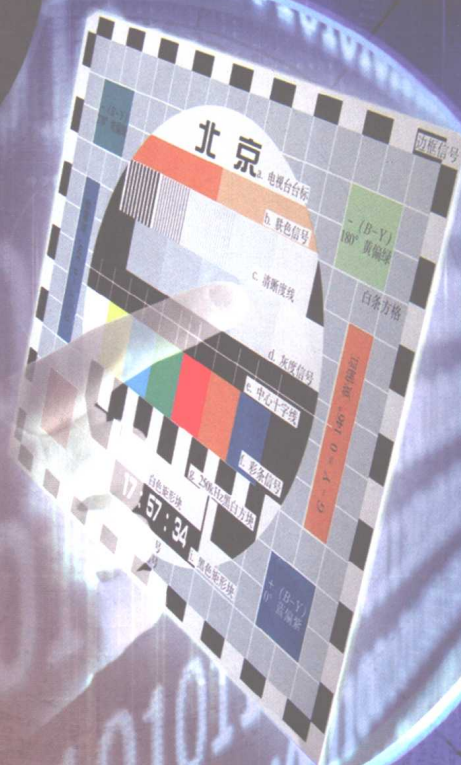
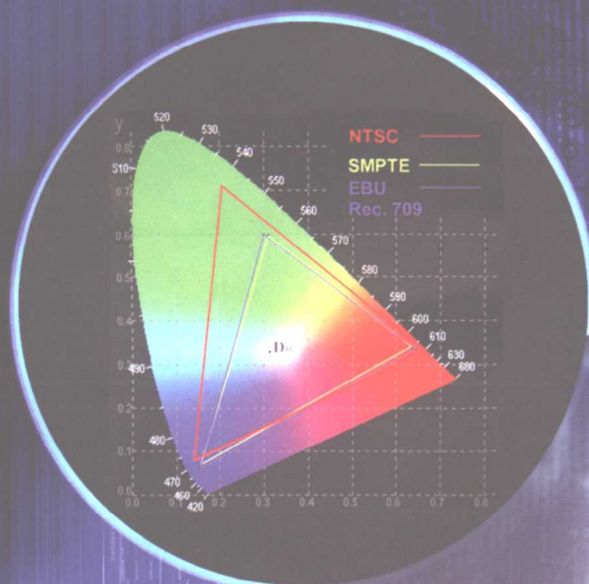


DIGITAL VIDEO MEASUREMENT TECHNOLOGY

章文辉 王世平 编著



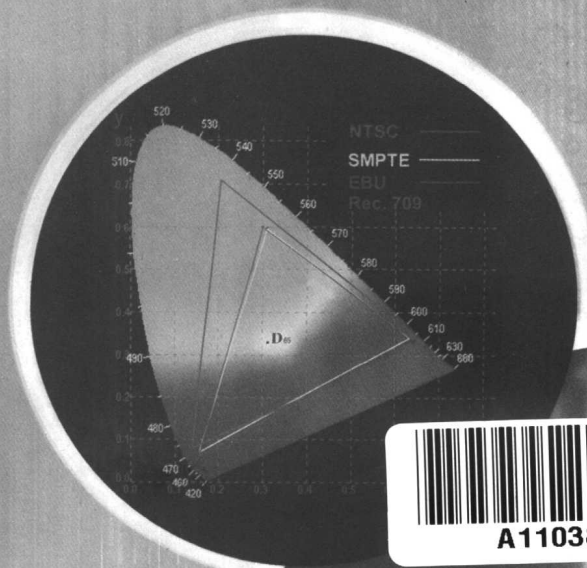
数字视频测量技术

北京广播学院出版社

7N941.3
2071

DIGITAL VIDEO MEASUREMENT TECHNOLOGY

章文辉 王世平 编著



数字视频测量技术

北京广播学院出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数字视频测量技术/章文辉, 王世平编著. - 北京: 北京广播学院出版社, 2003.9

