视频信号测量与基带传输的研究

秦旭 胡早林

(桂林广播电视发射台 桂林 541002)

摘要:针对数字视频信号与基带传输测量专业设备昂贵的问题,提出了使用标准示波器、频谱分析仪和矢量网络分析对数字视频信号在时域的眼图和频域的频谱进行分析及测量方法,给出了具体仪器进行实际的测试结果和分析图形。具体对数字基带信号在同轴电缆传输的设计冗余量处理进行了研究分析,根据具体的同轴电缆均衡芯片指标计算出比电缆厂家提供数据更长的同轴电缆传输距离,实际测试数据验证了用均衡芯片指标计算的同轴电缆传输长度更准确。

关键词:数字视频信号;同轴电缆;眼图;频谱;均衡器

中图分类号: TN2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.604

Research for measurement and analysis of digital TV

Qin Xu Hu Zaolin

(GuiLin Broadcast & TV Transimission Station, Guilin 541002,China)

Abstract: According to the digital video signal measurement and transmission analysis of professional equipment expensive problem, proposed the use of a standard oscilloscope, spectrum analyzer and vector network analysis and measurement of spectral signal in time domain and frequency domain of the eye, the results are given. In this paper, the residual processing of digital signal in coaxial cable transmission is studied.

Keywords: digital TV; coaxial cable; eye diagram; spectrum analysis; equalizer

1 引言

数字视频信号在近十年来在专业电视领域和安防监控领域取得了广泛的应用,视频图像信号数字化后在处理、存储和传输等各个环节中不再出现模拟信号的损失和累积劣化问题,但数字视频信号在基带传输过程中自身也存在一个严重的悬崖崩溃门限效应^[1-3],即传输过程中图像良好时突然出现大面积马赛克或甚至崩溃中断的情况,因此数字视频信号基带传输测量的核心工作就是识别和测量出崩溃点,提高数字系统基带传输的工作冗余量,或叫压力测试。原来在模拟视频传输领域测量的各项指标参数如微分增益、微分相位等都不再适用,数字视频信号的基带传输指标必须重新在时域和频域上进行分析。

在专业电视领域主要使用泰克公司的 WVR 6100, 7100 波形监视器对数字视频传输信号在时域的眼图进行测量,其价格昂贵并且眼图测试模块为选件,但普通用户实际可以使用通用的标准示波器、频率谱仪和矢量网络分析仪对数字视频信号的指标和基带传输进行测量,通过标

准仪器也能定量分析数字视频信号的质量和传输距离。

2 数字视频信号的特性参数

数字视频信号的传输方式为串行方式,不同的数字视频格式有不同的传输速率,其标准由 SMPTE(society of motion picture and television engineers)组织制定发布^[4-6]。当前专业电视领域使用最多的为3个标准,分别是 SDI 标清视频信号(SMPTE259M)传输码率为 270 Mb/s、HD-SDI 高清视频信号(SMTPE292M)传输码率为 1.485 Gb/s 和 3G HD-SDI 超高清视频信号(SMPTE424M)传输码率为 2.97 Gb/s。

数字视频信号的物理层传输使用 NRZI 编码,NRZI 为倒置的非归零编码方式,NRZI 编码实际就是在 NRZ 编码基础上使用电平翻转代表逻辑电平 1,电平不变代表逻辑电平 0,具体波形如图 1 所示。

NRZI 信号相对 NRI 信号降低了数字视频信号的直流成份,其输出阻抗为 75 Ω ,非平衡方式,信号幅度为 800 mV 峰峰值。如果假设 NRZI 信号电平全为 1,那么

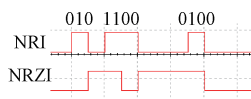


图1 NRZI 编码

NRZI 就是一个周期的方波信号。以 SDI 信号为例,其传输速率位 270 Mb/s,连续出现两个 1 电平信号在时域上等效为一个频率为 135 MHz 的方波信号。对于周期方波信号,频域上表现为基频信号为最大,偶次谐波为零,奇次谐波依次衰减。由于实际的 SDI 信号的 NRZI 编码器还采用了扰码方式使得最终输出得数据码流的 0、1 分布均匀,因此其频谱幅度按 $\sin x/x$ 函数规律衰减,在码流传输速率的整数频率上出现频谱的波谷,具体传输码流的频谱衰减分布如图 2 所示。

