辨率。

当进行非整数扫描速率变换时，会出现最糟糕的伪影。例如，当某些帧显示3次时，而其他的帧只显示2次。在这种情况下，观众将观察到重叠或模糊对象。因为人脑以连续的帧跟踪对象，期望看到一个正常的位置序列，当对走走停停的对象运动进行协调时就会出现麻烦。其结果是，观众会错误地得出结论，认为有两个对象在同时运动。

232 ~ 233

7.8.2 时域插值

当需要生成希望的帧率时，这种技术就会根据初始帧来生成新帧。应该同时使用已经输入的和即将输入的帧的信息，这样就可以最优地处理对象的出现与消失。

图7-40给出了使用时域插值（temporal interpolation）实现从50Hz到60Hz的变换过程。对于50Hz视频的每5个场，在60Hz视频中则有6个场。

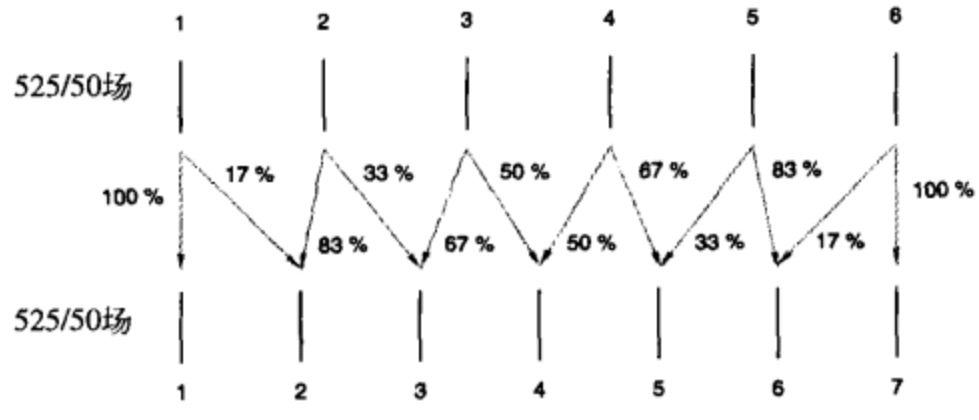


图7-40 没有进行运动补偿的情况下，使用时域插值将帧率由50Hz转换为60Hz

在两个源对齐以后，将两个50Hz的相邻场混合在一起来生成新的60Hz场。这种技术用在某些便宜的标准变换器中实现50Hz与60Hz标准之间的变换。注意，这里没有使用运动分析。因此，如果帧率为50Hz的摄像机在水平方向上平移经过一个狭长的垂直对象，那么每6个60Hz的场，就会看到这个对象一次，并且对于中间的5个场，将会看到两个对象，其中一个淡入，而另一个则淡出。

1. 50Hz到60Hz转换示例

图7-41给出了扫描速率变换器，该变换器实现了垂直方向上的插值，然后进行时域插值。图7-42给出了图7-41中设计的谱表示（spectral representation）。

现在的很多设计将垂直插值和时域插值结合起来形成一个单一的设计，如图7-43所示，对应的谱表示见图7-44。这个例子先使用了垂直插值，然后进行时域插值。如果是先进行时域插值，然后再进行垂直插值，那么所需的场存储大小将减半。但是，线存储的数目将由4增加到8。

在上面的每个例子中，第一个插值过程必须产生一个中间、高分辨率的逐行格式以避免隔行分量，因为隔行分量会干扰第二个插值过程。不论在垂直方向还是水平方向上，仅使用两个场的线混合的插值方法是不够的，因为插值过程不能补偿隔行线的时间偏移。

2. 运动补偿

使用时域插值的、具有更高质量的扫描速率变换器包含了运动补偿，这样就可以使伪影最小化。其结果是运动显得非常平滑和自然，图像显得更清晰（sharper），不会出现运动抖动（motion judder）。

针对扫描速率变换的运动估计不同于MPEG所使用的运动估计。在MPEG中，目标是通过搜索连续帧中区域之间高度的相关性来最小化移位帧差异。得到的运动向量不一定对应于真实的运

动向量。

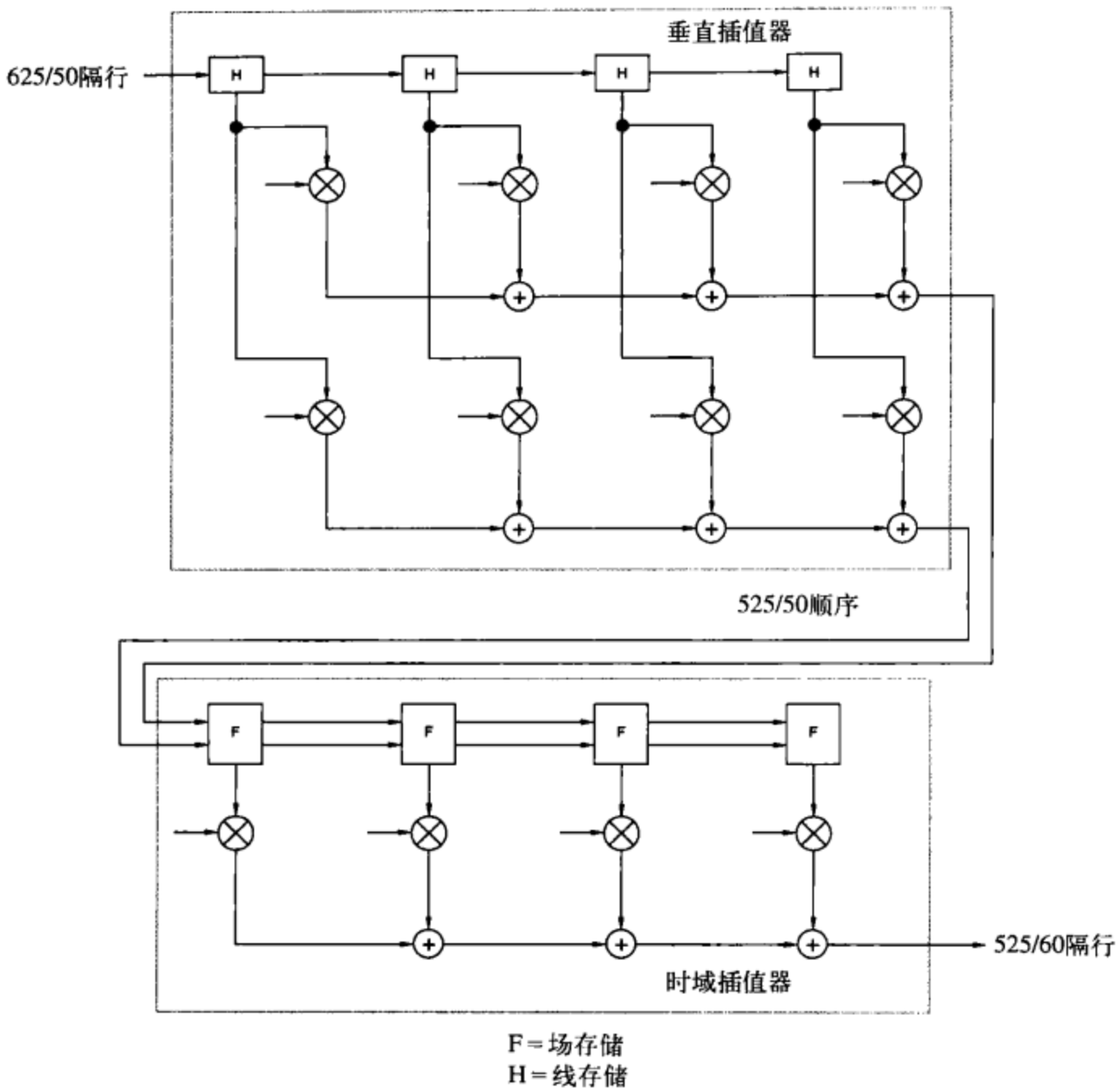


图7-41　典型的50Hz到60Hz帧率变换，使用垂直插值，紧接其后进行时域插值

对于扫描速率变换，确定真实的运动信息以实现正确的时域插值很重要。插值应该能够承受不正确的运动向量以避免引入讨厌的伪影，因为伪影是我们要采用技术尽可能消除的。有几种原因可能导致不正确运动向量，如跟踪运动的时间不足、运动向量超出范围和混叠引起的估计困难等。

3. 100Hz隔行电视的例子

234～235

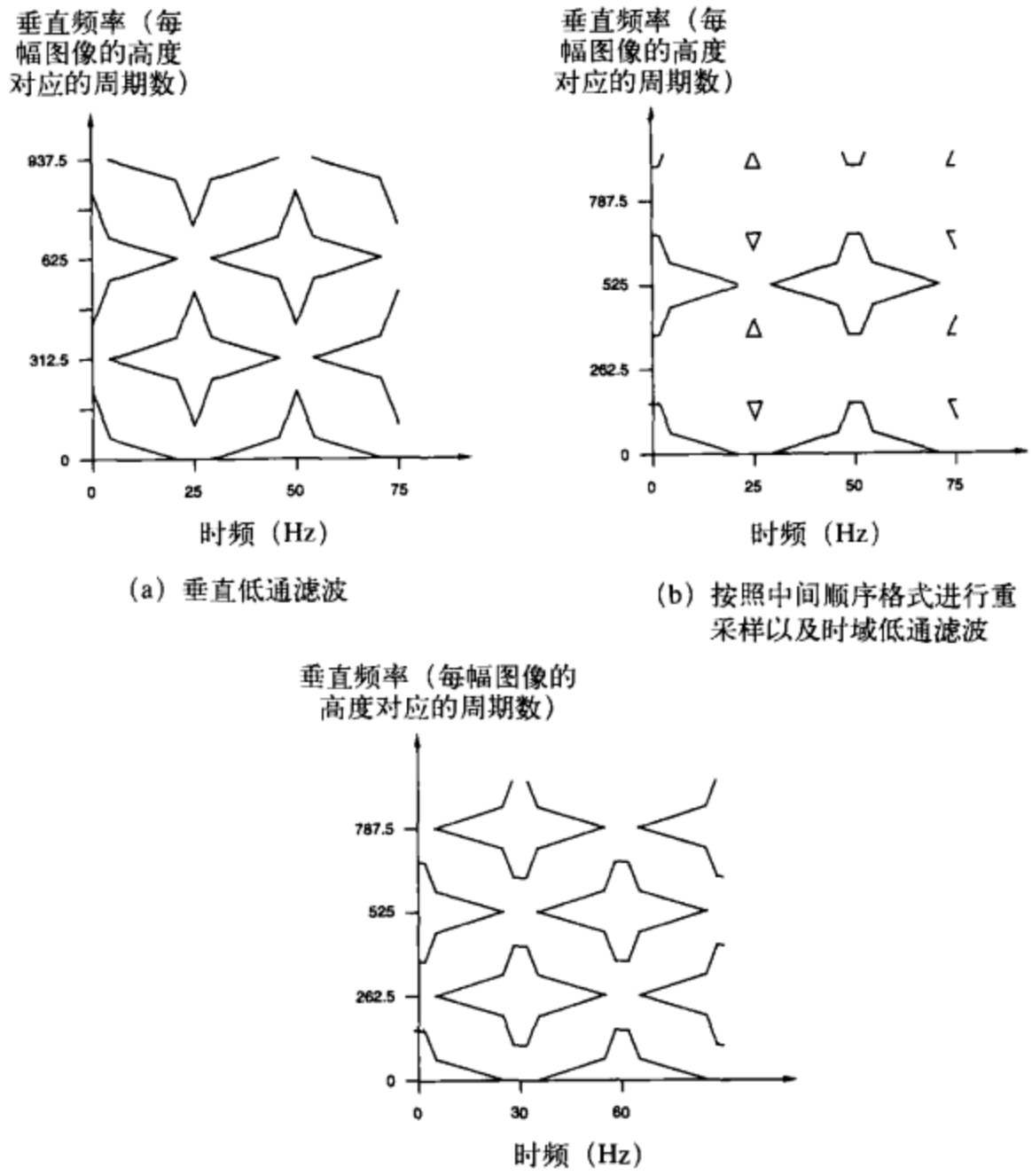
标准的50Hz隔行电视每秒钟显示50场。图像会发生闪烁，当你观看具有大面积高度饱和颜色的画面时尤其如此。使用100Hz隔行帧率（也称为双扫描）可以使图像质量得到大幅改善。

早期的100Hz的电视只是简单地对场进行重复（$F_1F_1F_2F_2F_3F_3F_4F_4\cdots$），如图7-45a所示。然而，它们仍然会存在线闪烁，水平线总是在奇数线和偶数线之间跳跃。这种扰动每1/25秒会发生一次。

使用场序列$F_1F_2F_1F_2F_3F_4F_3F_4\cdots$可以解决线闪烁的问题。但这会引起运动画面的抖动。对静态图像，可以使用图像序列$F_1F_2F_1F_2F_3F_4F_3F_4\cdots$对其进行补偿；而对于运动图像，可以使用图像序列$F_1F_1F_2F_2F_3F_3F_4F_4\cdots$对其进行补偿。

如果观看的节目是为电影而制作的，那么仍然不能获得理想的画面。它们容易受到抖动的影

响，因为每个电影帧需要传送两次。这种情况下不采用场序列$F_1F_1\ F_2F_2\ F_3\ F_3\ F_4\ F_4\cdots$，而是要采用场序列$F_1\ F_2F_1\ F_2\ F_3\ F_4F_3\ F_4\cdots$（如图7-45b所示），其中$F_n$是$F_n$和$F_n+1$之间的一幅对运动进行补偿的生成图像。



(a) 垂直低通滤波

(b) 按照中间顺序格式进行重采样以及时域低通滤波

(c) 按照最终的标准进行重采样

图7-42 其后紧接时域插值的垂直插值的谱表示

236

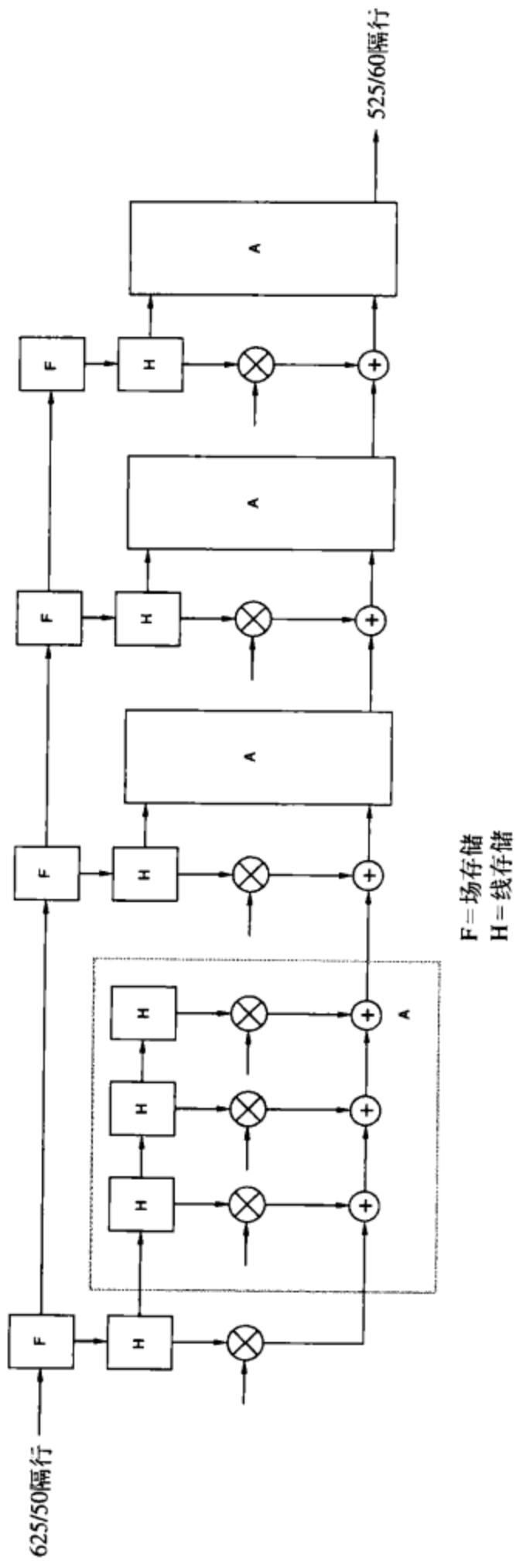
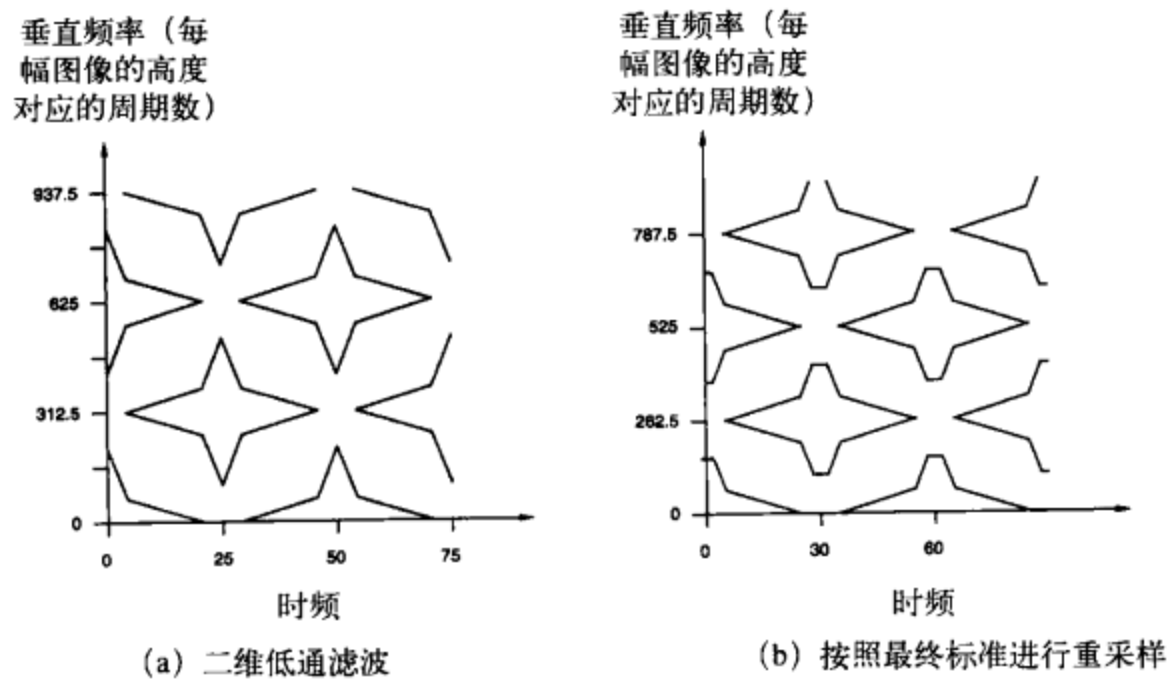


图7-43　典型的50Hz到60Hz帧频的变换，使用的是组合的垂直和时域插值



(a) 二维低通滤波　　(b) 按照最终标准进行重采样

图7-44 组合的垂直和时域插值的谱表示

238

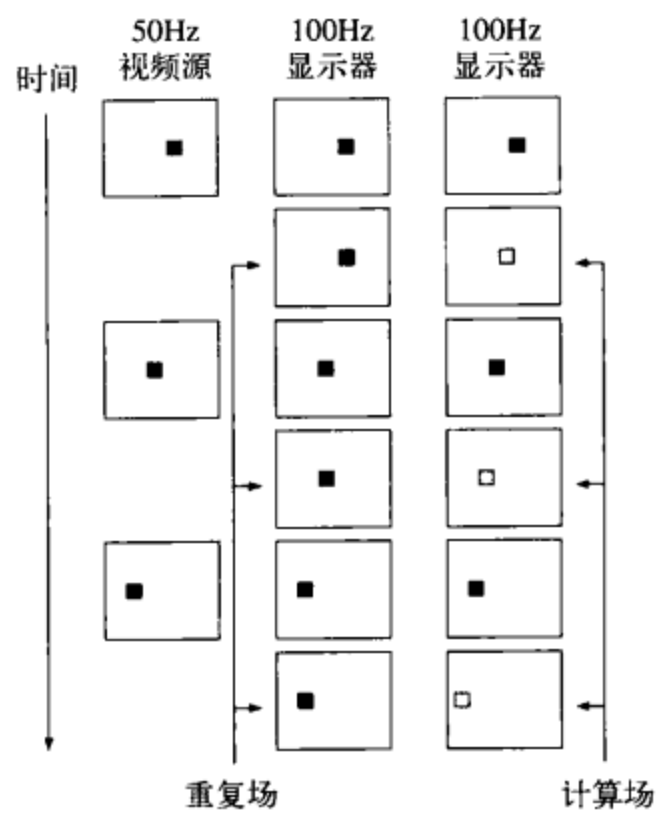


图7-45 50Hz到60Hz帧率（隔行双扫描）的转换技术

239

7.8.3 2：2下拉模式

这种技术用在50Hz帧率的某些基于电影的压缩视频内容。通常，电影是每秒钟记录24帧。

在压缩期间，电视电影机从每秒24帧加速到了每秒25帧，制作的内容为每秒25帧的逐行视频。在解压期间，每个电影帧简单地映射为两个视频场（得到的是576i25或1080i25的视频）或两个视频帧（得到的是576p50、720p50或1080p50的视频）。

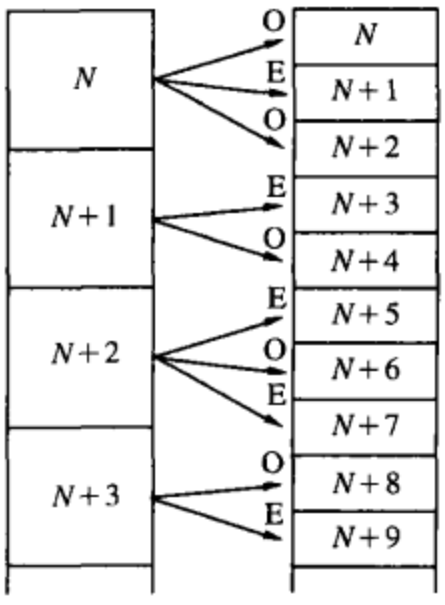
这种技术提供了更高的视频质量，并避免了运动抖动伪影。然而，这种技术将视频节目的播放时间缩短了4%，将2小时的电影截去了约5分钟。音频解码器不能够处理由S/PDIF（IEC 60958）传输的快4%的音频数据。

为了对电视电影机加速引起的音频变化量（pitch）进行补偿，在解码期间，可以对其重采样

以恢复初始的量（在低端消费类产品上是很耗时的），或在节目制作过程中可以进行重采样。

7.8.4　3：2下拉模式

当将每秒24帧的视频内容变换到60Hz帧率时，通常使用3：2下拉模式（pulldown），如图7-46所示。在压缩过程中，电影播放速度减慢了0.1%，变为每秒23.976（24/1.001）帧，因为使用59.97Hz是为了与NTSC时序兼容。在解压过程中，2个电影帧会产生5个视频场（得到的是480i30或1080i30的视频），或5个视频帧（得到的是480p60、720p60或1080p60的视频）。



O＝奇数线（如果是隔行输出）
E＝偶数线（如果是隔行输出）

240　图7-46　将24Hz的电影转换为60Hz视频的3：2下拉模式

在具有高速运动对象的场景中，对于用于特定视频场或帧的特定电影帧，可以手动进行调整以最小化运动伪影。

在视频解压的过程中，也可以使用3：2下拉模式简单地将帧率从每秒23.976（24/1.001）帧增加到59.97（60/1.001）帧，避免去隔行的问题。

可以使用变速器来掩盖某些问题，如瑕疵（defect）、拼接（splicing）和审查剪切（censorship cut），以及改变节目的播放时间。变速器不会重复电影帧，也不会引起不流畅，它只是破坏了电影和视频之间3：2的比例关系，并且所破坏视频的长度要足够长，这样才能确保平滑的时间速率。

为了获得最优的静止帧性能，模拟激光影碟使用白色标志信号来指示相关场的另一个序列的开始。在静止帧模式下，白色标志信号告诉系统备份两个场（使用它们之间没有运动的两个场）来重新显示当前帧。

7.8.5　3：3下拉模式

这种技术用在某些显示器中支持72Hz的帧率。通过简单地复制每个电影帧三次，就可以将每秒24帧基于电影的视频内容转换为72Hz的隔行视频。

7.8.6　24：1下拉模式

这种技术也称为12：1下拉模式，可以用来将24帧/秒的帧率转换为50场/秒。

除了每12个电影帧的最后一帧生成3帧视频场以外，其余每个电影帧生成两个视频场。当画面中的运动比较平滑时，尽管声调变化量（audio pitch）是正确的，但是每半秒钟还是会出现运动抖动。

7.9 逐行到隔行的转换

在有些应用中，在隔行显示器上显示逐行视频信号是必要的。这样，就需要某种形式的变换实现逐行到隔行视频的转换。

逐行到隔行变换必须在分量视频信号上进行（如R'G'B'或YCbCr），复合颜色视频信号（如NTSC或PAL）不能直接处理，这是由于复合颜色视频信号上存在彩色副载波相位信息，如果直接对其进行处理，在处理以后这些信息就变得没有意义了。在变换之前，必须将这些信号解码为分量颜色信号，如R'G'B'或YCbCr。

有2种基本的逐行到隔行转换技术：扫描线抽取（scan line decimation）和垂直滤波（vertical filtering）。

7.9.1 扫描线抽取

最简单的方法就是在每个逐行帧中，每隔一行有效扫描线就丢弃一行，如图7-47所示。尽管这种方法的代价最小，但是它也存在问题，尤其是对于位于画面顶部和底部的对象，问题更加明显。

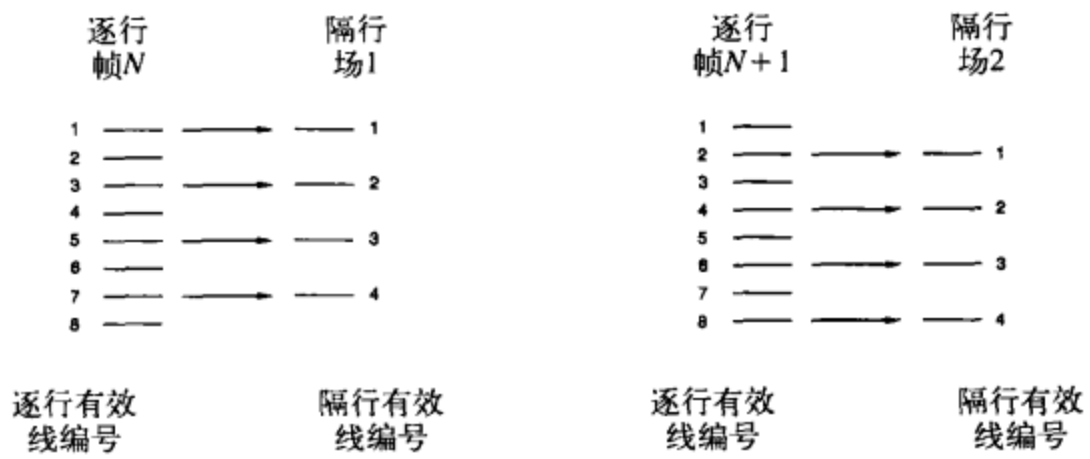


图7-47 使用扫描线抽取实现逐行到隔行的变换

如果在垂直方向上存在明显的颜色或亮度过渡，那么，仍然会以一半帧率的速度发生闪烁。其原因是由于抽取导致每隔一场才显示一场。例如，一个逐行扫描线宽度的水平线将会时隐时现，从而导致闪烁。具有两倍逐行扫描线宽度的水平线将会上下振荡。

简单的抽取操作也可能增加混叠伪影。尽管这种混叠伪影不一定可见，但它会影响到未来对图像的处理。

241 ~ 242

7.9.2 垂直滤波

一个更好的解决方案是使用两个或更多行的逐行扫描线数据来生成一行隔行扫描线数据。快速的垂直过渡可以在多个隔行线上进行平滑。

对于3线滤波器，如图7-48所示，典型的滤波系数为[0.25, 0.5, 0.25]。使用多于3线的滤波通常会导致过度的模糊，从而难以看清小的文字。

另外一种可能的实现是使用IIR滤波，而不是FIR滤波。除了平均以外，这种技术还降低了对象周围的亮度，从而更进一步减少了闪烁。

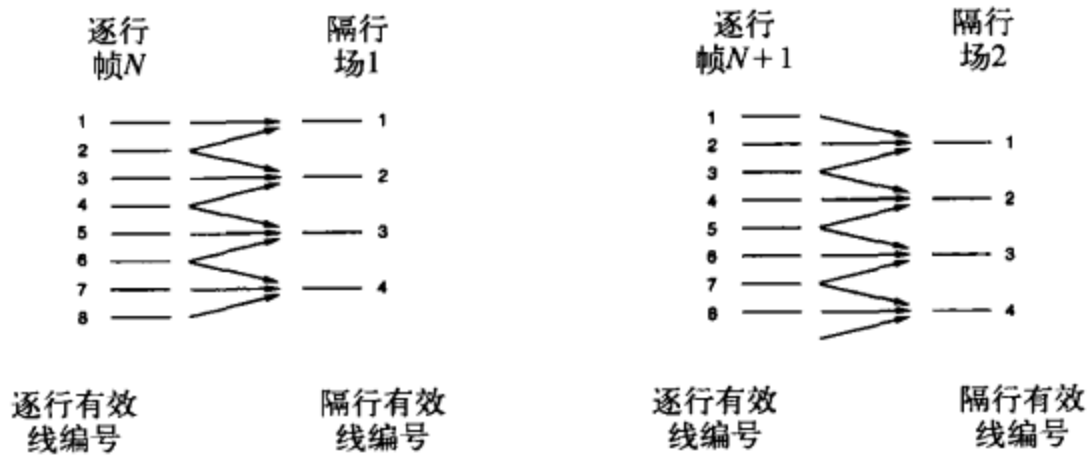


图7-48　使用3线垂直滤波实现视频从逐行到隔行的变换

注意，每帧的开始与结束处，我们必须慎重，因为用于滤波的扫描线较少。

7.10　隔行到逐行变换

在有些应用中，必须在逐行显示器上显示隔行视频信号。这样，就可能需要某种形式的*去隔行*（deinterlaced）或*逐行扫描*（progressive scan）变换。

注意，去隔行必须在分量视频信号上进行（如R′G′B′或YcbCr）。复合颜色视频信号（如NTSC或PAL）不能直接进行去隔行处理，因为复合视频信号上存在颜色副载波相位信息，如果直接进行处理，那么处理之后它就变得没有意义了。在去隔行处理之前，必须将这些信号解码为分量颜色信号，如R′G′B′或YCbCr。

有两种基本的去隔行算法：视频模式和电影模式。视频模式去隔行可以进一步分解为场内处理和场间处理。一个良好的去隔行器的目标是在特定的时刻正确地选择所需的最好算法。

在视频源和显示器的垂直分辨率不匹配的系统中（例如，由于在HDTV上显示SDTV视频内容而导致的不匹配），去隔行处理和垂直缩放处理可以合并为一个单一的处理过程。

7.10.1　视频模式：场内处理

这是仅使用初始场中的信息生成额外扫描线最简单的方法。计算机行业已经为这种技术创造了一个新的词*单场插值*（bob）。

尽管实现场内处理有2种常用技术——扫描线复制和扫描线插值，但是最后的垂直分辨率总是受限于初始场的内容。

1. 扫描线复制

扫描线复制（scan line duplication）（见图7-49）简单地复制以前的有效扫描线。尽管有效扫描线的数目加倍了，但垂直分辨率并没有增加。

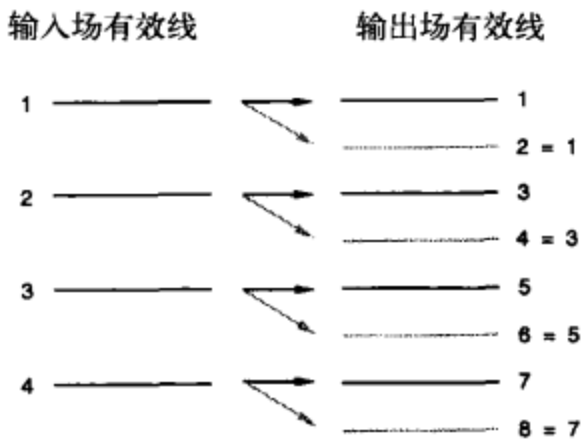


图7-49　使用扫描线复制实现去隔行。通过复制新扫描线以上的有效扫描线来生成新扫描线

2. 扫描线插值

扫描线插值在初始的有效扫描线之间生成插值的扫描线。尽管有效扫描线的数目加倍了，但垂直分辨率并没有加倍。

如图7-50所示，最简单的实现是使用线性插值在两个输入扫描线之间生成一行新的扫描线：

$out_n = (in_{n-1} + in_{n+1})/2$

通过使用FIR滤波器，可以获得更好的结果，但是需要付出额外的代价： 243

$$
\begin{aligned}
out_n = {} & 160(in_{n-1} + in_{n+1}) \\
& - 48(in_{n-3} + in_{n+3}) \\
& + 24(in_{n-5} + in_{n+5}) \\
& - 12(in_{n-7} + in_{n+7}) \\
& + 6(in_{n-9} + in_{n+9}) \\
& - 2(in_{n-11} + in_{n+11})
\end{aligned}
$$

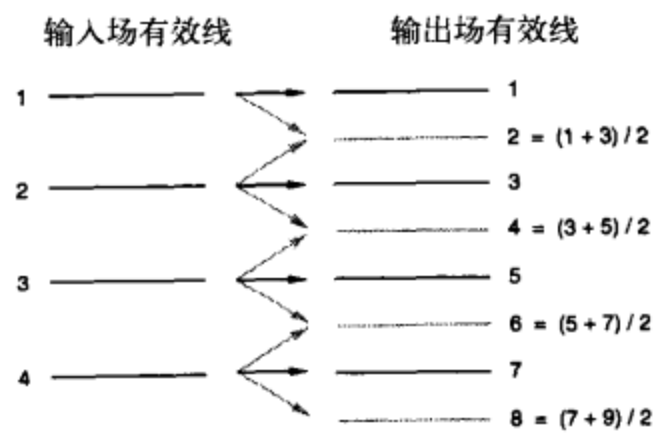


图7-50 使用扫描线插值实现去隔行。通过对前一和下一有效扫描线取平均来生成新扫描线

3. 分数比率插值

在很多情况下，在输入扫描线与输出扫描线的数目之间存在周期性的关系，但这种周期不是整数。在这种情况下，就可能需要进行分数比率插值，这种插值类似于仅在垂直方向上进行缩放的多相位滤波（polyphrase filtering）。这种技术将去隔行和垂直缩放处理结合起来形成一个处理过程。

4. 可变插值

在少数情况下，输入与输出扫描线编号之间并不存在周期性关系。所以，在理论上，需要无限多的滤波器相位和系数。因为这是不可行的，所以解决方案是采用大量的但有限的滤波器相位。滤波器相位的数量决定了插值准确度。这种技术也将去隔行和垂直缩放处理结合起来形成一个处理过程。

7.10.2 视频模式：场间处理

在这种方法中，需要使用来自多个（一个以上）场的视频信息生成一个单一的逐行帧。因为它使用了来源于多个场的视频信息，所以这种方法可以得到更高的垂直分辨率。

1. 场合并

这种技术将两个连续场合并，生成一个视频帧（如图7-51所示）。在每个场时间内，这个场的有效扫描线与前一场的有效扫描线合并。其结果是，对于每个输入场时间，结合一对场生成一帧（见图7-52）。尽管这种方法实现简单，但是只有在没有运动的区域中垂直分辨率才加倍。 244~245

运动对象将出现伪影，也称为梳形，这是由于两个场之间存在时差造成的：从一个场到另一个场，运动对象定位在不同的位置。当将两个场合并以后，运动对象将出现一幅画面重叠的图像（如图7-53所示）。

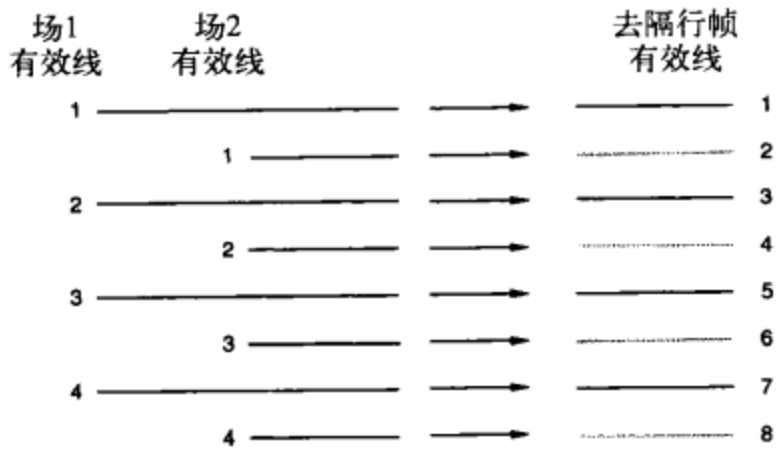


图7-51　使用场合并方法实现去隔行。通过使用下一场或前一场的扫描线作为输入生成阴影扫描线

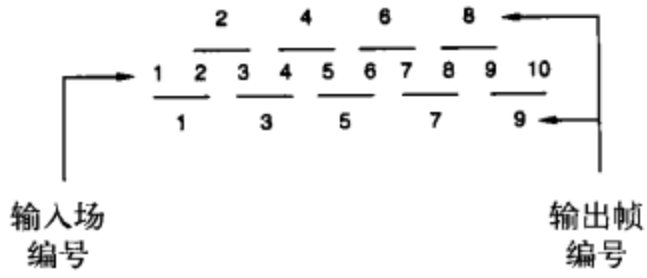


图7-52　以场率生成去隔行帧

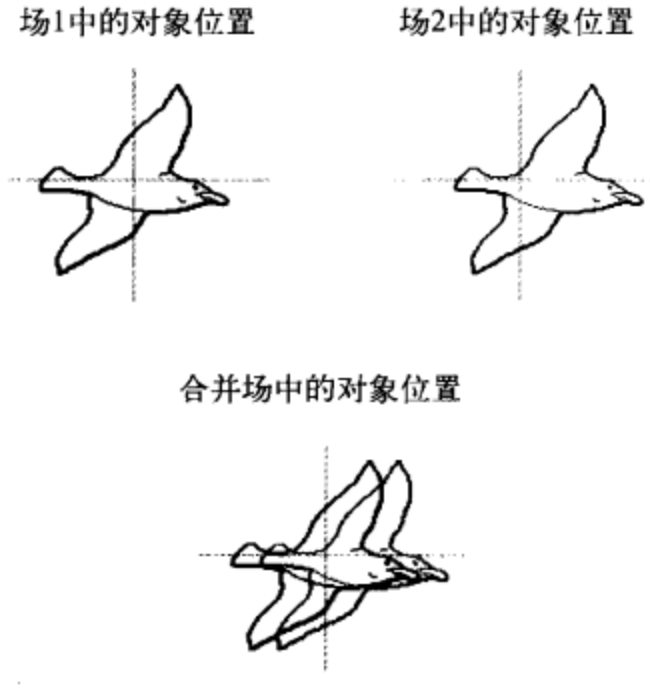


图7-53　当使用场合并时产生的运动伪影

通常在垂直方向上对图像稍微进行软化，试图降低伪影的可见度。当实现垂直方向上的软化时，会引起垂直分辨率的损失，也会导致运动和平移抖动。

计算机行业将这种技术称为场合并（weave），但是编织也包含逆向电视电影过程以消除视频源中出现的任何3：2下拉。从理论上讲，这消除了双重图像伪影，因为现在合并的是两个相同的场。

2. 运动自适应去隔行

一个优秀的去隔行解决方案是，在图像的静止画面区域使用场合并，而在动态画面区域使用扫描线插值。为了以逐样本点的方式实现这种方案，必须在整个画面中实时地检测运动区域和静止区域，这要求对视频的多个场进行处理。

当两个场合并时，在图像的静止区域中仍然完全维持了原有的垂直分辨率，在静止区域中，眼睛对细节是最敏感的。样本点的差异值可以达到任何值，从0（没有运动和噪声）到最大值（例如，从最亮的颜色变到黑色）。我们必须选择什么时候使用来自前一场的样本点（由于运动使得其处在错误的位置上），或什么时候由当前场的相邻扫描线插值生成新样本点。两种方法之间的突然切换在视觉上是可以觉察到的，因此，需要使用交叉过渡（也称为软切换）。当样本差异处于某些幅度时，双重图像导致的分辨率损失与插值导致的分辨率损失是相当的。运动量应该使得交叉过渡器处于50%的位置。过少的运动将导致过渡倾向场合并，而过多的运动将导致过渡倾向插值结果。

不采用“每像素”的运动自适应去隔行，因为这需要对每个像素进行决策。某些低代价的解决方案使用“每场”的运动自适应去隔行。在这种情况下，基于场之间的运动量针对每个场选择算法。尽管“每像素”的运动自适应去隔行实现困难，但是如果处理得当，画面看起来非常好。“每场”的运动自适应去隔行看起来不比垂直插值好多少。

3. 运动补偿去隔行

运动补偿（motion compensated）（也称为运动向量操作）去隔行比运动自适应去隔行的复杂程度要高几个数量级，通常见于视频格式转换器中。

运动补偿处理要求在场之间为每个样本点计算运动向量，沿着每个样本点的运动轨迹进行插值。也必须找到通过每个丢失样本点的运动向量。当你在帧之间移动时，图像的某些区域可能被遮挡，或露出来。运动向量也必须到达亚像素的准确度，并且在帧之间的两个时间方向上确定运动向量。

MPEG使用的运动向量误差是自校正的，因为对预测宏块之间的残留差值也进行了编码。当运动补偿去隔行是单个终端系统时，运动向量误差将产生伪影，因此必须使用不同的搜索和确认算法。 246

7.10.3 电影模式（使用逆向电视电影）

对于具有3：2下拉模式的视频源（也就是说，从24帧/秒的电影转换为60场/秒的视频），在处理之前消除复制场可以获得更高的去隔行性能。

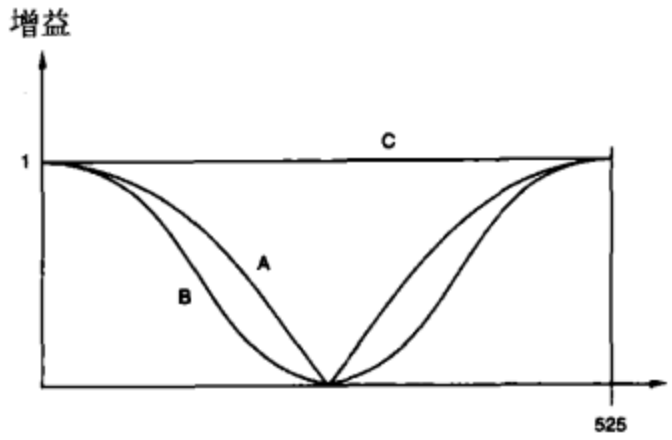
逆向电视化过程对3：2的场序列进行检测，将冗余的第3场去掉。将剩下的场对合并（因为它们之间不存在运动）以形成24帧/秒的逐行视频帧。然后在3：2序列中重复这些帧以得到60帧/秒的帧率。

尽管看起来这好像是理想的解决方案，但是在同一个节目中，某些视频内容同时使用了60场/秒的视频和24帧/秒的视频（基于电影）。另外，某些视频内容可能偶尔同时出现了两种类型的视频。在另外一种情况中，3：2下拉时序不能保持规律性，或者，视频源开始并不是来自于电影。这样，去隔行器必须对每种视频类型进行检测，并采取不同的处理模式（视频模式与电影模式）。通常会出现显示器伪影，这是由两种视频类型变换之间的延迟和去隔行器对这种变化的检测引起的。

7.10.4 关于频率响应的注意事项

用于去隔行的各种两倍垂直向上采样（upsampling）技术的实现：在两行有效线之间填充0值，然后进行滤波，如图7-54所示。

线A给出了线复制的频率响应，在线A中，对于所给滤波器的低通滤波器系数为1、1和0。



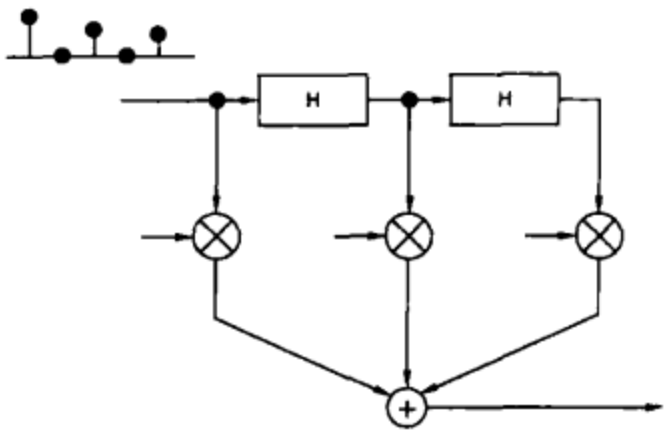


图7-54　各种去隔行滤波器的频率响应。A为线复制；B为线插值；C为场合并

使用低通滤波器系数0.5、1.0和0.5的线插值得到的频率响应曲线为线B。注意，线复制将得到更好的高频响应。具有比线复制更好频率响应的垂直滤波器是可能实现的，只是以更多的线存储和更多的处理为代价。

247

在实现了场合并后，可以获得最好的垂直频率响应。线的空间位置已经是正确的，并且不需要垂直处理，这样可以得到更平坦的曲线（曲线C）。同样，这只是用于图像的静态区域。

7.11　基于DCT的压缩

很多视频压缩的变换过程是建立在离散余弦变换（Discrete Cosine Transform，DCT）的基础上的。要想象DCT是怎么回事，最容易的方式是将其当作一个滤波器组（filter bank），这些滤波器都是并行计算的。

在编码期间，通常在DCT之后还要进行几个其他的操作，如量化、Z形扫描（zig-zag scanning）、行程长度编码和可变长编码。在解码期间，这个处理过程刚好相反，并且其中的每个处理都是其对应于编码的逆过程。

当讨论视频压缩的时候，我们多次使用了术语宏块（macroblock）和块（block）。图7-55给出了这两个术语之间的关系，并指明了为什么变换处理通常是以8×8的样本块为单位。MPEG-4.10（H.264）也支持8×4、4×8和4×4的块。

7.11.1　DCT

8×8 DCT对一个8×8的样本块进行处理，生成一个8×8的DCT系数块（如图7-56所示）。DCT变换的输入可以来自实践的视频帧或运动补偿微分（误差）值，这取决于编码器的操作模式。每个DCT系数表示的是块内特定的水平或垂直频率的量。

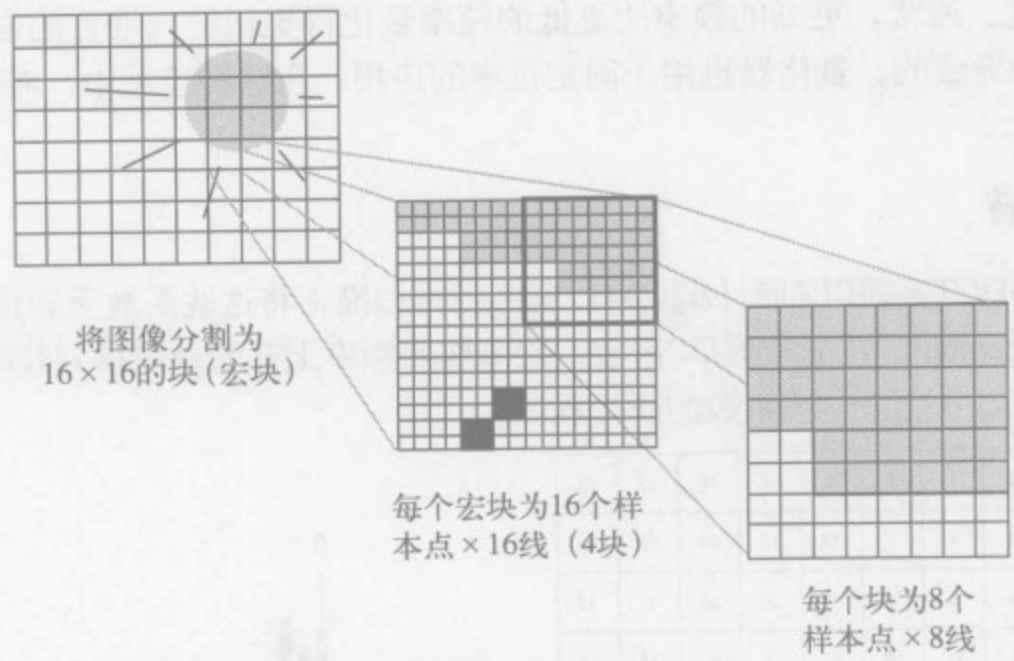


图7-55 宏块与块之间的关系

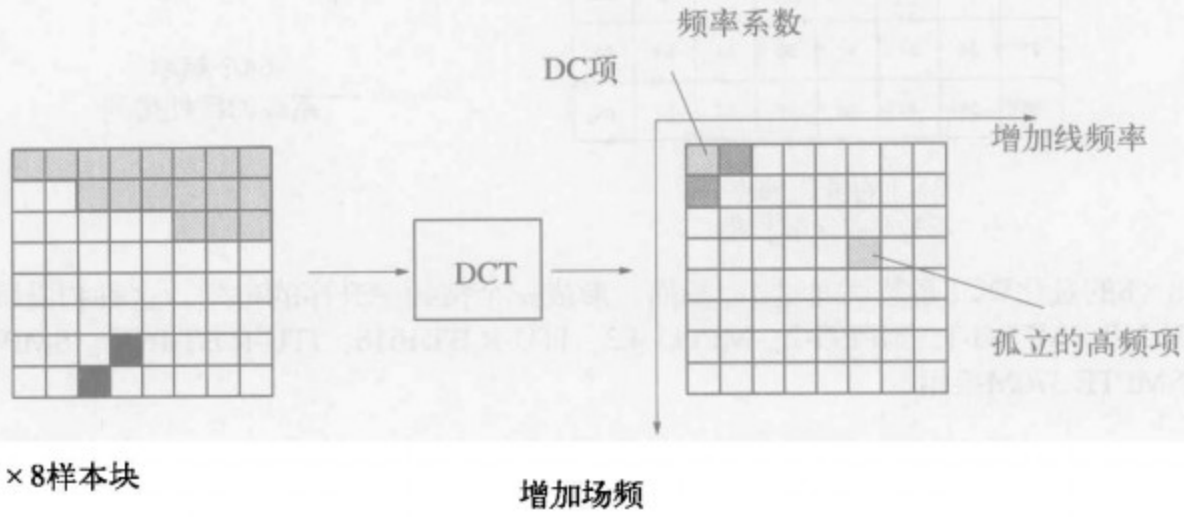


图7-56 使用DCT处理8×8样本块或残差项以生成8×8 DCT系数块

DCT系数（0,0）是DC系数或平均样本值。由于自然图像中样本与样本之间倾向于只会发生细微的变化，因此典型情况下，低频系数的值较大，而高频系数的值较小。

重建的8×8样本块是使用8×8逆DCT（IDCT）来生成的。尽管在理论上可以实现准确重建，但是由于有限精度的数学运算、量化和不同的IDCT实现的缘故，准确重建是不现实的。其结果是，不同的IDCT实现之间存在失配现象。

通过消除对失配具有最大贡献的位模板，失配控制试图降低编码器与解码器IDCT结果之间的漂移（drift）。

MPEG-1失配控制就是我们所知的“奇异化（oddification）”，这是由于它强制所有的量化DCT系数为负值。MPEG-2和MPEG-4.2使用了一个被称为“LSB捆绑”的改进方法，在逆向量化后，它只影响第63个DCT系数的LSB。

H.264（也就是我们所知的MPEG-4.10）通过使用“准确匹配逆变换（exact-match inverse transform）”完美地回避了这个问题。每个解码器都将准确地生成同样的图像，其他所有的方面也是相同的。

248
~
249

7.11.2 量化

对8×8的DCT系数块进行了量化，这降低了整数系数的整体精度，并有可能消除高频系数，

同时保持视觉质量。通常，更高的频率比更低的频率量化得更粗糙（准许的值更少），这是由量化误差的视觉感知导致的。量化器也用于固定位率的应用，在这种应用中，对输出位率的控制是变化的。

7.11.3　Z形扫描

通过对量化的DCT系数以Z形（zig-zag）顺序进行扫描，将这些系数重新排列成线性数据流。这种重排（rearrangement）首先放置DC系数，接着按照频率上升的顺序排列频率系数，如图7-57、图7-58和图7-59所示。这会产生0系数的长行程。

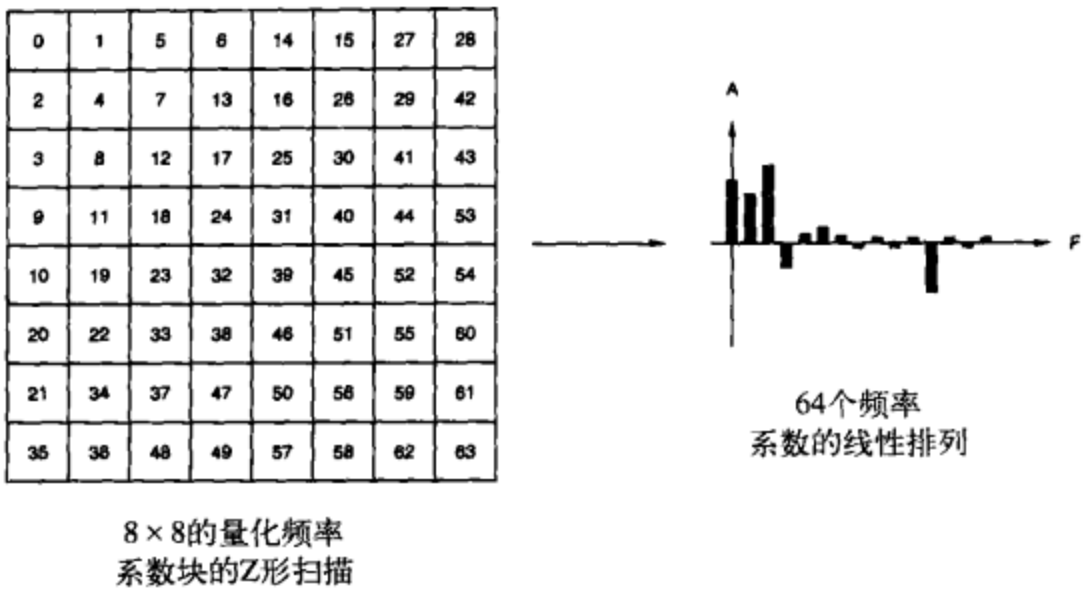


图7-57　8×8的量化DCT系数块通过Z形扫描，形成一个按频率升序的排列。这种扫描顺序被H.261、H.263、MPEG-1、MPEG-2、MPEG-4.2、ITU-R BT.1618、ITU-R BT.1620、SMPTE 314M和SMPTE 370M采用

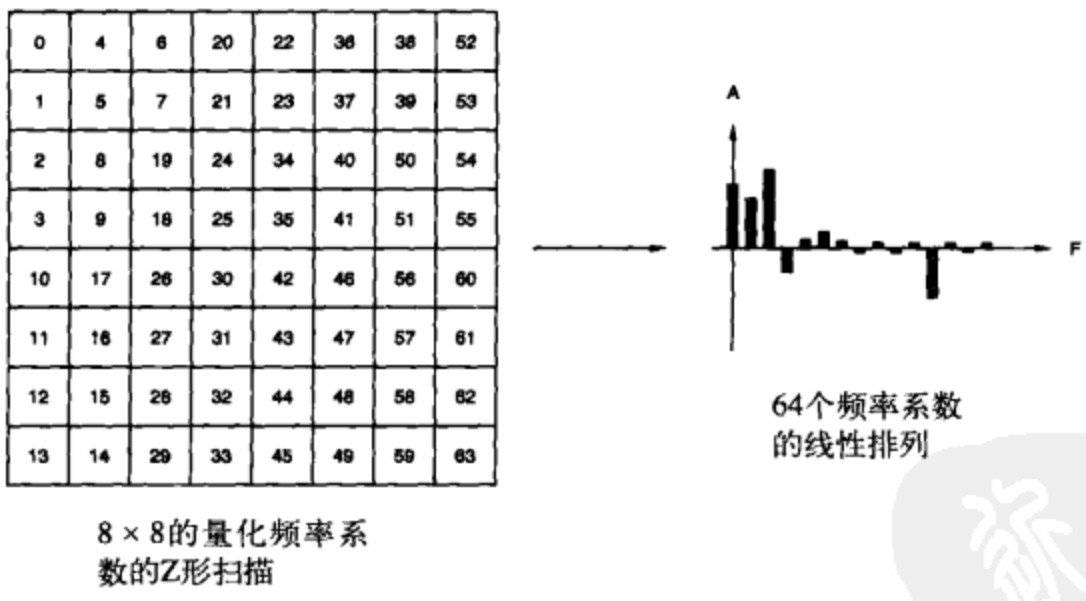


图7-58　H.263、MPEG-2和MPEG-4.2“交替-垂直（alternate-vertical）”扫描排序

7.11.4　行程长度编码

将量化的频率系数线性流变换为一系列的[run, amplitude]对。[run]表示系数0的个数，而[amplitude]表示紧接在run后的非0系数。

7.11.5　可变长编码

使用可变长码对[run, amplitude]对进行编码，得到的是另一个无损压缩。对于公共数据对而

言，这种压缩方法可以得到较短的编码，而公共数据对较少时，则可能得到较长的编码。

这种编码得到的是DCT系数的一个更加紧凑的形式，因为大量的DCT系数通过量化以后变为了0，重排序以后，可以得到一组长游程的连续0值。 250～251

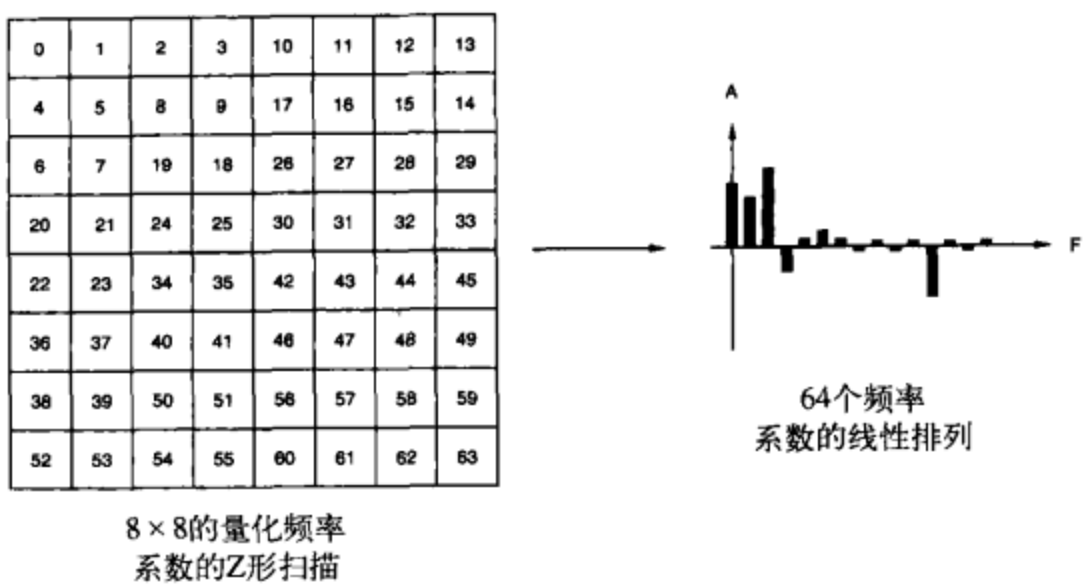


图7-59 H.263和MPEG-4.2“交替－水平（alternate-horizental）”扫描排序

7.12 关于固定像素显示器的注意事项

固定像素显示器独特的设计和颜色再生域促成了多种新视频处理技术的发展。这使得不管视频源是什么样的，都可以得到亮度更高、对象边缘更明显和颜色更丰富的图像。

7.12.1 扩展颜色再生

通常需要对广播站进行调整以满足基于CRT的电视机有限的颜色再生特性。为了适应PDP和LCD的颜色再生能力，制造商已经引入了各种颜色扩展（color expansion）技术。这些颜色扩展包括针对每个基本色或辅助色以及肤色（flesh color）使用独立的色度和饱和度控制。

7.12.2 细节校正

在CRT电视机中，增强图像通常是通过改变电子束的直径来完成的。对于固定像素的显示器，在视频信号上增加超调（overshoot）和负调（undershoot）将导致失真。一个可以接受的实现是，在需要轮廓增强的区域之间和之后，逐渐改变图像的亮度。 252

7.12.3 非均匀量化

不是简单地增加量化等级，而是让量化步长可以实现与图像的亮度一致的变化。这是可能的，因为，相对于亮图像中的亮度变化而言，人更容易检测到暗图像中亮度的小变化。另外，图像越亮，人对亮度的变化越不敏感。这意味着，对于暗图像可以使用比亮图像更多的量化等级。这种技术也可以用于增加图像中频繁出现的阴影的量化等级。

7.12.4 缩放与去隔行

在去隔行期间（是为了让折叠失真引起的波纹噪声最小化），固定像素显示器，如LCD和等离子显示器，通常先进行放大然后再缩小。例如，将一个1080i视频源去隔行得到2160p的视频，然后再缩放到1536p，并最终缩放到768p（以驱动1024×768的显示器）。作为选择，某些解决方

案将视频去隔行并缩放到1500p，然后再缩放到显示器的本身分辨率。

7.13　应用实例

图7-60和图7-61给出了在视频解压和去隔行后的典型视频处理。

除了基本视频源外，其他的典型视频源包含屏幕控制系统（On-Screen-Display，OSD）、内容导航图形、隐藏字幕（closed captioning）或字幕（subtitle）和画中画（picture-in-picture，PIP）的第二视频。

OSD平面（plane）显示配置菜单盒，如视频输出格式和分辨率、音频输出格式等。对于每种产品，OSD设计都是不同的，因此OSD平面通常支持范围广泛的RGB/YCbCr格式和分辨率。查询表gamma校正线性RGB数据，将2、4或8位的索引颜色转换为32位的YcbCrA数据，或将0~255的图形颜色等级转换到16~235的视频颜色等级。

内容导航平面（content navigation plane）显示由蓝光BD-J、HD DVD HDi、电子节目向导等生成的图形。它应该支持与OSD平面相同的格式和能力。

字幕平面（subtitle plane）是一个有用的区域，用于渲染字幕信息、DVB字幕、DVD子画面（subpicture）等。查询表将2、4或8位索引颜色转换为32位的YcbCrA数据。

辅助视频平面（secondary video plane）通常用于支持第二个视频源以实现画中画（PIP）或图形显示（如JPEG图片）。对于图形数据，查询表可以对线性RGB数据进行gamma校正，将2、4和8位的索引颜色转换为32位的YCbCrA数据，或将0~255的图形颜色等级转换为16~235的视频颜色等级。

能够独立地对每个视频源进行缩放，就可以提供最大的灵活性。除了不论视频源的分辨率是多少都能够输出任意的分辨率外，这样也可以包容一些特效。

色度校正确保了颜色是准确的，而且与视频源和显示器没有关系（SDTV与HDTV）。

对每个视频源和视频输出接口提供独立的亮度、对比度、饱和度、色度和锐度控制，这样可以具有最大的灵活性。例如，可以对PIP进行调整而不影响主要画面，可以对视频进行调整而不会影响静态画面视频质量等。

在图7-61中顶部的NTSC/PAL编码器中，由于使用了可选的缩小变换和隔行－逐行变换模块，因此可以同时输出HD和SD，或同时输出逐行和隔行视频，而不会影响HD或逐行视频质量。

当摄录过程不会出现偶尔记录OSD或字幕信息时，图7-61底部显示的第二个NTSC/PAL编码器是有用的。

253

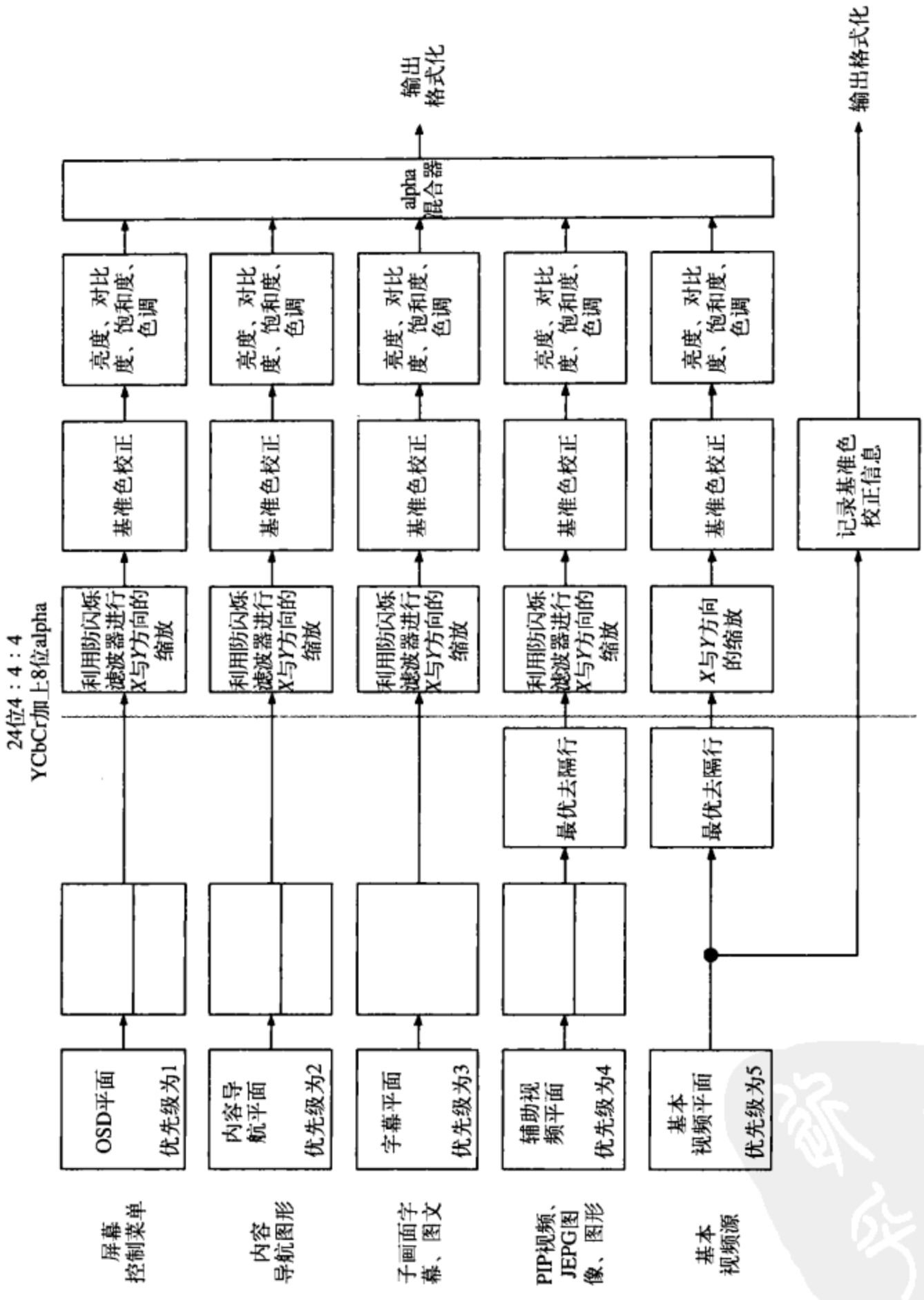
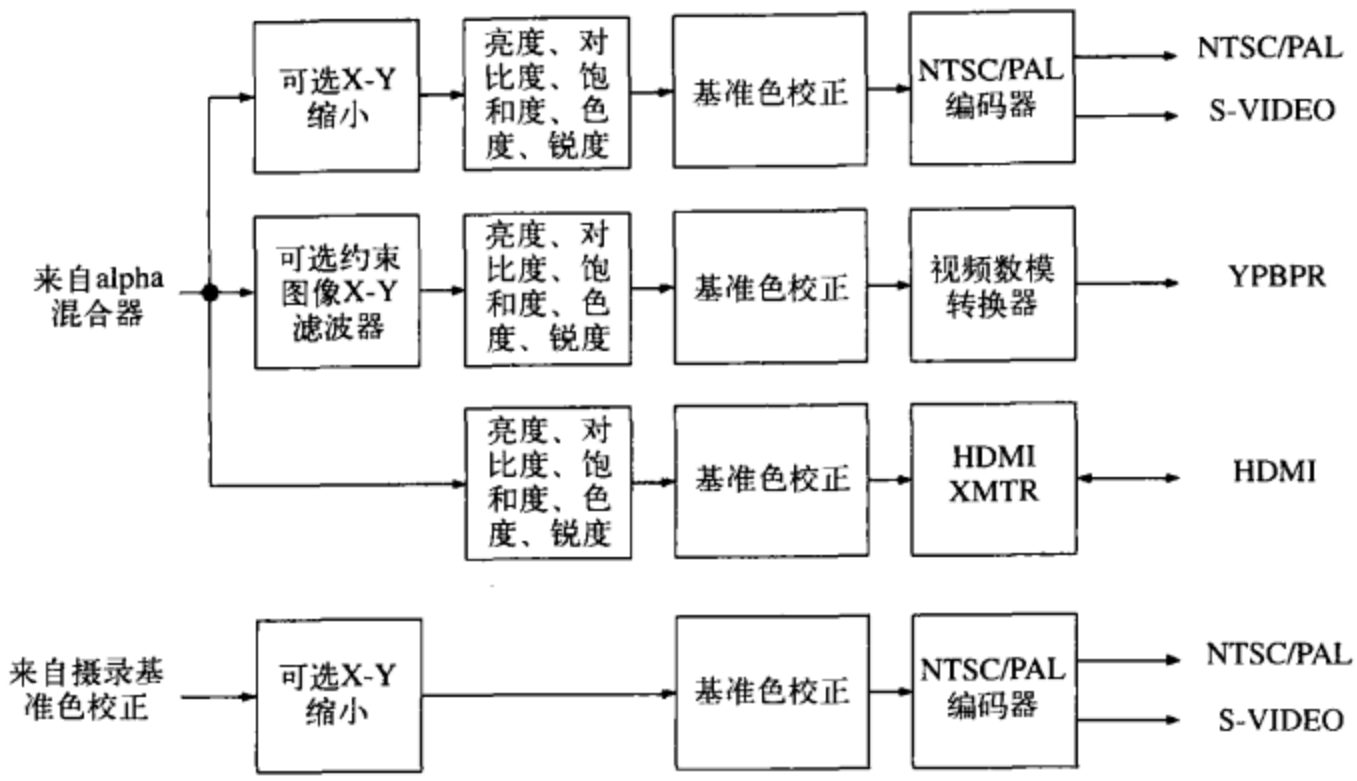


图7-60 视频复合的简化框图



255

图7-61 视频输出端口处理

参考文献

1. Clarke, C.K.P., 1989, *Digital Video: Studio Signal Processing*, BBC Research Department Report BBCRD 1989/14.
2. Devereux, V. G., 1984, *Filtering of the Colour-Difference Signals in 4 : 2 : 2 YUV Digital Video Coding Systems*, BBC Research Department Report BBC RD1984/4.
3. ITU-R BT.601-5, 1995, *Studio Encoding Parameters of Digital Television for Stantard 4 : 3 and Widescreen 16 : 9 Aspect Ratios.*
4. ITU-R BT.709-5, 2002, *Parameter Values for the HDTV Standards for Production and International Programme Exchange.*
5. ITU-R BT.1358, 1998, *Studio Parameters of 625 and 525 Line Progressive Scan Television Systems.*
6. Johan G.W.M. Janssen, Jeroen H. Stessen, and Peter H.N. de With, *An Advanced Sampling Rate Conversion Technique for Video and Graphics Signals, Philips Research Labs.*
7. Sandbank, C. P., *Digital Television*, John Wiley&Sons,Ltd., New York, 1990.
8. SMPTE 274M-2005, *Television——19201 ×080 Image Sample Structure, Digital Timing Reference Sequences for Multiple Picture Rates.*
9. SMPTE 293M-2003, *Television——720 ×483 Active Line at 59.94Hz Progressive Scan Production——Digital Representation.*
10. SMPTE 296M-2001, *Television——1280 ×720 Progressive Image Sample Structure, Analog and Digital Representation and Analog Interface.*
11. SMPTE EG36-1999, *Transformations Between Television Component Color Signals.*
12. Thomas, G. A., 1996, *A Comparison of Motion-Compensated Interlace-to-Progressive Conversion Methods*, BBC Research Department Report BBC RD1996/9.
13. Ultimatte®, Technical Bulletin NO.5, Ultimatte Corporation.
14. Watkinson, John, *The Engineer's Guide to Standards Conversion*, Snell and Wilcox Handbook Series.
15. Watkinson, John, *The Engineer's Guide to Motion Compensation*, Snell and Wilcox Handbook Series.