ISBN 7-81085-217-5

I. 数… II. ①章… ②王… III. 视频信号-数字技术-测量 IV. TN941.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 084271 号

数字视频测量技术

编 著: 章文辉 王世平

责任编辑: 公田 文心水

封面设计: 杨歆颖

出版发行: 北京广播学院出版社

北京市朝阳区定福庄东街 1 号 邮编: 100024

电话: 010-65738557 65738538 传真: 010-65779405

网 址: <http://cbbip.bbi.edu.cn>

经 销: 新华书店总店北京发行所

印 刷: 北京金华印刷有限公司

开 本: 787×1092 毫米 1/16

印 张: 15

版 次: 2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 7-81085-217-5/N·108

定价: 28.00 元

版权所有 翻印必究 印装错误 负责调换

目 录

第一章 视频测试信号	(1)
第一节 彩条信号.....	(1)
第二节 十大常用测试信号.....	(5)
第三节 其它测试信号.....	(6)
第四节 插入测试行信号.....	(7)
第二章 视频测试仪器	(10)
第一节 波形监视器	(10)
第二节 矢量示波器	(15)
第三节 视频综合测试仪	(19)
第三章 基本参数测量	(24)
第一节 反射损耗	(25)
第二节 介入增益及其稳定度	(27)
第三节 视频杂波及信杂比	(29)
第四节 色度杂波的测量	(35)
第五节 SCH 相位检测	(36)
第四章 视频线性失真	(39)
第一节 频域测量	(40)
第二节 时域测量	(43)
第三节 色度 - 亮度不等性测量	(50)
第五章 视频非线性失真	(54)
第一节 亮度非线性失真	(55)
第二节 微分增益和微分相位失真 DG/DP	(56)
第三节 色度信号的非线性失真	(58)
第四节 色度信号对亮度信号的交调失真	(59)
第五节 同步增益失真	(60)
第六章 测试图与测试卡	(63)
第一节 测试图信号	(63)
第二节 测试卡	(68)

第三节	监视器的日常调整	(70)
第七章	带模拟接口的数字设备测量	(72)
第一节	量化误差对测量的影响	(72)
第二节	稳定测量结果的方法	(73)
第三节	实际测量操作	(75)
第八章	模拟分量视频信号测量	(78)
第一节	模拟分量视频信号	(78)
第二节	分量视频信号测量	(82)
第三节	分量测试仪器的使用	(90)
第九章	数字分量视频信号测量	(94)
第一节	演播室数字分量信号标准	(94)
第二节	串行数字信号的传输和数据复用	(110)
第三节	串行数字信号的眼图测量	(112)
第四节	串行数字信号抖动定义及测量	(114)
第五节	误码的定义及测量	(138)
第六节	串行数字信号延时测量	(147)
第七节	增强测试及 SDI 检测场	(152)
第十章	MPEG 协议分析	(156)
第一节	MPEG 视频压缩概述	(156)
第二节	MPEG-2 系统层	(159)
第三节	DVB-SI 业务信息	(171)
第四节	MPEG 协议分析	(178)
第五节	数字电视信号质量的监测和测量	(194)
第六节	PCR 测量	(198)
第十一章	数字电视图像质量主观评价	(203)
第一节	图像质量主观评价的一般要求	(203)
第二节	图像质量主观评价方法	(208)
第十二章	数字电视图像质量测量和分析	(212)
第一节	视频测量概念	(212)
第二节	数字图像质量客观测量方法	(217)
第三节	运用 JND 模型进行图像质量的测量和分析	(228)
参考资料		(234)
后记		(235)

第一章 视频测试信号

电视系统或设备的基本测量方法，是将一标准的视频测试信号送入视频通道前端，在它的末端通过测试仪器检验该信号的失真及参数改变，从而判定通道的传输性能及质量。这里所说的通道，不仅指传输信号的电缆，还包括所经过的各类设备。标准的测试信号是由视频测试信号发生器产生的，如 TEK TSG271 等。而测试仪器包括波形监视器如 TEK1731，矢量示波器如 TEK1721，综合测试仪如 TEK VM700 等。

第一节 彩条信号

在电视节目的制作播出及设备维护中，最常用的莫过于彩条信号了。这是由于彩条信号正确反映出各种彩色的亮度、色调和色饱和度，是检验视频通道传输质量最方便的手段。彩条信号常用于以下几个方面：

1、电视台开播前的电子图像：

可供全系统的初始调试，家庭电视接收机可用以判定是否有图像、色彩是否正常。

2、录像带带头录制 1 分钟彩条：

可供调整录像机视频通道的增益、时延、副载波相位等参数，以便信号进入切换台时与其它信号保持一致。

3、摄像机内置彩条信号发生器

可录制在磁带开始处，也可输出供讯道调试用。

4、作为同步锁定信号

在没有黑场信号的情况下，彩条信号也可用作同步基准。

一、彩条信号形成原理

自然界中的彩色可用色域图来表示，见图 1-1。在国际照明委员会规定的色域图中（即 CIE 色域图），自然界中人眼可见的所有彩色都包括在舌形区域内，而所有光谱色的点都在舌形曲线上（不包括舌形曲线下方直线部分）。彩色电视机中的彩色重现是由显像管完成的，显像管荧光粉的显像三基色在色域图中形成三角区域，其所能显示的所有彩色都在三角区域中。当然我们希望这三角区域越大越好，但显像管荧光粉在色彩浓重丰富和发光效率上存在矛盾。而彩色亮度高一些能使人感觉色彩更鲜艳，因此牺牲一些高饱和度和重现色域而换来较高的重现彩色亮度是合适的。图中标出了 NTSC (1953)、EBU (PAL) 和 SMPTE 三种显色三角区域，各自的基色坐标见表 1-1。EBU 为欧洲广播联盟的缩写，SMPTE 为

美国影视工程师协会的缩写。图中 EBU (PAL) 的重现色域虽然比 NTSC 要小一些, 但其荧光粉发光效率较高, 显出的彩色就比较鲜艳。目前欧洲和亚洲地区使用 EBU 标准, 而北美地区则使用 SMPTE 标准。