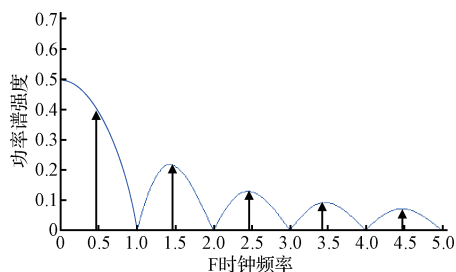


图2 NRZI 码流频谱幅度衰减

3 数字视频信号的时域测量

数字视频信号在时域上的测量通常使用数字通信领域中采用的眼图方式^[7],专业仪器如泰克公司的 WVR6100,7100 视频波形监视器专门有进行眼图测试的选件,但由于价格昂贵很少用户能承担起。实际标准的示波器只要其工作带宽能达到视频传输码率的 75% 就可以进行眼图的测试。

以最普常见的泰克 MSO2024 入门级示波器为例,其工作带宽为 200 MHz 采样率为 1 GS/s,它的工作带宽正好是 SDI 信号 270 Mb/s 的 75%。为了生成测试眼图,将示波器扫描周期设定为 2 ns,余辉设定为 8 s,测试的波形如图 3 所示。

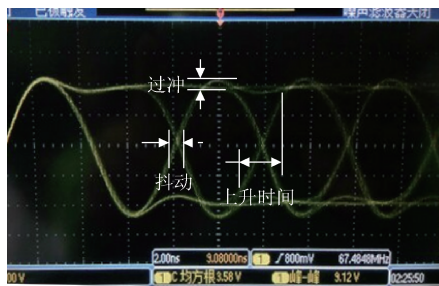


图3 SDI 信号测试眼图

对于眼图的指标主要有抖动、过冲、幅度、上升时间,其中抖动对视频传输的影响最大,其时域表现为每个码元的时间宽度变化呈现高斯随机分布,如图 4 所示。

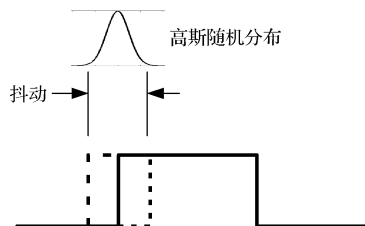


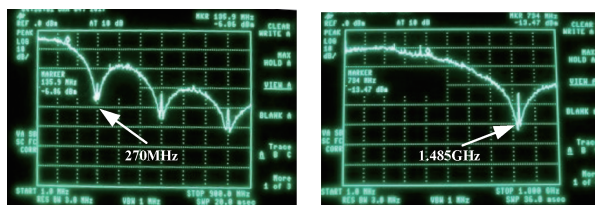
图4 码元抖动

在频域中对于正弦信号,其抖动表现为相位噪声的测量,但由于视频信号的码元频谱为宽谱特征,因此抖动往往通过时域测量才能很好地体现出来。

时域分析的眼图在设计数字视频信号的电路是一个很重要的分析工具,但在工程传输中通过长距离的电缆传输后测试的眼图将变差甚至完全模糊,传输接收端采用自适应均衡器来校正电缆的衰减后仍然能保证视频信号的正常接收,因此如果数字视频信号的发送、接收设备选定具体型号后眼图测试通常作为一个辅助测量指标。

4 数字视频信号的频域测量

由于数字视频信号本质上为通信领域的数字基带信号,因此用数字基带信号分析方法一样适用于数字视频信号,对于视频信号传输速率为 f_s ,那么其信号的带宽 $BS=f_s$,即信号带宽为传输码率,而信号的功率频谱的能量主要集中在 $f_s/2$ 的位置,SDI 和 HD-SDI 的频谱用 Aglient8591C 频谱仪测试,如图 5 所示。



(a) SDI 信号频谱 (b) HD-SDI 信号频谱

图5 数字视频信号的频谱

由图 5 分析可知,数字视频信号的功率能量谱基本集中在传输速率以内,所以在信号传输过程中只有保证在传输速率内的能量衰减小,在时域上接收就能正常恢复原始信号。因此普通的频谱分析仪可以很好地对视频信号的传输指标进行定量分析,通过对不同传输速率的数字视频基带信号的能量功率谱进行测量,通过比标准的数字视频信号的频谱和测试信号的频谱就可以分析出数字信号的质量。

