

第1章 电视传像基础

中国传媒大学
姜秀华

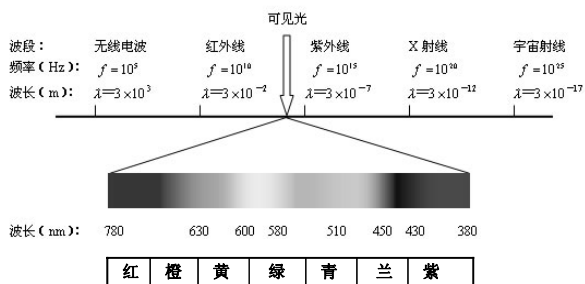
1.1 人眼的视觉特性

- 电视是通过电信系统将活动景物传送到远方并即刻重现的技术。
- 电视图像是由人眼观看的，重现的图像是必须适应人眼的视觉特性。只有掌握了人眼的视觉特性，才能够合理选择电视系统的基本参数。
- 人眼视觉特性包括：视敏特性、亮度感觉特性、视觉惰性、闪烁感觉、视觉分辨力特性、彩色感觉特性、三维成像特性等。

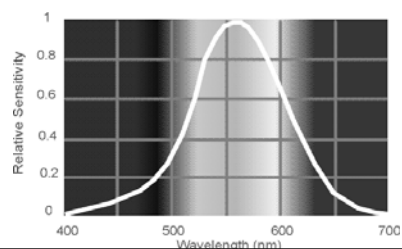


1.1.1 视敏特性

- 光是一种携带辐射能量的电磁波，可见光是波长范围为380nm至780nm的电磁波，光谱是连续分布的。
- 人眼对于不同波长的可见光有不同的颜色感觉；



- 人眼对于不同波长的可见光有不同的敏感度，即对于辐射功率相同而波长不同的光有不同的光亮感觉，称为视敏特性。
- 实验表明，在明亮环境中，眼对波长为555nm的黄绿光有最大的敏感度，在等辐射能量分布的光谱中，人眼感到黄绿光最亮，而感觉最暗的光是红光和紫光。



- 在相同的辐射功率下，视敏特性用相对视敏函数 $V(\lambda)$ 来定义：
$$V(\lambda) = \frac{\text{人眼对波长为 } \lambda \text{ 光的敏感度}}{\text{人眼对波长为 } 555 \text{ nm 光的敏感度}}$$
- $V(\lambda)$ 越大，人眼对该波长的光越敏感；
- 555nm的黄绿光的相对视敏函数值为1；
- 随着波长的增大或减小，人眼光亮感觉的敏感度越来越弱。
- 要获得相同的亮度感觉，黄绿光所需要的辐射功率最小。

- 也可以表示为：在相同的主观亮度感觉下：

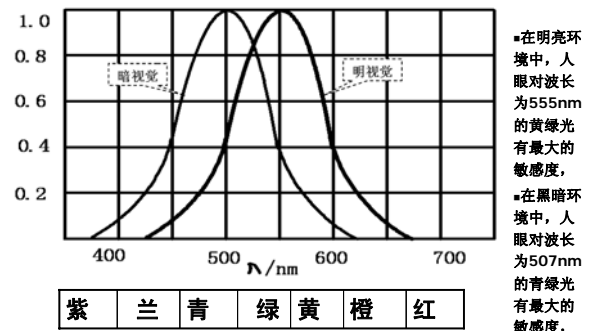
$$V(\lambda) = \frac{\text{波长为 } 555 \text{ nm 的光所需的辐射功率}}{\text{波长为 } \lambda \text{ 的光所需的辐射功率}}$$

- 要获得相同的亮度感觉，红光所需要的辐射功率要比绿光大的多。

明视觉与暗视觉视敏函数

- 人眼在明亮和黑暗两种不同的环境中是不一样的视敏特性，原因是人眼的视网膜上有两种视敏细胞：锥状细胞和杆状细胞。
- 锥状细胞：属于明视觉细胞，在光亮条件下（比如白天）才能感知明暗层次，它不仅有明暗的感觉而且能辨别颜色。特点是灵敏度低。
- 杆状细胞：属于暗视觉细胞，在夜晚于或微弱光线下人眼靠杆状细胞进行感光。特点是灵敏度高但不能辨别颜色。
- 由于电视系统重显的图像有相当高的亮度，所以电视系统只考虑人眼的明视觉视敏特性。

1933年国际照明委员会（CIE）测得的明视觉与暗视觉视敏函数



1.1.2 光的度量

- 由于人眼对不同波长光有不同的敏感度，所以在光的度量时，必须考虑光波对人眼刺激的效果。
- （1）光能
- 能被人眼感觉的辐射能量称为光能；辐射能量相同，但波长不同的光，其光能是不同的。
- （2）光通量 Φ
- 光通量----单位时间内，光源发出的能被人感觉的辐射能量。光通量的单位是光瓦和流明（lm）。1光瓦=683流明。

- 单色光源的光通量：
- 光通量 $\Phi = \text{辐射功率} \times \text{视敏函数值} V(\lambda)$
- 当辐射功率为1W时：
- 波长为555nm的单色，所产生的光通量为1光瓦；
- 对于其它波长，由于人眼感光灵敏度的下降，光通量均小于1光瓦，等于相对视敏函数给出的值。
- 复合光源的光通量：
- 如果光源的光谱功率分布为 $\Phi_e(\lambda)$ ，则总的光通量 Φ 应为各波长成分的光通量之总和，即：

$$\Phi = \int_{380}^{780} \Phi_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

- （3）亮度 L
- 发光面每单位面积的发光强度称为亮度；
- 亮度的单位是坎德拉（或称烛光）/平方米=cd/m²。也称为尼特（nit）。

1.1.3 亮度感觉和亮度视觉范围特性

- 亮度感觉是一个主观量，它不仅取决于景物给出的亮度值，而且还与周围环境的平均亮度有关。
- (1) 人眼的感光具有适应性
- 从明亮环境进入到昏暗环境，瞳孔逐渐增大，视觉灵敏度逐渐增大；暗视觉的亮度感觉范围从10⁻³ ~几个cd/m²；
- 而从昏暗环境进入到明亮环境则相反，瞳孔逐渐缩小，视觉灵敏度逐渐变小。明视觉的亮度感觉范围从1 ~10⁶ cd/m²；
- 因此人眼所能感觉的亮度范围很宽，从10⁻³ ~到10⁶ cd/m²，达10⁹:1；
- 人眼的感光具有适应性，使得人在极高亮度环境或极低亮度环境中都能看到物体。

■ (2) 亮度视觉范围

- 在平均亮度适中时，人眼能同时感觉到的亮度上、下限之比最大可接近1000:1。
- 在平均亮度过高或过低时，只有10:1。
- 现代电影胶片能够记录景物的亮度范围为128:1；而电视摄像设备能记录的亮度范围要低于电影胶片。

(3) 可见度阈值

L	L+ΔL _{min}
---	---------------------

- 亮度级差：是指在亮度L的基础上增加一个最小亮度ΔL_{min}，此时人眼刚刚感到两者有差异，称这两个亮度的级差为一级。ΔL_{min}称为可见度阈值。
- 对于不同的亮度L，人眼能觉察到的最小亮度变化ΔL_{min}是不同的，L大，ΔL_{min}也大。
- 对比度灵敏度阈δ：
- 在相当宽带范围内， $\delta = \Delta L_{\min}/L$ 基本为一个常数，0.005至0.02，当亮度很高或很低时可达0.05。

(4) 视亮度 (亮度感觉)