256

第8章　NTSC、PAL和SECAM概述

为了全面理解NTSC、PAL和SECAM的编码和解码过程，有必要先回顾一下这些标准的背景以及它们的产生过程。

8.1　NTSC概述

世界上第一种彩色电视制式是在美国开发的。美国联邦通信委员会（Federal Communications Commission，FCC）于1953年12月17日批准了这一传输标准，并批准从1954年1月23日开始广播。在开发彩色电视传输标准的过程中，美国国家电视制式委员会（National Television System Committee，NTSC）所做的大部分工作就是使之与（当时的）525行、60场/秒、2：1隔行黑白电视标准兼容。

8.1.1　亮度信息

黑白亮度（Y）信号由gamma校正后的红绿蓝（R′G′B′）信号表示：

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

由于伴音副载波位于4.5MHz，所以要求彩色信号位于和黑白视频信号相同的带宽（0~4.2MHz）之内。

基于经济上的考虑，NTSC还有另外一个要求，即黑白电视接收机必须能显示彩色电视广播的黑白部分，而彩色电视接收机也必须能显示黑白电视广播。

8.1.2　彩色信息

眼睛对亮度的空间和时间变化最为敏感；所以仍然允许亮度信息覆盖全部的可用带宽（0~4.2MHz）。彩色信息由色调和饱和度信息表示，眼睛对彩色信息没有亮度信息那么敏感，所以彩色信息需要较少的带宽。

色调和饱和度信息使用3.58MHz副载波传送、编码，以便接收机能够分离出色调、饱和度和亮度信息，并将它们转换回RGB信号来显示。尽管这样允许在和黑白电视信号相同的带宽内传送彩色信号，但是由于它们占用相同的频谱空间，所以如何经济地分离彩色信息和亮度信息这一难题仍然存在。

为了传送彩色信息，我们使用了“色差”信号U和V或者I和Q：

$$R'-Y=0.701R'-0.587G'-0.114B'$$

$$B'-Y=-0.299R'-0.587G'+0.886B'$$

$$U=0.492(B'-Y)$$

$$V=0.877(R'-Y)$$

$$\begin{aligned}I&=0.596R'-0.275G'-0.321B'\\&=V\cos33^\circ-U\sin33^\circ\\&=0.736(R'-Y)-0.268(B'-Y)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q&=0.212R'-0.523G'+0.311B'\\&=V\sin33^\circ+U\cos33^\circ\\&=0.478(R'-Y)+0.413(B'-Y)\end{aligned}$$

为了避免传输过程中的过调制，在由（B′－Y）和（R′－Y）导出U和V的过程中使用了压缩系数。如果使用满量程的（B′－Y）和（R′－Y），那么调制后的色度信号电平将超出黑白电视发射机所支持的电平。实验证明，调制后的副载波幅度不超出Y信号幅度的20%（黑色电平以下，白色电平以上）是允许的。选择使用一个压缩系数，从而可以使75%彩条信号的最大电平位于白色电平位置上。

最初选择使用的是I和Q，这是因为它们相对于U和V，与色敏锐度的变化更为紧密。随着所观察物体尺寸的减小，人眼对彩色的感知也逐渐减小。小物体（覆盖的频率范围为1.3~2.0MHz），人们对它的彩色感知度很低。中等大小的物体（覆盖的频率范围为0.6~1.3MHz），如果沿着橙－青色轴再生，那么还是可以接受的。更大的物体（覆盖的频率范围为0~0.6MHz）就需要再生全部三种颜色。

据此选择使用了I和Q带宽，并且通过旋转U和V色轴33°得到首选的彩色再生色轴。表示绿－紫色轴的Q分量，带宽限制在大约0.6MHz以内。代表橙－青色轴的I分量，带宽限制在大约1.3MHz以内。

将I和Q带宽分别限制在1.3MHz和0.6MHz以内的另一个优点，就是当对复合视频信号进行4.2MHz低通滤波产生不对称边带时，有利于减小这种不对称边带所产生的串扰。Q是一个双边带信号；而I则是不对称边带信号，这将有可能在I和Q之间产生串扰。Q为对称边带信号，所以不会对I产生串扰；因为Q信号带宽限制在0.6MHz以内，所以I串扰落在Q带宽之外。

现在，通常使用带宽为1.3MHz的U和V信号，而不太使用I和Q信号。在广播过程中，0.6MHz以上的UV会产生串扰，然而，由于消费设备的NTSC解码器使用的是有限UV带宽，这种串扰通常是看不见的。

图8-1示范了UV和IQ信号的矢量图。

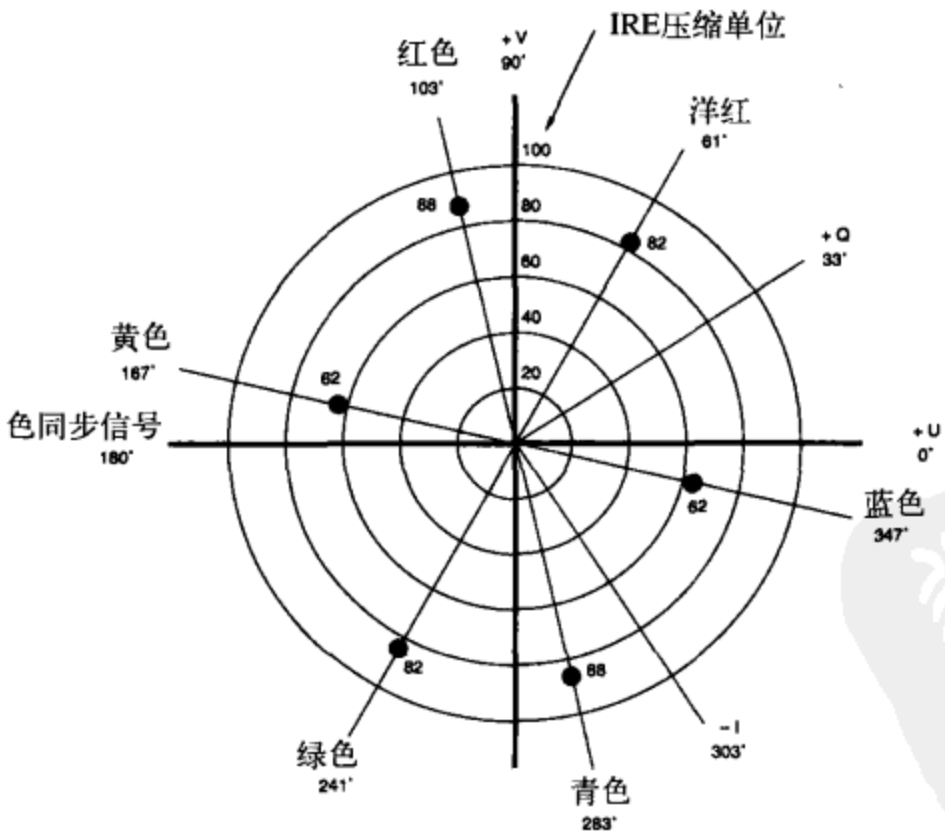


图8-1　75%彩条的UV和IQ信号矢量图

8.1.3　彩色调制

I和Q（或者U和V）使用两个相位正交的平衡调制器来调制3.58MHz的彩色副载波：其中一

个调制器由正弦相位的副载波驱动，另一个调制器由余弦相位的副载波驱动。两个调制器的输出叠加在一起形成色度调制信号：

258

$$C = Q\sin(\omega t + 33^\circ) + I\cos(\omega t + 33^\circ)$$

$$\omega = 2\pi F_{SC}$$

$$F_{SC} = 3.579545\ \text{MHz}(\pm 10\text{Hz})$$

如果使用U和V取代I和Q，那么：

$$C = U\sin\omega t + V\cos\omega t$$

与副载波相关的色度相位携带着色调信息。色度幅度携带的是饱和度信息。另外，如果物体没有颜色（例如白色、灰色或者黑色物体），那么副载波将被抑制。

8.1.4 复合视频的生成

调制色度信息加上亮度信息以及合适的水平和场同步信号、消隐信息以及色同步信号信息就生成复合彩色视频波形，如图8-2所示。

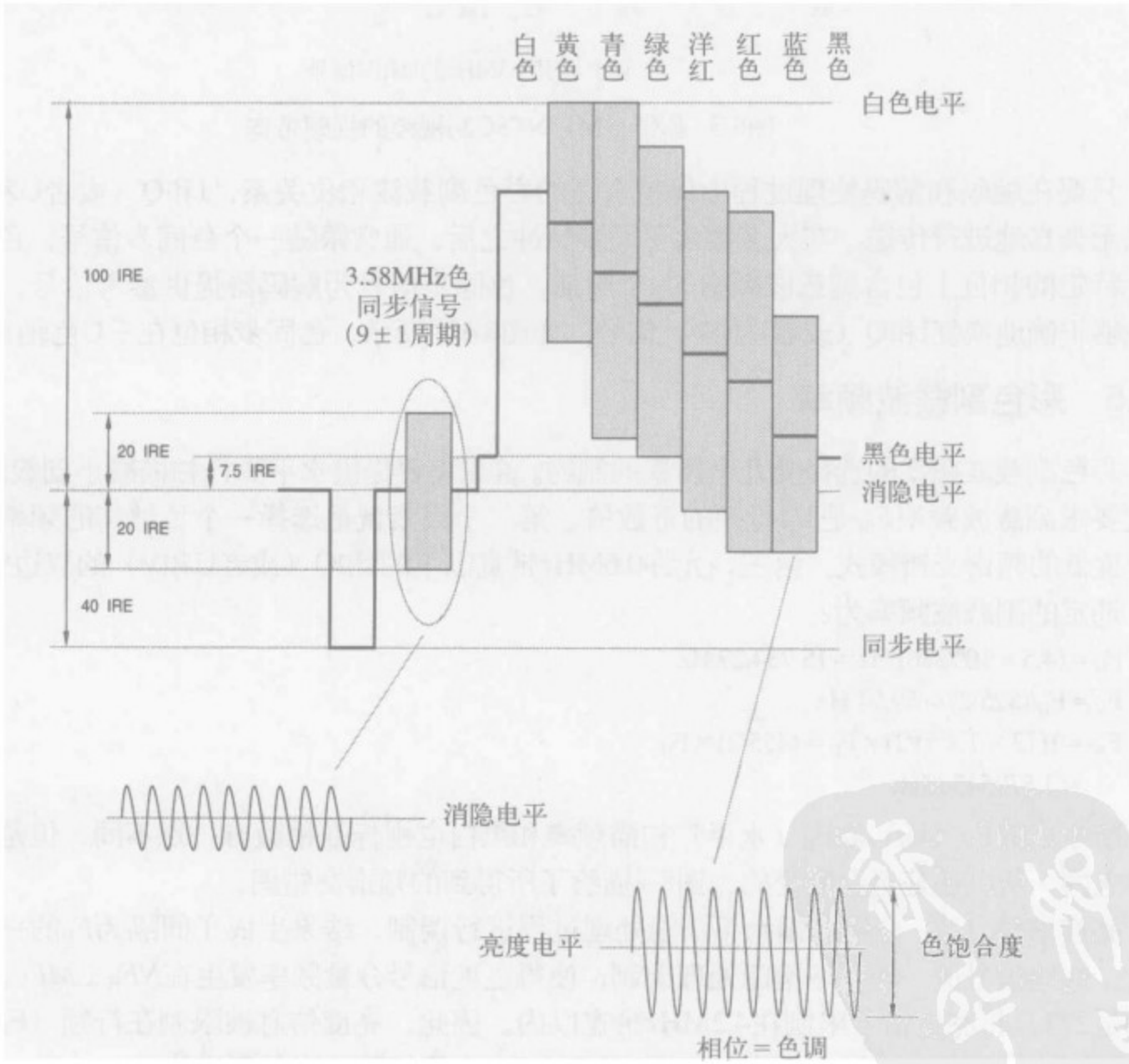


图8-2 75%彩条的（M）NTSC制复合视频信号

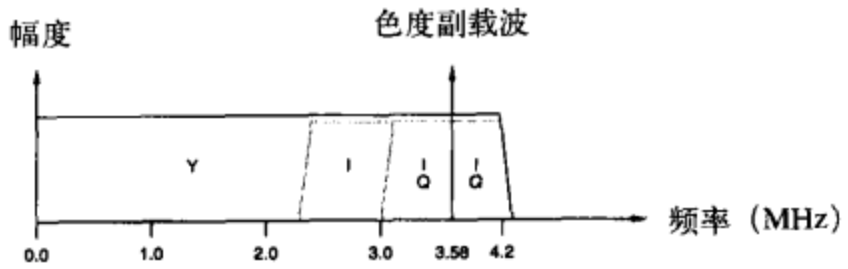
复合NTSC＝Y＋Qsin (ωt＋33°)＋Icos (ωt＋33°)＋时序

如果使用U和V取代I和Q，那么：

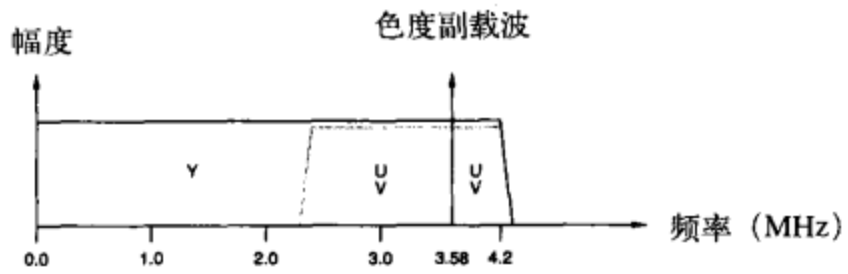
复合NTSC＝Y＋Usin ωt＋Vcos ωt＋时序

259～260

所生成的复合视频信号的带宽如图8-3所示。



（a）使用1.3MHz的I和0.6MHz的Q信号



（b）使用1.3MHz的U和V信号

图8-3　基带（M）NTSC制视频的视频带宽

只要在编码和解码处理过程中保持合适的彩色副载波相位关系，I和Q（或者U和V）信息就可以无失真地进行传送。在大多数水平同步脉冲之后，通常跟随一个色同步信号，色同步信号在一个特定的相位上包含副载波频率的9个周期，色同步信号为解码器提供参考信号，从而使解码器能够正确地恢复I和Q（或者U和V）信号。如图8-1中所示，色同步相位在－U色轴上定义。

8.1.5　彩色副载波频率

彩色副载波频率的选择受几个因素的制约。首先需要提供水平隔行扫描减小副载波的可视度，这就要求副载波频率F_{SC}是1/2行频的奇数倍。第二个因素就是选择一个足够高的频率，生成一个可视度低的频谱交错模式。第三，允许0.6MHz带宽以下的I和Q（或者U和V）的双边带。

选定的副载波频率为：

$F_H = (4.5 \times 10^6/286)\ \text{Hz} = 15\ 734.27\ \text{Hz}$

$F_V = F_H/(525/2) = 59.94\ \text{Hz}$

$F_{SC} = ((13 \times 7 \times 5)/2) \times F_H = (455/2) \times F_H$

$= 3.579545\ \text{MHz}$

所生成的F_V（场）和F_H（水平）扫描频率和黑白电视标准稍微有一点不同，但是位于容忍的范围之内，所以还是可以接受的。图8-4描绘了所得到的频谱交错图。

亮度信号（Y）分量根据水平消隐处理过程进行调制，结果生成了间隔为F_H的一束束的亮度信息。这些信号进一步被场消隐处理调制，使得亮度信号分量频率发生在$NF_H \pm MF_V$。N的最大值大约是277，将亮度信号限制在4.2MHz带宽以内。因此，亮度信息被限制在行频（F_H）整数倍谐波范围区域内，每组谐波范围内都有距NF_H29.97Hz水平帧频的附加频谱线。

两组亮度频谱之间、频率处在1/2行频奇数倍处的频谱能量最小，所以用来传送色度信息。由于彩色副载波的谐频是（1/2）F_H的奇数倍，所以它们之间相距F_H，它和亮度信号有1/2行频的偏置，结果形成了一种上移的频谱交错模式。重复一个特定的采样点位置需要4个完整的场，如图8-5所示。

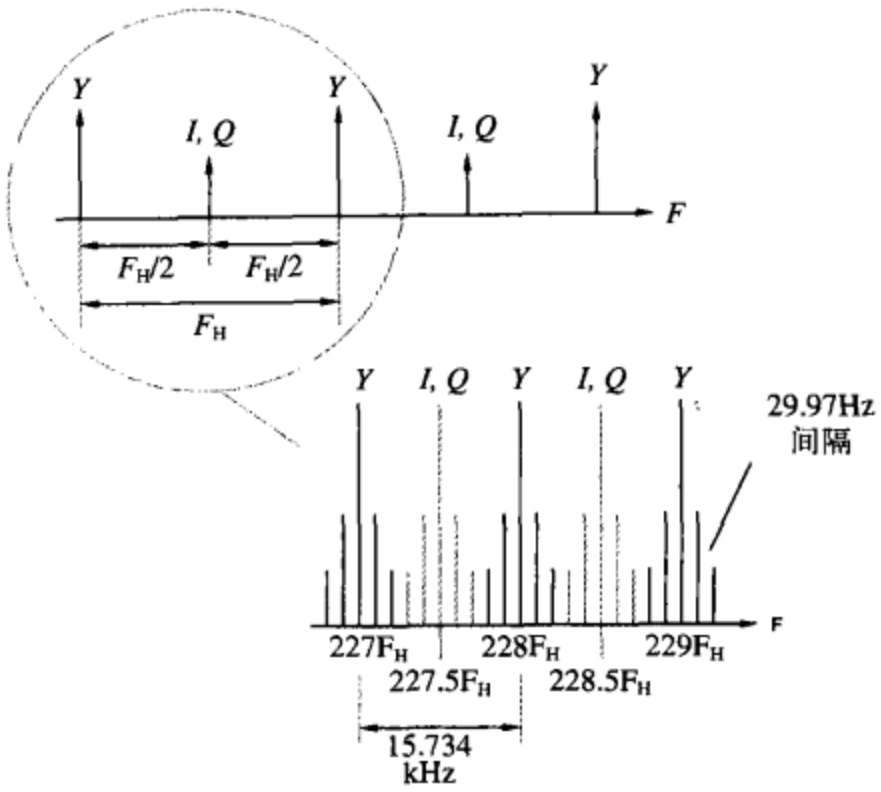


图8-4 亮度和色度频谱交错原理。注意：$227.5F_H = F_{SC}$

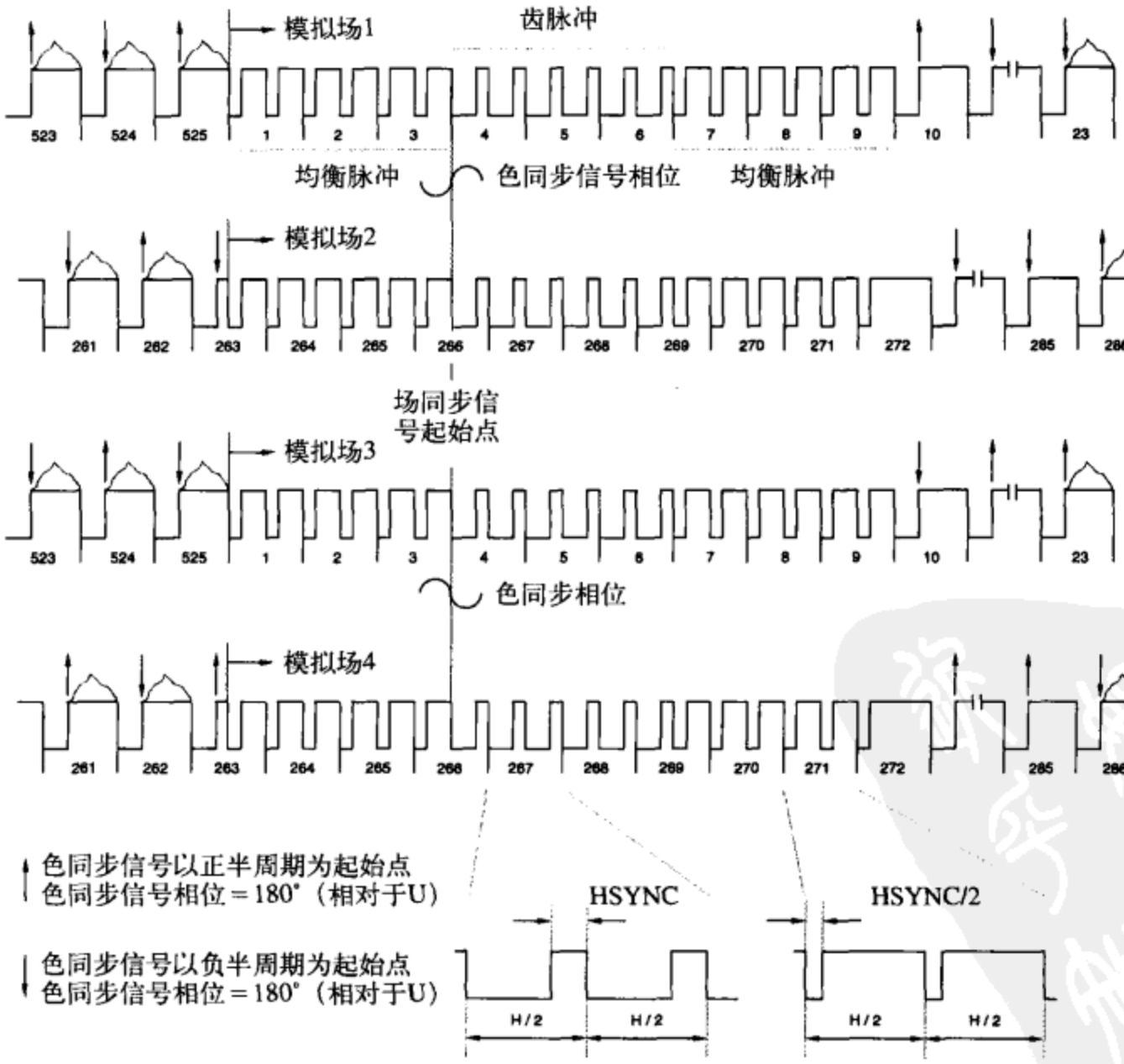


图8-5 4场（M）NTSC序列和色同步信号消隐

8.1.6 NTSC标准

图8-6示范了几种常用的NTSC制式表示方法。字母M代表水平频和场频分别为525和59.94的黑白电视标准，它的视频带宽为4.2MHz，音频载波频率位于视频载波频率以上4.5MHz处，RF频道带宽为6MHz。NTSC指的是将彩色信息加入到黑白信号中的一种技术。表8-9中提供了详细的时序参数。

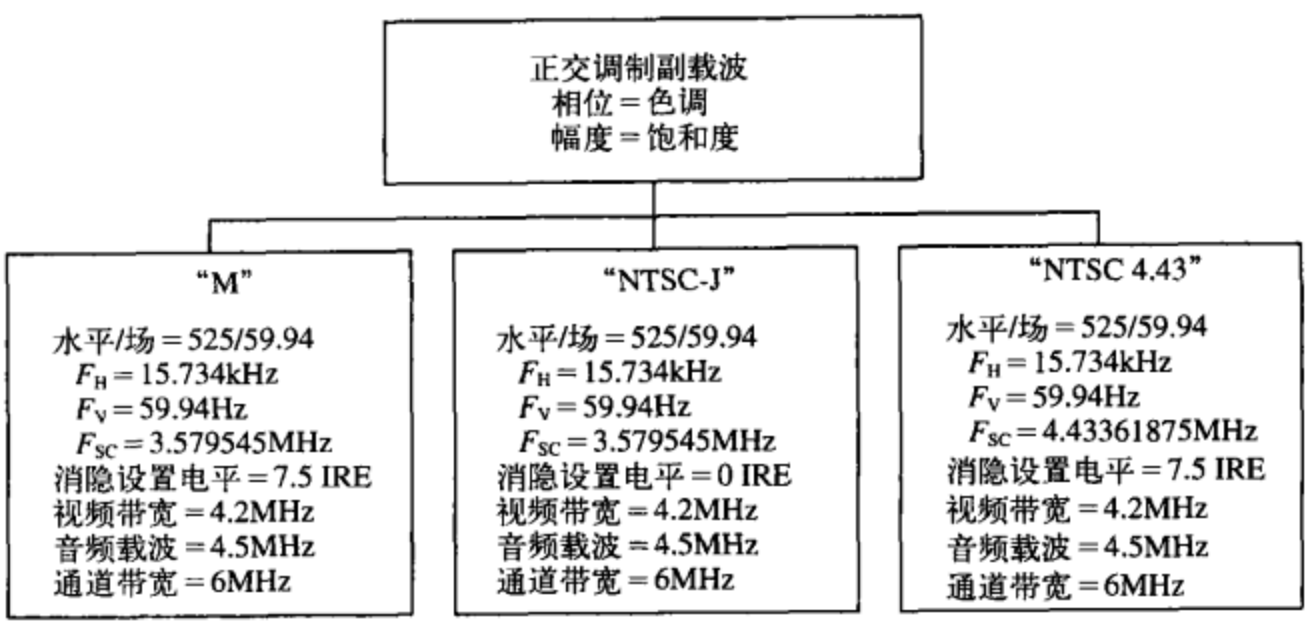


图8-6　常见的NTSC制式

261～264

多标准的模拟VCR通常使用NTSC 4.43。水平和场的时序和（M）NTSC一致；彩色编码使用PAL调制格式，彩色副载波频率为4.43361875MHz。

NTSC-J用于日本，除了在有效视频区间内没有消隐基底电平以外，其他和（M）NTSC一致。因此，有效视频的标称幅度值为714mV。

逐行NTSC是一种262行、帧频为60帧/秒的NTSC，如图8-7所示。除了每帧有262行以外，这种格式和标准的（M）NTSC完全一致。

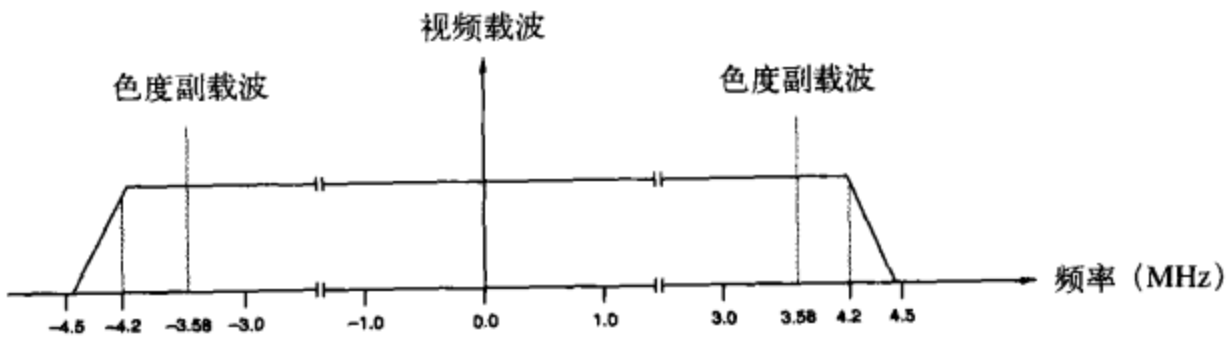
↑ 色同步信号以正半周期为起始点
色同步信号相位＝基准相位＝180°（相对于U）

↓ 色同步以负半周期为起始点
色同步信号相位＝基准相位＝180°（相对于U）

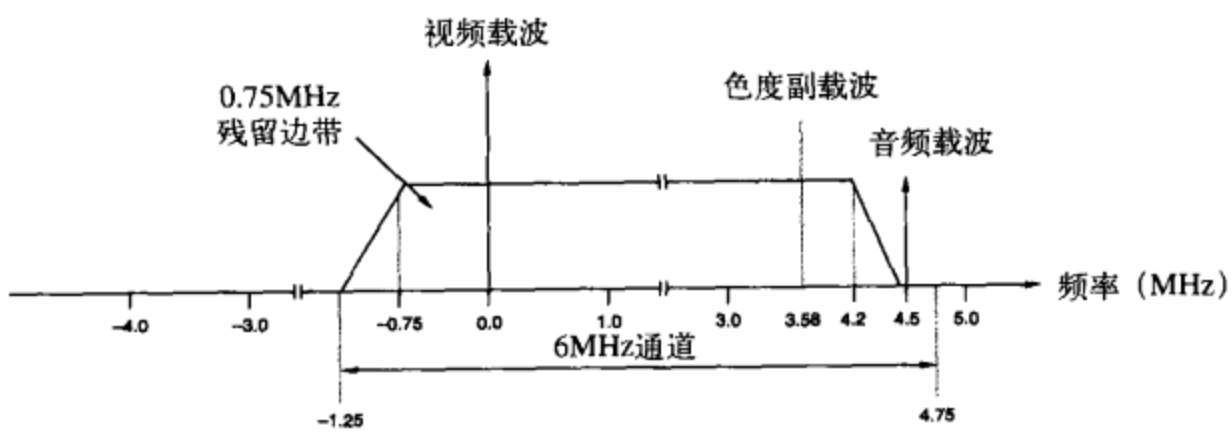
图8-7　逐行NTSC帧序

8.1.7 RF调制

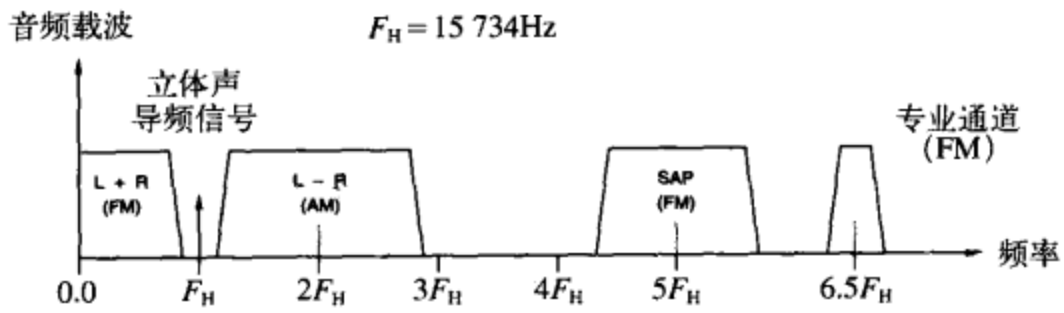
图8-8、图8-9和图8-10描述了基带（M）NTSC复合视频转化为RF（Radio Frequency，射频）信号的基本处理过程。



（a）基带复合视频信号的频谱



（b）包含音频信息的典型通道的频谱



（c）BTSC立体声音频信息的详细频谱

图8-8 （M）NTSC制式的传输通道

图8-8a示范了基带复合视频信号的频谱，它和图8-3类似。然而，图8-3出于简单考虑，只示范了上边带。0MHz位置处的“视频载波”记号只是作为一个与图8-8 b 进行比较的参考点。

图8-8b示范了位于一个6MHz通道（例如3频道）内的音频/视频信号。视频信号通过低通滤波，滤去大部分下边带，再加入音频信息。

图8-8c详细描述了针对立体声（BTSC）运算的音频副载波携带的信息。

如图8-9和图8-10所示，模拟视频信号的后肩钳位（back porch clamping）（参见术语表）保证了后肩电平为常数，而与平均图像电平的变化无关。视频信号的白峰限幅（white clipping）防止调制信号低于10%；低于10%可能导致过调制，在电视接收机上产生蜂音。视频信号然后通过4.2MHz的低通滤波器滤波，随后驱动AM（amplitude modulation，幅度调制）视频调制器。同步电平对应于100%调制，消隐电平对应于75%调制，而白色电平对应于10%调制。（M）NTSC制式为视频使用的IF（intermediate frequency，中频）为45.75MHz。 265

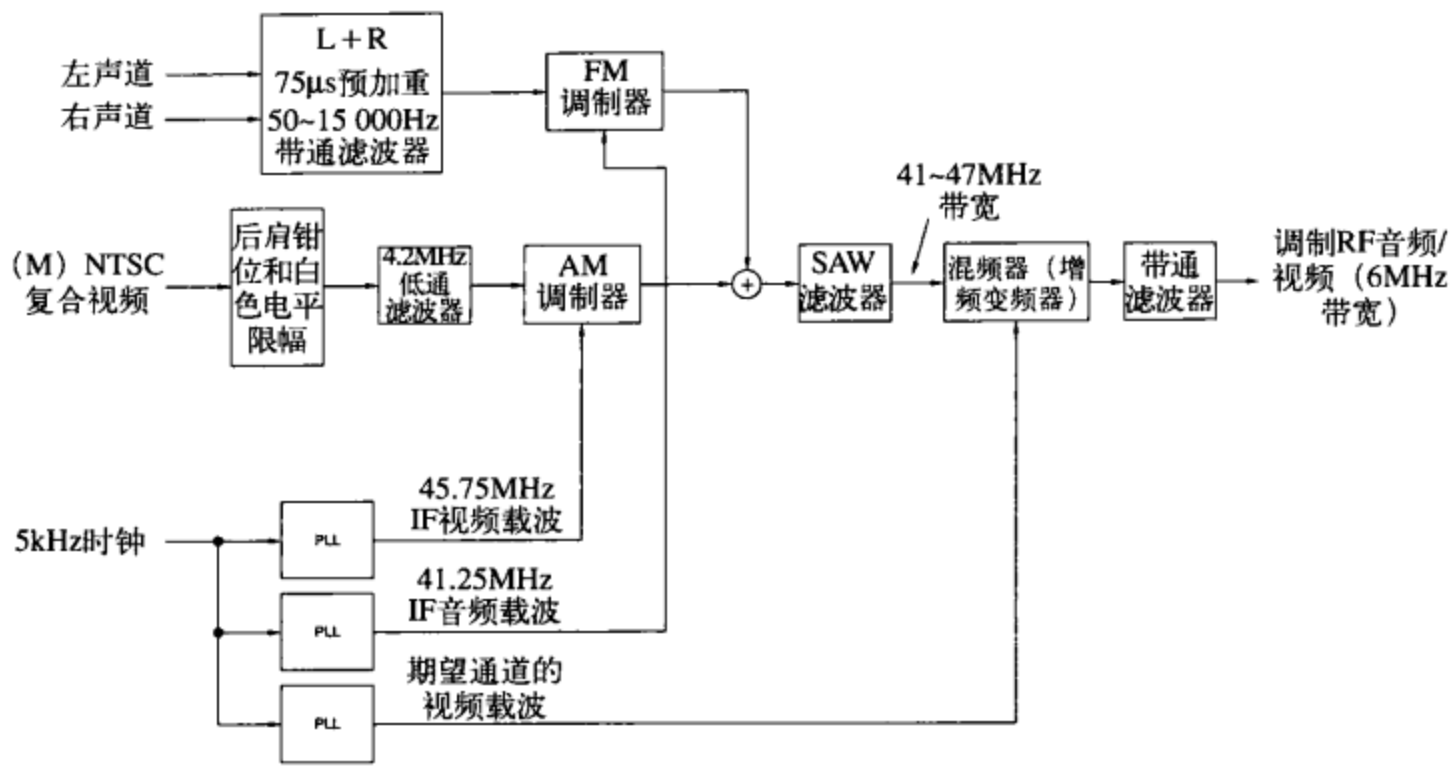


图8-9　(M) NTSC的典型RF调制实现：单声道音频

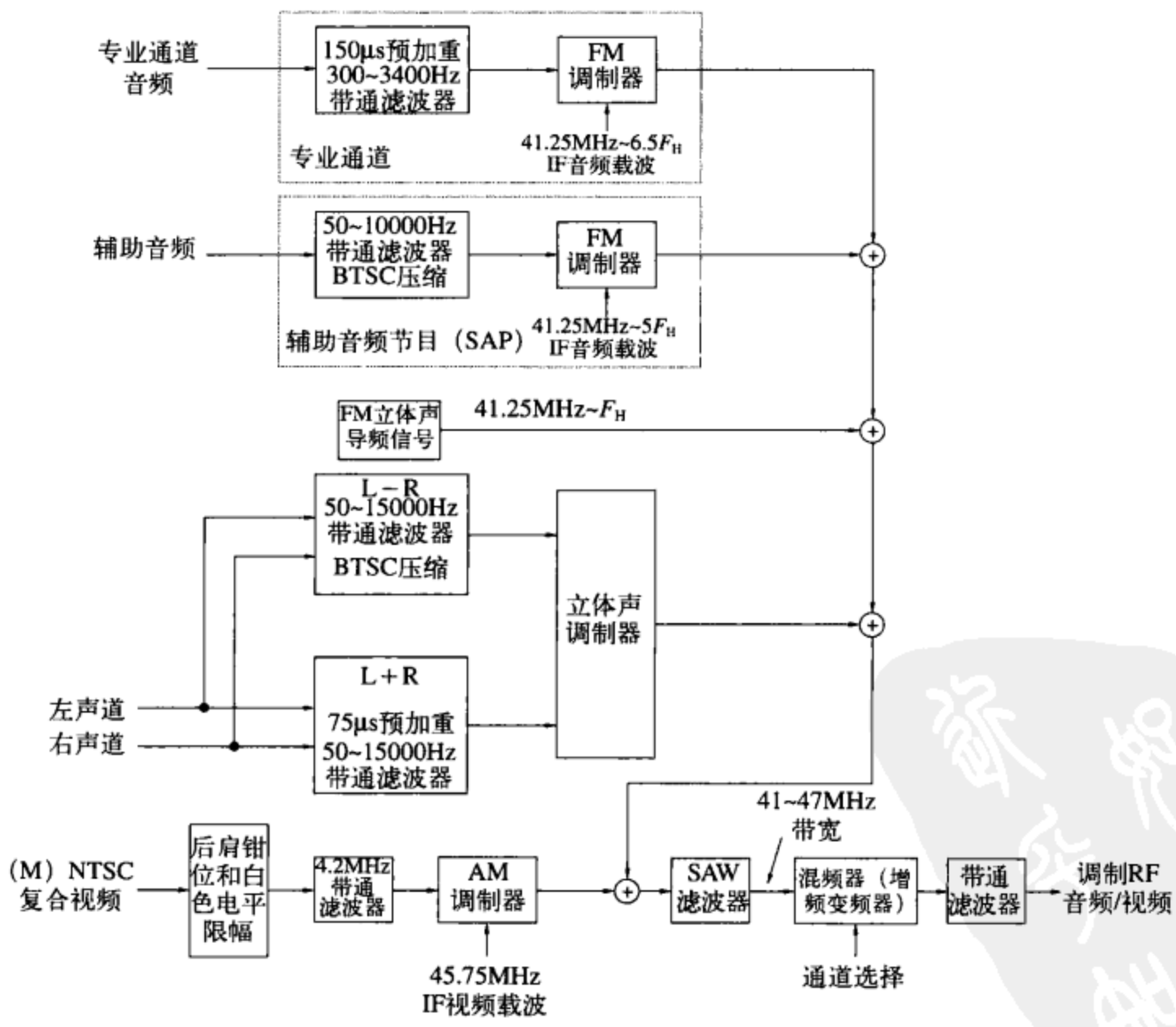


图8-10　(M) NTSC的典型RF调制实现：BTSC立体声音频

在这点上，音频信息叠加在副载波41.25MHz处。如图8-9所示，单声道音频信号被处理后去

驱动FM（Frequency Modulation，频率调制）调制器，然后将FM调制器的输出叠加到IF视频信号中。

作为残留边带滤波器，SAW滤波器滤波IF信号。混频器（或者增频变频器）将IF信号和期望的广播频率混合起来。混频过程中将产生和频与差频，因此使用一个带通滤波器将差频信号抽取出来。

立体声音频（模拟）

❑ BTSC

该标准由EIA TVSB5定义，被公认为BTSC（Broadcast Television Systems Committee，广播电视制式委员会）制式标准，如图8-10所示。使用这种制式的国家包括美国、加拿大、墨西哥和巴西等。

为了使能立体声系统，L－R信息使用一个受抑制的AM副载波传送。有可能存在一个SAP（Secondary Audio Program，辅助音频节目）通道，用来传送一种辅助语言或视频描述（为视觉受损者提供的描述性音频）。也可能存在一个专业通道，允许与远程设备和人进行交流。

❑ Zweiton M

这个标准（ITU-R BS.707），通常也叫作A2 M，和PAL制式中使用的标准类似。L＋R信息通过FM传送，副载波频率为4.5MHz。L－R信息，或者辅助L＋R音频信号，也是通过FM传送的，但它的副载波为4.724 212MHz。

若立体声信号或双路单声道信号存在，那么频率为4.724 212MHz的FM副载波要再经过55.069 9kHz副载波的幅度调制。这一55.069 9kHz副载波或者在149.9Hz处使用50%幅度调制表示立体声音频，或者在276.0Hz处使用50%幅度调制表示双路单声道音频。

这一制式在韩国使用。

266

❑ EIA-J

这一标准与BTSC相似，日本使用这种标准。L＋R信息通过FM传送，副载波频率为4.5MHz。L－R信号，或者辅助L＋R音频信号，也是通过FM传送，但它的副载波为$+2F_H$。

若立体声信号或双路单声道信号存在，那么$+3.5F_H$的副载波或者使用982.5Hz的副载波幅度调制（立体声音频），或者使用922.5Hz的副载波幅度调制（双路单声道音频）。

8.1.8 模拟频道分配

表8-1到表8-4列举了各种NTSC制式的VHF、UHF和有线电视的典型频道分配情况。

值得一提的是，有线电视系统通常会重新分配频道号来改变频率以将干扰最小化，并且提供不同级别的节目内容（例如一般节目和预付费电影频道）。

267～269

表8-1 北美模拟广播标称频率

广播频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）	广播频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）
–	–	–	–	7	175.25	179.75	174~180
–	–	–	–	8	181.25	185.75	180~186
2	55.25	59.75	54~60	9	187.25	191.75	186~192
3	61.25	65.75	60~66	10	193.25	197.75	192~198
4	67.25	71.75	66~72	11	199.25	203.75	198~204
5	77.25	81.75	76~82	12	205.25	209.75	204~210
6	83.25	87.75	82~88	13	211.25	215.75	210~216

（续）

广播频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）	广播频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）
14	471.25	475.75	470~476	42	639.25	643.75	638~644
15	477.25	481.75	476~482	43	645.25	649.75	644~650
16	483.25	487.75	482~488	44	651.25	655.75	650~656
17	489.25	493.75	488~494	45	657.25	661.75	656~662
18	495.25	499.75	494~500	46	663.25	667.75	662~668
19	501.25	505.75	500~506	47	669.25	673.75	668~674
20	507.25	511.75	506~512	48	675.25	679.75	674~680
21	513.25	517.75	512~518	49	681.25	685.75	680-686
22	519.25	523.75	518~524	50	687.25	691.75	686~692
23	525.25	529.75	524~530	51	693.25	697.75	692~698
24	531.25	535.75	530~536	52	699.25	703.75	698~704
25	537.25	541.75	536~542	53	705.25	709.75	704~710
26	543.25	547.75	542~548	54	711.25	715.75	710~716
27	549.25	553.75	548~554	55	717.25	721.75	716~722
28	555.25	559.75	554~560	56	723.25	727.75	722~728
29	561.25	565.75	560~566	57	729.25	733.75	728~734
30	567.25	571.75	566~572	58	735.25	739.75	734~740
31	573.25	577.75	572~578	59	741.25	745.75	740~746
32	579.25	583.75	578~584	60	747.25	751.75	746~752
33	585.25	589.75	584~590	61	753.25	757.75	752~758
34	591.25	595.75	590~596	62	759.25	763.75	758~764
35	597.25	601.75	596~602	63	765.25	769.75	764~770
36	603.25	607.75	602~608	64	771.25	775.75	770~776
37	609.25	613.75	608~614	65	777.25	781.75	776~782
38	615.25	619.75	614~620	66	783.25	787.75	782~788
39	621.25	625.75	620~626	67	789.25	793.75	788~794
40	627.25	631.75	626~632	68	795.25	799.75	794~800
41	633.25	637.75	632~638	69	801.25	805.75	800~806

270

表8-2 日本模拟广播标称频率

广播频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）	广播频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）
–	–	–	–	10	205.25	209.75	204~210
1	91.25	95.75	90~96	11	211.25	215.75	210~216
2	97.25	101.75	96~102	12	217.25	221.75	216~222
3	103.25	107.75	102~108	13	471.25	475.75	470~476
4	171.25	175.75	170~176	14	477.25	481.75	476~482
5	177.25	181.75	176~182	15	483.25	487.75	482~488
6	183.25	187.75	182~188	16	489.25	493.75	488~494
7	189.25	193.75	188~194	17	495.25	499.75	494~500
8	193.25	197.75	192~198	18	501.25	505.75	500~506
9	199.25	203.75	198~204	19	507.25	511.75	506~512

（续）

广播频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）	广播频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）
20	513.25	517.75	512~518	45	663.25	667.75	662~668
21	519.25	523.75	518~524	46	669.25	673.75	668~674
22	525.25	529.75	524~530	47	675.25	679.75	674~680
23	531.25	535.75	530~536	48	681.25	685.75	680~686
24	537.25	541.75	536~542	49	687.25	691.75	686~692
25	543.25	547.75	542~548	50	693.25	697.75	692~698
26	549.25	553.75	548~554	51	699.25	703.75	698~704
27	555.25	559.75	554~560	52	705.25	709.75	704~710
28	561.25	565.75	560~566	53	711.25	715.75	710~716
29	567.25	571.75	566~572	54	717.25	721.75	716~722
30	573.25	577.75	572~578	55	723.25	727.75	722~728
31	579.25	583.75	578~584	56	729.25	733.75	728~734
32	585.25	589.75	584~590	57	735.25	739.75	734~740
33	591.25	595.75	590~596	58	741.25	745.75	740~746
34	597.25	601.75	596~602	59	747.25	751.75	746~752
35	603.25	607.75	602~608	60	753.25	757.75	752~758
36	609.25	613.75	608~614	61	759.25	763.75	758-764
37	615.25	619.75	614~620	62	765.25	769.75	764~770
38	621.25	625.75	620~626	–	–	–	–
39	627.25	631.75	626~632	–	–	–	–
40	633.25	637.75	632~638	–	–	–	–
41	639.25	643.75	638~644	–	–	–	–
42	645.25	649.75	644~650	–	–	–	–
43	651.25	655.75	650~656	–	–	–	–
44	657.25	661.75	656~662	–	–	–	–

271

表8-3a 美国标准模拟有线电视标称频率

有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）	有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）
–	–	–	–	13	211.25	215.75	210~216
–	–	–	–	14	121.2625	125.7625	120~126
2	55.25	59.75	54~60	15	127.2625	131.7625	126~132
3	61.25	65.75	60~66	16	133.2625	137.7625	132~138
4	67.25	71.75	66~72	17	139.25	143.75	138~144
5	77.25	81.75	76~82	18	145.25	149.75	144~150
6	83.25	87.75	82~88	19	151.25	155.75	150~156
7	175.25	179.75	174~180	20	157.25	161.75	156~162
8	181.25	185.75	180~186	21	163.25	167.75	162~168
9	187.25	191.75	186~192	22	169.25	173.75	168~174
10	193.25	197.75	192~198	23	217.25	221.75	216~222
11	199.25	203.75	198~204	24	223.25	227.75	222~228
12	205.25	209.75	204~210	25	229.2625	233.7625	228~234

（续）

有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）	有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）
26	235.2625	239.7625	234~240	68	487.25	491.75	486~492
27	241.2625	245.7625	240~246	69	493.25	497.75	492~498
28	247.2625	251.7625	246~252	70	499.25	503.75	498~504
29	253.2625	257.7625	252~258	71	505.25	509.75	504~510
30	259.2625	263.7625	258~264	72	511.25	515.75	510~516
31	265.2625	269.7625	264~270	73	517.25	521.75	516~522
32	271.2625	275.7625	270~276	74	523.25	527.75	522~528
33	277.2625	281.7625	276~282	75	529.25	533.75	528~534
34	283.2625	287.7625	282~288	76	535.25	539.75	534~540
35	289.2625	293.7625	288~294	77	541.25	545.75	540~546
36	295.2625	299.7625	294~300	78	547.25	551.75	546~552
37	301.2625	305.7625	300~306	79	553.25	557.75	552~558
38	307.2625	311.7625	306~312	80	559.25	563.75	558~564
39	313.2625	317.7625	312~318	81	565.25	569.75	564~570
40	319.2625	323.7625	318~324	82	571.25	575.75	570~576
41	325.2625	329.7625	324~330	83	577.25	581.75	576~582
42	331.2750	335.7750	330~336	84	583.25	587.75	582~588
43	337.2625	341.7625	336~342	85	589.25	593.75	588~594
44	343.2625	347.7625	342~348	86	595.25	599.75	594~600
45	349.2625	353.7625	348~354	87	601.25	605.75	600~606
46	355.2625	359.7625	354~360	88	607.25	611.75	606~612
47	361.2625	365.7625	360~366	89	613.25	617.75	612~618
48	367.2625	371.7625	366~372	90	619.25	623.75	618~624
49	373.2625	377.7625	372~378	91	625.25	629.75	624~630
50	379.2625	383.7625	378~384	92	631.25	635.75	630~636
51	385.2625	389.7625	384~390	93	637.25	641.75	636~642
52	391.2625	395.7625	390~396	94	643.25	647.75	642~648
53	397.2625	401.7625	396~402	95	91.25	95.75	90~96
54	403.25	407.75	402~408	96	97.25	101.75	96~102
55	409.25	413.75	408~414	97	103.25	107.75	102~108
56	415.25	419.75	414~420	98	109.2750	113.7750	108~114
57	421.25	425.75	420~426	99	115.2750	119.7750	114~120
58	427.25	431.75	426~432	100	649.25	653.75	648~654
59	433.25	437.75	432~438	101	655.25	659.75	654~660
60	439.25	443.75	438~444	102	661.25	665.75	660~666
61	445.55	449.75	444~450	103	667.25	671.75	666~672
62	451.25	455.75	450~456	104	673.25	677.75	672~678
63	457.25	461.75	456~462	105	679.25	683.75	678~684
64	463.25	467.75	462~468	106	685.25	689.75	684~690
65	469.25	473.75	468~474	107	691.25	695.75	690~696
66	475.25	479.75	474~480	108	697.25	701.75	696~702
67	481.25	485.75	480~486	109	703.25	707.75	702~708

（续）

有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）	有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）
110	709.25	713.75	708~714	135	859.25	863.75	858~864
111	715.25	719.75	714~720	136	865.25	869.75	864~870
112	721.25	725.75	720~726	137	871.25	875.75	870~876
113	727.25	731.75	726~732	138	877.25	881.75	876~882
114	733.25	737.75	732~738	139	883.25	887.75	882~888
115	739.25	743.75	738~744	140	889.25	893.75	888~894
116	745.25	749.75	744~750	141	895.25	899.75	894~900
117	751.25	755.75	750~756	142	901.25	905.75	900~906
118	757.25	761.75	756~762	143	907.25	911.75	906~912
119	763.25	767.75	762~768	144	913.25	917.75	912~918
120	769.25	773.75	768~774	145	919.25	923.75	918~924
121	775.25	779.75	774~780	146	925.25	929.75	924~930
122	781.25	785.75	780~786	147	931.25	935.75	930~936
123	787.25	791.75	786~792	148	937.25	941.75	936~942
124	793.25	797.75	792~798	149	943.25	947.75	942-948
125	799.25	803.75	798~804	150	949.25	953.75	948~954
126	805.25	809.75	804~810	151	955.25	959.75	954~960
127	811.25	815.75	810~816	152	961.25	965.75	960~966
128	817.25	821.75	816~822	153	967.25	971.75	966~972
129	823.25	827.75	822~828	154	973.25	977.75	972~978
130	829.25	833.75	828~834	155	979.25	983.75	978~984
131	835.25	839.75	834~840	156	985.25	989.75	984~990
132	841.25	845.75	840~846	157	991.25	995.75	990~996
133	847.25	851.75	846~852	158	997.25	1001.75	996~1002
134	853.25	857.75	852~858	—	—	—	—

表8-3b 美国模拟有线电视标称频率：增量相关载波（Incrementally Related Carrier，IRC）制式

有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）
—	—	—	13	211.2625	215.7625
1	73.2625	77.7625	14	121.2625	125.7625
2	55.2625	59.7625	15	127.2625	131.7625
3	61.2625	65.7625	16	133.2625	137.7625
4	67.2625	71.7625	17	139.2625	143.7625
5	79.2625	83.7625	18	145.2625	149.7625
6	85.2625	89.7625	19	151.2625	155.7625
7	175.2625	179.7625	20	157.2625	161.7625
8	181.2625	185.7625	21	163.2625	167.7625
9	187.2625	191.7625	22	169.2625	173.7625
10	193.2625	197.7625	23	217.2625	221.7625
11	199.2625	203.7625	24	223.2625	227.7625
12	205.2625	209.7625	25	229.2625	233.7625

（续）

有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）
26	235.2625	239.7625	68	487.2625	491.7625
27	241.2625	245.7625	69	493.2625	497.7625
28	247.2625	251.7625	70	499.2625	503.7625
29	253.2625	257.7625	71	505.2625	509.7625
30	259.2625	263.7625	72	511.2625	515.7625
31	265.2625	269.7625	73	517.2625	521.7625
32	271.2625	275.7625	74	523.2625	527.7625
33	277.2625	281.7625	75	529.2625	533.7625
34	283.2625	287.7625	76	535.2625	539.7625
35	289.2625	293.7625	77	541.2625	545.7625
36	295.2625	299.7625	78	547.2625	551.7625
37	301.2625	305.7625	79	553.2625	557.7625
272 38	307.2625	311.7625	80	559.2625	563.7625
39	313.2625	317.7625	81	565.2625	569.7625
40	319.2625	323.7625	82	571.2625	575.7625
41	325.2625	329.7625	83	577.2625	581.7625
42	331.2750	335.7750	84	583.2625	587.7625
43	337.2625	341.7625	85	589.2625	593.7625
44	343.2625	347.7625	86	595.2625	599.7625
45	349.2625	353.7625	87	601.2625	605.7625
46	355.2625	359.7625	88	607.2625	611.7625
47	361.2625	365.7625	89	613.2625	617.7625
48	367.2625	371.7625	90	619.2625	623.7625
49	373.2625	377.7625	91	625.2625	629.7625
50	379.2625	383.7625	92	631.2625	635.7625
51	385.2625	389.7625	93	637.2625	641.7625
52	391.2625	395.7625	94	643.2625	647.7625
53	397.2625	401.7625	95	91.2625	95.7625
54	403.2625	407.7625	96	97.2625	101.7625
55	409.2625	413.7625	97	103.2625	107.7625
56	415.2625	419.7625	98	109.2750	113.7750
57	421.2625	425.7625	99	115.2625	119.7625
58	427.2625	431.7625	100	649.2625	653.7625
59	433.2625	437.7625	101	655.2625	659.7625
60	439.2625	443.7625	102	661.2625	665.7625
61	445.2625	449.7625	103	667.2625	671.7625
62	451.2625	455.7625	104	673.2625	677.7625
63	457.2625	461.7625	105	679.2625	683.7625
64	463.2625	467.7625	106	685.2625	689.7625
65	469.2625	473.7625	107	691.2625	695.7625
66	475.2625	479.7625	108	697.2625	701.7625
67	481.2625	485.7625	109	703.2625	707.7625

（续）

有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）
110	709.2625	713.7625	135	859.2625	863.7625
111	715.2625	719.7625	136	865.2625	869.7625
112	721.2625	725.7625	137	871.2625	875.7625
113	727.2625	731.7625	138	877.2625	881.7625
114	733.2625	737.7625	139	883.2625	887.7625
115	739.2625	743.7625	140	889.2625	893.7625
116	745.2625	749.7625	141	895.2625	899.7625
117	751.2625	755.7625	142	901.2625	905.7625
118	757.2625	761.7625	143	907.2625	911.7625
119	763.2625	767.7625	144	913.2625	917.7625
120	769.2625	773.7625	145	919.2625	923.7625
121	775.2625	779.7625	146	925.2625	929.7625
122	781.2625	785.7625	147	931.2625	935.7625
123	787.2625	791.7625	148	937.2625	941.7625
124	793.2625	797.7625	149	943.2625	947.7625
125	799.2625	803.7625	150	949.2625	953.7625
126	805.2625	809.7625	151	955.2625	959.7625
127	811.2625	815.7625	152	961.2625	965.7625
128	817.2625	821.7625	153	967.2625	971.7625
129	823.2625	827.7625	154	973.2625	977.7625
130	829.2625	833.7625	155	979.2625	983.7625
131	835.2625	839.7625	156	985.2625	989.7625
132	841.2625	845.7625	157	991.2625	995.7625
133	847.2625	851.7625	158	997.2625	1001.7625
134	853.2625	857.7625	–	–	–

273

表8-3c 美国模拟有线电视标称频率：和声相关载波（Harmonically Related Carrier，HRC）制式

有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）
–	–	–	13	210.0105	214.5105
1	72.0036	76.5036	14	120.0060	124.5060
2	54.0027	58.5027	15	126.0063	130.5063
3	60.0030	64.5030	16	132.0066	136.5066
4	66.0033	70.5030	17	138.0069	142.5069
5	72.0036	82.5039	18	144.0072	148.5072
6	78.0039	88.5042	19	150.0075	154.5075
7	174.0087	178.5087	20	156.0078	160.5078
8	180.0090	184.5090	21	162.0081	166.5081
9	186.0093	190.5093	22	168.0084	172.5084
10	192.0096	196.5096	23	216.0108	220.5108
11	198.0099	202.5099	24	222.0111	226.5111
12	204.0102	208.5102	25	228.0114	232.5114

（续）

有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）
26	234.0117	238.5117	68	486.0243	490.5243
27	240.0120	244.5120	69	492.0246	496.5246
28	246.0123	250.5123	70	498.0249	502.5249
29	252.0126	256.5126	71	504.0252	508.5252
30	258.0129	262.5129	72	510.0255	514.5255
31	264.0132	268.5132	73	516.0258	520.5258
32	270.0135	274.5135	74	522.0261	526.5261
33	276.0138	280.5138	75	528.0264	532.5264
34	282.0141	286.5141	76	534.0267	538.5267
35	288.0144	292.5144	77	540.0270	544.5270
36	294.0147	298.5147	78	546.0273	550.5273
37	300.0150	304.5150	79	552.0276	556.5276
38	306.0153	310.5153	80	558.0279	562.5279
39	312.0156	316.5156	81	564.0282	568.5282
40	318.0159	322.5159	82	570.0285	574.5285
41	324.0162	328.5162	83	576.0288	580.5288
42	330.0165	334.5165	84	582.0291	586.5291
43	336.0168	340.5168	85	588.0294	592.5294
44	342.0168	346.5168	86	594.0297	598.5297
45	348.0168	352.5168	87	600.0300	604.5300
46	354.0168	358.5168	88	606.0303	610.5303
47	360.0168	364.5168	89	612.0306	616.5306
48	366.0168	370.5168	90	618.0309	622.5309
49	372.0168	376.5168	91	624.0312	628.5312
50	378.0168	382.5168	92	630.0315	634.5315
51	384.0168	388.5168	93	636.0318	640.5318
52	390.0168	394.5168	94	642.0321	646.5321
53	396.0168	400.5168	95	90.0045	94.5045
54	402.0201	406.5201	96	96.0048	100.5048
55	408.0204	412.5204	97	102.0051	106.5051
56	414.0207	418.5207	98	–	–
57	420.0210	424.5210	99	–	–
58	426.0213	430.5213	100	648.0324	652.5324
59	432.0216	436.5216	101	654.0327	658.5327
60	438.0219	442.5219	102	660.0330	664.5330
61	444.0222	448.5222	103	666.0333	670.5333
62	450.0225	454.5225	104	672.0336	676.5336
63	456.0228	460.5228	105	678.0339	682.5339
64	462.0231	466.5231	106	684.0342	688.5342
65	468.0234	472.5234	107	690.0345	694.5345
66	474.0237	478.5237	108	696.0348	700.5348
67	480.0240	484.5240	109	702.0351	706.5351

（续）

有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）
110	708.0354	712.5354	135	858.0429	862.5429
111	714.0357	718.5357	136	864.0432	868.5432
112	720.0360	724.5360	137	870.0435	874.5435
113	726.0363	730.5363	138	876.0438	880.5438
114	732.0366	736.5366	139	882.0441	888.5441
115	738.0369	742.5369	140	888.0444	892.5444
116	744.0372	748.5372	141	894.0447	898.5447
117	750.0375	754.5375	142	900.0450	904.5450
118	756.0378	760.5378	143	906.0453	910.5453
119	762.0381	766.5381	144	912.0456	916.5456
120	768.0384	772.5384	145	918.0459	922.5459
121	774.0387	778.5387	146	924.0462	928.5462
122	780.0390	784.5390	147	930.0465	934.5465
123	786.0393	790.5393	148	936.0468	940.5468
124	792.0396	796.5396	149	942.0471	946.5471
125	798.0399	802.5399	150	948.0474	952.5474
126	804.0402	808.5402	151	954.0477	958.5477
127	810.0405	814.5405	152	960.0480	964.5480
128	816.0408	820.5408	153	966.0483	970.5483
129	822.0411	826.5411	154	972.0486	976.5486
130	828.0414	832.5414	155	978.0489	982.5489
131	834.0417	838.5417	156	984.0492	988.5492
132	840.0420	844.5420	157	990.0495	994.5495
133	846.0423	850.5423	158	996.0498	1000.5498
134	852.0426	856.5426	–	–	–

274～277

表8-4 日本模拟有线电视标称频率

有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）	有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）
–	–	–	–	23	223.25	227.75	222~228
–	–	–	–	24	231.25	235.75	230~236
–	–	–	–	25	237.25	241.75	236~242
13	109.25	113.75	108~114	26	243.25	247.75	242~248
14	115.25	119.75	114~120	27	249.25	253.75	248~254
15	121.25	125.75	120~126	28	253.25	257.75	252~258
16	127.25	131.75	126~132	29	259.25	263.75	258~264
17	133.25	137.75	132~138	30	265.25	269.75	264~270
18	139.25	143.75	138~144	31	271.25	275.75	270~276
19	145.25	149.75	144~150	32	277.25	281.75	276~282
20	151.25	155.75	150~156	33	283.25	287.75	282~288
21	157.25	161.75	156~162	34	289.25	293.75	288~294
22	165.25	169.75	164~170	35	295.25	299.75	294~300

（续）

有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）	有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）
36	301.25	305.75	300~306	53	403.25	407.75	402~408
37	307.25	311.75	306~312	54	409.25	413.75	408~414
38	313.25	317.75	312~318	55	415.25	419.75	414~420
39	319.25	323.75	318~324	56	421.25	425.75	420~426
40	325.25	329.75	324~330	57	427.25	431.75	426~432
41	331.25	335.75	330~336	58	433.25	437.75	432~438
42	337.25	341.75	336~342	59	439.25	443.75	438~444
43	343.25	347.75	342~348	60	445.25	449.75	444~450
44	349.25	353.75	348~354	61	451.25	455.75	450~456
45	355.25	359.75	354~360	62	457.25	461.75	456~462
46	361.25	365.75	360~366	63	463.25	467.75	462~468
47	367.25	371.75	366~372	–	–	–	–
48	373.25	377.75	372~378	–	–	–	–
49	379.25	383.75	378~384	–	–	–	–
50	385.25	389.75	384~390	–	–	–	–
51	391.25	395.75	390~396	–	–	–	–
52	397.25	401.75	396~402	–	–	–	–

278

8.1.9 亮度方程推导

由RGB生成亮度的方程由接收机所使用的三基色的色度和真正的白光源决定。

RGB三基色的色度和基准白光（CIE照明C）由1953 NTSC标准指定：

R：$x_r=0.67$　　$y_r=0.33$　　$z_r=0.00$

G：$x_g=0.21$　　$y_g=0.71$　　$z_g=0.08$

B：$x_b=0.14$　　$y_b=0.08$　　$z_b=0.78$

白色：$x_w=0.3101$　　$y_w=0.3162$　　$z_w=0.3737$

其中x和y由CIE 1931色度坐标指定，而z由$x+y+z=1$计算。

亮度由RGB的加权和计算，权重代表生成基准白光的亮度时RGB三基色的实际贡献。我们可以通过求解下面的方程式得出生成基准白光的RGB的线性组合：

$$\begin{bmatrix} x_r & x_g & x_b \\ y_r & y_g & y_b \\ z_r & z_g & z_b \end{bmatrix}\begin{bmatrix} K_r \\ K_g \\ K_b \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} x_w/y_w \\ 1 \\ z_w/y_w \end{bmatrix}$$

对上述方程式重新排列以求解K_r、K_g和K_b：

$$\begin{bmatrix} K_r \\ K_g \\ K_b \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} x_w/y_w \\ 1 \\ z_w/y_w \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_r & x_g & x_b \\ y_r & y_g & y_b \\ z_r & z_g & z_b \end{bmatrix}^{-1}$$

将已知数据代入上式，得出K_r、K_g和K_b：

$$\begin{bmatrix} K_r \\ K_g \\ K_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3101/0.3162 \\ 1 \\ 0.3737/0.3162 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.67 & 0.21 & 0.14 \\ 0.33 & 0.71 & 0.08 \\ 0.00 & 0.08 & 0.78 \end{bmatrix}^{-1}$$
$$= \begin{bmatrix} 0.9807 \\ 1 \\ 1.1818 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.730 & -0.482 & -0.261 \\ -0.814 & 1.652 & -0.023 \\ 0.083 & -0.169 & 1.284 \end{bmatrix}$$
$$= \begin{bmatrix} 0.906 \\ 0.827 \\ 1.430 \end{bmatrix}$$

Y定义为：

$$\begin{aligned} Y &= (K_r y_r)R' + (K_g y_g)G' + (K_b y_b)B' \\ &= (0.906)(0.33)R' + (0.827)(0.71)G' \\ &\quad + (1.430)(0.08)B' \end{aligned}$$

或者：

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

现代的接收机使用一组不同的RGB磷光粉，从而使产生的RGB三基色的色度和基准白光（CIE照明D_{65}）稍微有所不同：

R：$x_r = 0.630$　　$y_r = 0.340$　　$z_r = 0.030$
G：$x_g = 0.310$　　$y_g = 0.595$　　$z_g = 0.095$
B：$x_b = 0.155$　　$y_b = 0.070$　　$z_b = 0.775$
白色：$x_w = 0.3127$　　$y_w = 0.3290$　　$z_w = 0.3583$

其中x和y由CIE 1931色度坐标指定；而z由$x+y+z=1$计算。将已知数据代入后，可以得到K_r、K_g和K_b：

279

$$\begin{bmatrix} K_r \\ K_g \\ K_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3127/0.3290 \\ 1 \\ 0.3583/0.3290 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.630 & 0.310 & 0.155 \\ 0.340 & 0.595 & 0.070 \\ 0.030 & 0.095 & 0.775 \end{bmatrix}^{-1}$$
$$= \begin{bmatrix} 0.6243 \\ 1.1770 \\ 1.2362 \end{bmatrix}$$

因为Y定义为：

$$\begin{aligned} Y &= (K_r y_r)R' + (K_g y_g)G' + (K_b y_b)B' \\ &= (0.6243)(0.340)R' + (1.1770)(0.595)G' \\ &\quad + (1.2362)(0.070)B' \end{aligned}$$

所以结果为：

$$Y = 0.212R' + 0.700G' + 0.086B'$$

但是，仍然可以使用标准的$Y = 0.299R' + 0.587G' + 0.114B'$方程式。为了减少色彩误差，需要对接收机进行调整。

8.2 PAL概述

在彩色电视制式标准上，欧洲没有立即采纳某一种标准，而是评估了1953年至1967年之间与

他们的625行、50场/秒、2：1逐行黑白电视标准兼容的各种制式。欧洲对NTSC规范进行了修改，以克服NTSC在广播过程中的高阶相位和幅度完整性要求，从而避免色彩失真。逐行倒相（Phase Alternation Line，PAL）制式最初依赖于人眼对色彩失真的视觉平均补偿作用，实现了一种逐行倒相的彩色分量。PAL制式于1967年在德国和英国开始广播，这两个国家分别使用了一种稍微有所不同的PAL制式标准。

8.2.1　亮度信息

由R'G'B'推导的黑白亮度（Y）信号为：

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

和NTSC制式一样，PAL制式的亮度信号也占用整个视频带宽。PAL制式有若干种变体，每种变体的视频带宽和音频副载波的位置有所不同。根据不同的PAL制式标准，复合视频信号的带宽有4.2MHz、5.0MHz、5.5MHz和6.0MHz几种。

280

8.2.2　彩色信息

在传送彩色信息时，使用的是U和V：

$U=0.492(B'-Y)$

$V=0.877(R'-Y)$

其中U和V的典型带宽为1.3MHz。

8.2.3　彩色调制

和NTSC制式中一样，U和V使用两个相位正交的平衡调制器来调制彩色副载波：其中一个调制器由正弦相位的副载波驱动，另一个调制器由余弦相位的副载波驱动。两个调制器的输出叠加在一起形成色度调制信号：

$C=U\sin\omega t\pm V\cos\omega t$

$\omega=2\pi F_{SC}$

对于（B、D、G、H、I、N）PAL：$F_{SC}=4.433\,618\,75\text{MHz}$（±5Hz）

对于（N_C）PAL：$F_{SC}=3.582\,056\,25\text{MHz}$（±5Hz）

对于（M）PAL：$F_{SC}=3.575\,611\,49\text{MHz}$（±10Hz）

在PAL制式中，V的相位是逐行倒相的。选择V进行倒相处理是因为它相对于U拥有较低的增益系数，因此它对（1/2）F_H交换频率不平衡较不敏感。V相位以行频交换的结果就是所有的彩色副载波相位误差生成互补的误差，允许在接收机处逐行平均，消除误差并生成饱和度稍微下降的正确色调。这一技术要求PAL接收机能够确定正确的V相位。这一问题可以通过著名的AB同步、PAL同步、PAL开关或者摇摆色同步信号（swinging burst）技术（包括色同步信号的相位以行频±45°的交换）完成。PAL制的UV矢量图如图8-11和图8-12所示。

简单PAL解码器依赖于人眼对逐行色调错误的平均补偿作用。标准PAL解码器使用一个1行延迟线在求均值过程中分离U和V。两种实现都有Hanover条问题，在这种问题中，每对邻接的行都有一个实的和一个互补的色调误差。行求均值过程所造成的结果就是使色度垂直解析度下降。

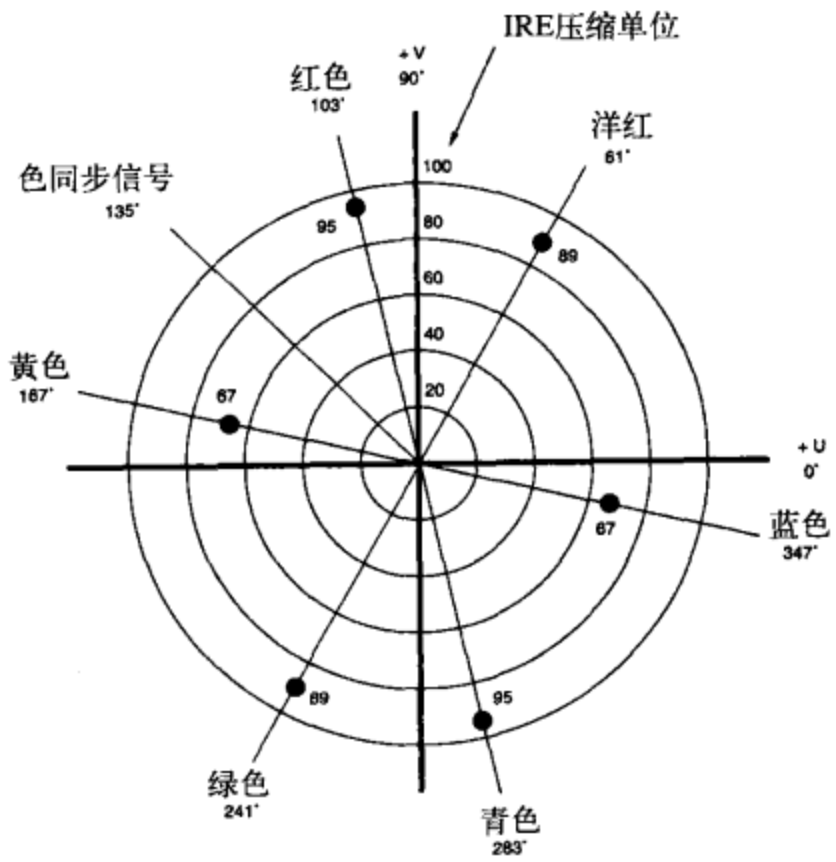


图8-11 75%彩条的UV矢量图。行[n]、PAL开关＝0

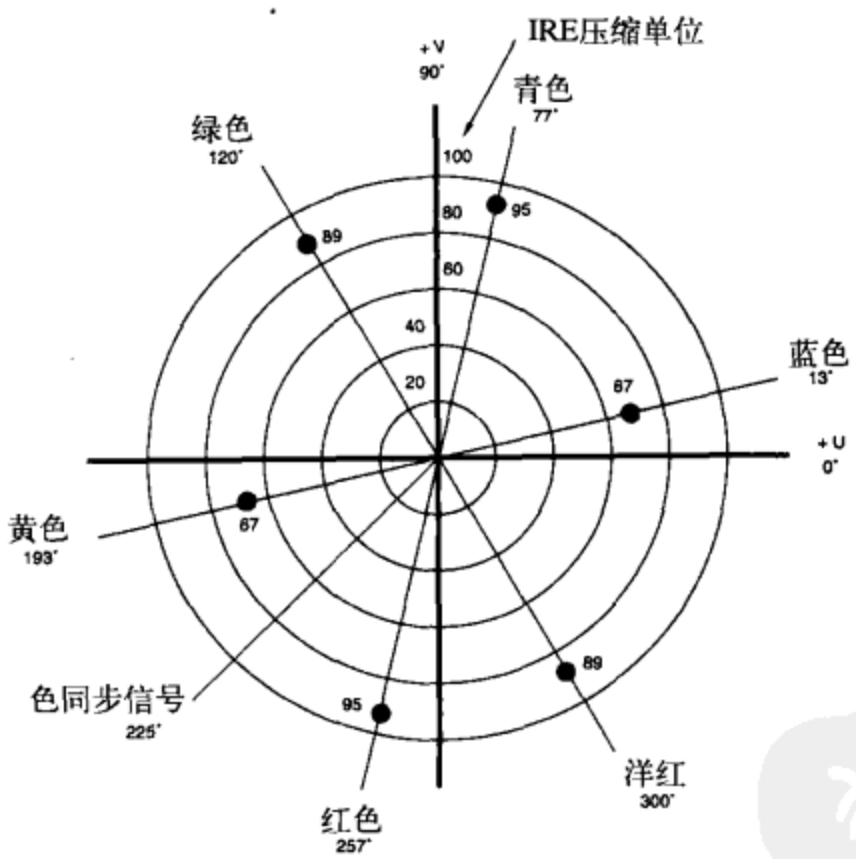


图8-12 75%彩条的UV矢量图。行[$n+1$]、PAL开关＝1

8.2.4 复合视频的生成

调制色度信息加上亮度信息以及合适的水平和场同步信号、消隐信号及色同步信号就生成复合彩色视频波形，如图8-13所示。

复合PAL＝Y＋Usin ωt ± Vcos ωt＋时序

所生成的复合视频信号的带宽如图8-14所示。

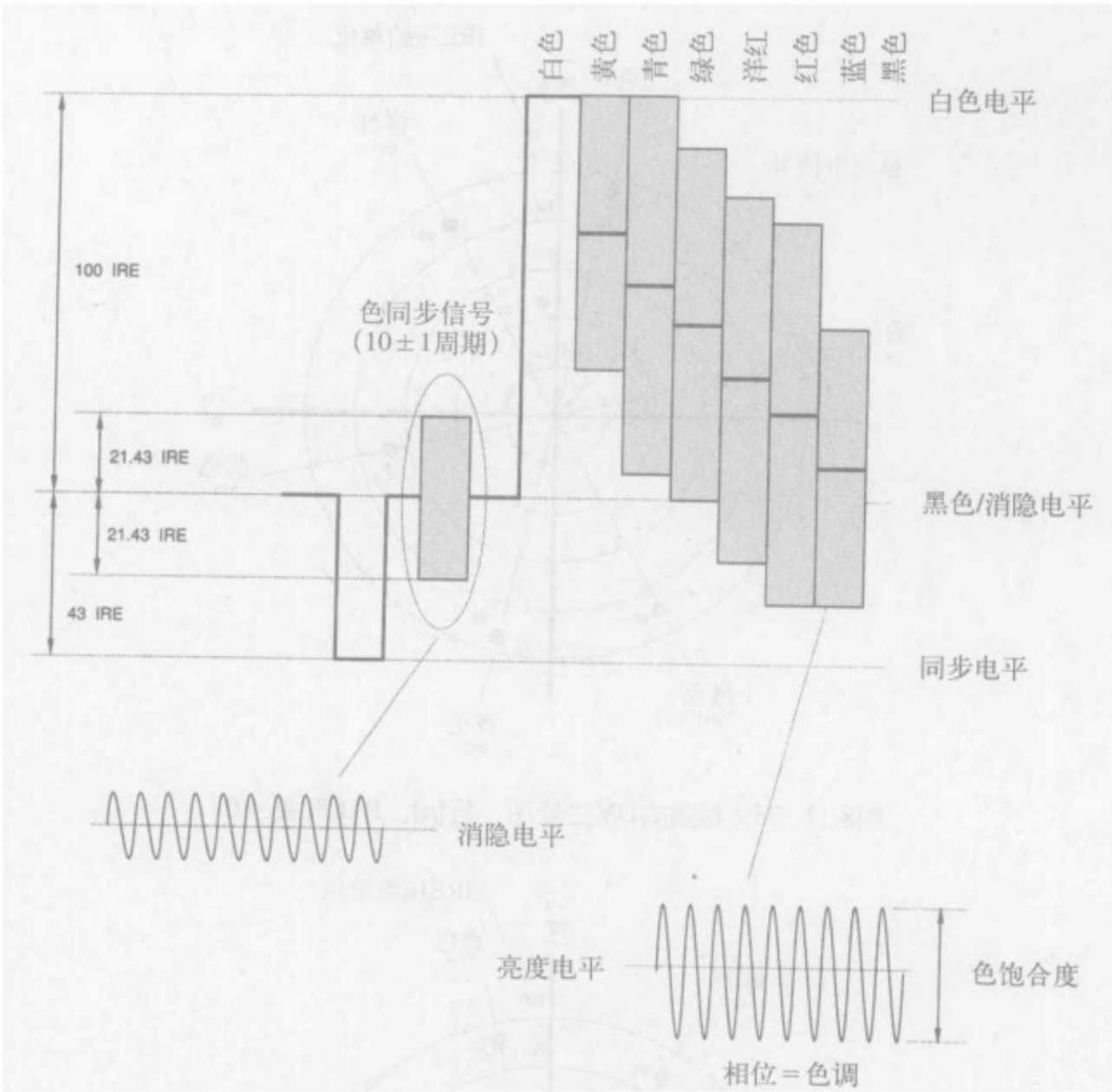


图8-13　75%彩条的（B、D、G、H、I、N_C）PAL复合视频信号

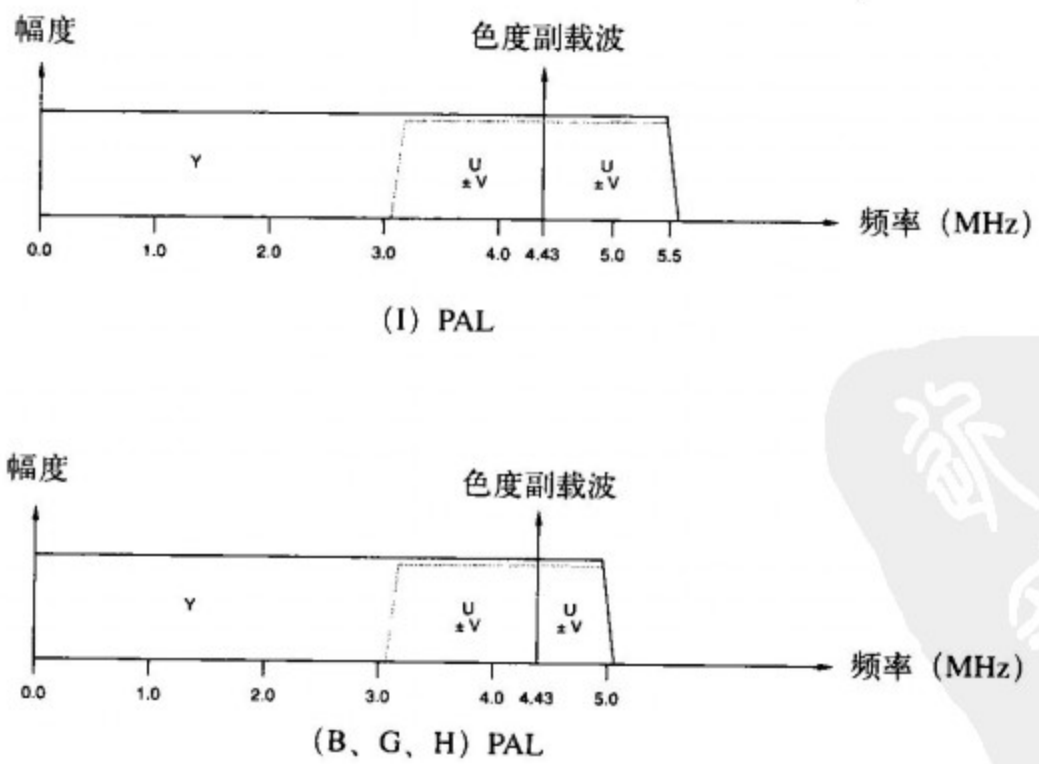


图8-14　一些PAL制式的视频带宽

和NTSC制式相似，由于水平消隐，亮度分量也相隔F_H间隔。因为V分量以1/2行频对称切换，所以只生成奇数的谐频，致使V分量相隔F_H间隔。V分量和U分量错开半行间隔，而U分量也拥有

F_H间隔。如果和NTSC制式一样，副载波使用半行频偏置，那么U分量将完全隔行，但是V分量将和Y分量完全重叠，因此就无法隔行，产生垂直静态点模式。基于这个原因，所以PAL制式副载波频率使用1/4行频偏置：

281

对于（B、D、G、H、I、N）PAL：$F_{SC}=[(1135/4)+(1/625)]F_H$

对于（M）PAL：$F_{SC}=(909/4)F_H$

对于（N_C）PAL：$F_{SC}=[(917/4)+(1/625)]F_H$

在625行扫描标准下，PAL副载波频率还附加了一个（1/625）F_H（等于25Hz）因子，增加彩色点模式，减小可视度。图8-15描述了所生成的频谱交错图。重复一个具体的样本位置需要8个完整的场，如图8-16和图8-17所示。

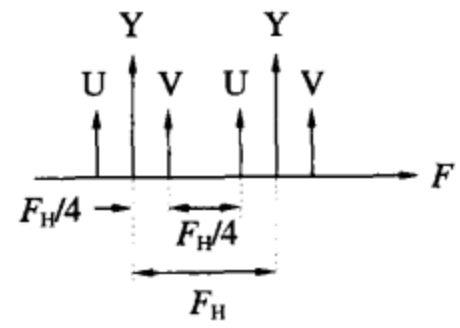


图8-15 亮度和色度频谱交错原理

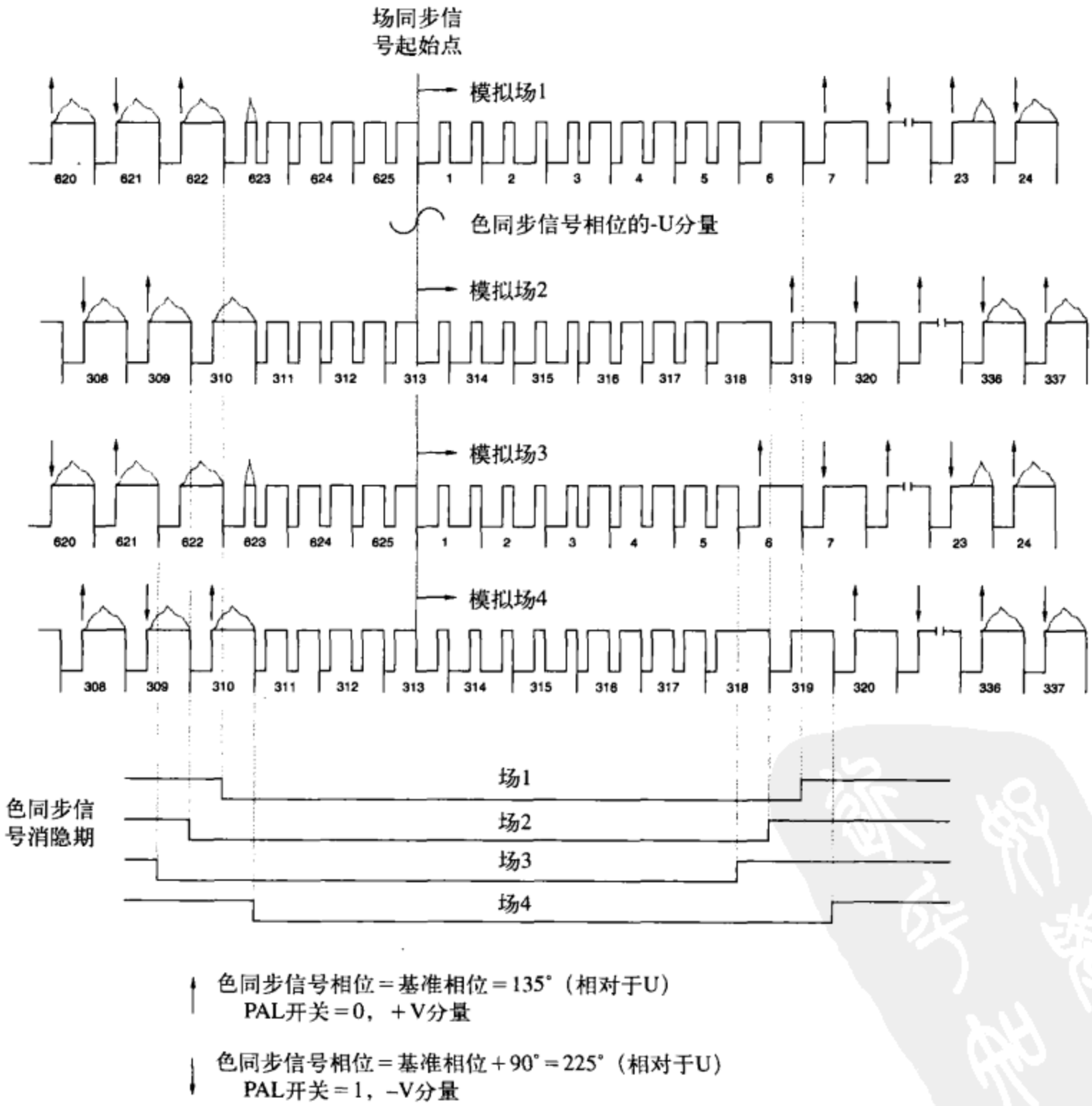
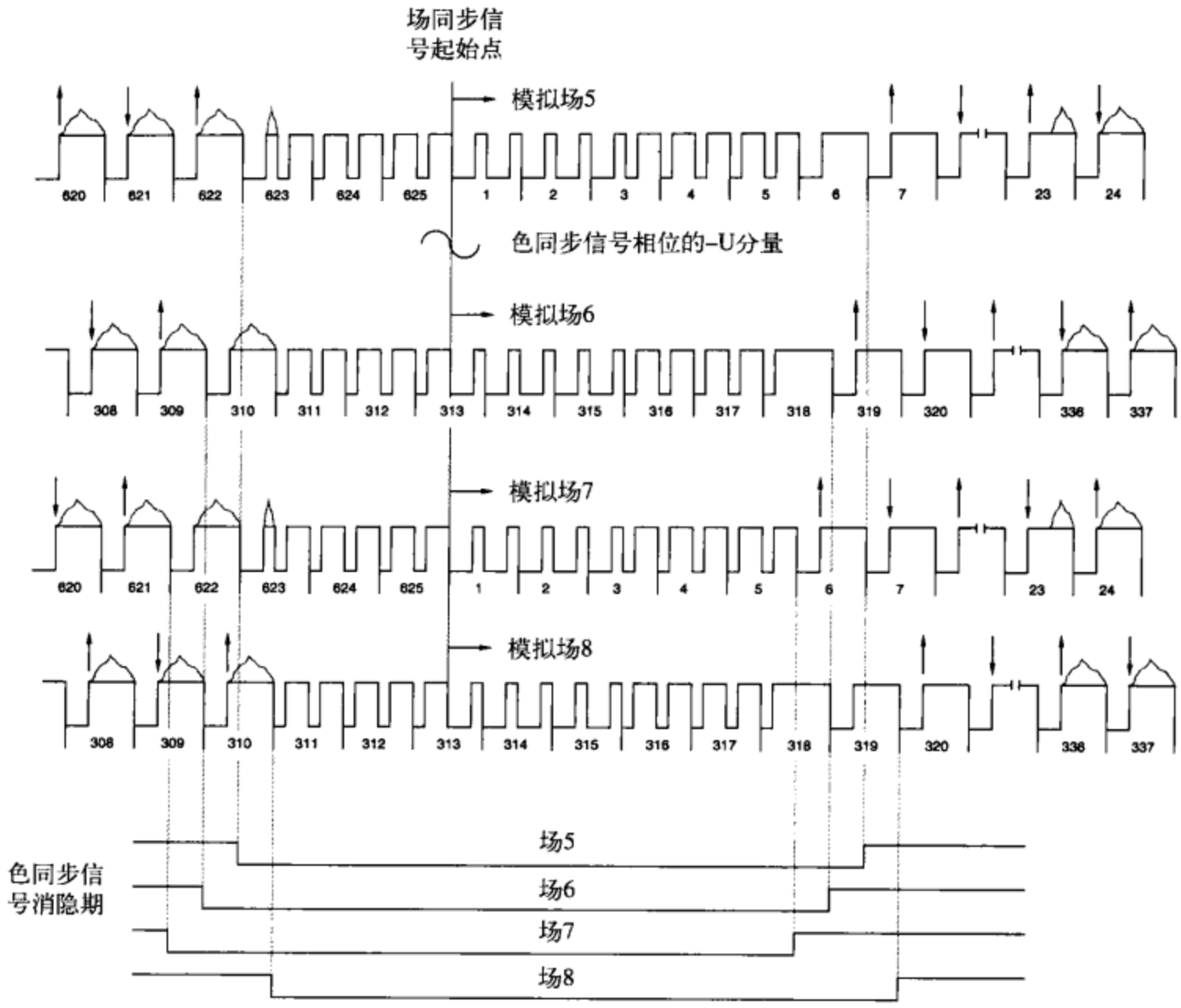


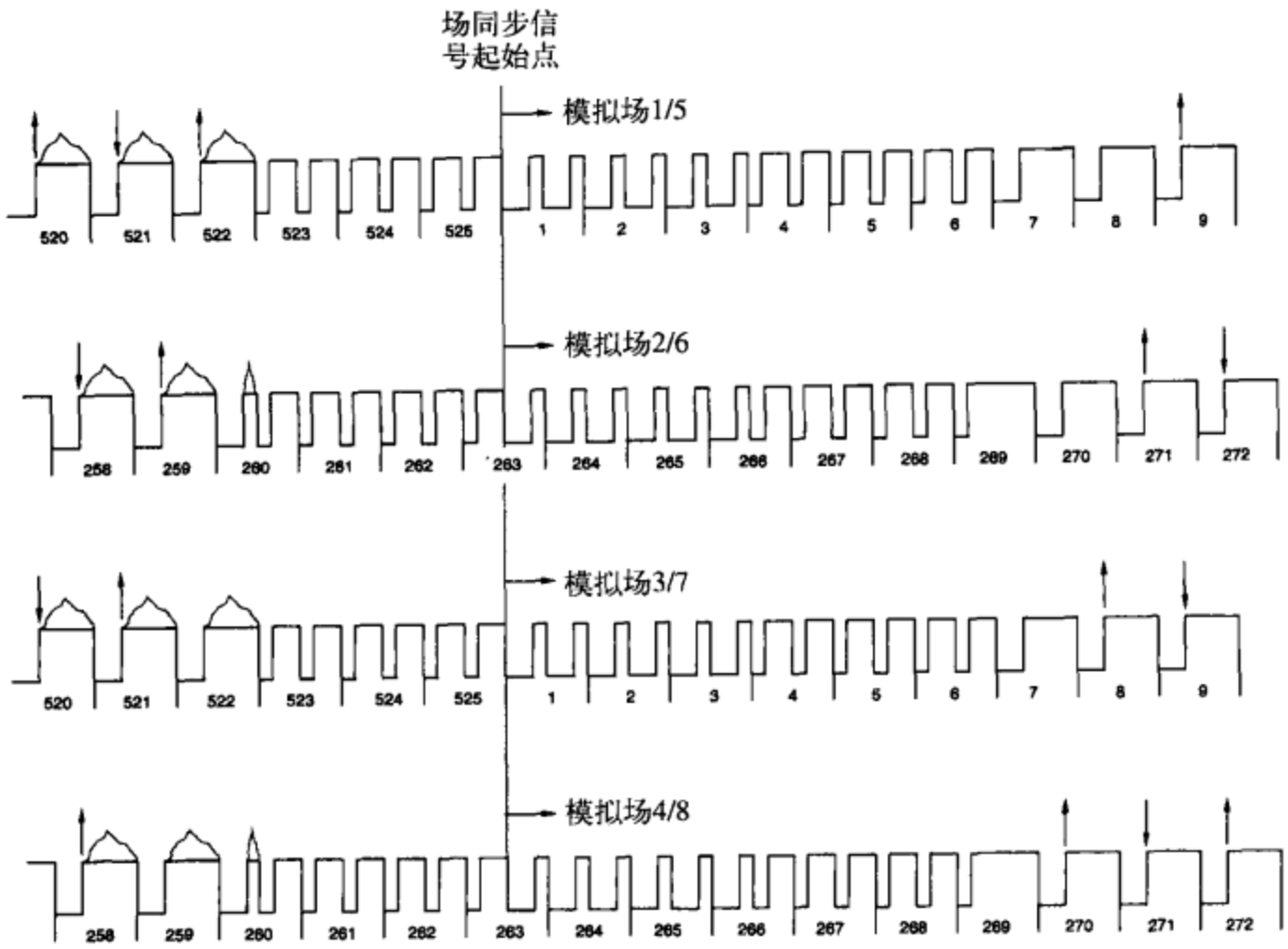
图8-16 8场（B、D、G、H、I、N_C）PAL场序和色同步信号消隐。均衡和齿脉冲的细节请参见图8-5