5 数字视频信号的基带传输冗余计算

数字视频图像在 CCD 处生成后必须通过同轴电缆或光纤传输到用户终端,由于数字视频信号是频谱很宽的信号,因此同轴电缆和光纤必须有足够的传输带宽^[8-10]。光纤自身带宽足够大,而同轴电缆由于射频趋附效益随着频率的增加而衰减加大,其不同频率的衰减量直接影响到不同传输速率的视频基带信号传输距离。

对于同轴电缆的传输损耗可以通过矢量网络分析仪进行测量,但普通的分析仪端口阻抗为 50 Ω,而视频同轴电缆为 75 Ω,因此用矢量对 75 Ω 同轴电缆做 S21 参数测试时将参数产生 0.6 dB 的误差,如图 6 所示,工程上该测量误差基本可以忽略。

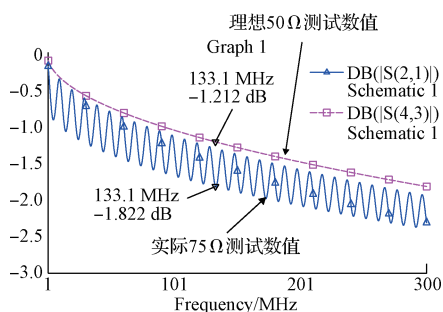


图6 矢量网 50 Ω 端口测量误差

国内常用进口佳耐美同轴电缆的衰减,如表 1 所示。

表 1 佳耐美同轴电缆 100 m 衰减表

	135 MHz/270 MHz/720 MHz/1.8 GHz/2 GHz/ dB	dB	dB	dB	dB
L-3CFB	12.3	17.2	29.1	48.3	51.2
L-4CFB	10.2	14.5	24.3	40.7	43.3
L-5CFB	8.1	11.5	19.4	33.1	35.1

由于视频信号的频谱能量主要集中在 $f_s/2$ 位置,如图 2 所示,根据佳耐美公司提供的保守计算数据,传输的基带视频 SDI 信号在其传输速率 $1/2$ 频率处衰减量不能超过 30 dB,HD-SDI 和 3G HD-SDI 信号在其传输速率 $1/2$ 频率的衰减量不能超过 20 dB。因此可以得出不同信号在同轴电缆的最远传输距离计算,如表 2 所示。

表 2 3 种格式在佳耐美电缆的最大传输距离

	SDI/m	HD-SDI/m	3G HD-SDI/m
L-3CFB	244	68	41
L-4CFB	294	82	49
L-5CFB	370	103	60

表 2 为理论的保守的传输距离或者说是同轴电缆传输的崩溃点,因此在实际工程中一般在留出 3 dB 的余量,

而 3 dB 冗余量对于不同的视频格式的传输速率也不一样,如表 3 所示。

表 3 3 种格式在佳耐美电缆 3 dB 冗余量长度

	SDI/m	HD-SDI/m	3G HD-SDI/m
L-3CFB	24	10	6
L-4CFB	29	12	7
L-5CFB	37	15	9

根据表 3 所示,在实际使用过程中针对不同的传输速率通过增加一段相应长度的延长线引用额外衰减来测试传输冗余量,如果引入冗余的 3 dB 衰减电缆系统还能正常工作,那么说明系统的传输余量是足够的,但定量分析还是使用矢量网络分析仪测试同轴电缆的损耗。