- 人眼的亮度感觉是一个主观量，可以证明视亮度S与亮度L的对数成线性关系

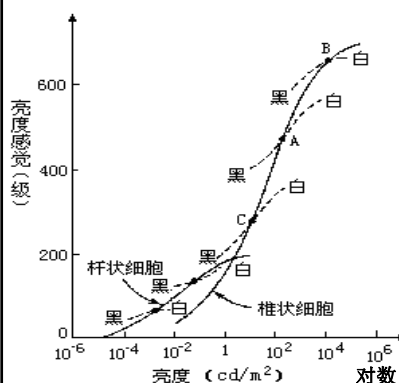
$$S = k \lg L + k_0$$

- 人眼的亮度感觉不仅取决于景物的亮度值，而且还与环境亮度和背景亮度有关。



- 图中所有的圆点是相同的灰色；

通过实验获得视亮度与亮度的关系曲线



- 人眼这种视觉特性给电视传送景物和重现带来了方便。
- 电视无须重现景物的真实亮度，只需保证重现图像与实际景物在主观感觉上具有相同的对比度和亮度级差数即可，就能给人以真实的感觉，
- 例如，白天室外景物的亮度范围可能是200cd / m²~20000cd / m²，而在进行实况转播时，虽然电视机屏幕上的亮度范围仅有2cd / m²~200cd / m²，但观众仍可获得真实的主观感觉，因为对比度相同。

1.1.4 对比度和亮度层次

■ (1) 对比度

- 景物或重现图像中的最大亮度 L_{\max} 和最小亮度 L_{\min} 的比值称为对比度：

$$C = \frac{L_{\max}}{L_{\min}}$$

- 对比度大，可分辨的亮度层次多，图像明暗层次丰富，柔和细腻。

(2) 亮度层次（灰度层次） n

画面最大亮度与最小亮度之间可分辨的亮度级差数称为亮度层次

- 在正常情况下，画面对比度越大，可获得的亮度层次就多。
- 人眼能分辨的亮度层次还与入眼对比度灵敏度阈 $\delta = \Delta L_{\min}/L$ 值有关。
- 可以证明，当 $\delta < 1$ 时：

$$n \cong \frac{2.3}{\delta} \lg C$$

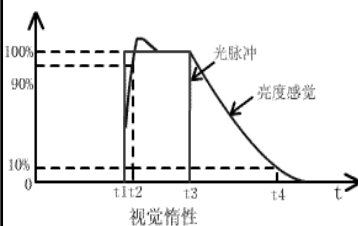
- 说明，人眼所能分辨的亮度层次 n 与画面对比度 C 的对数成正比，与对比度灵敏度阈 δ 成反比。

- 在实际观看电视时，由于杂散光的影响，对比度都比较低，当电视图像的对比度 $C=40$ ， δ 值取0.05时，可求得其亮度层次 $n=74$ 。
- 亮度层次是图像质量的一个重要参数，
- 亮度层次多，图像显得明暗层次丰富，柔和细腻；
- 亮度层次少，图像则显得单调生硬；
- 因此提高电视系统显示设备所能呈现的对比度是十分重要的。

1.1.5 视觉惰性和闪烁感觉

■ (1) 视觉惰性 (Visual Persistence)。

- 人眼视觉建立和消失过程的滞后效应，称为视觉惰性
- 亮度感觉建立的过程非常短；亮度感觉消失的过程却有一个稍长的渐变残留过程，这种现象称为视觉暂留。通常视觉暂留时间约0.05~0.2秒。



- 融合频率：
- 由于视觉暂留的作用，当一幅静止画面以每秒多于20次的重复频率在银幕或荧光屏上呈现时，人们会获得不是断续而是一幅连续画面的感觉。这一重复频率称为融合频率，大于20Hz。
- 电影放映和电视显像技术都是利用视觉暂留特性实现的。
- 在电视机的荧光屏上，电视图像是数十万个像素按一定顺序轮流发光形成的，人们看到的则是每幅完整的画面在整体发光，这就是视觉暂留作用的结果。

(2) 闪烁频率

- 如果人眼受到周期性光脉冲照射，当重复频率不够高时，会产生一明一暗交替变化的闪烁感觉。
- 如果将脉冲光源的重复频率提高，人眼将察觉不到是脉冲光源，感觉到的是均匀的不闪烁的光源。
- 不引起闪烁感觉的光脉冲最低重复频率，称之为临界闪烁频率 f_c 。
- 可以证明：临界闪烁频率 f_c 与光源亮度 L_m 的对数成正比

$$f_c = a \lg L_m + b$$

a、b为常数

- 实验证明，如果屏幕最高亮度 L_m 为100cd/m²，环境亮度为0，可得出 $f_c = 45.8\text{Hz}$ 。
- 如果屏幕最高亮度大于100cd/m²， f_c 还要提高。
- 这就是说，要使电视画面不闪烁，其换幅频率应高于45.8Hz。

演示

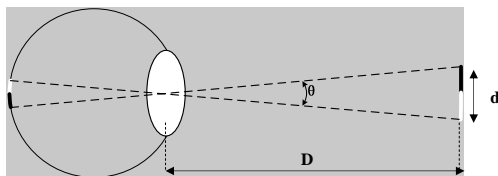
克服闪烁感的方法

- 电影系统
- 电影胶片的拍摄帧频为24Hz，大于融合频率但是不满足闪烁频率；
- 为了克服人眼闪烁感，电影采用的方式是在放映时每一格胶片在银幕上投光两次或三次，这样一来，银幕的重复闪烁频率可提高到48Hz或72Hz。

- 电视系统
- 目前电视系统采用的帧频为25 Hz或30Hz，大于融合频率但是不满足闪烁频率的要求。
- 为了克服闪烁感，目前普遍采用了隔行扫描的方式，将一帧画面分成两场传输。在不改变帧频的情况下，屏幕上画面的呈现频率提高了一倍，变为50 Hz或60Hz，基本消除了闪烁感。
- 但当屏幕最高亮度大于100 nit 时，fc也相应提高，50 (60) Hz的闪烁频率不能满足要求。

1.1.6 人眼的分辨力

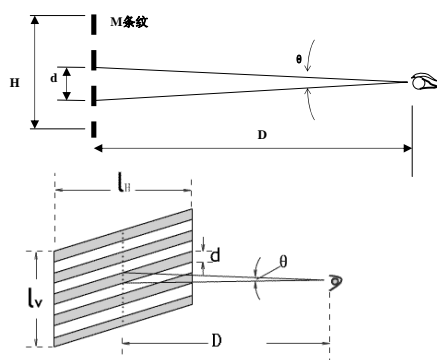
- 人眼分辨景物细节的能力称为分辨力。分辨力通常采用分辨角 θ 的倒数 $1/\theta$ 来表示。
- (1) 分辨角 θ :
 - 观测点与人眼能分辨的相距最近的两个点所形成的夹角。
 - d —可分辨的紧邻两点间距； D —观看距离，
 - 显然分辨角 θ 越小，说明人眼的分辨力 ($1/\theta$) 越高。



- 分辨角计算公式：

$$\frac{d}{2\pi D} = \frac{\theta}{360 \times 60} \quad \theta = \frac{57.3 \times 60 \times d}{D} = 3438 \frac{d}{D} (\text{分})$$

- 1弧度=57.3度, 1度=60分
- 分辨力照明强度、景物的对比度、物体运动速度有关。
- (2) 对静止黑白图像的分辨力
 - 正常视力的人，在中等亮度和对比度下，观看静止黑白图像的分辨角为 $1' \sim 1.5'$ 分。
 - 标准清晰度电视根据分辨角为 $1.5'$ 来设计扫描行数， $Z = 620$ 行，有效扫描行数 $Z' = 575$ ，
 - 高清晰度电视根据分辨角为 $1'$ 来设计扫描行数， $Z = 1125$ 行，有效扫描行数 $Z' = 1080$ 。



- (3) 对运动景物的分辨力
- 景物的运动速度快，人眼的分辨力将降低。
- 实验证明，对运动景物，其分辨角是静止图象的5倍，即 $\theta = 7.5$ 分，

- (4) 对彩色细节的分辨力
- 人眼对彩色细节的分辨力远低于黑白细节的分辨力。
- 人眼对彩色细节的分辨角比黑白细节分辨角大3至5倍。
- 人眼的分辨角随色调不同而不同。

