

项目

1

电视机信号的基本知识

任务 1 色度学基础知识

任务描述: 了解光和色的关系;
了解三基色原理;
掌握色的三要素;
掌握各种混色法的混色原理。

任务分析: 光实际上是一种电磁波,它的频谱范围很宽,人的眼睛只对其中的可见光有感觉,而可见光也有一定的频率范围,可见光被人的眼睛接收后最终便产生了色的信号,本任务主要介绍光和色的基础知识。

活动 1 光和色的关系

光与无线电波一样是一种电磁波。电磁波范围非常广,有无线电波、红外线、可见光、紫外线、X 射线和 γ 射线等,它们的频率依次增大,如图 1-1 所示。

可见光不是单一频率的电磁波信号,它有一定的频率范围。不同频率的光被人眼接收后传送到人的脑部,经人的脑部神经处理后的感觉是不一样的,由此引起了色的概念。

白色光是一种混合光,它通过棱镜可以分解成红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七色光,而这七色光中的任何一种经过棱镜都不能再分解成其他的彩色的光(如图 1-1 所示),这是光的固有特性。

应该指出,整个可见光的光谱是连续的,从一种颜色的光过渡到另一种颜色的光并没有明显的界限。如从红逐渐变化过渡到橙,又从橙逐渐变化过渡到黄……这样就构成了千变万化的自然景色。

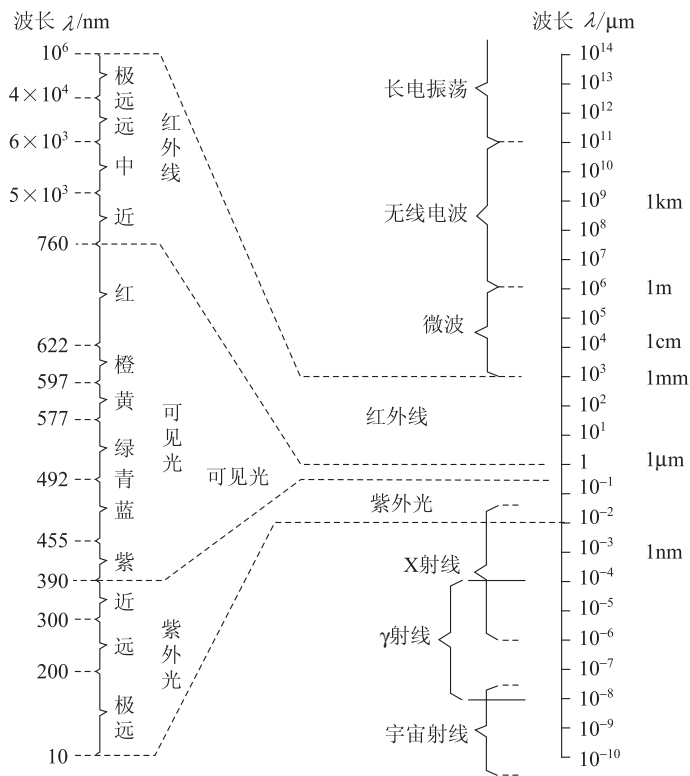


图 1-1 光的电磁波谱

活动 2 三基色原理

三基色是指自然界中光的最基本颜色,它由红(R)、绿(G)、蓝(B)组成。当三基色以不同比例相混合时,便可以得到自然界中各种不同的颜色;反之,自然界中一切颜色又可以分解成不同比例的红、绿、蓝3种基色,此即三基色原理。这里所说的红、绿、蓝三基色,是指任何一种基色都不能由其他两种基色混合产生。

三基色原理是彩色信息传送和彩色电视广播实现的基础。因为自然界中的各种颜色是千变万化的,如果用一种电信号传送一种颜色,那就需要千万种的电信号,事实上这是做不到的。应用三基色原理,先把彩色图像分解成红、绿、蓝3种基色图像,即可用3种电信号进行传送。然后在接收端再把三基色图像混合在一起,就能得到所要传送的彩色图像了。这样,传送的方法和过程就很简单了。

三基色原理不仅适用于彩色电视机,而且还适用于彩色绘画、彩色摄影等各个方面。虽然彩色电视和彩色绘画、印刷等都是用三基色原理进行工作的,但是它们的混合方式不同,选用的三基色也不同。