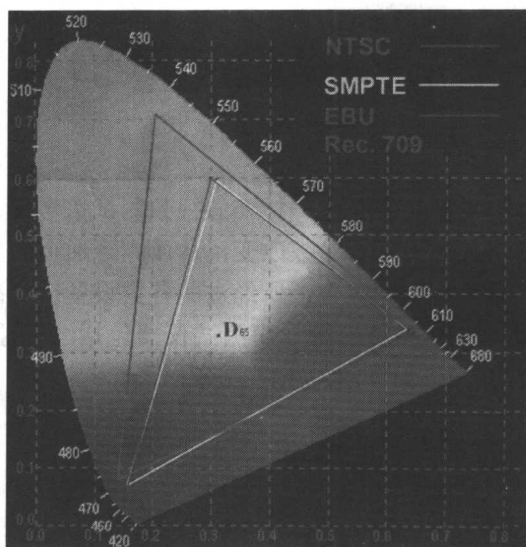


图 1-1 CIE 色域图

表 1-1 基色与标准白坐标值

	NTSC (1953)			EBU (PAL)			SMPTE			标准白		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B	C _白	D ₆₅	D ₉₃
X	0.670	0.210	0.140	0.640	0.290	0.150	0.630	0.310	0.155	0.310	0.313	0.283
Y	0.330	0.710	0.080	0.330	0.600	0.060	0.340	0.595	0.070	0.316	0.329	0.297

当加到显像管上的三路基色电压相等时, 荧光屏应显现白色光, 白色光的坐标在色域图的中心区域。NTSC 以 C_白 作为标准白, 其亮度方程为:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

当彩色显像管三基色荧光粉发出的亮度之比符合公式中系数之比时, 荧光屏呈现标准白光 C_白。PAL 则以 D₆₅ 作为标准白, 其亮度方程为:

$$Y = 0.222R + 0.707G + 0.071B$$

这是 PAL 的理论亮度方程。需要特别指出的是, 实际上 PAL 使用的仍是 NTSC 的亮度方程。这是由于 NTSC 制比 PAL 制要早用了十几年, 因而后出现的 PAL 就沿用了 NTSC 的亮度方程。实际使用时误差不大, 完全能够满足视觉对亮度的要求。随着荧光粉研制工作的进展, 目前美国、欧洲、亚洲地区都已使用 D₆₅ 作为标准白, 而日本则使用 D₉₃ 作为标准白。三种标准白在色域图中的坐标见表 1-1。

彩条信号的图像显示为八条等宽的彩色竖条, 从左至右依次为白、黄、青、绿、品、红、蓝、黑。其中红、绿、蓝三色的主波长即为显像管三基色荧光粉发光的主波长。青、

紫、黄分别为红、绿、蓝三基色的补色。所谓补色，即等量的补色与原色混合后呈白色。

常用的标准彩条有两种，即 100-0-100-0 和 100-0-75-0 彩条。这四组数的含义为：第一组为白条幅度值，第二组为黑条电平值，第三组为色条的 R、G、B 最大值，第四组为色条的 R、G、B 最小值。简称 100% 彩条和 75% 彩条。其形成波形如图 1-2

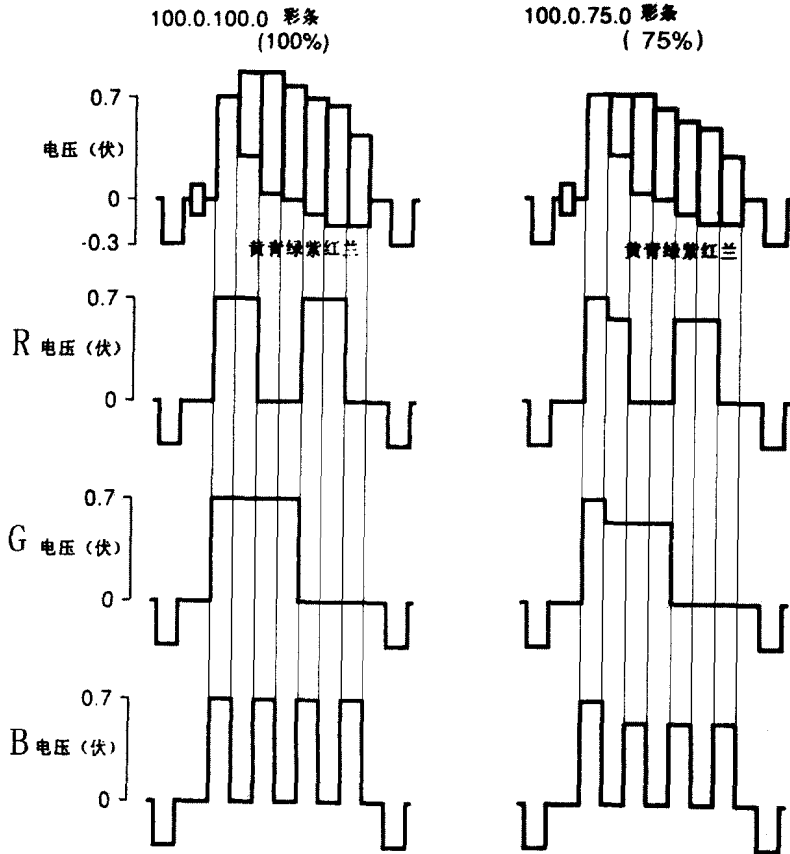


图 1-2 彩条形成波形图

二、彩条信号的参数

我们知道复合全电视信号是由亮度信号 Y 和色度信号 C 叠加而成，而色度信号 C 是由两色差信号 R-Y、B-Y 经副载波正交平衡调制而成。其中 B-Y 调制为色度信号的水平分矢量 U，R-Y 调制为色度信号的垂直分矢量 V。调制前的色差信号要进行压缩，即：