细节 色别	黑	白	黑	绿	黑	红	黑	蓝	绿	红	红	蓝	绿	蓝
分辨力	100%		94%		90%		26%		40%		23%		19%	

- 人眼分辨景物彩色细节的能力黑白细节分辨力的1/3~1/5。
- 因此，彩色电视系统在传送彩色图像时，细节部分可以只送黑白图像，而不送彩色信息，这就是后面要介绍的利用大面积着色原理来节省传输频带的依据。

结论:

- 人眼视觉特性主要有：人眼的视敏特性、亮度感觉、视觉范围、视觉惰性、闪烁感觉特性、分辨力等特性，电视系统正是利用了人眼的这些特性才使电视传输成为可能。
- 人眼对于辐射功率相同而波长不同的光有不同的光亮感觉，人眼感到最亮的是555nm黄绿光。
- 人眼适应平均亮度后，分辨的亮度范围最多为100: 1，因此电视不需要呈现很大的亮度范围。
- 电视无须重显景物真实的亮度，只要保持最大亮度 L_{\max} 和最小亮度 L_{\min} 的比值 C （对比度）相同，并能重显其中的亮度级差 n 即可，重显图像和实际景物的主观感觉是一样的。
- 人眼分辨景物彩色细节的能力黑白细节分辨力的1/3~1/5。
- 人眼对运动景物的分辨力是静止图象的1/5。

1.2 电视扫描原理

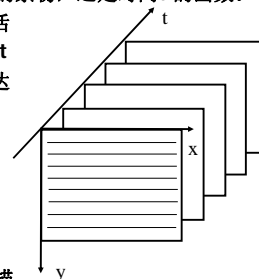
1.2.1 电视传像的基本原理

- 自然界景物的亮度、色调和饱和度信息是一个三维空间坐标 x 、 y 、 z 的函数，如果是活动的景物，还是时间 t 的函数。
- 由于目前，广播电视传输的是活动的平面图像，因此是 x 、 y 、 t 的三维函数，其光学信息的表达式为：

$$L = f_L(x, y, t)$$

$$H = f_H(x, y, t)$$

$$S = f_S(x, y, t)$$



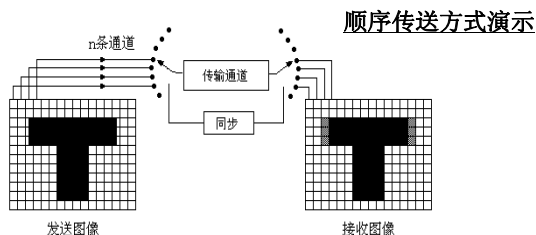
- 为了便于传送，电视系统利用扫描原理，将三维信号转变成一维信号

(1) 黑白电视传像基本概念

- 黑白电视只传送亮度信号 L ，如何将随时间、空间多维变化的亮度信息转变成单一时间变量的一维信号？

$$L = f_L(x, y, t) \rightarrow f_L(t)$$

- 现代电视技术采用顺序传送方法（扫描）。

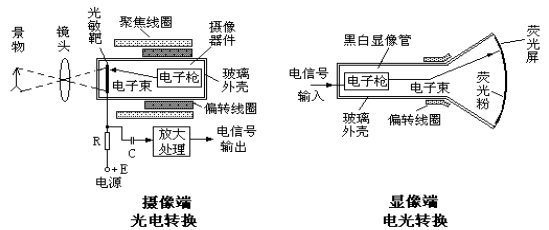


- 只要这种顺序传送进行的足够快，利用人眼的视觉惰性和发光材料的余辉特性，就会让人感觉到是一幅连续的同时发光的活动图像。
- 同步的重要性：
- 为了正确重现发送端所传输的图像，接收端必须将每个像素的电号，在与发送端相同的位置上进行电光转换，称为同步。
- 同步是电视系统一个非常基本而重要的问题。

(2) 显像管扫描原理

- 在早期的黑白摄像机和现在仍在使用的CRT（阴极射线管）显像管中，扫描都是通过电子束在光敏（光电转换）面上或荧光屏上（电光转换）扫描实现的。

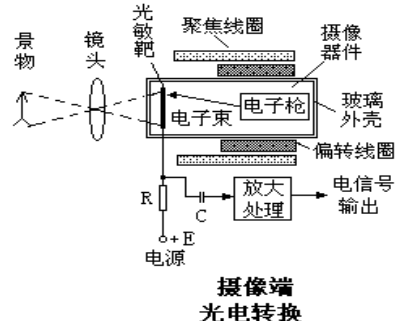
演示：显示器扫描



■ 早期摄像器件

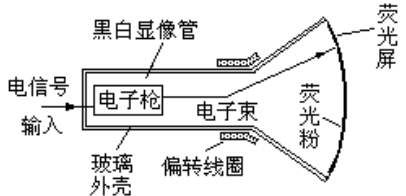
- 使用真空封装的摄像管，管内主要包括电子枪和光敏靶两部分。

- 电子枪的作用是发射电子束，对光敏靶进行从左到右、从上到下一行一行扫描，可以将图像各像素的光信息转换成电信号。



- 黑白显像管
- 内部主要包括电子枪和荧光屏两部分。
- 电子枪发射电子束，图像信号电压控制电子束的强度。
- 电子束以很高的速度轰击荧光屏，激发荧光粉发光，形成一个亮度与图像信号强弱相对应的亮点。

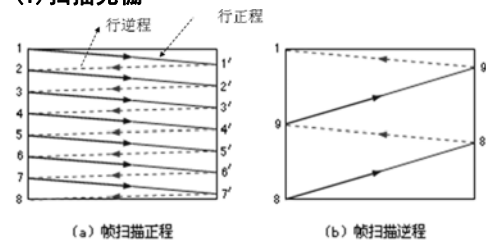
- 电子束要和摄像端电子束的扫描保持同步，要



1.2.2 逐行扫描 (Progressive)

■ (1) 扫描光栅

逐行扫描演示



- 由电子束扫描形成的扫描线结构称为扫描光栅。
- 逐行扫描是指在图像上从上到下一行紧跟着上一行的扫描方式。

(2) 扫描参数

垂直扫描参数

- 帧频: $f_F = 1/T_F$
- 帧周期: $T_F = T_{Ft} + T_{Fr}$
- 帧正程期 T_{Ft} : 一帧画面显示行需要的扫描时间;
- 帧逆程期 T_{Fr} : 一帧画面消隐行需要的扫描时间;
- 帧逆程系数: $\beta_F = T_{Fr} / T_F$
- 标称行数 (一帧总扫描行数): Z (为整数)。
- 有效行数 (帧正程期间的扫描行数): $Z' = (1 - \beta_F) Z$
- 我国标准清晰度电视垂直扫描参数:
- $f_F = 25\text{Hz}$, $T_F = 40\text{ms}$, $T_{Fr} = 3.2\text{ms}$, $\beta_F = 0.08$,
- $Z = 625$ 行, $Z' = 575$ 行, 逆程50行。

■ 水平扫描(行扫描)参数

- 行频: $f_H = 1/T_H$
- 行周期: $T_H = T_{Ht} + T_{Hr}$
- 行正程期 T_{Ht} : 一行显示的扫描时间;
- 行逆程期 T_{Hr} : 行消隐所的时间;
- 行逆程系数: $\alpha = T_{Hr} / T_H$, $T_{Ht} = (1 - \alpha) T_H$
- 我国标准清晰度电视行扫描参数:
- 行频 $f_H = Z f_F = 625 \times 25 = 15625\text{Hz}$,
- 行周期 $T_H = 64 \mu\text{s}$, $T_{Ht} = 52 \mu\text{s}$, $T_{Hr} = 12 \mu\text{s}$
- $\alpha = 12 \mu\text{s} / 64 \mu\text{s} = 0.1875$