↑ 色同步信号相位＝基准相位＝135°（相对于U）
PAL开关＝0，＋V分量

↓ 色同步信号相位＝基准相位＋90°＝225°（相对于U）
PAL开关＝1，–V分量

图8-16　（续）



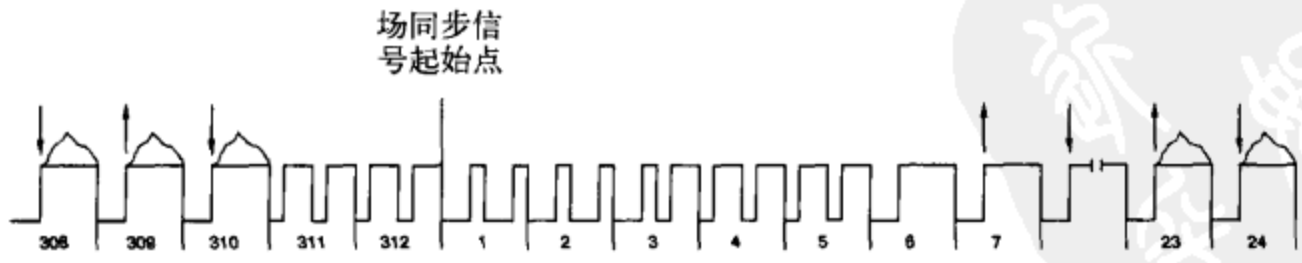
↑ 色同步信号相位＝基准相位＝135°（相对于U）
PAL开关＝0，＋V分量

↓ 色同步信号相位＝基准相位＋90°＝225°（相对于U）
PAL开关＝1，－V分量

图8-17 8场（M）PAL场序和色同步信号消隐。均衡和齿脉冲的细节请参见图8-5

8.2.5 PAL标准

图8-19示范了几种常用的PAL制式表示方法。各个字母分别代表各种行频场频、视频带宽（4.2MHz、5.0MHz、5.5MHz或6.0MHz）、音频载波相对频率和RF频道带宽（6.0MHz、7.0MHz或8.0MHz）的黑白电视标准。PAL指的是向黑白电视信号添加彩色信息的技术。详细的时序参数位于表8-9中。



↑ 色同步信号相位＝基准相位＝135°（相对于U）
PAL开关＝0，＋V分量

↓ 色同步信号相位＝基准相位＋90°＝225°（相对于U）
PAL开关＝1，－V分量

图8-18 逐行PAL帧序

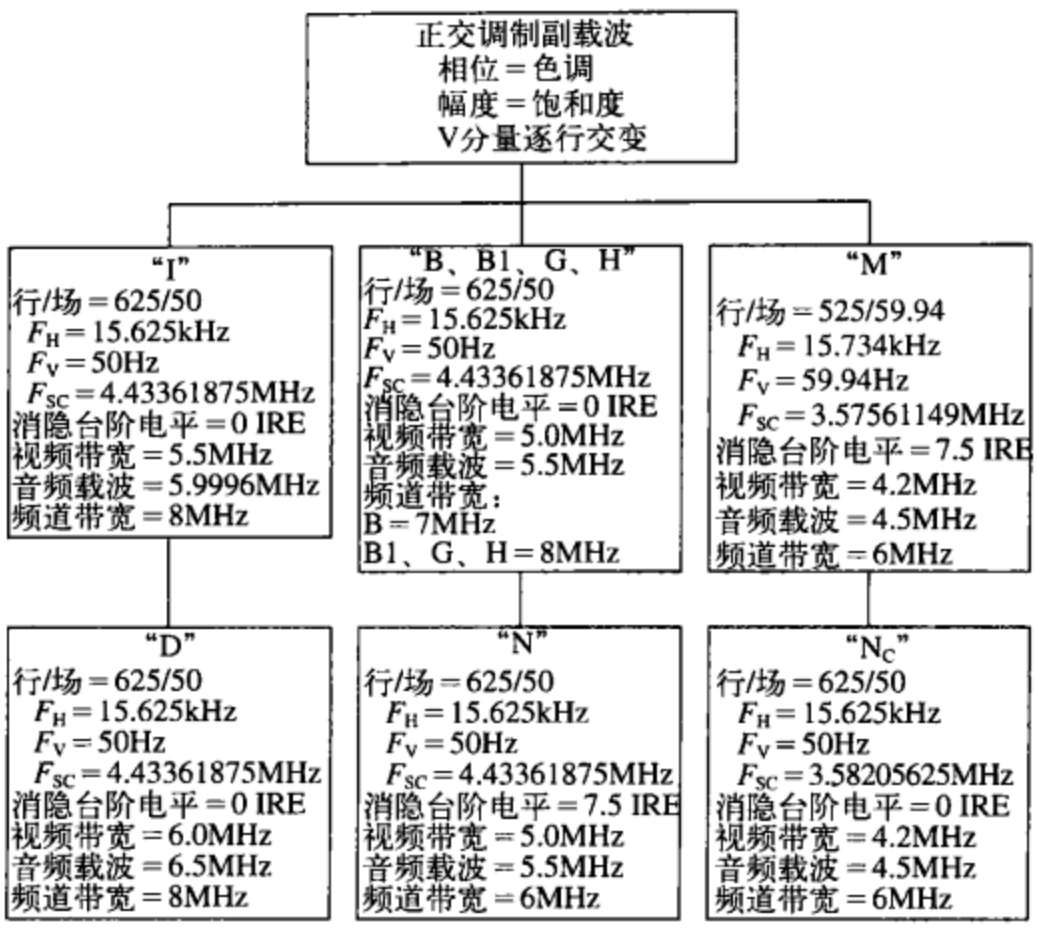


图8-19　常见PAL制式

逐行PAL制式如图8-18所示，是一种312行、50帧/秒的PAL制式，通常应用在视频游戏和银幕显示中。除了每帧只有312行之外，该格式与标准PAL制式相同。

8.2.6　RF调制

图8-20和图8-21描述了基带（G）PAL复合视频向RF（Radio Frequency，射频）信号的转换过程。基本上除了在视频带宽和副载波频率上有所不同外，其他PAL标准的转换过程与该过程相似。

图8-20a示范了一个（G）PAL基带复合视频信号的频谱。它与图8-14相似。但是，图8-14出于简化性，只示范了上边带。0MHz位置处的"视频载波"记号只是作为一个和图8-20 b 进行比较的基准点。

图8-20b示范了位于一个8MHz通道内的音频/视频信号。视频信号通过低通滤波，滤去大多数下边带，再加入音频信息。注意（H）和（I）PAL拥有一个1.25MHz的残留边带，而不是0.75MHz。

图8-20c详细描述了模拟立体声运算的音频副载波携带的信息。

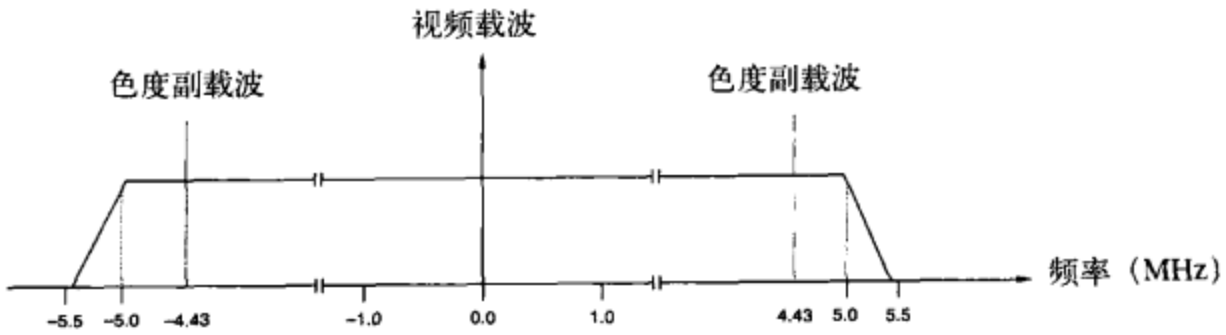
如图8-21所示，模拟视频信号的后肩钳位保证了后肩电平值为常数，而与平均图像电平的变化无关。视频信号然后通过5.0MHz的低通滤波器滤波，随后驱动AM（Amplitude Modulation，幅度调制）视频调制器。同步电平对应于100%调制，根据PAL格式的不同，消隐电平和白色电平对应的调制有所不同：

消隐电平（%调制）

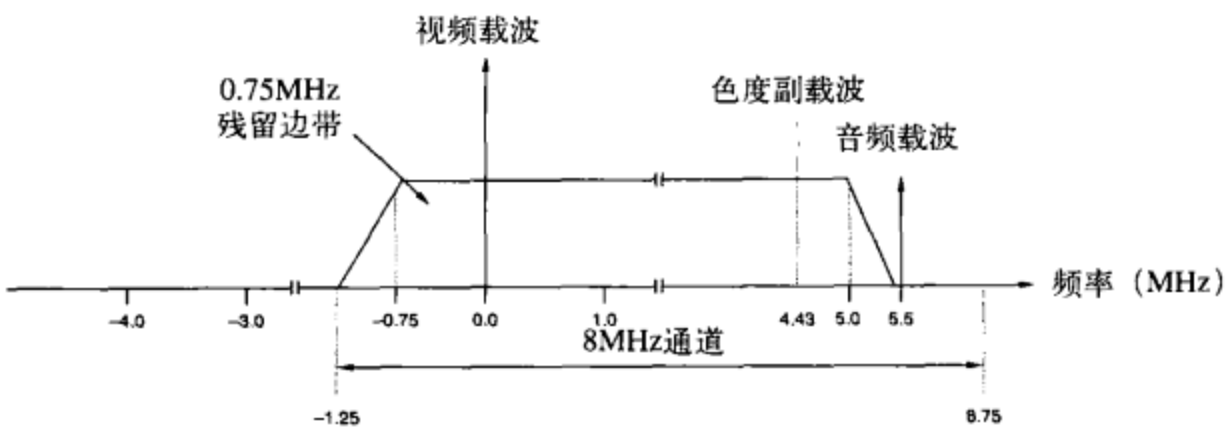
B、G	75%
D、H、M、N	75%
I	76%

白色电平（%调制）

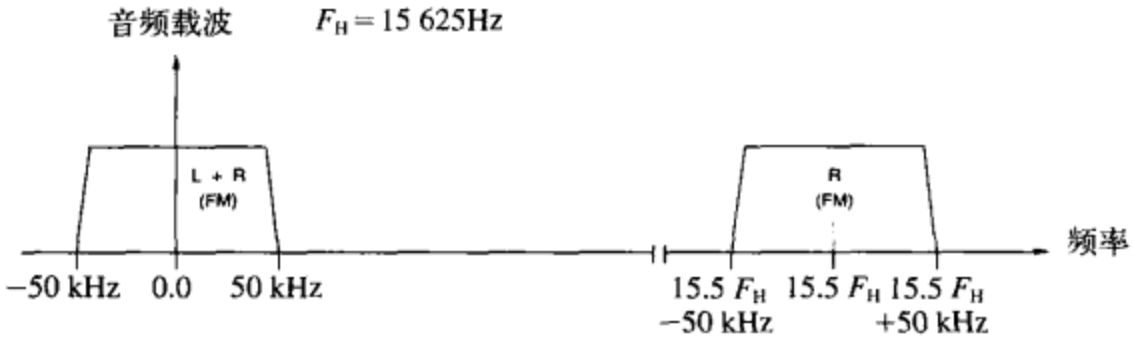
B、G、H、M、N	10%
D	10%
I	20%



（a）基带复合视频的频谱



（b）包含音频信息的典型通道的频谱



（c）Zweiton模拟立体声音频信息的详细频谱

图8-20 （G）PAL制式传输通道

282
~
286

注意PAL制式使用一组不同的视频和音频IF频率（单位为MHz）：

	视频	音频	
B、G	38.900	33.400	澳大利亚
B	36.875	31.375	中国
D	37.000	30.500	OIRT
D	38.900	32.400	
I	38.900	32.900	英国
I	39.500	33.500	
M、N	45.750	41.250	

在这点上，音频信息叠加到音频副载波上。如图8-21所示，单声道L＋R音频信号被处理后去驱动FM（Frequency Modulation，频率调制）调制器。然后将FM调制器的输出叠加到IF视频信号中。

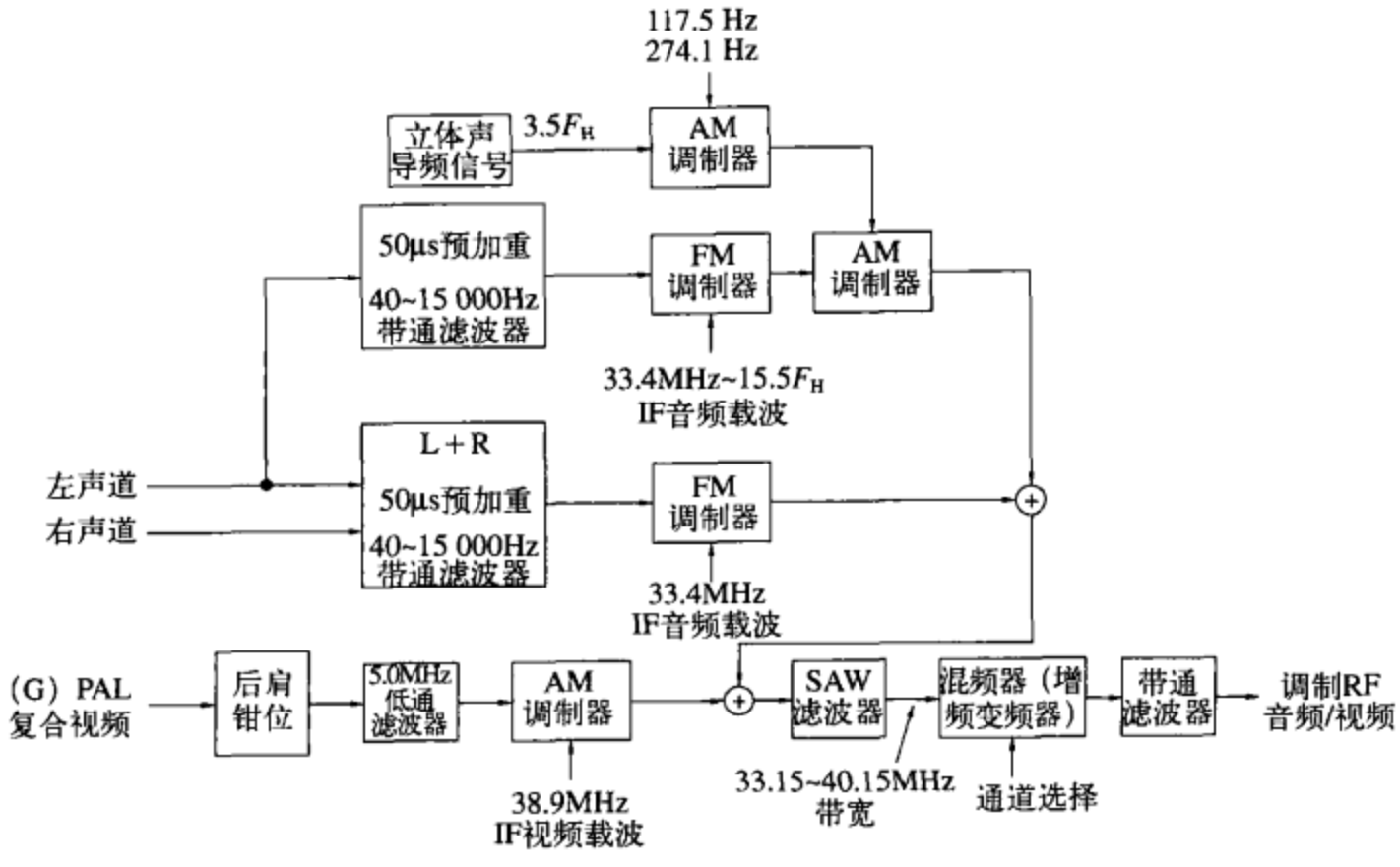


图8-21　(G) PAL的典型RF调制实现：Zweiton立体声音频

作为残留边带滤波器，SAW滤波器滤波IF信号。混频器（或者增频变频器），将IF信号和期望的广播频率混合起来。混频过程中将产生和频与差频，因此使用一个带通滤波器将差频信号抽取出来。

1. 立体声音频（模拟）

图8-21示范了模拟立体声音频的标准（ITU-R BS.707），该标准也称为Zweiton或者A2。L+R信息通过FM副载波传送。R信息，或者辅助L+R音频信号，也是通过FM传送，但它的副载波为+15.5F_H。

若立体声或双路单声道信号存在，那么频率为+15.5F_H的FM副载波要经过54.6875kHz（3.5F_H）的副载波的幅度调制。这一54.6875kHz的副载波或者在117.5Hz（F_H/133）处使用50%幅度调制表示立体声音频，或者在274.1Hz（F_H/57）处使用50%幅度调制表示双路单声道音频。

使用这种制式的国家包括澳大利亚、奥地利、中国、德国、意大利、马来西亚、荷兰、斯洛文尼亚和瑞士。

287～289

2. 立体声音频（数字）

数字立体声音频使用NICAM 728（Near Instantaneous Companded Audio Multiplex，准瞬时压扩音频复用）标准，在BS.707和ETSI EN 300 163中讨论。该标准由BBC和IBA共同开发，以提高伴音质量，提供多个数字伴音或者数据通道，降低传输串扰。

音频副载波或者位于视频载波上面5.85MHz处[对于（B、D、G、H）PAL和（L）SECAM制式]，或者位于视频载波上面6.552MHz处[对于（I）PAL制式]。

使用NICAM 728的国家包括比利时、中国、丹麦、芬兰、法国、匈牙利、新西兰、挪威、新加坡、韩国、西班牙、瑞典和英国。

NICAM 728是一种使用32kHz采样频率和14bit解析度的数字制式。它使用的是728 kbit/s的速率，所以命名为NICAM 728。NICAM 728数据以帧传输，每帧包含1ms音频。如图8-22所示，每个帧包括：

- 8bit帧同步字（01001110）
- 5bit控制信息码（C0~C4）
- 11bit未定义数据（AD0~AD10）
- 704bit音频数据（A000~A703）

帧同步字	控制信息位	附加数据位	704 bit音频数据
0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0,	C0, C1, C2, C3, C4,	AD0, AD1, AD2, AD3, AD4, AD5, AD6, AD7, AD8, AD9, AD10,	A000, A044, A088, …A660, A001, A045, A089, …A661, A002, A046, A090, …A662, A003, A047, A091, …A663, ⋮ A043, A087, A131, …A703

图8-22 NICAM 728每帧中的比特流

对于前8个连续帧，C0是1，对于后8个连续帧，C0是0，定义了一个有16帧的帧序列。C1~C3指定所传送音频的格式：000表示一路单立体声信号，左通道样本编号为奇数，右通道样本编号为偶数；010表示以交变帧传送两路独立的单声道音频；100表示以交变帧传送一路单声道通道和一路352kbit/s的数据通道；110表示一路704kbit/s的数据通道。如果模拟伴音和数字伴音相同，C4是1。

290 ~ 292

- *立体声音频编码*

每个通道上的32个14bit样本（1ms音频、以2的补码进行编码）根据ITU-T J.17曲线进行预加重处理。

32个样本中的最大正或者负样本用来确定要传送全部32个样本所使用的10位。每个通道上的3个幅度位（range bit）（$R0_L$、$R1_L$、$R2_L$和$R0_R$、$R1_R$、$R2_R$）用来指定压缩系数。D13是符号位（0表示正）。

D13~D0	R2~R0	使用位
01xxxxxxxxxxxx	111	D13, D12~D4
001xxxxxxxxxxx	110	D13, D11~D3
0001xxxxxxxxxx	101	D13, D10~D2
00001xxxxxxxxx	011	D13, D9~D1
000001xxxxxxxx	101	D13, D8~D0
0000001xxxxxxx	010	D13, D8~D0
0000000xxxxxxx	00x	D13, D8~D0
1111111xxxxxxx	00x	D13, D8~D0
1111110xxxxxxx	010	D13, D8~D0
111110xxxxxxxx	100	D13, D8~D0
11110xxxxxxxxx	011	D13, D9~D1
1110xxxxxxxxxx	101	D13, D10~D2
110xxxxxxxxxxx	110	D13, D11~D3
10xxxxxxxxxxxx	111	D13, D12~D4

每个样本的6个MSB添加一个奇偶校验位，从而每个样本有11 bit。64个样本相互交织，生成的结果就是L0、R0、L1、R1、L2、R2、…、L31、R31，编号为0~63。

奇偶校验位用来向解码器传递每个通道使用的压缩系数［“奇偶校验信令（signalling-in-parity)”］。

如果$R2_L=0$，使用样本0、6、12、18、…、48的偶校验。如果$R2_L=1$，使用奇校验。

如果$R2_R=0$，使用样本1、7、13、19、…、49的偶校验。如果$R2_R=1$，使用奇校验。

如果$R1_L=0$，使用样本2、8、14、20、…、50的偶校验。如果$R1_L=1$，使用奇校验。

如果$R1_R=0$，使用样本3、9、15、21、…、51的偶校验。如果$R1_R=1$，使用奇校验。

如果$R0_L=0$，使用样本4、10、16、22、…、52的偶校验。如果$R0_L=1$，使用奇校验。

如果$R0_R=0$，使用样本5、11、17、23、…、53的偶校验。如果$R0_R=1$，使用奇校验。

样本54~63的奇偶校验通常采用偶校验。但是，可以修改它们，从而可以传输两个额外的信息位：

293

如果CIB0=0，使用样本54、55、56、57和58的偶校验。如果CIB0=1，使用奇校验。

如果CIB1=0，使用样本59、60、61、62和63的偶校验。如果CIB1=1，使用奇校验。

音频数据进行了位交织处理，如图8-22所示，以减少传输过程中突发误码的影响。如果各个位按0~703编号，那么它们按照0、44、88、…、660、1、45、89、…、661、2、46、90、…、703顺序传送。

除了帧同步字外，整个帧和一个1bit的伪随机二进制序列（Pseudo-Random Binary Sequence，PRBS）进行异或运算。PRBS发生器在每个帧的帧同步字之后重新被初始化，从而伪随机二进制序列的第一个位处理的是C0位。PRBS的生成多项式为x^9+x^4+1，初始值为111111111。

实际传输过程包括将728kbit/s比特流形成比特对，然后使用差分正交相移键控（Differential Quadrature Phase-Shift Keying，DQPSK）每秒生成356k符号。如果符号是00，那么副载波相位保持不变。如果符号是01，那么副载波相位延迟90°。如果符号是11，那么副载波相位倒相。如果符号是10，那么副载波相位超前90°。

最后，符号进行频谱成形，形成一个－30dB的约700kHz[（I）PAL制式]或者约500kHz［（B、G）PAL制式］带宽。

❑ 立体声音频解码

PLL加锁NICAM副载波频率，恢复表示编码符号的相位变化。解码的符号生成728kbit/s的比特流。

接着查找帧同步字，对剩余的位和一个本地生成的PRBS进行异或，恢复包。然后为前8帧和后8帧测试C0位，验证是不是NICAM 728比特流。

接下来对位交织处理的音频数据进行去位交织，解出“奇偶校验信令”：

大多数表决发生在样本0、6、12、…、48的奇偶校验上。如果是偶校验，$R2_L=0$；如果是奇校验，$R2_L=1$。

大多数表决发生在样本1、7、13、…、49的奇偶校验上。如果是偶校验，$R2_R=0$；如果是奇校验，$R2_R=1$。

大多数表决发生在样本2、8、14、…、50的奇偶校验上。如果是偶校验，$R1_L=0$；如果是奇校验，$R1_L=1$。

大多数表决发生在样本3、9、15、…、51的奇偶校验上。如果是偶校验，$R1_R=0$；如果是奇校验，$R1_R=1$。

大多数表决发生在样本4、10、16、…、52的奇偶校验上。如果是偶校验，$R0_L=0$；如果是奇校验，$R0_L=1$。

294

大多数表决发生在样本5、11、17、…、53的奇偶校验上。如果是偶校验，$R0_R=0$；如果是奇校验，$R0_R=1$。

大多数表决发生在样本54、55、56、57和58的奇偶校验上。如果是偶校验，CIB0=0；如果是奇校验，CIB0=1。

大多数表决发生在样本59、60、61、62和63的奇偶校验上。如果是偶校验，CIB1=0；如果

是奇校验，CIB1＝1。

任何奇偶校验与表决不符的样本都将忽略，替换为一个内插值。

左通道使用幅度位$R2_L$、$R1_L$和$R0_L$确定在编码过程中丢弃哪些位于符号位之下的位。将符号位复制到这些位置上生成一个14 bit的样本。

右通道处理过程相似，使用幅度位$R2_R$、$R1_R$和$R0_R$。然后使用J.17曲线对两个通道进行去加重（de-emphasize）处理。

❑ 双路单声道音频编码

两个32个14bit样本（2ms音频，以2的补码进行编码）的块根据ITU-T J.17规范进行预加重处理。和立体声音频一样，每个块有3个幅度位（$R0_A$、$R1_A$、$R2_A$和$R0_B$、$R1_B$、$R2_B$），用来表示压缩系数。与立体声音频不同，样本没有进行交织处理。

如果$R2_A$＝0，使用样本0、3、6、9、…、24的偶校验。如果$R2_A$＝1，使用奇校验。

如果$R2_B$＝0，使用样本27、30、33、…、51的偶校验。如果$R2_B$＝1，使用奇校验。

如果$R1_A$＝0，使用样本1、4、7、10、…、25的偶校验。如果$R1_A$＝1，使用奇校验。

如果$R1_B$＝0，使用样本28、31、34、…、52的偶校验。如果$R1_B$＝1，使用奇校验。

如果$R0_A$＝0，使用样本2、5、8、11、…、26的偶校验。如果$R0_A$＝1，使用奇校验。

如果$R0_B$＝0，使用样本29、32、35、…、53的偶校验。如果$R0_B$＝1，使用奇校验。

音频数据进行了位交织处理；但是，奇数包包含音频通道1的64个样本，而偶数包包含音频通道2的64个样本。其他处理过程与立体声音频的处理过程相同。

8.2.7 模拟频道分配

表8-5至表8-7列举了各种PAL制式的VHF、UHF及有线的频道分配情况。

表8-5 各个国家（B、I）PAL制的模拟广播和有线电视标称频率

频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）	频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）
（B）PAL，澳大利亚，7MHz频道				（B）PAL，意大利，7MHz频道			
0	46.25	51.75	45~52	A	53.75	59.25	52.5~59.5
1	57.25	62.75	56~63	B	62.25	67.75	61~68
2	64.25	69.75	63~70	C	82.25	87.75	81~88
3	86.25	91.75	85~92	D	175.25	180.75	174~181
4	95.25	100.75	94~101	E	183.75	189.25	182.5~189.5
5	102.25	107.75	101~108	F	192.25	197.75	191~198
5A	138.25	143.75	137~144	G	201.25	206.75	200~207
6	175.25	180.75	174~181	H	210.25	215.75	209~216
7	182.25	187.75	181~188	H-1	217.25	222.75	216~223
8	189.25	194.75	188~195	H-2	224.25	229.75	223~230
9	196.25	201.75	195~202	–	–	–	–
10	209.25	214.75	208~215	–	–	–	–
11	216.25	221.75	215~222	–	–	–	–
12	223.25			–	–	–	–
（I）PAL，爱尔兰，8MHz频道				（B）PAL，新西兰，7MHz频道			
1	45.75	51.75	44.5~52.5	1	45.25	50.75	44~51
2	53.75	59.75	52.5~60.5	2	55.25	60.75	54~61

（续）

频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）	频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）
（I）PAL，爱尔兰，8MHz频道				（B）PAL，新西兰，7MHz频道			
3	61.75	67.75	60.5~68.5	3	62.25	67.75	61~68
4	175.25	181.25	174~182	4	175.25	180.75	174~181
5	183.25	189.25	182~190	5	182.25	187.75	181~188
6	191.25	197.25	190~198	6	189.25	194.75	188~195
7	199.25	205.25	198~206	7	196.25	201.75	195~202
8	207.25	213.25	206~214	8	203.25	208.75	202~209
9	215.25	221.25	214~222	9	210.25	215.75	209~216

表8-6　[1]英国、[1]爱尔兰、[1]韩国、[1]香港和[2]西欧的模拟广播标称频率

广播频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）		频道范围（MHz）
		（G、H）PAL	（I）PAL	
2[1]	45.75	51.25	51.75	44.5~52.5
3[1]	53.75	59.25	59.75	52.5~60.5
4[1]	61.75	67.25	67.75	60.5~68.5
5[1]	175.25	180.75	181.25	174~182
6[1]	183.25	188.75	189.25	182~190
7[1]	191.25	196.75	197.25	190~198
8[1]	199.25	204.75	205.25	198~206
9[1]	207.25	212.75	213.25	206~214
10[1]	215.25	220.75	221.25	214~222
2[2]	48.25	53.75	–	47~54
3[2]	55.25	60.75	–	54~61
4[2]	62.25	67.75	–	61~68
5[2]	175.25	180.75	–	174~181
6[2]	182.25	187.75	–	181~188
7[2]	189.25	194.75	–	188~195
8[2]	196.25	201.75	–	195~202
9[2]	203.25	208.75	–	202~209
10[2]	210.25	215.75	–	209~216
11[2]	217.25	222.75	–	216~223
12[2]	224.25	229.75	–	223~230
21	471.25	476.75	477.25	470~478
22	479.25	484.75	485.25	478~486
23	487.25	492.75	493.25	486~494
24	495.25	500.75	501.25	494~502
25	503.25	508.75	509.25	502~510
26	511.25	516.75	517.25	510~518
27	519.25	524.75	525.25	518~526
28	527.25	532.75	533.25	526~534
29	535.25	540.75	541.25	534~542
30	543.25	548.75	549.25	542~550
31	551.25	556.75	557.25	550~558

（续）

广播频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）		频道范围（MHz）
		（G、H）PAL	（I）PAL	
32	559.25	564.75	565.25	558~566
33	567.25	572.75	573.25	566~574
34	575.25	580.75	581.25	574~582
35	583.25	588.75	589.25	582~590
36	591.25	596.75	597.25	590~598
37	599.25	604.75	605.25	598~606
38	607.25	612.75	613.25	606~614
39	615.25	620.75	621.25	614~622
40	623.25	628.75	629.25	622~630
41	631.25	636.75	637.25	630~638
42	639.25	644.75	645.25	638~646
43	647.25	652.75	653.25	646~654
44	655.25	660.75	661.25	654~662
45	663.25	668.75	669.25	662~670
46	671.25	676.75	677.25	670~678
47	679.25	684.75	685.25	678~686
48	687.25	692.75	693.25	686~694
49	695.25	700.75	701.25	694~702
50	703.25	708.75	709.25	702~710
51	711.25	716.75	717.25	710~718
52	719.25	724.75	725.25	718~726
53	727.25	732.75	733.25	726~734
54	735.25	740.75	741.25	734~742
55	743.25	748.75	749.25	742~750
56	751.25	756.75	757.25	750~758
57	759.25	764.75	765.25	758~766
58	767.25	772.75	773.25	766~774
59	775.25	780.75	781.25	774~782
60	783.25	788.75	789.25	782~790
61	791.25	796.75	797.25	790~798
62	799.25	804.75	805.25	798~806
63	807.25	812.75	813.25	806~814
64	815.25	820.75	821.25	814~822
65	823.25	828.75	829.25	822~830
66	831.25	836.75	837.25	830~838
67	839.25	844.75	845.25	838~846
68	847.25	852.75	853.25	846~854
69	855.25	860.75	861.25	854~862

表8-7 英国、爱尔兰、韩国、香港和西欧的模拟有线电视标称频率

有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）	有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）
E2	48.25	53.75	47~54	S01	69.25	74.75	68~75
E3	55.25	60.75	54~61	S02	76.25	81.75	75~82
E4	62.25	67.75	61~68	S03	83.25	88.75	82~89

（续）

有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）	有线频道	视频载波（MHz）	音频载波（MHz）	频道范围（MHz）
S11	231.25	236.75	230~237	S14	252.25	257.75	251~258
S12	238.25	243.75	237~244	S15	259.25	264.75	258~265
S13	245.25	250.75	244~251	S16	266.25	271.75	265~272
S1	105.25	110.75	104~111	S17	273.25	278.75	272~279
S2	112.25	117.75	111~118	S18	280.25	285.75	279~286
S3	119.25	124.75	118~125	S19	287.25	292.75	286~293
S4	126.25	131.75	125~132	S20	294.25	299.75	293~300
S5	133.25	138.75	132~139	S21	303.25	308.75	302~310
S6	140.75	145.75	139~146	S22	311.25	316.75	310~318
S7	147.75	152.75	146~153	S23	319.25	324.75	318~326
S8	154.75	159.75	153~160	S24	327.25	332.75	326~334
S9	161.25	166.75	160~167	S25	335.25	340.75	334~342
S10	168.25	173.75	167~174	S26	343.25	348.75	342~350
–	–	–	–	S27	351.25	356.75	350~358
–	–	–	–	S28	359.25	364.75	358~366
–	–	–	–	S29	367.25	372.75	366~374
E5	175.25	180.75	174~181	S30	375.25	380.75	374~382
E6	182.25	187.75	181~188	S31	383.25	388.75	382~390
E7	189.25	194.75	188~195	S32	391.25	396.75	390~398
E8	196.25	201.75	195~202	S33	399.25	404.75	398~406
E9	203.25	208.75	202~209	S34	407.25	412.75	406~414
E10	210.25	215.75	209~216	S35	415.25	420.75	414~422
E11	217.25	222.75	216~223	S36	423.25	428.75	422~430
E12	224.25	229.75	223~230	S37	431.25	436.75	430~438
–	–	–	–	S38	439.25	444.75	438~446
–	–	–	–	S39	447.25	452.75	446~454
–	–	–	–	S40	455.25	460.75	454~462
–	–	–	–	S41	463.25	468.75	462~470

注意有线电视系统按惯例重新分配了频道号，以交变频率，从而将干扰最小化并提供多种级别的节目（例如两种版本的收费电影频道：其中一个针对订户，另一个针对预演阶段的非订户）。

8.2.8　亮度方程推导

由RGB信息生成亮度的方程由接收机所使用的三基色色度和真正的白光源决定。

RGB三基色色度和基准白光（CIE照明D_{65}）为：

R：$x_r=0.64$　　$y_r=0.33$　　$z_r=0.03$

G：$x_g=0.29$　　$y_g=0.60$　　$z_g=0.11$

B：$x_b=0.15$　　$y_b=0.06$　　$z_b=0.79$

295　白色：$x_w=0.3127$　　$y_w=0.3290$　　$z_w=0.3583$

其中x和y由CIE 1931色度坐标指定；而z由$x+y+z=1$计算。

和NTSC一样，将已知数据代入上式，求解出K_r、K_g和K_b：

$$\begin{bmatrix} K_r \\ K_g \\ K_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3127/0.3290 \\ 1 \\ 0.3583/0.3290 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.64 & 0.29 & 0.15 \\ 0.33 & 0.60 & 0.06 \\ 0.03 & 0.11 & 0.79 \end{bmatrix}^{-1}$$
$$= \begin{bmatrix} 0.674 \\ 1.177 \\ 1.190 \end{bmatrix}$$

Y定义为：

$$\begin{aligned} Y &= (K_r y_r)R' + (K_g y_g)G' + (K_b y_b)B' \\ &= (0.674)(0.33)R' + (1.177)(0.60)G' \\ &\quad + (1.190)(0.06)B' \end{aligned}$$

或者：

$$Y = 0.222R' + 0.706G' + 0.071B'$$

但是，仍然可以使用标准的$Y = 0.299R' + 0.587G' + 0.114B'$方程式。为了减少色彩误差，需要对接收机进行调整。

8.2.9 PALplus

PALplus（ITU-R BT.1197和ETSI ETS 300 731）是一个从1990年开始的协作项目的成果，该项目由几个欧洲广播商承担。在1995年时，他们希望提供一种与现有接收机兼容的增强清晰度电视（Enhanced Definition Television，EDTV）。从1994年开始，就有少数几个广播商开始传送PALplus。

PALplus图像是16：9宽高比的画面。在传统电视机上，它显示为一个拥有430有效行的16：9的Letterbox图像。在PALplus电视机上，它显示为一个拥有574有效行的16：9的图像，而且垂直解析度还得到增强。亮度信息可以使用完整的视频带宽。串色干扰可以通过干净编码（clean encoding）得以减少。

1. 宽屏信令

第23行包含一个宽屏信令（Wide Screen Signaling，WSS）控制信号，该信令由ITU-R BT.1119和ETSI EN 300 294定义，由PALplus电视机使用。该信令含义如下。

节目宽高比：

- 完全模式4：3
- Letterbox模式14：9居中
- Letterbox模式14：9置顶
- 完全模式14：9居中
- Letterbox模式16：9居中
- Letterbox模式16：9置顶
- 完全模式16：9变形
- Letterbox模式>16：9居中

增强服务：

- 摄像机模式
- 影片模式

字幕：

- 图文电视字幕（Teletext Subtitle）呈现
- 开放字幕（Open Subtitle）呈现

PALplus方式定义为16：9 Letterbox居中模式、摄像机模式或者影片模式，通过调制提供辅助信号并使用干净编码技术。图文电视字幕可以呈现，也可以不呈现，而开放字幕只能在有效图像区域内呈现。

在PALplus信号传输过程中，在编码之前，任何位于第23行和第623行上的有效视频都将被清除。除WSS数据之外，第23行还包含48±1周期的300±9mV副载波和−U相位，从0_H之后的51μs±250ns开始。第623行包含一个10μs±250ns的白色脉冲，从0_H之后的20μs±250ns开始。

296～300

PALplus电视机可以对影片模式信号去进行隔行处理并在一个50Hz逐行扫描显示器上显示，也可以使用场重复方法在一个100Hz的隔行显示器上显示。

2. 重影消除

第318行上还有一个可选的重影消除（ghost cancellation）信号，该信号由ITU-R BT.1124和ETSI ETS 300 732定义，允许支持这一功能的电视机测量重影信号，消除有效视频中的重影。PALplus电视机可以支持也可以不支持这一功能。

3. 垂直滤波

所有的PALplus源最初都是一个16：9的YCbCr变形图像（anamorphic image），该图像占用全部576个有效扫描行。第23行和第623行上的所有有效视频在编码之前都将被清除（因为这些行用于WSS和参考信息），从而使每帧的有效行只有574行。第24~310行和第336~622行用于有效视频。

在传输之前，16：9图像的574行有效扫描行压缩到430行扫描行中。为了避免图像的混叠问题，垂直解析度通过低通滤波降低。

对于Y信号而言，通过使用正交镜像滤波器（Quadrature Mirror Filter，QMF）高通和低通滤波对实现垂直滤波。通过应用QMF处理过程，可以对高通和低通滤波信息重新采样、传送，然后以最小的损耗重组。

Y信号的QMF低通滤波输出重新采样为原始高度的3/4；混叠问题对信息所造成的损失极少。在干净编码之后，它就成为传统4：3电视机显示的Letterbox模式信号。

Y信号的QMF高通滤波输出包含原始场频的其余部分。它用来生成没有被Letterbox模式图像使用的黑场扫描行传送的辅助信号。

❑ 影片模式

影片模式广播拥有来源于同一个图像的帧的两个场，就像在电视电影上显示电影一样。

在影片模式中，每帧的最大垂直解析度为每个有效图像高度287周期（cycle per active picture height，cph），受每帧有效扫描行574行限制。

Y信号的垂直解析度降低为215cph，从而只需使用430行有效扫描行就可以进行传送。QMF低通和高通滤波器将Y信号垂直信息分隔成DC-215cph和216-287cph分量。

Y信号低通信息被重新扫描成430行，变成Letterbox模式图像。因为场频受最大215cph限制，所以没有信息丢失。

Y信号高通输出的行数骤减，因此4行中只用传送1行。这144行用来传送辅助信号。因为QMF处理，所以在行数骤减情况下没有信息丢失。

Letterbox模式图像中间有430行，上面和下面各有72行用来传送144行辅助信号。这样就生成一个标准的574行有效扫描行图像，原始图像以正确的宽高比显示，并且位于辅助信号的中间。包含300mV辅助信号的扫描行使用U副载波调制，因此它们看上去是黑色的，对观众不可见。

301

在固定ColorPlus处理过程之后，574行扫描行经过PAL编码，作为标准的隔行PAL帧传送。

❑ 摄像机模式

摄像机（或者视频）模式假定帧的各个场之间相互独立，就像摄像机拍摄一个运动中的场景

一样。因此，图像在场之间可能有变化。摄像机模式只进行场内的处理。

在摄像机模式中，每场的最大垂直解析度大约是每个有效图像高度143周期（cph），它受每场有效扫描行287行的限制。

Y信号的垂直解析度降低为107cph，从而只需使用215行有效行就可以进行传送。QMF低通和高通滤波器对将Y信号垂直信息分隔成DC-107cph和108-143cph分量。

Y信号低通信息被重新扫描成215行，变成Letterbox模式图像。因为场频受最大107cph限制，所以没有信息丢失。

Y信号高通输出的行数骤减，因此4行中只用传送1行。这72行用来传输辅助信号。因为QMF处理，所以在行数骤减情况下没有信息丢失。

Letterbox模式图像中间有215行，上面和下面各有36行用来传输72行辅助信号。这样就生成一个287行有效行图像，原始图像以正确的宽高比显示，并且位于辅助信号的中间。包含300mV辅助信号的扫描行使用U副载波调制，因此它们看上去是黑色的，对观众不可见。

在固定或者运动自适应ColorPlus处理之后，287行扫描行经过PAL编码，作为一个PAL场传送。

4. 干净编码

PALplus信号中只有Letterbox模式这一部分信号经过干净编码处理。辅助信号并不是实际的PAL视频。但是，它们太接近于视频信号，从而能够穿过传输路径，只是在标准电视机上仍然保持相对不可见。

5. ColorPlus处理

❑ 固定ColorPlus

影片模式使用固定ColorPlus技术，从而利用帧的两个场之间没有运动这种情况。

固定ColorPlus处理依赖于处于相反相位的复合PAL信号在分离312行时的副载波相位。如果这两行拥有相同的亮度和色度信息，就可以通过相互之间添加和抽取复合信号来分离。添加复合信号意味着取消色度信号，剩下亮度信号。抽取复合信号意味着取消亮度信号，剩下色度信号。

在实际中，位于3MHz之上的Y信息（Y_{HF}）是帧内平均的，因为它与调制色度共享频谱。对于行[n]而言，Y_{HF}的计算如下所示：

对于430行Letterbox模式图像：$0 \leqslant n \leqslant 214$

$$Y_{HF(60+n)} = 0.5[Y_{HF(372+n)} + Y_{HF(60+n)}]$$

$$Y_{HF(372+n)} = Y_{HF(60+n)}$$

接下来Y_{HF}添加到低频Y（Y_{LF}）信息上。Cb和Cr也采用相同的帧内平均过程。然后430行Letterbox模式图像进行PAL编码。

302

因此，3MHz以上的Y信息和CbCr信息，在行[n]和行[$n+312$]上是相同的。低于3MHz的Y信息在行[n]和行[$n+312$]上可能不同。为了辅助信号，解码器需要重建287cph的完整垂直解析度。

❑ 运动自适应ColorPlus（MACP）

摄像机模式根据场间的运动量，或者使用运动自适应ColorPlus，或者使用固定ColorPlus。这就要求编码器和解码器都提供运动检测器（motion detector）。

为了检测移动，需要比较行[n]和行[$n+312$]上的CbCr数据。如果它们匹配，那么假定没有运动，使用固定ColorPlus运算。如果CbCr数据不匹配，那么假定存在动动，使用运动自适应ColorPlus运算。

在运动自适应ColorPlus运算过程中，添加到Y_{LF}上的Y_{HF}量取决于$CbCr_{(n)}$和$CbCr_{(n+312)}$之间的差值。对于最大的CbCr差值，行[n]和行[$n+312$]上不传输Y_{HF}数据。

另外，帧内平均的CbCr数据量与直接CbCr数据的混合取决于CbCr(n)和$CbCr_{(n+312)}$之间的差值。

对于最大的CbCr差值，行[n]和行[$n+312$]上只传送直接的CbCr数据。

8.3 SECAM概述

SECAM（Sequentiel Couleur Avec Mémoire或者Sequential Color with Memory，按序传送彩色与存储）制式是法国开发的，于1967年开始广播。该制式采用这样的思想，即既然可以在水平方向上限制彩色的带宽，为什么不能在垂直方向上限制彩色的带宽？添加到黑白信号上的两部分彩色信息（Db和Dr）能够在正交的行上传送，从而避免可能的互串。

SECAM制式的接收机要求提供存储器，存储一行扫描行，和下一行扫描行一起使用，另外SECAM制式接收机还要求使用行转换识别技术。

和PAL制式一样，SECAM制式也是625行、50场/秒、2：1隔行制式。SECAM制式曾被法国以外的其他国家采用；但是，由于PAL制式专业和家用设备的丰富多样，许多国家开始转向了PAL制式。

8.3.1 亮度信息

由R′G′B′推导的黑白亮度（Y）信号为：

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

和NTSC及PAL制式一样，SECAM制式的亮度信号也占用整个视频带宽。SECAM制式有几种变体，每种变体的视频带宽和音频副载波的位置有所不同。根据不同的SECAM标准，视频信号的带宽有5.0MHz和6.0MHz两种。

8.3.2 彩色信息

SECAM制式在一行上传送Db信息，在下一行上传送Dr信息；亮度信息在每一行上都传送。Db和Dr是加权后的B′－Y和R′－Y：

$Dr=-1.902(R'-Y)$

$Db=1.505(B'-Y)$

303 因为行的数量是奇数，所以某场上包含Db信息的行，在下一场上包含Dr信息。解码器要求一行的延迟，由Db和Dr开关同步切换，从而为了转换为YCbCr或者RGB，Db和Dr信息能够同时存在。

8.3.3 彩色调制

SECAM使用FM调制来传送Db和Dr色差信息，每个分量都有自己的副载波。

Db和Dr信息使用1.3MHz的低通滤波器滤波，并进行预加重处理。预加重曲线如下所示：

$$A=\frac{1+j\left(\frac{f}{85}\right)}{1+j\left(\frac{f}{255}\right)}$$

其中f为信号频率，单位为kHz。

在预加重处理之后，Db和Dr频率分别调制它们相应的副载波。每个副载波的频率定义如下：

$F_{OB}=272F_H=4.250000\ \text{MHz}\ (\pm 2\text{kHz})$

$F_{OR}=282F_H=4.406250\ \text{MHz}\ (\pm 2\text{kHz})$

这些频率不表现彩色信息。标称Dr偏差为±280kHz，标称Db偏差为±230kHz。图8-23描述了色差信号的频率调制过程。频偏偏移的选择反映出这样一种思想：使表示关键色彩的频率避开

频谱上限，以最小化失真。

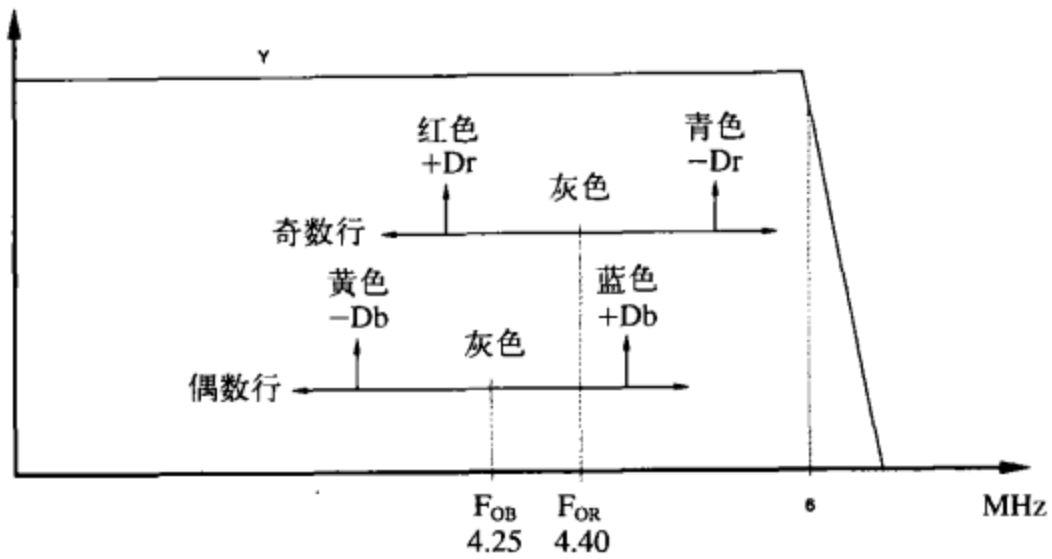


图8-23 SECAM制式FM彩色调制

在Db和Dr信息调制、应用了副载波预加重之后，副载波幅度的改变就成为频率变化的一个函数。这样做的目的是减小低亮度区域内副载波的可视性，提高高饱和彩色的信噪比。该预加重曲线如下所示：

$$G = M\frac{1+\mathrm{j}16F}{1+\mathrm{j}1.26F}$$

其中$F=(f/4286)-(4286/f)$，f是瞬时副载波频率，单位为kHz，$2M$＝亮度幅度的（23±2.5%）。

如图8-24所示，Db和Dr信息分别在正交扫描行上传送。彩色副载波的初始相位也进行了修改，如表8-8所示，以进一步减小副载波可视性。注意SECAM制式中的副载波相位信息没有携带图像信息。

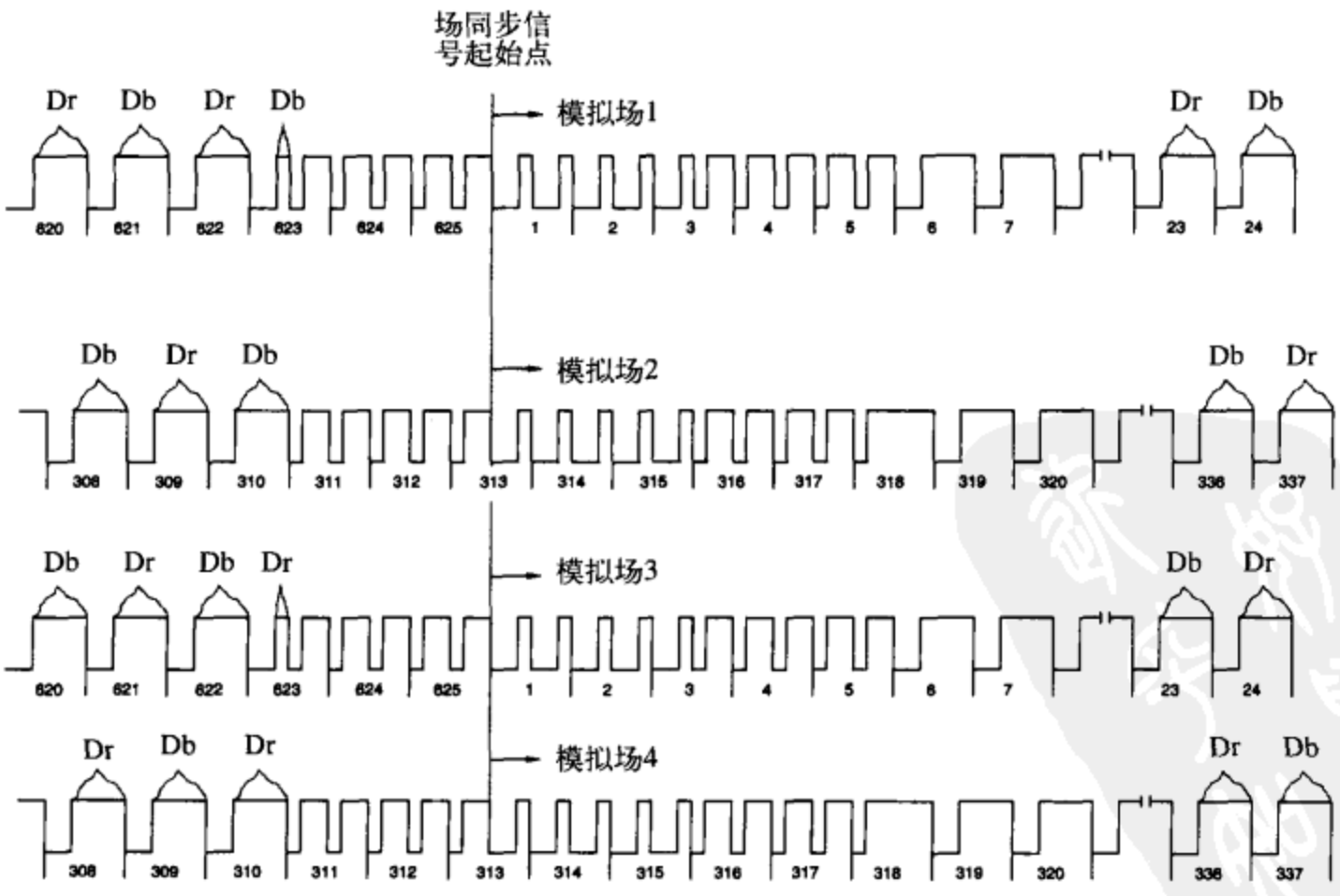


图8-24 4场SECAM序列。均衡和齿脉冲的详细信息请参见图8-5

表8-8　SECAM制式副载波时序

每行中初始相位副载波的变化定义
帧到帧：0°、180°、0°、180°……
行到行：0°、0°、180°、0°、0°、180°……或者0°、0°、0°、180°、180°、180°……

8.3.4　复合视频的生成

副载波数据加上亮度信息以及合适的水平和场同步信号、消隐信息及色同步信号就生成复合视频。

和PAL制式一样，SECAM制式要求一些标识行切换序列的方法。现代实践通常在大多数水平同步信号之后使用一个F_{OR}/F_{OB}色同步信号，推导出切换同步信息，如图8-25所示。

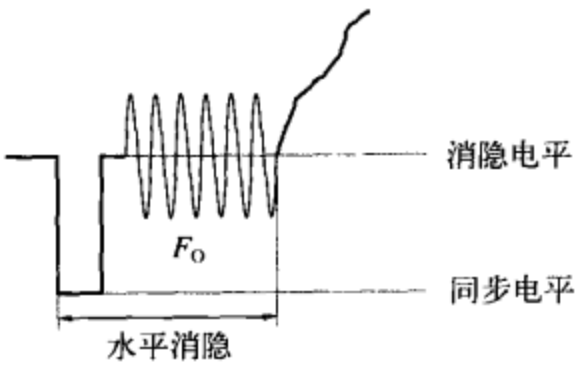


图8-25　SECAM制式色度同步信号

8.3.5　SECAM标准

图8-26示范了几种常用的SECAM制式表示方法。各个字母分别代表各种行频和场频、视频带宽（5.0MHz或6.0MHz）、音频载波相对频率和RF频道带宽的黑白电视标准。SECAM制式指的是向黑白电视信号添加彩色信息的技术。详细的时序参数位于表8-9中。

304

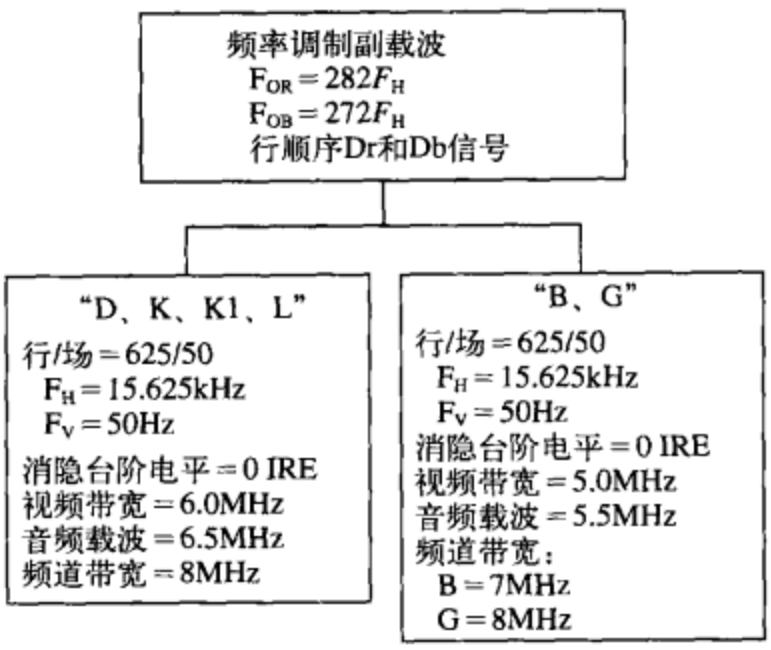


图8-26　常见SECAM制式

表8-9a　彩色视频信号的基本特征

	M	N	B、G	H	I	D、K	K1	L
每帧扫描行数	525	625	625					
场频（场/秒）	59.94	50	50					
行频（Hz）	15 734	15 625	15 625					
峰值白色电平（IRE）	100	100	100					
同步脉冲顶部电平（IRE）	−40	−40（−43）	−43					
消隐台阶电平（IRE）	7.5±2.5	7.5±2.5（0）	0					
峰值视频电平（IRE）	120		133		133	115	115	125
接收机的gamma值	2.2	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
视频带宽（MHz）	4.2	5.0（4.2）	5.0	5.0	5.5	6.0	6.0	6.0
亮度信号	Y= 0.299R′+0.587G′+0.114B′（RGB经过gamma校正）							

注：括号中的值适用于阿根廷使用的（N_C）PAL制式。

表8-9b 行同步信号的细节

特　征	M	N	B、D、G、H、I K、K1、L、N_C
标称行周期（μs）	63.5555	64	64
行消隐期（μs）	10.7±0.1	10.88±0.64	11.85±0.15
有效视频起始点0_H（μs）	9.2±0.1	9.6±0.64	10.5
前肩（μs）	1.5±0.1	1.92±0.64	1.65±0.15
行同步脉冲（μs）	4.7±0.1	4.99±0.77	4.7±0.2
行消隐的上升和下降时间（10%，90%）（ns）	140±20	300±100	300±100
行同步脉冲的上升和下降时间（10%，90%）（ns）	140±20	≤250	250±50

注：1. 0_H位于场同步信号下降边的50%处。
2. 对于拥有不同规范和容限的不同标准，本表列举的是最严格的规范和容限。
3. 时序信息是在合适信号边半幅度位置处测量的。

表8-9c 场同步信号的细节

特　征	M	N	B、D、G、H、I K、K1、L、N_C
场周期（ms）	16.6833	20	20
场消隐期	20行	19~25行	25行
场消隐的上升和下降时间（10%，90%）（ns）	140±20	≤250	300±100
均衡和同步序列的持续时间	3行	3行	2.5行
均衡脉冲宽度（μs）	2.3±0.1	2.43±0.13	2.35±0.1
齿脉冲宽度（μs）	4.7±0.1	4.7±0.8	4.7±0.1
同步和均衡脉冲的上升和下降时间（10%，90%）（ns）	140±20	<250	250±50

注：1. 为了应对不同标准拥有不同的规范和容限，本表列举的是最严格的规范和容限。
2. 时序信息是在合适信号边半幅度位置处测量的。

表8-9d 彩色视频信号的基本特征

	M/NTSC	M/PAL	B、D、G、 H、I、N/PAL	B、D、G、K、 K1、K/SECAM
色差信号衰减	U、V、I、Q： 1.3MHz处， <2dB 3.6MHz处， >20dB 或者Q： 0.4MHz处，<2dB 0.5MHz处，<6dB 0.6MHz处，>6dB	1.3MHz处， <2dB 3.6MHz处， >20dB	1.3MHz处， <3dB 4MHz处， >20dB （3.6MHz处， >20dB）	1.3MHz处， <3dB 3.5MHz处， >30dB （在低频预加重处理之前）
0H之后色同步信号起始点（μs）	5.3±0.07	5.8±0.1	5.6±0.1	
色同步信号持续时间（周）	9±1	9±1	10±1（9±1）	
色同步信号峰值幅度	40±1 IRE	42.86±4 IRE	42.86±4 IRE	

注：括号中的值适用于阿根廷使用的（N_C）PAL制式。

8.3.6 亮度方程推导

由RGB信息生成亮度的方程由接收机所使用的三基色色度和真正的白光源决定。

RGB三基色色度和基准白光（CIE照明D_{65}）为：

R：$x_r=0.64$　　$y_r=0.33$　　$z_r=0.03$

G：$x_g=0.29$　　$y_g=0.60$　　$z_g=0.11$

B：$x_b=0.15$　　$y_b=0.06$　　$z_b=0.79$

白色：$x_w=0.3127$　　$y_w=0.3290$　　$z_w=0.3583$

305～307

其中x和y由CIE 1931色度坐标指定；而z由$x+y+z=1$计算。和以往一样，将已知数据代入上式，求解出K_r、K_g和K_b：

$$\begin{bmatrix}K_r\\K_g\\K_b\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.3127/0.3290\\1\\0.3583/0.3290\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0.64&0.29&0.15\\0.33&0.60&0.06\\0.03&0.11&0.79\end{bmatrix}^{-1}=\begin{bmatrix}0.674\\1.177\\1.190\end{bmatrix}$$

Y定义为：

$$\begin{aligned}Y&=(K_ry_r)R'+(K_gy_g)G'+(K_by_b)B'\\&=(0.674)(0.33)R'+(1.177)(0.60)G'\\&\quad+(1.190)(0.06)B'\end{aligned}$$

或者：

$$Y=0.222R'+0.706G'+0.071B'$$

但是，仍然可以使用标准的$Y=0.299R'+0.587G'+0.114B'$方程式。为了减少色彩误差，需要对接收机进行调整。

308

8.4 视频测试信号

目前已经定义了许多视频测试信号的产业标准，以帮助测试编码、解码以及传输路径的相对质量，同时执行校准。注意一些视频测试信号无法通过向编码器提供RGB数据而正确生成；在这种情况下，可以使用YCbCr数据生成。

如果视频标准使用7.5 IRE的台阶电平，那么通常只用于视觉检测的测试信号才使用7.5 IRE的台阶电平。用于测试目的的测试信号通常使用0 IRE的台阶电平，从而可以定义一个已知的消隐电平。

8.4.1 彩条概述

彩条是一种标准的视频测试信号。根据视频标准和应用的不同，彩条有多种变体。由于这一原因，本节回顾一下大部分常见的彩条格式。彩条有两个主要的特征：幅度和饱和度。

彩条信号的幅度可如下计算：

$$\text{幅度（\%）}=\frac{\max(R,G,B)_a}{\max(R,G,B)_b}\times100$$

其中$\max(R,G,B)_a$是彩条中R′G′B′的最大值，$\max(R,G,B)_b$是基准白色中R′G′B′的最大值。

如果R'G'B'某个分量的最小值不是0，那么彩条信号的饱和度就不是100%。饱和度可如下计算：

$$饱和度（\%）=\left[1-\left(\frac{\min(R,G,B)}{\max(R,G,B)}\right)^{\gamma}\right]\times 100$$

309 ~ 312

其中min (*R*, *G*, *B*) 和max (*R*, *G*, *B*) 分别是彩条中R'G'B'的最小值和最大值，γ是gamma分量，典型值为[1/0.45]。

1. NTSC彩条

1953年，模拟R'G'B'信号常见的做法是使用一个7.5 IRE的台阶电平，最初的NTSC方程式假定编码器的输入也是这一形式。现在，数字R'G'B'或YCbCr信号通常不包含7.5 IRE的台阶电平，而在编码器内部添加7.5 IRE的台阶电平。

不同的彩条信号由4个幅度描述，分别以百分比表示，用斜线隔开。在该表示法中，暗含着饱和度为100%，所以不指定饱和度。第一个和第三个数字分别为白色幅度和黑色幅度。第三个和第四个数字是导出彩条的白色幅度和黑色幅度。

例如100/7.5/75/7.5彩条，它是7.5%台阶电平的75%彩条，白条设置为100%，黑条设置为7.5%。因为NTSC制式通常使用7.5%台阶电平，所以两种常见的彩条为75/7.5/75/7.5和100/7.5/100/7.5，通常分别简称为75%彩条和100%彩条。75%彩条是最常使用的彩条。电视发送机不会使用超出120 IRE的幅度传送信息。因此，75%彩条用于传输测试。100%彩条可以用于设备之间可能存在直接连接的情况下的测试。75/7.5/75/7.5彩条属于电子工业协会（Electronic Industries Association，EIA）EIA-189-A编码彩条标准。

图8-27示范了一个满屏75% NTSC彩条的典型矢量示波器显示图。图8-28描述了75%彩条的视频波形。

VM700A视频测试组件

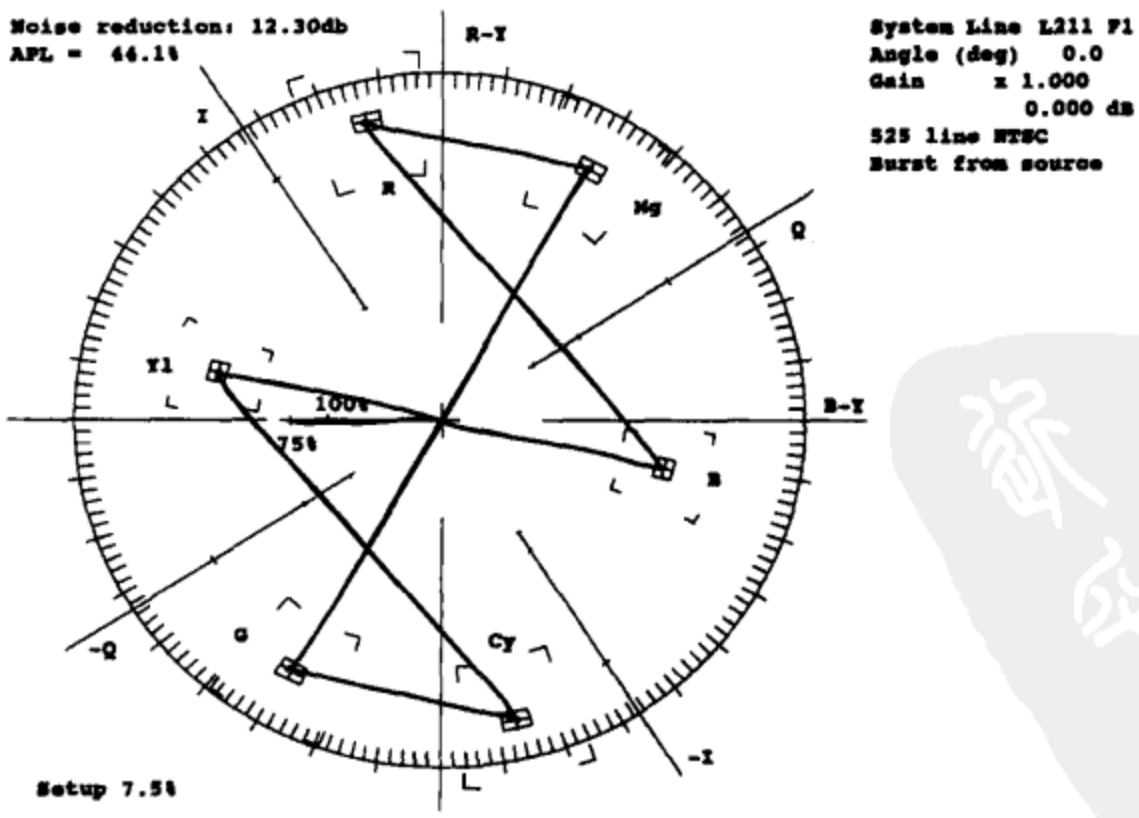


图8-27 75% NTSC彩条的典型矢量示波器显示图

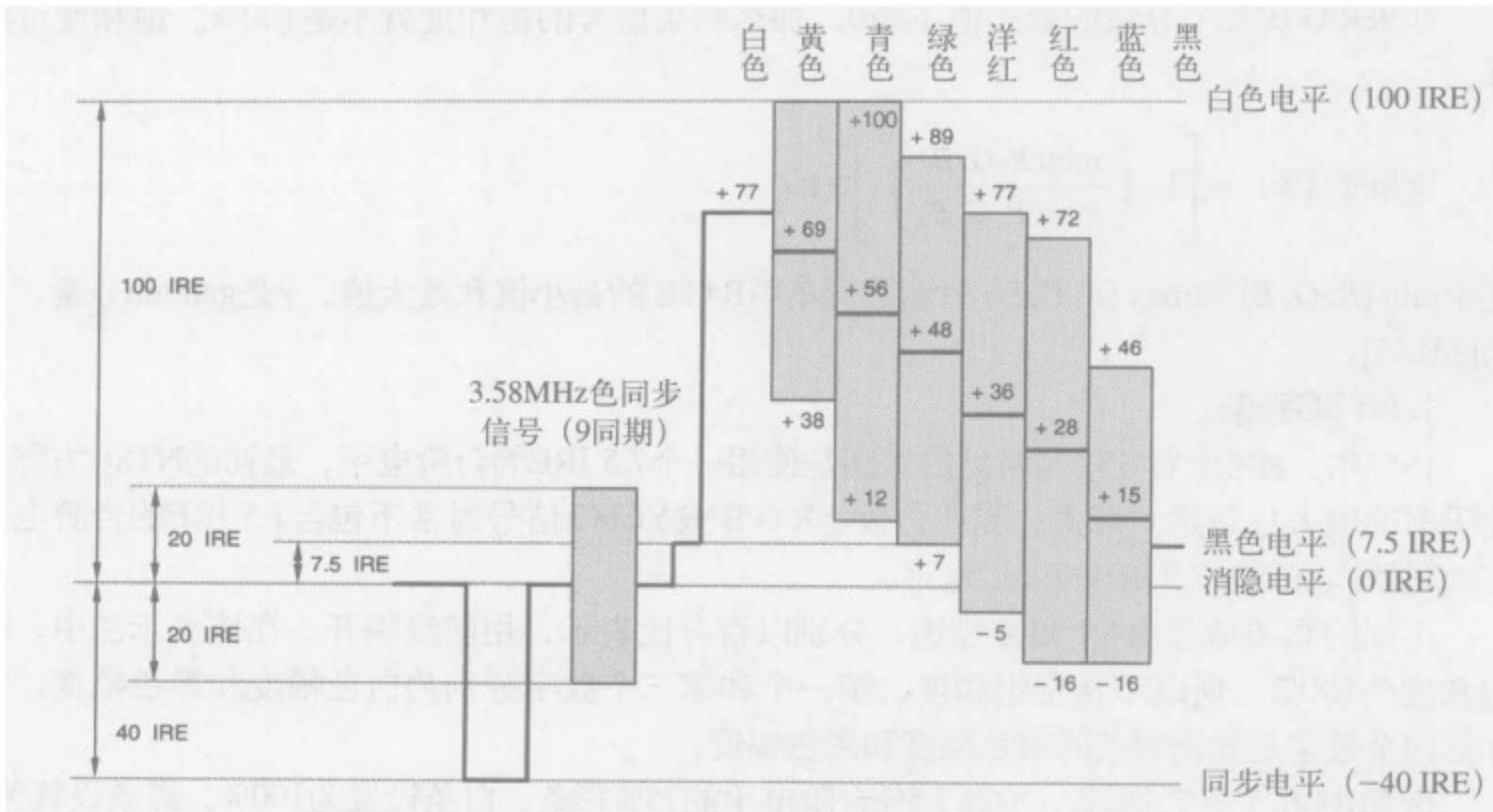


图8-28　75% NTSC彩条的IRE值

表8-10和表8-11分别列举了NTSC两种常见彩条格式的亮度和色度电平。

表8-10　75/7.5/75/7.5（75%）NTSC彩条

	亮度（IRE）	色度电平（IRE）	最小色度偏移（IRE）	最大色度偏移（IRE）	色度相位（度）
白色	76.9	0	–	–	–
黄色	69.0	62.1	37.9	100.0	167.1
青色	56.1	87.7	12.3	100.0	283.5
绿色	48.2	81.9	7.3	89.2	240.7
洋红	36.2	81.9	−4.8	77.1	60.7
红色	28.2	87.7	−15.6	72.1	103.5
蓝色	15.4	62.1	−15.6	46.4	347.1
黑色	7.5	0	–	–	–

表8-11　100/7.5/100/7.5（100%）NTSC彩条

	亮度（IRE）	色度电平（IRE）	最小色度偏移（IRE）	最大色度偏移（IRE）	色度相位（度）
白色	100.0	0	–	–	–
黄色	89.5	82.8	48.1	130.8	167.1
青色	72.3	117.0	13.9	130.8	283.5
绿色	61.8	109.2	7.2	116.4	240.7
洋红	45.7	109.2	−8.9	100.3	60.7
红色	35.2	117.0	−23.3	93.6	103.5
蓝色	18.0	82.8	−23.3	59.4	347.1
黑色	7.5	0	–	–	–

为便于参考，表8-12和表8-13列举了生成标准NTSC彩条的RGB和YCbCr值。假定RGB值的范围为0~255；假定YCbCr值的范围是Y为16~235，Cb和Cr为16~240。另外还假定编码器内提供有

7.5 IRE的台阶电平。

表8-12 75% NTSC彩条的RGB和YCbCr值

	白色	黄色	青色	绿色	洋红	红色	蓝色	黑色
gamma校正的RGB（gamma＝1/0.45）								
R′	191	191	0	0	191	191	0	0
G′	191	191	191	191	0	0	0	0
B′	191	0	191	0	191	0	191	0
线性RGB								
R	135	135	0	0	135	135	0	0
G	135	135	135	135	0	0	0	0
B	135	0	135	0	135	0	135	0
YCbCr								
Y	180	162	131	112	84	65	35	16
Cb	128	44	156	72	184	100	212	128
Cr	128	142	44	58	198	212	114	128

表8-13 100% NTSC彩条的RGB和YCbCr值

	白色	黄色	青色	绿色	洋红	红色	蓝色	黑色
gamma校正的RGB（gamma＝1/0.45）								
R′	255	255	0	0	255	255	0	0
G′	255	255	255	255	0	0	0	0
B′	255	0	255	0	255	0	255	0
线性RGB								
R	255	255	0	0	255	255	0	0
G	255	255	255	255	0	0	0	0
B	255	0	255	0	255	0	255	0
YCbCr								
Y	235	210	170	145	106	81	41	16
Cb	128	16	166	54	202	90	240	128
Cr	128	146	16	34	222	240	110	128

2. PAL彩条

与NTSC不同，PAL不支持7.5 IRE的台阶电平；黑色电平和消隐电平相同。不同的彩条信号通常由4个幅度描述，分别以百分比表示，用斜线隔开。第一个和第二个数字分别是非彩条R′G′B′值的最大百分比和最小百分比。第三个和第四个数字分别是彩条R′G′B′值的最大百分比和最小百分比。

因为PAL制式的台阶电平为0%，所以PAL制式两种常见的彩条100/0/75/0和100/0/100/0通常分别简称为75%彩条和100%彩条。75%彩条用于传输测试。100%彩条可以用于设备之间可能存在直接连接的情况下的测试。

100/0/75/0彩条还称为EBU（European Broadcast Union，欧洲广播联盟）彩条。本节中讨论的所有彩条都属于独立电视管理局（Independent Television Authority，ITA）和英国广播公司（British Broadcasting Corporation，BBC）出版的*Specification of Television Standards for 625-line System-I Transmissions*（*1971*）以及*ITU-R BT.471*。

313

图8-29描述了75%彩条的视频波形。图8-30示范了一个满屏75% PAL彩条的典型矢量示波器显

示图。

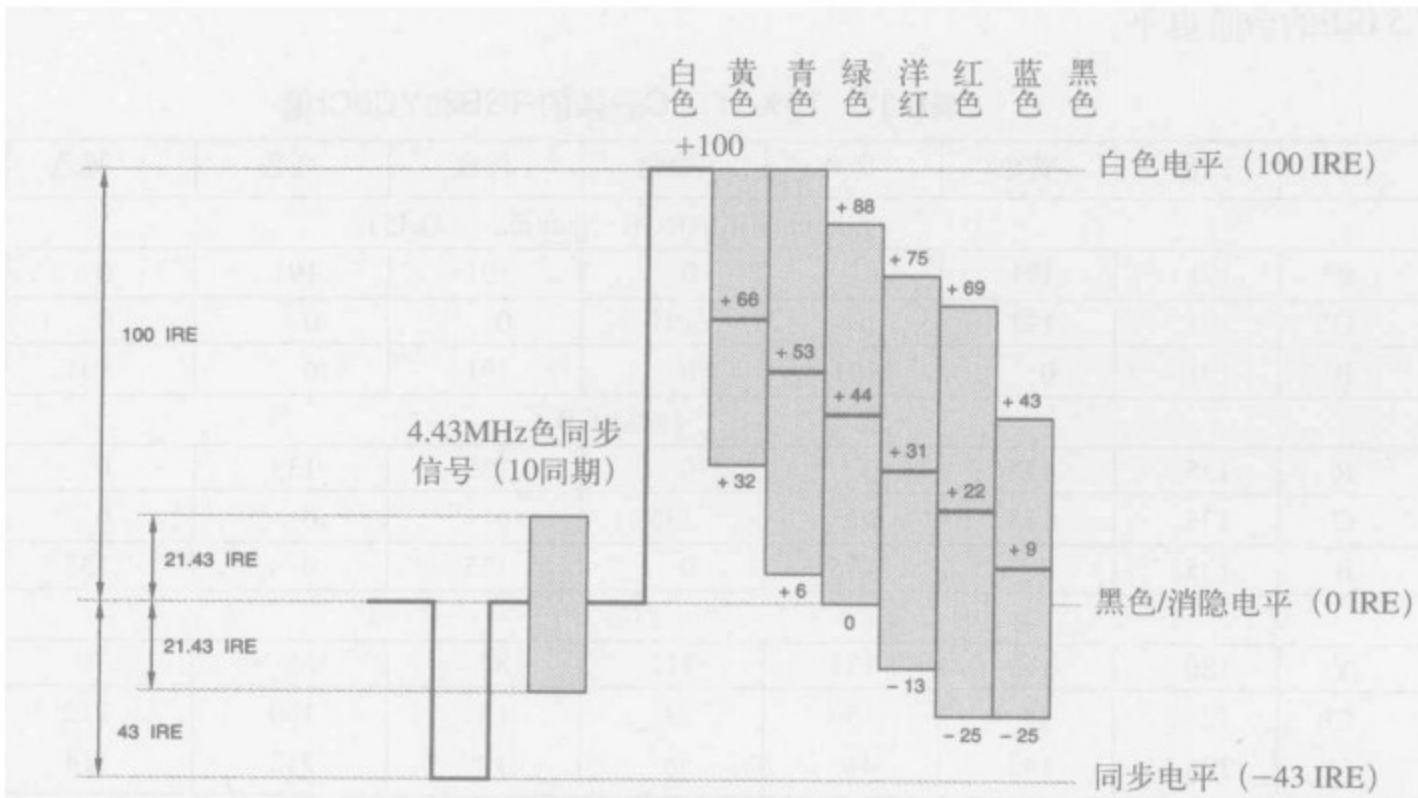


图8-29　75% PAL彩条的IRE值

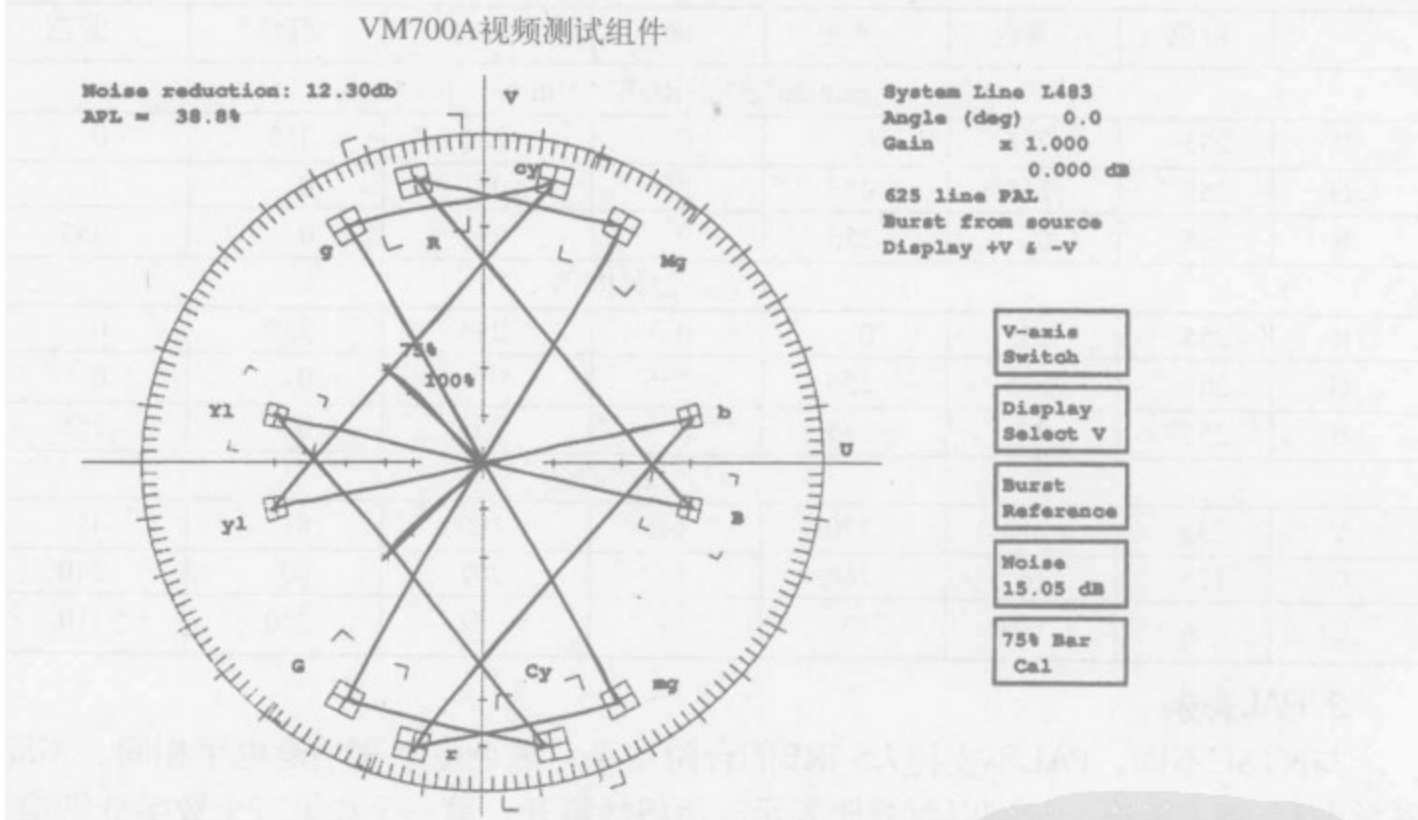


图8-30　75% PAL彩条的典型矢量示波器显示图

表8-14、表8-15和表8-16分别列举了PAL三种常见彩条格式的亮度和色度电平。

表8-14　100/0/75/0（75%）PAL彩条

	亮度（V）	峰－峰色度			色度相位（度）	
		U色轴（V）	V色轴（V）	总计（V）	行n（135°色同步信号）	行（$n+1$）（225°色同步信号）
白色	0.700	0	–	–	–	–
黄色	0.465	0.459	0.105	0.470	167	193
青色	0.368	0.155	0.646	0.664	283.5	76.5
绿色	0.308	0.304	0.541	0.620	240.5	119.5

（续）

	亮度（V）	峰－峰色度			色度相位（度）	
		U色轴（V）	V色轴（V）	总计（V）	行n（135°色同步信号）	行（$n+1$）（225°色同步信号）
洋红	0.217	0.304	0.541	0.620	60.5	299.5
红色	0.157	0.155	0.646	0.664	103.5	256.5
蓝色	0.060	0.459	0.105	0.470	347	13.0
黑色	0	0	0	0	–	–

表8-15 100/0/100/0（100%）PAL彩条

	亮度（V）	峰－峰色度			色度相位（度）	
		U色轴（V）	V色轴（V）	总计（V）	行n（135°色同步信号）	行（$n+1$）（225°色同步信号）
白色	0.700	0	–	–	–	–
黄色	0.620	0.612	0.140	0.627	167	193
青色	0.491	0.206	0.861	0.885	283.5	76.5
绿色	0.411	0.405	0.721	0.827	240.5	119.5
洋红	0.289	0.405	0.721	0.827	60.5	299.5
红色	0.209	0.206	0.861	0.885	103.5	256.5
蓝色	0.080	0.612	0.140	0.627	347	13.0
黑色	0	0	0	0	–	–