另外在数字视频的接收电路设计普遍的使用自适应均衡芯片,其通过电路自动均衡补偿同轴电缆的高频损耗,使得电缆的响应平稳,具体如图 7 所示。

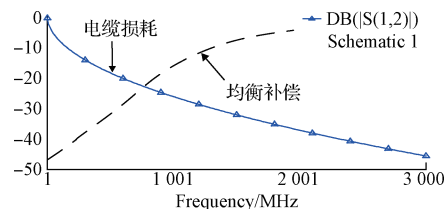


图 7 同轴电缆均衡

电路设计中使用比较多的有 Semtech 公司的 GV7601/GS9064, Ti 公司的 LMH0324 等。通过使用均衡电路后,数字视频信号在同轴电缆内的传输距离延长两倍以上。以 LMH0324 芯片为例,厂家的手册中 SDI 信号的传输距离为 600 m,HD-SDI 为 280 m,3G HD-SDI 为 200 m,使用同轴电缆为 Belden1694a,根据 Belden 同轴电缆的损耗可计算出均衡器的最大允许衰减量:SDI 信号为 -44 dB,HD-SDI 信号为 -48 dB,3G HD-SDI 信号为 -50 dB。因此实际使用同轴电缆均衡芯片后,数字视频信号的传输距离比电缆公司提供的保守数据增加了一倍以上。

为了验证同轴电缆的均衡芯片的性能,使用一段 180 m 长的佳耐美 L-5CFB 同轴电缆,用矢量网络分析仪测试其 S21 参数,如图 8 所示。

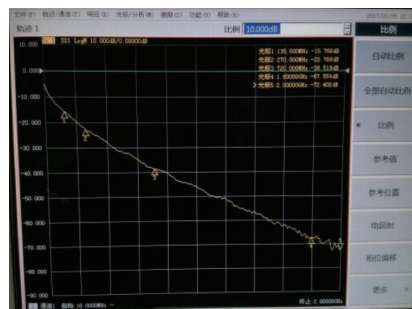


图 8 矢量网测量同轴电缆传输损耗

由图 8 分析,此电缆在 720 MHz 频率是衰减为 -38.5 dB,距离 LMH0324 均衡器的 HD-SDI 最大衰减量 -48 dB,还有 10 dB 的余量。实际测试该 180 m 同轴电缆可以正常的传输 HD-SDI 的数字视频信号,即使加入了 15 m 的 3 dB 冗余长度同轴电缆也没有到达崩溃点。

因此实际工程中,对于不同视频格式的基带视频信号的传输距离,需要根据具体的接收均衡芯片的指标并配合矢量网络分析仪测量同轴电缆的传输衰减,最终可以计算出同轴电缆的压力点或崩溃点的冗余量。

6 结 论

对于数字视频信号的测量不同于传统的模拟视频信号,通过标准的示波器在时域通过眼图可以定量地对其特性进行分析,在频域可以测量其基带传输特性并在工程上计算出传输冗余量,避免同轴电缆在传输数字视频处于临界点上产生故障,特别是通过矢量网络分析仪测量出同轴电缆的传输衰减后,根据接收的均衡芯片性能可以准确的计算出同轴电缆的传输距离。

参 考 文 献

- [1] WU Y,HIRA K,REI M, et al. Overview of digital television development worldwide[J]. Proceeding of the IEEE, 2006, 94(1):8-21.
- [2] REIMERS U H. DVB-The Family of International

Standards for Digital Video Broadcasting[J]. Proceedings of the IEEE, 2006, 94(1):173-182.

- [3] 陈善移. 数字视频测量的现状与展望[J]. 电视技术, 2008,32(6):39.
- [4] 李欣,赵忠山. 数字电视测量实验的探索与设计[J]. 电视技术,2013,37(1):178-180.
- [5] 向天明. 数字电视及测量[J]. 国外电子测量技术, 2006,25(9):1-4.
- [6] 郝文飞,张小佩. 一种数字电视传输流监测系统的设计与实现[J]. 电子测量技术, 2014, 37(3): 73-76, 88.
- [7] 戴彤. 数字电视及其信噪比测量[J]. 国外电子测量技术,2005,24(5):4-5.
- [8] 刘海宁,阳辉,宋健. 地面数字电视移动测试系统[J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23(Z1): 261-264.
- [9] 张艳丽,曹淑辉. 在数字视频设备测量中应注意的问题[J]. 电视技术,2007,31(10):90-92.
- [10] 孙朝晖,黄健. 数字电视电缆传输系统的信号测量[J]. 广播与电视技术,2002,29(8):140-143.

作 者 简 介

秦旭,1974年生,硕士,高级工程师,主要研究方向为视频信号测试,射频信号处理及应用。
E-mail:ovenqin@sina.com