活动 3 色的三要素

各种色光都可以用亮度、色调和色饱和度 3 个参量(特征)来表征出来,这就是色的三要素。三要素的关系如图 1-2 所示。

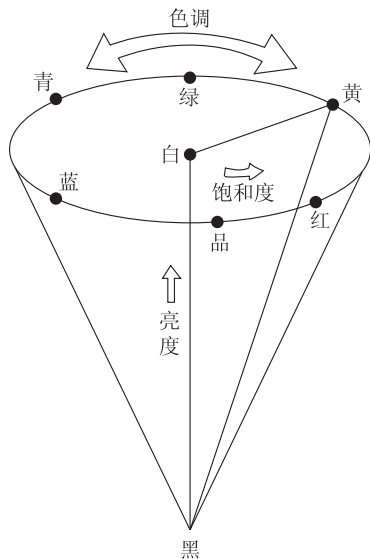


图 1-2 亮度、色调和色饱和度的关系

(1)亮度。亮度是指某种颜色在人眼视觉上所引起的明暗变化程度,它主要由光的强度大小决定。

(2)色调。色调表示颜色的种类,它主要取决于光的频率。

(3)色饱和度。色饱和度表示颜色的深浅程度,主要取决于彩色光中掺白色光的多少。也就是说,色饱和度越大,该颜色也就越浓。

其中,色调和色饱和度组成色度。

活动 4 混色法

利用三基色原理可以混合出自然界中几乎所有的颜色。常见的混色方法主要有直接混色法、空间相加混色法、时间相加混色法和生理相加混色法等。

(1)直接混色法。直接混色法是将两种或三种基色按一定比例混合,得到另外一种颜色的方法。三基色等比例混合有以下的混色规律:

红色+绿色=黄色

红色+蓝色=紫色

红色+绿色+蓝色=白色

当三基色(红、绿、蓝)均为零时,即可得到黑色。

(2)空间相加混色法。当三基色相隔距离很短,而观察距离又足够长时,就会产生混色效果。

(3)时间相加混合法。时间相加混合法是利用人眼的视觉惰性而形成的,即物体的颜色在人眼中消失后,人眼还会觉得物体的颜色在眼前,其保留时间约为 0.04s。因此,当三种基色光按一定的顺序轮流投射到一个表面上时,只要转换的速度能达到相应的速度,人眼产生的彩色感觉就会与三种基色直接混色的感觉相同。

(4)生理相加混合法。生理相加混合法是利用人的两只眼睛同时观看两种不同景物的颜色时,两只眼睛同时获得的不同的颜色并在人的大脑中混合产生的混色效果。

任务 2 亮度信号与色度信号

任务描述: 了解彩色电视与黑白电视兼容必须具备的条件;

掌握亮度信号的组成及亮度方程;

掌握两种色差信号及色差信号的传送;

了解彩条信号的测试原理。

任务分析: 亮度信号、色差信号和彩条信号是彩色电视机的 3 种重要信号,本任务除简要地介绍了 3 种信号的基本知识外,重点讨论了亮度电压方程和色差信号的传送。

活动 1 “兼容制”的基本要求

现代彩色电视制式必须满足“兼容”这一基本要求,即原有的黑白电视机也能接收彩色电视节目。黑白电视机只需要表征图像明暗程度的亮度信号,而彩色电视机需要的是三基色信号。

彩色电视为了与黑白电视兼容,必须具备下列条件:

- (1)彩色电视信号中必须有亮度信号和色度信号;
- (2)占有与黑白电视相同的频带宽度;
- (3)伴音载频和图像载频分别与黑白电视相同;
- (4)采用与黑白电视相同的扫描频率和相同的复合同步信号;
- (5)亮度信号与色度信号之间的干扰要最小。

其中,实现兼容最根本的条件是彩色电视必须以和黑白电视相同的带宽传送亮度信号和色度信号。黑白电视图像信号(即亮度信号)约占 6MHz 带宽,因此,必须在 6MHz 的带宽内同时传送亮度信号和色度信号,否则就无法实现兼容。