表8-16 100/0/100/25（98%）PAL彩条

	亮度（V）	峰－峰色度			色度相位（度）	
		U色轴（V）	V色轴（V）	总计（V）	行n（135°色同步信号）	行（$n+1$）（225°色同步信号）
白色	0.700	0	–	–	–	–
黄色	0.640	0.459	0.105	0.470	167	193
青色	0.543	0.155	0.646	0.664	283.5	76.5
绿色	0.483	0.304	0.541	0.620	240.5	119.5
洋红	0.392	0.304	0.541	0.620	60.5	299.5
红色	0.332	0.155	0.646	0.664	103.5	256.5
蓝色	0.235	0.459	0.105	0.470	347	13.0
黑色	0	0	0	0	–	–

为便于参考，表8-17、表8-18和表8-19示范了生成标准PAL彩条的RGB和YCbCr值。假定RGB值的范围为0~255；假定YCbCr值的范围是Y为16~235，Cb和Cr为16~240。

表8-17 75% PAL彩条的RGB和YCbCr值

	白色	黄色	青色	绿色	洋红	红色	蓝色	黑色
gamma校正的RGB（gamma＝1/0.45）								
R'	255	191	0	0	191	191	0	0
G'	255	191	191	191	0	0	0	0
B'	255	0	191	0	191	0	191	0
线性RGB								
R	255	135	0	0	135	135	0	0

（续）

	白色	黄色	青色	绿色	洋红	红色	蓝色	黑色
G	255	135	135	135	0	0	0	0
B	255	0	135	0	135	0	135	0
YCbCr								
Y	235	162	131	112	84	65	35	16
Cb	128	44	156	72	184	100	212	128
Cr	128	142	44	58	198	212	114	128

表8-18　100% PAL彩条的RGB和YCbCr值

	白色	黄色	青色	绿色	洋红	红色	蓝色	黑色
gamma校正的RGB（gamma = 1/0.45）								
R′	255	255	0	0	255	255	0	0
G′	255	255	255	255	0	0	0	0
B′	255	0	255	0	255	0	255	0
线性RGB								
R	255	255	0	0	255	255	0	0
G	255	255	255	255	0	0	0	0
B	255	0	255	0	255	0	255	0
YCbCr								
Y	235	210	170	145	106	81	41	16
Cb	128	16	166	54	202	90	240	128
Cr	128	146	16	34	222	240	110	128

表8-19　98% PAL彩条的RGB和YCbCr值

	白色	黄色	青色	绿色	洋红	红色	蓝色	黑色
gamma校正的RGB（gamma = 1/0.45）								
R′	255	255	44	44	255	255	44	44
G′	255	255	255	255	44	44	44	44
B′	255	44	255	44	255	44	255	44
线性RGB								
R	255	255	5	5	255	255	5	5
G	255	255	255	255	5	5	5	5
B	255	5	255	5	255	5	255	5
YCbCr								
Y	235	216	186	167	139	120	90	16
Cb	128	44	156	72	184	100	212	128
Cr	128	142	44	58	198	212	114	128

8.4.2　EIA彩条（NTSC）

EIA彩条（图8-28和表8-10）属于EIA-189-A标准。7个彩条（灰色、黄色、青色、绿色、洋红、红色和蓝色）的幅度为75%、饱和度为100%。每个彩条的宽度都是扫描行有效部分的1/7。注意图8-28中和表8-10的黑条都不属于标准，这里示范出来只是为了参考。该彩条测试信号允许检查色调和色饱和度的准确度。

314 ~ 317

8.4.3 EBU彩条（PAL）

EBU彩条与EIA彩条相似，只是EBU彩条使用了一个100 IRE的白色电平（参见图8-29和表8-14）。EBU彩条有6个彩条（黄色、青色、绿色、洋红、红色和蓝色）的幅度为75%、饱和度为100%，而白条的幅度为100%。每个彩条的宽度都是扫描行有效部分的1/7。注意图8-29和表8-14中的黑条都不属于标准，这里的示范只是为了参考。该彩条测试信号允许检查色调和色饱和度的准确度。

8.4.4 SMPTE条（NTSC）

这个对场进行分隔的测试信号构成如下：EIA彩条构成场的前2/3，反转蓝条（reverse blue bar）构成接下来的1/12场，PLUGE测试信号构成场的剩余部分。

8.4.5 反转蓝条

反转蓝条由EIA/EBU彩条的蓝色、洋红和青色彩条构成，但是以不同的顺序排列——蓝色、黑色、洋红、黑色、青色、黑色和白色。每个彩条的宽度都是扫描行有效部分的1/7。一般情况下，反转蓝条通常和EIA或EBU彩条一起在对场进行分隔的情形中使用，EIA/EBU彩条构成场的前3/4，反转蓝条构成场的剩余部分。这种按场进行分隔的安排可以简化彩色监视器对色度和色调的调整。

318 ~ 322

8.4.6 PLUGE

PLUGE（Picture Line-Up Generating Equipment，图像线性生成装置）信号是一种可视黑色基准信号，该测试信号有一个比黑色更黑的区域、一个黑色区域和一个没有黑色那么黑的区域。在监视器调整过程中，要对监视器的亮度进行调整，从而使黑色区域和比黑色更黑的区域彼此之间难以区别，没有黑色那么黑的区域稍微淡一点（对比度正常设置）。在测试过程中，通常添加额外的测试信号，例如白脉冲和调制IQ信号，从而方便测试和监视器的调整。

NTSC制式的PLUGE测试信号（如图8-31所示）由一个7.5 IRE（黑色电平）的基底电平与一个40 IRE的“－I”相位调制、一个100 IRE的白脉冲、一个40 IRE的“＋Q”相位调制和3.5 IRE、7.5 IRE及11.5 IRE的基底电平组成。通常情况下，PLUGE信号用作SMPTE条的一部分。

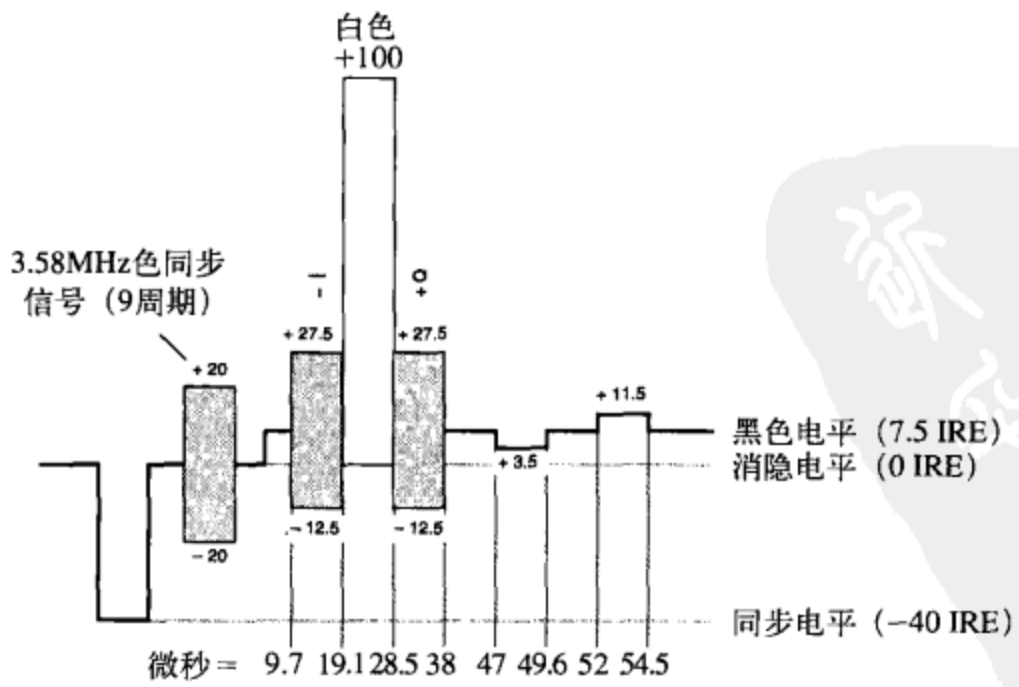


图8-31 NTSC制式的PLUGE测试信号。图中示范了IRE值

至于PAL制式，每个国家都有自己稍微有所不同的PLUGE信号配置，这些PLUGE信号的主要区别在于使用的黑色基底电平不同，并且每个国家都制定了自己的PLUGE标准测试信号。图8-32描述了一个典型的PAL制式PLUGE测试信号。PLUGE信号通常用作满屏测试信号，它由一个0 IRE的基底与PLUGE（−2 IRE、0 IRE和2 IRE的基底电平）和一个白色脉冲构成。白色脉冲根据扫描行数的不同，拥有5种电平亮度（0、25、50、75和100 IRE），如图8-32所示。PLUGE信号显示在拥有非0 IRE白色脉冲的扫描行上。ITU-R BT.1221中有关于各种PAL制式注意事项的讨论。

323

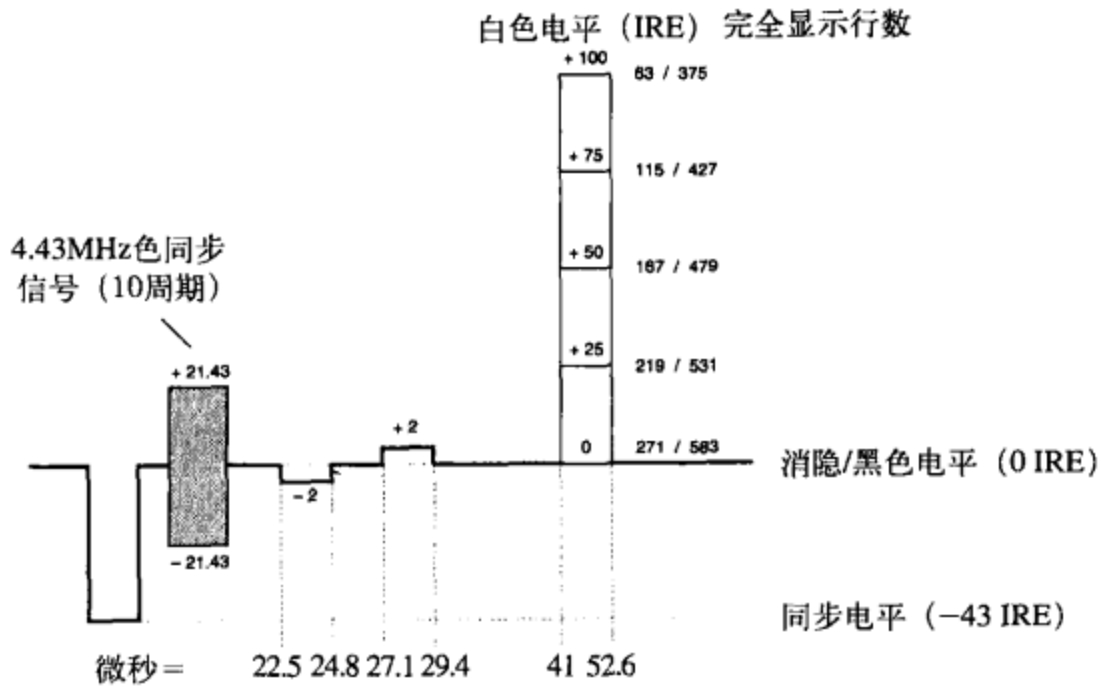


图8-32　PAL制式的PLUGE测试信号。图中示范了IRE值

8.4.7　Y条

Y条由仅含亮度电平的EIA/EBU彩条构成；但是，Y条包含有黑色电平（NTSC制式为7.5 IRE，PAL制式为0 IRE），并且仍然提供色同步信号。因此，每个亮度条的宽度是扫描行有效部分的1/8。Y条在彩色监视器调整和测试亮度非线性方面非常有用。一般情况下，Y条信号和EIA或EBU彩条信号一起在对场进行分隔的布局中使用，EIA/EBU彩条构成场的前3/4部分，Y条信号构成场的剩余部分。

324

8.4.8　红场

红场（red field）信号包含一个75%幅度、100饱和度的红色色度信号。这个测试信号非常有用，因为人的眼睛对混杂在红场中间的静态干扰信号非常敏感。导致图像质量中微小差错的变形可以通过视觉对图像的观察检查出来。一般情况下，红场信号和EIA/EBU彩条信号一起在对场进行分隔的布局中使用，EIA/EBU彩条构成场的前3/4部分，红场信号构成场的剩余部分。

8.4.9　10级阶梯

这个测试信号由10个未调制亮度构成，亮度之间间隔10 IRE，范围为0 IRE~100 IRE。如图8-33所示。该测试信号可以用于测试亮度非线性。

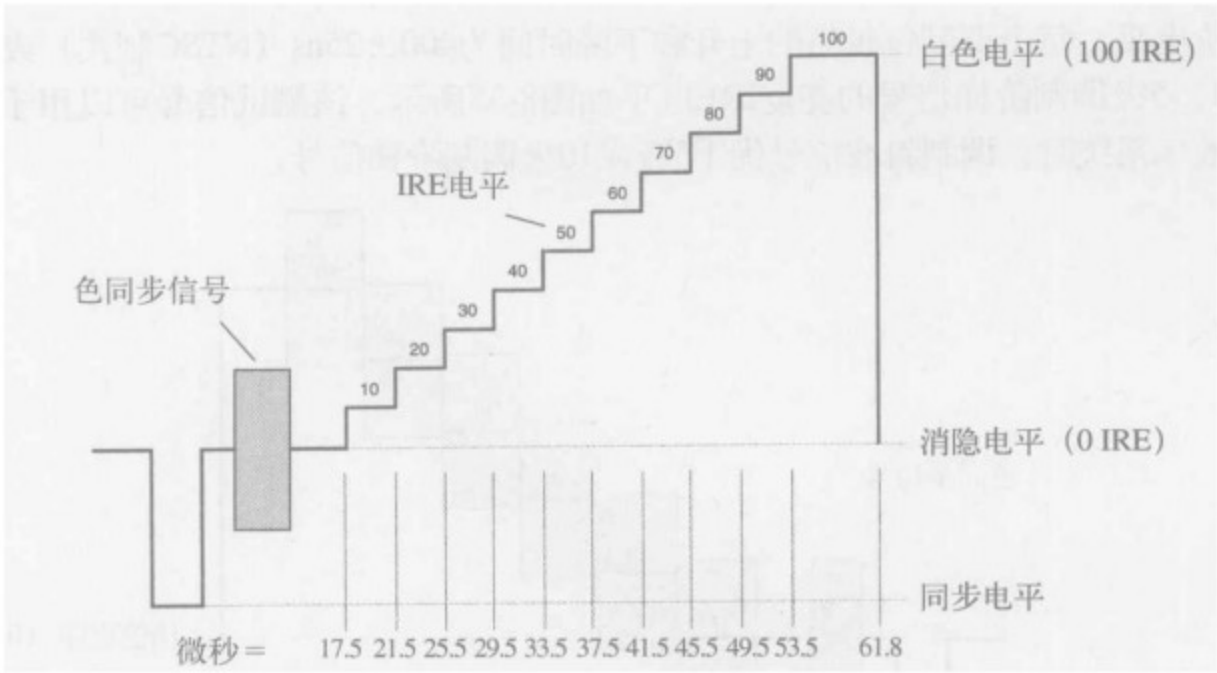


图8-33 NTSC和PAL制式的10级阶梯测试信号

8.4.10 调制斜坡

调制斜坡信号由一个从0 IRE到80IRE或者100 IRE的亮度斜坡构成，叠加有相对与色同步信号相位为0°±1°的调制色度，如图8-34所示。80 IRE斜坡可以用于测试系统的标准运算；而100 IRE斜坡可以自由地用于测试全部运算。（M）NTSC制式的峰－峰调制色度为40±0.5 IRE，（B、D、G、H、I）PAL制式的峰－峰调制色度为42.86±0.5 IRE。注意该测试信号中使用了一个0 IRE的台阶电平。调制斜坡包络起始点和终止点处的上升和下降时间为400±25ns（NTSC制式）或者近似为1μs（PAL制式）。该测试信号可以用于测试微分增益。当测试数字系统时，调制斜坡信号优于5级或10级调制阶梯信号。 325

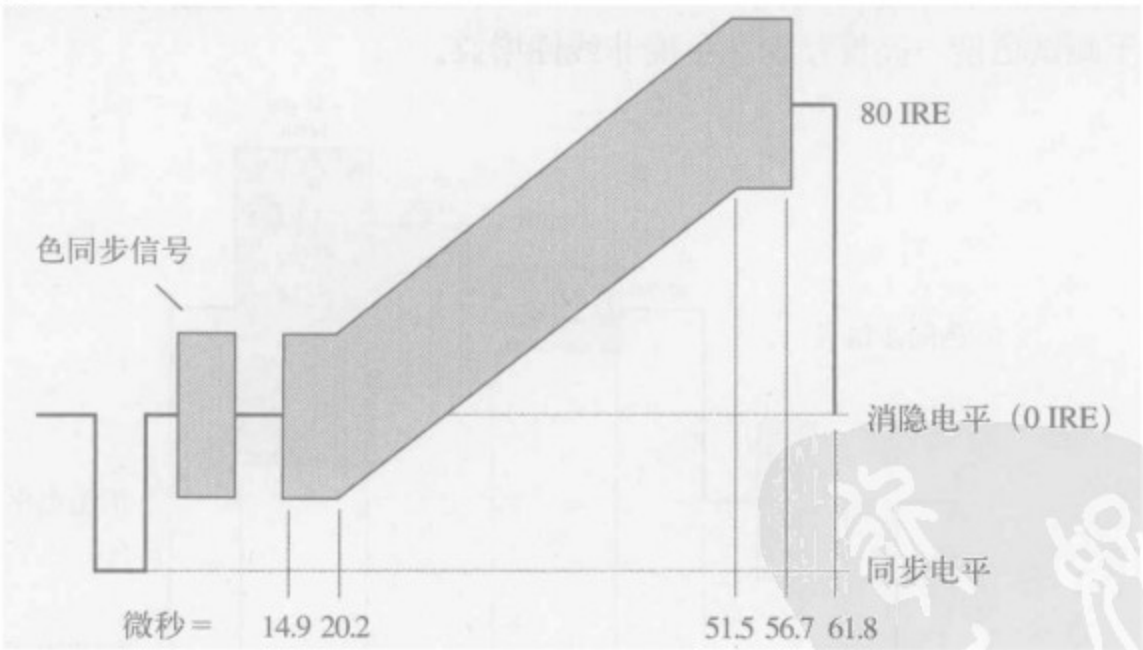


图8-34 NTSC和PAL制式的80 IRE调制斜坡测试信号

8.4.11 调制阶梯

5级调制阶梯信号（也有10级的），如图8-35所示，该信号包含5级亮度，叠加有相对于色同步信号相位为0°±1°的调制色度。（M）NTSC制式的峰－峰调制色度幅度为40±0.5 IRE，（B、D、G、H、I）PAL制式的峰－峰调制色度幅度为42.86±0.5 IRE。注意该测试信号中使用了一个0 IRE

的台阶电平。每个调制包包络的上升和下降时间为400±25ns（NTSC制式）或者近似为1μs（PAL制式）。5级调制阶梯信号的亮度IRE电平如图8-35所示。该测试信号可以用于测试微分增益。当测试数字系统时，调制斜坡信号优于5级或10级调制阶梯信号。

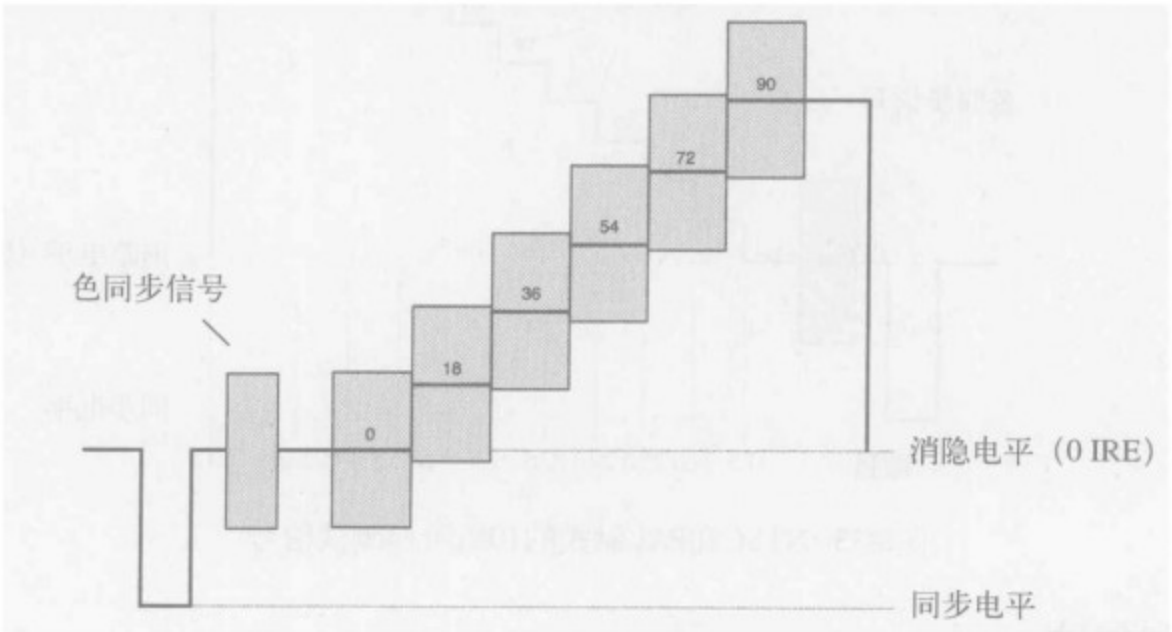
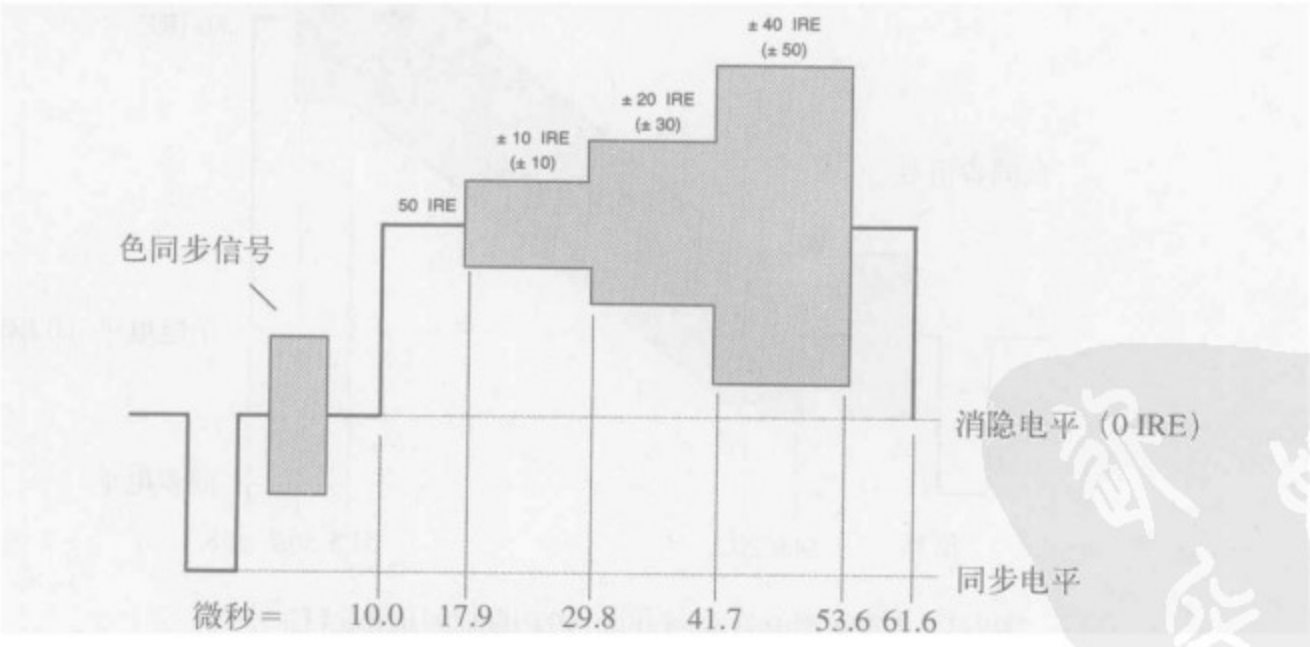


图8-35　NTSC和PAL制式的5级调制阶梯测试信号

8.4.12　调制基底

调制基底测试信号（也称为3级色度条），如图8-36所示，该信号包含一个50 IRE的亮度基底，叠加有3个相对于色同步信号相位为－90°±1°的调制色度的幅度。（M）NTSC制式的调制色度的峰－峰幅度为20±0.5、40±0.5和80±0.5 IRE，（B、D、G、H、I）PAL制式的调制色度的峰－峰幅度为20±0.5、60±0.5和100±0.5 IRE。注意该测试信号中使用了一个0 IRE的台阶电平。每个调制包包络的上升和下降时间为400±25ns（NTSC制式）或者近似为1μs（PAL制式）。该测试信号可以用于测试色度－亮度互调和色度非线性增益。

326



327

图8-36　NTSC和PAL制式的调制基底测试信号。括号中示范的是PAL制式的IRE值

8.4.13　多波群

（M）NTSC制式的多波群（multiburst）测试信号如图8-37所示，该信号由一个峰值幅度为100±1 IRE的白色标志和6个频率包构成，每个包拥有一个特定的频率。包拥有一个峰－峰幅度为60

±0.5 IRE的40±1 IRE的基底。注意该测试信号中使用了一个0 IRE的台阶电平，每个包的起始点和终止点位于0相位。

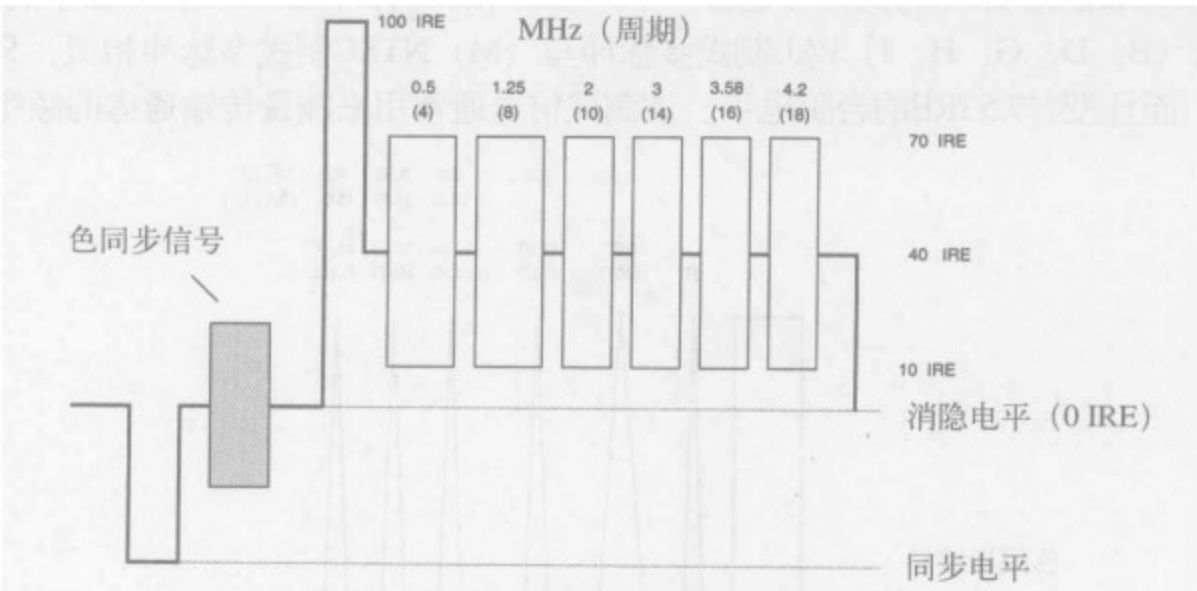


图8-37 NTSC制式的多波群测试信号

（B、D、G、H、I）PAL制式的ITU多波群测试信号如图8-38所示，该信号由一个峰值幅度为80±1 IRE的4μs白色标志和6个频率包构成，每个包拥有一个特定的频率。包拥有一个峰－峰幅度为60±0.5 IRE的50±1 IRE基底。注意该测试信号中每个包的起始点和终止点位于0相位。包之间的间隙为0.4~2.0μs。ITU多波群测试信号可以在第18行上提供。 328

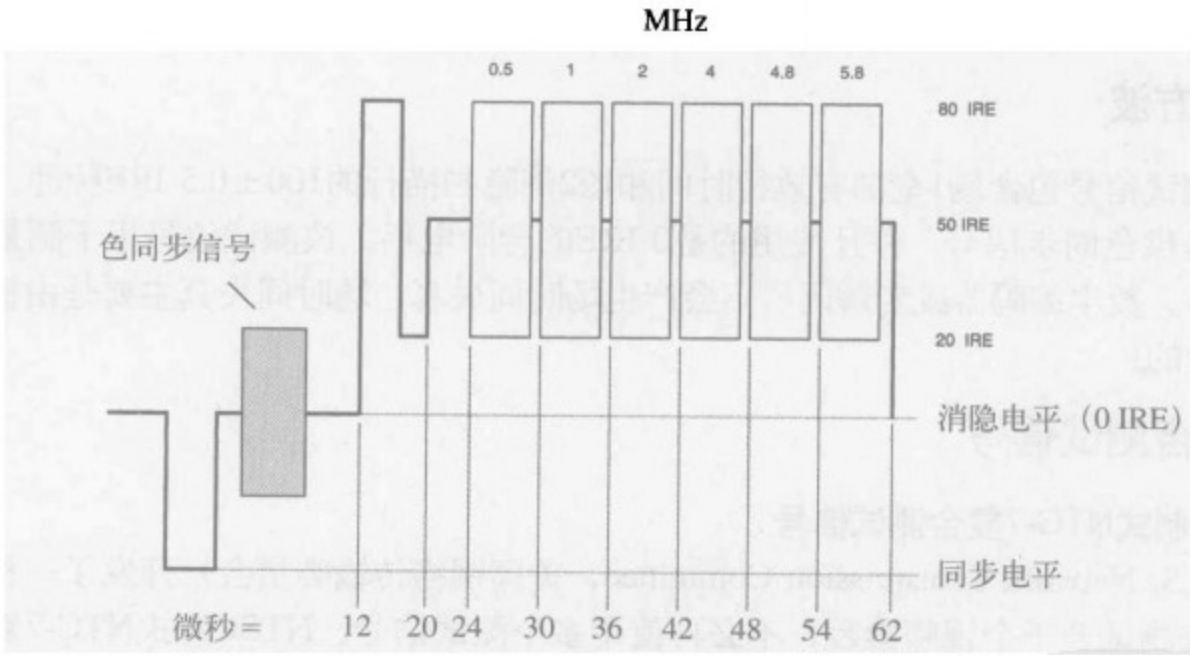


图8-38 PAL制式的ITU多波群测试信号

多波群信号通过测量包的峰－峰幅度来测试系统的频率响应。

8.4.14 线条

线条（line bar）是一个发生在有效扫描行时间之内（上升和下降时间都≤1μs）任何位置的10μs（PAL制式）、18μs（NTSC制式）或者25μs（PAL制式）单独100±0.5 IRE（基准白色）脉冲。注意该信号没有提供色同步信号，使用了一个0 IRE的台阶电平。该测试信号用来测量行时间失真（或者行倾斜）。数字编码器或者解码器不会生成行时间失真；行时间失真主要由模拟滤波器和传输通道生成。

8.4.15　多脉冲

（M）NTSC制式多脉冲测试信号包含一个2T脉冲和25T脉冲及12.5T脉冲加不同高频分量，如图8-39所示。（B、D、G、H、I）PAL制式多脉冲与（M）NTSC制式多脉冲相似，只是使用了20T和10T脉冲，而且没有7.5 IRE的台阶电平。该测试信号通常用来测量传输通道的频率响应。

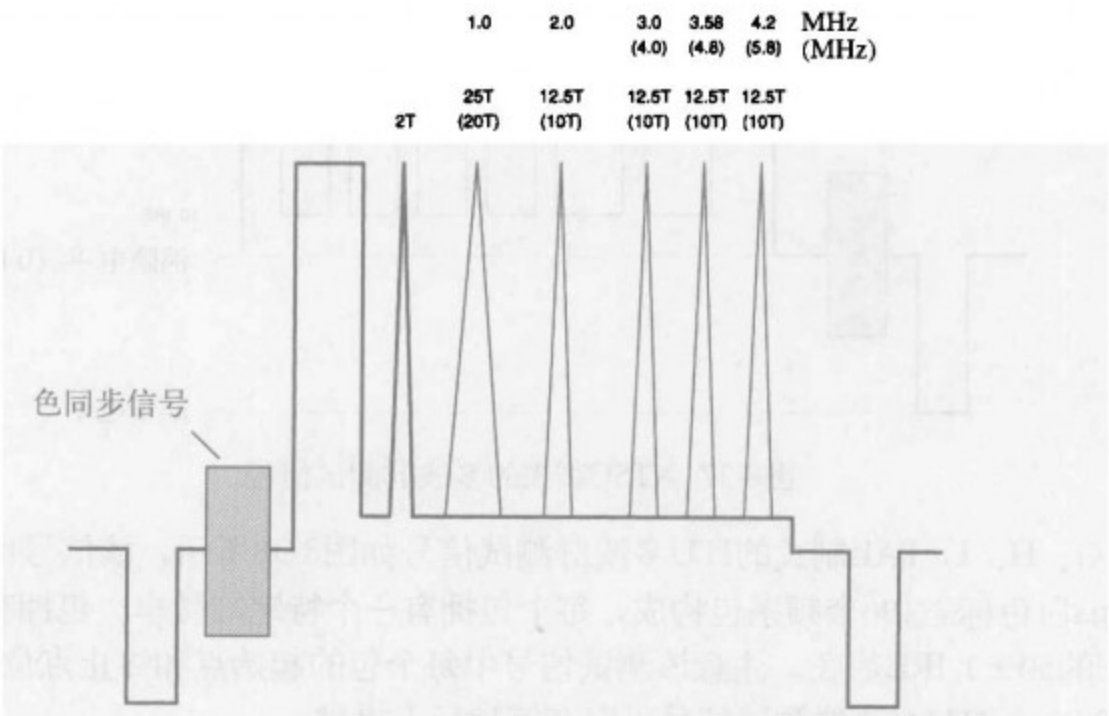


图8-39　NTSC和PAL制式的多脉冲测试信号。括号中示范的是PAL值

8.4.16　场方波

场方波测试信号包含场1全部有效行时间和场2消隐扫描行的100±0.5 IRE脉冲。注意场方波信号中没有提供色同步信号，并且使用的是0 IRE的台阶电平。该测试信号用于测量场时间失真（或者场倾斜）。数字编码器或者解码器不会产生场时间失真；场时间失真主要是由模拟滤波器和传输通道产生的。

8.4.17　复合测试信号

1. NTSC制式NTC-7复合测试信号

NTC（U.S. Network Transmission Committee，美国网络传输委员会）开发了一种复合测试信号，可以用来测试若干个视频参数，不必再使用多个测试信号。NTSC制式NTC-7复合测试信号（如图8-40所示）包含一个100 IRE的线条、一个2T脉冲、一个12.5T色度脉冲和一个5级调制阶梯信号。

329～330

线条测试信号的峰值幅度为100±0.5 IRE，10%~90%上升和下降时间为125±5ns，形状为一个完整的正弦平方曲线。在60 IRE电平处的宽度为18μs。

2T脉冲的峰值幅度为100±0.5 IRE，半幅度宽度为250±10ns。

12.5T色度脉冲的峰值幅度为100±0.5 IRE，半幅度宽度为1562.5±50ns。

5级调制阶梯信号包含5级亮度，亮度上叠加有相对于色同步信号相位为0°±1°的40±0.5 IRE的副载波。每个调制包包络的上升和下降时间为400±25ns。

NTC-7复合测试信号可以在第17行上提供。

2. PAL制式ITU复合测试信号

ITU（BT.628和BT.473）开发了一种复合测试信号，可以用来测试若干个视频参数，不必再

使用多个测试信号。PAL制式的ITU复合测试信号（如图8-41所示）包含一个白色标志、一个2T脉冲和一个5级调制阶梯信号。

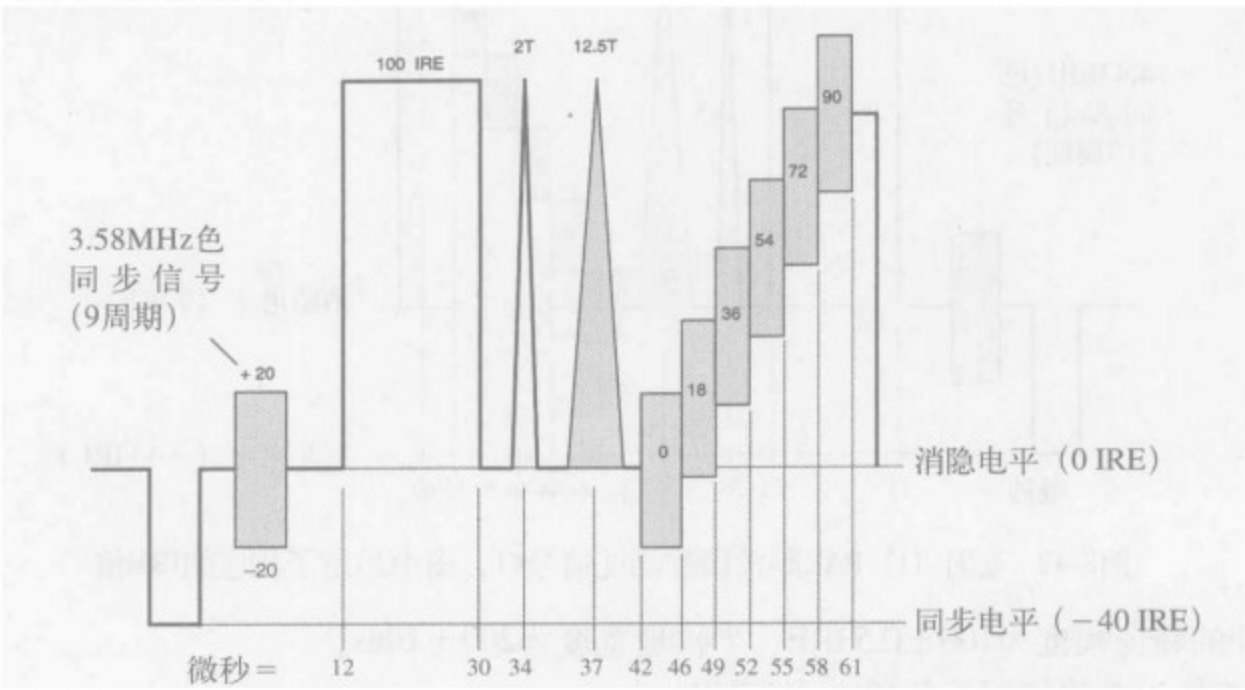


图8-40 NTSC制式NTC-7复合测试信号，图中示范了相应的IRE值

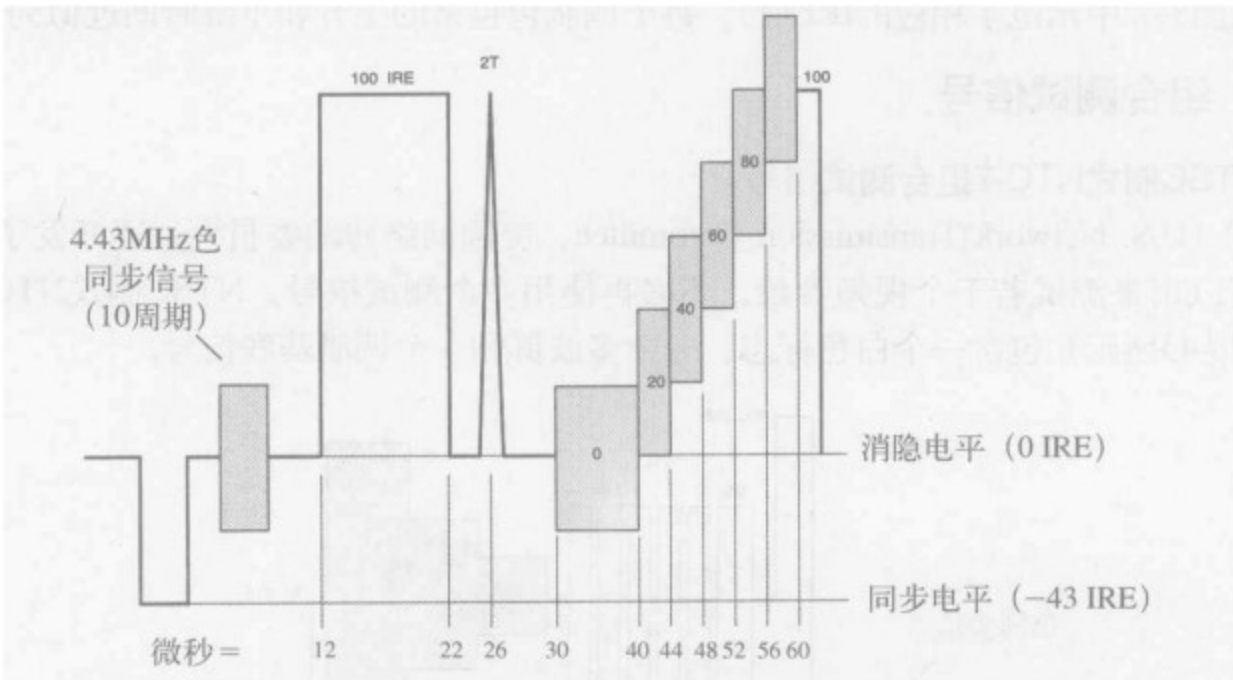


图8-41 PAL制式ITU复合测试信号，图中示范了相应的IRE值

白色标志的峰值幅度为100±1 IRE，宽度为10μs。

2T脉冲的峰值幅度为100±0.5 IRE，半幅度宽度为200±10ns。

5级调制阶梯信号包含5级亮度，亮度上叠加有相对于U色轴相位为60°±1°的42.86±0.5 IRE的副载波（图8-41中示范了相应的IRE值）。每个调制包包络的上升和下降时间近似为1μs。 331

ITU复合测试信号可以在第330行上提供。

❑ 英国复合测试信号

因为10T脉冲要比20T脉冲对延迟误差更加敏感（以牺牲色度带宽为代价），所以英国允许采用一个稍微有所不同的测试信号。合适脉冲宽度的选择是尽可能完全占用PAL制色度带宽和脉冲对延迟误差尽可能敏感之间的折衷。因此，图8-42中的英国国家测试信号（由英国广播公司和英国独立电视管理委员会开发）可以在（I）PAL制式的第19行和332行上提供。

白色标志的峰值幅度为100±1 IRE，宽度为10μs。

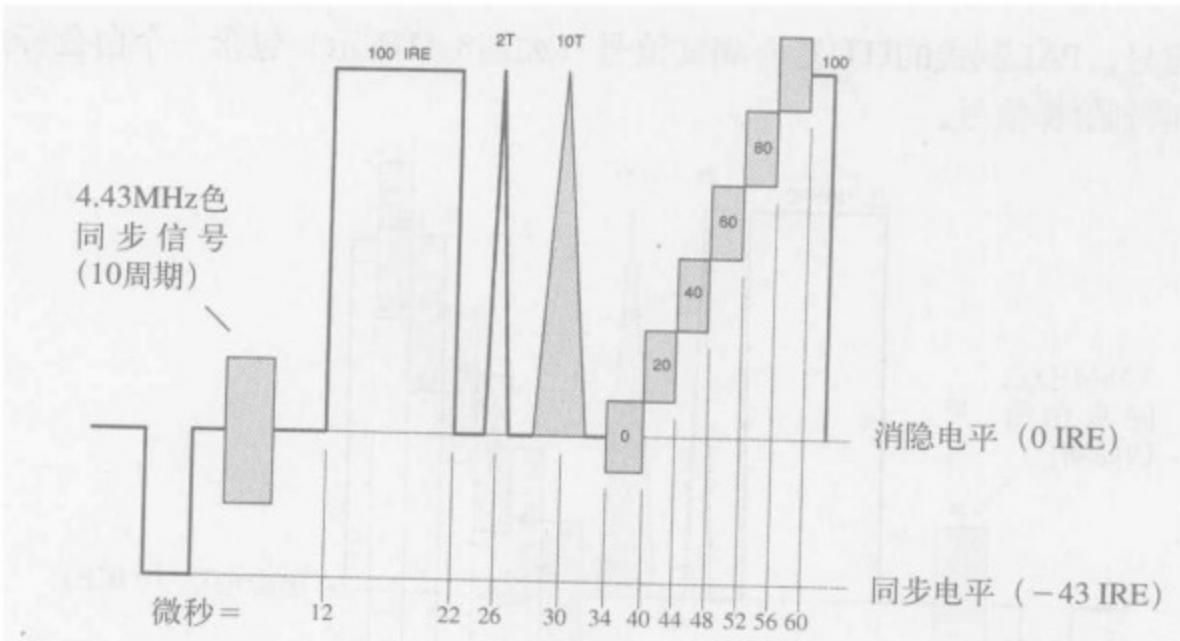


图8-42　英国（I）PAL制式国家测试信号#1，图中示范了相应的IRE值

2T脉冲的峰值幅度为100±0.5 IRE，半幅度宽度为200±10ns。

10T色度脉冲的峰值幅度为100±0.5 IRE。

5级调制阶梯信号包含5级亮度，亮度上叠加有相对于U色轴相位为60°±1°的21.43±0.5 IRE的副载波（图8-42中示范了相应的IRE值）。每个调制包包络的上升和下降时间近似为1μs。

332

8.4.18　组合测试信号

1. NTSC制式NTC-7组合测试信号

NTC（U.S. Network Transmission Committee，美国网络传输委员会）还开发了一种组合测试信号，可以用来测试若干个视频参数，不必再使用多个测试信号。NTSC制式NTC-7组合测试信号（如图8-43所示）包含一个白色标志、一个多波群和一个调制基底信号。

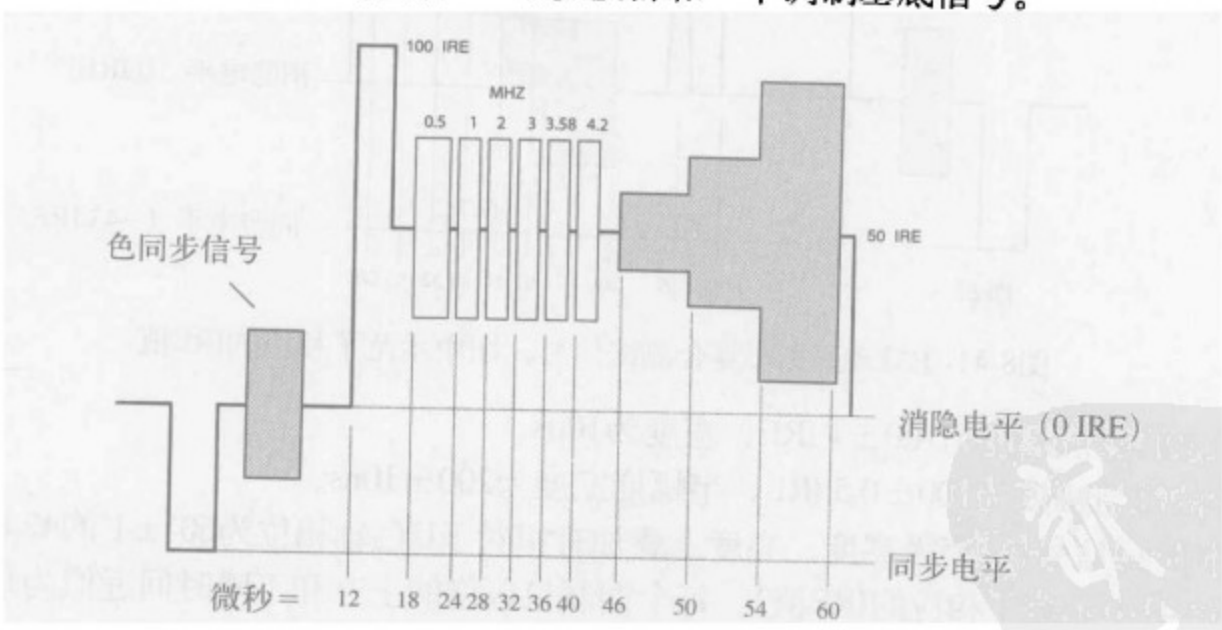


图8-43　NTSC制式的NTC-7组合测试信号

白色标志的峰值幅度为100±1 IRE，宽度为4μs。

多波群的基底为50±1 IRE，峰－峰幅度为50±0.5 IRE。每个频率包的起始点位于0相位。0.5MHz包的宽度为5μs；剩余包的宽度为3μs。

3级调制基底信号包含一个50 IRE亮度基底，叠加有3个相对于色同步信号相位为－90°±1°的调制色度的幅度（峰－峰幅度分别为20±0.5、40±0.5和80±0.5 IRE）。每个调制包包络的上升和

下降时间为400±25ns。

NTC-7组合测试信号可以在第280行上提供。

2. PAL制式ITU组合测试信号

ITU（BT.473）开发了一种组合测试信号，可以用来测试若干个视频参数，不必再使用多个测试信号。PAL制式ITU组合测试信号（如图8-44所示）包含一个白色标志、一个2T脉冲、一个20T调制色度脉冲和一个5级亮度阶梯信号。

333

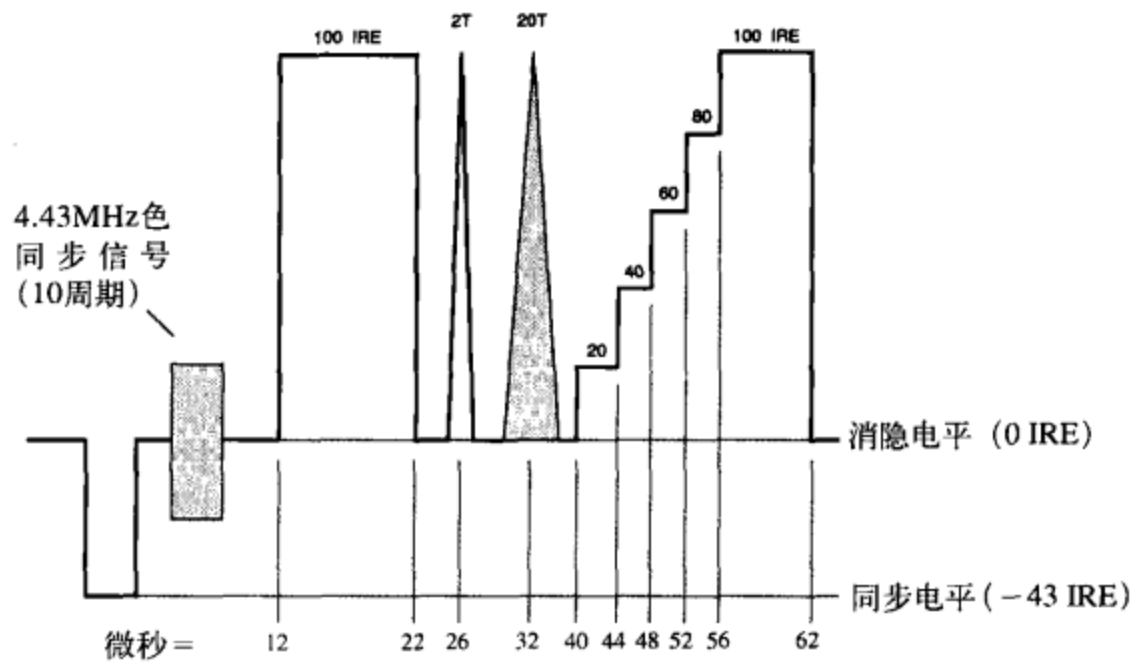


图8-44 PAL制式的ITU组合测试信号

线条信号的峰值幅度为100±1 IRE，宽度为10μs。

2T脉冲的峰值幅度为100±0.5 IRE，半幅度宽度为200±10ns。

20T色度脉冲的峰值幅度为100±0.5 IRE，半幅度宽度为2.0±0.06μs。

5级亮度阶梯信号包含5级分别为20、40、60、80和100±0.5 IRE的亮度。

ITU组合测试信号可以在第17行上提供。

3. PAL制式ITU组合ITS测试信号

ITU（BT.473）开发了一种组合ITS（Insertion Test Signal，插入测试信号）测试信号，可以用来测试若干个PAL制式视频参数，不必再使用多个测试信号。PAL制式ITU组合ITS测试信号（如图8-45所示）包含一个峰－峰幅度分别为20、60和100±1 IRE的3级调制基底和一个峰－峰幅度为60±1 IRE的扩展副载波包。每个副载波包包络的上升和下降时间近似为1μs。每个副载波包的相位相对于U色轴为60°±1°。50 IRE电平上的容限为±1 IRE。

ITU复合ITS测试信号可以在第331行提供。

❑ 英国组合测试信号

英国允许使用稍微有所不同的测试信号，如图8-46所示。英国采用的（I）PAL制式在第20行和第333行上提供该组合测试信号。

该测试信号包含一个50 IRE亮度条，部分叠加有一个相对于U色轴相位为60°±1°的100 IRE副载波，以及一个位于第二半扫描行上的副载波的扩展色同步信号。

334

8.4.19 T脉冲

拥有快速上升时间的方波无法用于测试视频系统，因为带外分量的衰减和相位偏移致使输出信号中存在嗡嗡的响声，使要测量的带内失真模糊。T或者正弦平方脉冲的带宽受限，所以可以

用于测试视频系统。

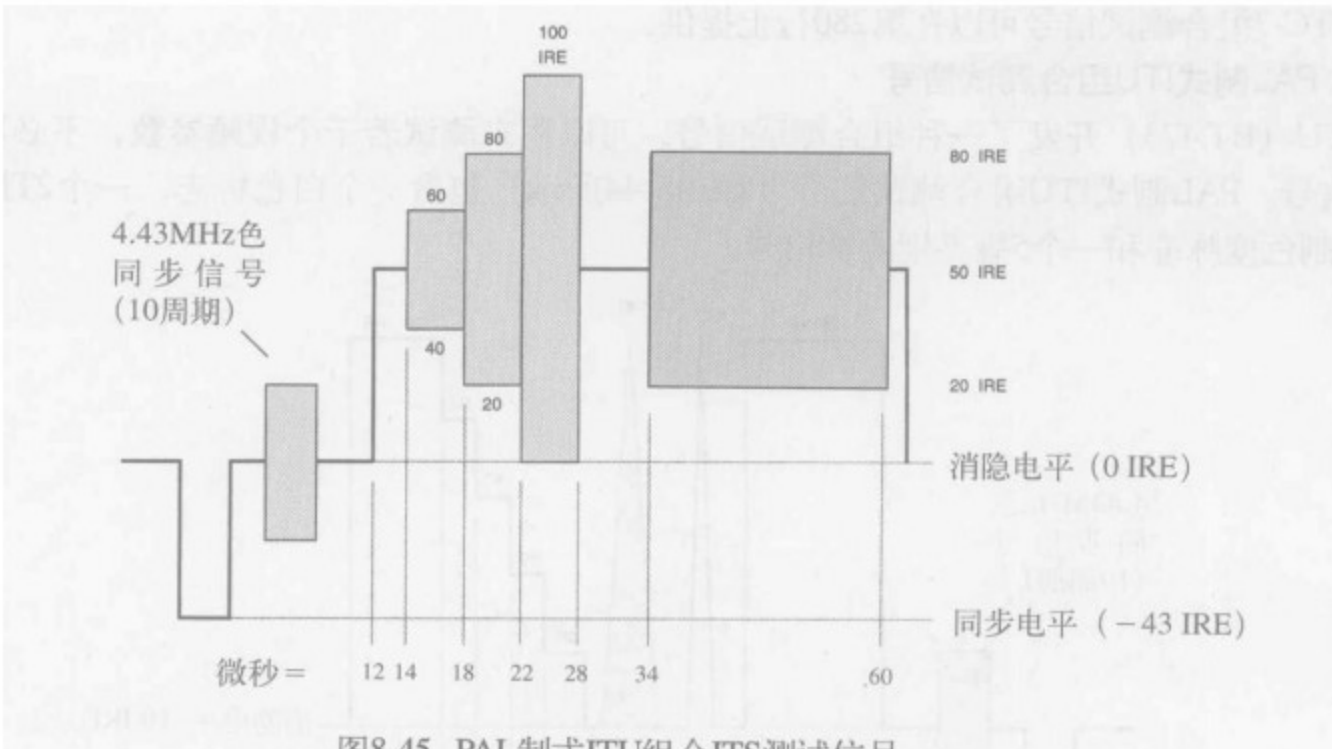
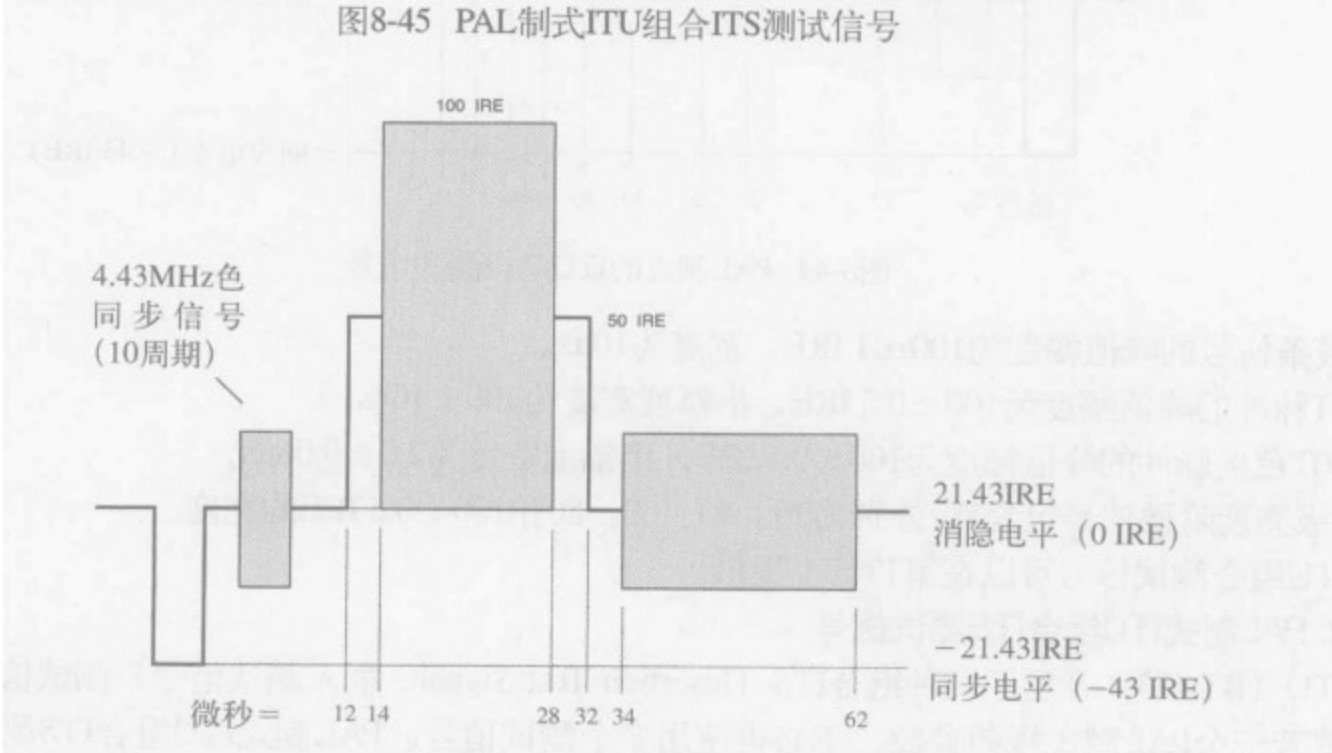


图8-45　PAL制式ITU组合ITS测试信号



335

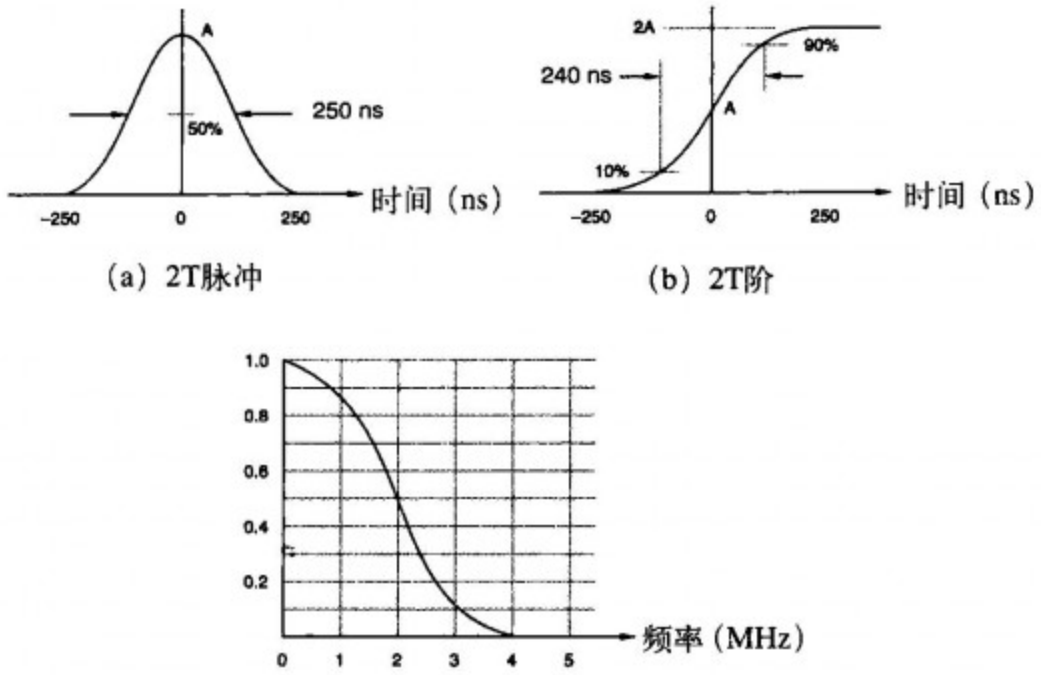
图8-46　英国（I）PAL制式国家测试信号#2

2T脉冲如图8-47所示，它就像T脉冲一样，经半周期余弦波平方计算而得。T脉冲根据半幅宽度（Half Amplitude Duration，HAD）指定，HAD是脉冲幅度50%处的测量脉冲宽度。拥有HAD的脉冲是时间间隔T的倍数，可以用来测试视频系统。如图8-39至图8-44所示，当测试NTSC制式视频系统时，通常使用的是T、2T、12.5T和25T脉冲，而PAL制式视频系统通常使用的是T、2T、10T和20T脉冲。

T是奈奎斯特间隔（Nyquist interval）或者

$1/2F_C$

其中F_C是视频系统的截止频率。对于NTSC制式来说，F_C是4MHz，而对于PAL制式来说，F_C是5MHz。因此，NTSC制式的T是125ns，而PAL制式的T是100ns。对于拥有一个125ns的HAD的T脉冲来说，2T脉冲的HAD为250ns，依此类推。2T脉冲的频谱如图8-47所示，代表典型字符发生器波形的能量含量。



（a）2T脉冲　（b）2T阶

（c）2T脉冲的频谱

图8-47 T脉冲

为了生成大多数视频信号平滑的上升和下降边，通常使用T阶（通过集成T脉冲生成）信号。T阶信号的10%~90%上升/下降时间为0.964T，并且拥有一个界限分明的带宽。2T阶信号由图8-47中所示的2T脉冲生成。 336

12.5T色度脉冲（如图8-48所示）是一个很好的测试信号，可以用来测试任何色度－亮度时序误差，因为它的能量频谱分布聚集在两个相对较窄的带上。通过使用这个信号，可以检测亮度和色度相位失真的差别，但是不能检测其他频率组。

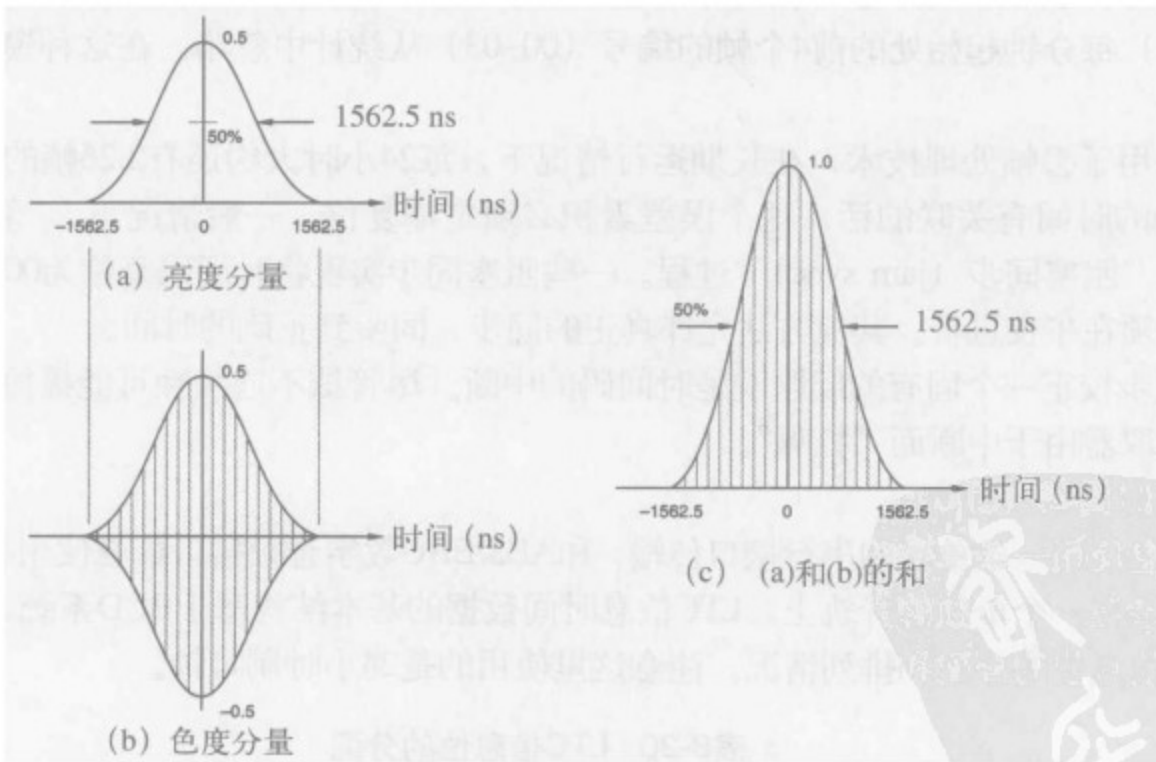


图8-48 12.5T色度脉冲

8.5 VBI数据

VBI（Vertical Blanking Interval，场消隐期，也叫场逆程）数据可以插入到有效图像区域的最高大约5个扫描行上，从而确保它不会被替换VBI的设备、删除VBI的DSS MPEG或者插入自己

VBI数据的有线电视系统删除。这是尼尔逊（Neilson）和其他确保它们的节目和商业跟踪数据通过布线系统到达接收机的常见做法。在大多数情况下，VBI数据是不可见的，因为它被电视机的过扫描遮蔽。

8.5.1　时间码

较常使用的时间编码有两种，由ANSI/SMPTE 12M和IEC 461定义：纵向时间码（Longitudinal Time Code，LTC）和垂直消隐期时间码（Vertical Interval Time Code，VITC）。

337

LTC在单独的音轨上记录；因此，模拟VCR必须使用高带宽的放大器和音频磁头。这是因为时间码频率随着磁带速度的增加而增加，直至系统的频率响应导致产生无法可靠读取的失真时间码信号。随着磁带速度的降低，时间码频率也降低，直至在特别慢的磁盘速度或者停止图像情况下时间码信息再也无法获取到。

VITC作为视频信号的一部分记录；因此，无论磁带的速度是多少，时间码信息总是可用。但是，LTC允许在不写入视频信号的情况下就可以写入时间码信号；如果时间码信息需要变化，VITC要求视频信号也要变化。因此LTC对于同步多个音频或者音/视频源非常有用。

1. 丢帧

如果场频是每秒60/1.001场，那么直接按每秒60场统计就会产生这样一种错误，即每运行一小时要多统计108帧。这种问题的处理方法有以下3种。

非丢帧（nondrop frame）：在一个连续记录期间，每次统计增加1帧。在这种模式中，丢帧标志为0。

丢帧（drop frame）：为了最小化时序误差，除了第00、10、20、30、40和50分钟，其他分钟处每分钟起始点处的前两个帧的编号（00和01）从统计中忽略。在这种模式中，丢帧标志为1。

（M）PAL的丢帧：为了最小化时序误差，除了第00、20和40分钟，其他分钟处每两分钟（偶数分钟编号）每分钟起始处的前4个帧的编号（00~03）从统计中忽略。在这种模式中，丢帧标志为1。

即便采用了丢帧处理技术，在长期运行情况下，每24小时大约还有2.26帧的长期误差。如果它们与正确的时间有关联的话，这个误差累积必须定期复位。一般情况下，“复位到真实时间”指的是一个“阻塞同步（jam sync）”过程。一些阻塞同步实现将时间码复位为00：00：00.00，因此，复位必须在午夜进行。其他方法允许真正的同步，同步到正确的时间。

阻塞同步校正一个固有的问题就是时间码的中断。尽管该不连续性可能极短，但是它可能导致时间码读取器由于中断而“打嗝”。

2. 纵向时间码（LTC）

LTC信息使用一条单独的串行接口传输，和AES/EBU数字音频接口标准使用相同的电子接口，LTC信息记录在一个单独的音轨上。LTC信息时间数据的基本结构基于BCD系统。表8-20和表8-21列举了LTC信息位的分配和排列情况。注意这里使用的是24小时制时钟。

表8-20　LTC信息位的分配

位	功　能	注　释	位	功　能	注　释
0~3	帧的个位		58	标志5	注5
4~7	用户组1		59	标志6	注6
8~9	帧的十位		60~63	用户组8	
10	标志1	注1	64	同步位	固定“0”
11	标志2	注2	65	同步位	固定“0”

（续）

位	功　能	注　释	位	功　能	注　释
12~15	用户组2		66	同步位	固定“1”
16~19	秒的个位		67	同步位	固定“1”
20~23	用户组3		68	同步位	固定“1”
24~26	秒的十位		69	同步位	固定“1”
27	标志3	注3	70	同步位	固定“1”
28~31	用户组4		71	同步位	固定“1”
32~35	分钟的个位		72	同步位	固定“1”
36~39	用户组5		73	同步位	固定“1”
40~42	分钟的十位		74	同步位	固定“1”
43	标志4	注4	75	同步位	固定“1”
44~47	用户组6		76	同步位	固定“1”
48~51	小时的个位		77	同步位	固定“1”
52~55	用户组7		78	同步位	固定“0”
56~57	小时的十位		79	同步位	固定“1”

注：

1. 丢帧标志。525行和1125行系统：如果存在丢帧编号，为1；如果没有丢帧，为0。625行系统：0。
2. 彩色帧标志。525行系统：如果偶帧个位编号标记场1和场2，奇帧个位编号标记场3和场4，为1。625行系统：如果时间码根据8场序列锁定到视频信号并且视频信号拥有“优选行同步副载波相位（subcarrier-to-line-sync phase）”，为1。1125行系统：0。
3. 525行和1125行系统：相位校正。这个位应该设置一个状态，从而每80比特的字就包含一个偶数0。625行系统：二进制组标志0。
4. 525行和1125行系统：二进制组标志0。625行系统：二进制组标志2。
5. 二进制组标志1。
6. 525行和1125行系统：二进制组标志2。625行系统：相位校正。这个位应该设置一个状态，从而每80bit的字就包含一个偶数0。

表8-21　LTC信息位的排列

帧（525行和1125行系统计数0~29，625行系统计数0~24）	
帧的个位（位0~3）	4位BCD（计数0~9）；位0是LSB
帧的十位（位8~9）	2位BCD（计数0~2）；位8是LSB
秒	
秒的个位（位16~19）	4位BCD（计数0~9）；位16是LSB
秒的十位（位24~26）	3位BCD（计数0~5）；位24是LSB
分钟	
分钟的个位（位32~35）	4位BCD（计数0~9）；位32是LSB
分钟的十位（位40~42）	3位BCD（计数0~5）；位40是LSB
小时	
小时的个位（位48~51）	4位BCD（计数0~9）；位48是LSB
小时的十位（位56~57）	2位BCD（计数0~2）；位56是LSB

❑ LTC时序

这里采用以下调制技术：传输发生在每个比特周期（bit period）的起始点。当从比特起始点的半比特周期处开始第二次传输时表示1。当比特周期内没有传输时表示0。（参见图8-49）。信号的峰－峰幅度为0.5~4.5V，上升和下降时间为40±10μs（10%~90%幅度点）。

因为整个帧时间用于生成80bit的LTC信息，所以比特率（bit/s）可以由下式计算：

$F_C = 80F_V$

其中F_V是垂直场帧频，单位是帧/秒。80比特的时间码信息串行输出，第0比特首先输出。LTC字占用整个帧时间，数据必须在这个时间内平均分布。对于525行系统，LTC字的起始点位于第5±1.5行的开头；对于625行系统，LTC字的起始点位于第2±1.5行的开头；而对于1125行系统，LTC字的起始点位于帧的垂直同步时序基准±1行处。

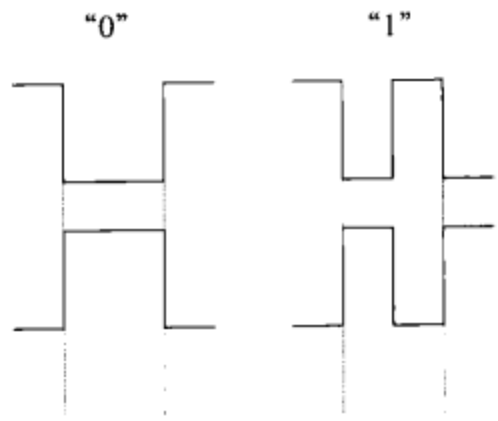


图8-49　LTC数据比特传输格式

3. 垂直消隐期时间码（VITC）

VITC在两场的视频信号垂直消隐期中记录。因为它和视频一起记录，所以可以在静止模式中读取。但是，它不能重录[或者重分条（restriped）]。重分条要求重新配音，删除并插入一个新的时间码。对于YPbPr和S-video接口，VITC在Y信号上提供。对于模拟RGB接口，VITC在全部3个信号上提供。

和LTC一样，VITC时间数据的基本结构也基于BCD系统。表8-22和表8-23列举了VITC信息位的分配和排列情况。注意这里使用的是24小时制时钟。

表8-22　VITC信息位的分配

位	功　能	注　释	位	功　能	注　释
0	同步位	固定"1"	42~45	分钟的个位	
1	同步位	固定"0"	46~49	用户组5	
2~5	帧的个位		50	同步位	固定"1"
6-9	用户组1		51	同步位	固定"0"
10	同步位	固定"1"	52~54	分钟的十位	
11	同步位	固定"0"	55	标志4	注4
12~13	帧的十位		56~59	用户组6	
14	标志1	注1	60	同步位	固定"1"
15	标志2	注2	61	同步位	固定"0"
16~19	用户组2		62~65	小时的个位	
20	同步位	固定"1"	66~69	用户组7	
21	同步位	固定"0"	70	同步位	固定"1"
22~25	秒的个位		71	同步位	固定"0"
26~29	用户组3		72~73	小时的十位	
30	同步位	固定"1"	74	标志5	注5
31	同步位	固定"0"	75	标志6	注6
32~34	秒的十位		76~79	用户组8	
35	标志3	注3	80	同步位	固定"1"
36~39	用户组4		81	同步位	固定"0"
40	同步位	固定"1"	82~89	CRC组	
41	同步位	固定"0"			

注：

1. 丢帧标志。525行和1125行系统：如果存在丢帧编号，为1；如果没有丢帧，为0。625行系统：0。
2. 彩色帧标志。525行系统：如果偶帧个位编号标记场1和场2，奇场个位编号标记场3和场4，为1。625行系统：如果时间码根据8场序列锁定到视频信号并且视频信号拥有"优选行同步副载波相位"，为1。1125行系统：0。
3. 525行系统：场标志。场1和场3期间为0，场2和场4期间为1。625行系统：二进制组标志0。1125行系统：场标志。场1期间为0，场2期间为1。
4. 525行和1125行系统：二进制组标志0。625行系统：二进制组标志2。
5. 二进制组标志1。
6. 525行和1125行系统：二进制组标志2。625行系统：场标志。场1、3、5和7期间为0。场2、4、6和8期间为1。

表8-23 VITC信息位的排列

帧（525行和1125行系统计数0~29，625行系统计数0~24）	
帧的个位（位2~5）	4位BCD（计数0~9）；位2是LSB
帧的十位（位12~13）	2位BCD（计数0~2）；位12是LSB
秒	
秒的个位（位22~25）	4位BCD（计数0~9）；位22是LSB
秒的十位（位32~34）	3位BCD（计数0~5）；位32是LSB
分钟	
分钟的个位（位42~45）	4位BCD（计数0~9）；位42是LSB
分钟的十位（位52~54）	3位BCD（计数0~5）；位52是LSB
小时	
小时的个位（位62~65）	4位BCD（计数0~9）；位62是LSB
小时的十位（位72~73）	2位BCD（计数0~2）；位72是LSB

❑ VITC循环冗余检验

VITC信息中保留了8位（82~89）用于码字错误检查，错误检查通过循环冗余检验。生成多项式(x^8+1)，可以应用于所有位［从0到81（包括0和81）］。图8~50描述了使用一个移位寄存器的多项式的实现。在时间码数据通路中，多路复用器位于位置0，在移位寄存器计算CRC值时同步输出数据。在所有的时间码数据输出之后，移位寄存器就包含CRC值，然后将多路复用器切换到位置1，从而使CRC值输出。当在解码过程中重复这一过程时，如果没有错误发生，移位寄存器所包含的值应该都为0。

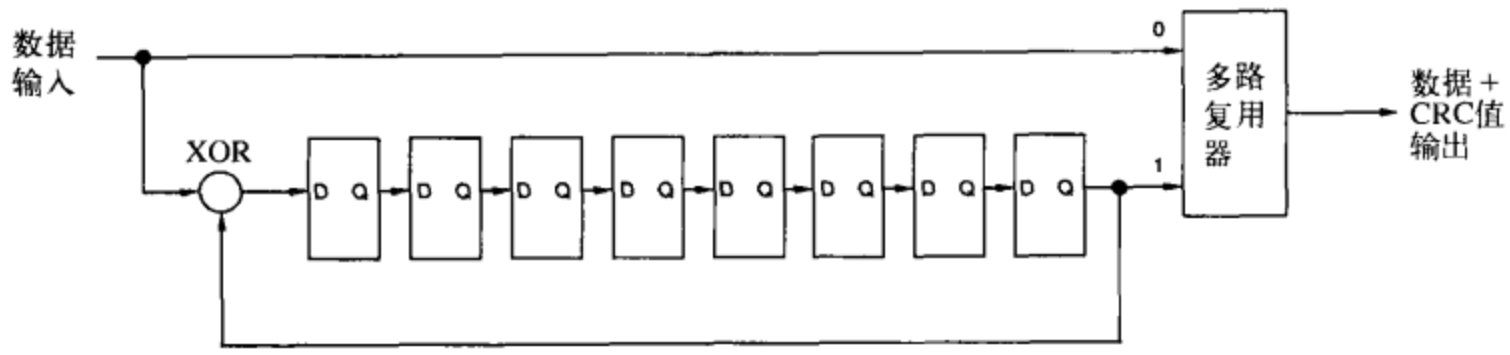


图8-50 VITC信息CRC值的生成

❑ VITC时序

这里采用的调制技术是每个状态对应一个二进制状态，仅当邻接位有从1到0或者从0到1的转换时，状态才会发生转变。当邻接位包含相同的数据时，没有转变发生。这通常称为“不归零制(non-return to zero，NRZ)”。同步比特对插入到VITC数据中，帮助接收机维护正确的频率锁定(frequency lock)。

比特率（F_C）定义如下：

$F_C=115F_H\pm2\%$

其中F_H是水平频。90bit的时间码信息串行输出，第0位首先输出。对于625i（576i）系统来说，第19行和第332行（或者第21行和第334行）通常用于VITC。对于525i（480i）系统来说，通常使用第14行和第277行。对于1125i（1080i）系统来说，通常使用第9行和第571行。尽管VITC信息可以使用每一场上的任意两个非连续的扫描行，但是为了防止VITC信息的漏失，还可以在后面的两

个扫描行上提供它。

图8-51描述了扫描行上VITC数据的时序。VITC数据必须平均地分布在VITC字中。VITC信息位的数据的10%~90%上升和下降时间在通过下游的色度电路添加到视频中之前应该为200±50ns（525i和625i系统），或者100±25ns（1125i系统），以避免VITC信号可能失真。在大多数环境中，视频D/A转换器之后的模拟低通滤波器应该有能力胜任滤波任务。

339～341

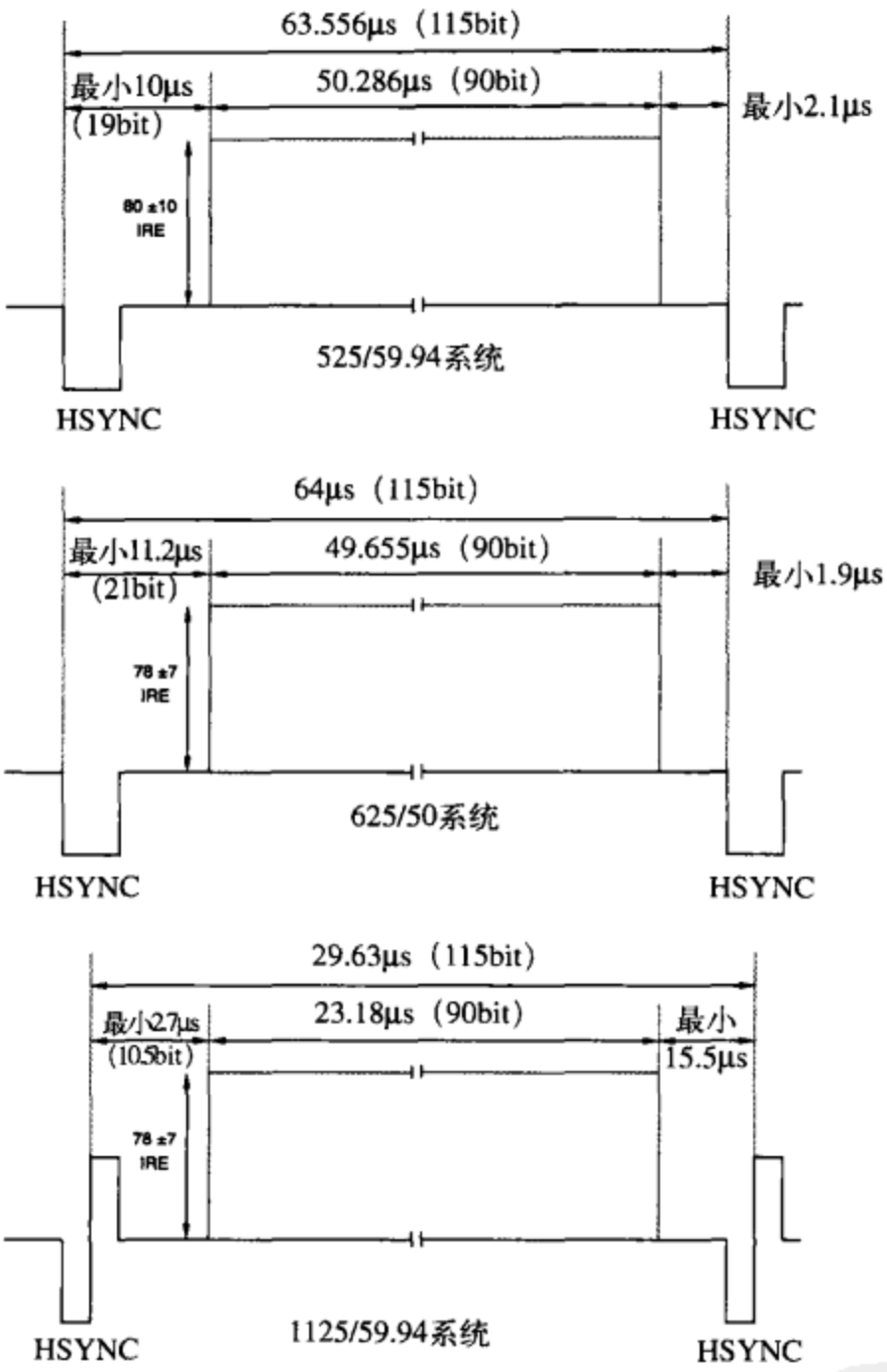


图8-51　VITC位置和时序

4. 用户位

二进制组标志（Binary Group Flag，BGF）的各位如表8-24所示，指定了32个用户位的内容。32个用户位分成8组，每组4 bit。

表8-24　LTC和VITC二进制组标志（BGF）位定义

用户位内容	外部时钟的时间码参考	BGF2	BGF1	BGF0
用户自定义	否	0	0	0
8位字符集[1]	否	0	0	1
用户自定义	是	0	1	0
保留	未分配	0	1	1