- 我国标准清晰度电视扫描参数标准:
- 帧频: $f_F=25\text{Hz}$, $T_F=40\text{ms}$, $T_{Fr}=3.2\text{ms}$, $\beta_F=0.08$, $Z=625$, $Z'=Z(1-\beta_F)=575$,
- 行频: $f_H=Zf_F=625\times 25=15625\text{Hz}$,
- $T_H=64\mu\text{s}$, $T_{Ht}=52\mu\text{s}$, $T_{Hr}=12\mu\text{s}$, $\alpha=0.1875$
- 我国高清晰度电视扫描参数标准:
- 帧频: $f_F=25\text{Hz}$, $T_F=40\text{ms}$, $T_{Fr}=1.6\text{ms}$,
- $\beta_F=0.04$, $Z=1125$, $Z'=Z(1-\beta_F)=1080$,
- 行频: $f_H=Zf_F=1125\times 25=28125\text{Hz}$,
- $T_H=35.55\mu\text{s}$, $T_{Ht}=25.859\mu\text{s}$, $T_{Hr}=9.696\mu\text{s}$,
- $\alpha=0.2727$

(4) 图象信号带宽(信号最高频率)

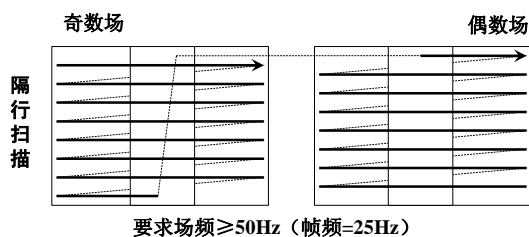
- 电视系统扫描参数确定后, 电视系统能够产生的最高频率就确定了, 可以证明, 电视系统能够产生的图象最高频率:

$$f_{\max} = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{2} \times Z^2 \times f_F \times \frac{L}{H} \times \frac{(1-\beta)}{(1-\alpha)}$$

- 按照我国标清标准参数: $f_F=25\text{Hz}$, $\beta_F=0.08$, $Z=625$, $\alpha=0.1875$, $L/H=4/3$, 同样可得图象信号最高频率7.364 MHz。
- 由于 $f_F=25\text{Hz}$ 不满足闪烁频率的要求, 因此画面有闪烁;
- 增加帧频到50Hz, 带宽增加一倍14.728MHz;
- 如何在保持信号带宽不增加的前提下, 减小画面的闪烁? 采用隔行扫描方式。

1.2.3 隔行扫描(Interlaced)

- 隔行扫描将一帧图像分两次扫描,
- 一次扫奇数行(称为奇数场)、一次扫偶数行(称为偶数场),
- 两场合为一帧。

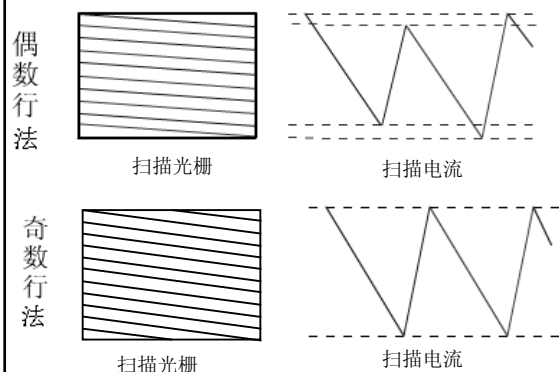


- 虽然每个像素每秒重现25次, 但观看整体画面时, 每秒闪了50次, 基本克服了闪烁感。
- 场频: $f_V = 2f_F$; 场周期: $T_V = (1/2) T_F$
- 隔行扫描的优点:
- 与逐行扫描相比, 隔行扫描可以在保证图像分辨率不甚下降和画面无大面积闪烁的前提下, 将帧频降低到一半, 因此图像信号带宽也减少到一半。

隔行扫描应满足的基本要求

- 在隔行扫描中, 必须保证两场光栅的精确镶嵌。为此要求:
- (1) 为了每帧起点相同, 要求每帧必须为整数行;
- (2) 为了使两场的场扫描电流波形相同, 要求每帧为奇数行, 也即每场存在半行。否则两场场扫描电流波形不同, 不容易实现。
- 我国标准每帧625行, 每场扫描312.5行;

偶数场法和奇数场法扫描电流比较



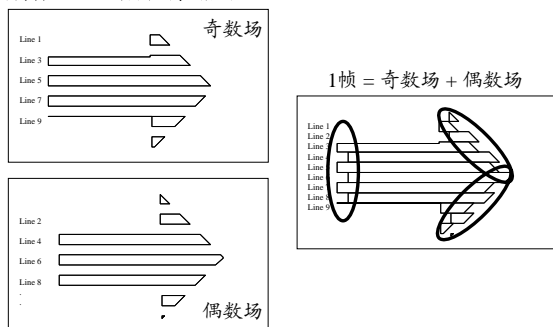
隔行扫描主要缺点

- ①存在行间闪烁。
- 在隔行扫描中，整个画面的变化是按场频重复的，它高于临界闪烁频率因而没有大面积闪烁感。但就每行而言，它仍是按帧频重复的，即每秒重复25次，这是低于临界闪烁频率的。
- 所以，当我们观看比较亮的细节时，仍会感觉到行间闪烁。比如在观看格子衣服、由于细节高度小于两行间距，就会出现一场存在另一场不存在的亮线，给人明显不舒服的闪烁感；

- ②容易出现并行现象，影响垂直分解力。
- 当物体沿垂直方向运动，如果移动速度每经一场刚好下移一行距离，则后一场传送的细节与前一场相同。垂直分解力降低。
- 当显示设备两场光栅镶嵌不好引起的两场扫描线局部或全部重叠的现象；
- 一般来说，隔行扫描的垂直分解力相当于逐行扫描垂直分解力乘以隔行因子 K_i ， K_i 值一般在0.6~0.7之间。

③ 高速水平运动物体出现“锯齿化”现象

- 当画面中有沿水平方向运动的物体，如果运动速度足够快，其物体垂直边沿会出现锯齿。



- 尽管隔行扫描有很多缺点，但是隔行扫描的优点还是主要的，因此世界各广播电视系统都毫无例外地采用隔行扫描方式。
- 发展趋势
- 随着数字技术的发展，带宽已经足够传输逐行扫描信号，隔行扫描将淘汰，

我国标准清晰度电视隔行扫描的基本参数

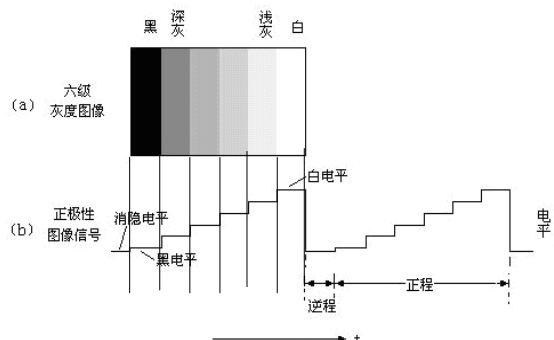
- 我国电视扫描标准：隔行扫描
- 每帧625行、帧正程（有效行数）575、帧逆程50行；（ $\beta_F=0.08$ ）
- 每场312.5行；场正程：287.5行，场逆程：25行；
- 帧频： $f_F=25\text{Hz}$ 、帧周期 $T_F=40\text{ms}$ ；帧逆程期： $T_{F_r}=3.2\text{ms}$ ；
- 场频： $f_v=50\text{Hz}$ 、场周期： $T_v=20\text{ms}$ （ $T_{v_t}=18.4\text{ms}$ ， $T_{v_r}=1.6\text{ms}$ ）
- 行频： $f_H=25(\text{帧})\times 625(\text{行})=15625\text{Hz}$ ；
- 行周期： $T_H=64\mu\text{s}$ 、 $T_{H_t}=52\mu\text{s}$ 、 $T_{H_r}=12\mu\text{s}$ 、 $\alpha=0.1875$ ；

1.3 黑白电视全电视信号

- 黑白全电视信号：是由图像亮度信号、复合消隐脉冲、复合同步脉冲按一定方式时分复用组成的信号。
- 复合消隐脉冲：作用是截止行、场回扫电子束。
- 复合同步脉冲：作用提供行、场扫描指令，指示回扫开始；