$$U = 0.493(B - Y) \quad V = 0.877(R - Y)。$$

这是由于若不进行压缩，对 100% 彩条信号来说，其电平范围将大大超出允许范围。如 100% 彩条的黄条电平的最大值超出白条电平 79%，而蓝条电平的最小值又低于黑色电平 79%。这样的信号在通过发射机进行负极调制时将产生过调制，引起严重失真，因此色差信号在正交平衡调制前一定要进行压缩。但压缩过多将使色度信号减弱，信噪比下降，对接收不利。实验证明，压缩后的 100% 彩条信号最大和最小电平不超出峰白电平和黑电平以外

33% 比较合适，这就是 U、V 各自的压缩系数的由来。

$$\text{PAL 制色度信号 } E_C = U \sin \omega_{sc} t + g(t) V \cos \omega_{sc} t$$

$$\text{色度信号 } C \text{ 的振幅 } A = \sqrt{U^2 + V^2}$$

$$\text{相角 } \theta = g(t) \text{tg}^{-1} \frac{V}{U}$$

由此计算出 100% 彩条和 75% 彩条信号的各个参数值，见表 1-2。

表 1-2 彩条信号参数值

彩色	亮度幅度 (mV)		色度幅度 (mV _{p-p})		色度相位 (deg)	
	100%	75%	100%	75%	100%	75%
白	700.0	700.0	0	0	0	0
黄	620.2	465.1	627.3	470.5	167.1	167.1
青	490.7	368.0	885.1	663.8	283.5	283.5
绿	410.9	308.2	826.8	620.1	240.7	240.7
品	289.1	216.8	826.8	620.1	60.7	60.7
红	209.3	157.0	885.1	663.8	103.5	103.5
蓝	79.8	59.9	627.3	470.5	347.1	347.1
黑	0	0	0	0	0	0

由于 100% 彩条信号的高饱和度和大幅度，其对传输通道的动态范围要求较高，通常只在测试编解码器时采用。而一般传输通道的测量都使用 75% 彩条。注意两个彩条的区别，白条的亮度电平相同。而 6 个色条的亮度和色度幅值（包括色差信号幅值），75% 彩条均为 100% 彩条的 75%。图 1-3 为一行 75% 彩条信号波形图及参数。