（续）

用户位内容	外部时钟的时间码参考	BGF2	BGF1	BGF0
日期和时区[3]	否	1	0	0
页/行[2]	否	1	0	1
日期和时区[3]	是	1	1	0
页/行[2]	是	1	1	1

注：1. 遵循ISO/IEC 646或者2022。

2. 在SMPTE 262M中描述。

3. 在SMPTE 309M中描述。参见表8-25至表8-27。

用户位的目的是为了用户存储数据。如果通过二进制组标志指定按用户自定义方式分配，那么32位可以按任意的方式分配，不受任何限制。

如果二进制组标志指定了一个遵循ISO/IEC 646或者2022的8位字符集，那么字符按照图8-52所示插入。注意一些用户位在二进制组标志解码之前解码，因此，解码器必须在任何处理完成之前存储早先的用户数据。

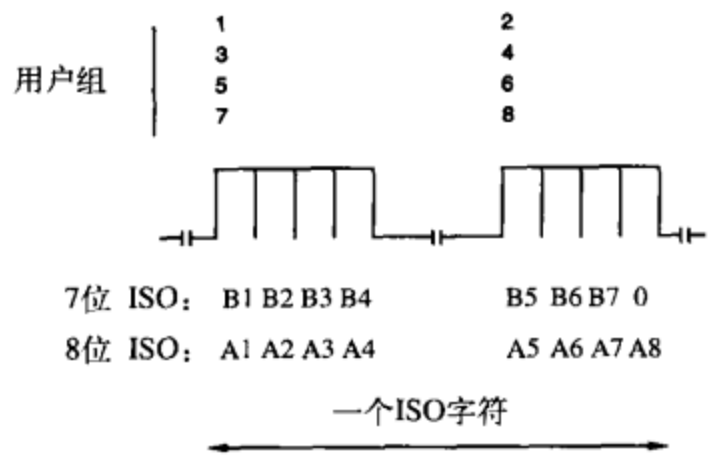


图8-52 使用二进制组描述7位或8位编码的ISO字符

当用户组用于传送时区和日期信息时，用户组7和8在剩余6个用户组中指定时区和日期的格式，如表8-25和表8-27所示。日期可以是6位数字YYMMDD的格式（表8-26），也可以是6位数字的改进儒略日[①]（Julian date）（MJD），这由MJD标志指定。

表8-25 日期和时区格式编码

用户组8				用户组7			
位3	位2	位1	位0	位3	位2	位1	位0
MJD标志	0	时区偏移码0x00-0x3F					

注：MJD标志：0＝YYMMDD格式，1＝MJD格式。

表8-26 YYMMDD日期格式

用户组	分配	值	描述
1	D	0~9	日的个位
2	D	0~3	日的十位

① 计算机系统中的日历表示法，采用年和一年中经过的天数表示，例如96年3月18日写成96.78。

（续）

用户组	分配	值	描述
3	M	0~9	月的个位
4	M	0、1	月的十位
5	Y	0~9	年的个位
6	Y	0~9	年的十位

表8-27　时区偏移编码

代码	小时	代码	小时	代码	小时
00	UTC	16	UTC+10.00	2C	UTC+09.30
01	UTC-01.00	17	UTC+09.00	2D	UTC+08.30
02	UTC-02.00	18	UTC+08.00	2E	UTC+07.30
03	UTC-03.00	19	UTC+07.00	2F	UTC+06.30
04	UTC-04.00	1A	UTC-06.30	30	TP-1
05	UTC-05.00	1B	UTC-07.30	31	TP-0
06	UTC-06.00	1C	UTC-08.30	32	UTC+12.45
07	UTC-07.00	1D	UTC-09.30	33	保留
08	UTC-08.00	1E	UTC-10.30	34	保留
09	UTC-09.00	1F	UTC-11.30	35	保留
0A	UTC-00.30	20	UTC+06.00	36	保留
0B	UTC-01.30	21	UTC+05.00	37	保留
0C	UTC-02.30	22	UTC+04.00	38	用户自定义
0D	UTC-03.30	23	UTC+03.00	39	未知
0E	UTC-04.30	24	UTC+02.00	3A	UTC+05.30
0F	UTC-05.30	25	UTC+01.00	3B	UTC+04.30
10	UTC-10.00	26	保留	3C	UTC+03.30
11	UTC-11.00	27	保留	3D	UTC+02.30
12	UTC-12.00	28	TP-3	3E	UTC+01.30
13	UTC+13.00	29	TP-2	3F	UTC+00.30
14	UTC+12.00	2A	UTC+11.30		
15	UTC+11.00	2B	UTC+10.30		

8.5.2　CEA-608隐藏字幕

本节回顾美国为听力损伤者提供的CEA-608隐藏字幕（closed captioning）。隐藏字幕和文本在第21行和第284行的消隐有效行时间期间传送。但是，由于视频编辑，它们偶尔可能位于第21~25行和第284~289行上的任何一行上。

342~346

扩展数据服务（extended data service，XDS）包也可以在第284行的消隐有效行时间期间传送。XDS包可以表示节目名称、放映时间、剩余时间等信息。

注意由于编辑在传输之前，所以字幕信息有可能偶尔会向下移一个或者两个扫描行。因此，为了获取字幕信息，字幕解码器应该监视的不止第21行和第284行。

1. 波形

两行的数据格式都包含一个时钟插补（run-in）信号、一个起始位和两个7位的ASCII数据加上ASCII数据的奇偶校验字（根据X3.4-1967）。对于YPbPr和S-video接口，字幕在Y信号上提供。对于模拟RGB接口，字幕在绿色通道上提供，幅度为复合信号或者Y信号的1.7倍。

图8-53描述了传送隐藏字幕和XDS信息的波形和时序信息，它遵循CEA-608。时钟插补信号是一个相对于字幕数据频率锁定和相位锁定的7周期的正弦色同步信号，用来为解码器提供同步信号。时钟插补信号的标称数据速率为$32\times F_H$。但是，解码器不应该依赖于这种时序关系，因为视频处理电路和VCR可能会引入水平时序的变化。在时钟插补信号之后，维护了两个数据位同期的消隐电平，后面跟着一个起始位1。起始位后面是16 bit的数据，包括两个7 bit的ASCII字符和两个ASCII字符的奇校验。字幕数据使用不归零制（Non-Return-to-Zero，NRZ）码传送；1对应于50±2 IRE的电平，0对应于消隐电平（0~2 IRE）。时钟的反向交叉与数据位传送相关。

347 ~ 348

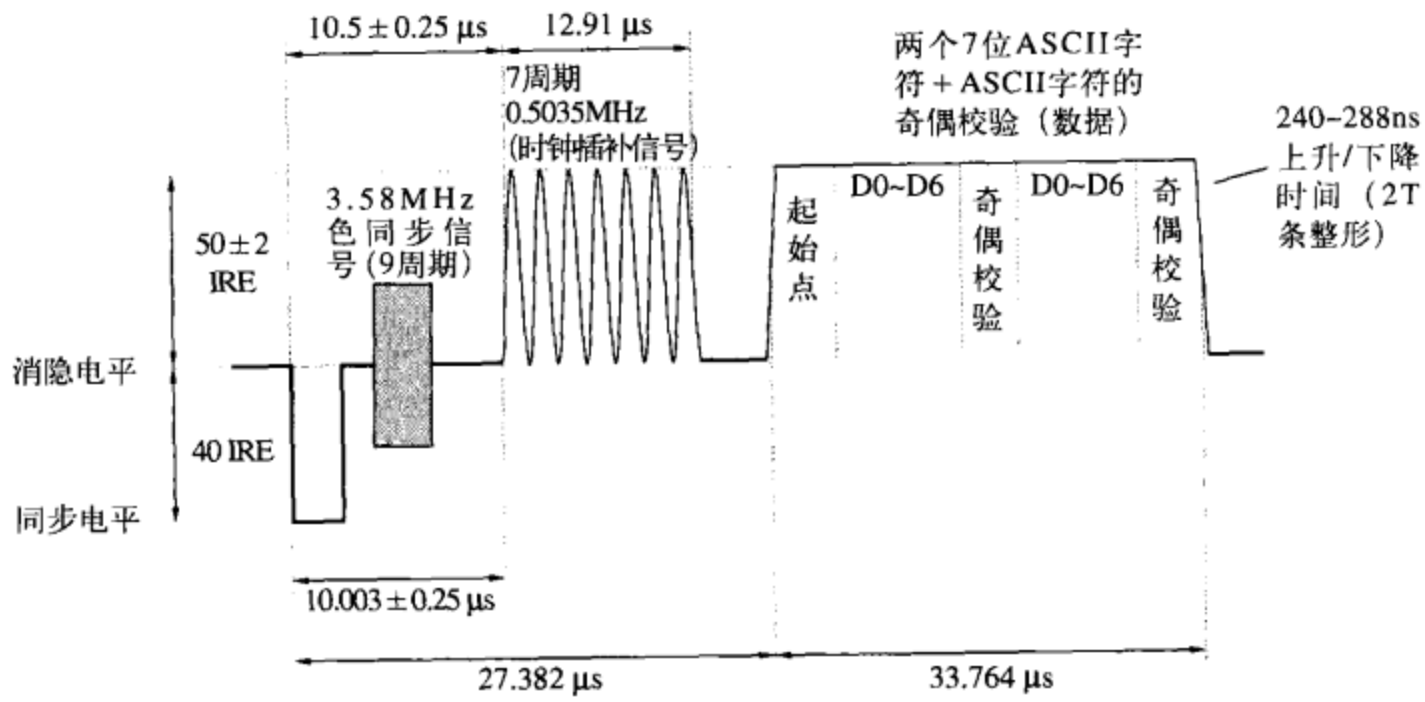


图8-53 525行系统第21行和第284行隐藏字幕时序

典型的解码器指定同步信号50%位置处和时钟插补信号之间的时间为10.5±0.5μs，容限为F_H的±3%，位1代表50±12 IRE，位0代表−2至+12 IRE。解码器还必须处理240~480ns的位上升/下降时间。

当不传送显示或控制字符时，应该发送NUL字符（0x00）。这个字符和时钟插补信号结合在一起，允许解码器确定执行的是字幕传送还是文本传送。

如果只使用第21行，那么时钟插补信号和数据不需要在第284行上提供。但是，如果只使用第284行，那么时钟插补信号和数据应该在第21行和第284行上都提供；第21行上的数据将包含NUL字符。

在解码器上，如图8-54所示，525行4：3隔行显示的显示区域通常有15排高和34列宽。显示区域垂直方向从第43行和第306行开始，在第237行和第500行上结束。显示区域水平方向从13μs开始，到58μs结束，与水平同步信号的前沿（leading edge）一致。

在文本模式中，所有的排都用于显示文本；每排最多包含32个字符，文本的左边和右边至少要有一列宽度的空间。唯一的透明区域就是文本区域的外围。

在字幕模式中，文本通常只显示在第1~4排或者第12~15排上；剩余排通常是透明的。每排最多包含32个字符，文本的左边和右边至少要有一列宽度的空间。

一些字幕解码器支持每排多达48列，最多16排，允许对字幕数据的显示进行一些定制。

2. 基本服务

基本服务有两种类型：文本模式（一种与节目通常不相关的数据服务）和字幕。

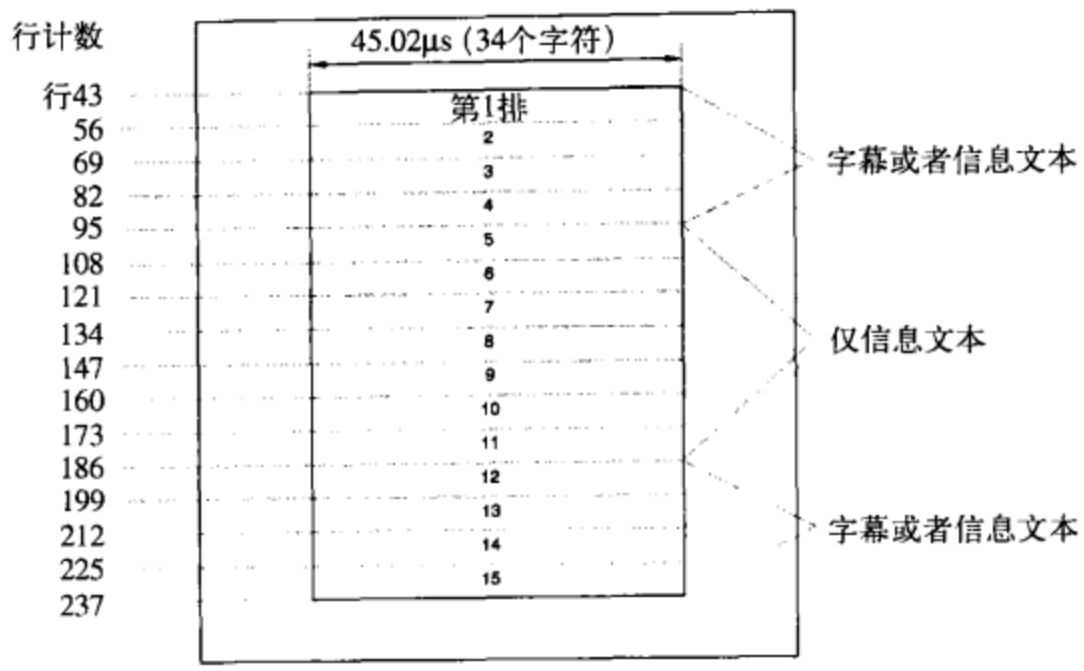


图8-54　隐藏字幕显示格式

在理解解码器运行的过程中，很容易联想一个标识下一个字符显示位置的不可见光标。但是请大家注意，如果您正在设计解码器，您应该获取最新的CEA-608规范，确保运行正确，因为本节只是一个简单的概述。

❑ 文本模式

基于实时滚动的文本模式使用显示器的7~15排进行显示，允许接收“恢复文本显示（Resume Text Display）”或者“文本重新启动（Text Restart）”代码。当选择文本模式时，文本存储器是空的，光标位于最顶端那一排的第1个字符位置上。一旦所有排都显示了文本，则启动文本滚动。

当接收到回车信号时，最顶端的那一排文本就被擦除，剩余文本平滑地向上滚动一行（通过12~26场使用6~13个均匀步），最底部那一排文本也被擦除，光标移到最底部那一排文本的第1个字符位置上。如果在滚动时接收到新的文本，就可以看到文本在显示区域从底部向上滚动。如果在滚动过程中接收到回车信号，那么各排立即向上移动一排，到达它们的最终位置上。

349　一旦光标移动到某排上的第32个字符上，在回车、前导地址码（preamble address code）或者退格之前接收到的任何文本，都将显示在第32个字符位置处，取代这个位置上以前的字符。“文本重新启动”命令将擦除显示器上的所有字符，并将光标移向首排第1个字符的位置上。

解码器还可以有选择地实现额外的实时显示方法，并且可以通过观众控制使用。

❑ 字幕模式

字幕模式有几种可用的模式，包括卷积（roll-up）、弹出（pop-on）和描绘（paint-on）模式。

卷积字幕通过接收一个杂项控制码（miscellaneous control code），从而选择字幕显示的排号来启用该模式。“卷积字幕，2排”启用第14排和第15排显示字幕；“卷积字幕，3排”启用第13~15排显示字幕；“卷积字幕，4排”启用第12~15排。无论启用了多少排来显示字幕，光标一直位于第15排上。一旦第15排满了，这一排文本就向上滚动一排（速度为1点/帧），而光标又移回到第15排的第1个字符上。

弹出字幕模式可以使用第1~4排或者第12~15排显示字幕，该模式通过“恢复字幕加载（Resume Caption Loading）”命令启用。显示存储器实质上是双缓冲的。当显示存储器缓冲器1时，存储器缓冲器2就加载字幕数据。在接收到“字幕结束（End of Caption）”代码时，就显示存储器缓冲器2，同时存储器缓冲器1加载新的字幕数据。

350　描绘字幕模式通过“恢复直接字幕（Resume Direct Captioning）”命令启用，与弹出字幕模式

相似，但是该模式不使用双缓冲策略；字幕数据直接加载到显示存储器中。

字符的格式、位置和属性使用3种类型的控制码[前导地址码、排中码（midrow code）和杂项控制码]指定。每个控制码包含两个字节，一起在第21行或第284行上传送。在第21行上，通常连续传送它们两次，以确保正确接收。但是在第284行上没有传送两次，从而使字幕使用的带宽最小。

控制码的第一个字节是非显示控制字节，范围从0x10到0x1F；第二个字节是一个显示控制字节，范围从0x20到0x7F。在每排的开头，发送一个控制码对这一排进行初始化。字幕卷积和文本模式允许在每排的开头使用前导地址码或者排中码；在其他字幕模式中使用前导地址码对这一排进行初始化。前导地址码如图8-55和表8-28所示。

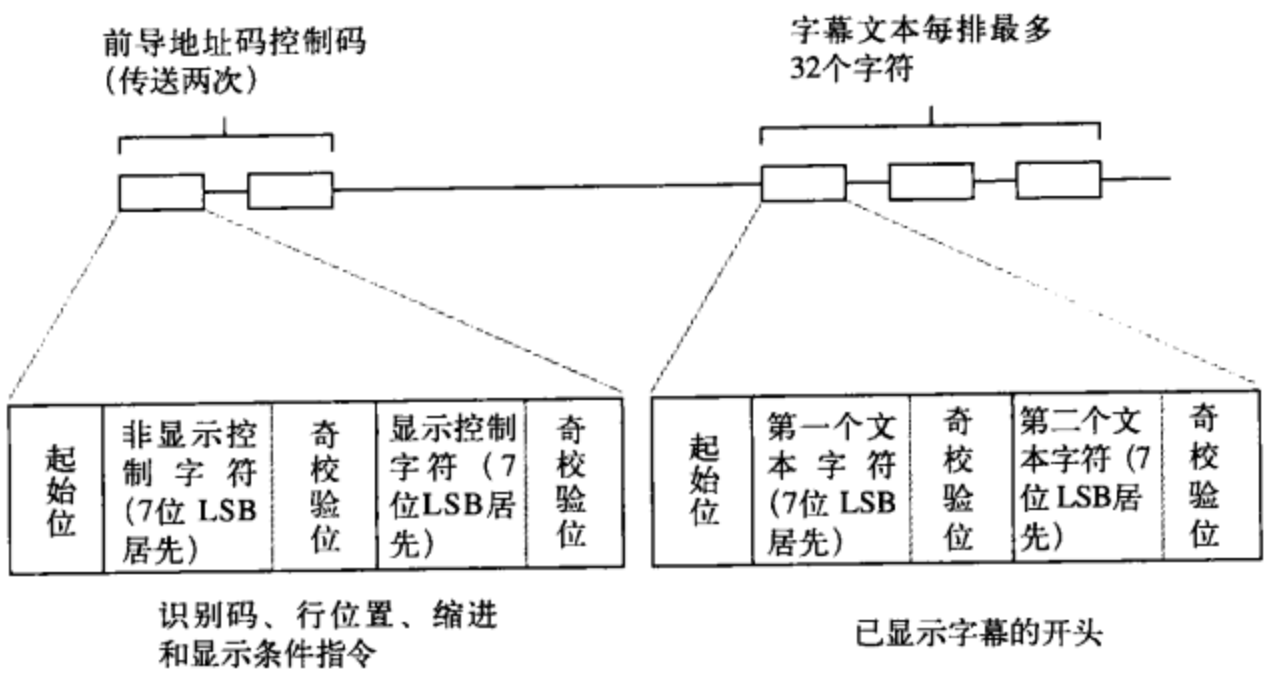


图8-55 隐藏字幕前导地址码格式

表8-28 隐藏字幕前导地址码。在文本模式中，缩进码可以用于执行缩进，在该实例中，忽略了排信息

非显示控制字节							显示控制字节							排位置
D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
0	0	1	CH	0	0	1	1	0	A	B	C	D	U	1
							1	1						2
				0	1	0	1	0						3
							1	1						4
				1	0	1	1	0						5
							1	1						6
				1	1	0	1	0						7
							1	1						8
				1	1	1	1	0						9
							1	1						10
				0	0	0	1	0						11
				0	1	1	1	0						12
							1	1						13
				1	0	0	1	0						14
							1	1						15

注：1. U：0＝没有下划线，1＝有下划线。
2. CH：0＝数据通道1；1＝数据通道2。

（续）

A	B	C	D	属　性
0	0	0	0	白色
0	0	0	1	绿色
0	0	1	0	蓝色
0	0	1	1	青色
0	1	0	0	红色
0	1	0	1	黄色
0	1	1	0	洋红
0	1	1	1	白色斜体
1	0	0	0	缩进0，白色
1	0	0	1	缩进4，白色
1	0	1	0	缩进8，白色
1	0	1	1	缩进12，白色
1	1	0	0	缩进16，白色
1	1	0	1	缩进20，白色
1	1	1	0	缩进24，白色
1	1	1	1	缩进28，白色

排中码通常用在排的中间，用来改变字幕的颜色、斜体、下划线和闪烁属性，而且只能发生在字与字之间。颜色、斜体和下划线属性由前导地址码和排中码控制；闪烁属性由杂项控制码控制。直至接收到另一个控制码，或者到达这一排的末尾，否则属性一直有效。每一排以一个控制码开头，这个控制码用来设置颜色和下划线属性（如果在空白排的第一个字符之前没有接收到控制码，默认为白色没有下划线）。颜色属性只能由另一个颜色的排中码改变；斜体属性的改变不会改变颜色属性。但是，颜色属性可以关闭斜体属性。闪烁命令不会修改颜色、斜体或者下划线属性的状态。但是，颜色或者斜体排中控制码会关闭闪烁属性。注意下划线的颜色与被加上下划线的字符的颜色相同；下划线位于排的第11点上，包含字符列的整个宽度。

351

表8-29、图8-56和表8-30描述了排中和杂项控制码运算指令。例如，如果位于字幕末尾，那么控制码可能是“字幕结束”（传送两次）命令。它的后面可能是一个前导地址码（传送两次），启动另一行字幕。

表8-29　隐藏字幕排中码

非显示控制字节							显示控制字节							属　性
D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
0	0	1	CH	0	0	1	0	1	0	0	0	0	U	白色
										0	0	1		绿色
										0	1	0		蓝色
										0	1	1		青色
										1	0	0		红色
										1	0	1		黄色
										1	1	0		洋红
										1	1	1		斜体

注：1. U：0＝没有下划线，1＝有下划线。
2. CH：0＝数据通道1；1＝数据通道2。
3. 斜体实现为字符的垂直范围向右倾斜两点。一些解码器实现为每4行扫描行倾斜一个点。下划线位于排的第22点和第23点上，包含整个列宽。

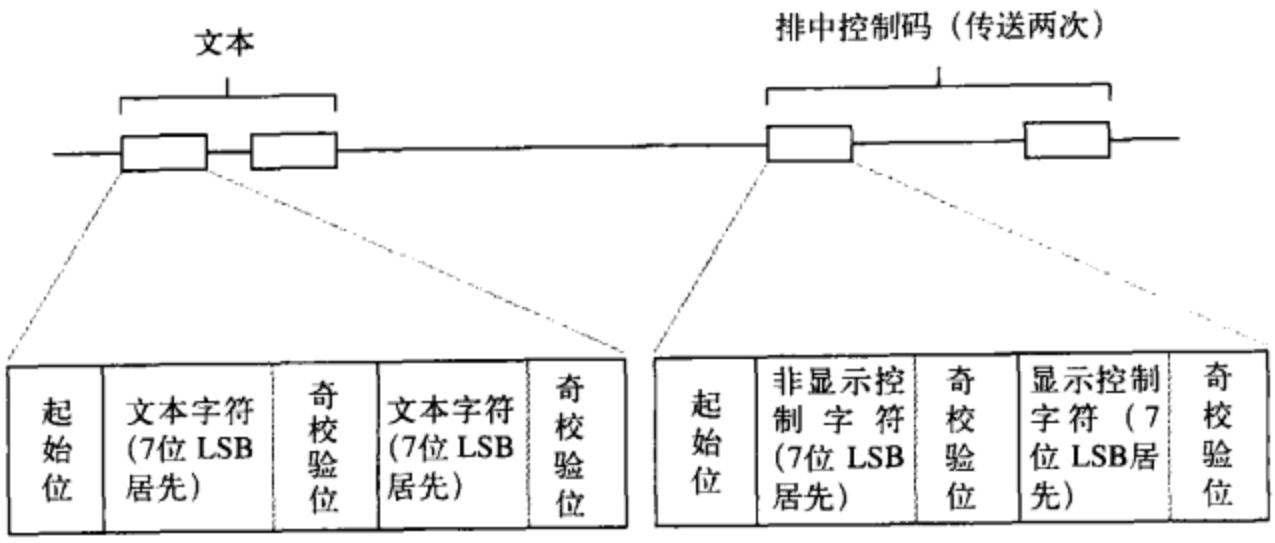


图8-56 隐藏字幕排中码格式。杂项控制码也可以在排中控制码的位置中传送

表8-30 隐藏字幕杂项控制码

非显示控制字节							显示控制字节							命令
D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
0	0	1	CH	1	0	F	0	1	0	0	0	0	0	恢复字幕加载
										0	0	0	1	退格
										0	0	1	0	保留
										0	0	1	1	保留
										0	1	0	0	删除到排尾
										0	1	0	1	卷积字幕，2排
										0	1	1	0	卷积字幕，3排
										0	1	1	1	卷积字幕，4排
										1	0	0	0	闪烁
										1	0	0	1	恢复直接字幕
										1	0	1	0	文本重新启动
										1	0	1	1	恢复文本显示
										1	1	0	0	擦除已显示存储器
										1	1	0	1	回车
										1	1	1	0	擦除未显示存储器
										1	1	1	1	字幕结束（交换存储器）
0	0	1	CH	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	制表偏移（1列）
										0	0	1	0	制表偏移（2列）
										0	0	1	1	制表偏移（3列）

注：1. F：0＝第21行，1＝第284行。CH：0＝数据通道1，1＝数据通道2。

2. 与“闪烁”属性关联的字符每秒闪烁一次，每次0.25秒。

字符使用点矩阵格式显示。每个字符单元通常占用16样本宽和26样本高（16×26），如图8-57所示。每排的第2~19点通常用于实际字符轮廓。每排的第0、1、20、21、24和25点通常是空白的，以提供字符之间的垂直空间，而且下划线通常位于每排的第22点和第23点上。每列的第0、1、14和15点是空白的，以提供字符之间的水平空间，但是当显示下划线时，每排的第22点和第23点除外。这样就可以在字符ROM中存储12×18个字符。表8-31示范了基本的字符集。

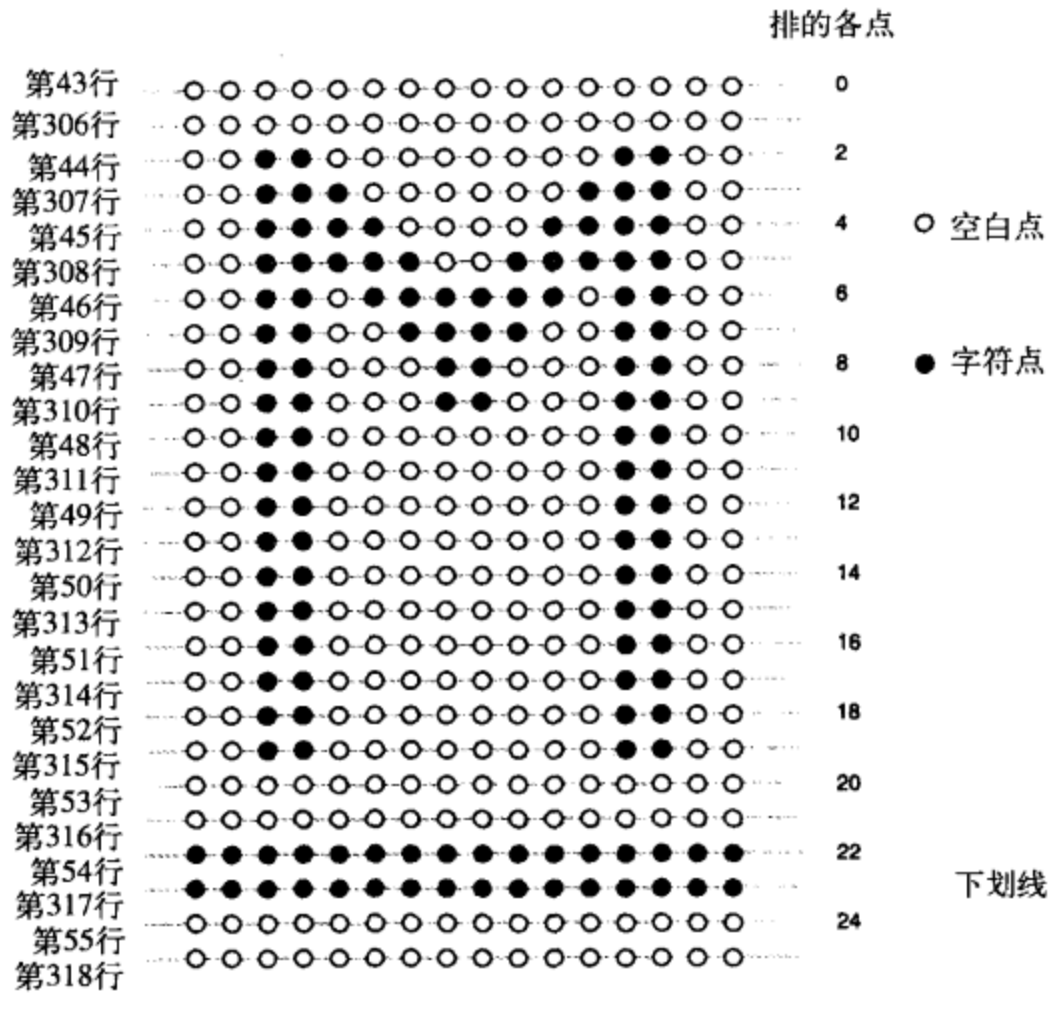


图8-57　第1排的典型16×26隐藏字幕字符单元格式

表8-31　隐藏字幕基本字符集

非显示控制字节							显示控制字节							特殊字符
D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
										0	0	0	0	®
										0	0	0	1	°
										0	0	1	0	1/2
										0	0	1	1	¿
										0	1	0	0	TM
										0	1	0	1	¢
										0	1	1	0	£
0	0	1	CH	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	音乐注释
										1	0	0	0	à
										1	0	0	1	透明空格
										1	0	1	0	è
										1	0	1	1	â
										1	1	0	0	ê
										1	1	0	1	î
										1	1	1	0	ô
										1	1	1	1	û

（续）

D6D5D4D3	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
D2D1D0												
000		(	0	8	@	H	P	X	ú	h	p	x
001	!	)	1	9	A	I	Q	Y	a	i	q	y
010	“	á	2	:	B	J	R	Z	b	j	r	z
011	#	+	3	;	C	K	S	[	c	k	s	ç
100	$	,	4	<	D	L	T	é	d	l	t	÷
101	%	-	5	=	E	M	U	]	e	m	u	Ñ
110	&	.	6	>	F	N	V	í	f	n	v	ñ
111	'	/	7	?	G	O	W	ó	g	o	w	

一些字幕解码器支持多种位于16×26区域内的字符大小，包括13×16、13×24、12×20和12×26。但是，由于可用的有限显示区域，并不是所有的组合都能生成一个切合实际的结果。

3. 可选字幕特征

高级字幕解码器还有3组可选的特征。

❑ 可选属性

高级字幕解码器还提供有额外的颜色选项，如表8-32所示。

表8-32 隐藏字幕可选属性代码

非显示控制字节							显示控制字节							背景属性
D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
0	0	1	CH	0	0	0	0	1	0	0	0	0	T	白色
										0	0	1		绿色
										0	1	0		蓝色
										0	1	1		青色
										1	0	0		红色
										1	0	1		黄色
										1	1	0		洋红
										1	1	1		黑色
0	0	1	CH	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	透明
D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	前景属性
0	0	1	CH	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	黑色
													1	黑下划线

注：1. F：0＝不透明，1＝半透明。

2. CH：0＝数据通道1；1＝数据通道2。

3. 下划线位于每排的第22点和第23点上，包含整个列宽。

352～353

如果解码器不支持半透明颜色，可以使用不透明颜色。如果解码器不支持某个特定的背景颜色，默认为黑色背景颜色。但是，如果解码器支持黑色背景颜色，那么解码器应该实现所有的背景颜色。

背景属性看上去就像显示器上的标准空格，而且直至排结束或者接收到另一个背景属性，否则背景属性保持不变。

前景属性提供一种第八种颜色（黑色）作为字符颜色。和排中码一样，前景属性代码关闭斜

体和闪烁属性，而且最低有效位控制下划线。

背景和前景属性代码拥有一个自动的退格，从而支持当前解码器向后兼容。因此，属性前面必须加上一个标准的空格字符。标准解码器显示空格并忽略该属性。扩展的解码器显示空格，并且在接收到属性时，退后一格，然后显示一个改变了颜色和不透明度的空格。因此，无论解码器是什么类型，文本格式都是相同的。

❑ 可选隐藏组扩展

为了支持当前标准还没有定义的新特征和字符，CEA维护了一组由不同字幕提供商和解码器制造商请求的代码分配。这些代码分配（目前用于选择不同的亚洲字符集）与美国的字幕解码器不兼容，使用它们的视频不应该在美国市场上发布。

354 ~ 357

隐藏组扩展需要2个字节。表8-33列举了支持亚洲语言字幕的隐藏组扩展的当前分配情况。

表8-33　隐藏字幕可选隐藏组扩展

非显示控制字节							显示控制字节							背景属性
D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
0	0	1	CH	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	标准字符集（普通大小）
										0	1	0	1	标准字符集（双字节大小）
										0	1	1	0	第一个专有字符集
										0	1	1	1	第二个专有字符集
										1	0	0	0	中华人民共和国字符集（GB2312）
										1	0	0	1	韩国标准字符集（KSC 5601-1987）
										1	0	1	0	第一个注册字符集

注：CH：0＝数据通道1；1＝数据通道2。

❑ 可选扩展字符

解码器还可以支持另外64个重音字符（8个字符集，每个字符集有8个字符），允许显示其他语言（例如西班牙语、法语、葡萄牙语、德语、丹麦语、意大利语、芬兰语和瑞典语）。如果支持，这些重音字符就可以在所有的字幕和文本模式中使用。

每个扩展的字符都集成一个自动的退格，从而支持当前解码器向后兼容。因此，扩展的字符必须在前面加上标准的ASCII字符。标准解码器显示ASCII字符，并忽略重音字符。扩展的解码器显示ASCII字符，在接收到重音字符时，退后一格，然后显示重音字符。因此，无论解码器是什么类型，文本格式都是相同的。

扩展的字符需要2个字节。第一个字节是数据通道1，值为0x12或者0x13（数据通道2的值为0x1A或0x1B），后面跟一个位于0x20~0x3F之间的值。

358

4. 扩展数据服务

在带宽可用时，第284行可以包含扩展数据服务信息，与字幕和文本信息隔行扫描。在这种情况下，控制码不用再传送2次，因为它们可能是针对字幕和文本服务的。

信息作为包传送，并作为一个独立的独特数据通道。每个包的数据可以是连续的，也可以是不连续的，而且还可以进一步分成子包（subpacket），从而可以插入到第284行信息流中的任何可用空间中。

扩展数据字符有以下4种类型。

控制：控制字符用作一种模式开关，启用扩展数据模式。控制字符是两个字符中的第一个字符，值的范围为0x01~0x0F。

类型：类型字符在控制字符之后（因此，它们是两个字符中的第二个字符），用来指定包的类型。类型字符值的范围为0x01~0x0F。

校验和：校验和字符总是位于“包结束”控制字符之后。因此，校验和字符是两个字符中的第二个字符，值的范围从0x00到0x7F。

信息：这些字符可能是ASCII或非ASCII数据。它们成对传送，包含32个字符。其中NUL字符（0x00）用来确保字符总是成对发送。

❑ *控制字符*

表8-34列举了各种控制码。“当前”类别描述当前正在传送的节目。“未来节目”类别描述稍后传送的节目。它包含的信息和格式与“当前”类别相同。“通道信息”类别描述与节目不相关的有关通道的信息。“杂项”类别描述杂项信息。“公共服务”类别传送公共服务类型的数据或者消息。“私有数据”类别用于电视制式希望拥有的专有系统。

表8-34 CEA-608控制码

控 制 码	功 能	类 别
0x01	启动	
0x02	继续	当前
0x03	启动	
0x04	继续	未来
0x05	启动	通道信息
0x06	继续	
0x07	启动	杂项
0x08	继续	
0x09	启动	公共服务
0x0A	继续	
0x0B	启动	保留
0x0C	继续	
0x0D	启动	私有数据
0x0E	继续	
0x0F	结束	所有

❑ *类型定义（当前类别和未来节目）*

■ 节目标识号（0x01）

这个包使用4个字符来指定一个相对于格林威治标准时间（Coordinated Universal Time，UTC）的预定启动时间和日期。节目标识号的格式如表8-35所示。

表8-35　CEA-608节目标识号格式

D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	字　符
1	m5	m4	m3	m2	m1	m0	分钟
1	D	h4	h3	h2	h1	h0	小时
1	L	d4	d3	d2	d1	d0	日
1	Z	T	m3	m2	m1	m0	月

分钟的范围为0~59。小时的范围为0~23。日的范围为1~31。月的范围为1~12。T表示节目针对山地和太平洋时区（Mountain and Pacific time zone）是否例行磁带延迟。解码器忽略D、L和Z位。当所有的字符都是1时，它表示当前节目的尾部。

■长度/播放时间（0x02）

这个包有2、4或6个字符，表示节目的预定长度和节目的已播放时间。长度/播放时间的格式如表8-36所示。

表8-36　CEA-608长度/播放时间格式

D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	字　符
1	m5	m4	m3	m2	m1	m0	长度，分钟
1	h5	h4	h3	h2	h1	h0	长度，小时
1	m5	m4	m3	m2	m1	m0	已播放时间，分钟
1	h5	h4	h3	h2	h1	h0	已播放时间，小时
1	s5	s4	s3	s2	s1	s0	已播放时间，秒
0	0	0	0	0	0	0	空字符

分钟和秒的范围为0~59。小时的范围为0~63。

■节目名称（0x03）

这个包包含2~32个ASCII字符，指定节目的标题。

■节目类型（0x04）

这个包包含2~32个字符，指定节目的类型。每个字符都编码为一个关键字，如表8-37所示。

表8-37　CEA-608节目类型

代码（十六进制）	关　键　字	代码（十六进制）	关　键　字	代码（十六进制）	关　键　字
20	教育	30	商业	40	幻想
21	娱乐	31	经典	41	农业
22	电影	32	大学	42	时尚
23	新闻	33	战斗	43	虚构
24	宗教	34	喜剧	44	食品
25	体育	35	解说	45	足球
26	其他	36	音乐会	46	外语
27	动作	37	消费	47	投资
28	广告	38	现代	48	游戏/测验
29	动画	39	犯罪	49	园艺
2A	诗歌	3A	舞蹈	4A	高尔夫
2B	汽车	3B	纪录片	4B	政府
2C	颁奖	3C	戏剧	4C	健康
2D	棒球	3D	小学	4D	高中

（续）

代码（十六进制）	关 键 字	代码（十六进制）	关 键 字	代码（十六进制）	关 键 字
2E	篮球	3E	成人	4E	历史
2F	通报	3F	锻炼	4F	业余爱好
50	曲棍球	60	音乐	70	传奇
51	家庭	61	探秘	71	科学
52	恐怖	62	民族	72	系列片
53	信息	63	自然	73	服务
54	指南	64	警察	74	购物
55	国际	65	政治	75	肥皂剧
56	会谈	66	公演	76	特别节目
57	语言	67	预先录制	77	悬念
58	法律	68	产品	78	谈话
59	生活	69	职业	79	技术
5A	本地新闻	6A	公共	7A	乒乓球
5B	数学	6B	竞赛	7B	旅游
5C	医疗	6C	阅读	7C	杂技
5D	会议	6D	修理	7D	录像
5E	军事	6E	重播	7E	天气
5F	电视连续剧	6F	评论	7F	西方

■内容分级（content advisory）（0x05）

这个包，就是通常所指的“V-chip[①]”，包含表8-38中所示的信息，表示节目的分级。

表8-38 CEA-608内容分级格式

D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	D/a2	a1	a0	r2	r1	r0
1	V/FV	S	L/a3	g2	g1	g0

r2~r0：MPA分级
- 000 不可用
- 001 G
- 010 PG
- 011 PG-13
- 100 R
- 101 NC-17
- 110 X
- 111 没有分级

g2~g0：美国电视分级
- 000 没有等级
- 001 TV-Y
- 010 TV-Y7
- 011 TV-G
- 100 TV-PG
- 101 TV-14
- 110 TV-MA
- 111 没有分级

a3~a0：xxx0 MPA分级
- LD01 美国电视父母引导
- 0011 加拿大英语语言分级
- 0111 加拿大法语语言分级
- 1011 保留
- 1111 保留

g2~g0：加拿大英语语言分级
- 000 E
- 001 C
- 010 C8+
- 011 G
- 100 PG
- 101 14+
- 110 18+
- 111 保留

g2~g0：加拿大法语语言分级
- 000 E
- 001 G
- 010 8ans+
- 011 13ans+
- 100 16ans+
- 101 18ans+
- 110 保留
- 111 保留

FV表示节目内容存在幻想式的暴力。V表示节目内容存在暴力形为。S表示节目中有性相关 359

① 一种暴力节目过滤芯片。——译者注

的状况。L表示节目内容存在强烈粗俗语言。D表示节目内容存在性暗示的对话。

■音频服务（0x06）

这个包包含2个表8-39中所示的字符，表示可用的音频语言和类型。

表8-39　CEA-608音频服务格式

D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	字　符
1	L2	L1	L0	T2	T1	T0	主音频节目
1	L2	L1	L0	S2	S1	S0	辅助音频节目（SAP）

L2~L0：000 未知
001 英语
010 西班牙语
011 法语
100 德语
101 意大利语
110 其他
111 无

T2~T0：000 未知
001 单声道
010 模拟立体声
011 真立体声
100 立体声环绕
101 数据服务
110 其他
111 无

S2~S0：000 未知
001 单声道
010 视频描述
011 非节目音频
100 特殊效果
101 数据服务
110 其他
111 无

■字幕服务（0x07）

这个包包含2~8个表8-40中所示的字符，表示可用的节目字幕服务。L2~L0的编码如表8-39所示。

表8-40　CEA-608字幕服务格式

D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	字　符
1	L2	L1	L0	F	C	T	服务代码

FCT：000　第21行，数据通道1字幕
001　第21行，数据通道1文本
010　第21行，数据通道2字幕
011　第21行，数据通道2文本
100　第284行，数据通道1字幕
101　第284行，数据通道1文本
110　第284行，数据通道2字幕
111　第284行，数据通道2文本

■复制和再发行控制包（0x08）

这个CGMS-A（Copy Generation Management System-Analog，复制代次管理系统-模拟）和再发行控制描述符（Redistribution Control Descriptor，RCD）包包含2个表8-41中所示的字符。

表8-41　CEA-608复制和再发行控制包格式

D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	0	B4	B3	B2	B1	B0
0	0	0	0	0	0	RCD

B4~B3 CGMS-A服务：
00　允许无限制的复制
01　不允许再复制
10　允许一代复制
11　不允许复制

B2~B1 模拟保护服务（APS）：
00　无模拟保护服务
01　打开PSP（pseudo-sync pulse，伪同步脉冲），关闭彩色分条
10　打开PSP，打开2行彩色分条
11　打开PSP，打开4行彩色分条

无论B3还是B4为0，都没有模拟保护服务（Analog Protection Service，APS）（B1和B2都为0）。B0是模拟源位。

当RCD是1时，就会以某种形式表示消费者再发行的控制，例如提供ATSC再发行控制描述符。

■复合包-1（0x0C）

这个包是一种将若干个包作为一个组传送的方式。该包包含节目类型（5个字符）、内容分级（1个字符）、长度（2个字符）、播放时间（2个字符）和节目名称（0~22个字符）。

■复合包-2（0x0D）

这个包是一种将若干个包作为一个组传送的方式。该包包含节目ID（4个字符）、音频服务（2个字符）、字幕服务（2个字符）、电码字符（Call Letter）（4个字符）、本地频道（Native Channel）（2个字符）和网络名称（0~18个字符）。

■节目描述排1至节目描述排8（0x10~0x17）

这个包包含1~8个包排，每个包排包含0~32个ASCII字符。一个包排对应显示器上的一行文本。每个包以数字序列使用，如果包中不包含ASCII字符，将显示一个空白行。

❑ 类型定义（通道信息类）

■网络名称（0x01）

这个包使用2~32个ASCII字符来指定网络名称。

■电码字符和本地频道（0x02）

这个包使用4个或者6个ASCII字符来指定频道的电码字符。当使用6个字符时，它们反映FCC分配的无线频道号（2~69）。单个数字的频道号前面加一个0或者一个空字符。

■磁带延迟（0x03）

这个包使用2个字符来指定地方台通常延迟网络节目的小时和分钟数量。这个包的格式如表8-42所示。

表8-42 CEA-608磁带延迟格式

D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	字　符
1	m5	m4	m3	m2	m1	m0	分钟
1	-	h4	h3	h2	h1	h0	小时

分钟的范围为0~59。小时的范围为0~23。这个延迟应用到频道上所有在节目ID包（表8-35）中设置了T位的节目。

■传输信号标识符（0x04）

这个包包含4个字符，传送唯一的16位传输信号标识符（Transmission Signal Identifier，TSID），传输信号标识符分配给发端模拟许可证。这个包的格式如表8-43所示。

360 ~ 362

表8-43 CEA-608传输信号标识符（TSID）格式

D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	字　符
1	–	–	t3	t2	t1	t0	TSID 0
1	–	–	t7	t5	t5	t4	TSID 1
1	–	–	t11	t10	t9	t8	TSID 2
1	–	–	t15	t14	t13	t12	TSID 4

■时间（0x01）

这个包使用6个字符指定相对于格林威治时间（UTC）的当前星期、月和日。这个包的格式

如表8-44所示。

表8-44　CEA-608时间格式

D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	字　符
1	m5	m4	m3	m2	m1	m0	分钟
1	D	h4	h3	h2	h1	h0	小时
1	L	d4	d3	d2	d1	d0	日
1	Z	T	m3	m2	m1	m0	月
1	-	-	-	D2	D1	D0	星期
1	Y5	Y4	Y3	Y2	Y1	Y0	年

分钟的范围为0~59。小时的范围为0~23。日的范围为1~31。月的范围为1~12。星期的范围为1（星期日）到7（星期六）。年的范围为0~63（加上1990）。

T表示节目针对山地和太平洋时区是否例行磁带延迟。D表示当前是否遵守夏令时时间。L表示当UTC时间是3月1日时，本地时间是2月28日还是2月29日。Z表示秒是否设置为0（从而允许不必传送完整的6bit的秒数据来协调时间）。

■脉冲捕捉ID（0x02）

这个包携带节目的起始时间和长度，可以用来告诉VCR录制该节目。这个包的格式如表8-45所示。

表8-45　CEA-608脉冲捕捉ID格式

D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	字　符
1	m5	m4	m3	m2	m1	m0	启动时间，分钟
1	D	h4	h3	h2	h1	h0	启动时间，小时
1	L	d4	d3	d2	d1	d0	启动时间，日
1	Z	T	m3	m2	m1	m0	启动时间，月
1	m5	m4	m3	m2	m1	m0	长度，分钟
1	h5	h4	h3	h2	h1	h0	长度，小时

起始和长度分钟的范围为0~59。起始小时的范围为0~23；长度小时的范围为0~63。日的范围为1~31。月的范围为1~12。T表示节目针对山地和太平洋时区是否例行磁带延迟。解码器忽略D、L和Z位。

■补充数据位置（0x03）

这个包使用2~32个字符来指定额外VBI数据所在的其他行。表8-46示范了这个包的格式。

表8-46　CEA-608补充数据位置格式

D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	字　符
1	F	N4	N3	N2	N1	N0	位置

F指示场1（0）或者场2（1）。N的值的范围为7~31，表示一个具体的行号。

■本地时区和DST应用（0x04）

这个包使用2个字符指定观众的时区及当地是否采用夏令时。这个包的格式如表8-47所示。

表8-47　CEA-608本地时区和DST应用格式

D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	字　符
1	D	h4	h3	h2	h1	h0	小时
0	0	0	0	0	0	0	空

小时的范围为0~23。这是相对于UTC的标称时区偏移，单位是小时。当这个地区使用夏令时时，D为1。

■带外频道号（0x40）

这个包使用2个字符指定一个所有随后的带外包访问的频道号。这是后面的带外包所属的CATV频道号。这个包的格式如表8-48所示。

表8-48 CEA-608带外频道号格式

D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	字 符
1	c5	c4	c3	c2	c1	c0	低频道
1	c11	c10	c9	c8	c7	c6	高频道

■频道映射指针（0x41）这个包使用2个字符指定包含频道映射头（Channel Map Header）和频道映射包的频道号。

■频道映射头包（0x42）这个包使用4个字符指定频道映射的频道号和当前映射的版本号。

■频道映射包（0x43）这个包使用2个或者4个字符指定用户频道号以及相应的调谐器频道号。最多可以包含6个可选的隐藏字幕字符来传送用户频道的电码字符或者网络ID。

363~366

❑类型定义（公共服务类）

■国家天气服务代码（0x01）

■这个包传送与天气相关的紧急广播消息，消息指示状况的类别、受影响国家以及截止时间。

■国家天气服务消息（0x02）

这个包可以传送多达32个字符的实际文本消息，该文本消息由国家天气服务发送。

5. 字幕（CC）和文本（T）通道

CC1、CC2、T1和T2都位于第21行上。CC3、CC4、T3和T4都位于第284行上。第284行上的第5通道携带扩展数据服务。T1~T4与CC1~CC4相似，但是在显示滚动文本信息时要占用整个或者一半屏幕。

CC1通常用于主字幕通道。CC2或者CC3偶尔用来支持第二语言。

6. PAL制式隐藏字幕

对于（M）PAL制式，字幕数据可以在第18行和第281行上提供；但是，由于视频编辑，字幕数据偶尔可能会位于第18行至第22行之间的任意一行以及第281行至第285行之间的任意一行上。

对于（B、D、G、H、I、N、NC）PAL制式录像带，字幕数据可能位于第22行和第335行上；但是，由于编辑，字幕数据偶尔可能会位于第22行至第26行之间的任意一行以及第335行至第339行之间的任意一行上。PAL制式隐藏字幕的数据格式、幅度和上升及下降时间与美国所使用的隐藏字幕匹配。但是，由于PAL制式625行的水平时序，PAL制式隐藏字幕的时序与美国所使用的隐藏字幕稍微有所不同，PAL制式625行的时序如图8-58所示。

367~368

8.5.3 宽屏信令和CGMS

为了方便电视机接收到的不同宽高比节目素材的处理，开发了一种称之为宽屏信令（WideS-screen Signaling，WSS）的系统。这一标准允许支持WSS的16：9电视机按节目原始宽高比显示节目。

1. 625i系统

625i（576i）系统的宽屏信令系统基于ITU-R BT.1119和ETSI EN 300 294标准。对于YPbPr和S-video接口，WSS在Y信号上提供。对于模拟RGB接口，WSS在全部3个信号上提供。

WSS信号也支持模拟复制代次管理系统（Analog Copy Generation Management System，CGMS-A）。

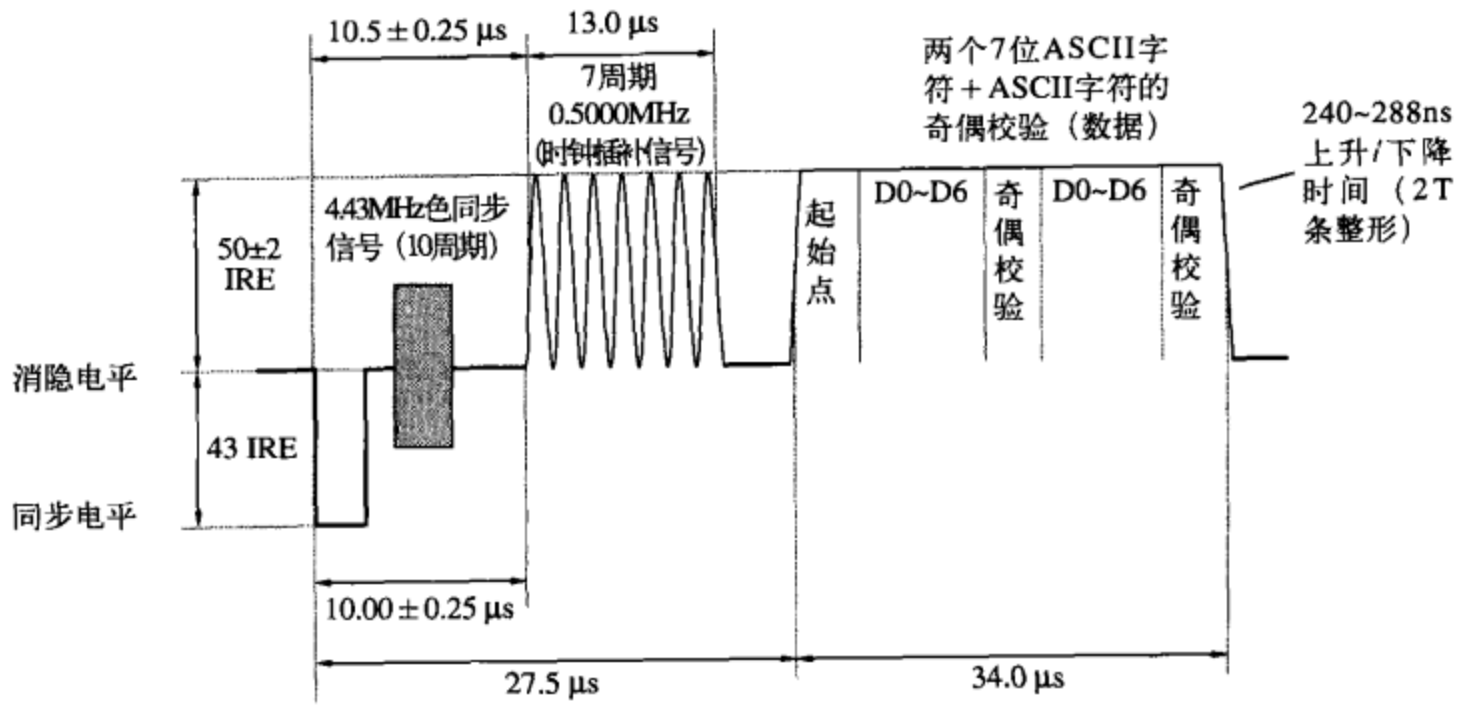


图8-58　625行系统第22行和第335行隐藏字幕时序

❑ 数据时序

对于（B、D、G、H、I、N、NC）PAL制式，WSS数据通常位于第23行上，如图8-59所示。但是，由于视频编辑，WSS数据可能位于第23行至第27行之间的任意一行上。

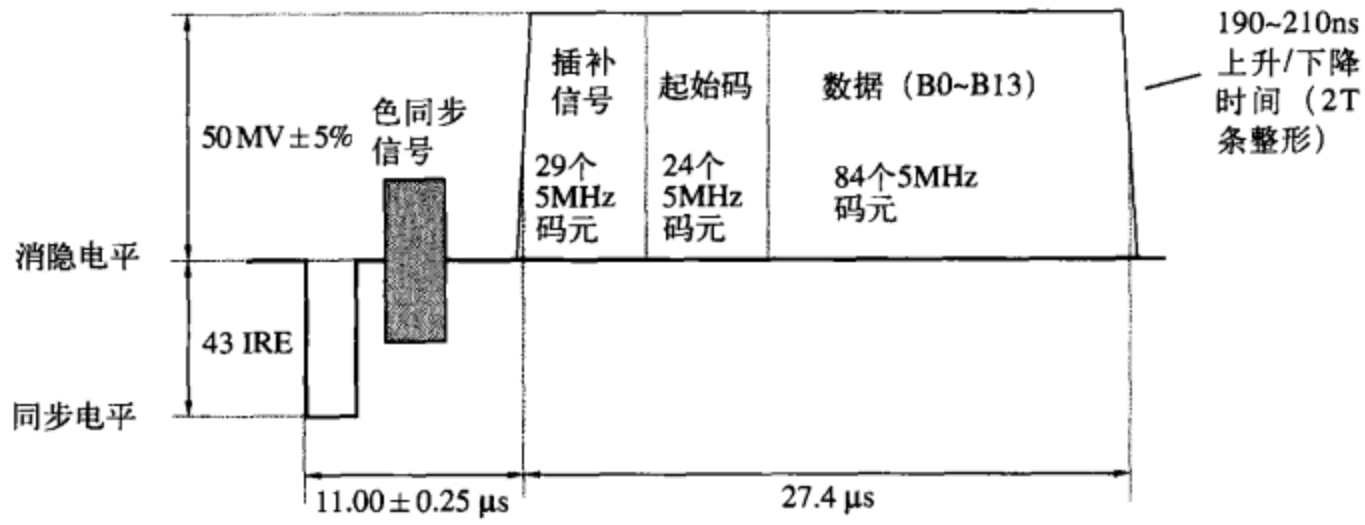


图8-59　625行系统第23行WSS时序

WSS数据的时钟频率为5MHz（±100Hz）。它的信号波形是一个正弦形状的脉冲，半幅度宽度为200±10ns。信号幅度为500mV±5%。

NRZ数据位由双相代码调制器处理，这样一个数据周期等于6个5MHz码元。

❑ 数据内容

WSS包含一个插补信号码、一个起始码和14bit数据，如表8-49所示。

表8-49　625行系统WSS信息

插补信号	29个5MHz码元	1 1111 0001 1100 0111 0001 1100 0111 (0x1F1C 71C7)
起始码	24个5MHz码元	0001 1110 0011 1100 0001 1111 (0x1E 3C1F)
组A（宽高比）	24个5MHz码元 0表示000 111 1表示111 000	b0，b1，b2，b3

（续）

组B（增强服务）	24个5MHz码元 0表示000 111 1表示111 000	b4，b5，b6，b7 （因为b7保留，所以b7＝0）
组C（字幕）	18个5MHz码元 0表示000 111 1表示111 000	b8，b9，b10
组D（保留）	18个5MHz码元 0表示000 111 1表示111 000	b11，b12，b13

插补信号包含29个特定序列的5MHz码元，如表8-49所示。

起始码包含24个特定序列的5MHz码元，如表8-49所示。

组A数据包含4个数据位，用来指定宽高比。每个数据位生成6个5MHz码元。b0是LSB。 369

表8-50列举了组A数据所包含数据位的分配和使用情况。表8-50中列举的有效行的号码是准确的宽高比（a＝1.33、1.56或1.78）。

表8-50 625行系统WSS信息组A（宽高比）数据位分配和使用情况

b0，b1，b2，b3	宽高比标签	格　式	4：3显示中的位置	有效行数量	最低要求
0001	4：3	完全模式	–	576	情况1
1000	14：9	Letterbox模式	居中	504	情况2
0100	14：9	Letterbox模式	置顶	504	情况2
1101	16：9	Letterbox模式	居中	430	情况3
0010	16：9	Letterbox模式	置顶	430	情况3
1011	>16：9	Letterbox模式	居中	–	情况4
0111	14：9	完全模式	居中	576	–
1110	16：9	完全模式（变形）	–	576	–

宽高比标签指示一组可能的宽高比（a）范围以及有效行的数量：

4：3	a≤1.46	527~576
14：9	1.46<a≤1.66	463~526
16：9	1.66<a≤1.90	405~462
>16：9	a>1.90	<405

为了允许自动选择显示器模式，16：9接收机应该支持下述最低要求。

情况1：4：3宽高比的图像应该在显示器上居中显示，左右边没有图像的部分显示黑条。

情况2：14：9宽高比的图像应该在显示器上居中显示，左右边没有图像的部分显示黑条。还有一种方案，即图像通过一个较小的（通常为8%）水平几何失真，以显示器完整宽度进行显示。

情况3：16：9宽高比的图像应该以显示器的完整宽度进行显示。

情况4：>16：9宽高比的图像应该以情况3进行显示，或者通过缩小以显示器的完整高度进行显示。

■组B数据

组B数据包含4个数据位，用来指定增强服务。每个数据位生成6个5MHz码元。数据位b4是LSB。b5和b6位用于PALplus。

b4：模式。0：摄像机模式1：影片模式。

b5：彩色编码。0：普通PAL 1：运动自适应ColorPlus。

b6：辅助信号。0：没有辅助信号1：有辅助信号。

■ 组C数据

组C数据包含3个数据位，用来指定字幕。每个数据位生成6个5MHz码元。数据位b8是LSB。

b8：图文电视字幕。0：没有。1：有。

b9，b10：开放字幕。00：没有。01：有效图像外。10：有效图像内。11：保留。

■ 组D数据

组D数据包含3个数据位，用来指定环绕音频和复制保护。每个数据位生成6个5MHz码元。数据位b11是LSB。

b11：环绕音频。0：没有。1：有。

370 ~ 371

b12：版权。0：未声明版权或者未知。1：声明版权。

b13：复制保护。0：不限制复制。1：限制复制。

2. 525i系统

EIA-J CPR-1204和IEC 61880为525i（480i）系统定义了宽屏信令标准。对于YPbPr和S-video接口，WSS在Y信号上提供。对于模拟RGB接口，WSS在全部3个信号上提供。

❑ 数据时序

第20行和第283行用来传送WSS信息，如图8-60所示。但是，由于视频编辑，WSS信息可能位于第20至第24行之间的任意一行以及第283行至第287行之间的任意一行上。

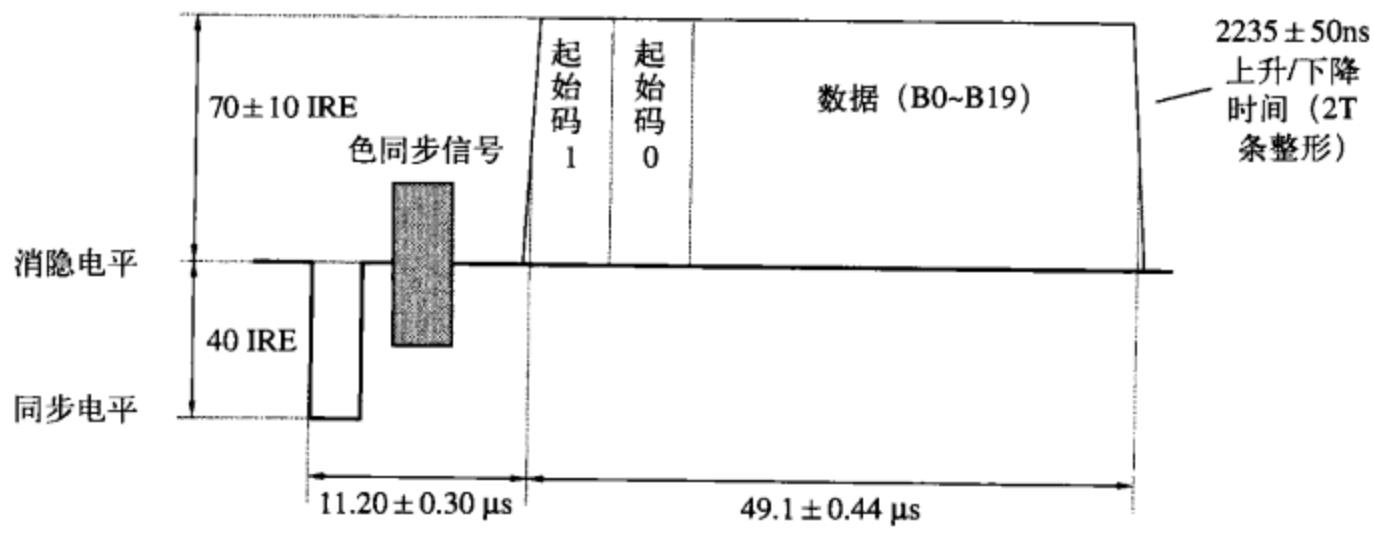


图8-60　525行系统第20行和第283行WSS时序

WSS信息的时钟频率为$F_{SC}/8$或者大约447.443kHz。F_{SC}是3.579 545MHz的彩色副载波频率。它的信号波形是一个正弦形状的脉冲，半幅度宽度为2.235μs±50ns。1的信号幅度为70±10 IRE，0的信号幅度为0±5 IRE。

❑ 数据内容

WSS包含2bit起始码、14bit数据和6bitCRC，如表8-51所示。所使用的CRC为X^6+X+1，所有位都预置为1。

表8-51　525行系统WSS信息数据位分配和使用情况

起始码	1
起始码	0
字0	b0, b1
字1	b2, b3, b4, b5
字2	b6, b7, b8, b9, b10, b11, b12, b13
CRC	b14, b15, b16, b17, b18, b19

■ 起始码

起始码包含一个1数据位，后面跟一个0数据位，如表8-51所示。

■ 字0数据

字0数据包含2个数据位：

b1，b0：

00	4：3宽高比	普通
01	4：3宽高比	Letterbox模式
10	16：9宽高比	变形
11	保留	

■ 字1数据

字1数据包含4个数据位：

b2，b3，b4，b5：

0000	复制控制信息
1111	默认

当字1数据是0000时，复制控制信息在字2数据中传送。当没有传送复制控制信息时，字1数据必须设置为默认值1111。

■ 字2数据

字2数据包含14个数据位。当字1数据是0000时，字2数据包含复制控制信息。字2复制控制信息的传送速度必须大于等于每2秒2帧。

位b6和b7用一个模拟信号（CGMS-A）指定复制代次管理系统。CGMS-A包含2比特数字信息：

b6，b7：

00	允许复制
01	保留
10	只允许复制一次
11	不允许复制

这个CGMS-A信息通常也必须通过第284行的扩展数据服务复制和再发行控制包（在介绍隐藏字幕时讨论）传送。

位b8和b9指定添加在模拟NTSC或者PAL视频信号上的模拟保护服务（Analog Protection Service，APS）。

b8，b9：

00	没有模拟保护服务
01	打开PSP；关闭彩色分条
10	打开PSP；打开2行彩色分条
11	打开PSP；打开4行彩色分条

372

PSP是一个伪同步脉冲运算，如果打开，将提供在复合、S-video和（YPbPr的）Y模拟视频输出上。彩色分条运算将复合和S-video模拟视频输出上特定扫描行上的前半部分色同步信号的正常相位反转。

该模拟保护服务（Analog Protection Service，APS）通常也必须通过第284行的扩展数据服务复制和再发行控制包（在介绍隐藏字幕时讨论）传送。

位b10指定源是否来源于模拟预录制媒介（pre-recorded medium）。

b10：

0	不是模拟预录制媒介
1	模拟预录制媒介

位b11、b12和b13保留，值为000。

8.5.4 图文电视

图文电视可以传送文本、图形和数据。尽管图文电视主要通过使用VBI期传送，但是图文电视数据可以在任意行上传送。图文电视标准由ETSI ETS 300 706、ITU-R BT.653和EIA-516规定。

对于YPbPr和S-video接口，图文电视在Y信号上提供。对于模拟RGB接口，图文电视在全部3个信号上提供。

目前有许多系统利用图文电视物理层来传送专有信息。利用图文电视物理层的优点是图文电视已经在许多国家获批进行广播，因此不需要再认证一个新的传输技术。

图文电视的数据传送速率比隐藏字幕快许多，在一些情况下可以高达7Mbit/s。因此，需要使用重影消除可靠地恢复所传送的数据。

目前定义的图文电视系统有7种，如表8-52所示。系统B［也称为世界图文电视广播系统（World System Teletext，WST）］已成为图文电视实际上的标准，被广泛接受。

表8-52　图文电视系统及参数概括

参　数	系统A	系统B	系统C	系统D
625行系统视频系统				
速率（Mbit/s）	6.203125	6.9375	5.734375	5.6427875
数据幅度	67 IRE	66 IRE	70 IRE	70 IRE
每行数据	40B	45B	36B	37B
525行系统视频系统				
速率（Mbit/s）	–	5.727272	5.727272	5.727272
数据幅度	–	70 IRE	70 IRE	70 IRE
每行数据	–	37B	36B	37B

373～374

EIA-516，也称为NABTS（North American Broadcast Teletext Specification，北美广播图文电视规范）曾在美国有少量应用，它是BT.653 525行系统C标准的扩展。

图8-61描述了一个扫描行上的图文电视数据。如果某行包含有色同步信号，那么在图文电视数据存在的情况下色同步信号仍然存在。16bit时钟插补（或者时钟同步）信号由交互的1和0构成。

图8-62和图8-63分别描述了图文电视系统B和系统C的结构。

系统B图文电视概述

因为图文电视系统B是图文电视的事实标准，所以这里对它进行一个基本的概述。

图文电视服务通常由页（page）构成，每个页对应于一屏幕信息。页一次传送一页，当传送完所有页之后，又重新开始一个周期，通常一个周期的时间大约为30秒。但是，如果愿意，广播商可以多次传送某些页。

图文电视服务通常基于杂志（magazine），最多有8本杂志（即最多允许8个独立的图文电视服务），每本杂志所含页最多可达100页。杂志1所使用页的编号为100~199，杂志2所使用页的编号为200~299，等等，依此类推。每个页还可以有子页（sub-page），用来在一本杂志内扩展页的数量。

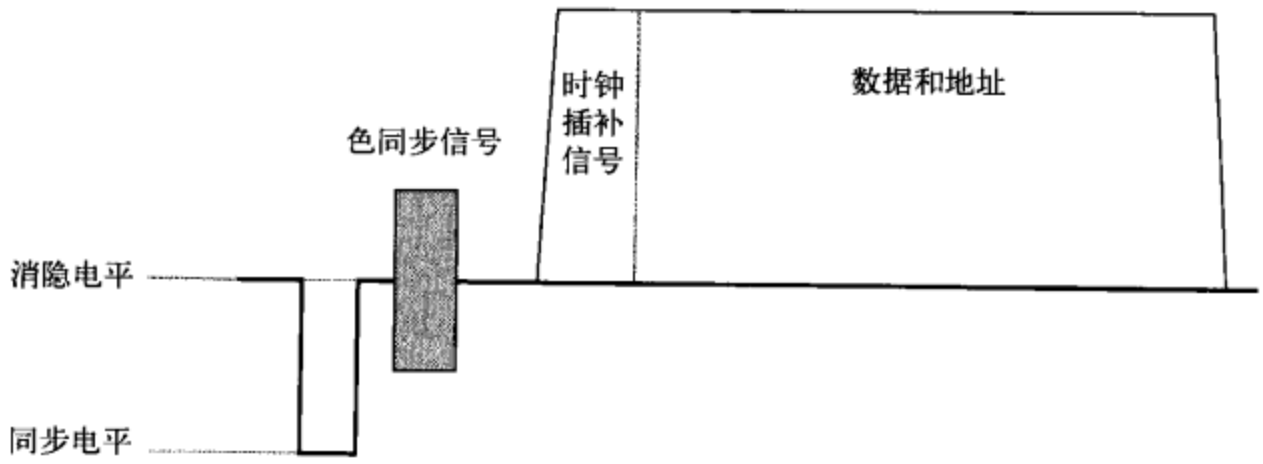


图8-61 图文电视扫描行格式

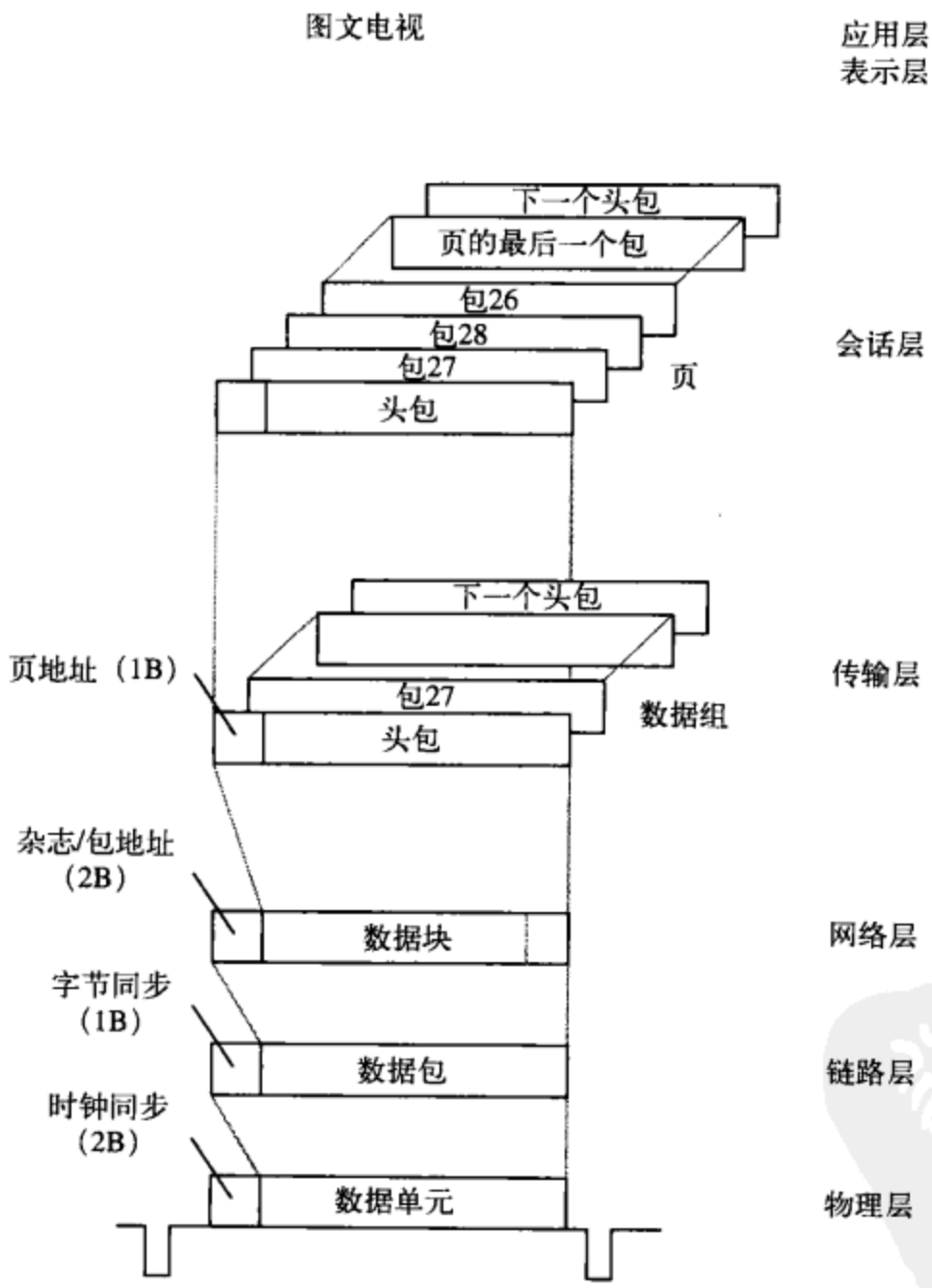


图8-62 图文电视系统B的结构

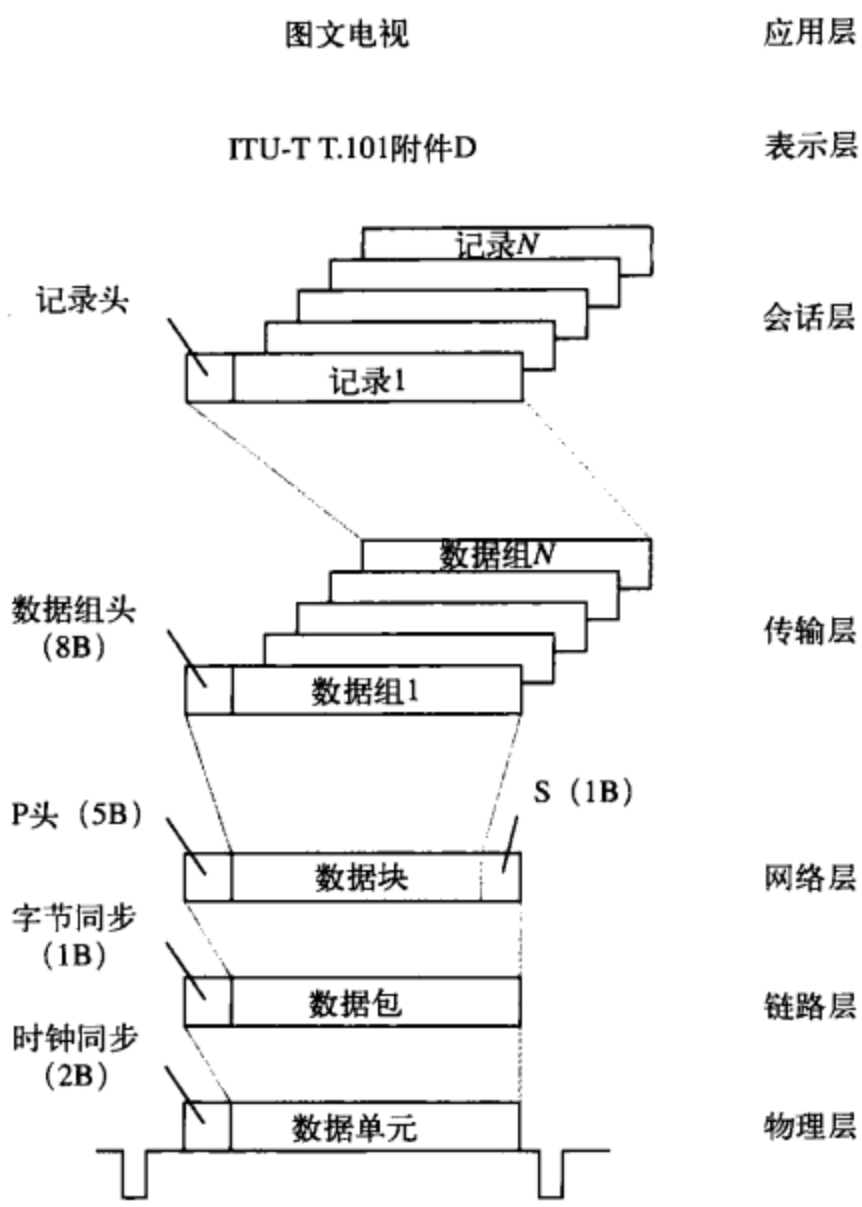


图8-63　图文电视系统C的结构

每个页有24排，每排最多可以有40个字符。字符可以是字母、数字、符号或者简单的图形。图文电视服务中也有控制码，用来选择颜色和其他属性，例如闪烁和双倍高度。

除了传送图文电视信息之外，图文电视协议还可以用来传送其他信息，例如字幕、节目发送控制（program delivery control，PDC）和私有数据。

❑ 字幕

字幕与美国使用的隐藏字幕相似。开放字幕是在传输之前直接插入到图像中的文本。隐藏字幕与图像分开传送。在英国，隐藏字幕的传输使用图文电视第888页。当使用图文电视传送多种语言时，每种语言使用一个单独的页。

375

❑ 节目发送控制（PDC）

节目发送控制（由ETSI ETS 300 231和ITU-R BT.809定义）是一种使用图文电视信息控制VCR录制的制式。可以对VCR进行编程，从而VCR可以查找和录制各种不同类型的节目或者特定的节目。无论节目由于任何原因改变传输时间，都可以继续对节目进行录制。

通过图文电视传送PDC信息的方法有两种：方法A和方法B。

方法A将数据存放在一个可视的图文电视页中，通常在第16扫描行上传送。这种方法被称为视频编程系统（Video Programming System，VPS）。

方法B将数据存放在图文电视信号中的一个隐藏包（包26）中。包26的数据中包含每个节目的数据，包括频道、节目数据和开始时间。

❑ 数据广播

数据广播可以用来向私有接收机传送信息。数据广播的典型应用包括实时财经信息、旅店和旅行社的航空飞行计划、铁路的旅客信息、软件升级等。

❑ 包0~23

一个典型的图文电视页使用24个包，编号为0~23，对应于一张显示页上的24排。包24可以在显示页的底部添加一排状态，用于用户提示。对于每个包，有3位指定杂志地址（1~8），5位指定排地址（0~23）。杂志地址位和排地址位使用汉明（Hamming）码进行误码保护，从而能够纠正单个位的错误。

为了节省带宽，并不是所有的包都发送完整的地址。只有包0［也称为头包（header packet）］中拥有所有的地址信息，例如排、页和杂志的地址数据。包1~28中包含同一个杂志中最近的包0所标识的页的信息。

页的传输以头包开头。随后拥有相同杂志地址的包为页提供额外的数据。这些包可以以任意顺序传送，而且还可以与其他杂志的包交织进行。当接收到该杂志的下一个头包时，才认为这个页传送完毕。

包0的一般格式为：

时钟插补信号	2B
帧码	1B
杂志和排地址	2B
页号	2B
子码	4B
控制码	2B
显示数据	32B

包1~23的一般格式为：

时钟插补信号	2B
帧码	1B
杂志和排地址	2B
显示数据	40B

❑ 包24

这个包为用户提示定义一个额外排。图文电视解码器可以使用包27中的数据响应包24显示排中的用户提示。

376 ~ 378

❑ 包25

这个包定义一个替换标题行（replacement header line）。如果这个包存在，显示40B的数据，而不是包8.30中的频道、页、时间和日期。

❑ 包26

包26由以下内容构成。

时钟插补信号	2B
帧码	1B
杂志和排地址	2B
指示码	1B

13个3字节的数据组，每个数据组包含：7个数据位、6个地址位、5个模式位和6个汉明码位。

包26有15种变体，由指示码定义。包26包含13个数据组，每个数据组指定一个具体的显示位置，以及与该位置相关的数据。

这个包还用于扩展基本字符集的可设置地址范围，从而支持其他语言，例如阿拉伯语、西班牙语、匈牙利语、汉语等。

对于PDC来说，包26中包含每个节目的数据，标识页上节目信息的频道、节目日期、开始时间和光标位置。当用户选择一个节目时，光标位置就链接到合适的包26的预选数据上。然后使用这个数据安排VCR。当节目传送时，节目信息使用包8.30格式2传送。预选数据和包8.30数据之间匹配就可以打开VCR的录制模式。

❑ 包27

包27告诉图文电视解码器如何响应用户对包24的选择。包27最多可以有4个（包27/0~27/3），允许多达24个链接。包27包含以下内容。

时钟插补信号	2B
帧码	1B
杂志和排地址	2B
指示码	1B
链接1（红）	6B
链接2（绿）	6B
链接3（黄）	6B
链接4（青）	6B
链接5（下一页）	6B
链接6（索引）	6B
链接控制数据	1B
页校验数字	2B