1.3.1 图像亮度信号

在黑白电视中，只传输携带图像明、暗信息的亮度电信号



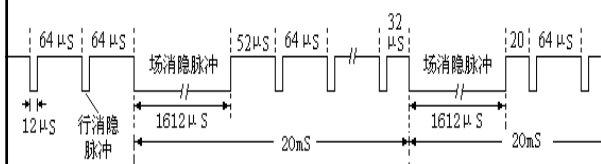
图像信号的两个特点

- (1) 单极性---图像信号是单极性信号。
 - 最黑部分的信号电平称为黑电平，
 - 最白部分的信号电平称为白电平。
 - 从黑电平到白电平的范围为图像信号的峰—峰值。
 - 图像信号有两种表示方式：
 - 正极性图像信号——白电平高、黑电平低；
 - 负极性图像信号——黑电平高、白电平低。
 - 视频设备的接口规定使用正极性图像信号：
 - 峰—峰值为0.7VP-P（终接75Ω）。
- (2) 脉冲性：图像信号经常出现上、下跳变沿，它往往出现在景物中边缘等细节部分，反映图像内容上的亮暗突变。

1.3.2 复合消隐脉冲

- 消隐脉冲的作用——扫描逆程期间让信号电平为黑电平，截止电子束，屏幕为黑色，起到消隐逆程光栅痕迹的作用。
- 复合消隐脉冲：包括行消隐脉冲和场消隐脉冲；
- 行消隐脉冲抑制行逆程期间的电子束；
- 场消隐脉冲抑制场逆程期间的电子束。
- 消隐电平：消隐期间没有图像信号，只有一个能使电子束截止的固定电平。消隐电平比黑电平低一点。消隐电平和图像信号黑电平的差值称为肩电平提升，通常为0~50mV（图像信号幅度为700mVP-P的情况）。

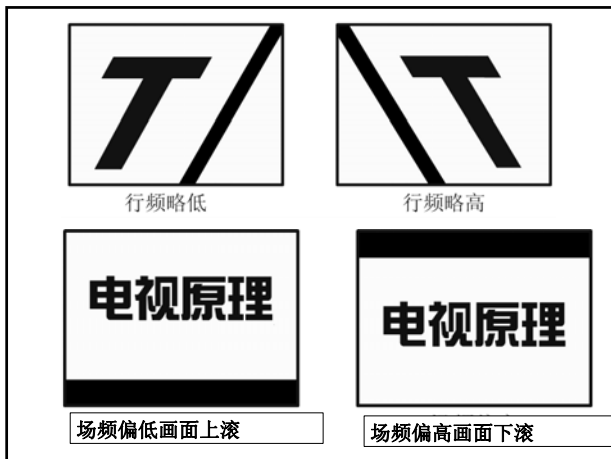
1.3.2 复合消隐脉冲



- 在我国的标清模拟电视标准中：
 - 行周期 $T_H=64\mu s$ 、行消隐宽度为 $12\mu s$ （ $\alpha=0.1875$ ）、
 - 场周期 $T_V=20ms$ ，
 - 场消隐宽度为 $25T_H+12\mu s=1612\mu s$ （ $\beta=0.08$ ），
 - 由于一场为312.5行，因此相邻两场中行消隐与场消隐的相对位置是不同的，复合消隐脉冲两场一重复，所以复合消隐脉冲的周期为40ms。

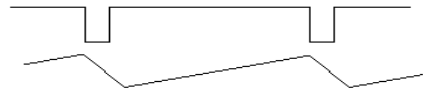
同步信号

- 在进行扫描时，必须做到收发两端的扫描规律严格一致，称之为同步。
- 同步包含两个方面：
 - (1) 收发两端的扫描速度相同，称作同频；
 - (2) 收发两端每行、每幅的扫描起始时刻相同，称做同相。
- 同频又同相才能实现扫描同步，保证重现图像既无水平方向撕裂现象，也无垂直方向翻滚现象。

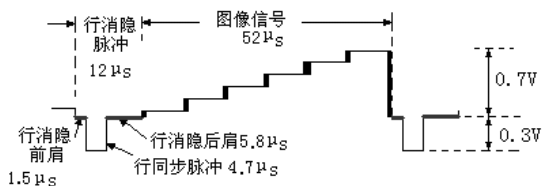


1.3.3 复合同步脉冲

- 复合同步脉冲由行同步脉冲和场同步脉冲组成。
- (1) 行同步脉冲
- 发送端行扫描正程结束后发出行同步脉冲信号，控制接收端行扫描逆程的开始时间。
- 行同步信号仅起控制行同步作用，不应在屏幕上显示出来，故应叠加在行消隐脉冲之上。
- 行同步脉冲的前沿启动行扫描逆程电流开始；
- 每一个行周期是以行同步脉冲前沿的时间作为基准开始的。



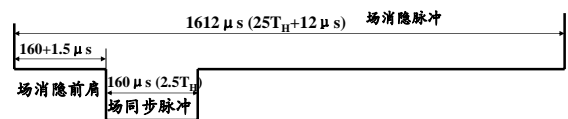
行同步脉冲的宽度和位置



- 行同步脉冲宽度 $4.7 \mu s$ ；行同步脉冲幅度是 $0.3V$ ；
- 行同步脉冲前沿比行消隐脉冲前沿滞后 $1.5 \mu s$ ，称为行消隐前肩，用以保护行同步前沿，避免了图像信号电平变化对行同步的影响。行同步前沿之后的行消隐部分称为行消隐后肩，宽度为 $5.8 \mu s$ 。
- 行同步电平比行消隐电平“更黑”。

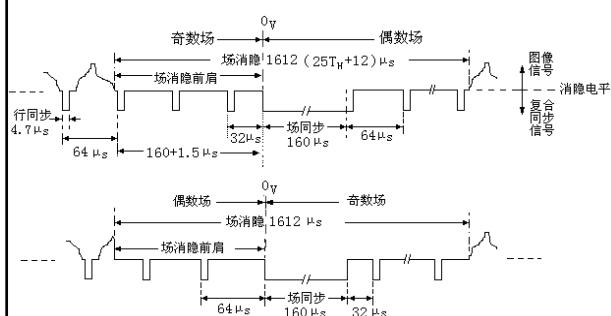
(2) 场同步脉冲

- 发送端场扫描正程结束后发出的脉冲信号，控制接收端场扫描逆程的开始。
- 同理，场同步信号应叠加在场消隐脉冲之上。
- 场同步脉冲宽度为 $2.5 T_H = 160 \mu s$ ，



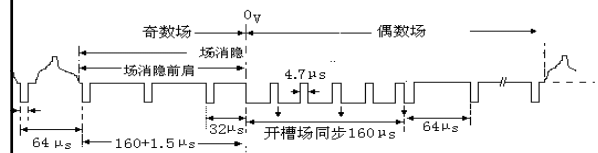
- 我国标清模拟电视的标准，场同步脉冲的前沿滞后场消隐脉冲前沿 $160 + 1.5 \mu s$ （即 $2.5 T_H + 1$ 个行消隐前肩的时间）。
- 场消隐前肩：场同步之前的场消隐部分称为场消隐前肩，
- 场消隐后肩：场同步之后的场消隐部分称为场消隐后肩。

- 为了使场消隐期内仍然有行同步信息，因此场消隐前肩和后肩都要加行同步脉冲。



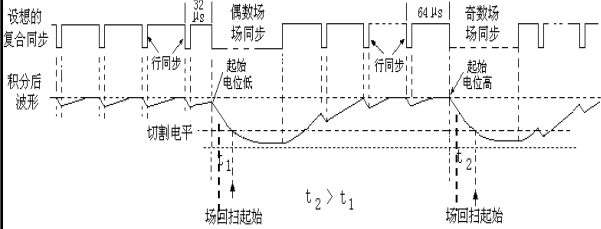
(3) 槽脉冲

- 为了使场同步期间也有行同步信息，在场同步宽度内每隔半行开一个槽，形成5个槽脉冲。
- 每个槽脉冲宽度规定为 $4.7 \mu s$ ；
- 每半行设置一个的原因：让两场场同步周围的波形保持一致；
- 槽脉冲的后沿与行同步前沿对应；