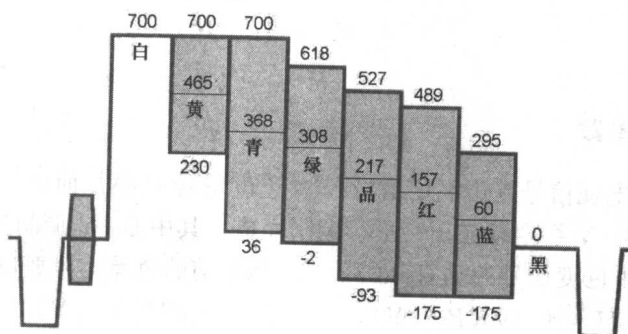


图 1-3 一行 75% 彩条波形图

第二节 十大常用测试信号

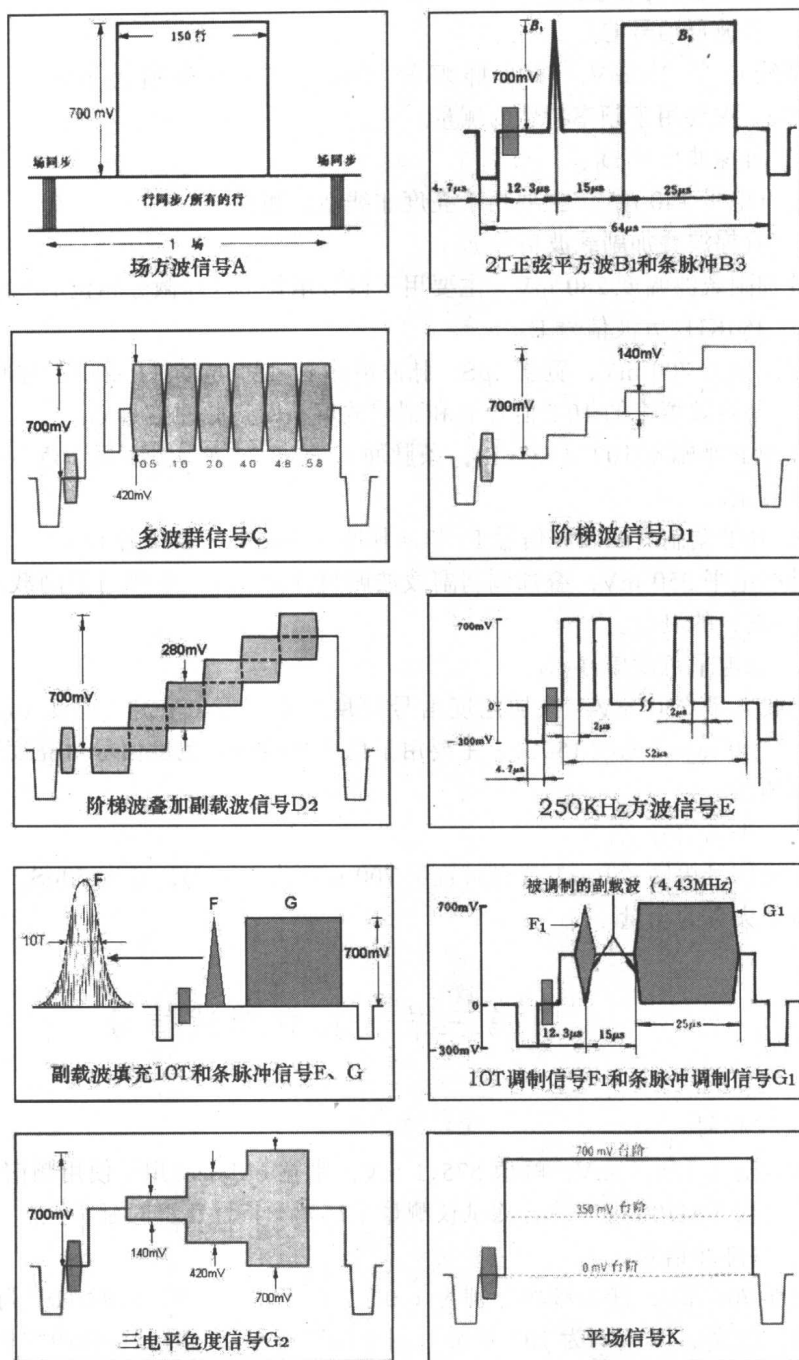


图 1-4 常用测试信号

1、场方波信号 A:

方波幅度 700mV, 宽度 10mS。主要用于场时间波形失真的测量。

2、2T 正弦平方波 B_1 和条脉冲信号 B_3 :

正弦平方波半幅宽 2T (166.6 μ S), 条脉冲宽度 25 μ S。主要用于反射损耗、频率特性及短时间波形失真的测量。

3、多波群信号 C:

基线电平 350mV, 多波群幅度 420mV, 频率分别为 0.5、1.0、2.0、4.0、4.8、5.8MHz。主要用于频率特性的测量。

4、阶梯波信号 D_1 :

台阶电平 140 mV。主要用于亮度非线性的测量。

5、阶梯波叠加副载波信号 D_2 :

叠加副载波幅度 280 mV。主要用于微分增益 DG 和微分相位 DP 的测量。

6、250KHz 方波信号 E:

方波幅度 700 mV, 宽度 2 μ S, 脉冲沿建立时间 T/2。主要用于过冲失真的测量。

7、副载波填充的 10T 信号 F 和副载波填充的条脉冲信号 G:

脉冲 F 半幅宽 10T (833nS), 条脉冲 G 宽度 25 μ S。主要用于色 - 亮增益差和色 - 亮时延差的测量。

8、10T 调制的副载波信号 F_1 和条脉冲调制的副载波信号 G_1 :

基线电平 350 mV, 叠加调制副载波幅度 700 mV。主要用于副载波对亮度信号的干扰 (交调失真) 的测量。

9、三电平色度信号 G_2 :

基线电平 350 mV, 叠加色度信号幅度分别为 140 mV (宽度 10 μ S)、420 mV (宽度 10 μ S)、700 mV (宽度 15 μ S)。主要用于色度非线性、色度信号对亮度信号的干扰 (交调失真) 的测量。

10、平场信号 K:

平场信号幅度 350 mV (也可置于 700 mV 或 0 mV), 宽度 50 μ S。主要用于信噪比及长时间波形失真的测量。

第三节 其它测试信号

1、 $\sin x/x$ 信号:

基线电平 124.9 mV, 峰值 575.1 mV, 带宽 6MHz。用于使用频谱分析仪测量系统频响指标, 使用 VM700 视频综合测试仪测量系统幅频特性和群时延特性。

2、多脉冲信号:

幅度 700 mV, 所含频率分别为 1.0、2.0、4.0、4.8、5.8MHz, 除含 1.0 MHz 脉冲半幅宽为 20T 外, 其余均为 10T 脉冲。用于幅频特性及群时延特性的测量

3、平场跳变信号:

平均图像电平 (APL) 每隔 5 秒钟由 12.5% 到 87.5% 之间交替跳变。用于瞬时同步增

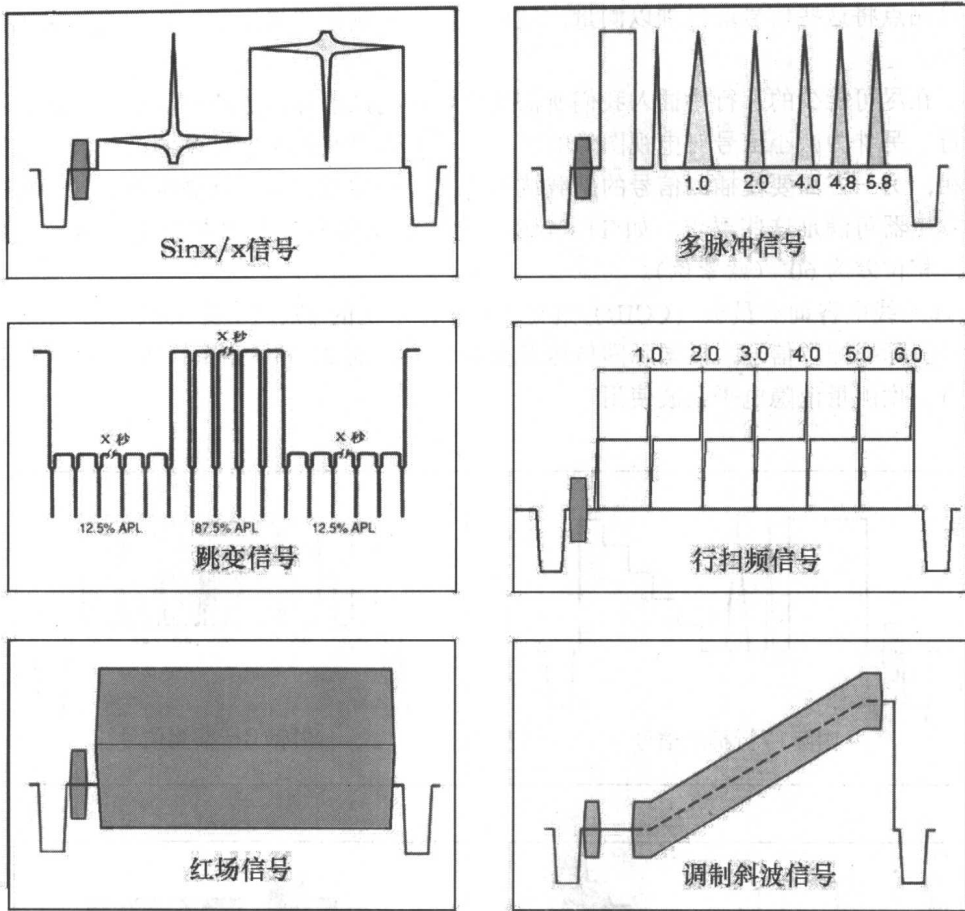


图 1-5 其它测试信号

益失真的测量。

4、行扫频信号：

幅度为 700 mV，频率范围 250KHz~6.1MHz，频标分别为 1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0MHz。用于幅频特性及群时延特性的测量。

5、红场信号：

基线电平 157 mV，色度幅度 663.8 mV、相位 103.5°。用于色度杂波的测量。

6、调制斜波信号：

斜波幅度从 0 到 700mV，叠加副载波幅度 280mV、相位 60.7°。用于微分增益 DG 和微分相位 DP 的测量。

第四节 插入测试行信号

前述的测试信号在对系统进行测量时，都要使系统停止传送电视节目，必将直接影响电

视节目的播出。若我们利用场消隐期中的场同步后的一些空行，将测试信号插入其中。然后从系统检测点将这些信号取出加以测量，这样就不会影响正常播出了。这就是插入测试行信号 (ITS)。

为了在尽可能少的几行中插入我们所需要的各种测试信号，需将相关的信号组合后再插入测试行。另外为减小信号对电视图像的影响，一方面要使插测信号中的副载波与色同步副载波锁相，另一方面要使插测信号的副载波与色同步相位差保持为低亮度颜色。使用插入测试信号发生器可满足这些要求。如 TEK148 产生的测试信号副载波与全电视信号副载波保持锁定，相位差为 60° (蓝紫色)。

国际无线电咨询委员会 (CCIR) 规定，625 行系统的 17、18 及 330、331 行用于分别插入 4 种国际插测行信号，供国际间传送及交换节目。而 22 和 335 行不插入任何信号，称为静噪行。供测量消隐电平杂波使用。