每个链接包含：7个数据位、6个地址位、5个模式位和6个汉明码位。

这个包包含将当前页链接到6个页编号（链接）的信息。4个彩色链接对应于远端的4个彩色Fastext页请求键。一般情况下，这4个键对应于显示器底部的使用包24的4个彩色菜单选项。选择一个彩色页请求键就会导致选择相应的链接页。

第五个链接用于指定用户在当前页之后可能希望查看的一个页，例如序列中的下一页。

第六个链接对应于远端的Fastext索引键，并且指定当选择该索引时到达的页地址。

❑ 包28和包29

这两个包用于定义级别2和级别3页，以支持更高分辨率的图像、附加彩色、侯选字符集等。它们与包26的格式相似。

379

❑ 包8.30格式1

包8.30（杂志8，包30）不与任何页关联，但是每秒发送一次。这个包也称为电视服务数据包（Television Service Data Packet，TSDP）。它包含通知图文电视解码器传输总体情况和时间的数据。

时钟插补信号	2B
帧码	1B
杂志和排地址	2B
指示码	1B
初始图文电视页	6B
网络ID	2B
相对于UTC的时间偏移	1B
日期（修正儒略日）	3B
UTC时间	3B
电视节目标签	4B

状态显示	20B

指示码标识传输是位于VBI中还是位于全场中。

初始图文电视页告诉解码器在打开电源时应该捕捉并存储哪个页。通常这是一个索引或者菜单页。

网络标识码标识传输网络。

电视节目标签标识当前节目的节目标签。

状态显示用于显示一个传输状态消息。

❑ 包8.30格式2

这个格式用于PDC记录器控制，每个流中每秒传送一次。它包含一个指示每个节目开始的节目标签，通常在节目开始前30秒传送，从而允许VCR检测节目，并做好录制节目的准备。

时钟插补信号	2B
帧码	1B
杂志和排地址	2B
指示码	1B
初始图文电视页	6B
标签频道ID	1B
节目控制状态	1B
国家和网络ID	2B
节目ID标签	5B
国家和网络ID	2B
节目类型	2B
状态显示	20B

除了状态显示信息之前的13B信息之外，格式2的内容与格式1的内容相同。

标签频道ID（LCI）标识每个频道可以同时并发传送多达4个PDC流。

节目控制状态（PCS）标识实时状态信息，例如模拟音频传输的类型。

国家和网络ID（CNI）分成两组。第一部分指定国家，第二部分指定网络。

节目ID标签（PIL）指定节目开始的月、日和本地时间。

节目类型（PTY）是一个标识节目受众类型的代码，例如“成人”、“儿童”、“音乐”、“戏剧”等。 380

❑ 包31

包31用于向私有接收机传输数据。

时钟插补信号	2B
帧码	1B
数据通道组	1B
消息位	1B
格式类型	1B
地址长度	1B
地址	0~6B
重播指示器	0~1B
连续指示器	0~1B
数据长度	0~1B
用户数据	28~36B
CRC	2B

8.5.5 AMOL

1. AMOL I

第20、22、283行和第284行用于传送AMOL I信息（AMOL是Automated Measurement Of Lineups的缩写，即广播节目自动测量），如图8-64所示。但是，由于视频编辑、压缩等导致的无意的偏移，AMOL I信息可以位于480i系统的任意VBI行上。1Mbit/s的负载可能随着帧的不同而经常变化。

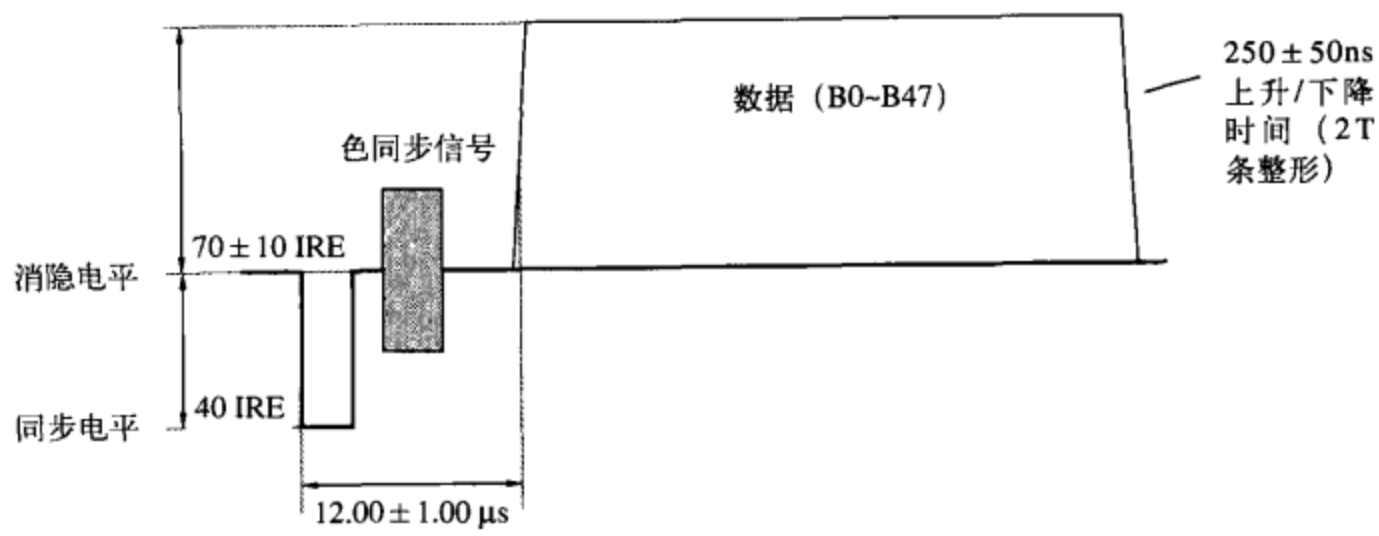


图8-64　525行系统第20、22、283行和第284行AMOL I时序

AMOL I信息每48数据位有1000±100ns宽，最大上升和下降时间为300ns。逻辑1的幅度为55±5 IRE；逻辑0的幅度为0~10 IRE。

2. AMOL II

第20、22、283行和第284行用于传送AMOL II信息，如图8-65所示。但是，由于视频编辑、压缩等导致的无意的偏移，AMOL II信息可以位于480i系统的任意VBI行上。2Mbit/s的负载可能随着帧的不同而经常变化。

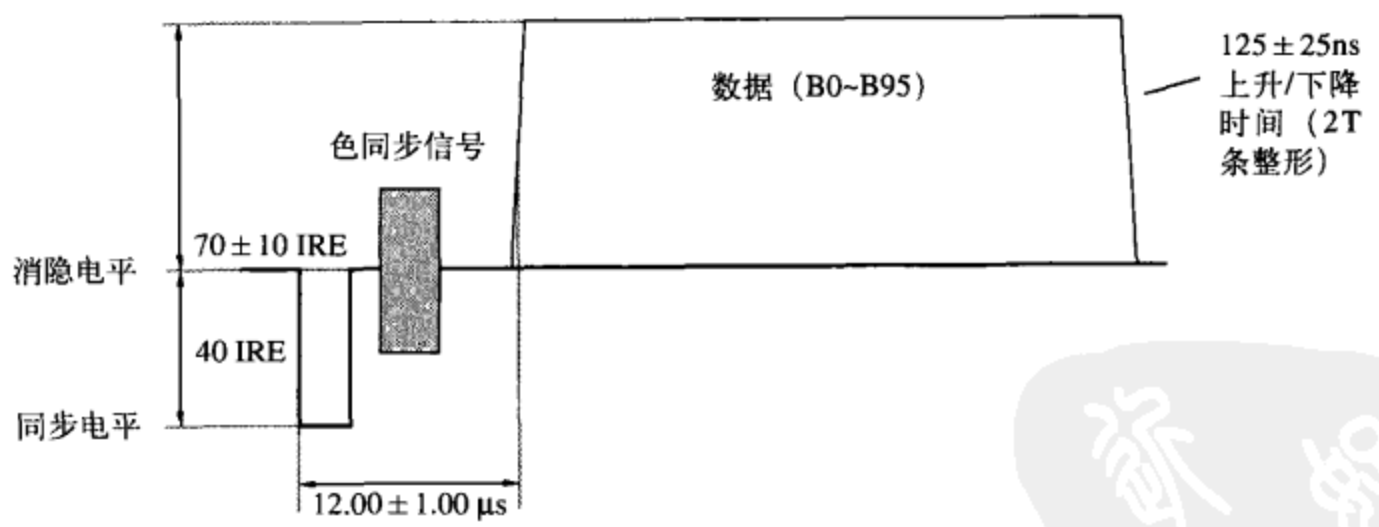


图8-65　525行系统第20、22、283行和第284行AMOL II时序

AMOL II信息每96数据位有500±50ns宽，最大上升和下降时间为150ns。逻辑1的幅度为55±5 IRE；逻辑0的幅度为0~10 IRE。

8.5.6 原始VBI数据

原始或者过采样（oversampled）VBI数据是简单数字化的VBI数据。过采样通常使用2倍的视频采样时钟，例如480i系统使用27MHz，480p系统使用54MHz。使用2倍的视频采样时钟允许在一

个标准的8位BT.656接口上传送原始VBI数据。除了齿脉冲和均衡脉冲期间，VBI数据可以在任何扫描行上提供。

然后原始VBI数据转换为二进制［或者条带（sliced）］数据，并进行处理，然后再传递到复合、S-video和YPbPr模拟视频输出中，从而可以由电视机解码。

在由原始VBI数据向条带VBI数据转换过程中，VBI解码器必须补偿各种DC偏移、幅度变化、重影及时序的变化。

由于噪音和传输误差，还必须使用磁滞（hysteresis）来防止直接打开和关闭VBI解码器。一旦在15个连续帧（典型值）上查找到期望的VBI信号，VBI解码就开始进行。当在45个连续帧（典型值）的合适扫描行上没有找到期望的VBI信号时，VBI解码就应该停止。

8.5.7 条带VBI数据

NTSC/PAL视频解码器通常提供条带或者二进制VBI数据。这样做有一个优点，即因为提供的是二进制数据，而不是过采样的数据，所以需要较低的数据速率。这种方式的主要缺点就是NTSC/PAL视频解码器芯片制造商通过视频接口传送条带VBI数据的技术各不相同。 381

8.5.8 NTSC/PAL解码器注意事项

1. 隐藏字幕

除了清除显示的字幕和文本命令外，还有5种其他事件通常可以强制清除显示。

- 字幕显示模式的改变，例如由CC1改变为T1。
- 视频锁的丢失（诸如在频道改变时），强制清除显示。当前有效显示模式不改变。例如，如果在视频锁丢失之前选择的模式是CC1，那么在视频锁丢失之后模式仍然是CC1。
- 自动消隐激活。如果没有在15个连续帧（典型值）上检测到字幕信号，或者在45个连续帧（典型值）上没有接收到所选择频道的新数据，那么显示存储器就被清除。一旦在15个连续帧（典型值）上检测到字幕信号，或者接收到新数据，就显示字幕信号。
- 清除命令（例如来自远端控制器）强制清除显示。
- 禁用字幕解码也会强制清除显示。

2. 宽屏信令

解码器必须能够处理不同的WSS输入，包括：

- 复合、S-video或者Y（YPbPr）视频上的PAL或NTSC制式WSS信号；
- SCART模拟输入（DC偏移指示器）；
- S-video模拟输入（DC偏移指示器）。

除了基于WSS数据自动处理视频信号以适应4：3或者16：9显示之外，解码器还应该支持手动设置4：3或者16：9显示，从而可以适应个人的偏好，按个人的愿望设置特定的显示模式。软件使用该宽高比信息、用户偏好和显示格式帮助正确处理节目的显示。

8.5.9 重影消除

因为一些服务（例如图文电视）的高速度传输，所以要求提供重影消除（移除信号中不希望的反射）。大于100ns或者－12dB的重影会破坏图文电视数据。大于－3dB的重影在硬件或者软件中就难以有效移除，而小于－12dB的重影不需要移除。VBI数据的重影消除不像有效视频的重影消除那样复杂。

然而，GCR（Ghost Cancellation Reference，重影消除基准）信号通常不会提供。因此，重影

消除算法必须使用其他可用信号（例如齿脉冲和均衡脉冲）确定重影量。

NTSC制式GCR信号由ATSC A/49和ITU-R BT.1124指定。如果这个信号存在，那么这个信号位于第19行和第282行上。GCR允许检测－3~＋45μs的重影，后面是一个8场的序列。

382~383

PAL制式GCR信号由BT.1124和ETSI ETS 300 732指定。如果这个信号存在，那么这个信号位于第318行上。GCR允许检测－3~＋45μs的重影，后面是一个4帧的序列。

8.6 增强电视编程

增强电视编程（enhanced television programming）标准（SMPTE 363M）用于创建和发送增强和交互式的节目。增强内容可以通过多种媒介发送，这些媒介包括使用陆地、有线和卫星网络的模拟和数字电视广播。在定义如何创建增强内容的过程中，规范定义了接收机的最低功能。为了减少创建新规范，它利用了因特网技术，例如HTML和Java-script。这样做的好处就是早已拥有数百万的潜在内容页面，而且还可以利用现有的网络工作。

规范规定了接收机最低支持HTML 4.0、Javascript 1.1和层叠样式表（Cascading Style Sheet）。规范还定义了额外的能力，例如Java和VRML，这些是可选的。这样可以确保内容可以被最多的观众观看。

为了支持日益增长的功能，HTML中添加了一个新的“tv：”属性。该属性允许在内容中插入电视节目，而且还可以在HTML文档中存放正常图像的任意位置上使用。创建一个在显示器的任意位置上显示当前电视频道的增强内容页与在HTML文档中插入一个图像一样容易。

该规范还定义了接收机如何获取内容，以及如何通知接收机存在增强内容。后面的一项任务使用触发器（trigger）完成。

8.6.1 触发器

触发器提醒接收机注意内容增强，而且包含有节目增强方面的信息。其他方面，触发器包含一个统一资源定位器（Universal Resource Locator，URL），定义增加内容的位置。内容可能就位于本地（例如通过网络传送时缓冲到本地硬盘上），也有可能位于因特网或者另一个网络上。

触发器还可以包含适合于人类阅读的内容描述。例如，它可以包含这样的描述：Press ORDER to order this product.。该描述可以显示给观众。触发器还可以包含截止日期信息，向观众提示增强服务还可以提供多久。

最后，触发器可以包含触发关联HTML页中Javascript执行的脚本，支持增强内容与视频信号的同步，以及动态屏幕数据的更新。

触发器的处理由SMPTE 363M定义，与传递它们的方法无关。

8.6.2 传输

除了定义内容如何显示以及如何通知接收机新内容之外，增强电视节目规范还定义了如何传递内容。因为接收机可能没有因特网连接，所以规范描述了两种传递内容的模型。这两个模型都称为传输（transport），这两个传输被称为传输类型A和传输类型B。

如果接收机拥有一个到因特网的回返通道（back-channel），或者返回路径，那么传输类型A将广播触发器，内容将通过因特网推出去。

384

如果接收机没有因特网连接，那么传输类型B通过广播媒介提供触发器和内容的传递。声明通过网络发送出去，从而将触发器和内容流关联。声明描述内容，而且还可以包含有关带宽、存储需求及语言的信息。

8.6.3 传递协议

对于传统的双向因特网通信来说，超文本传输通信协议（Hypertext Transfer Protocol，HTTP）定义了如何在应用层传送数据。对于单向的广播来说，这种情况没有双向的连接，因此SMPTE 364M为数据传递定义了一个单向的应用层协议：单向超文本传输通信协议（Uni-directional Hyper Text Transfer Protocol，UHTTP）。

像HTTP一样，UHTTP使用传统的URL命名方案引用内容。内容可以使用标准的“http：”和“ftp：”命名方案引用增强页，还可以使用一个“lid：”或者本地标识符、URL，引用本地存在的内容（例如接收机的硬盘上），而不是因特网或者其他网络上的内容。

8.6.4 绑定

数据如何通过一个特定的网络进行传递称之为“绑定”。NTSC和PAL制式都定义了绑定。

1. NTSC制式绑定

传输类型A触发器在CEA-608字幕信号的数据通道2上广播。

传输类型B绑定也包含一种通过VBI传递IP多播包的机制，这也可以称为VBI期IP传送（IP/VBI）。在最底层次，电视信号在VBI期间传送NABTS（North American Basic Teletext Standard，北美基本图文电视标准）包。这些NABTS包恢复以后，形成一个连续的数据流（封装在一个与SLIP相似的协议内），解帧后生成IP包。

2. PAL制式绑定

两种传输类型都基于PAL制式的VBI行中通过图文电视包30或31携带的IP多播包。

传输类型A触发器通过UDP/IP多播包携带，传递到地址224.0.23.13和端口2670上。

传输类型B（在SMPTE 357M中描述）在一个单独的UDP/IP多播包中携带一个单独的触发器，传递到增强电视节目的SDP声明中定义的地址和端口上。为了提供快速的同步，所定义的触发器协议非常轻便。

参考文献

1. Advanced Television Enhancement Forum, *Enhanced Content Specification*, 1999.
2. ATSC A/49, 13 May 1993, *Ghost Cancelling Reference Signal for NTSC.*
3. *BBC Technical Requirements for Digital Television Services*, Version 1.0, February 3, 1999, BBC Broadcast.
4. CEA-608, August 2005, *Line 21 Data Service.*
5. EIA-189-A, July 1976, *Encoded Color Bar Signal.*
6. EIA-516, May 1988, *North American Basic Teletext Specification (NABTS).*
7. EIA-J CPR-1204, *Transfer Method of Video ID Information using Vertical Blanking Interval (525-line System)*, March 1997.
8. ETSI EN 300 163, *Television Systems: NICAM 728: Transmission of Two Channel Digital Sound with Terrestrial Television Systems B, G, H, I, K1, and L*, March 1998.
9. ETSI EN 300 231, *Television Systems: Specification of the Domestic Video Programme Delivery Control System (PDC)*, April 2003.
10. ETSI EN 300 294, *Television Systems: 625-line Television Widescreen Signalling (WSS)*, April 2003.
11. ETSI EN 300 706, *Enhanced Teletext Specification*, April 2003.
12. ETSI EN 300 708, *Television Systems: Data Transmission within Teletext*, April 2003.
13. ETSI ETS 300 731, *Television Systems: Enhanced 625-Line Phased Alternate Line (PAL) Television: PALplus*, March 1997.
14. ETSI ETS 300 732, *Television Systems: Enhanced 625-Line PAL/SECAM Television; Ghost Cancellation Reference (GCR) Signals*, January 1997.
15. Faroudja, Yves Charles, *NTSC and Beyond, IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 34, No. 1, February 1988.
16. IEC 61880, 1998-1, *Video Systems (525/60)—Video and Accompanied Data Using the Vertical Blanking Interval—Analog*

Interface.

17. ITU-R BS.707-3, 1998, *Transmission of Multisound in Terrestrial Television Systems PAL B, G, H, and I and SECAM D, K, K1, and L.*
18. ITU-R BT.470-6, 1998, *Conventional Television Systems.*
19. ITU-R BT.471-1, 1986, *Nomenclature and Description of Colour Bar Signals.*
20. ITU-R BT.472-3, 1990, *Video Frequency Characteristics of a Television System to Be Used for the International Exchange of Programmes Between Countries that Have Adopted 625-Line Colour or Monochrome Systems.*
21. ITU-R BT.473-5, 1990, *Insertion of Test Signals in the Field-Blanking Interval of Monochrome and Colour Television Signals.*
22. ITU-R BT.569-2, 1986, *Definition of Parameters for Simplified Automatic Measurement of Television Insertion Test Signals.*
23. ITU-R BT.653-3, 1998, *Teletext Systems.*
24. ITU-R BT.809, 1992, *Programme Delivery Control (PDC) System for Video Recording.*
25. ITU-R BT.1118, 1994, *Enhanced Compatible Widescreen Television Based on Conventional Television Systems.*
26. ITU-R BT.1119-2, 1998, *Wide-Screen Signalling for Broadcasting.*
27. ITU-R BT.1124, 1994, *Reference Signals for Ghost Cancelling in Analogue Television Systems.*
28. ITU-R BT.1197-1, 1998, *Enhanced Wide-Screen PAL TV Transmission System (the PALplus System).*
29. ITU-R BT.1298, 1997, *Enhanced Wide-Screen NTSC TV Transmission System.*
30. *Multichannel TV Sound System BTSC System Recommended Practices*, EIA Television Systems Bulletin No. 5 (TVSB5).
31. *NTSC Video Measurements*, Tektronix, Inc., 1997.
32. SMPTE 12M-1999, *Television, Audio and Film—Time and Control Code.*
33. SMPTE 170M-2004, *Television—Composite Analog Video Signal—NTSC for Studio Applications.*
34. SMPTE 262M-1995, *Television, Audio and Film—Binary Groups of Time and Control Codes—Storage and Transmission of Data.*
35. SMPTE 309M-1999, *Television—Transmission of Date and Time Zone Information in Binary Groups of Time and Control Code.*
36. SMPTE 357M-2002, *Television—Declarative Data Essence — Internet Protocol Multicast Encapsulation.*

386

37. SMPTE 361M-2002, *Television—NTSC IP and Trigger Binding to VBI.*
38. SMPTE 363M-2002, *Television—Declarative Data Essence — Content Level 1.*
39. SMPTE 364M-2001, *Declarative Data Essence — Unidirectional Hypertext Transport Protocol.*
40. SMPTE RP-164-1996, *Location of Vertical Interval Time Code.*
41. SMPTE RP-186-1995, *Video Index Information Coding for 525- and 625-Line Television Systems.*
42. SMPTE RP-201-1999, *Encoding Film Transfer Information Using Vertical Interval Time Code.*
43. *Specification of Television Standards for 625-Line System-I Transmissions*, 1971, Independent Television Authority (ITA) and British Broadcasting Corporation (BBC).
44. *Television Measurements, NTSC Systems*, Tektronix, Inc., 1998.

387

45. *Television Measurements, PAL Systems*, Tektronix, Inc., 1990.

第9章　NTSC和PAL数字编码和解码

尽管准确地说，NTSC和PAL复合彩色视频格式并不是数字视频，但是它们是目前最常见的视频格式。尽管视频信号本身是模拟的，但是它们几乎完全采用数字式编码和解码。

模拟的NTSC和PAL编码器和解码器已经面世好长一段时间了。但是，它们使用起来非常困难，需要进行调整，并且视频质量受限。通过使用数字技术来实现NTSC和PAL编码和解码有许多优点，例如使用方便、最小化的模拟调整以及出色的视频质量。

除了复合视频，家用和专业视频设备还支持S-Video，所以也应该实现S-Video的数字编码和解码。S-Video使用单独的亮度（Y）和色度（C）模拟视频信号，因此通过消除Y/C的分离过程，可以实现高质量的视频。

本章讨论支持复合和S-Video的（M）NTSC和（B、D、G、H、I、N_C）PAL视频信号的数字编码器（图9-1）和解码器（图9-21）的设计。只需进行一些细小的修改，就可以实现（M）和（N）PAL视频信号的数字编码器和解码器。

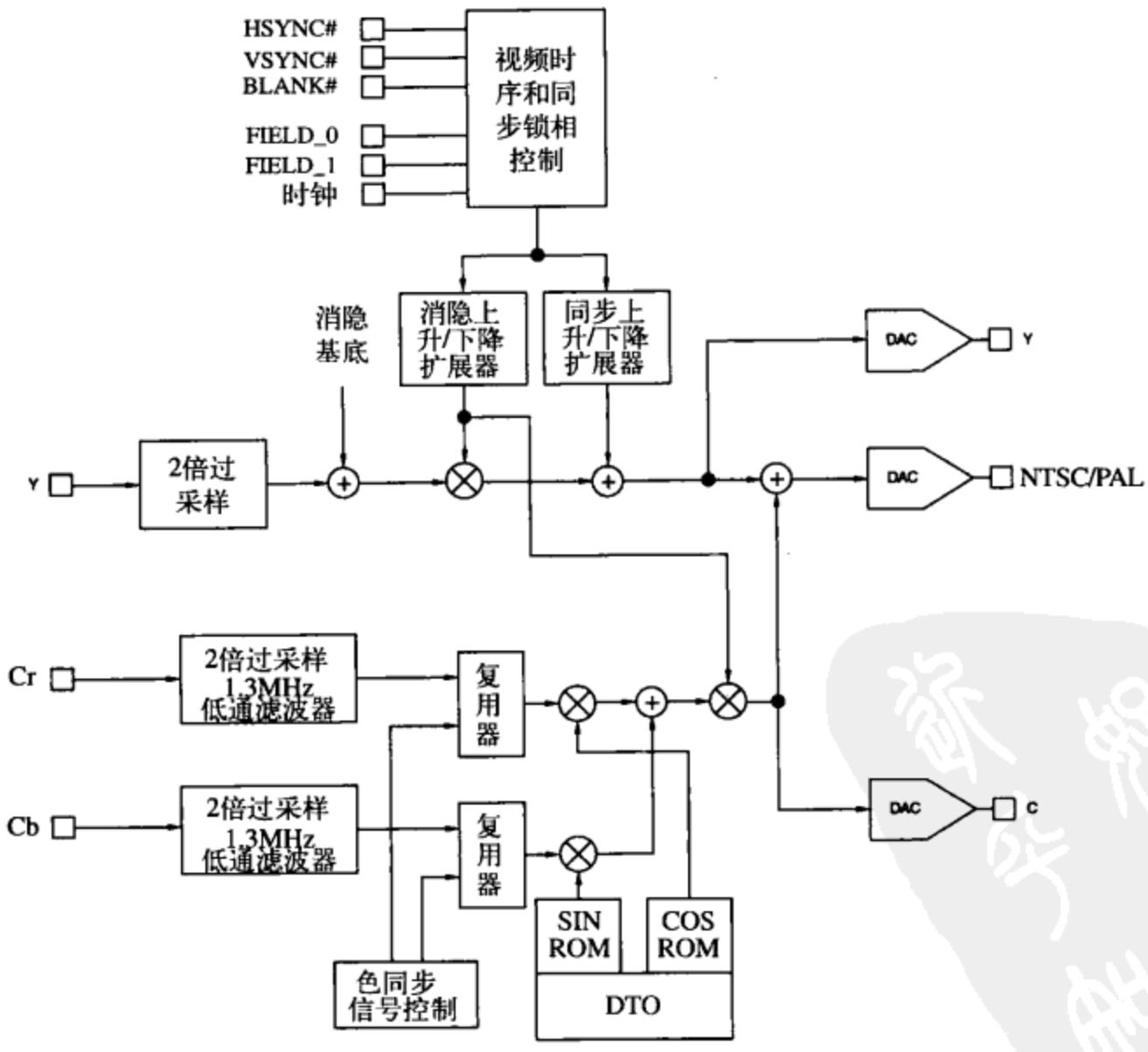


图9-1　典型NTSC/PAL数字编码器实现

NTSC编码器和解码器通常基于YCbCr、YUV或者YIQ颜色空间。PAL编码器和解码器通常基

388 于YCbCr或者YUV颜色空间。

9.1 NTSC和PAL编码

YCbCr输入数据的标称范围为：Y为16~235，Cb和Cr为16~240。RGB输入数据的标称范围为0~255；专业视频应用使用的标称范围为16~235。

当YCbCr的值位于这些范围之外时，将致使一些颜色组合溢出标准的YIQ或YUV范围，该问题可以通过下述3种方式解决，按优先顺序排列：（1）允许视频信号使用扩展的YIQ或YUV范围生成；（2）限制色饱和度确保生成有效的视频信号；（3）将YIQ或YUV电平削波到有效范围。

4：1：1、4：2：0或4：2：2的YCbCr数据在转换成YIQ或者YUV数据之前，必须先转换成4：4：4的YCbCr数据，否则色度低通滤波器无法正确地执行插值。

表9-1列举了一些常用的采样率和分辨率。

表9-1　常用的NTSC/PAL采样率和分辨率

视频标准	采样时钟频率	应　用	有效分辨率	总分辨率	场频（/秒）
（M）NTSC、（M）PAL	9MHz	SVCD	480×480i	572×525i	59.94隔行
	13.5MHz	BT.601	720[1]×480i	858×525i	
		MPEG-2	704×480i		
		DV	720×480i		
	12.27MHz	方像素	640×480i	780×525i	
（B、D、G、H、I、N、N_C）PAL	9MHz	SVCD	480×576i	576×625i	50隔行
	14.75MHz	方像素	768×576i	944×625i	
	13.5MHz	BT.601	720[2]×576i	864×625i	
		MPEG-2	704×576i		
		DV	720×576i		

注：1. 10%消隐点之间拥有716个典型的实有效样本。
2. 50%消隐点之间拥有702个典型的实有效样本。

9.1.1 2倍过采样

2倍过采样生成8：8：8的YCbCr数据或者RGB数据，简化模拟输出滤波器。过采样器（oversampler）还是一个将数据由8位转换为10位的方便位置，从而提高视频的质量。

9.1.2 颜色空间转换

对于10位的视频，选择电平为：白色＝800，同步＝16，并且已知同步－白色幅度为1V，因
389 此将数字模拟转换器（D/A Converter，DAC）的完整量程输出设置为1.305V。

1. （M）NTSC、（M、N）PAL

因为（M）NTSC、（M、N）PAL的消隐基底为7.5 IRE，同步幅度为40 IRE，所以导出的颜色空间转换方程要生成0.660V的有效视频。

❑ YUV颜色空间处理

现代的编码器设计都基于YUV颜色空间，对于这些编码器，由YCbCr生成YUV的方程如下：

$Y = 0.591(Y_{601} - 64)$

$U = 0.504(Cb - 512)$

$V = 0.711(Cr - 512)$

由R′G′B′生成YUV的方程如下：

$Y=0.151R'+0.297G'+0.058B'$

$U=-0.074R'-0.147G'+0.221B'$

$V=0.312R'-0.261G'-0.051B'$

对于为RGB使用10位标称范围64~940的专业视频应用来说，由R′G′B′生成YUV的方程如下：

$Y=0.177(R'-64)+0.347(G'-64)+0.067(B'-64)$

$U=-0.087(R'-64)-0.171(G'-64)+0.258(B'-64)$

$V=0.364(R'-64)-0.305(G'-64)-0.059(B'-64)$

Y的标称范围为0~518，U的标称范围为0~±226，V的标称范围为0~±319。为了允许测试信号、抠像信息及实时视频以最小的失真通过编码器，Y还应该支持负值。

❑ YIQ颜色空间处理

对于基于YIQ颜色空间的较老的NTSC编码器设计，由YCbCr生成YIQ的方程如下：

$Y=0.591(Y_{601}-64)$

$I=0.596(Cr-512)-0.274(Cb-512)$

$Q=0.387(Cr-512)+0.423(Cb-512)$

由R′G′B′生成YIQ的方程如下：

$Y=0.151R'+0.297G'+0.058B'$

$I=0.302R'-0.139G'-0.163B'$

$Q=0.107R'-0.265G'+0.158B'$

对于为R′G′B′使用10位标称范围64~940的专业视频应用来说，由R′G′B′生成YIQ的方程如下：

$Y=0.177(R'-64)+0.347(G'-64)+0.067(B'-64)$

$I=0.352(R'-64)-0.162(G'-64)-0.190(B'-64)$

$Q=0.125(R'-64)-0.309(G'-64)+0.184(B'-64)$

Y的标称范围为0~518，I的标称范围为0~±309，Q的标称范围为0~±271。为了允许测试信号、抠像信息及实时视频以最小的失真通过编码器，Y还应该支持负值。

❑ YCbCr颜色空间处理

如果编码器的设计基于YUV颜色空间，那么通过在调制过程中缩放正弦值和余弦值或者缩放色差低通滤波器系数，可以避免将Cb和Cr转换为U和V。这样做的优点在于可以减少数据路径处理。

390~391

2. NTSC-J

因为在日本使用的（M）NTSC采用一个0 IRE的消隐基底，所以导出的颜色空间转换方程要生成0.714V的有效视频。

❑ YUV颜色空间处理

由YCbCr生成YUV的方程如下：

$Y=0.639(Y_{601}-64)$

$U=0.545(Cb-512)$

$V=0.769(Cr-512)$

由R′G′B′生成YUV的方程如下：

$Y=0.164R'+0.321G'+0.062B'$

$U=-0.080R'-0.159G'+0.239B'$

$V=0.337R'-0.282G'-0.055B'$

对于为R′G′B′使用10位标称范围64~940的专业视频应用来说，由R′G′B′生成YUV的方程如下：

$Y=0.191(R'-64)+0.375(G'-64)+0.073(B'-64)$

$U=-0.094(R'-64)-0.185(G'-64)+0.279(B'-64)$

$V=0.393(R'-64)-0.329(G'-64)-0.064(B'-64)$

Y的标称范围为0~560，U的标称范围为0~±244，V的标称范围为0~±344。为了允许测试信号、抠像信息及实时视频以最小的失真通过编码器，Y还应该支持负值。

❑ YIQ颜色空间处理

对于基于YIQ颜色空间的较老的编码器设计，由YCbCr生成YIQ的方程如下：

$Y=0.639(Y_{601}-64)$

$I=0.645(Cr-512)-0.297(Cb-512)$

$Q=0.419(Cr-512)+0.457(Cb-512)$

由R'G'B'生成YIQ的方程如下：

$Y=0.164R'+0.321G'+0.062B'$

$I=0.326R'-0.150G'-0.176B'$

$Q=0.116R'-0.286G'+0.170B'$

对于为R'G'B'使用10位标称范围64~940的专业视频应用来说，由R'G'B'生成YIQ的方程如下：

$Y=0.191(R'-64)+0.375(G'-64)+0.073(B'-64)$

$I=0.381(R'-64)-0.176(G'-64)-0.205(B'-64)$

$Q=0.135(R'-64)-0.334(G'-64)+0.199(B'-64)$

Y的标称范围为0~560，I的标称范围为0~±334，Q的标称范围为0~±293。为了允许测试信号、抠像信息及实时视频以最小的失真通过编码器，Y还应该支持负值。

❑ YCbCr颜色空间处理

如果编码器的设计基于YUV颜色空间，那么通过在调制过程中缩放正弦值和余弦值或者缩放色差低通滤波器系数，可以避免将Cb和Cr转换为U和V。这样做的优点在于可以减少数据路径处理。

392

3. （B、D、G、H、I、N_C）PAL

因为这些PAL标准的消隐基底为0 IRE，同步幅度为43 IRE，所以导出的颜色空间转换方程要生成0.7V的有效视频。

❑ YUV颜色空间处理

由YCbCr生成YUV的方程如下：

$Y=0.625(Y_{601}-64)$

$U=0.533(Cb-512)$

$V=0.752(Cr-512)$

由R'G'B'生成YUV的方程如下：

$Y=0.160R'+0.314G'+0.061B'$

$U=-0.079R'-0.155G'+0.234B'$

$V=0.329R'-0.275G'-0.054B'$

对于为R'G'B'使用10位标称范围64~940的专业视频应用来说，由R'G'B'生成YUV的方程如下：

$Y=0.187(R'-64)+0.367(G'-64)+0.071(B'-64)$

$U=-0.092(R'-64)-0.181(G'-64)+0.273(B'-64)$

$V=0.385(R'-64)-0.322(G'-64)-0.063(B'-64)$

Y的标称范围为0~548，U的标称范围为0~±239，V的标称范围为0~±337。为了允许测试信号、抠像信息及实时视频以最小的失真通过编码器，Y还应该支持负值。

❑ YCbCr颜色空间处理

如果编码器的设计基于YUV颜色空间，那么通过在调制过程中缩放正弦值和余弦值或者缩放

色差低通滤波器系数，可以避免将Cb和Cr转换为U和V。这样做的优点在于可以减少数据路径处理。

9.1.3 亮度（Y）处理

为了移除2倍过采样过程中生成的高频分量，必须进行6MHz的低通滤波。

为了从亮度信息中移除彩色副载波频率，还可以使用一个可选的陷波滤波器。这样可以改进使用简单Y/C分离解码器的解码视频质量。当生成S-Video、RGB或者YPbPr视频信号时，应该禁用陷波滤波器。

接下来，在有效视频中添加消隐基底以及消隐和同步信息。

1.（M）NTSC、（M、N）PAL

因为（M）NTSC、（M、N）PAL的消隐基底为7.5 IRE，所以在有效视频中将亮度数据加上一个值42。在消隐过程中添加的值为0。

在添加了消隐基底之后，亮度数据通过一个拥有凸余弦分布的消隐信号钳制，以减缓视频信号起始点和结束点的摆率（slew rate）。NTSC制式消隐上升和下降时间的一般值为140±20ns，PAL制式的一般值为300±100ns。

在执行了消隐处理之后，数字复合同步信息添加到亮度数据上。有同步时所指定的值为16，没有同步时所指定的值为240。对同步上升和下降时间的处理应该生成一个凸余弦分布（位于16至240之间），以减缓同步信号的摆率。尽管编码器应该生成130ns或240ns的同步边，以补偿模拟输出滤波器对同步边的减缓，但是NTSC制式同步上升和下降时间的一般值为140±20ns，PAL制式的一般值为250±50ns。 393

此时，我们拥有了数字的亮度及同步和消隐信息，如表9-2所示。

表9-2 10位数字亮度值

视频电平	（M）NTSC	NTSC-J	（B、D、G、H、I、N_C）PAL	（M、N）PAL
白色电平	800	800	800	800
黑色电平	282	240	252	282
消隐电平	240	240	252	240
同步电平	16	16	16	16

2. NTSC-J

当生成NTSC-J视频时，消隐基底为0 IRE。因此，有效视频期间的亮度数据没有添加消隐基底。否则，处理过程就和（M）NTSC一样。

3.（B、D、G、H、I、N_C）PAL

当生成（B、D、G、H、I、N_C）PAL视频时，消隐基底为0 IRE。因此，有效视频期间的亮度数据没有添加消隐基底。

消隐信息使用和（M）NTSC相同的技术处理。但是，（B、D、G、H、I、N_C）PAL的典型消隐上升和下降时间为300±100ns。

复合同步信息使用和（M）NTSC相同的技术添加，只是当提供同步时使用的值为15，不提供同步时使用的值为252。尽管编码器应该生成大约240ns的同步边，以补偿模拟输出滤波器对同步边的减缓，但是同步上升和下降时间的典型值为250±50ns。

此时，我们拥有了数字的亮度及同步和消隐信息，如表9-2所示。

4. 模拟亮度（Y）生成

数字亮度数据可以驱动一个生成0~1.305V输出的10位DAC，以生成S-Video（Y/C）接口的Y

视频信号。

图9-2和图9-3示范了75%彩条的亮度视频波形。亮度电平上的数字表示满量程输出值为1.305V的10位DAC的数据值。连接器上的视频信号应该有一个75Ω的源阻抗。

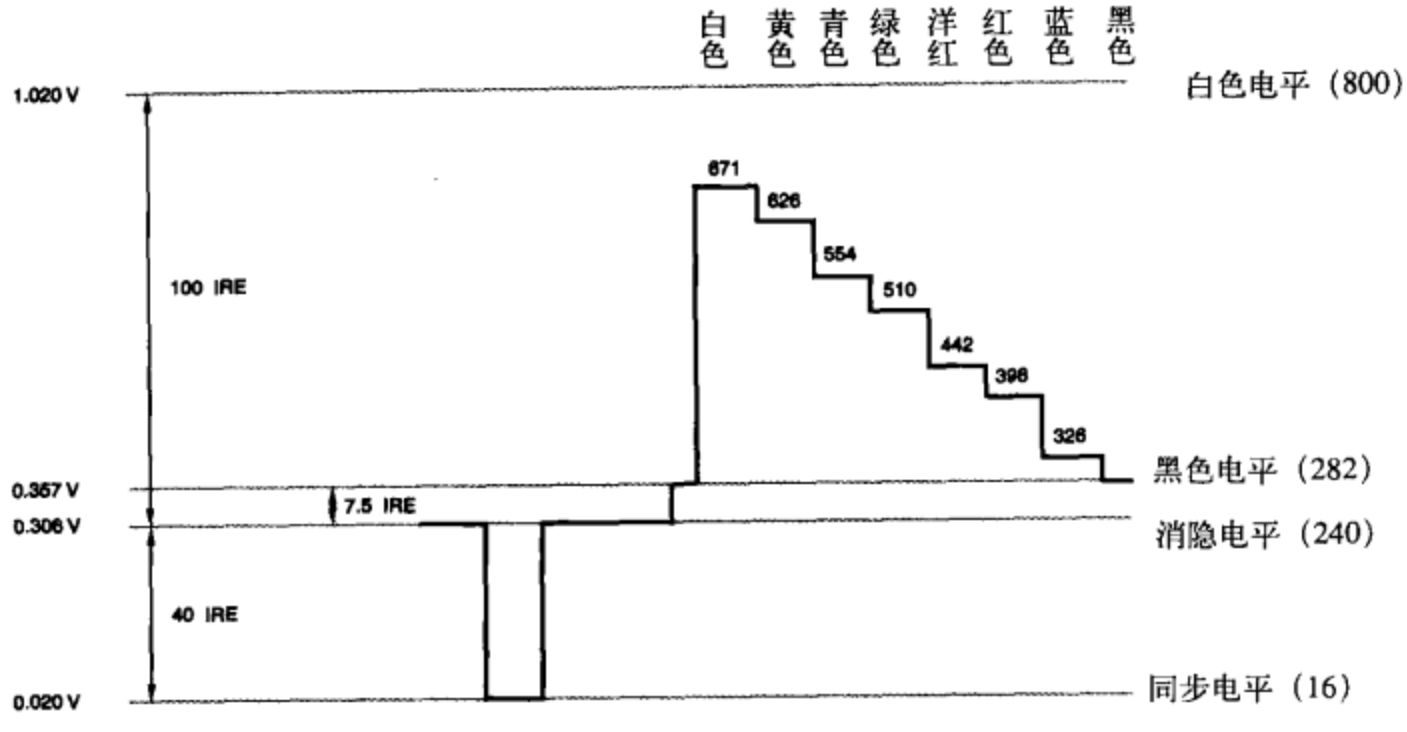


图9-2　75%彩条的（M）NTSC亮度（Y）视频信号。图中指示的亮度电平值为10位

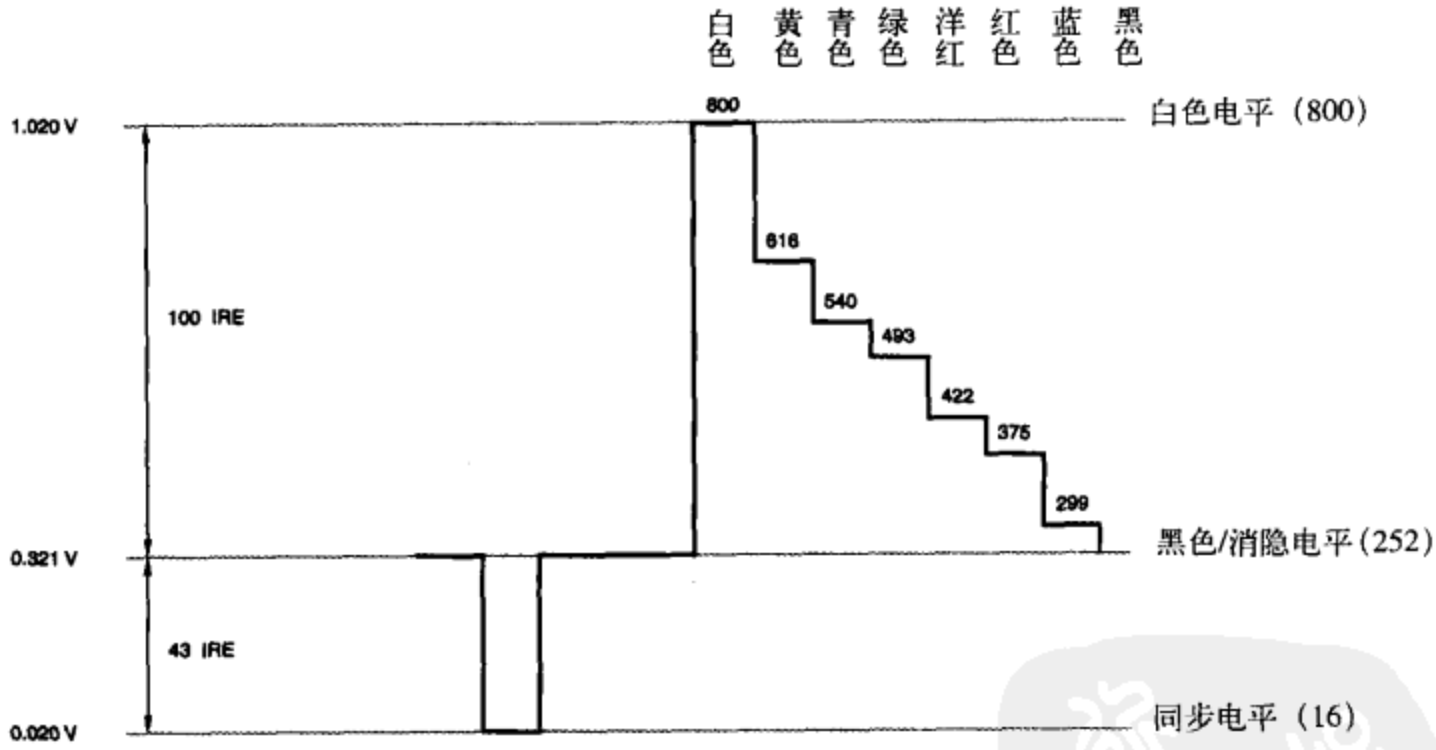


图9-3　75%彩条的（B、D、G、H、I）PAL亮度（Y）视频信号。图中指示的亮度电平值为10位

由于DAC的采样/保持动作引入了一个(sin$x$)/x特性，所以视频数据可以通过一个$[(\sin x)/x]^{-1}$滤波器的数字滤波进行补偿。另外，因为通常在DAC之后提供一个模拟低通滤波器，所以校正可以在模拟滤波器中进行。

作为一个选项，提供在驱动DAC之前延迟数字Y信息一个可编程的时钟周期数量的能力是有用的。如果模拟亮度视频在DAC之后低通滤波，而且模拟色度视频在它的DAC之后进行带通滤波，那么色度视频路径的延迟（典型值大约为400ns）要比亮度视频路径的延迟长。通过调整Y数据的延迟，模拟亮度和色度视频在滤波之后将更加对准，从而简化模拟设计。

394

9.1.4 色差处理

1. 低通滤波

色差信号（CbCr、UV或者IQ）应该使用一个高斯滤波器低通滤波。这种类型的滤波器能够使振铃（ringing）和过冲（overshoot）最小，避免在陡峭边沿上生成可视的伪影。

如果在视频编辑应用中使用编码器，那么滤波器在通带中的波动应该不大于±0.1dB。这样就可以使由滤波器引起的增益和损失伪影的累积最小，特别是当同时有多路编码和解码时。在编码的最后，可以使用高斯滤波器。

❑ YCbCr和YUV颜色空间

Cb和Cr，或者U和V，都进行1.3MHz的低通滤波。滤波器的典型特性为在1.3MHz处衰减小于2dB，在3.6MHz处衰减大于20dB。滤波器的特性如图9-4所示。

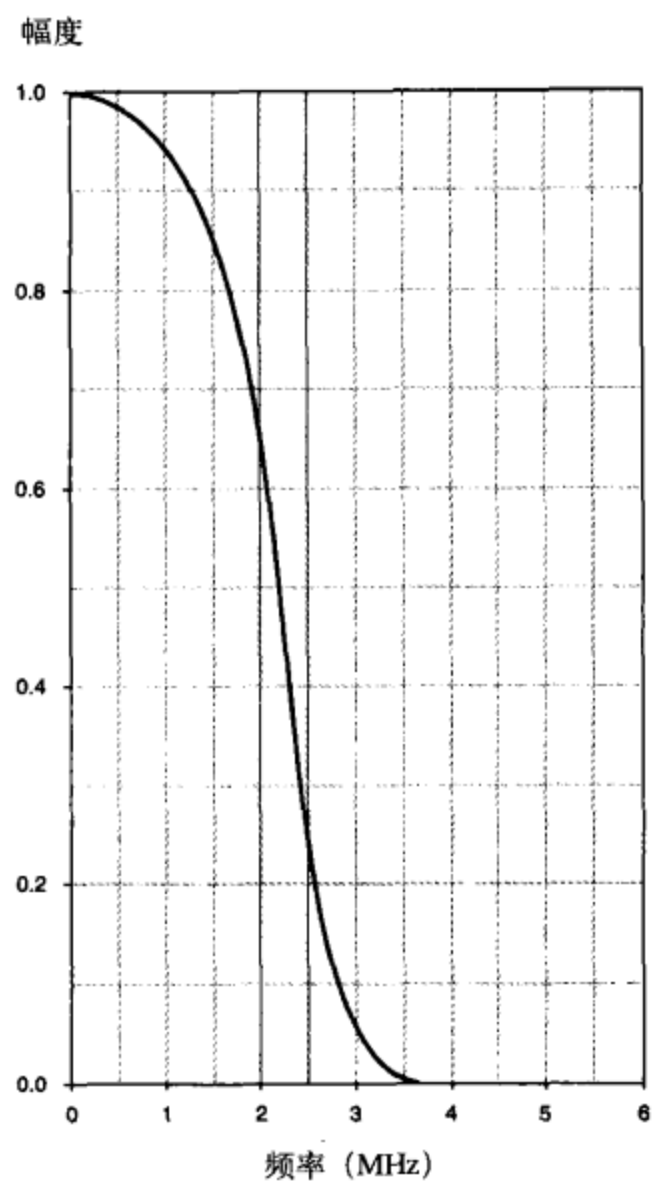


图9-4 典型1.3MHz低通数字滤波器特性

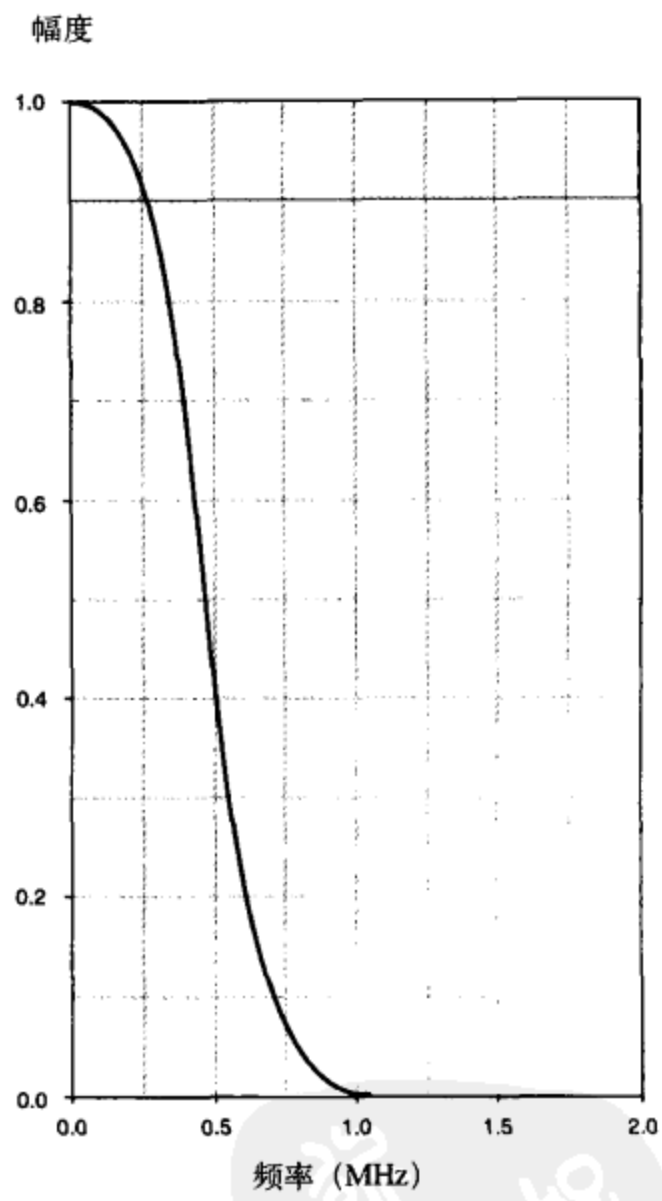


图9-5 典型0.6MHz低通数字滤波器特性

❑ YIQ颜色空间

Q进行0.6MHz的低通滤波。滤波器的典型特性为在0.4MHz处衰减小于2dB，在0.5MHz处衰减小于6dB，在0.6MHz处衰减大于6dB。滤波器的特性如图9-5所示。

I的典型滤波器特性与U和V的相同。

❑ 滤波器注意事项

调制过程以频谱形式在图9-6~图9-9中示范。如果调制过程是模拟的，那么调制过程的频谱都是相同的，只是在采样率的谐频处重复。

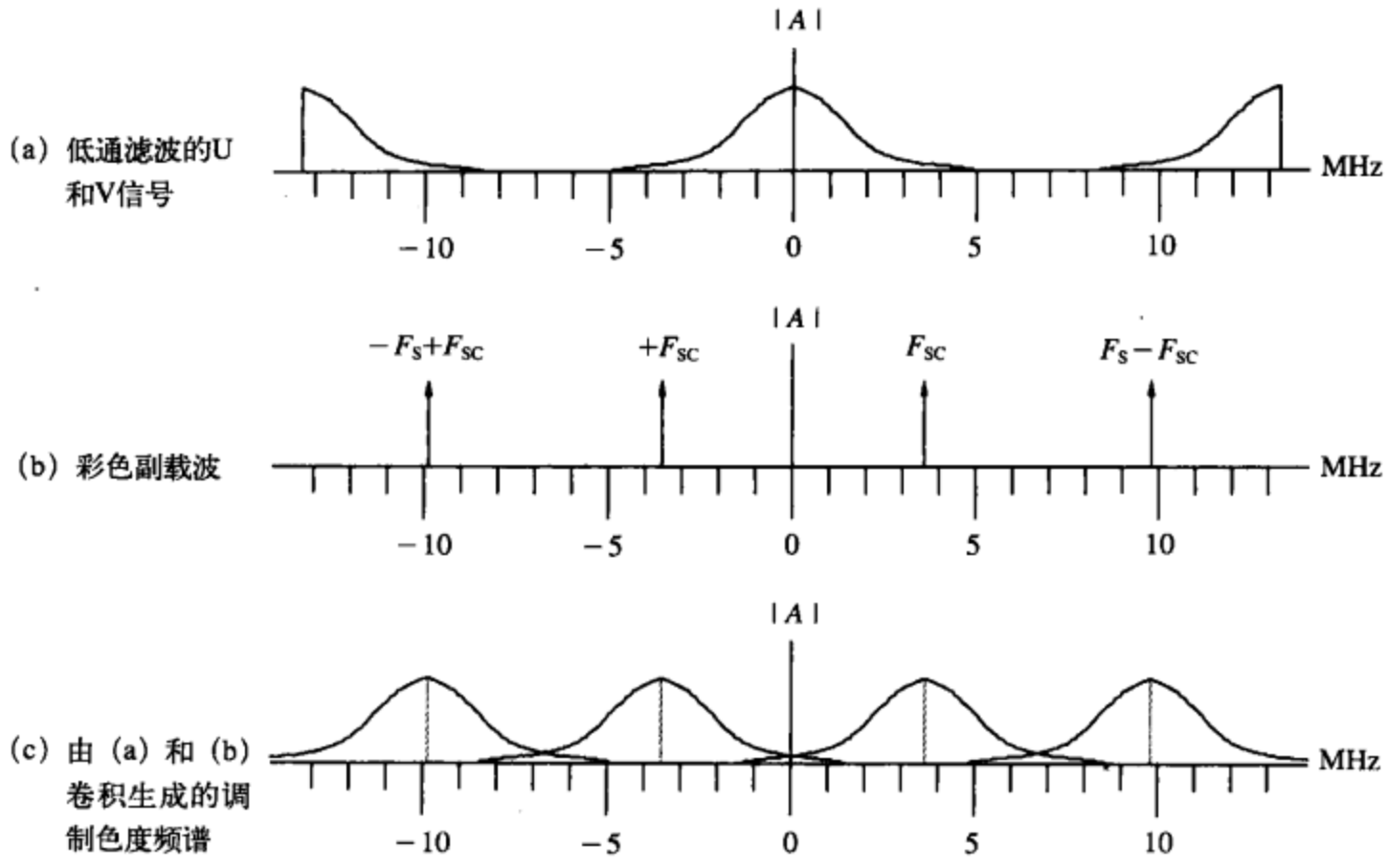


图9-6　NTSC数字色度调制的频谱（$F_S=13.5$MHz、$F_{SC}=3.58$MHz）

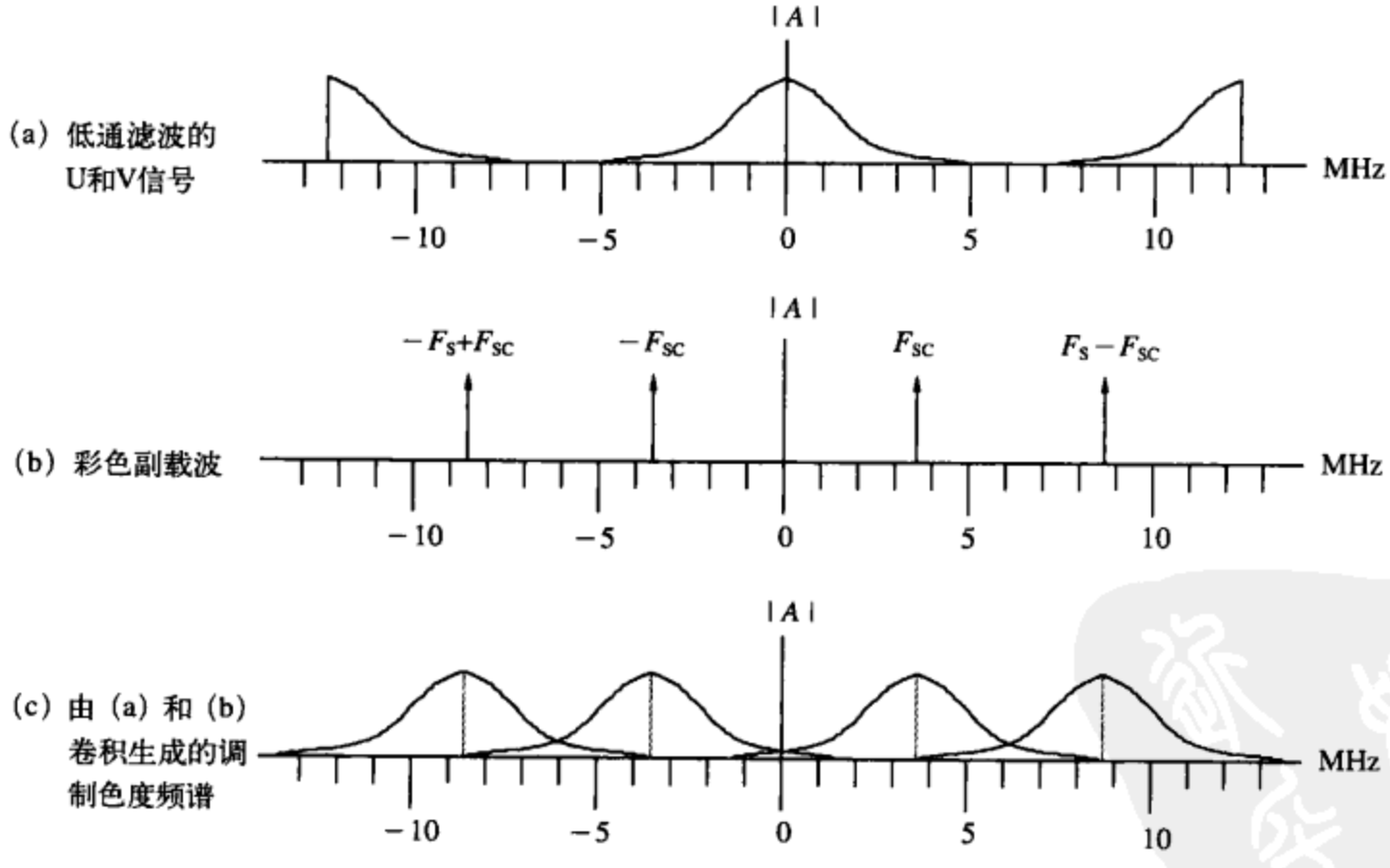


图9-7　NTSC数字色度调制的频谱（$F_S=12.27$MHz、$F_{SC}=3.58$MHz）

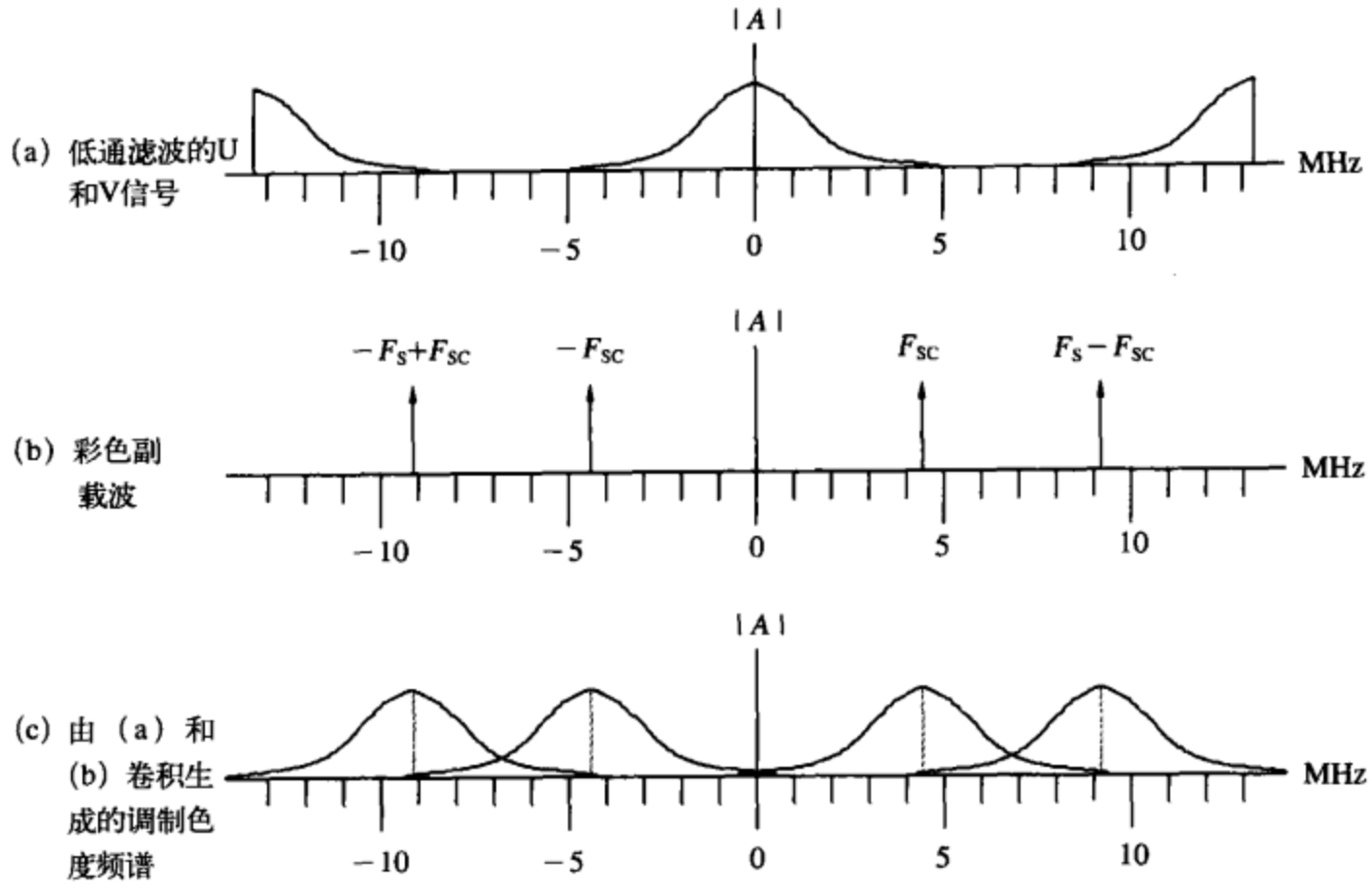


图9-8 PAL数字色度调制的频谱（$F_S=13.5$MHz、$F_{SC}=4.43$MHz）

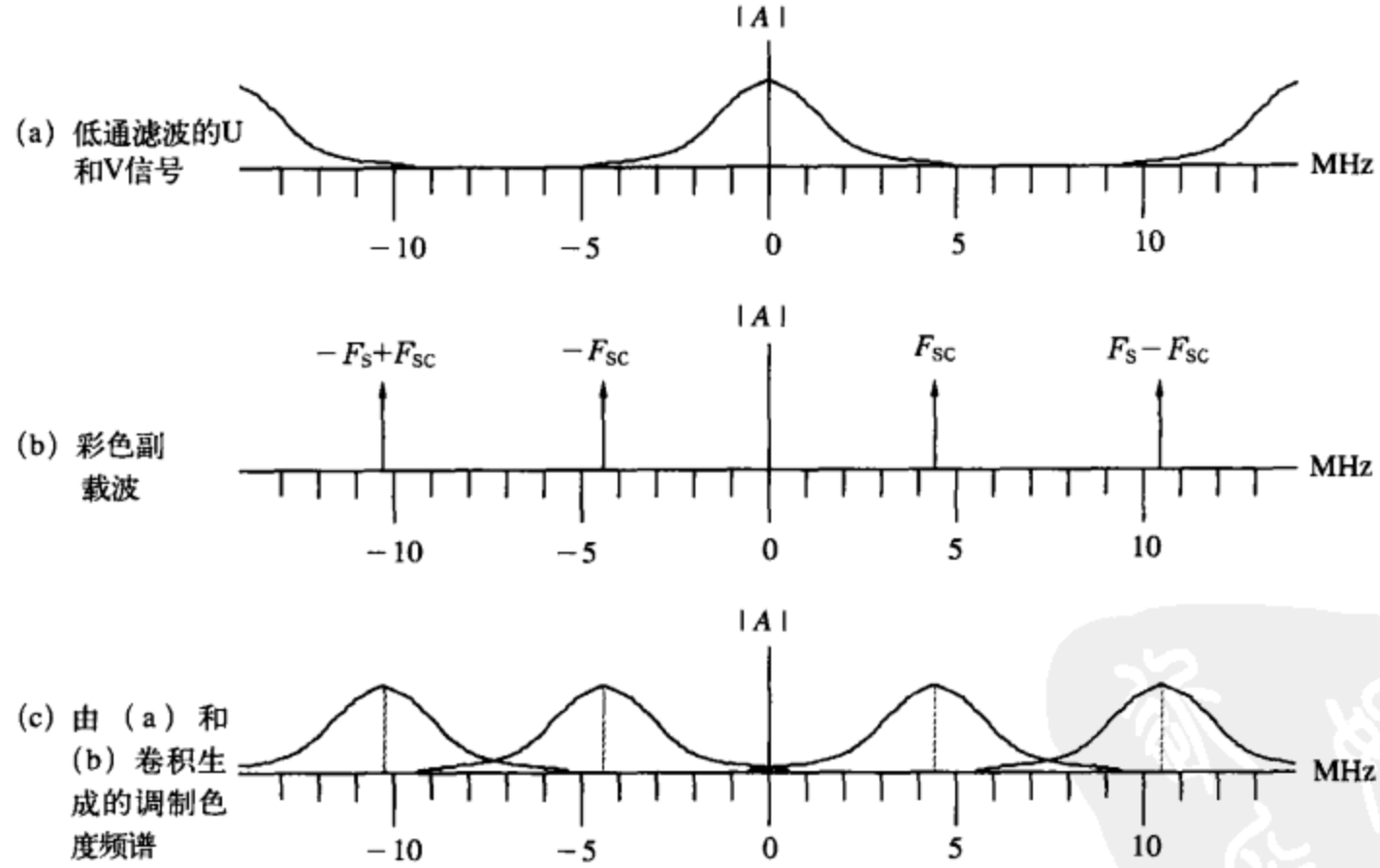


图9-9 PAL数字色度调制的频谱（$F_S=14.75$MHz、$F_{SC}=4.43$MHz）

通过使用宽带（1.3MHz）滤波器，调制色度频谱在0频率区域附近重叠，导致产生混叠。另外，在副载波频率之上可能还会存在相当的混叠。出于这些原因，使用较窄带的低通滤波器（0.6MHz）可能更合适。

宽带高斯滤波器能够通过降低彩色对象边缘的伪影，确保与黑白显示器最佳兼容。带宽较窄、

较锐利的低通滤波器将在这些边上加重副载波信号，导致振铃。如果可以忽略黑白兼容性，那么使用较窄带滤波器的好处就是将色度的传播归并到低频亮度之中（致使低频亮度串扰），而在解码器中抑制低频亮度串扰非常困难。

另外，尽管编码器可能维持一个宽的色度带宽，但是解码器中色差信号的带宽通常非常窄。在解码器中，色度上边带的损失（由于将视频信号低通滤波为4.2~5.5MHz）致使产生振铃以及彩色转换上的色差串扰。解码器色度带宽的增加将致使串色成比例的递增。

395~396

2. 色度（C）调制

❑ （M）NTSC、NTSC-J

在有效视频期间，CbCr、UV或者IQ数据调制正弦和余弦副载波，如图9-1所示，结果生成数字色度（C）数据。对于该设计，11位基准副载波相位（参见图9-17）和色同步信号相位相同（180°）。

对于YUV和YCbCr处理，在有效视频时间期间，11位基准副载波相位必须加上180°，从而正弦ROM和余弦 ROM的输出拥有正确的副载波相位（分别为0°和90°）。

对于YIQ处理，在有效视频时间期间，11位基准副载波相位必须加上213°，从而正弦ROM和余弦ROM的输出拥有正确的副载波相位（分别为33°和123°）。

对于所有的方程来说，它们都满足如下条件：

$\omega=2\pi F_{SC}$

$F_{SC}=3.579545\text{MHz}(\pm 10\text{Hz})$

YUV颜色空间

正如第8章中所讨论的，色度信号可以由下式表示：

$(U\sin\omega t)+(V\cos\omega t)$

色度幅度为$\pm\text{sqrt}(U^2+V^2)$。

YCbCr颜色空间

如果编码器基于YCbCr颜色空间，那么色度信号可以由下式表示：

$(Cb-512)(0.504)(\sin\omega t)+(Cr-512)(0.711)(\cos\omega t)$

至于NTSC-J制式，方程如下：

$(Cb-512)(0.545)(\sin\omega t)+(Cr-512)(0.769)(\cos\omega t)$

在这些情况中，正弦ROM和余弦ROM中的值按指示值缩放，以允许调制器复用器直接接收Cb和Cr数据，而不是U和V数据。

YIQ颜色空间

正如第8章中所讨论的，色度信号可以由下式表示：

$(Q\sin(\omega t+33^\circ))+(I\cos(\omega t+33^\circ))$

色度幅度为$\pm\text{sqrt}(I^2+Q^2)$。

❑ （B，D，G，H，I，M，N，N_C）PAL

在有效视频期间，CbCr或UV数据调制正弦和余弦副载波，如图9-1所示，结果生成数字色度（C）数据。对于该设计，11位基准副载波相位（参见图9-17）为135°。

对于所有的方程来说，它们都满足如下条件：

$\omega=2\pi F_{SC}$

对于（B、D、G、H、I、N）PAL：$F_{SC}=4.433\,618\,75\text{MHz}$（±5Hz）

对于（N_C）PAL：$F_{SC}=3.582\,056\,25$MHz（±5Hz）
对于（M）PAL：$F_{SC}=3.575\,611\,49$MHz（±5Hz）

PAL开关

理论上，因为（$\sin\omega t$）和（$\cos\omega t$）副载波是正交的，所以U和V信号能够在解码器中完美地相互分离。但是，如果视频信号中存在失真，例如边带由于低通滤波的非对称衰减，正交性会有所下降，致使U信号和V信号之间产生串扰。

397 ~ 400

除了90°的副载波相位偏移外，PAL还使用V信号的正交行切换来提供U副载波和V副载波之间的频率偏移。当解码时，串扰分量已在正交行载波频率上调制，在纯色区域产生一个称之为Hanover条（Hanover bar）的移动模式。通过梳状滤波器平衡开关行和非开关行之间的等价作用可以抑制该模式。

当PAL开关等于0时，11位基准副载波相位（参见图9-17）和色同步信号相位是相同的（135°）。因此，有效视频期间的11位基准副载波相位必须加上225°，从而正弦ROM和余弦 ROM的输出拥有正确的副载波相位（分别为0°和90°）。

当PAL开关等于1时，11位基准副载波相位加了90°，致使色同步信号的相位为225°。因此，有效视频期间的11位基准副载波相位必须加上135°，从而正弦ROM和余弦ROM的输出拥有正确的副载波相位（分别为0°和90°）。

注意图9-17中，当PAL开关等于1时，生成的是－V副载波，实现的是－V分量。

YUV颜色空间

正如第8章中所讨论的，色度信号由下式表示：

$$(U\sin\omega t)\pm(V\cos\omega t)$$

其中V的符号每行变换一次（称为PAL开关）。

色度幅度为$\pm\mathrm{sqrt}(U^2+V^2)$。

YCbCr颜色空间

如果编码器基于YCbCr颜色空间，那么（B、D、G、H、I、N_C）PAL的色度信号可以由下式表示：

$$(Cb-512)(0.533)(\sin\omega t)\pm$$
$$(Cr-512)(0.752)(\cos\omega t)$$

（M、N）PAL的色度信号可以由下式表示：

$$(Cb-512)(0.504)(\sin\omega t)\pm$$
$$(Cr-512)(0.711)(\cos\omega t)$$

在这些情况中，正弦ROM和余弦ROM中的值按指示值缩放，以允许调制器复用器直接接收Cb和Cr数据，而不是U和V数据。

❑ 一般处理

副载波正弦和余弦值的精确度应该最低为9位带符号的正数。调制复用器必须在输出处拥有饱和逻辑，以确保上溢条件和下溢条件分别在最大值和最小值处饱和。

在调制色差信号叠加在一起之后，结果舍入为9位带符号正数。此时，数字调制色度的范围如表9-3所示。生成的数字色度数据结果通过一个拥有相同凸余弦值的消隐信号，以及和亮度数据消隐所用相同的时序信息进行钳制。

表9-3 10位数字色度值

视频电平	(M) NTSC	NTSC-J	(B、D、G、H、I、Nc) PAL	(M、N) PAL
峰值色度	328	354	347	328
峰值色同步	112	112	117	117
消隐	0	0	0	0
峰值色同步	−112	−112	−117	−117
峰值色度	−328	−354	−347	−328

❑ 色同步信号生成

如图9-1所示，低通滤波的色差数据和色同步信号包络信息一起复用。在色同步信号时间期间，色差数据应该忽略，而且色同步包络信号插入到Cb、U或者Q通道上（Cr、V或I通道被强制为0）。

色同步包络上升和下降时间应该生成一个凸余弦分布，从而减缓色同步包络的摆率。色同步包络上升和下降时间的典型值为300±100ns。

色同步包络应该足够宽，以生成9个或者10个周期幅度为50%或更大的色同步信息。色同步包络信号乘以正弦ROM的输出，就可以生成色同步信号，它的范围如表9-3所示。

对于专业视频应用来说，色同步信号的相位应该是0°至360°范围内可编程的，从而提供与外部视频信号匹配的可选系统相位。这可通过在色同步时间期间向11位副载波基准相位添加一个可编程值实现（参见图9-17）。

3. 模拟色度（C）生成

数字色度数据可以驱动一个生成0~1.305V输出的10位DAC生成S-video（Y/C）接口的C视频信号。该视频信号在连接器处应该有一个75Ω的源阻抗。

图9-10和图9-11示范了75%彩条的调制色度视频波形。括号中的数字表示满量程输出值为1.305V的10位DAC的数据值。如果DAC不能处理双极视频信号的生成，那么在驱动DAC之前必须在色度数据（以及丢弃的符号信息）上加上一个偏移。在这个实例中，使用的偏移为+512，将消隐电平定位在10位DAC输出电平的中点上。

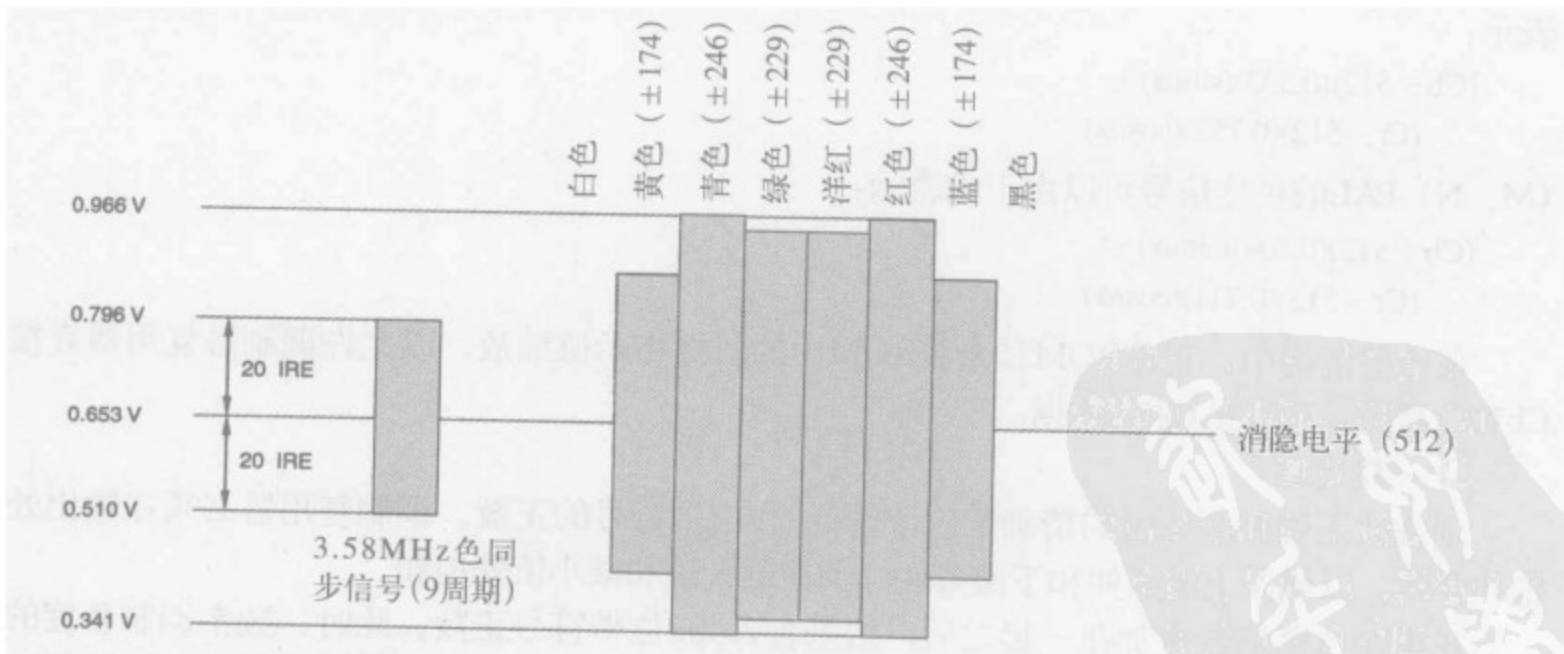


图9-10　75%彩条的（M）NTSC色度（C）视频信号。图中指示的视频电平值为10位

由于DAC的采样/保持动作引入了一个(sin$x$)/x特性，所以视频数据可以通过一个[(sin$x$)/x]$^{-1}$滤波器的数字滤波进行补偿。另外，因为通常在DAC之后提供一个模拟低通滤波器，所以校正可以在模拟滤波器中进行。

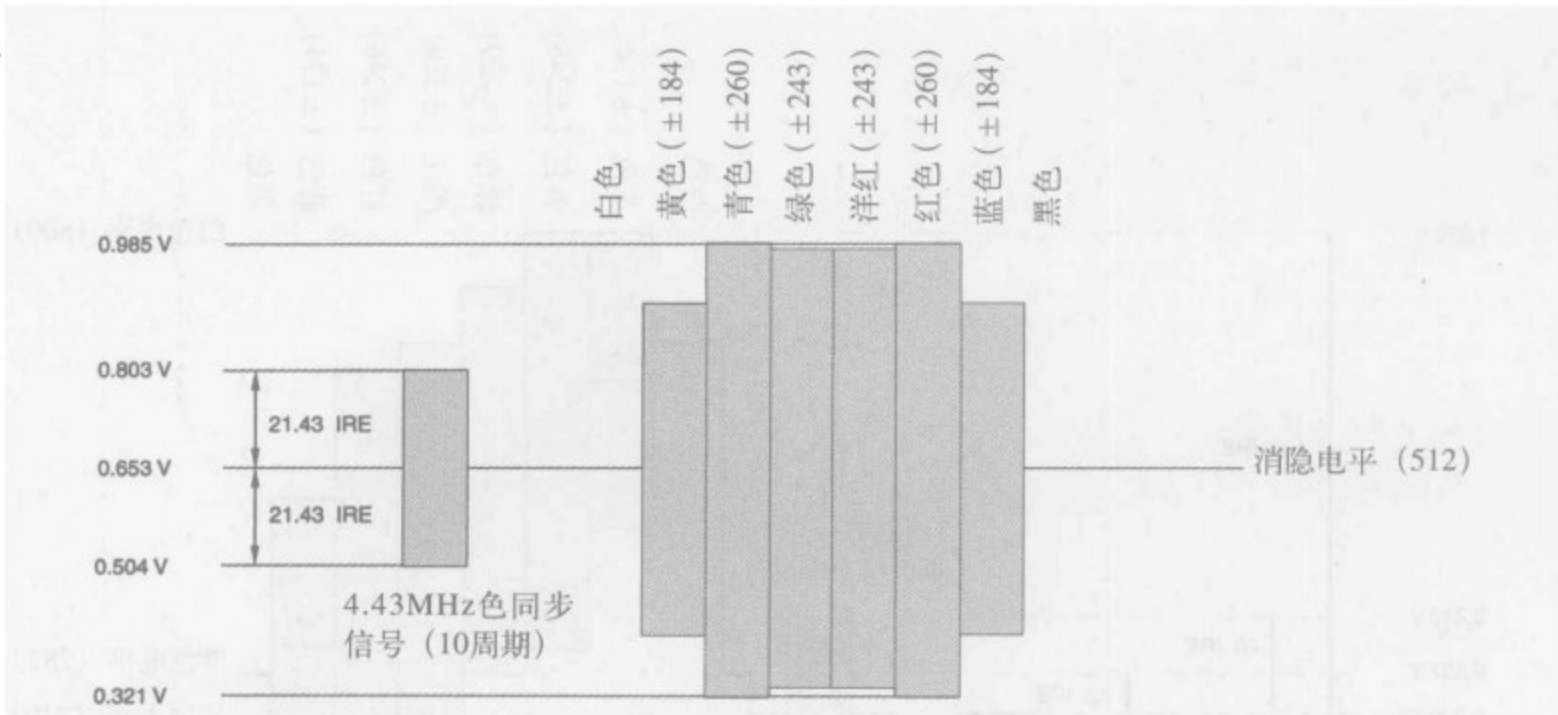


图9-11 75%彩条的（B、D、G、H、I）PAL色度（C）视频信号。图中指示的视频电平值为10位

9.1.5 模拟复合视频

数字亮度（Y）数据和数字色度（C）数据叠加在一起，生成数字复合彩色视频，电平值如表9-4所示。

表9-4 10位数字复合视频电平

视频电平	（M）NTSC	NTSC-J	（B、D、G、H、I、Nc）PAL	（M、N）PAL
峰值色度	973	987	983	973
白色	800	800	800	800
峰值色同步	352	352	369	357
黑色	282	240	252	282
消隐	240	240	252	240
峰值色同步	128	128	135	123
峰值色度	109	53	69	109
同步	16	16	16	16