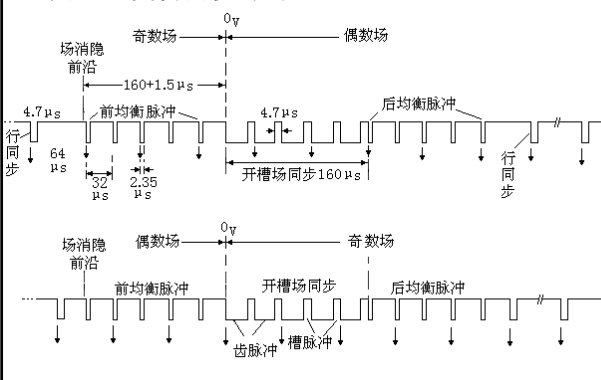
均衡脉冲

- 场同步信息是靠积分电路从复合脉冲中分离出来的，积分电路输出电平值控制场逆程回扫电流开始时刻
- 由于最后一个行同步到达奇数场、偶数场的场同步前沿的时间不同，造成积分后积分电容上的起始电压不等，使奇偶相邻两场的积分波形不同，造成使

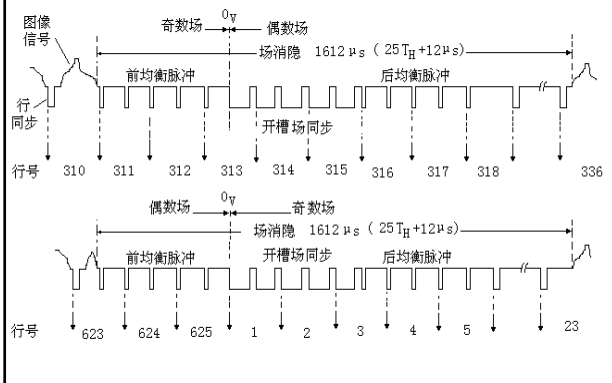


- 前均衡脉冲:**将场同步脉冲前面2.5行时间内每隔半行加一个均衡脉冲，宽度为 $2.35 \mu s$ ，称为前均衡脉冲。
- 作用：使奇、偶场同步脉冲前沿与其前面行同步脉冲之间隔的差异推远了，这样奇、偶场场同步脉冲在积分电路上输出波形的差别变得很微小，不会影响隔行扫描两场光栅的精确镶嵌。
- 后均衡脉冲:**另外，在场同步脉冲之后也安置了5个后均衡脉冲，其参数与前均衡一样，每半行一个，宽度为 $2.35 \mu s$ ，并无什么作用，可认为是一种对称性摆设。

实际的复合同步脉冲

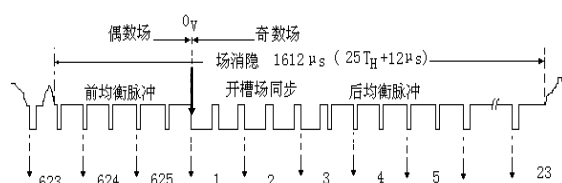


1.3.4 黑白全电视信号



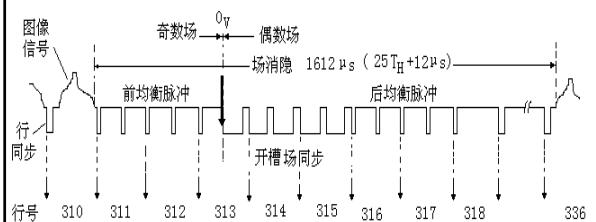
场序和行序的规定

- 奇数场（第一场）：**
- 奇数场从第1行至第312.5行结束。
- 奇数场的起始为带有行同步前沿信息的场同步前沿；场同步脉冲与前一个行同步脉冲相差一整行；



场序和行序的规定

- 偶数场（第二场）：**
- 偶数场从第312.5行至第625行。
- 偶数场的起始为不带有行同步前沿信息的场同步前沿。场同步脉冲与前一个行同步脉冲相差半行。



场消隐期间的规定

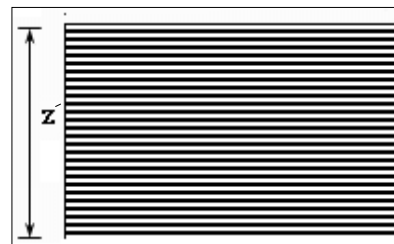
- 在场消隐脉冲后肩上，除5个后均衡脉冲外，还有17行“空闲”着，可利用来安插多种其它信息。如插入测试行信号、台标信号、标准时间、标准频率、业务数据和图文电视信号等。

1.4 分解力与信号带宽

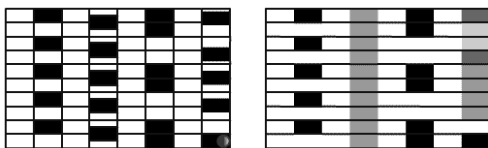
- ◆ 清晰度与分解力的定义：
- ◆ 图像清晰度——主观感觉到的图像细节呈现的清晰程度；
- ◆ 电视系统的分解力——电视系统客观传送图像细节的能力；
- ◆ 分解力： 垂直分解力
- ◆ 水平分解力
- ◆ 沿画面垂直方向分解图像细节的能力称为垂直分解力；
- ◆ 沿画面水平方向分解图像细节的能力称为水平分解力。

1.4.1 垂直分解力：

- 垂直分解力定义为：沿垂直方向所能分解的黑白相间的横条数。



- ①垂直分解力主要取决于有效扫描行数 $Z' = Z(1 - \beta)$
- ②还与扫描行的有效性有关：
- 即景物与摄像感光单元的垂直相对位置存在各种随机关系，降低了实际的垂直分解力。



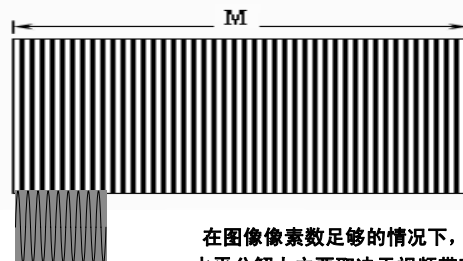
分解力演示

- (1) 理想垂直分解力 M
- 当扫描行正好与黑白相间的水平线相重合时，垂直分解力等于每帧画面的有效扫描行数。
- $M = Z' = Z(1 - \beta) = 575 \text{ TVL(电视线)}$
- $Z=625$ 、 $\beta=0.08$

- (2) 实际垂直分解力 M'
- 考虑到扫描行和图像位置的随机性，实际的垂直分解力要小于有效扫描行数，乘以垂直凯尔 (Kell) 系数 K_{ev} :
- $M' = K_{ev} \times Z' = K_{ev} \times Z (1 - \beta)$
- K_{ev} 一般取 0.65~0.75。
- 我国标清扫描系统: $Z=625$, K_{ev} 取 0.75;
- $M' = K_{ev} \times Z (1 - \beta) = 0.75 \times 625 (1 - 0.08) = 431 \text{ TVL}$
- 我国高清扫描系统: $Z=1125$, $K_{ev}=0.75$, $\beta=0.04$
- $M' = 0.75 \times 1125 (1 - 0.04) = 810 \text{ TVL}$

1.4.2. 水平分解力

- 电视系统的水平分解力用沿图像水平方向所能分解的像素数或黑白相间的竖条纹数表示。



在图像像素数足够的情况下，水平分解力主要取决于视频带宽

- 影响电视系统水平分解力的因素有三个:
- 1、摄像器件沿水平方向的光电转换单元 (像素) 数;
- 2、视频通道的带宽;
- 3、显示器件在水平方向所能重现的像素数。
- 在摄像器件和显示器件像素数足够的情况下，水平分解力主要取决于视频通道的带宽