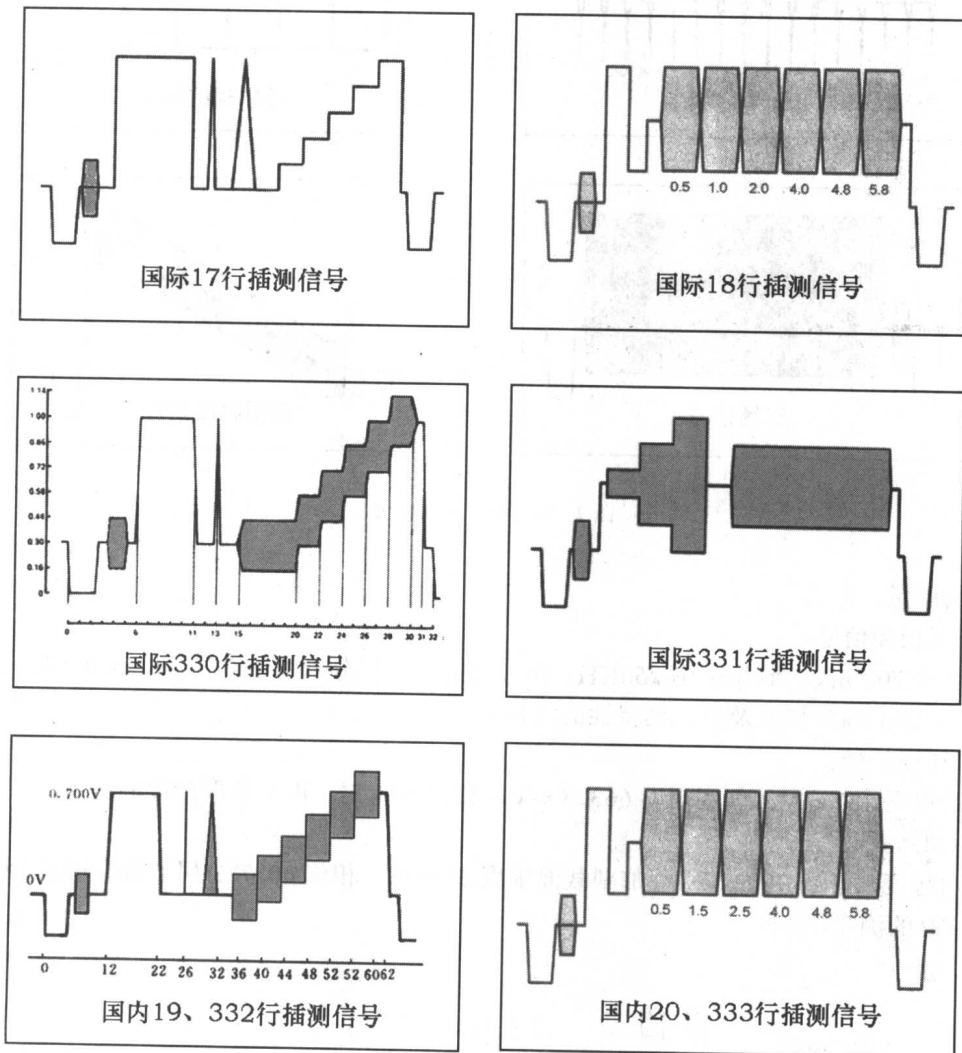


图 1-6 插入测试行信号 ITS

除以上规定外，各国可根据自己国家情况规定本国所用插入测试信号及位置，用于国内传送、交换节目。我国规定为 19、20 和 332、333 行用于插入两种国内插测行信号，奇偶场的相应行均为同一种信号。第 22 行供杂波测试用，而第 335 行作为备用行。具体测试信号如下：（见图 1-6）。

1、国际 17 行插测信号：

共含有四种测试信号：10 μ S 宽度白条脉冲、2T 正弦平方波、副载波（60.7°）填充 20T 正弦平方波、5 阶阶梯波。

2、国际 18 行插测信号：

该信号就是多波群信号。注意波群频率分别为：0.5、1.0、2.0、4.0、4.8、5.8MHz。

3、国际 330 行插测信号：

共含有三种测试信号：10 μ S 宽度白条脉冲、2T 正弦平方波、叠加副载波（60.7°）阶梯波。

4、国际 331 行插测信号：

共含有两种测试信号：三电平色度信号及 420mV_{p-p} 幅度色条信号。其基线电平为 350mV、色度相位为 60.7°。

5、国内 19、332 行插测信号：

共含有四种测试信号：白条方波、2T 正弦平方波、副载波填充 10T 正弦平方波、叠加副载波阶梯波。

6、国内 20、333 行插测信号：

该信号就是多波群信号。注意波群频率分别为：0.5、1.5、2.5、4.0、4.8、5.8MHz。

第二章 视频测试仪器

与普通示波器的高阻输入不同，所有的视频测试仪器输入口均要求为低阻 75Ω ，并且均为环通接口。即每一个输入通道都有两个接口，一个用于接入输入视频信号，另一个可同时输出给另一台测试仪器，称为环通连接，见图 2-1。

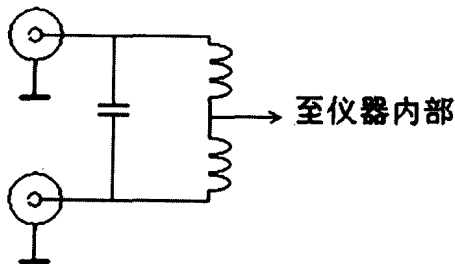


图 2-1 环通接口原理图

若只使用一个接口，另一个接口必须接入 75Ω 终端负载（也称 75Ω 终接器）。这是由于视频设备的输出阻抗均为 75Ω ，并设计为 75Ω 负载时其输出为 $1V$ 全电视信号。连接电缆的特性阻抗也为 75Ω ，而经过环通终接的测量仪器其输入阻抗也为 75Ω ，这样就使测量环路达到了阻抗匹配。若输入环通口不终接 75Ω ，将使输入信号幅度增大一倍，高频特性因产生反射也将变坏。因此在用普通示波器测量视频信号时，也要处理好输入阻抗。比如可通过一个一端接有 75Ω 终接器的三通接头将视频信号引入示波器，这样就能正常测量了。