所生成的结果可以驱动一个生成0~1.305V输出的10位DAC生成复合视频信号。该视频信号在连接器处应该有一个75Ω的源阻抗。

图9-12和图9-13示范了75%彩条的视频波形。括号中的数字表示满量程输出值为1.305V的10位DAC的数据值。

由于DAC的采样/保持动作引入了一个(sin$x$)/x特性，所以视频数据可以通过一个$[(\sin x)/x]^{-1}$滤波器的数字滤波进行补偿。另外，因为通常在DAC之后提供一个模拟低通滤波器，所以校正可以在模拟滤波器中进行。

403 ~ 404

黑场视频信号

作为一个选项，编码器可以生成一个黑场[或者锁相同步（house sync）]视频信号，用来同步多个视频源。图9-14和图9-15描述了黑场视频信号。注意这些信号和模拟复合视频信号相同，但是不包含任何有效视频信息。括号中的值表示一个满量程输出值为1.305V的10位DAC的数据值。

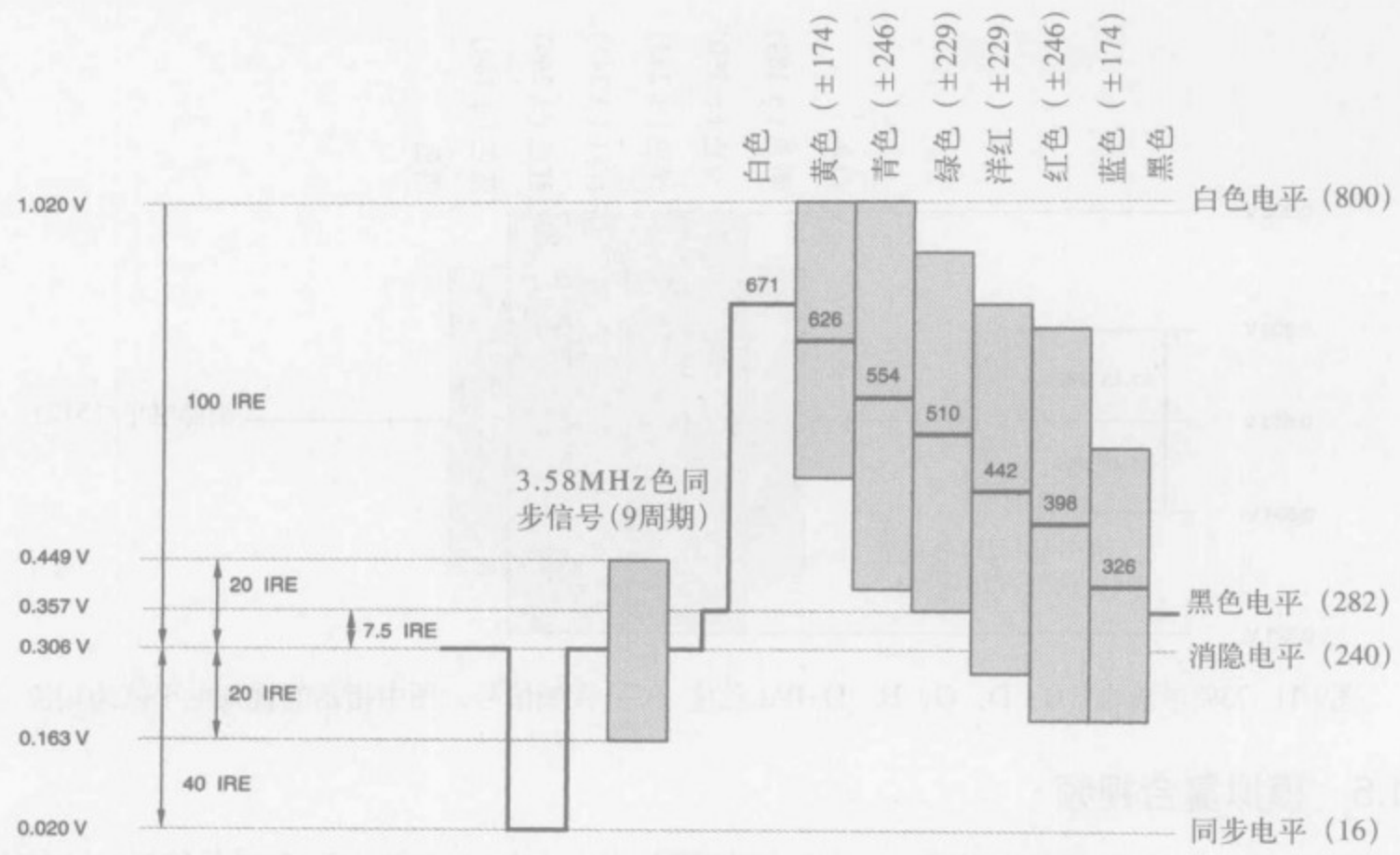
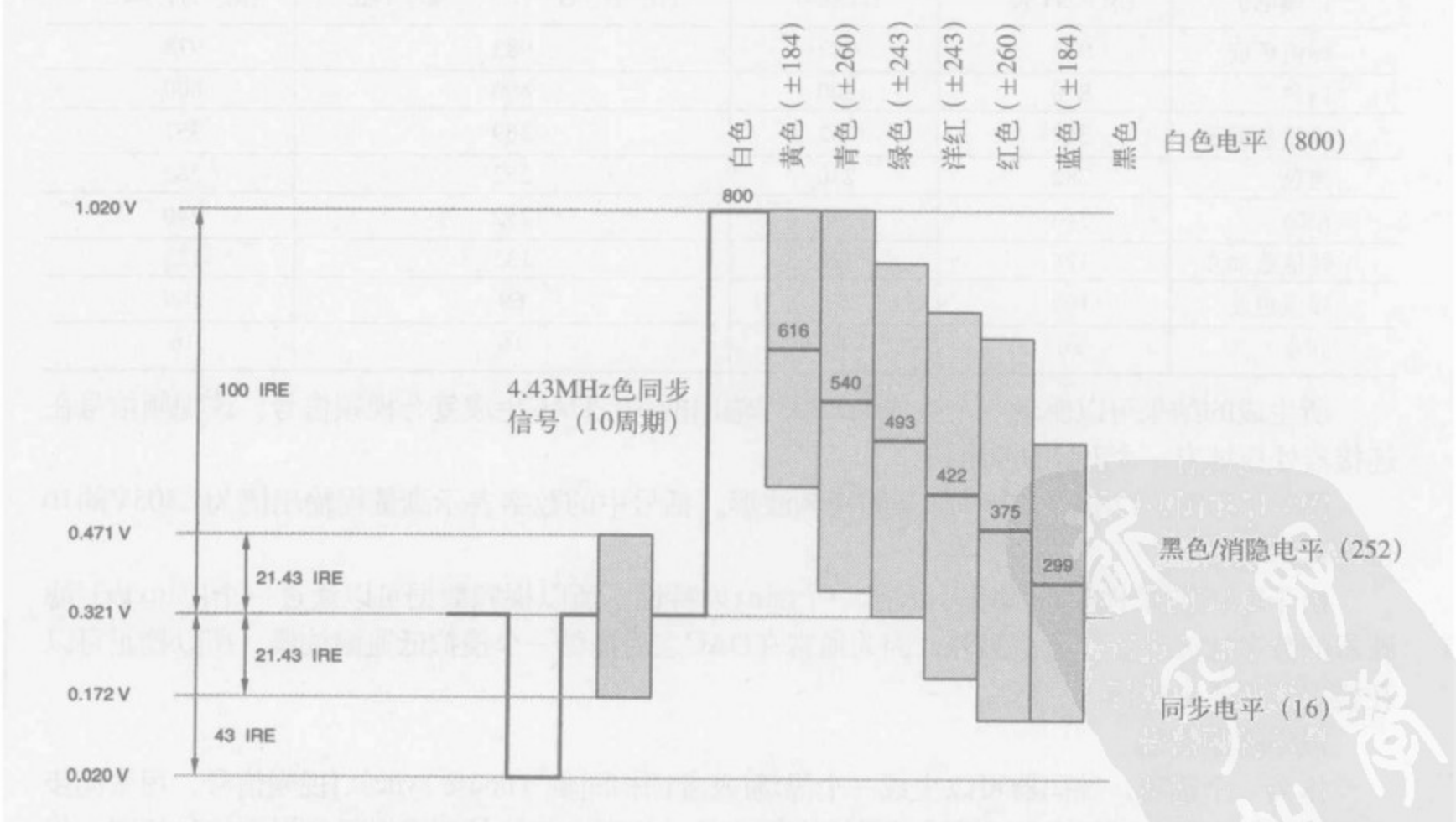


图9-12　75%彩条的（M）NTSC复合视频信号。图中指示的视频电平值为10位



405　图9-13　75%彩条的（B、D、G、H、I）PAL复合视频信号。图中指示的视频电平值为10位

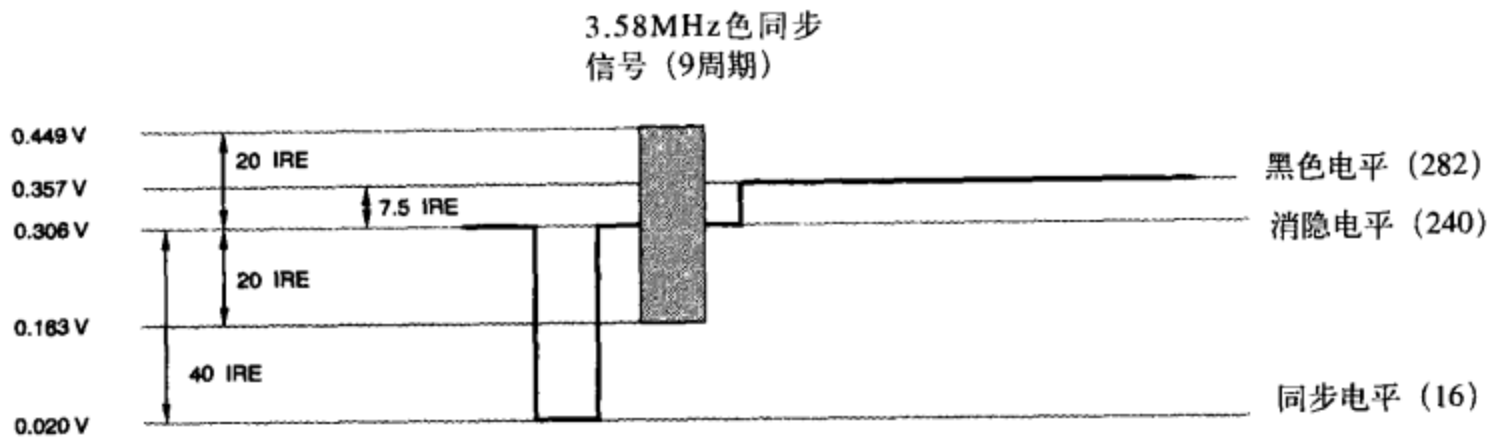


图9-14 （M）NTSC黑场视频信号。图中指示的视频电平值为10位

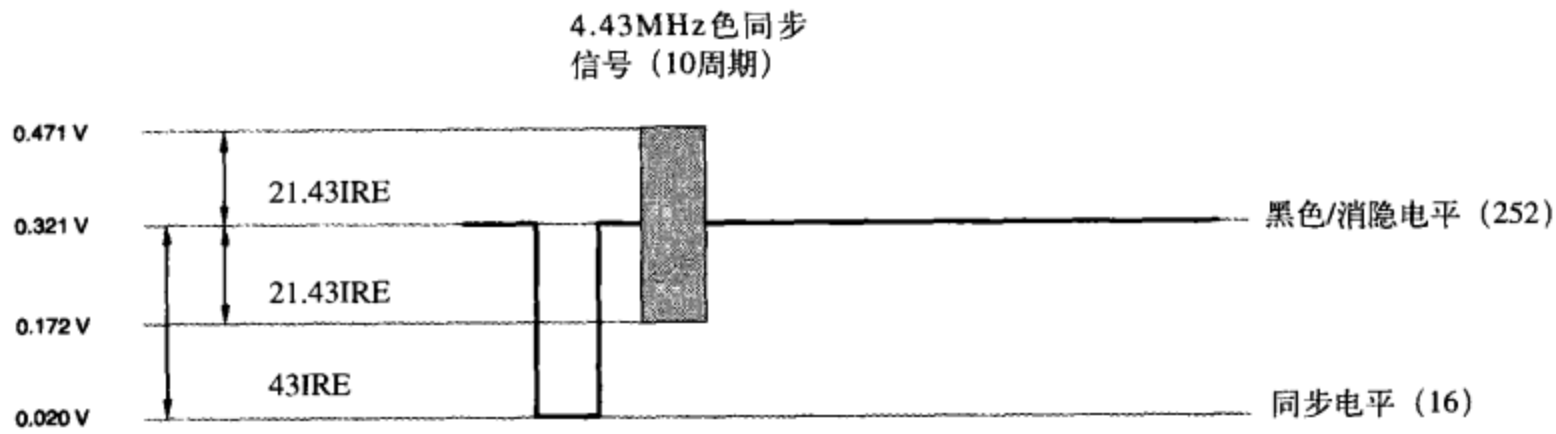


图9-15 （B、D、G、H、I）PAL黑场视频信号。图中指示的视频电平值为10位

406

9.1.6 彩色副载波生成

彩色副载波可以通过使用一个离散时间振荡器（Discrete Time Oscillator，DTO）由采样时钟生成。

当生成的视频用于视频编辑时，维护彩色副载波和同步信息之间的相位关系非常重要。除非相对于同步相位的副载波相位正常维护，否则对视频的编辑可能导致瞬时彩色偏移。PAL还要求一个额外的PAL开关，PAL开关用来每隔一扫描行反转V数据的极性。注意要在编码和解码过程中维护PAL开关的极性。

因为在该设计中，彩色副载波由采样时钟导出，所以采样时钟中的任何抖动都将导致副载波频率的相应抖动。在一些PC中，采样时钟使用一个锁相环（Phase-Lock Loop，PLL）生成，而锁相环没有保持副载波相位抖动低于2°~3°的必要时钟稳定性。

1. 频率关系

❑ （M）NTSC、NTSC-J

正如第8章所示，副载波频率（F_{SC}）和行频（F_H）之间有一个规定的关系：

$F_{SC}/F_H=910/4$

假定（只是为了示例）采样时钟频率（F_S）为13.5MHz，则有：

$F_S=858F_H$

将这两个方程结合在一起就得到F_{SC}和F_S之间的关系：

$F_{SC}/F_S=35/132$

该关系也可以使用采样时钟周期（T_S）和副载波周期（T_{SC}）表示：

$T_S/T_{SC}=35/132$

彩色副载波相位每个采样时钟必须领先副载波周期这一部分。

❑ （B、D、G、H、I、N）PAL

正如第8章所示，副载波频率（F_{SC}）和行频（F_H）之间有一个规定的关系：

$F_{SC}/F_H=(1135/4)+(1/625)$

假定（只是为了示例）采样时钟频率（F_S）为13.5MHz，则有：

$F_S=864F_H$

将这两个方程结合在一起就得到F_{SC}和F_S之间的关系：

$F_{SC}/F_S=709\ 379/216\ 000\ 0$

该关系也可以使用采样时钟周期（T_S）和副载波周期（T_{SC}）表示：

$T_S/T_{SC}=709\ 379/216\ 000\ 0$

彩色副载波相位每个采样时钟必须领先副载波周期这一部分。

❑ （N_C）PAL

在阿根廷使用的（N_C）PAL视频标准中，副载波频率（F_{SC}）和行频（F_H）之间有一个不同的关系：

407

$F_{SC}/F_H=(917/4)+(1/625)$

假定（只是为了示例）采样时钟频率（F_S）为13.5MHz，则有：

$F_S=864F_H$

将这两个方程结合在一起就得到F_{SC}和F_S之间的关系：

$F_{SC}/F_S=573\ 129/216\ 000\ 0$

该关系也可以使用采样时钟周期（T_S）和副载波周期（T_{SC}）表示：

$T_S/T_{SC}=573\ 129/216\ 000\ 0$

彩色副载波相位每个采样时钟必须领先副载波周期这一部分。

2．正交副载波生成

DTO中包含一个累加器，在累加器中一个较小的数[p]加到另一个数[q]上取模。计数器包含一个加法器和一个寄存器，如图9-16所示。寄存器的内容受到约束，因此如果它们大于等于[q]，那么就将内容减去[q]。加法器的输出信号（X_N）为：

$X_N=（X_{N-1}+p）模q$

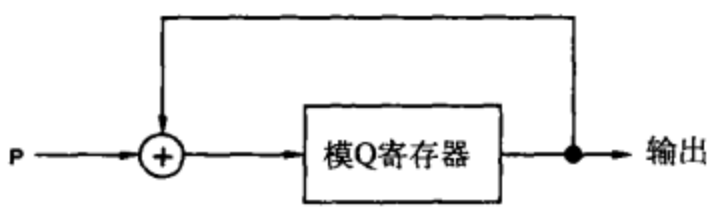


图9-16　单级DTO

对于每个时钟周期，加上[p]生成一系列线性递增的数字值。[q]不是[p]的整数倍非常重要，这样才能保证生成的值是连续不同的值，因此上一周期的余数与下一周期的余数不同。

DTO用来将采样时钟频率F_S归并到彩色副载波频率F_{SC}上：

$F_{SC}=(p/q)F_S$

因为[p]拥有有限的字长度，所以DTO输出频率只能以阶（step）变化。当[p]的字长度为[w]时，最小的[p]阶为0.5w，最小的DTO频率台阶为：

$F_{SC}=F_S/2^w$

注意输出频率不能比输入频率的一半大。这意味着输出频率F_{SC}只能按照增量[p]并且在下述范围内变化：

$0<F_{SC}<F_S/2$

在这个应用中，溢出对应着副载波完整周期的结束。

因为只需要余数（表示副载波相位），所以全部完整周期的数量没有用处。在每个时钟周期期间，[q]寄存器的输出展现了在第q个副载波周期中副载波频率的相对相位。通过使用[q]寄存器内容寻址包含一个正弦波特性的ROM，可以生成被采样副载波正弦波的一个数字表示。 408

❑ 单级DTO

使用一个单独的24位或32位模[q]寄存器以及11个最高有效位，可以提供副载波基准相位。这种结构的一个例子如图9-16所示。

❑ 多级DTO

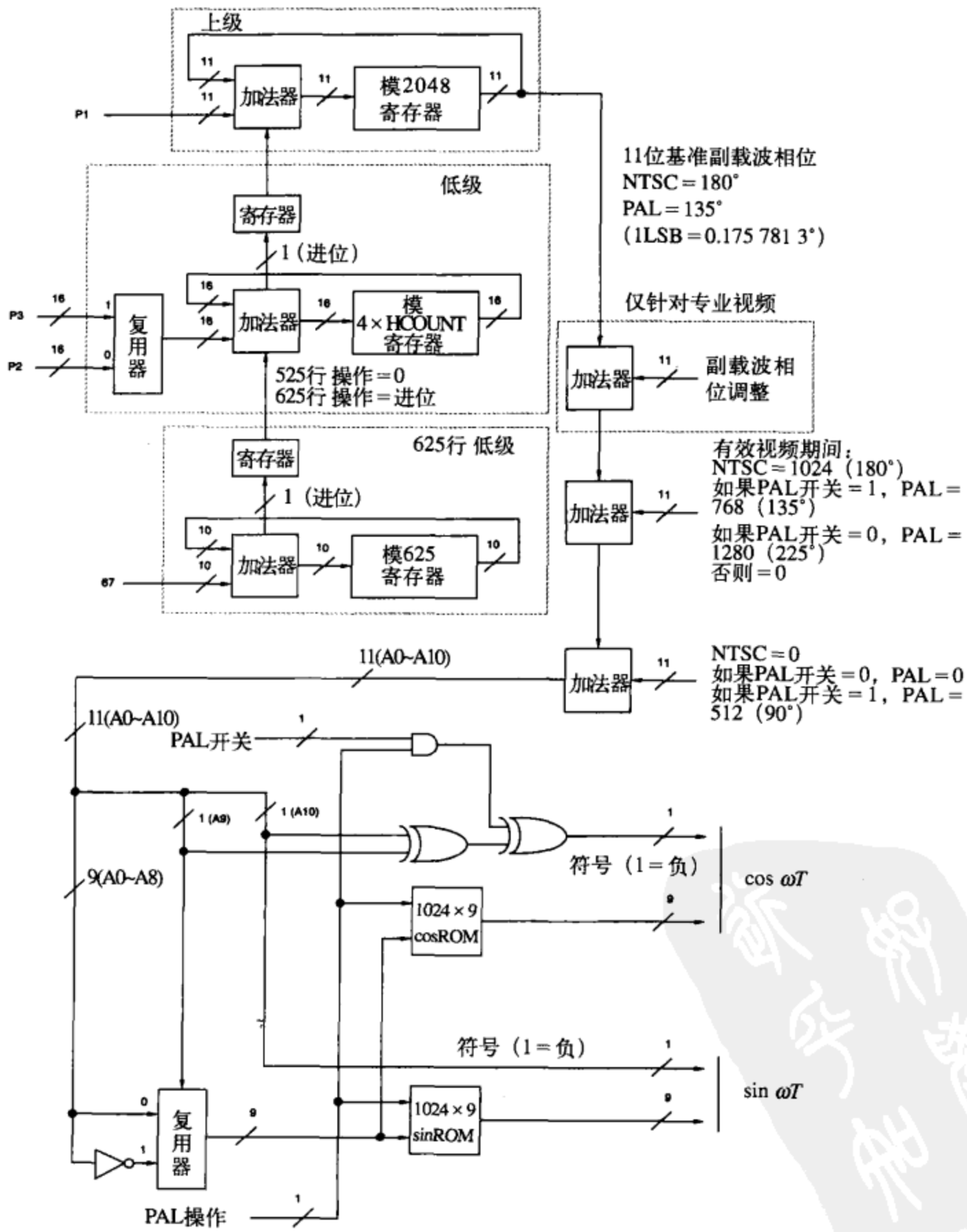


图9-17 3级DTO色度副载波生成

如果将比率划分为2个分数或者3个分数，就可以实现更长的精确度，较高有效分数提供副载波基准相位，如图9-17所示。

为了使用ROM的全部容量，并且使溢出自动化，要求最高有效分数的分母是2的方幂。最低有效分数的分母使用4×HCOUNT来简化硬件计算。

将副载波周期再细分为2048个相位阶，并且使用每个扫描行的总样本数量（HCOUNT），则比率可以如下划分：

$F_{SC}/F_S=(P1+(P2/(4\times HCOUNT)))/2048$

P1和P2编程为生成期望的彩色副载波频率（F_{SC}）。模4×HCOUNT计数器和模2048计数器应该在第1场的每个场同步的开头复位，确保生成正确的副载波基准（如图8-5和图8-16所示）。

较低有效级生成一系列的进位，这些进位通过将统计阶变更数值1（即从P1修改为P1+1）纠正上级的近似比率。上级生成一个11位的副载波相位，用来寻址正弦ROM和余弦ROM。

尽管上级加法器自动溢出提供模2048操作，但是下级加法器要求额外的电路，因为4×HCOUNT可能不是（并且通常不是）一个2的方幂整数。在这种情况下，16位寄存器的最大容量为65 535，加法器为所有大于它的值生成一个进位。为了生成正确的进位序列，每次加法器溢出时，有必要调整下一个添加的数，以弥补65 535和4×HCOUNT之间的差。这要求：

$P3=65536-(4)(HCOUNT)+P2$

尽管这修改了下级寄存器的内容，但是进位的序列没有改变，确保了生成正确的相位值。

（M）NTSC操作的P1和P2值使用下述方程确定：

$F_{SC}/F_S=(P1+(P2/(4\times HCOUNT)))/2048$

409

$F_{SC}/F_S=(910/4)\times(1/HCOUNT)$

（B、D、G、H、I、N）PAL操作的P1和P2值使用下述方程确定：

$F_{SC}/F_S=(P1+(P2/(4\times HCOUNT)))/2048$

$F_{SC}/F_S=((1135/4)+(1/625))\times(1/HCOUNT)$

阿根廷使用的（N_C）PAL操作的P1和P2值使用下述方程确定：

$F_{SC}/F_S=(P1+(P2/(4\times HCOUNT)))/2048$

$F_{SC}/F_S=((917/4)+(1/625))\times(1/HCOUNT)$

因为在P1和P2值计算之后有一个0.1027的余数，所以在625行操作期间使用模625计数器（它的[p]值为67）来更加精确地调整副载波的生成。在525行操作期间，进位符号应该总是强制为0。表9-5列举了一些常见的行分辨率、采样时钟频率及相应的HCOUNT、P1和P2值。

表9-5　图9-17中3级DTO的典型HCOUNT、P1和P2值

典型应用	每个扫描行上的总样本（HCOUNT）	4×HCOUNT	P1	P2
13.5MHz（M）NTSC	858	3432	543	104
13.5MHz（B、D、G、H、I）PAL	864	3456	672	2061
12.27MHz（M）NTSC	780	3120	597	1040
14.75MHz（B、D、G、H、I）PAL	944	3776	615	2253

❑ *正弦和余弦生成*

无论使用什么类型的DTO，11位副载波相位的每个值对应于2048个波形值中的一个，这些值取自副载波周期期间某个特定点并存储在ROM中。当按相反顺序读取样本值时，采样点应该位于总周期的第4096个点的奇数倍处，以避免边缘效应。

注意ROM中只存储副载波波形的一个象限，如图9-18所示。其他象限的值通过正弦曲线波形

的对称属性生成。使用这一技术的最大相位误差相对于峰－峰幅度为±0.09°（360/2048的一半），在正弦波形信号最陡峭部分，它对应于±0.08%的最大幅度误差。

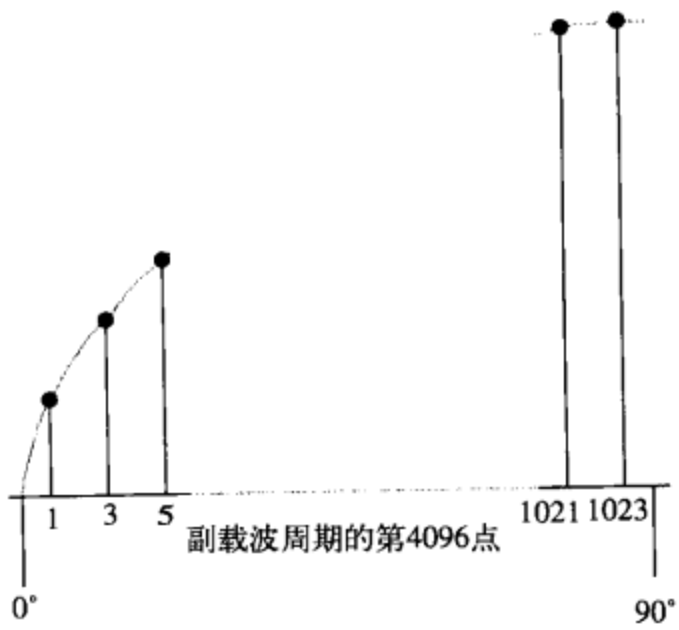


图9-18 副载波周期的一个象限的sinROM和cos ROM中512个存储样本值的位置。其他象限的样本通过反转地址和符号值生成

图9-17还示范了一种由一个11位副载波相位信号生成正交副载波的技术。它使用2个ROM来存储正弦和余弦波形的象限。XOR门反转生成波形时间翻转部分的地址，并且反转输出极性，生成波形的负值部分。另外在符号位中还为V副载波提供一个额外的门，允许插入PAL开关方波，实现V信号在正交扫描行上的相位反转。

9.1.7 行和场时序

行和场计数器用来控制视频时序。

1. 时序控制

为了控制行和场计数器，通常使用独立的行同步（HSYNC#）信号和场同步（VSYNC#）信号。当生成有效视频时，通常使用一个BLANK#控制信号表示。

如果HSYNC#、VSYNC#和BLANK#信号是输入，控制行和场计数器，那么这就称为“从”时序。HSYNC#、VSYNC#和BLANK#信号由系统中的另一个设备生成，由编码器使用生成视频。

410～411

行和场计数器还可以用于生成基本的视频时序。在这种情况下，这种同步方式称为“主”时序，HSYNC#、VSYNC#和BLANK#从编码器输出，在系统的其他地方使用。

对于BT.656视频接口，使用的是行消隐（H）、场消隐（V）和场（F）信息。在这种应用中，编码器将直接使用H、V和F时序位，而不是再依赖于HSYNC#、VSYNC#和BLANK#控制信号。

表9-6列举了常见采样时钟频率的典型行消隐时序。为了指定何时生成有效视频，使用了一个消隐控制信号（BLANK#）。

表9-6 典型BLANK#信号行时序

典型应用	同步＋后肩消隐（样本）	前肩消隐（样本）
13.5MHz（M）NTSC	122	16
13.5MHz（B、D、G、H、I）PAL	132	12
12.27MHz（M）NTSC	126	14
14.75MHz（B、D、G、H、I）PAL	163	13

2. 行时序

在每个采样时钟的上升边，11位的行计数器都递增1，并由HSYNC#复位。对计数器的值进行监测，以确定何时在每个扫描行上维护及取消各种控制信号，例如色同步包络的起始、色同步包络的结束等。

在从时序操作期间，如果在某行的末尾没有HSYNC#脉冲，那么计数器或者继续递增（推荐），或者自动复位（不推荐）。

3. 场时序

在每个HSYNC#的前沿，10位的场计数器都递增1，并且当VSYNC#和HSYNC#的前沿重合时计数器复位。在场同步中，不是使用一个完全重合的下降沿，而是使用一个大约±64时钟周期的重合窗口（coincident window）以减轻与一些视频时序控制器的交互。如果HSYNC#和VSYNC#的前沿彼此都能在64时钟周期内检测出，那么假定从第1场开始。对计数器的值进行监测，以确定生成哪个扫描行。

412~413

至于隔行（M）NTSC，第1~9扫描行和第264~272扫描行（包含）上的色同步信息应该禁用。在剩余的扫描行上，应该启用色同步信息，并在适当的行计数值处禁用色同步信息。

至于逐行（M）NTSC，第1~9扫描行（包含）上的色同步信息应该禁用。彩色副载波频率上添加一个29.97Hz（30/1.001）的偏移，从而彩色副载波相位相邻场之间是反相的。在剩余的扫描行上，应该启用色同步信息，并在适当的行计数值处禁用色同步信息。

对于隔行（B、D、G、H、I、N、N_C）PAL，在场1、2、5和6期间，扫描行1~6、310~318以及623~625（包括第6行、第318行和第625行）上的色同步信息应该禁用。在场3、4、7和8期间，扫描行1~5、311~319以及622~625（包括第5行、第319行和第625行）上的色同步信息应该禁用。在剩余的扫描行上，应该启用色同步信息，并在适当的行计数值处禁用色同步信息。

对于逐行（B、D、G、H、I、N、N_C）PAL，扫描行1~6和310~312（包括第6行和第312行）上的色同步信息应该禁用。在剩余的扫描行上，应该启用色同步信息，并在适当的行计数值处禁用色同步信息。

对于隔行（M）PAL，在场1、2、5和6期间，扫描行1~8、260~270以及523~525（包括第8行、第270行和第525行）上的色同步信息应该禁用。在场3、4、7和8期间，扫描行1~7、259~269以及522~525（包括第7行、第269行和第525行）上的色同步信息应该禁用。在剩余的扫描行上，应该启用色同步信息，并在适当的行计数值处禁用色同步信息。

对于逐行（M）PAL，扫描行1~8和260~262（包括第8行和第262行）上的色同步信息应该禁用。在剩余的扫描行上，应该启用色同步信息，并在适当的行计数值处禁用色同步信息。

以前的PAL接收机由于不稳定的色同步，在图像的顶部生成彩色的抖动。为了修复这一问题，要实现一种Bruch消隐，以确保每个场同步脉冲后面的第一个色同步的相位是相同的。模拟编码器使用一个曲流门（meander gate）通过偏移场频一行控制色同步的再插入时间。数字编码器简单地跟踪扫描行和场号。现代的接收机不再要求Bruch消隐，但是在确定正在处理哪一个场方面它还是有用的。

在从时序操作期间，如果帧尾没有VSYNC#脉冲，那么计数器或者继续递增1（推荐），或者自动复位（不推荐）。

在主时序操作期间，对于专业视频应用，在625行操作期间可能期望生成2.5扫描行的VSYNC#脉冲。但是，在一些商业视频芯片中，这可能导致第1场与第2场之间的检测问题。

4. 场ID信号

尽管使用HSYNC#和VSYNC#之间的时序关系或者BT.656 F位来指定场1和场2，但是也可以

使用额外的信号指定是生成4场还是8场中的一个场，如表9-7所示。

表9-7 场的编号

FIELD_1信号	FIELD_0信号	HSYNC#和VSYNC#时序关系或BT.656 F位	NTSC场编号		PAL场编号	
0	0	场1	1	奇数场	1	偶数场
0	0	场2	2	偶数场	2	奇数场
0	1	场1	3	奇数场	3	偶数场
0	1	场2	4	偶数场	4	奇数场
1	0	场1	–	–	5	偶数场
1	0	场2	–	–	6	奇数场
1	1	场1	–	–	7	偶数场
1	1	场2	–	–	8	奇数场

在场1、3、5和7期间，应该修改FIELD_0的状态，与VSYNC#的前沿一致。在场1和场5期间，应该修改FIELD_1的状态，与VSYNC#的前沿一致。

对于BT.656视频接口，FIELD_0和FIELD_1可以使用辅助数据发送。 414

9.1.8 干净编码

一般情况下，传统编码器中提供的唯一的滤波器是色差低通滤波器。这会导致亮度分量和色度分量之间存在相当数量的频谱重叠，使解码器端无法完全分离这两个信号。

但是，编码器可以进行额外的处理，减少串色（亮度对色度串扰）和串亮度（色度对亮度串扰）解码器伪影。串色看上去就像一个粗糙的彩条信号图，或者细粒度细节区域中的随机色彩。串亮度看上去就像色度边缘上的一个细粒度图案。

解码器中的串色可以通过在编码器中移除一些高频率的亮度数据降低，高频率亮度数据的移除通过对F_{SC}使用一个陷波滤波器实现。但是，在降低串色的同时，也会丢失亮度细节。

一个更好的办法就是在编码器中对亮度和色度信息使用预梳状滤波器（pre-comb filter）（参见图9-19）。高频率的亮度信息使用预梳状滤波器滤波，使频谱中亮度信息与色度频率的干涉最小。色度信息通过对一些行求平均也进行预梳理滤波，降低串亮度或者悬挂点（hanging dot）模式。

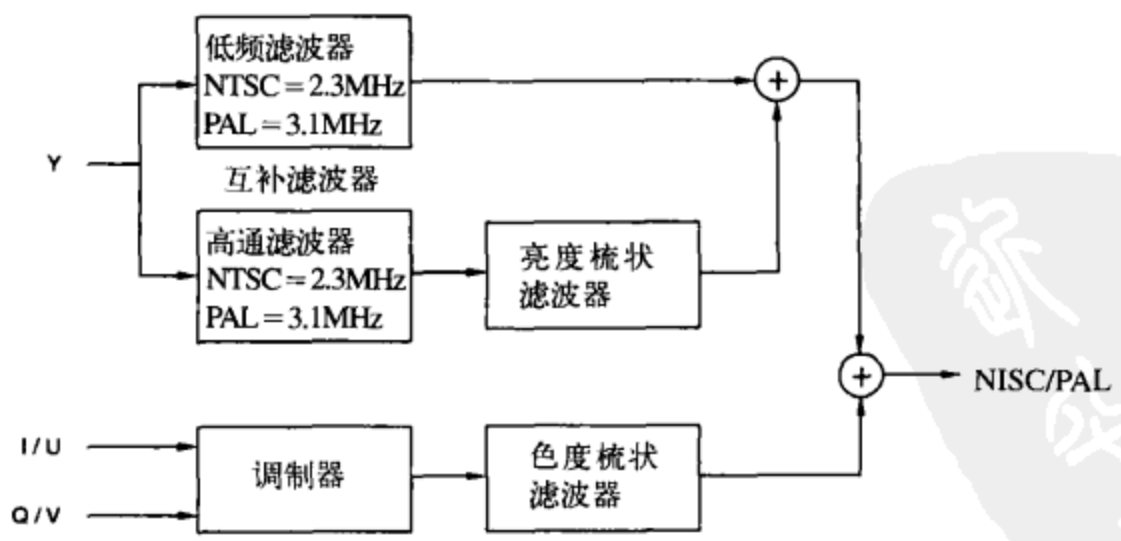


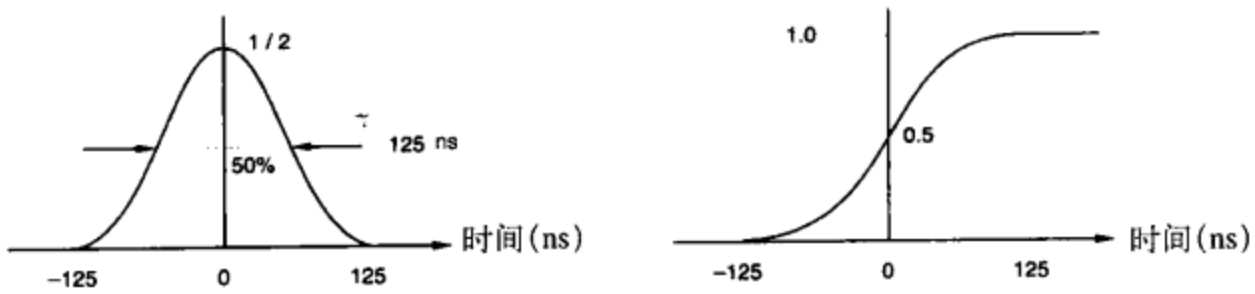
图9-19 干净编码示例

这一技术允许将细粒度的移动亮度（能够在解码器端生成串色）移除，同时保留静态亮度的全部解析度。但是，由于采用了多行平均，所以对角线亮度解析度还是有一小部分的损失。这可

415 以通过改进色度信噪比（Signal-to-Noise Ratio，SNR）进行补偿。

9.1.9 带宽受限边生成

平滑的同步和消隐边可以通过集成一个T脉冲或者凸余弦脉冲生成一个T阶（T step）来生成（图9-20）。NTSC制式使用$T=125$ns的T脉冲；因此，2T阶超过4MHz的信号能量很少。PAL制使用$T=100$ns的T脉冲；在这种实例中，2T阶超过5MHz的信号能量很少。



（a）NTSC制式T脉冲　　（b）T阶，集成了T脉冲后的结果

图9-20 带宽受限边生成

T阶可以在一个明确的带宽内提供一个快速的上升时间，且没有振铃。边的10%~90%点之间的上升时间为0.964T。通过为同步边、消隐边和色同步包络选择合适的采样值，这些值可以存储在一个小的ROM中，ROM可以在合适的行计数时触发。通过向前与向后读取ROM的内容，就可
416 以生成上升边和下降边。

9.1.10 电平受限处理

某些高度饱和的色彩生成的复合视频电平可能在下游设备中导致问题。

大于100 IRE或者小于－20 IRE（相对于消隐电平）的无效视频电平可以传送，但是可能导致VCR或者解调器失真，并且导致同步分离问题。

大于120 IRE（NTSC）或133 IRE（PAL），或者低于同步脉冲顶部电平的非法视频电平可能无法传送。

尽管在传统的视频应用中这通常并不是一个问题，但是计算机系统通常使用高度饱和的色彩，这有可能生成无效或者非法的视频电平。所以期望可以有选择地将这些信号电平限制在110 IRE附近，在受限的可用色彩和生成合法视频电平之间进行折衷。

进行纠正的一种方法就是调整无效和非法像素的亮度或饱和度，直至达到期望的峰值限制。还有一种方法，即扫描帧缓冲器的内容，标记生成无效或非法视频电平的像素（使用一个单独的重叠面或者色彩变化）。然后用户可以将这个颜色修改为一个更适合的颜色。

在专业的编辑应用中，如果选择在设备之间传送所有的视频信息（包括无效和非法的电平），要求将编辑和处理的伪影减到最小。

9.1.11 编码器视频参数

目前定义了许多工业标准的视频参数来指定NTSC和PAL编码器的相对质量。为了测量这些参数，可以使用视频测试设备监测编码器的输出（生成各种不同的视频测试信号，例如第8章中描述的测试信号）。表9-8示范了家用和演播室质量的编码器的一些典型AC参数值以及一些参数的描述。

表9-8 （M）NTSC和（B、D、G、H、I）PAL编码器的典型AC视频参数

参数	家用级质量		演播室质量		单位
	NTSC	PAL	NTSC	PAL	
微分相位	4		≤1		度
微分增益	4		≤1		%
亮度非线性特性	2		≤1		%
色调准确度	3		≤1		度
色饱和度准确度	3		≤1		%
残留副载波	0.5		0.1		IRE
SNR（遵循EIA-250-C）	48		>60		dB
SCH相位	0±40	0±20	0±2		度
模拟Y/C输出相位偏移	5		≤2		ns
H倾斜	<1		<1		%
V倾斜	<1		<1		%
副载波容限	10	5	10	5	Hz

有几个AC参数，例如组延迟和K因子，依赖于输出滤波器的质量，因此这里不进行讨论。除了本节讨论的AC参数外，还有一些其他参数应该包含在编码器规范中，例如色同步信号频率和容限、行频率、行消隐时间、同步上升和下降时间、色同步包络上升和下降时间、视频消隐上升和下降时间以及YIQ或YUV分量的带宽。

另外还应该指定几种DC参数（例如白色电平和容限、消隐电平和容限、同步高度和容限、峰－峰色同步信号幅度和容限），如表9-9所示。

表9-9 （M）NTSC和（B、D、G、H、I）PAL编码器的典型DC视频参数

参数	家用级质量		演播室质量		单位
	NTSC	PAL	NTSC	PAL	
白色电平（相对于消隐）	714±70	700±70	714±7	700±7	mV
黑色电平（相对于消隐）	54±5	0	54±0.5	0	mV
同步电平（相对于消隐）	−286±30	−300±30	−286±3	−300±3	mV
色同步信号幅度	286±30	300±30	286±3	300±3	mV

1. 微分相位

微分相位失真，通常称为微分相位，指的是色度相位受亮度电平的影响有多大，换句话说，就是当亮度电平变化时色调偏移有多大。相位误差可能是正的也有可能是负的，因此微分相位表示为峰－峰测量值，以副载波相位的度数表示。

该参数使用一个相位和幅度均匀的色度叠加到不同亮度电平（例如调制斜坡测试信号或者复合测试信号的调制5级部分）上测量而得。演播室质量级编码器的微分相位参数接近于0.2°或者更小。

417

2. 微分增益

微分增益失真，通常称为微分增益，指的是色度增益受亮度电平的影响有多大，换句话说，就是当亮度电平变化时色饱和度偏移有多大。信号有可能衰减也有可能放大，因此微分增益表示为任意两个电平之间的最大幅度变化，表示为最大色度幅度的百分比。

该参数使用一个相位和幅度均匀的色度叠加到不同亮度电平（例如调制斜坡测试信号或者复合测试信号的调制5级部分）上测量而得。演播室质量级编码器的微分增益参数接近于0.2%或者

更小。

3. 亮度非线性特性

亮度非线性特性也称为微分亮度和亮度非线性失真，表示亮度增益受亮度电平的影响有多大，换句话说，就是生成的亮度电平与理想亮度电平之间的非线性关系。

通过使用一个非调制的5级或者10级阶梯测试信号，将最大级和最小级之间的差表示为最大级的一个百分比，用来表示亮度非线性特性。尽管这个参数包含在微分增益和微分相位参数中，但是传统上这个参数单独指定。

4. 色度非线性相位失真

色度非线性相位失真指的是色度相位（色调）受色度幅度（色饱和度）的影响有多大，换句话说，就是当饱和度变化时色调偏移有多大。

通过使用一个调制基底测试信号或者组合测试信号的调制基底部分，可以测量每个色度包和色同步之间的相位差。最大测量值和最小测量值之间的差就是峰－峰值，以副载波相位的度数表示。这个参数通常不能单独指定，但是可以包含在微分增益和微分相位参数中指定。

5. 色度非线性增益失真

色度非线性增益失真指的是色度增益受色度幅度（色饱和度）的影响有多大，换句话说，就是指已生成的色度幅度电平和理想色度幅度电平之间的非线性关系，通常看作高饱和度色度信号的衰减。

通过使用一个调制基底测试信号或者组合测试信号的调制基底部分，对测试设备进行调整，从而使中间的色度包为40 IRE。另2个色度包的幅度的测量值和标称值之间的最大差表示色度非线性增益失真，用IRE表示，或者表示为最坏包标称幅度的百分比。这个参数通常不能单独指定，但是可以包含在微分增益和微分相位参数中指定。

418～419

6. 色度－亮度互调

色度－亮度互调通常称为交叉调制（cross-modulation），表示亮度电平受色度的影响有多大。这可能是高饱和度色度电平削波或正交失真的结果，而且由于色饱和度的改变还可以表现为一个不规则的亮度变化。

通过使用一个调制基底测试信号，或者组合测试信号的调制基底部分，用理想的50 IRE基底电平和测量亮度电平（在移除色度信息之后）之间的最大差来表示色度－亮度互调，色度－亮度互调可以用IRE表示，或者表示为一个百分比。这个参数通常不能单独指定，但是可以包含在微分增益和微分相位参数中指定。

7. 色调准确度

色调准确度表示生成的色调值与理想的色调值之间有多紧密。相位误差可能是正的也有可能是负的，所以色调准确度是最坏情况下的正测量值和最坏情况下的负测量值（相对于标称值）之间的差，以副载波相位的度数表示。这个参数使用EIA或EBU的75%彩条作为测试信号进行测量。

8. 色饱和度准确度

色饱和度准确度表示生成的饱和度值与理想的饱和度值之间有多紧密，该参数使用EIA或EBU的75%彩条作为测试信号。该测量值可能是增益也有可能是衰减，所以色饱和度准确度是最坏情况下的增益测量值和最坏情况下的衰减测量值（相对于标称值）之间的差，表示为标称值的百分比。

9. 残留副载波

残留副载波参数表示白色或灰色信息中副载波信息的量（注意，理想情况下应该没有）。在图像的白色或灰色部分，过多的残留副载波就会引起可见的噪声干扰。

通过使用一个非调制5级或10级阶梯测试信号，有效视频期间副载波的最大峰－峰测量值（用IRE表示）用来指定相对于色同步幅度的残留副载波。

10. SCH相位

SCH（SubCarrier to Horizontal，副载波对行）相位指的是行同步的前沿（位于50%幅度点处）和色同步的0交叉点处之间的相位关系（通过将色同步外插到同步的前沿上）。该误差称为SCH相位，用副载波相位的度数表示。

对于PAL制式，由于同步和副载波频率之间更加复杂的关系，SCH相位的定义稍微有所不同——某一给定行的SCH相位关系每8场只重复一次。因此PAL制式的SCH相位根据EBU Technical Statement D 23-1984（E）定义为“外插到第1场第1行同步脉冲前沿的半幅度点上的色同步的＋U分量的相位”。

当合并2个或者更多个视频信号时，SCH相位非常重要。为了避免彩色偏移或者图像跳动，视频信号必须拥有相同的行、场及副载波时序信息，而且相位必须非常匹配。为了实现这些时序约束，视频信号必须拥有相同的SCH相位关系，因为行同步和副载波是拥有一个明确关系的连续信号。对于编码器来说，允许调整SCH相位来简化2个或更多个视频信号的合并非常普遍。因为NTSC和PAL解码器可能要监测SCH相位来确定要解码哪个彩色场，所以维护正确的SCH相位也非常重要。 420

11. 模拟Y/C视频输出相位偏移

模拟亮度（Y）和色度（C）视频信号之间的输出偏移应该最小，从而避免亮度和色度信息之间的相位偏移误差。当在监视器上观看时，过多的输出相位偏移可以表现为锐利垂直边上可见的伪影。

12. H倾斜

H倾斜也称行倾斜和行时间失真，导致行频信号中出现倾斜的主要因素是白条。这种类型的失真导致图像左边和右边之间亮度的变化。对于数字编码器，例如本章中描述的编码器，H倾斜主要是模拟输出滤波器和传输媒介的伪影。

H倾斜使用一个线条（例如NTC-7 NTSC复合测试信号中的线条）来测量，并且测量倾斜的峰－峰变化（用IRE表示，或者白条幅度的百分比），但是忽略白条的第一个和最后一个微秒。

13. V倾斜

V倾斜也称为场倾斜和场时间失真，导致场频信号中出现倾斜的主要因素是白条。这种类型的失真导致图像的顶边和底边之间亮度的变化。对于数字编码器，例如本章中描述的编码器，V倾斜主要是模拟输出滤波器和传输媒介的伪影。

V倾斜使用18μs、100 IRE的白条（位于场中心的130行扫描行的中心）或者场方波测量。所测量的是倾斜的峰－峰变化（用IRE表示，或者白条幅度的百分比），但是忽略白条的前3行和最后3行。

9.1.12 同步锁相支持

在许多实例中，期望能够将编码器的输出同步锁相（调整时序信号）到另一个复合模拟视频信号上，为下游视频处理提供方便。这要求将行、场与彩色副载波频率和相位锁定在一起，详见本章NTSC/PAL解码器一节中的讨论。另外，亮度幅度和色度幅度必须匹配。在同步锁相（genlock）中的一个主要问题就是重新生成的采样时钟可能有过多的抖动，导致彩色伪影。

同步锁相的一个变种就是向编码器发送一个超前的锁相同步［也称为黑场或者超前同步（advance sync）］。该超前补偿从锁相同步生成器到下游处理器（例如混和器）使用的编码器输

出之间的延迟。每个视频源都有它自己的超前锁相同步信号，因此每个视频源都在混合或者处理点进行时间对准。

另一个同步锁相选项允许调整副载波相位，从而副载波可以在混合或处理点与其他视频源匹配。副载波相位必须能够由0°调整到360°。为了在大约10ns台阶中独自定位同步和亮度信息，需要或者总是维护一个0 SCH相位，或者允许进行另一个调整。

421

产品之间的输出延迟变化应该位于大约±0.8ns之内，以允许来自不同同步锁相设备的视频信号正确混合。复用器通常假定2个视频信号完美同步锁相，而且2个视频信号之间过量的时间偏斜将导致不良的混合性能。

9.1.13 alpha通道支持

为专业视频编辑应用设计的编码器可能支持alpha通道。输入的8位或者10位数字alpha数据，以流水方式匹配编码过程的流水线，然后转换为模拟alpha信号（详见第7章讨论）。Alpha数据通常是线性的，所生成的模拟alpha信号（也称为键）的范围为0~100 IRE。alpha通道中没有消隐基底和同步信息。

在支持32位像素的计算机系统中，通常有8位是用于alpha信息的。

9.2 NTSC和PAL数字解码

尽管在NTSC/PAL编码器中，亮度分量和色度分量的组合通常是将两个信号简单地叠加在一起，但是在解码器分离它们时却异常困难。模拟NTSC和PAL解码器已经面世一段时间了。但是，它们的使用还非常困难，在使用过程中要求进行调整，而且提供的视频质量有限。

通过使用数字技术来实现NTSC和PAL解码拥有许多优点，例如方便使用、最少量的模拟调整以及出色的视频质量。数字电路的使用还允许设计更加健壮、更加复杂的Y/C分离器和同步锁相实现。

NTSC/PAL数字解码器的一般框图如图9-21所示。

9.2.1 数字化模拟视频

复合视频信号数字编码的第一步就是使用A/D转换器（A/D Converter，ADC）数字化整个复合视频信号。对于我们的例子来说，使用的是10位的ADC；因此，指示值都是10位的值。

复合和S-Video信号在图9-2、图9-3、图9-10、图9-11、图9-12和图9-13中描述。

视频输入通常是交流耦合的，而且有一个75Ω的AC和DC输入阻抗。因此，在行同步期间，每扫描行视频信号必须被DC复位，以在一个已知的电压电平上定位同步脉冲顶部（sync tip）。

视频信号还必须低通滤波（通常约6MHz），以移除可能导致混叠的任何高频分量。尽管广播的视频带宽受到严格限制，但是家用设备没有这方面的标准。只要愿意，视频源可以生成任意的带宽，接收设备可以接收它所能处理的足够多的带宽。

幅度为0.25倍至2倍的视频信号在家用市场最常见。有效视频和同步信号可以改变幅度，特别是在编辑场合，在这种情况下，视频信号可能由几个不同的视频源合并在一起组合而成。

另外，解码器应该能够处理100%的彩色。但是在实际中可能只有75%的彩色广播，在基带视频中没有这样的限制。对于经常使用的计算机生成的文本和图形，更为常见的是高饱和度彩色。

422

1. DC复位

为了移除视频信号中可能存在的任何DC偏移，并且在一个已知的电平定位它，需要进行DC复位（也称为钳位）。

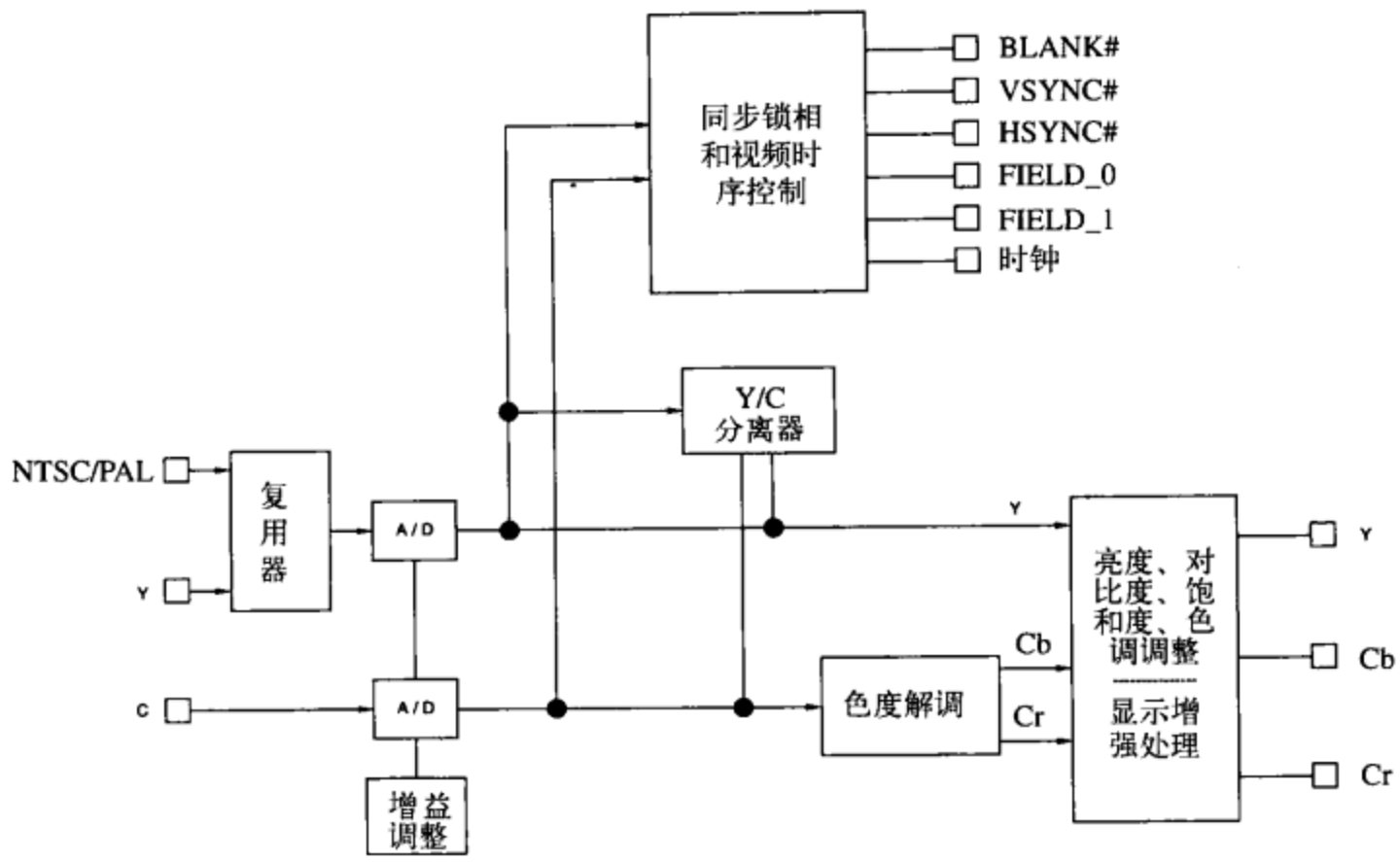


图9-21 典型NTSC/PAL数字解码器实现

423

对于复合或者亮度（Y）视频信号，模拟视频信号被DC复位到每个行同步时间期间的ADC的REF-电压。因此，ADC在同步电平期间生成一个代码0。

对色度（C）视频信号，模拟视频信号被DC复位到行同步时间期间的ADC中间点。因此，ADC在消隐电平期间生成一个代码512。

2. 自动增益控制

使用自动增益控制（automatic gain control，AGC）的目的是为了确保ADC为消隐电平生成一个常量值。如果消隐电平低或者高，那么就将视频信号放大或者衰减，直至消隐电平正确。

在S-Video应用中，应用到亮度视频信号上的增益量要和应用到色度视频信号上的增益量相同。

在DC复位和AGC处理之后，数字化复合和亮度信号加上一个偏移16，以匹配编码器使用的电平。

表9-2、表9-3和表9-4示范了DC复位和自动增益控制完成之后复合和S-Video源的理想ADC值。

❑ 消隐电平确定

确定消隐电平最常见的方法就是对视频信号进行大约0.5MHz的数字低通滤波，移除副载波信息和噪声。然后对后肩进行多次采样，确定平均消隐电平值。

为了限制行－行变化和钳位拖尾（量化误差的结果），结果应该是3~32个连续扫描行的平均结果。另外，后肩电平可以在场消隐期间确定，并且在整个场中使用该结果。

❑ 视频增益选项

在消隐电平与理想消隐电平之间的差处理之后，以下述方式之一生成正确的消隐电平：

（1）控制一个电压控制的放大器；

（2）调整ADC的REF＋电压；

（3）乘以ADC的输出。

在（1）和（2）中，控制增益的模拟信号可以通过DAC或者电荷泵（charge pump）生成。如

果使用的是DAC，那么它的解析度应该是ADC解析度的2倍，以避免量化噪声。出于该原因，电荷泵实现可能更加合适。

选项（2）依赖于ADC能够在很宽的基准电压范围内运转，因此极少实现。

选项（3）极少使用，这是因为数字领域的处理所引入的量化误差。

❑ 同步幅度AGC

这是AGC最常见的模式，当视频信号的特性未知时可以使用它。测量的消隐电平值与理想消隐电平值之间的差用来确定整个视频信号增益的增加量或者减小量。

❑ 色同步幅度AGC

AGC的另一个方法基于色同步幅度。当同步幅度无法与有效视频幅度相关时，在专业视频应用中通常使用这种方法。

首先，不考虑同步脉冲顶部的位置，将消隐电平调整到理想值。这可以通过将视频信号添加或者减去一个DC偏移实现。

接下来，确定色同步幅度。为了限制行之间的变化，色同步幅度的结果可以是3~32个连续扫描行的平均值。

测量的色同步幅度和理想色同步幅度之间的差用来确定整个视频信号增益的增加量或者减小量。在增益调整期间，消隐值不应该改变。

424

❑ AGC选项

对于一些专业视频应用，例如视频信号电平已知是正确的，如果除了同步高度外，所有的视频电平都是正确的，或者如果视频信号中有过多的噪声，那么可能期望禁用自动增益控制。

用户可以指定要使用的AGC值，或者一旦确定之后就将AGC值冻结。

9.2.2　Y/C分离

当解码复合视频时，亮度（Y）和色度（C）必须分离。本章稍后会详细讨论许多完成这一任务的技术。

在Y/C分离之后，Y拥有表9-2中所示的标称值。注意亮度仍然包含同步和消隐信息。调制色度拥有表9-3中所示的标称值。

Y/C分离的质量在由解码器生成的总体视频质量中是一个主要因素。

9.2.3　色差处理

1. 色度（C）解调

色度解调器（图9-22）从Y/C分离器或者色度ADC接收调制色度数据。它生成CbCr、UV或IQ色差数据。

❑ （M）NTSC、NTSC-J

在有效视频期间，色度数据使用正弦和余弦副载波数据解调，如图9-22所示，结果生成CbCr、UV或IQ数据。出于该原因，11位基准副载波相位（参见图9-32）和色同步信号的相位是相同的（180°）。

对于YUV和YCbCr处理，在有效视频时间期间，11位基准副载波相位必须加上180°，从而sinROM和cos ROM的输出拥有正确的副载波相位（分别为0°和180°）。

对于YIQ处理，在有效视频时间期间，11位基准副载波相位必须加上213°，从而sinROM和cos ROM的输出拥有正确的副载波相位（分别为33°和123°）。

对于所有的方程来说，它们都满足如下条件：

$\omega = 2\pi F_{SC}$

$F_{SC} = 3.579\ 545\text{MHz}$

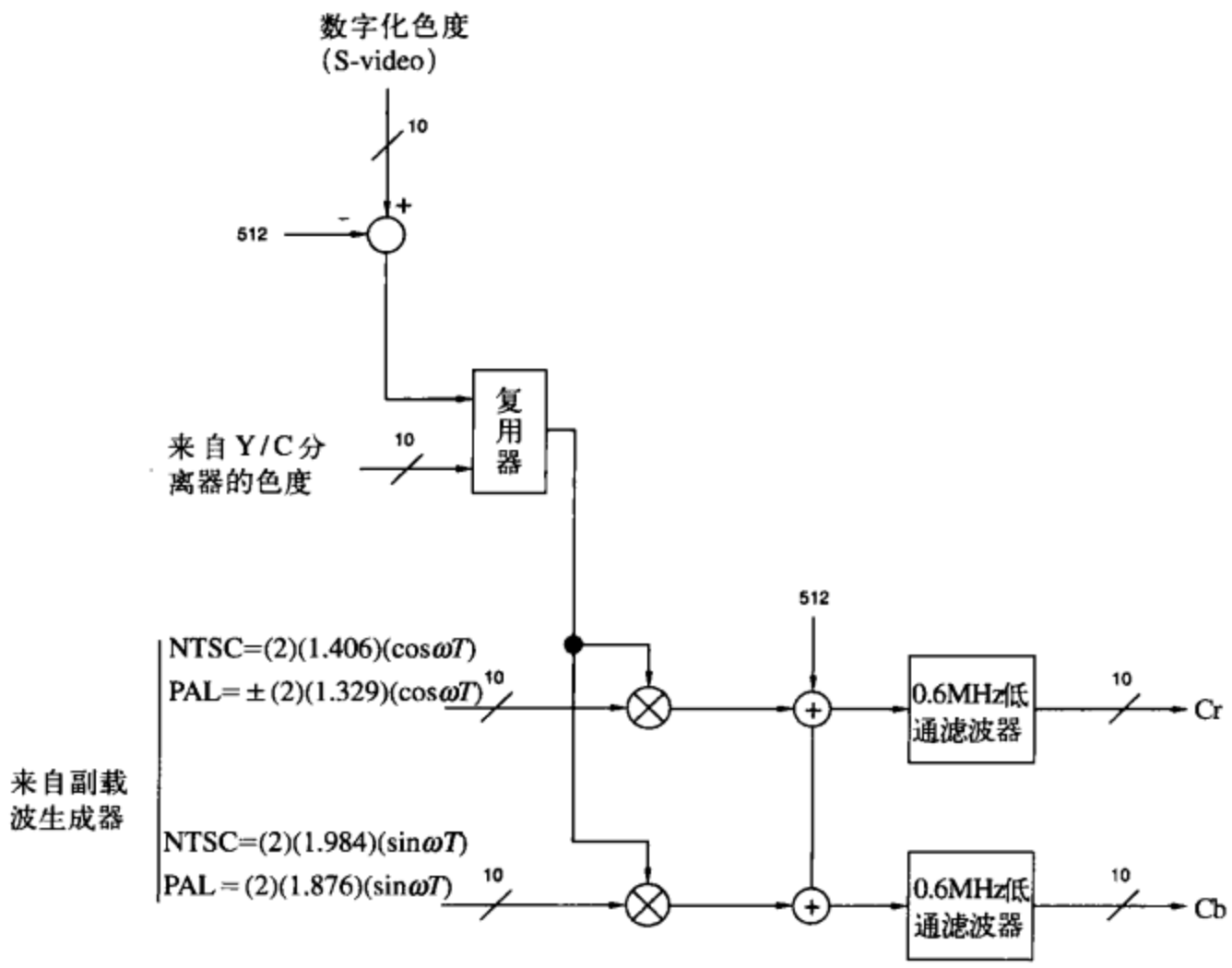


图9-22 直接生成CbCr的色度解调示例

YUV颜色空间处理

正如第8章所示，解调器对色度信号的处理可以表示为： 425

$(U\sin\omega t) + (V\cos\omega t)$

U通过将色度数据乘以（$2\sin\omega t$）获得，V通过乘以（$2\cos\omega t$）获得：

$((U\sin\omega t) + (V\cos\omega t))(2\sin\omega t)$

$= U - (U\cos 2\omega t) + (V\sin 2\omega t)$

$((U\sin\omega t) + (V\cos\omega t))(2\cos\omega t)$

$= V + (V\cos 2\omega t) + (U\sin 2\omega t)$

$2\omega t$分量被低通滤波移除，从而恢复U信号和V信号。解调器乘法器应该确保上溢条件和下溢条件分别在最大值和最小值处饱和。然后UV信号取整为9位带符号正数并低通滤波。

至于（M）NTSC，U的标称范围为0~±226，V的标称范围为0~±319。

至于日本使用NTSC-J，U的标称范围为0~±244，V的标称范围为0~±344。 426

YIQ颜色空间处理

正如第8章所示，对于较旧的解码器，解调器对色度信号的处理可表示为：

$(Q\sin(\omega t + 33^\circ)) + (I\cos(\omega t + 33^\circ))$

解码器的副载波生成器在有效视频期间提供一个33°相位偏移，抵消方程中33°相位这一项。

Q通过将色度数据乘以（$2\sin\omega t$）获得，I通过乘以（$2\cos\omega t$）获得：

$((Q\sin\omega t) + (I\cos\omega t))(2\sin\omega t)$

$= Q - (Q\cos 2\omega t) + (I\sin 2\omega t)$

$((Q\sin\omega t)+(I\cos\omega t))(2\cos\omega t)$

$=I+(I\cos2\omega t)+(Q\sin2\omega t)$

$2\omega t$分量被低通滤波移除，从而恢复I信号和Q信号。解调器乘法器应该确保上溢条件和下溢条件分别在最大值和最小值处饱和。然后IQ信号取整为9位带符号正数并低通滤波。

至于（M）NTSC，I的标称范围为0~±309，Q的标称范围为0~±271。

至于日本使用NTSC-J，I的标称范围为0~±334，Q的标称范围为0~±293。

YCbCr颜色空间处理

如果解码器基于YCbCr颜色空间，那么色度信号可以表示为：

$(Cb-512)(0.504)(\sin\omega t)+(Cr-512)(0.711)(\cos\omega t)$

对于NTSC-J制式，方程为：

$(Cb-512)(0.545)(\sin\omega t)+(Cr-512)(0.769)(\cos\omega t)$

在这些情况中，sinROM和cos ROM中的值通过指示值的倒数缩放，从而允许解调器直接生成Cb和Cr数据，而不是U和V数据。

❑（B、D、G、H、I、M、N、N_C）PAL

在有效视频期间，数字色度（C）数据使用正弦和余弦副载波数据解调，如图9-22所示，结果生成CbCr或UV数据。出于该原因，11位基准副载波相位（参见图9-32）和色同步相位是相同的（135°）。

对于所有的方程来说，它们都满足如下条件：

$\omega=2\pi F_{SC}$

对于（B、D、G、H、I、N）PAL，$F_{SC}=4.433\,618\,75$MHz

对于（NC）PAL，$F_{SC}=3.582\,056\,25$MHz

对于（M）PAL，$F_{SC}=3.575\,611\,49$MHz

通过在Cr或V通道中使用一个交换副载波波形也可以移除PAL开关调制。因此，当PAL并关为逻辑0（色同步相位＝＋135°）时，使用（$+2\cos\omega t$）；当PAL开关为逻辑1（色同步相位＝225°）时，使用（$-2\cos\omega t$）。

YUV颜色空间

正如第8章所示，色度信号可以表示为：

$(U\sin\omega t)\pm(V\cos\omega t)$

427 U通过将色度数据乘以（$2\sin\omega t$）获得，V通过乘以($\pm2\cos\omega t$)获得：

$((U\sin\omega t)\pm(V\cos\omega t))(2\sin\omega t)$

$=U-(U\cos2\omega t)\pm(V\sin2\omega t)$

$((U\sin\omega t)\pm(V\cos\omega t))(\pm2\cos\omega t)$

$=V\pm(U\sin2\omega t)+(V\cos2\omega t)$

$2\omega t$分量被低通滤波移除，从而恢复U信号和V信号。解调器乘法器应该确保上溢条件和下溢条件分别在最大值和最小值处饱和。然后UV信号取整为9位带符号正数并低通滤波。

至于（B、D、G、H、I、N_C）PAL，U的标称范围为0~±239，V的标称范围为0~±337。

对于（M、N）PAL，U的标称范围为0~±226，V的标称范围为0~±319。

YCbCr颜色空间

如果解码器基于YCbCr颜色空间，那么（B、D、G、H、I、N_C）PAL的色度信号可以表示为：

$(Cb-512)(0.533)\sin\omega t\pm(Cr-512)(0.752)\cos\omega t$

(M、N) PAL的色度信号可以表示为：

$$(Cb-512)(0.504)\sin\omega t \pm (Cr-512)(0.711)\cos\omega t$$

在这些情况中，正弦ROM和余弦ROM中的值通过指示值的倒数缩放，从而允许解调器直接生成Cb和Cr数据，而不是U和V数据。

Hanover条

如果本地生成的副载波相位不正确，就会导致一种称为Hanover条的行间模式，在该模式中邻接行对之间一对是实色调误差，一对是互补色调误差。如图9-23所示，该图理想色为绿色，该显示的两个邻接行有一个色调误差（偏向黄色），而下两行为互补色调误差（偏向青色），等等。

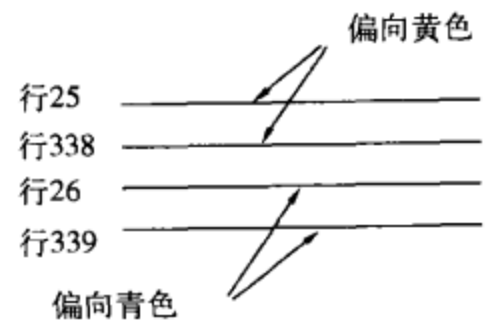


图9-23 Hanover条示例显示。该图中理想色为绿色

这可以通过在本地生成的副载波中引入一个相位误差（θ）来示范：

$$((U\sin\omega t) \pm (V\cos\omega t))(2\sin(\omega t-\theta)$$
$$=(U\cos\theta) -/+ (V\sin\theta)$$
$$((U\sin\omega t) \pm (V\cos\omega t))(\pm 2\cos(\omega t-\theta))$$
$$=(V\cos\theta) +/- (U\sin\theta)$$

在恒色区域，平均使偶数行和奇数行的作用相等（或者是视觉，或者使用一个延迟行），抵消了正交的串扰分量，只剩下通过（$\cos\theta$）去饱和的真实分量。

2. 低通滤波

解码器要求使用一个比编码器更锐利的滚降滤波器（roll-off filter）来确保对采样混叠分量的足够抑制。注意对于一个13.5MHz的采样频率，3MHz以上的采样混叠分量就非常明显。

图9-24和图9-25示范了（M）NTSC制式解调过程的频谱；该过程与PAL制式相似。在两个图形中，(a) 表示视频信号的频谱，(b) 表示用于解调的副载波的频谱。(a) 和 (b) 的卷积相当于时域中的复用，生成 (c) 中所示的频谱，在这个频谱图中，基带频谱已经移位到F_{SC}和$-F_{SC}$的中间。色度现在成为基带信号，可以通过低通滤波器与位于F_{SC}中间的低频率亮度分离。

解调器后面的低通滤波器是若干个因素之间的折衷。如果只简单地使用一个1.3MHz的滤波器，例如图9-26中所示的滤波器，因为包含了大量的亮度频率，所以会增大串色量。当对大于0.6MHz（NTSC（4.2-3.58））或者1.07MHz（PAL（5.5-4.43））的通带使用低通滤波器时，上边带色度的损失也会引入振铃和色差串扰。如果使用的是一个1.3MHz的低通滤波器，那么它可以包含一些对0.6~1.3MHz之间频率的增益，补偿上边带的部分损失。 428

拥有锐截止（sharp cutoff）的滤波器会加重色度边缘振铃。由于这些原因，通常使用慢速的0.6MHz滚降滤波器，例如图9-27中所示的滤波器。这些滤波器会使色彩解析度较差，但是可以使边上的串色、振铃和色差串扰最小。

如果是在专业视频编辑环境中使用解码器，那么滤波器通带的最大脉动（ripple）应该不超过±0.1dB。为了使滤波器引起的增益和损失伪影累积最小，这是必须的，特别是当同时有多路编码和解码时。

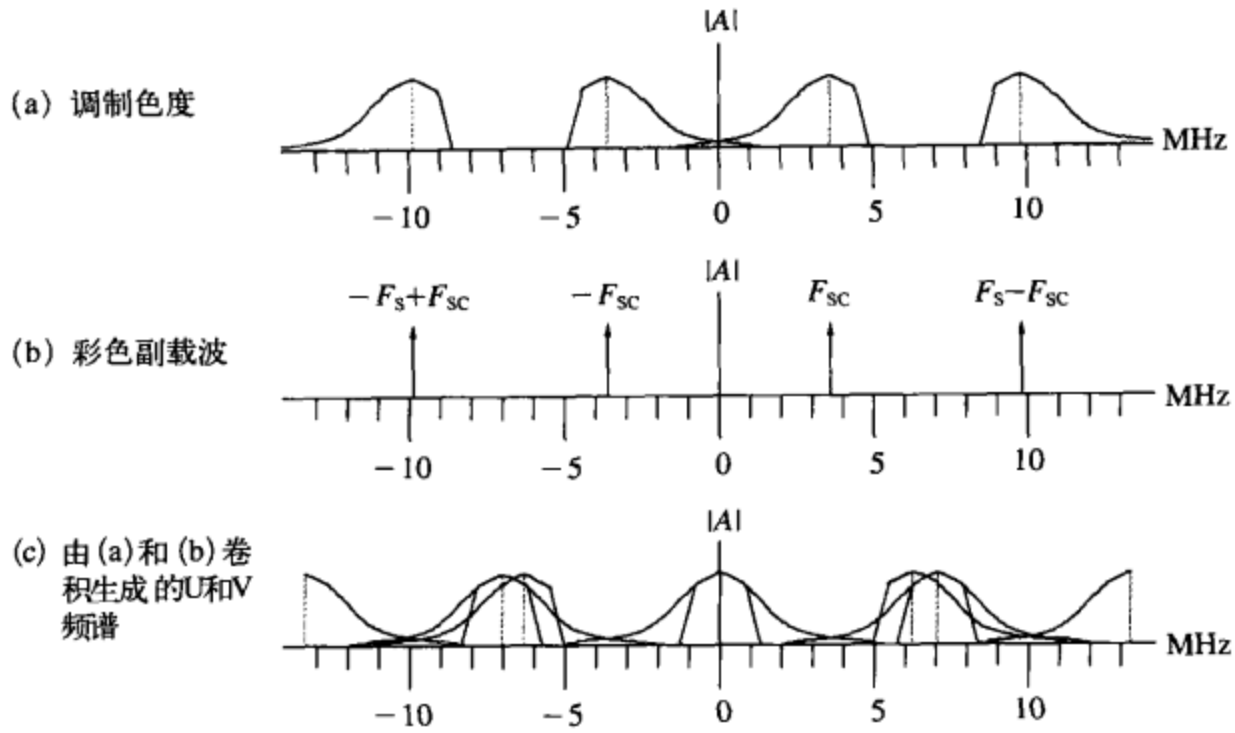


图9-24　NTSC数字色度解调的频谱（F_S=13.5MHz、F_{SC}=3.58MHz）

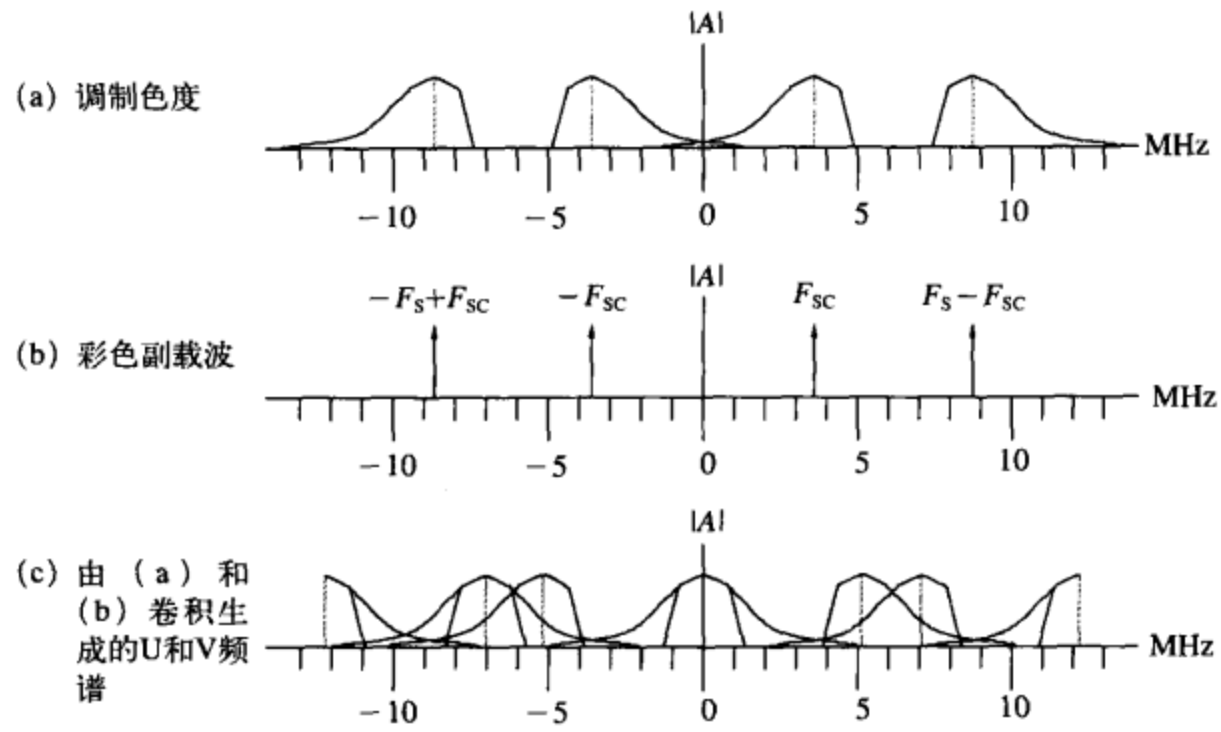


图9-25　NTSC数字色度解调的频谱（F_S=12.27MHz、F_{SC}=3.58MHz）

9.2.4　亮度（Y）处理

为了移除同步和消隐信息，Y/C分离器或者亮度ADC的Y数据需要将黑色电平抽取。此时，应该支持负的Y值，从而允许测试信号、抠像信息以及现实世界视频无失真地通过。

中心频率为F_{SC}的陷波滤波器通常是可选的。它可以用来移除Y数据中的任何剩余色度信息。当在PAL制式中使用梳状滤波器滤波Y/C分离时，因为PAL频率包的紧密性，所以陷波滤波器在洁净Y数据方面非常有用。

429

9.2.5　用户调整

1. 对比度、亮度和清晰度

正如第7章中所讨论的，对比度、亮度和清晰度可以实现可编程的调整。另外，色彩瞬变（color transient）改进可以用来提高图像质量。

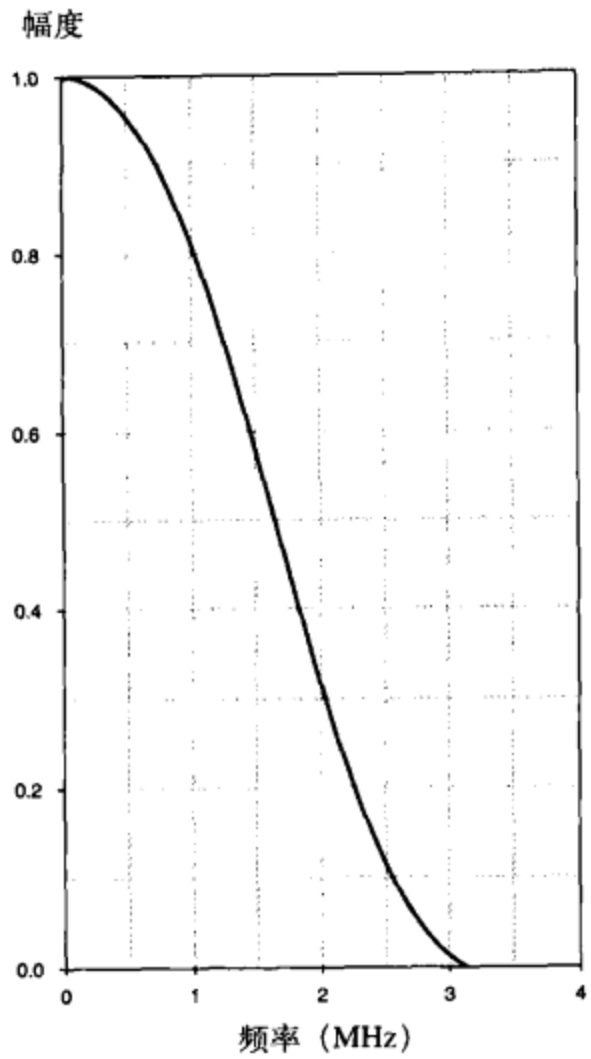


图9-26 典型1.3MHz低通数字滤波器特性

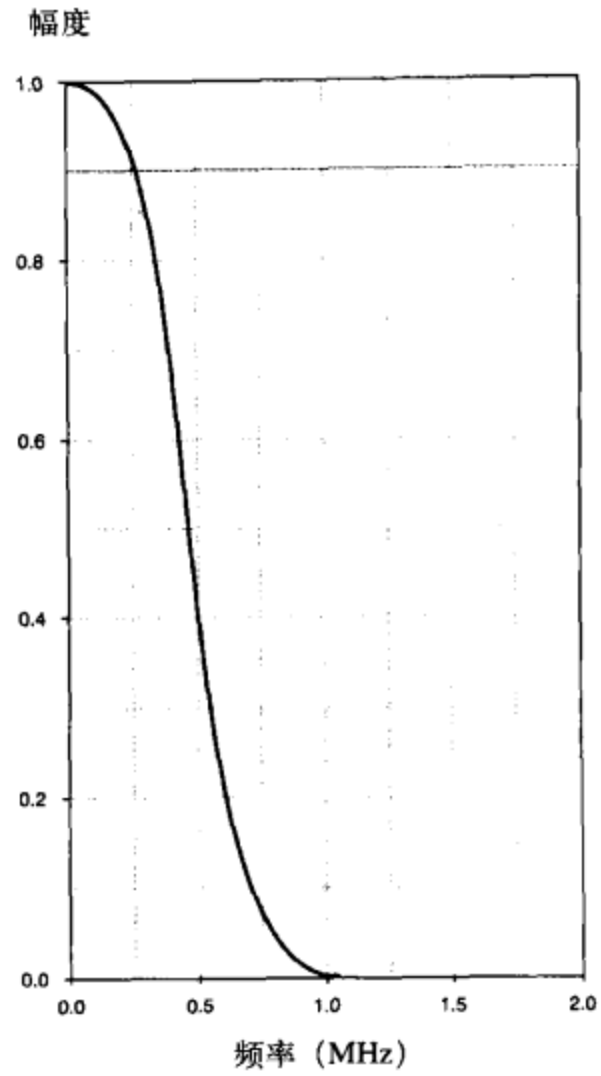


图9-27 典型0.6MHz低通数字滤波器特性

430
~
431

2. 色调

正如第7章中所讨论的，色调可以实现可编程的调整。

作为选择，为了减少数据路径中的电路，通常将色调调整实现为一个副载波相位偏移，叠加到有效视频时间期间的11位基准副载波相位上（参见图9-32）。结果使正弦和余弦副载波的相位偏移一个常数。11位的色调调整允许从0°到360°以增量0.176°调整色调。