- ◆ 对水平分解力的要求:

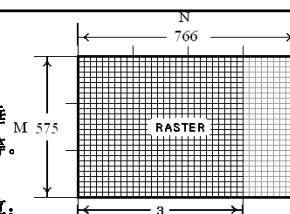
- ◆ 应该与垂直分解力相匹配，即单位长度内水平方向与垂直方向所包含的像素数相等。

- ◆ 理想水平分解力 N

- ◆ 按照理想垂直分解力 M 计算:

- ◆ $N=M (l_H/l_V)$

- ◆ 其中, l_H/l_V 为画面宽高比



- ◆ 例如: $M=575$, $l_H/l_V=4/3$, 则 $N=575 \times (4/3) = 766 \text{ TVL}$;

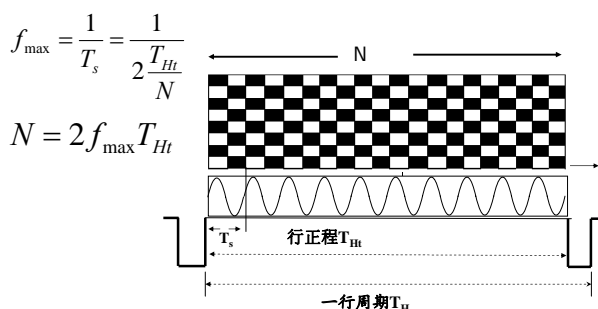
- 实际水平分解力 N'

- 按照实际垂直分解力 M' 计算 (考虑垂直凯尔系数)

- 水平分解力 $N' = M' (l_H/l_V) = 431 \times (4/3) = 575 \text{ TVL}$

1.4.3 图像信号的最高频率与水平分解力的关系

- 图像信号最高频率 f_{\max} 和水平分解力有关。



- 按照与 M 相匹配的理想水平分解力 $N = Z(1 - \beta) (l_H/l_V)$ 计算图像信号最高频率:

$$f_{\max} = \frac{1}{2 \times T_{Ht} / N} = \frac{1}{2} \times Z^2 \times f_F \times \frac{l_H}{l_V} \times \frac{(1 - \beta)}{(1 - \alpha)}$$

$$T_{Ht} = T_H (1 - \alpha) = \frac{(1 - \alpha)}{Z \times f_F}$$

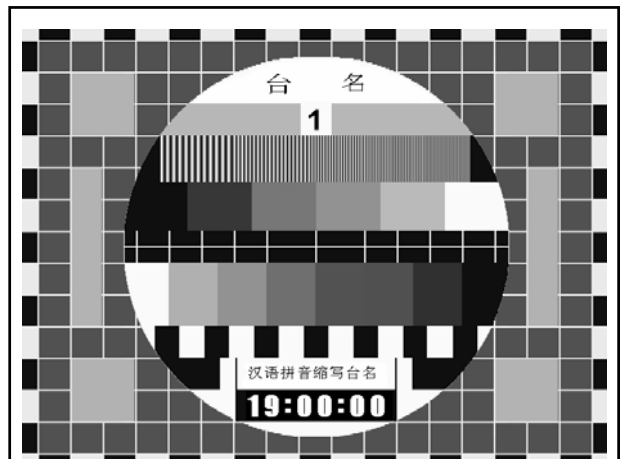
- 已知 $\beta_F=0.08$, $\alpha=0.1875$, $(l_H/l_V)=4/3$, $z=625$,

$f_F=25$, 可得: $f_{\max}=7.37\text{MHz}$;

- 已知 $T_{Ht}=52 \mu s$, $N=767$, 同样可得: $f_{\max}=7.37\text{MHz}$

- 我国标清电视扫描制式, $T_{Ht}=52\mu s$
- 我国高清电视扫描制式, $T_{Ht}=25.859\mu s$

$$N = 2f_{\max} T_{Ht}$$



1.4.4 传输通道频带 Δf 的设定

- 一般电视系统的通频带 Δf 是按照实际水平分解力
- $N' = K_{ev} \times Z(1-\beta) (l_H/l_V)$ 来设计的:

$$\Delta f = K_{ev} \times f_{\max} = K_{ev} \times \frac{1}{2} \times \frac{l}{h} \times Z (1-\beta) \times \frac{Z \times f_F}{(1-\alpha)}$$

$$\Delta f = \frac{1}{2 \times T_{Ht} / N'}$$

- ◆例如: 在我国标清电视中, $f_{\max} = 7.37\text{MHz}$, K_{ev} 取0.75, 可得 $\Delta f = 5.5\text{MHz}$;
- ◆这样既能保证水平分解力与实际垂直分解力相匹配, 又可以使通频带不至太高, 降低对传输通道带宽的压力。

国际上不同国家选定的视频通频带宽 Δf

- (1) 在625/50场扫描系统中, 国际上不同国家选定有三种视频通频带宽: 5MHz; 5.5MHz; 6MHz;
- (2) 在525/59.94(60)场扫描系统中, 选定视频通频带宽: 4.2MHz;
- (3) 我国选定视频通道带宽: $\Delta f = 6\text{MHz}$

定义水平凯尔系数为:

$$\frac{\Delta f}{f_{\max}} = K_{eff}$$



- 根据我国电视扫描格式:
- $f_{\max} = 7.37\text{MHz}$, $\Delta f = 6\text{MHz}$, $K_{eff} = 0.81$

视频通道带宽 Δf 确定后, 水平分解力的计算

- 如果传输带宽为 Δf , 则在行正程期 T_{Ht} 内可允许通过的图像信号黑、白相间的垂直条为:

$$N = \Delta f 2T_{Ht} \quad \Delta f \leq f_{\max}$$

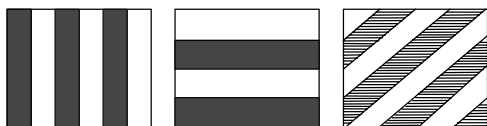
- 例: 在我国标清625/50场扫描系统中, $T_{Ht} = 52\mu s$, $\Delta f = 6\text{MHz}$, 则 $N = 624$, 1 MHz通频带约对应104线。
- 例: 在高清1125/50场扫描系统中, $T_{Ht} = 25.859\mu s$ 如果 $\Delta f = 30\text{MHz}$, 则 $N = 1552$, 1 MHz通频带约对应52线。

信号频率?



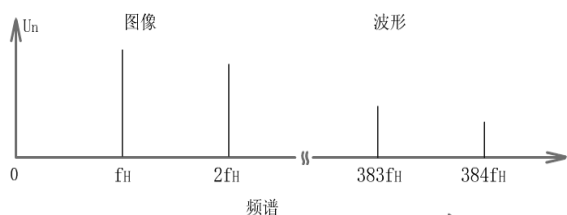
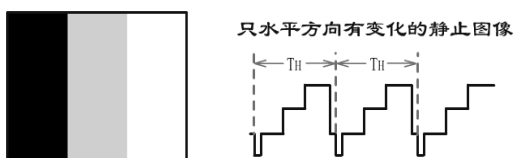
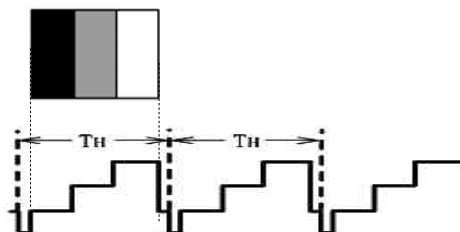
1.5. 图像信号的频谱

- 电视图像信号为0-6MHz变化随机信号，虽然频谱随图像内容变化而变化，但由于电视系统是对图像进行一行行分解传输的，相邻行之间在内容上存在很强的相关性，因此图像信号具有一定的行、场的周期性，致使电视图像信号的频谱是按行频、场频规律变化的梳状频谱。