第一节 波形监视器

波形监视器与示波器工作原理相同，其不同点在于：

- 1、功能专一。只适合观测标准幅度、周期的视频信号。
- 2、测量范围窄。只能测 $1V_{p-p}$ 左右的幅度和行、场周期的信号。
- 3、低输入阻抗。在单独连接和环通连接时都需要注意 75Ω 终接。
- 4、设有专用滤波器。如低通可检出亮度信号，带通可检出色度信号， $4.43MHz$ 陷波可去除副载波等。
- 5、可对信号进行箝位，以适应视频信号带有直流分量的特点。
- 6、可选看奇、偶场或全场。

7、可进行显示，以便观测场逆程中的插测行信号。

8、屏幕上有专用标尺，以方便测量。

下面以 TEK1731 波形监视器为例介绍：

2-1.1 面板按键 (见图 2-2)



图 2-2 TEK1731 面板按键

一、输入部分 (INPUT)

1、输入滤波器 (FILTER):

共有三个档位。平坦 (FLAT): 即直通, 不加任何滤波器。

低通 (LPASS): 加低通滤波器, 滤掉色度信号, 只显示亮度信号。

色度 (CHROMA): 加中心频率为副载波频率的带通滤波器, 取出色度信号。

在 FLAT 和 LPASS 四周有一黄色框, 表示若按住该键保持数秒时间, 功能就变为黄框中所示功能, (其它黄框也同此)。其效果为输入信号的直通波形和经过低通的波形将同时显示在屏幕上。若扫描方式设为 2 行时, 两波形分别在屏幕左半部和右半部显示; 若扫描方式设为 1 行时, 波形将在屏幕上重叠在一起显示。这就是所谓“双重滤波显示”, 以便于观测滤波后波形相对于原信号的变化。

2、基准信号 (REF):

有三个档位。内部 (INT): 即同步基准取自输入信号自身。

外部 (EXT): 即同步基准由外部输入。

校准 (CAL): 显示校准信号, 幅度 1V, 频率为 100KHz 方波。用以校准屏幕刻度对显示波形的准确度。通过屏幕下方的校准电位器调校。

3、输入选择 (INPUT):

通道 A (CH-A): 显示通道 A 的输入信号。

通道 B (CH-B): 显示通道 B 的输入信号。

双通道 (BOTH): 同时显示 A、B 通道的信号。若扫描方式设为 2 行时, 两个信号波形分别显示在屏幕左半部和右半部, 若扫描方式设为 1 行时, 两个信号将重叠在一起显示。

二、垂直部分 (VERTICAL)

1、增益调节 (GAIN):

有一个功能按键和一个调节旋钮。

垂直增益幅度 (VAR): 按亮后可用旋钮调节信号波形幅度 (调节范围小)。

5 倍增益 ($\times 5$): 按亮后信号幅度增为 5 倍于原值。

双功能 (BOTH): 既增大 5 倍又能调节信号幅度 (调节范围大)。

2、直流恢复 (OCREST):

直流恢复也称箝位功能。为避免屏幕上显示信号波形因平均图像电平 (APL) 变化而上下移动, 需将消隐电平箝位固定, 这就是箝位功能。

关 (OFF): 不进行箝位。

快箝 (FAST): 快速箝位, 消除低频干扰对显示波形的影响。

慢箝 (SLW): 慢速箝位, 可显示出低频干扰对波形的影响, 以便对其进行测量。

3、垂直移位旋钮 (\downarrow): 可调整显示波形的垂直位置。

三、水平部分 (HORIZONTAL)

1、扫描 (SWEEP):

选择屏幕扫描显示方式。

2 行 (2LINE): 显示 2 行波形。

2 场 (2FLD): 显示 2 场波形。

1 行 (1LINE): 显示 1 行波形。

2、水平扩展 (MAG):

此键功能与扫描方式选择有关。可将显示波形沿时间轴扩展, 以便测量波形细节的时间参数。

$1\mu\text{S}$: 2 行扫描方式下, 刻度盘每格为 $1\mu\text{S}$ 。

$\times 25$: 2 场扫描方式下, 满刻度盘显示 25 行波形。

$.2\mu\text{S}$: 1 行扫描方式下, 刻度盘每格为 $0.2\mu\text{S}$ 。

3、场选择 (FIELD):

主要用于选行方式时交替显示奇、偶场的相应行波形。

FLD1: 选择第一场。

FLD2: 选择第二场。

ALL: 同时选择两场。

4、水平移位旋钮 (\leftrightarrow):

可调整显示波形的水平位置。