由于PAL解码器中V分量符号的交变，相位偏移（θ）的符号被设置为与V分量的符号相反。相位偏移（θ）的负符号等价于期望相位偏移加上180°。PAL解码器通常不提供色调调整功能。

3. 饱和度

正如第7章中所讨论的，饱和度可以实现可编程的调整。

作为选择，为了减少数据路径中的电路，可以在解调器中实现正弦和余弦值的饱和度调整。

不管是哪一种情况，色同步电平误差信号和用户可编程饱和度值复合在一起，结果用来调整色差信号的增益或者衰减。这里的目的就是为了使色差信号路径中的电路最少。色同步电平误差信号在色同步（以及调制色度信息）没有位于正确的幅度时使用，适当地调整色差信号的饱和度。

有关色同步电平误差信号的更多信息，请参考消色器一节。

4. 自动肤色校正

肤色校正（skin tone correction）可以在NTSC解码器中使用，因为眼睛对肤色非常敏感，而且实际色彩可能在广播过程期间会有些微破坏。如果草地并不是完全正确的绿色，人们可能无法注意到这一点；但是，如果肤色有绿色或者橙色的色彩，人们就无法接受。因为肤色非常接近于+I色轴，所以典型的肤色校正器在一个特定的区域（图9-28）寻找色彩，而且该区域中的任何色

彩都是由接近于肤色的颜色构成的。

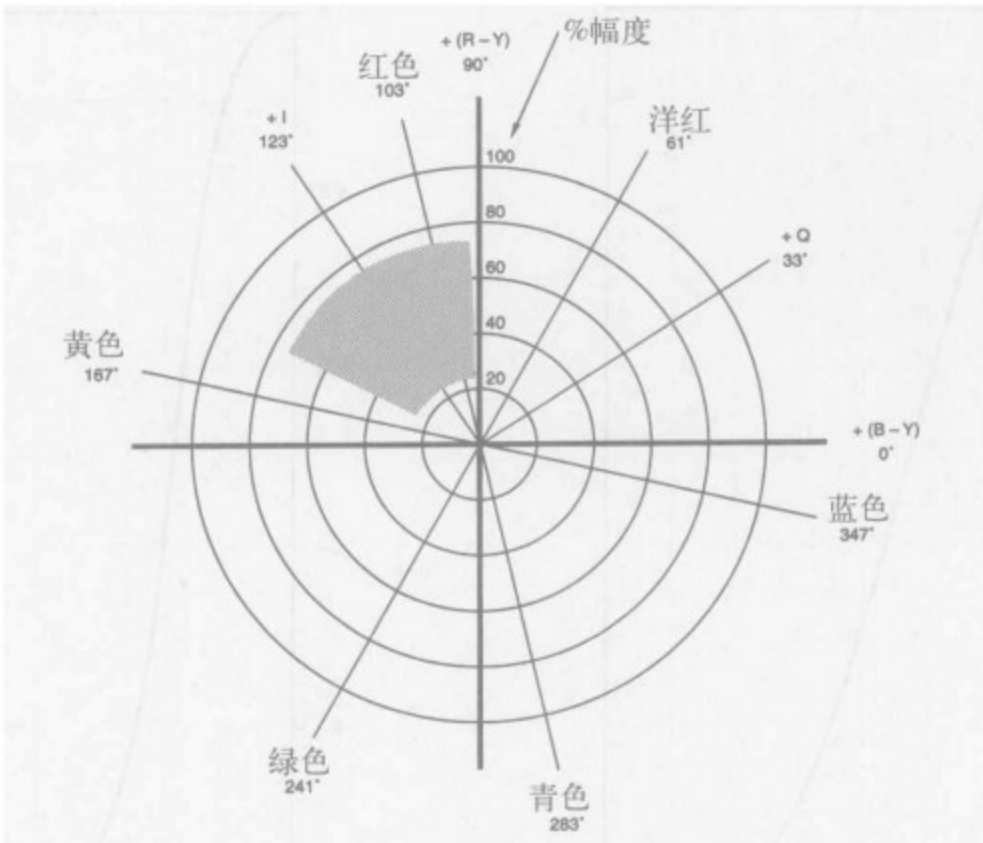


图9-28　典型肤色色彩范围

简单的肤色校正器可以对所有拥有相应+I值的颜色平分Q值。但是，该实现还会改变非肤色颜色。较复杂的实现是，如果颜色的值位于满量程的25%~75%，而且位于+I色轴的±30°之内，那么Q值就可以平分。这样就可以展现肤色区域内接近于理想肤色的任何颜色。

注意各个公司之间肤色的相位角不尽相同。所使用的相位角从116°到126°不等；但是，使用123°（+I色轴）可以简化处理过程。

432

5. 消色器

如果在128个连续扫描行中检测到色同步信号为理想幅度的12.5%或者更小，那么应该将色差信号强制为0。一旦在128个连续扫描行中检测到色同步信号为理想幅度的25%或者更大，那么就应该再次启用色差信号。这种滞后现象防止当色同步幅度位于边界时来回地启用或者禁用色彩信息。

通过强制所有的色同步样本为正，并且多次抽取结果确定一个平均值，可以确定色同步电平。这种平均法所使用的扫描行应该超过3个，以限制行与行之间的变化。

色同步电平误差为理想幅度与平均结果的除值。如果没有检测到色同步，那么应该使用色同步电平误差强制色差信号为0，并且禁用亮度路径上的任何滤波，从而允许输出最大解析度的亮度。

在一些诸如视频编辑的应用中，提供有选择地强制打开或者关闭彩色编码功能这一能力非常有用。

433

9.2.6　颜色空间转换

在由解码器输出之前，YUV和YIQ数据通常要转换为YCbCr或者R′G′B′数据，R′G′B′数据必须在0和1023值处削波，以防止回绕误差。

1. (M) NTSC、(M、N) PAL

❑ YUV颜色空间处理

现在现代的解码器设计都基于YUV颜色空间。对于这些解码器，由YUV生成YCbCr的方程

为：

$Y_{601}=1.691Y+64$

$Cb=[1.984U\cos\theta_B]+[1.984V\sin\theta_B]+512$

$Cr=[1.406U\cos\theta_R]+[1.406V\sin\theta_R]+512$

为了生成位于0~1023范围之内的R′G′B′数据，由YUV生成R′G′B′的方程为：

$R'=1.975Y+[2.251U\cos\theta_R]+[2.251V\sin\theta_R]$

$G'=1.975Y-0.779U-1.146V$

$B'=1.975Y+[4.013U\cos\theta_B]+[4.013V\sin\theta_B]$

为了为专业视频应用生成位于64~940标称范围之内的R′G′B′数据，由YUV生成R′G′B′的方程为：

$R'=1.691Y+1.928V+64$

$G'=1.691Y-0.667U-0.982V+64$

$B'=1.691Y+3.436U+64$

θ_R和θ_B的理想值分别为90°和0°。但是，对于在美国出售的家用电视来说，θ_R和θ_B的理想值通常分别为110°和0°，或者100°和－10°，它们以色彩准确度为代价，以减少微分相位误差的可视性。

❑ YIQ颜色空间处理

对于较老的基于YIQ颜色空间的NTSC解码器设计，由YIQ生成YCbCr的方程为：

$Y_{601}=1.692Y+64$

$Cb=-1.081I+1.664Q+512$

$Cr=1.181I+0.765Q+512$

为了生成位于0~1023范围之内的R′G′B′数据，由YIQ生成R′G′B′的方程为：

$R'=1.975Y+1.887I+1.224Q$

$G'=1.975Y-0.536I-1.278Q$

$B'=1.975Y-2.189I+3.367Q$

为了为专业视频应用生成位于64~940标称范围之内的R′G′B′数据，由YIQ生成R′G′B′的方程为：

$R'=1.691Y+1.616I+1.048Q+64$

$G'=1.691Y-0.459I-1.094Q+64$

$B'=1.691Y-1.874I+2.883Q+64$

❑ YCbCr颜色空间处理

如果设计基于YUV颜色空间，那么通过在解调过程中缩放正弦值和余弦值，或者通过缩放色差低通滤波器系数，可以避免由UV向CbCr的转换。

2. NTSC-J

因为日本使用的（M）NTSC消隐基底为0 IRE，所以颜色空间转换方程与标准的（M）NTSC稍微有所不同。

434

❑ YUV颜色空间处理

现在现代的解码器设计都基于YUV颜色空间。对于这些解码器，由YUV生成YCbCr的方程为：

$Y_{601}=1.564Y+64$

$Cb=1.835U+512$

$Cr=[1.301U\cos\theta_R]+[1.301V\sin\theta_R]+512$

为了生成位于0~1023范围之内的R′G′B′数据，由YUV生成R′G′B′的方程为：

$R'=1.827Y+[2.082U\cos\theta_R]+[2.082V\sin\theta_R]$

$G'=1.827Y-0.721U-1.060V$

$B' = 1.827Y + 3.712U$

为了为专业视频应用生成位于64~940标称范围之内的R'G'B'数据，由YUV生成R'G'B'的方程为：

$R' = 1.564Y + 1.783Y + 64$

$G' = 1.564Y - 0.617U - 0.908V + 64$

$B' = 1.564Y + 3.179U + 64$

θ_R的理想值为90°。但是，对于在日本出售的电视机来说，θ_R的理想值通常为95°，以色彩准确度为代价，减少微分相位误差的可视性。

❑ YIQ颜色空间处理

对于较老的基于YIQ颜色空间的NTSC解码器设计，由YIQ生成YCbCr的方程为：

$Y_{601} = 1.565Y + 64$

$Cb = -1.000I + 1.539Q + 512$

$Cr = 1.090I + 0.708Q + 512$

为了生成位于0~1023范围之内的R'G'B'数据，由YIQ生成R'G'B'的方程为：

$R' = 1.827Y + 1.746I + 1.132Q$

$G' = 1.827Y - 0.496I - 1.182Q$

$B' = 1.827Y - 2.024I + 3.115Q$

为了为专业视频应用生成位于64~940标称范围之内的R'G'B'数据，由YIQ生成R'G'B'的方程为：

$R' = 1.564Y + 1.495I + 0.970Q + 64$

$G' = 1.564Y - 0.425I - 1.012Q + 64$

$B' = 1.564Y - 1.734I + 2.667Q + 64$

❑ YCbCr颜色空间处理

如果设计基于YUV颜色空间，那么通过在解调过程中缩放正弦值和余弦值，或者通过缩放色差低通滤波器系数，可以避免由UV向CbCr的转换。

3. （B、D、G、H、I、N_C）PAL

❑ YUV颜色空间处理

由YUV生成YCbCr的方程为：

$Y_{601} = 1.599Y + 64$

$Cb = 1.875U + 512$

$Cr = 1.329V + 512$

为了生成位于0~1023范围之内的R'G'B'数据，由YUV生成R'G'B'的方程为：

$R' = 1.867Y + 2.128V$

$G' = 1.867Y - 0.737U - 1.084V$

435

$B' = 1.867Y + 3.793U$

为了为专业视频应用生成位于64~940标称范围之内的R'G'B'数据，由YUV生成R'G'B'的方程为：

$R' = 1.599Y + 1.822V + 64$

$G' = 1.599Y - 0.631U - 0.928V + 64$

$B' = 1.599Y + 3.248U + 64$

❑ YCbCr颜色空间处理

通过在解调过程中缩放正弦值和余弦值，或者通过缩放色差低通滤波器系数，可以避免由UV向CbCr的转换。

9.2.7 同步锁相

同步锁相电路的目的就是为了从视频信号中恢复采样时钟和时序控制信号（例如行同步、场同步和彩色副载波）。因为原始的采样时钟不可用，所以通常通过使用一个锁相环将水平行频F_H乘以每行期望的采样数量从而生成采样时钟。另外，彩色副载波必须重新生成，并且锁定到被解码视频信号的彩色副载波上。

但是，这里还有几个问题。视频信号可能包含噪声，使同步边的确定不可靠。每行上行同步边之间的时间量可能稍微有所不同，特别是在模拟视频磁盘录像机（videotape recorder，VCR）中，由于机械方式的限制，不同更加明显。对于模拟VCR，瞬时行与行之间的偏差可以达到±100ns；每场开头与末尾之间的行偏差达到±5μs。当模拟VCR位于特殊功能模式中时，例如快进或静止图像，行同步信号之间的时间量与标称值之间的偏差可以达到±20%。

和行同步信息一样，场同步信息也必须恢复。然而，模拟VCR，除了破坏了SCH相位关系外，还在场边界执行头切换（head switching）。场边界通常位于有效视频的末尾和场同步起始之间。当头切换发生时，一个视频信号（场n）被另一个视频信号（场$n+1$）替换，而后一个视频信号与第一个视频信号之间的时间偏差未知。每个场的场时序中的偏差可能达到±1/2行。最终，可能会生成比普通行或场同步长的行或场同步。

通过检测水平行时序，有可能自动地确定视频源是处于普通模式还是处理特殊功能模式。在普通模式操作期间，水平行时间在整场中的典型变化通常不超过±5μs。位于±5μs窗口之外的行时序可以用来启用特殊功能模式时序。在检测算法中应该使用滞后作用，以防止在视频时序位于两种模式的边界上时，在普通模式和特殊功能模式两种操作中不停地来回切换。执行行同步和场同步检测的典型电路如图9-29所示。

在没有视频信号时，解码器应该能够有选择地自由运行，继续为系统生成视频时序信息，不遗失一个节拍。在没有输入信号时，应该禁用任何自动增益电路，而且解码器应该提供选项，即或者选择透明（从而可以检控输入源），或者选择自动冻结输入数据（以补偿短期的信号丢失），或者选择自动停播（autoblack）输出数据（以避免驱动混频器或VCR的潜在问题）。 436

1. 行同步检测

以前的解码器通常使用模拟同步限幅技术，以确定同步脉冲前沿的中点，并且使用PLL将行频率放大为采样时钟频率。但是，由于模拟同步限幅器的准确度不高，再加上PLL的稳定性有限，从而导致采样时钟抖动和噪声放大。当在Y/C分离中使用梳状滤波器时，视频数据写入和读取之间的长延迟意味着即使是一个小的采样时钟频率误差，也会导致延迟占副载波周期的很大一个比例，使梳状滤波器的有效性不起作用。

❑ *粗粒度行同步锁定*

粗粒度行同步锁定能够实现较快速的锁定时间。数字化的视频通过0.5MHz的低通滤波，移除高频信息，例如噪声和彩色副载波信息。在低通滤波的数据上执行同步检测还可以在提供快速同步边（上升和下降时间小于一个时钟周期）的情况下提供边的定形。

每个采样时钟周期，11位的行计数器都将递增1，并且在达到HCOUNT值时复位为0x001，其中HCOUNT指定每行采样的总数。值0x001表示期望行同步的开头。当行计数器的值为（HCOUNT－64）时，启用同步门（sync gate），允许检测恢复的同步信息。

在时钟频率校正或者其他调整之前，应该检测到多至5个连续的丢失同步脉冲。一旦检测到同步信息，就禁用同步门，直至下一次行计数器的值为（HCOUNT－64）。这有助于滤波器滤除噪声、齿状和均衡脉冲。如果恢复的行同步的前沿没有位于所期望的±64时钟周期（近似为

±5μs）之内，那么行计数器就要复位为0x001，从而更精密地重新对齐边。

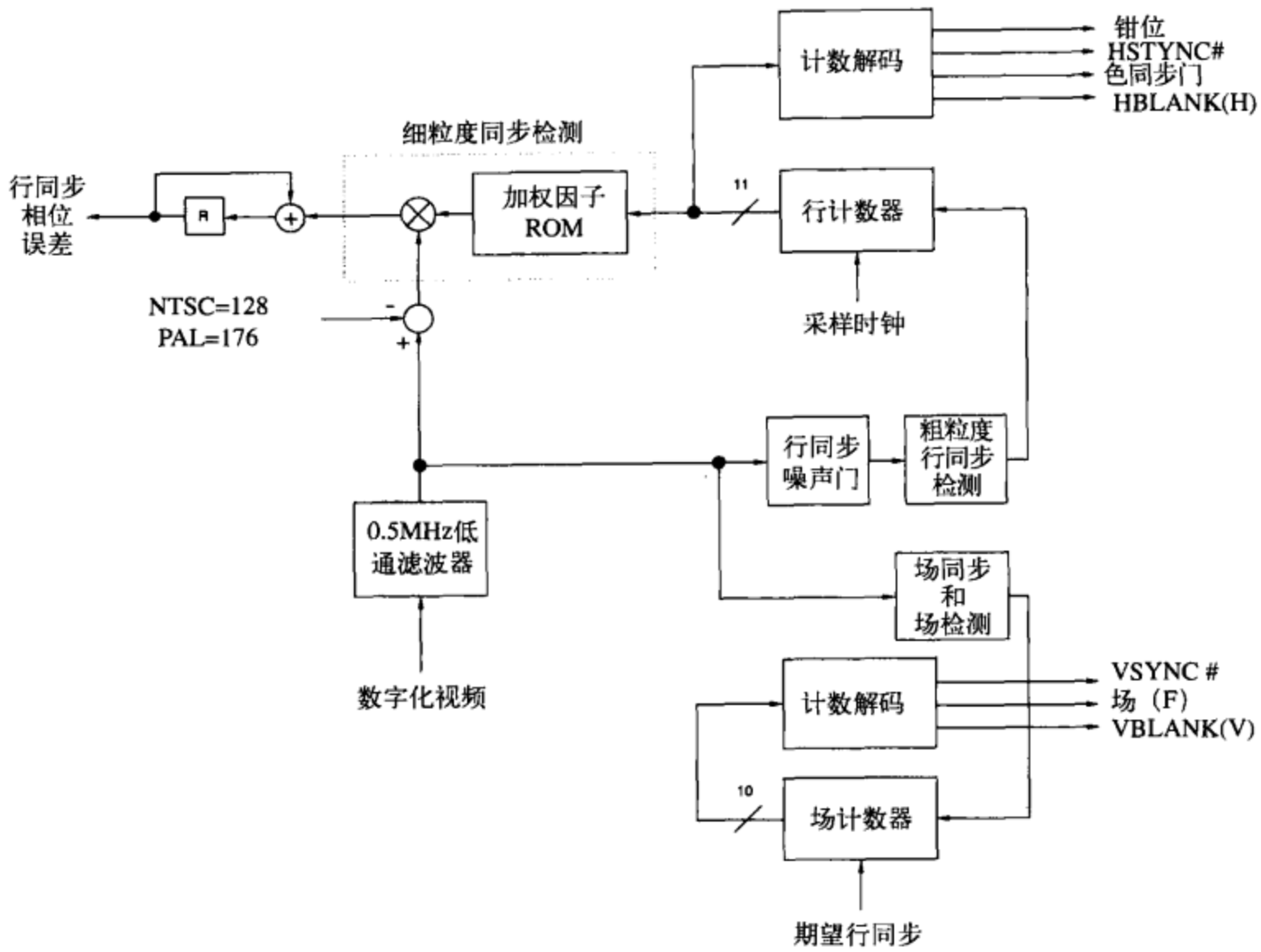


图9-29　同步检测和相位比较器电路

为了监控恢复的行同步脉冲的宽度，还需要包含额外的电路。如果行同步脉冲不是近似地为正确的脉冲宽度，忽略它，将它视为旁路（missing）同步脉冲。

如果恢复的行同步的前沿位于期望的±64时钟周期（近似为±5μs）之内，那么需要使用细粒度的行同步锁定电路细调时序信息。

❑ *细粒度行同步锁定*

从0.5MHz低通滤波的视频数据中抽取1/2同步幅度，从而同步时序基准点（50%同步幅度）位于0处。

行同步前沿可以通过将同步边区域内的加权样本加在一起确定。为了执行滤波，加权因子由一个由行计数器触发的计数器从ROM中读取。当中心加权因子（A0）与同步前沿的50%幅度点一致时，结果合计为0。典型的加权因子包括：

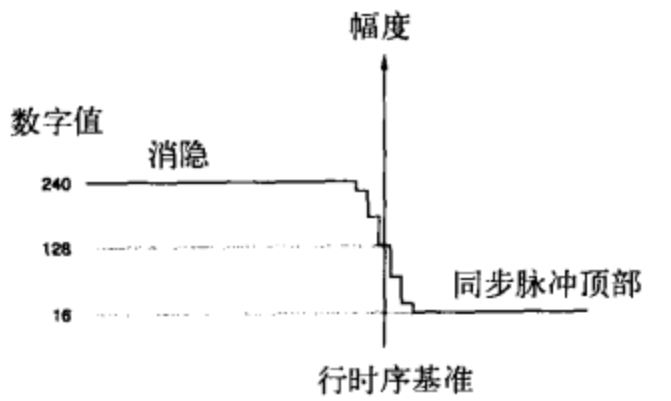
437～438

A0＝102/4096
A1＝90/4096
A2＝63/4096
A3＝34/4096
A4＝14/4096
A5＝5/4096
A6＝2/4096

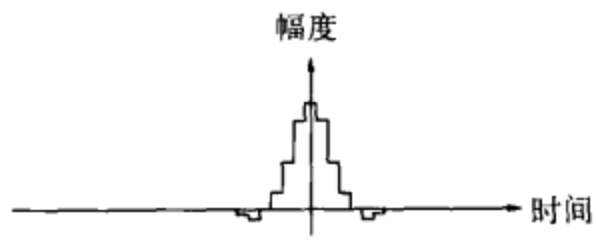
这种安排需要使用同步边的许多时序信息，并且要抑制噪声。注意要包含该电路，从而避免

处理行同步的后沿。

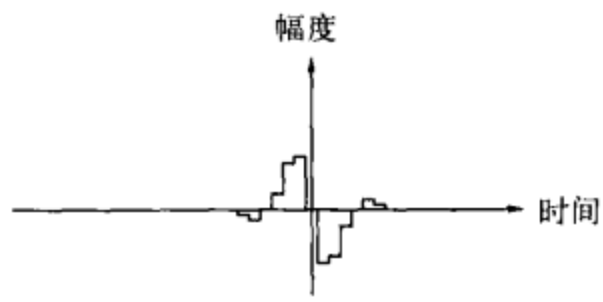
图9-30示范了细粒度同步相位比较器的操作。图9-30a示范了NTSC制式的同步前沿。图9-30b示范了生成的加权因子，当加权因子乘以同步信息时，所生成的波形如图9-30c所示。当A0系数与同步的50%幅度点一致时，波形合计为0。同步边的失真，导致锁定点有轻微偏移，但是可以通过低通滤波最小化，从而在处理之前有效地定形同步边。



(a) NTSC同步前沿



(b) 加权因子系列



(c) 加权前沿样本

图9-30 细粒度锁定相位比较器波形

❑ 采样时钟生成

图9-29中的行同步相位误差信号用来调整行锁定PLL的频率，如图9-31所示。行锁定PLL通常在每行上生成一个恒定数量的时钟周期，而不考虑任何行时间偏差。PLL的自由运行频率应该是所要求的标称采样时钟频率（例如13.5MHz）。

使用一个基于VCO的PLL拥有这样的优点，即可以在一个较大范围内调整采样时钟频率，在处理标称视频规范之外的视频时序变化方面非常有用。但是，这种方法的缺点是，由于采样时钟的抖动，可能会存在可见的色调伪影，而且Y/C分离质量不佳。

使用一个基于VCXO的PLL拥有这样的优点，即采样时钟抖动最小。但是，采样时钟频率的范围只能在一个小范围内调整，限制解码器处理非标准视频时序的能力。

理想情况下，无论是哪一种设计，采样时钟的上升边与行同步前沿1/2幅度点对齐，而且通常生成一个每行采样时钟周期数量（HCOUNT）固定的采样时钟。

另一种方法就是使用一个固定频率的时钟（例如13.5MHz）对视频信号进行异步采样。因为在这种情况下，采样时钟没有与行同步对齐，所以在实际采样位置和理想采样位置之间存在一个相位差。对于传统的同步锁相方案，这个相位差由恢复的行同步和期望的行同步之间的差确定。

理想的采样位置定义为与行锁定PLL生成的采样时钟对齐。行同步相位误差信号用来控制数据的两个样本之间的插值，而不是通过控制采样时钟频率，生成理想的采样值。如果在Y/C分离中使用梳状滤波，可以插值数字化的复合视频，生成理想的采样点，通过更精确地对齐样本而提供更好的Y/C分离。

图9-31 典型行锁定采样时钟生成

2. 场同步检测

数字化的视频通过0.5MHz的低通滤波，移除高频信息，例如噪声和彩色副载波信息。每个

439 期望的行同步，10位的场计数器都将递增1，并且在达到525或者625时复位为0x001。值0x001表示期望第1场场同步的开头。

可以对场同步期间的末尾进行检测，根据操作模式设置场计数器的值。通过监测恢复的场同步和行同步之间的关系，可以检测场1和场2之间的对比信息。如果恢复的行同步发生超过64时钟周期，但是小于（HCOUNT/2）时钟周期，那么期望行同步之后的时钟周期、场计数器不进行调整，以避免场计数器两次递增。如果在场计数器递增之后，恢复的行同步发生了（HCOUNT/2）或者更多时钟周期，那么场计数器再次递增。

在特殊功能操作期间，场和行时序信息之间不再有任何关系，所以无法检测场1和场2之间的对比关系。因此，为了合成场1和场2的时序信息，每隔一次场同步末尾的检测，都应该相应地设置场计数器。

3. 副载波生成

至于编码器，彩色副载波通过使用DTO（图9-32）由采样时钟生成，而且也适用编码器一节中所讨论的频率关系。

与编码器不同，所生成的副载波的相位必须持续调整，以匹配被解码的视频信号。

副载波锁定电路相位比较生成的副载波和即将到来的副载波，结果生产一个F_{SC}误差信号，指示相位误差的量。F_{SC}误差信号加到P值上，以连续地调整DTO阶的大小，从而调整所生成的副载波相位，匹配被解码的视频信号。

因为使用一个22位的单阶DTO来分隔采样时钟，生成图9-32所示的副载波，所以P值由下述方程确定：

$$F_{SC}/F_S=(P/4\ 194\ 303)=(P/(2^{22}-1))$$

其中F_{SC}＝期望副载波频率，F_S＝采样时钟频率。流行采样时钟频率的P值如表9-10所示。

表9-10　图9-32中单阶22位DTO的典型HCOUNT值和P值

典型应用	每个扫描行上的总样本（HCOUNT）	P
13.5MHz（M）NTSC	858	1 112 126
13.5MHz（B、D、G、H、I）PAL	864	1 377 477
12.27MHz（M）NTSC	780	1 223 338
14.75MHz（B、D、G、H、I）PAL	944	1 260 742

❑ **副载波锁定**

副载波锁定电路（图9-33）的目的是将生成的彩色副载波相位锁定到被解码视频信号的彩色副载波上。

440～441 数字复合视频（或者数字色度视频）将消隐电平抽除。另外数字或色度视频还通过色同步门进行门控，确保值为0的数据位于色同步时间之外。色同步门信号应该定时消除色同步的边，因为色同步的边可能有瞬态失真，会降低相位测量的准确度。

色同步数据与本地生成的色同步进行相位比较。注意信号信息也必须进行比较，这样锁定就不会发生在180°异相信号上。色同步累加器平均16个样本，并且对两个邻接行的累积值求平均以生成误差信号。当本地副载波正确定相时，就取消交变行的累积值，相位误差信号为0。误差信号以行频采样，并由环路滤波器处理，环路滤波器应该设计为实现大约10行（对于噪声视频信号可能需要50行或者更多行）的上锁时间。另外，由于没有色同步，所以还期望在各个场期间更新误差信号。所得到的结果F_{SC}误差信号用来调整生成本地副载波的DTO（图9-32）。

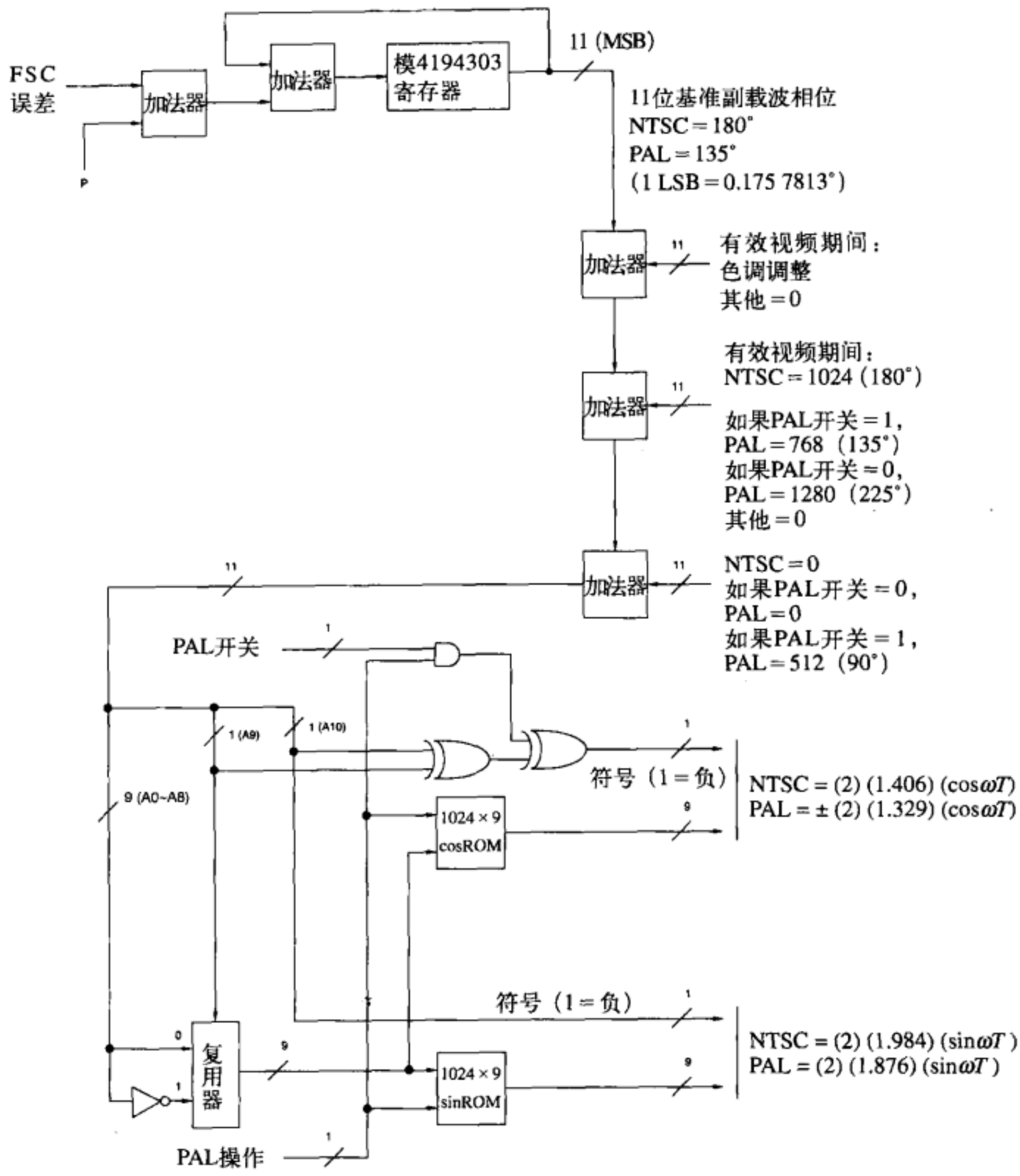


图9-32 色度副载波生成

在PAL操作期间，鉴相器（phase detector）也恢复在生成交换V副载波过程中使用的PAL开关信息。PAL开关D双稳态多谐振荡器（flip-flop）通过比较本地开关传感器和累积色同步值的符号，与传递进来的信号同步。如果传感器有16行始终不正确，那么双稳态多谐振荡器就会复位。

注意副载波锁定电路应该能够处理±200Hz的短期频率偏差（少数几个帧的）、±500Hz的长期频率偏差以及（少数几个帧的）25~200%色同步幅度标称值的多至5%的短期幅度偏差。10行的上锁时间需要能够调节没有正确编辑（即没有正确处理SCH相位关系）的视频信号，或者由于定格（freeze-framing）、特技等所产生的非标准视频信号。这10行能够使副载波在有效视频时间之前锁定，确保在图像的开头色彩表示正确。

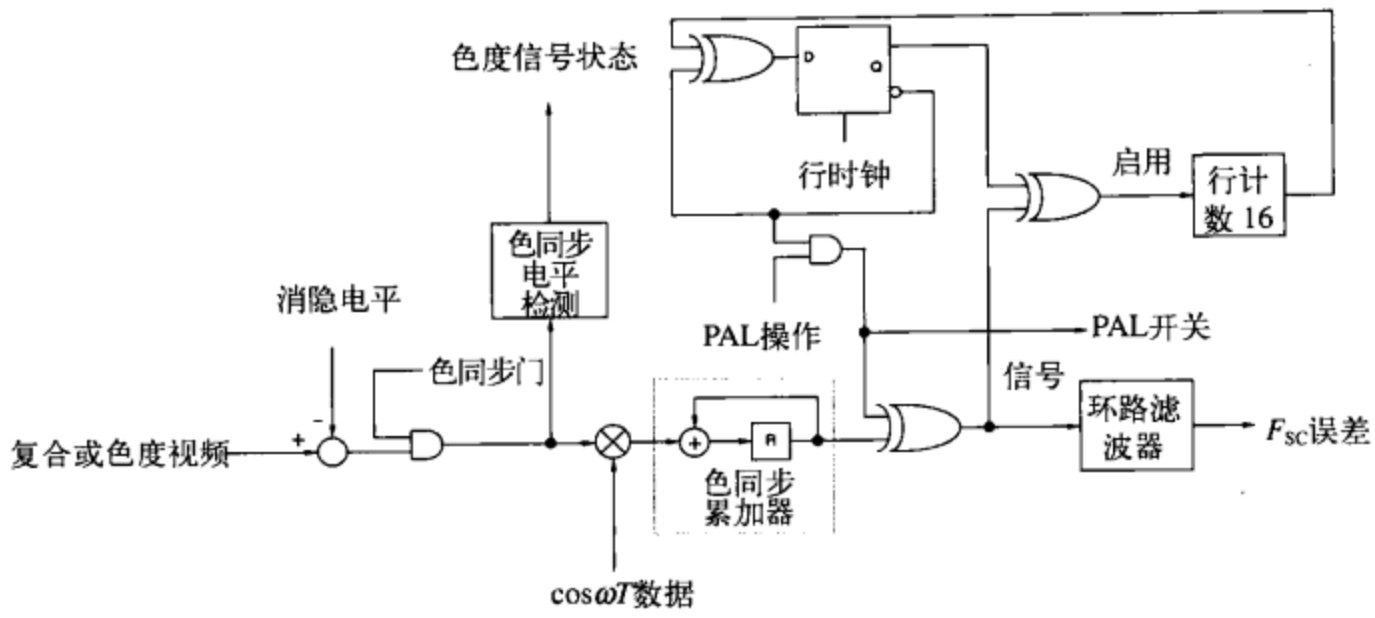


图9-33　副载波相位比较器电路

9.2.8　视频时序生成

1. HSYNC#（行同步）生成

在采样时钟的每个上升边，11位行计数器都递增1。为了确定什么时候生成色同步门、HSYNC#输出、行消隐等信息，需要对这个计数进行监测。一般情况下，每次将这个计数器复位为0x001时，就声称一次HSYNC#输出。HSYNC#的准确时序取决于所使用的视频接口，详见第6章的讨论。

❑H（行消隐）生成

为了指定行消隐期什么时候发生，可以实现一个行消隐信号H。H的时序取决于所使用的视频接口，详见第6章的讨论。

通过将起始和停止消隐寄存器集成在一起，用户可以对行消隐时序进行编程控制。这些寄存器的值与行计数器的值进行比较，用来声称和取消H控制信号。

2. VSYNC#（场同步）生成

在HSYNC#的每个上升边，10位场计数器都递增1。一般情况下，每次将这个计数器复位为0x001时，就声称一次VSYNC#输出。VSYNC#的准确时序取决于所使用的视频接口，详见第6章的讨论。

442～444

❑F（场）生成

为了指定解码的是场1还是场2，可以实现一个场信号F。F的准确时序取决于所使用的视频接口，详见第6章的讨论。

当解码模拟VCR的输出并且VCR处于特技模式（例如静止和快进）时，已经不再拥有足够的时序信息来确定场1和场2之间的时序。因此，通过VSYNC# / HSYNC#关系（或者F信号）指定的场1和场2的时序应该合成，而且还有可能无法反映被解码视频信号的真实场时序。

❑V（场消隐）生成

为了指定场消隐期什么时候发生，可以实现一个场消隐信号V。V的准确时序取决于所使用的视频接口，详见第6章的讨论。

通过将起始和停止消隐寄存器集成在一起，用户可以对场消隐时序进行编程控制。这些寄存器的值与场计数器的值进行比较，用来声称和取消V控制信号。

3. BLANK#生成

复合消隐信号BLANK#是H信号和V信号的逻辑NOR。

当声称BLANK#时，可以强制RGB数据为0值。YCbCr数据可以被强制为8位的值，Y数据被强制为16位的值，Cb和Cr数据被强制为128位的值。另外，RGB或者YCbCr数据输出可以不是空的，允许输出场消隐期（VBI）数据，例如隐藏字幕、图文电视、宽屏幕信令以及其他信息。

4. 场标识

尽管行同步（HSYNC#）信号和场同步（VSYNC#）信号之间的时序关系或者F信号可以用来指定解码的是场1还是场2，但是使用1个或者2个额外的信号可以指定解码的是4场或者8场中是哪一场，如表9-7所示。我们称这些额外的控制信号为FIELD_0和FIELD_1。

在场1、3、5和7期间，FIELD_0应该在VSYNC#的开头改变状态，或者与F一致。在场1和场5期间，FIELD_1应该在VSYNC#的开头改变状态，或者与F一致。

❑ NTSC场标识

场1和场3的开头可以通过监测副载波相位与同步之间的关系确定。如图8-5所示，在场1的开头，相对于同步，理想的副载波相位为0°；在场3的开头，相对于同步，理想的副载波相位为180°。

在现实世界中，SCH相位关系中存在容限。例如，尽管理想的SCH相位关系在信源处可能非常完美，但是视频信号通过同轴电缆传输以后，可能会由于电缆特性，导致SCH相位关系产生偏移。因此，所使用的相位应该是理想相位再加上或者减去一个容限。尽管视频标准中指定±40°（NTSC）或者±20°（PAL）是一个可接受的容限，但是许多解码器设计使用多至±80°的容限。

当检测到SCH相位关系没有位于正确的容限范围时，解码器应该继续解码，就像没有发生错误一样。如果这一条件持续了若干帧，表示视频源可能已经不再是一个稳定的视频源，应该对这一不稳定的视频源有所动作。 445

对于没有维持正确SCH关系的不稳定视频源（例如模拟VCR），当信号需要存储器寻址或下游处理时，应该生成合成的FIELD_0和FIELD_1输出（例如，通过将F输出信号除以2和4）。

❑ PAL场标识

场1和场5的开头可以通过监测外插的色同步的－U分量与同步之间的关系确定。如图8-16所示，在场1的开头，相对于同步，理想的相位为0°；在场5的开头，相对于同步，理想的相位为180°。无论是色同步消隐序列还是副载波相位，都可以用于区分场1和场3、场2和场4、场5和场7以及场6和场8。上一节中针对NTSC的所有考虑都适用于PAL。

9.2.9 视频信号类型自动检测

如果解码器可以自动地检测被解码视频信号的类型，并对自身进行自动配置，那么用户将不用猜测要处理视频信号的类型。这个信息可以通过状态信息传递给系统的其他部分。

如果解码器检测到至少16个连续帧每帧都少于575行，那么解码器可以假定视频信号是（M）NTSC或（M）PAL制式。首先，假定视频信号是（M）NTSC制式，因为这一制式非常流行。如果场时序和行时序保持锁定，但是解码器不能维持副载波锁定，那么视频信号可能是（M）PAL制式。在这种情况下，可以尝试（M）PAL操作，验证色同步时序。

如果解码器检测到至少16个连续帧每帧都大于575行，那么解码器可以假定视频信号是（B、D、G、H、I、N、N_C）PAL制式或者某种版本的SECAM制式。

首先，假定视频信号是（B、D、G、H、I、N）PAL制式。如果场时序和行时序保持锁定，但是解码器无法维持一个副载波锁，这可能意味着视频信号是（N_C）PAL制式或者SECAM制式。在这种情况下，可以尝试SECAM操作（因为它非常流行）。如果还是无法维持副载波锁，可以尝试（N_C）PAL操作。

如果解码器检测到一个它无法锁定的视频信号格式，那么解码器应该标识出来，这样用户就

可以知道。

注意在模拟VCR的特殊功能模式（例如快进）期间不能执行自动检测。如果解码器检测到一个特殊功能模式的操作，解码器应该禁用自动检测电路。只有输入视频信号丢失后检测视频信号时，才允许进行自动检测。

9.2.10　Y/C分离技术

编码器通常通过将亮度信号和色度信号简单地叠加在一起将它们组合起来；这样色度信号和高频亮度信号就会占用频谱的相同部分。结果，困难的是还要在解码器中分离它们。当解码信号时，一些亮度信息作为彩色信息解码（称之为串色），一些色度信息停留在亮度信号中（称之为串亮度）。由于数字解码器的稳定性能，可以采用比处理模拟解码器更复杂的分离技术。

446

在编辑场合中，串扰并不是什么好事。第一次解码的串扰分量又被编码，当下一次解码时，可能会产生新的或者额外的伪影。另外，当在解码信号中捕捉到静止帧时，边上的冻结残留副载波可能与随后编码过程的副载波冲突，致使彩色区域中的边闪烁。尽管解码器无法完全解决串扰问题，但是细粒度的Y/C分离可以使这一问题的影响降到最小。

如果解码器用在编辑环境中，那么对串亮度和串色的抑制要比被解码图像的外观更加重要。当图像被解码、处理、编码、再次解码时，各处理过程中相互之间的影响可能会引入实质性的伪影。最好是限制亮度带宽（以降低串亮度），生成较柔和的图像。另外，限制色度带宽小于1MHz，可以以色度清晰度为代价减少串色。

互补Y/C分离保留所有的输入信号。如果分离的色度信号和亮度信号再次叠加在一起，就再次生成原始的复合视频信号。

非互补Y/C分离引入一些不能复原的损失，如果分离的色度信号和亮度信号再次叠加在一起生成复合视频信号，就会使频谱之间产生间隙。该损失是由于使用了较窄带的滤波器降低串色和串亮度所致。因此，非互补滤波通常不适合于必须进行多次编码和解码的操作，因为随着解码操作次数的增加，频谱间隙也会持续增加。但是，为了最佳的观看效果，它确实可以用来调整亮度和色度响应。

1. 简单Y/C分离

对于所有这些实现，垂直色度解析度没有任何损失，但是也没有采用任何串色抑制。对于PAL制式，微分相位失真使行间的误差无法抑制，导致称之为Hanover条的垂直模式。

简单Y/C分离器的可注意到的伪影是垂直边上的彩色伪影。这些包括彩色振铃、彩色拖尾和高频率灰度级信息中的彩虹显示。

❑ 低通滤波和高通滤波

最基本的Y/C分离器假定低于一特定点的频率是亮度，高于这一点的是色度。简单Y/C分离器的一个例子如图9-34所示。

低于3.0MHz（NTSC）或者3.8MHz（PAL）的频率假定为亮度。高于这些的频率假定为色度。这种技术不仅会损失高频率的亮度信息，而且假定为色度信息的信息，还会导致串色。

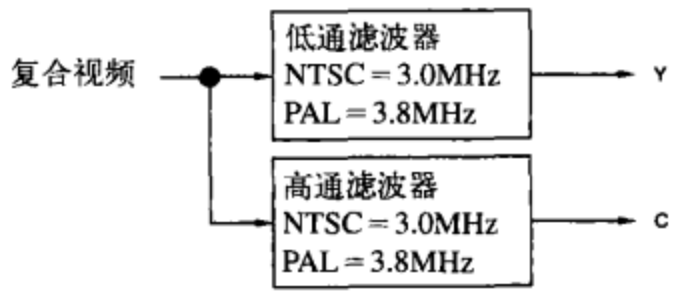
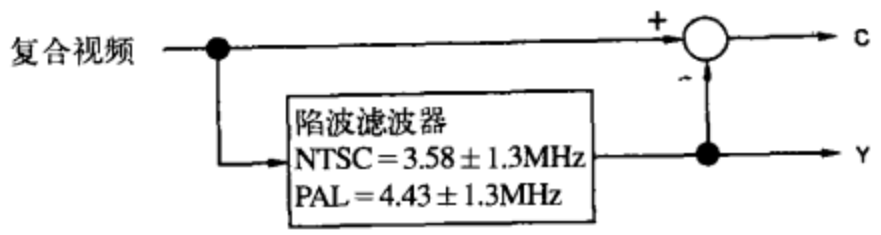


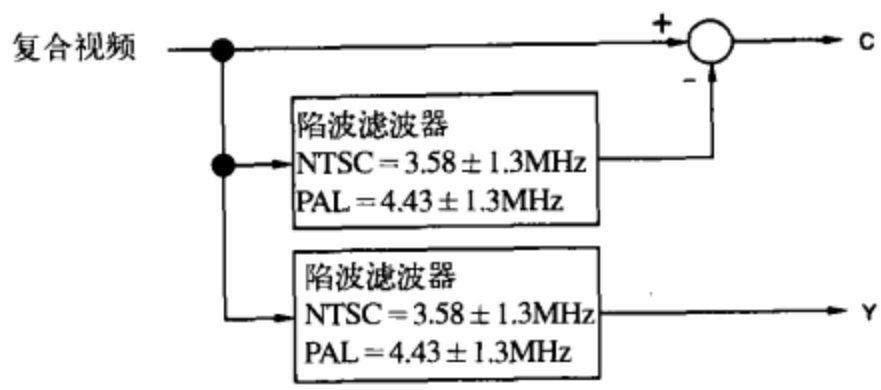
图9-34　典型的简单Y/C分离器

❑ 陷波滤波

尽管广播NTSC和PAL制式严格限制带宽，但是对于其他视频源来说情况并非如此。亮度信息可能位于6MHz、7MHz或者更高频率上。由于这一原因，图9-35中的设计通常更合适，因为它们允许高频亮度信息通过，产生较锐利的图像。 447



(a) 互补滤波



(b) 非互补滤波

图9-35 典型的简单Y/C分离器 448

许多基于陷波滤波器的设计还在Y数据和色差数据路径上集成梳状滤波器，降低串色和串亮度伪影。但是，陷波滤波器仍然会限制整体的Y/C分离质量。

2. PAL制式注意事项

前面提到过，根据V分量是正常的还是倒置的，PAL制式使用正常和倒置的扫描行，以帮助校正由于微分相位失真引起的彩色偏移。

例如，微分相位失真可能导致正常扫描行上的绿色矢量角由图8-11中所示的理想241°滞后45°，导致矢量角为196°，有效地使结果颜色向黄色偏移。在倒置扫描行上，矢量角也将由图8-12中所示的理想120°滞后45°，导致矢量角为75°，有效地使结果颜色向青色偏移。

❑ PAL延迟行

图9-36由图8-12对U色轴180°削波，并将结果叠加在图8-11上生成，描述了相位误差的消除。两个误差（正常扫描行上的196°和倒置扫描行上的286°）的平均相位为241°，它是绿色的正确相位。由于这一原因，简单PAL解码器通常使用一个延迟行（或者行存储）来促进两个扫描行之间的平均。

在PAL制式Y/C分离器中使用延迟行有独特的问题。副载波基准在一个行周期内改变－90°（或者270°），V副载波在交变行上倒置。因此，行延迟的输入和输出之间有270°的相位差。如果我们希望在延迟行的输入和输出之间进行一个简单的加法或者减法，以恢复色度信息，那么相位差必须为0°或者180°，而且V的切换仍然需要。因此，我们希望寻找一种方法来调整行之间的副载波相位，补偿V的切换。

简单的电路，例如图9-37中所示的非互补Y/C分离器，使用了一个不是整行的延迟行（283.75个副载波周期），而不是284个副载波周期。这个微小的差别充当副载波频率的一个90°相位偏移。

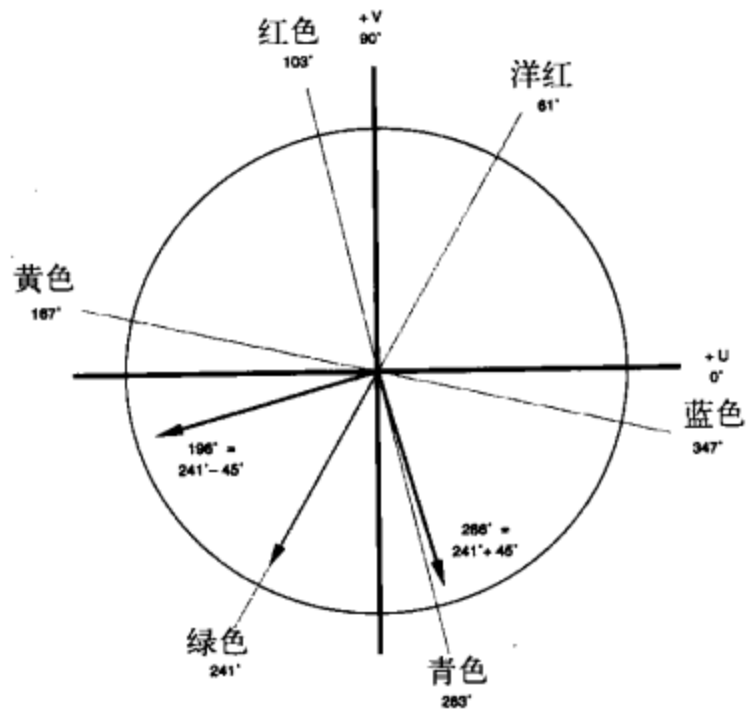


图9-36　PAL制式的相位误差校正

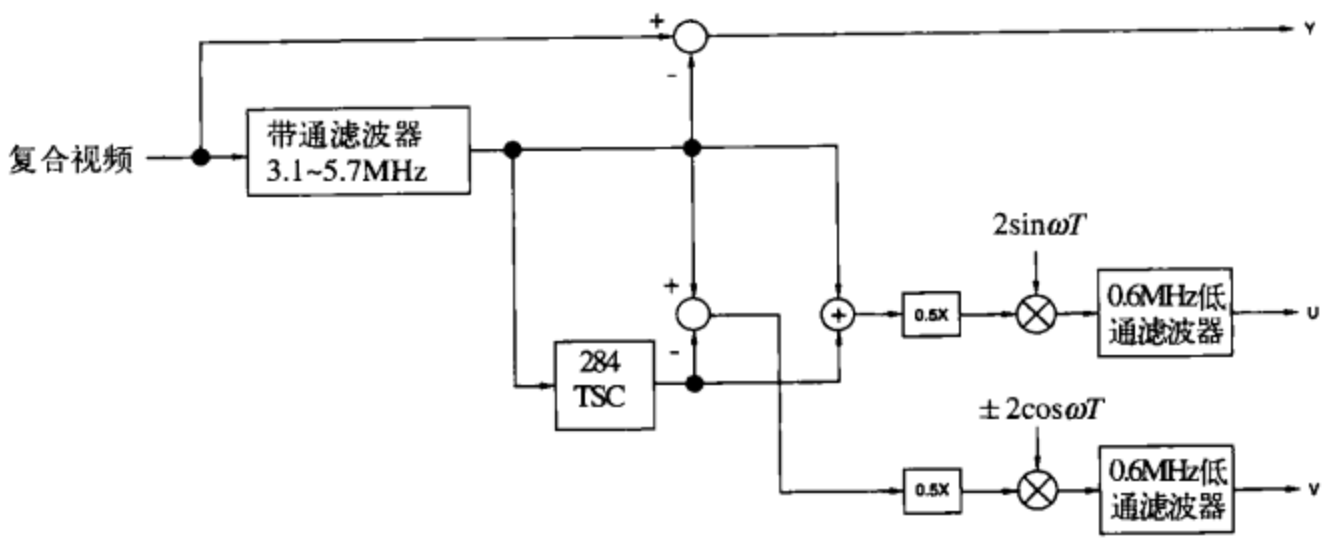


图9-37　简单延迟行PAL制式Y/C分离器

因为延迟中存在一个整数的副载波周期，所以位于第284个T_{SC}延迟行的输入和输出上的U副载波同相，而且它们可以简单地叠加在一起，恢复U副载波。由于V的切换，位于第284个T_{SC}延迟行的输入和输出上的V副载波180°异相，加法器将它们抵消。U解调器抑制所有的剩余高频垂直V分量。

由于V的切换，抽除第284个T_{SC}延迟行的输入和输出可以恢复V副载波，并且还可以清除U副载波。V解调器抑制所有的剩余高频垂直U分量。

因为通过第284个T_{SC}延迟行的相位偏移是频率的一个函数，所以副载波边带的相位偏移并不是正好90°，导致垂直色度转换上的色调误差。另外，因为色度向下偏移半行，所以色度和亮度没有垂直对齐。

❑ PAL修正器

尽管图9-37中电路的性能通常已经足够，但是第284个T_{SC}延迟行可以替换为一个行延迟后跟一个PAL修正器，如图9-38所示。PAL修正器提供一个90°的相位偏移和V副载波的倒置。PAL修正器的色度现在和行延迟输入同相，从而允许它们两个使用一个单独的加法器结合在一起，共享一个到解调器的普通路径。平均过程牺牲了一些垂直解析度，但是，Hanover条得到了抑制。

449

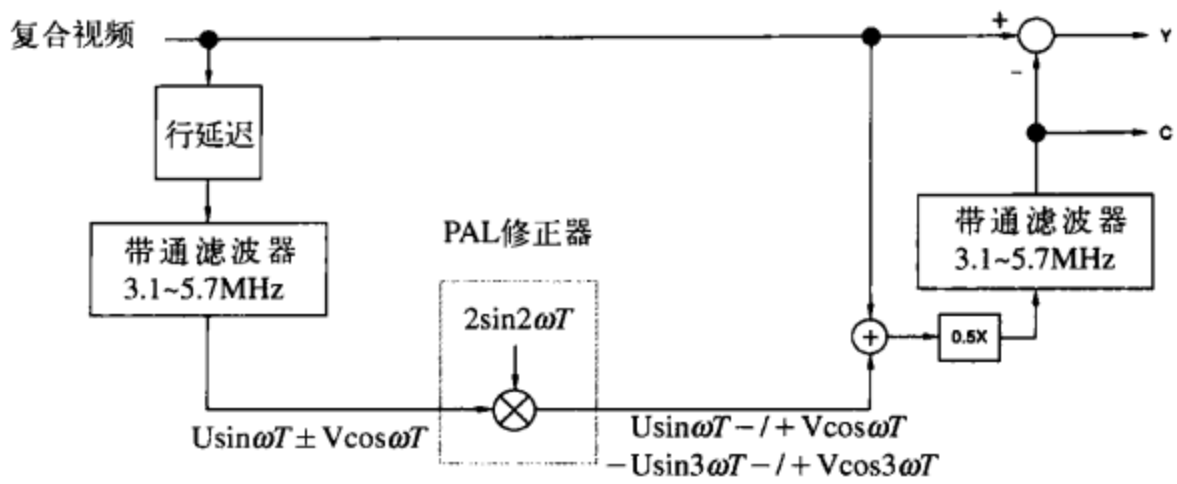


图9-38 使用PAL修正器的单行延迟PAL制式Y/C分离器

因为解调器输入的色度和复合视频同相，所以它可以用于清除复合信号中的色度，留下亮度。但是，由于色度向下偏移了半行，色度和亮度仍然没有垂直对齐。

PAL修正器生成一个中心位于两倍副载波频率处的亮度混叠。如果PAL修正器前面没有带通滤波器以及行之间的平均，那么将原始亮度分量和混叠亮度分量混合在一起将生成一个12.5Hz的拍频（beat frequency），在图像的高对比度区域可以注意到该拍频。

3. 2D梳状滤波

在前面的Y/C分离器中，高频的亮度信息被视为色度信息；而且还没有尝试着区分它们。因此，亮度信息被解释为色度信息（串色），传递给色度解调器，以恢复彩色信息。解调器不区分色度和高频亮度，从而在不应该有色彩的地方生成色彩。因此，生成偶发的显示伪影。

2D（或者场内）梳状滤波试图以降低垂直解析度为代价，提高色度和亮度的分离。梳状滤波器是因为使亮度和色度频率响应看上去像一把梳子而得名。理想情况下，这些频率响应应该与图8-4和图8-15中所示的隔行扫描的亮度和色度信号的梳子状的频率响应匹配。 450~451

现代的3行梳状滤波器通常使用2行延迟来存储视频信息的最后两行（使用这一方法在解码过程中有1行延迟）。使用多于2行的延迟通常导致过量的垂直滤波，降低垂直解析度。

❑ 两行延迟梳状滤波器

BBC对各种不同的梳状滤波实现（图9-39~图9-42）进行了广泛的研究（参考文献4），评价了每种实现的伪影和频率响应。每个梳状滤波器的垂直频率响应如图9-43所示。

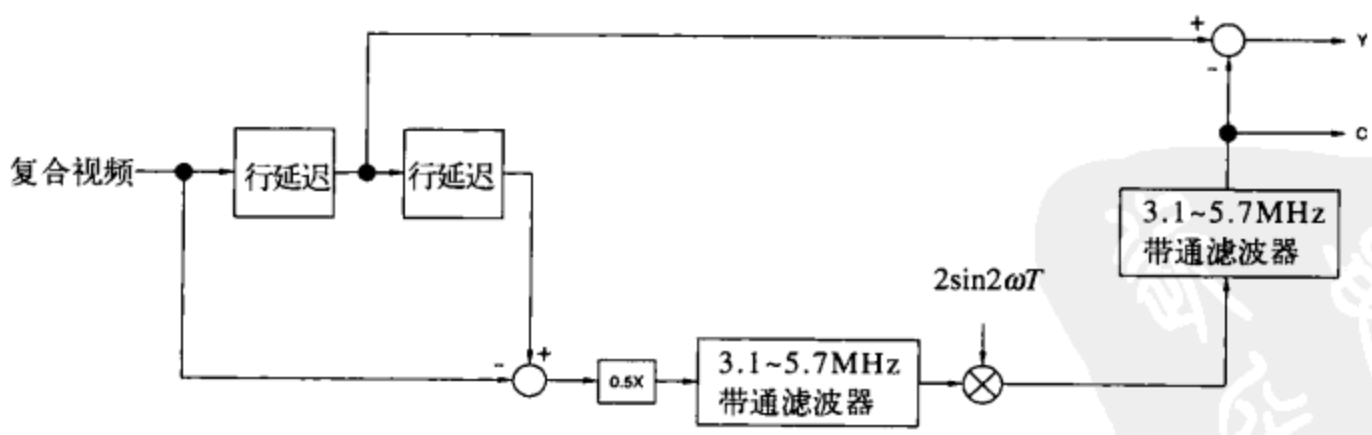


图9-39 2行Roe PAL制式Y/C分离器

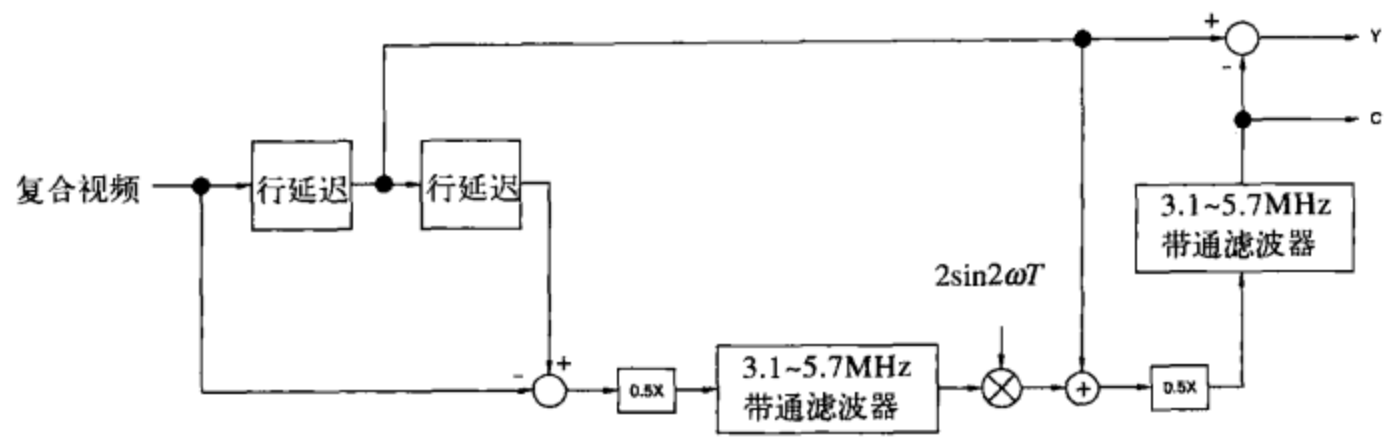


图9-40　2行－6dB Roe PAL制式Y/C分离器

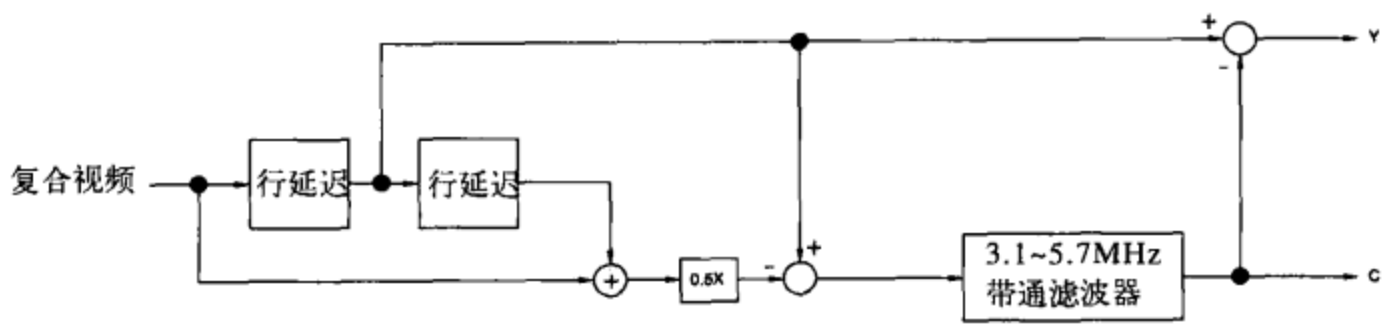


图9-41　2行余弦PAL制式Y/C分离器

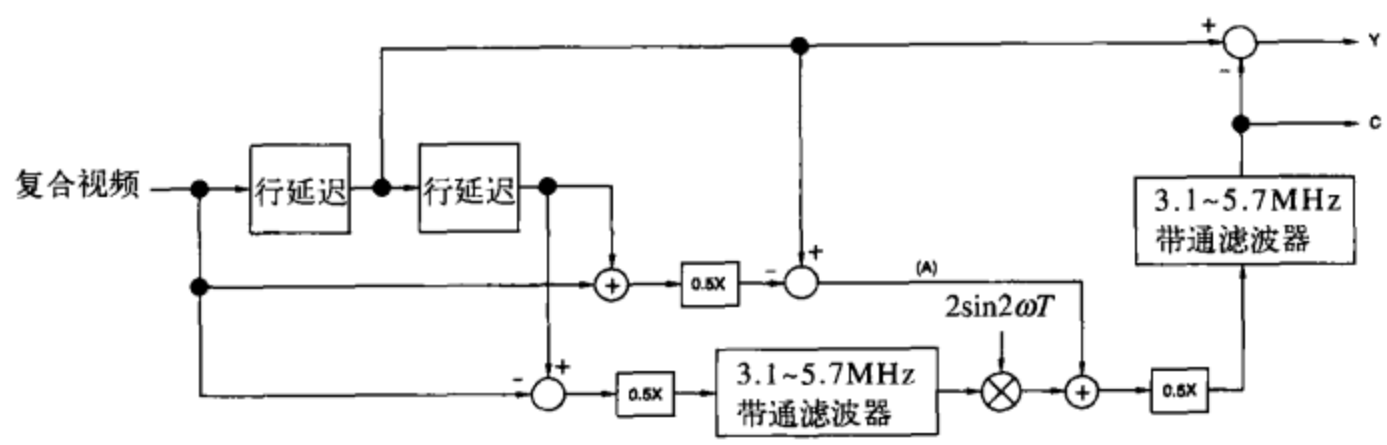


图9-42　2行Weston PAL制式Y/C分离器

在图9-39的梳状滤波器设计中，色度相位2行延迟后倒置。减法器清除了大部分的亮度，剩下双幅度、垂直滤波的色度。PAL修正器提供一个90°的相位偏移和PAL开关倒置的移除，以相位调整有1行延迟复合视频信号的色度。从复合信号中抽除色度后就剩下亮度。该设计的优点是色度和亮度垂直对齐。但是，这样会存在垂直解析度损失的问题，并且不抑制Hanover条。另外，在一些环境中，有可能由于PAL修正器生成的混叠亮度分量而生成双幅度的亮度。

图9-40中的梳状滤波器与图9-39中所示的梳状滤波器相似。但是，PAL修正器后面的色度以及1行延迟的复合视频信号叠加在一起生成双幅度的色度（因为它们的副载波同相）。再一次从复合信号中抽除色度后就剩下亮度。在该设计中，因为真实的和混叠的亮度信号都被平分，所以避免了亮度超出量程。这种设计中垂直解析度的损失较小，而且抑制Hanover条，但是以串色的增加为代价。

图9-41中的梳状滤波器设计的优点在于不用使用PAL修正器。因为色度相位2行延迟后倒置，将它们叠加在一起就会消除大部分的色度，剩下双幅度亮度。从1行延迟的复合视频信号中抽除该信号就生成色度。然后从1行延迟的复合视频信号中抽除色度就生成亮度（这样可以维持垂直亮度解析度）。因为行间的副载波相位没有对齐致使没有在加法器中消除色度信号，所以UV串扰

就表现为水平色度边上的12.5Hz闪烁。因为没有PAL修正器，所以没有亮度混叠或者亮度超标。

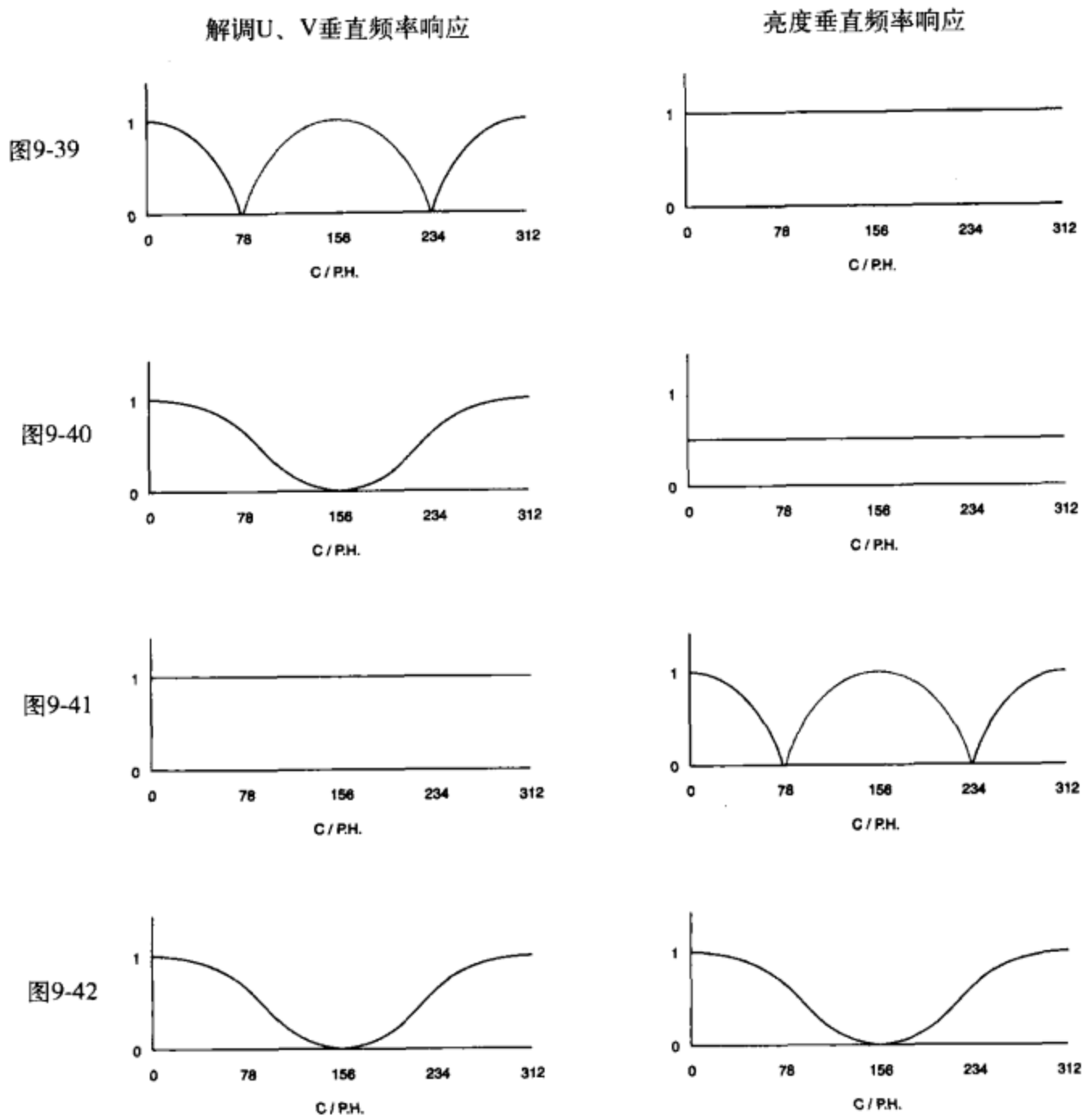


图9-43 图9-39~图9-42中梳状滤波器的垂直频率响应特性

图9-42中的梳状滤波器是图9-39和图9-41中梳状滤波器的组合。色度相位两行延迟后倒置。加法器消除大多数的色度，剩下双幅度亮度。从1行延迟复合视频信号中抽除该信号就生成色度信号（A）。在一个平行路径中，减法器消除大部分的亮度，剩下双幅度垂直滤波的色度。PAL修正器提供一个90°的相位偏移和PAL开关倒置的移除，以相位调整（A）色度信号。这些叠加在一起，生成双幅度的色度。然后从1行延迟的复合视频信号中抽除色度生成亮度。色度和亮度的垂直频率响应是图9-39和图9-41相应值的平均值。UV串扰与图9-41中的相似，但是幅度为图9-41中的一半。亮度混叠也是图9-39中的一半，而且抑制Hanover条。 452

以这些梳状滤波器设计为基础，BBC为普通电视设计了一种优化的梳状滤波器（图9-44）和标准变换（图9-45）。

对于PAL应用，最佳的亮度处理（图9-41）与最佳的色度处理（图9-40）结合在一起。两个设计之间的区别是色度恢复。对于标准变换（图9-45），色度信号正好是完整带宽的复合视频信号。标准变换使用垂直插值，有助于减少移动和高频垂直分量，包括串亮度和串色。因此，处理之后的垂直色度解析度通常将优于从普通电视的电路中所获得的垂直色度解析度。普通电视的电路（图9-44）以色度垂直解析度为代价、以减少串扰为目标恢复色度。

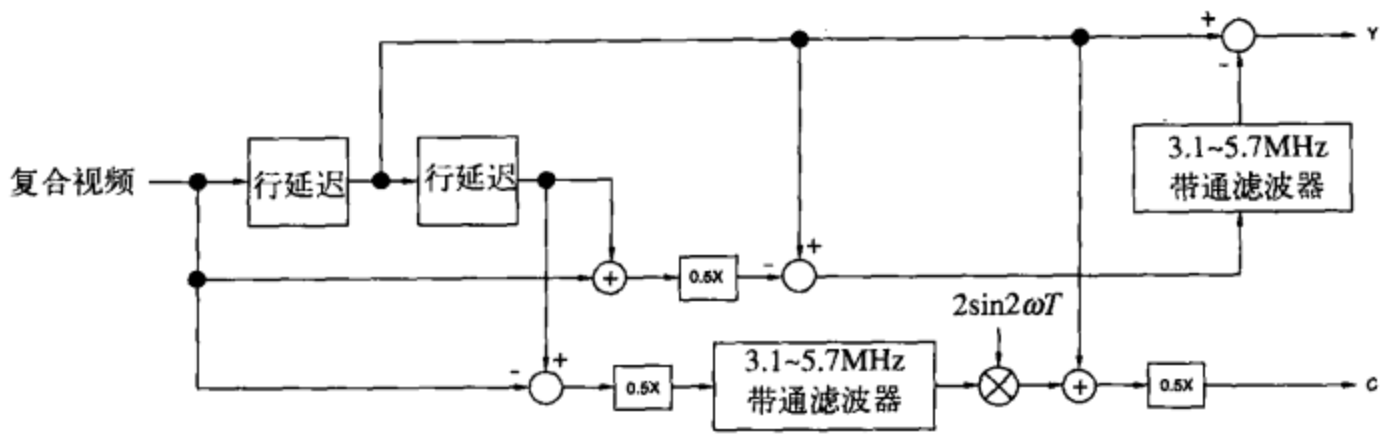


图9-44　为普通电视优化的2行延迟PAL制式Y/C分离器

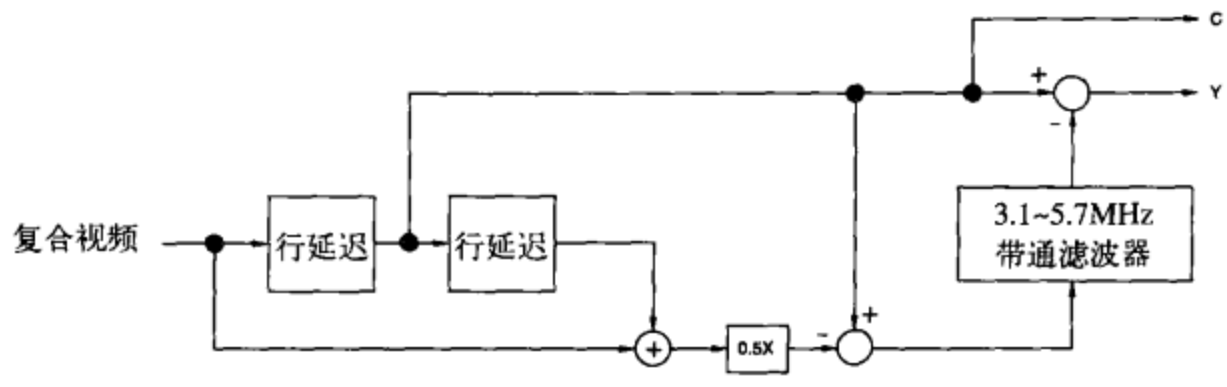


图9-45　为标准变换和视频处理优化的2行延迟PAL制式Y/C分离器

453~456

对于NTSC应用，梳状滤波器的设计相对简单。不用考虑副载波的切换，而且色度相位在每行上都是180°，而不是270°。另外，亮度频段和色度频段之间的分离要比PAL中的大，从而简化了分离要求。

在图9-46和图9-47中，因为副载波同相，所以加法器生成一个双幅度的复合视频信号。加法器的输出和1行延迟的复合视频信号之间有180°的副载波相位差，因此抽除这两个信号之后就消除了大部分的亮度，剩下双幅度的色度。

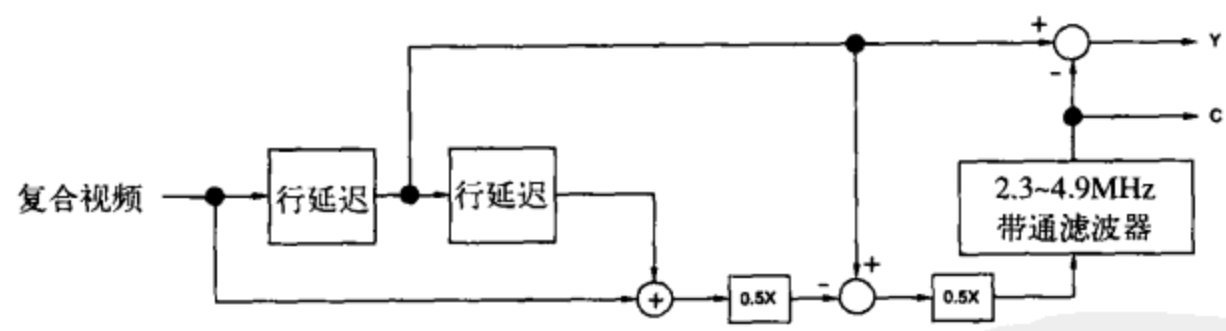


图9-46　普通电视的2行延迟NTSC制式Y/C分离器

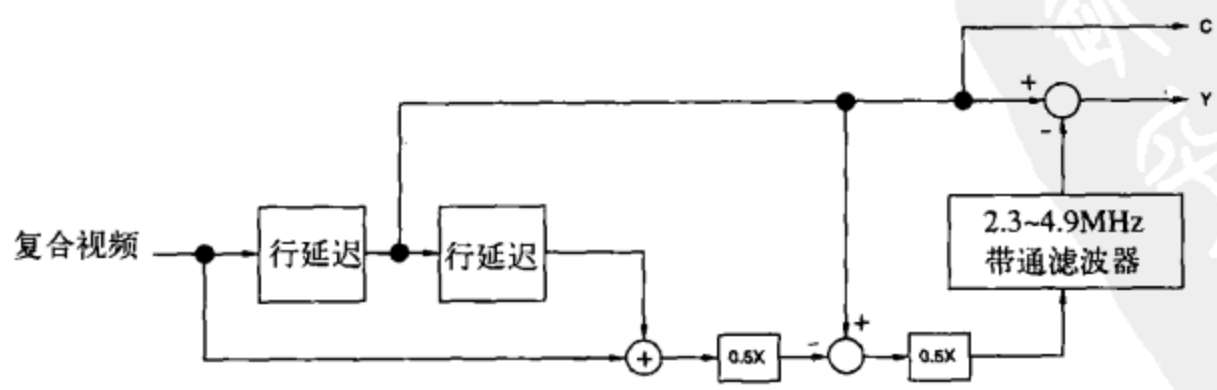


图9-47　标准变换和视频处理的2行延迟NTSC制式Y/C分离器

图9-46设计的主要缺点在于垂直色彩跳变上不对串亮度抑制。但是，这可以通过简单的低通

滤波所提高的亮度响应进行补偿。图9-47中处理色度的原因与图9-45中PAL制式的原因相同。

❑ 自适应梳状滤波

因为传统的梳状滤波器只对垂直对齐的样本进行处理，所以传统的梳状滤波器在对角线和垂直色彩变化方面仍然存在问题。

457

对于对角线，在标准梳状滤波之后，色度信息还包括邻接亮度值之间的差别，该差别也可以被解释为色度信息。该信息可以显示为串色伪影，例如扫描行边上出现的彩虹。

锐利垂直色彩跳变生成通常位于2个色彩转变之间的扫描行上的悬挂点（hanging dot）模式。在标准梳状滤波之后，亮度信息包含彩色副载波。彩色副载波的幅度由两个色彩之间的差别确定。因此，不同的色彩以不同的方式调制亮度光强度，在2个色彩之间的扫描行上生成一个点模式。为了消除这些悬挂点，有时候在梳状滤波器之后使用一个色度陷波滤波器。

自适应梳状滤波器试图通过处理一个3×3、5×5或者更大块的样本来解决这些问题。样本的值用来确定中心样本使用哪个Y/C分离算法。而Y/C分离算法多达32种，甚至更多。通过查看亮度的锐利垂直跳变，或者锐利彩色副载波相位变化，可以修改梳状滤波器的操作，以避免生成伪影。

由于组合行存储的代价，家用市场通常使用3行自适应梳状滤波，并进一步进行改进，也即3D运动自适应梳状滤波。

4. 3D梳状滤波

这个方法（也称为场间Y/C分离）使用当前场和前2场（NTSC）或前4场（PAL）的复合视频数据。这两个数据叠加在一起就可以消除色度（因为它是180°异相），剩下亮度。抽除这两个数据可以消除亮度，剩下色度。对于PAL，通过将图9-42中的行延迟替换为帧延迟可以获得一个适当的设计。

这一技术为静态图像提供了近乎完美的Y/C分离。但是，如果场间存在变化，所获得的Y/C分离结果之中就会包含错误。由于这一原因，通常不使用场间Y/C分离器，除非作为3D运动自适应梳状滤波器的部分时才使用。

❑ 3D运动自适应梳状滤波器

图9-48示范了一个典型的3D运动自适应梳状滤波器实现。在该实现中，静止区域使用3D（场间）梳状滤波器，而包含运动的图像区域使用2D（场内）梳状滤波器。运动检测器生成一个为0~1的值（K），允许2个梳状滤波器的亮度信号和色度信号按比例混合在一起。算法之间的硬切换通常是可见的。

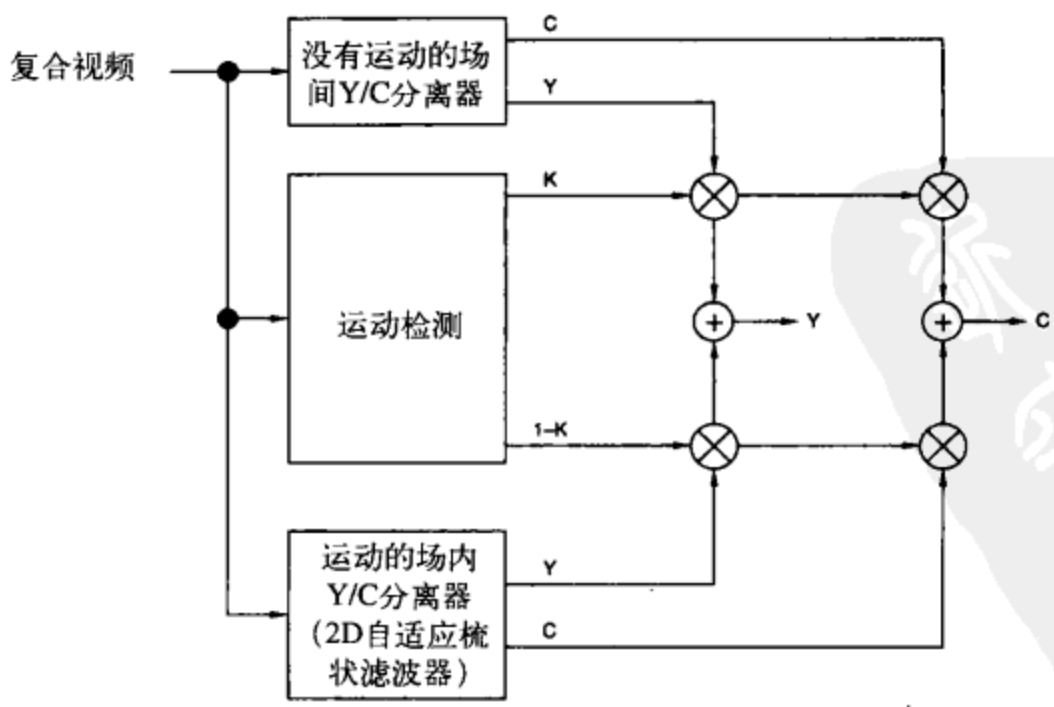


图9-48 3D运动自适应Y/C分离器