1. 只在水平方向有亮度变化的静止图像的频谱

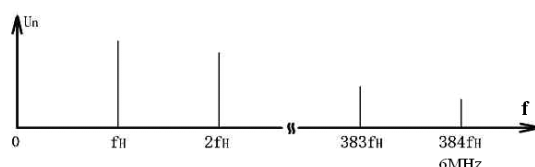
- 每个行扫描得到的图像信号都是一样的，所以信号是以行频为周期的周期信号。
- 为了方便讨论，我们忽略了行逆程



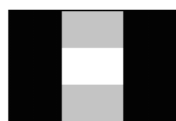
- 根据傅立叶分析，周期信号的频谱是离散的线状谱，
- 因此只在水平方向有亮度变化的静止图像的频谱，只包含行频 f_H 及其 f_H 的各次谐波分量。且 n 越大，能量（幅度）越小。

$$i(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} U_n e^{jn2\pi f_H t}$$

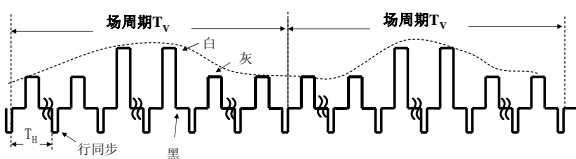
- U_n 是复振幅。
- 6MHz视频带宽允许通过的最高谐波次数为 $n = 6 \times 10^6 / 15625 = 384$ 。高次谐波反映图像越精细的细节。



2. 在垂直方向也有亮度变化的静止图像的频谱

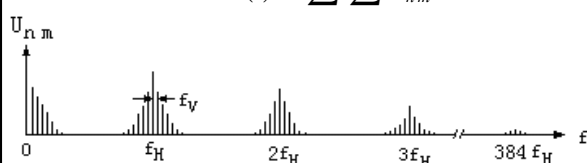


相当于行频脉冲的幅度受到一个场频信号的调幅，使行频频谱上产生出场频及场频谐波的边带波。

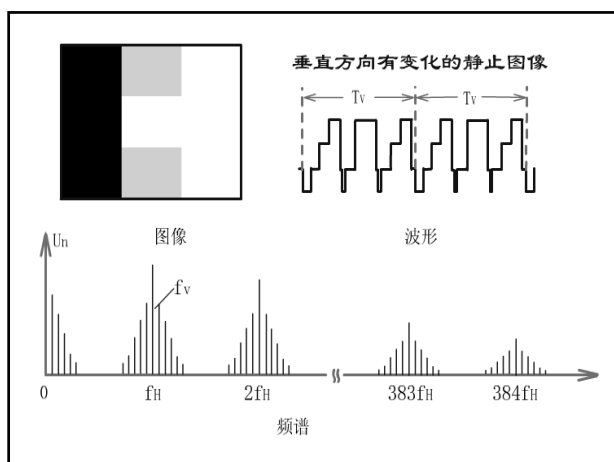


$$f_{nm} = nf_H \pm mf_V \quad i(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} U_{nm} e^{2\pi j(nf_H \pm mf_V)t}$$

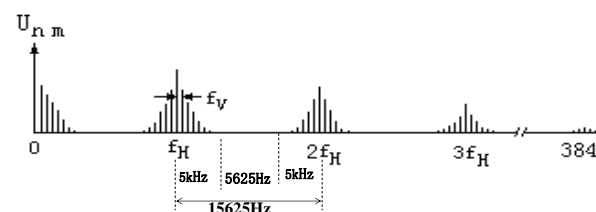
$$f_{nm} = nf_H \pm mf_V \quad i(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} U_{nm} e^{2\pi j(nf_H \pm mf_V)t}$$



- nf_H 为主谱线，相邻主谱线之间的间隔为行频 f_H ；
- 主谱线两边为 mf_V 副谱线，相邻副谱线之间的间隔为场频 f_V ；
- 通常 n 和 m 值越大时谱线的幅度越小。
- 频谱分布体现了行频信号受场频信号调幅的结果。
- 通常图像在垂直方向的细节都不会太丰富，所以副谱线幅度都衰减很快，在半行频奇数倍的附近有大的信号能量空白区。



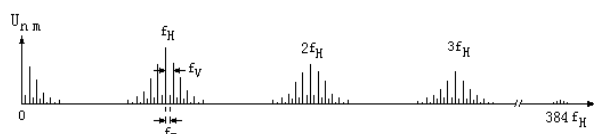
- 例如图像垂直方向为100对黑白相间的水平条纹(M达到200,这是垂直细节相当丰富的图像),此时每个主谱线旁副谱线宽度各占 $100 \times f_v = 5000\text{Hz}$,因此在半行频奇数倍点的附近约有5625Hz宽度的能量空白区。



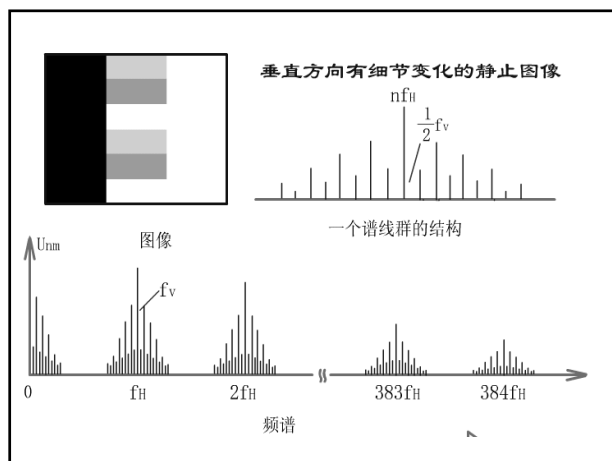
3. 垂直方向有细节变化的静止图像的频谱

- 垂直方向有精细节变化时,则奇、偶两场的图像信号会有差异,因此图像信号波形是以帧周期重复的。频谱成分为:

$$f_{nm} = nf_H \pm mf_F \quad f_F \text{ 为帧频, } 25\text{Hz}$$



- 每个 nf_H 两旁的副谱线是以 f_F 为间隔的,其中 mf_v 上的能量相对地较大,而 mf_F 上的能量相对地较小。
- 其原因是虽然垂直方向有细节变化,上、下相邻两行间图像信号有差异,但由于通常图像内容的相关性很强,因此奇、偶数场的图像信号异极小。



4. 运动图像信号的频谱

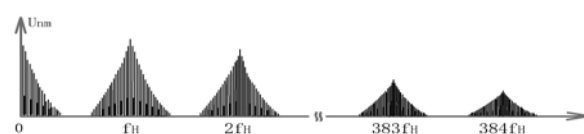
- 至于运动图像,由于图像信号的上、下行和前、后场波形都会不一样,将失去任何周期性,此时的信号频谱将如何呢?
- 由于通常景物的运动速度不会太快,一个帧周期(40ms)内景物不会在画面上偏移较大的距离,相邻帧信号波形不会有重大区别。因此信号仍具有准周期性,频谱结构与静止图像信号的频谱不会有很大差异。

演示: 电视频谱

- 由于相邻帧的图像信号波形在时间轴上的相位有了变化,所以频谱分析中的相位谱将有不同,即每个频谱分量都附加了一个随时间变化的相位:

$$i(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} U_{nm} e^{2\pi j(nf_H \pm mf_v + \frac{d\phi_{nm}}{dt}t)}$$

- 也可以认为,随着景物运动而 nf_H 两旁的 $\pm f_v$ 依时间作左右不断摆动。此时,相邻副谱线之间将不存在50Hz(或25Hz)的小空白间隔,几乎是填满的、连续的了。



- 总之，图像信号频谱在0~6MHz范围内分布呈离散而又成群（或称为梳状结构），能量主要集中于行频及其谐波为主谱线的附近，而且谐波次数 n 越大，谱线的幅度即能量越小。
- 在 $1/2f_H$ 的奇数倍上存在很大的空隙，而且频率越高，空隙越大。
- 模拟彩色电视制式就是将图像的色度信号频谱搬移到高处，并插入亮度信号频谱的空隙中传输的。
- 这样，可以使色度信号与亮度信号共用一个频带传输，达到与黑白电视兼容的效果。