活动 2 亮度信号

由三基色原理可知,白光可由红、绿、蓝 3 种基色光组成。强度不同的白光,产生不同的亮度感,因此亮度信号 Y 也可由红、绿、蓝 3 种基色信号组成。在电视系统中,用显像三基色配出 1 单位白光的关系式为

$$Y=0.30R+0.59G+0.11B \quad (1-1)$$

式(1-1)称为亮度方程,它表明显像三基色亮度与合成的光的亮度之间的关系,即等强度的红、绿、蓝三基色光中,绿色给人的亮度感觉最强,红光次之,蓝光最弱。

这个公式可表达为亮度电压方程为

$$V_Y=0.30V_R+0.59V_G+0.11V_B \quad (1-2)$$

由彩色摄像机输出的三基色信号,通过一种线性组合运算电路——矩阵电路,使三基色按式(1-2)组合,便可产生亮度信号。

最简单的亮度矩阵电路是电阻矩阵电路,其组成如图 1-3 所示。

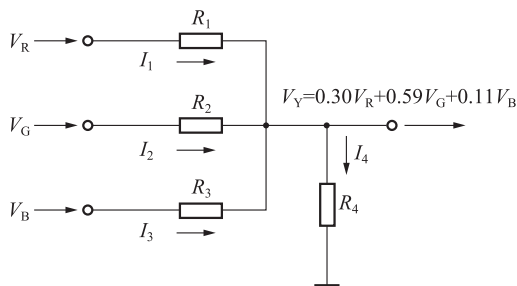


图 1-3 亮度信号矩阵电路

只要 $\frac{R_4}{R_1}=0.30$, $\frac{R_4}{R_2}=0.59$, $\frac{R_4}{R_3}=0.11$, 就满足亮度方程式(1-2)。

如将 $V_R=V_G=V_B=1V$ 定为信号的幅值,代入式(1-2),得

$$V_Y=0.30 \times 1 + 0.59 \times 1 + 0.11 \times 1 = 1V$$

即对应的亮度为白色。

如将 $V_R=V_G=V_B=0$ 定为信号的最小值,代入式(1-2),则 $V_Y=0$, 对应的亮度为黑色。

当 V_R, V_G, V_B 取 1 或 0 之间的其他数值时,则产生介于黑与白之间的不同的灰度。

活动 3 色差信号

虽然彩色电视摄像机输出 R, G, B 三基色信号,但彩色电视系统不传送基色信号而是传送两种色差信号,即 $V_R - V_Y$ 和 $V_B - V_Y$, 分别用 V_{R-Y} 和 V_{B-Y} 来表示,即

$$V_{R-Y} = V_R - V_Y = 0.70V_R - 0.59V_G - 0.11V_B \quad (1-3)$$

$$V_{B-Y} = V_B - V_Y = -0.30V_R - 0.59V_G - 0.89V_B \quad (1-4)$$

式中, V_{R-Y} 称为红色色差信号, V_{B-Y} 称为蓝色色差信号。

为什么不传送基色信号而传送色差信号呢?

当传送黑白信号时, $V_R = V_B = V_G$, 则 V_{R-Y}, V_{B-Y} 两色差信号都为零, 消除了色度信号对亮度信号的干扰。

为什么不传送 V_{G-Y} 呢? 因为 $V_{G-Y} = -0.30V_R + 0.49V_G - 0.11V_B$, 幅度小, 传送时信噪比小。而 V_{G-Y} 又可由 V_{R-Y} 和 V_{B-Y} 合成, 这是由于

$$V_Y = 0.30V_R + 0.59V_G + 0.11V_B$$

两边减去 V_Y , 即得

$$0.30V_{R-Y} + 0.59V_G - Y + 0.11V_{B-Y} = 0$$

$$V_{G-Y} = -\frac{0.30}{0.59}V_{R-Y} - \frac{0.11}{0.59}V_{B-Y}$$

即

$$V_{G-Y} = -0.51V_{R-Y} - 0.19V_{B-Y} \quad (1-5)$$

发射时只须传送 V_{R-Y} 与 V_{B-Y} , 接收机接收这两种信号后, 通过矩阵电路按式(1-5)可合成 V_{G-Y} 信号。

活动 4 彩条信号

彩条信号是一种标准测试信号, 它显现在彩色电视机屏幕上是一组包含 8 种彩色的等宽竖条, 其彩色排列顺序按亮度递减从左到右依次为白、黄、青、绿、紫、红、蓝、黑。彩条信号常用作校正彩色电视机工作状态的标准信号, 因此熟悉彩条信号的波形对彩色电视机的检测是十分重要的。

彩条信号是由 V_R, V_G, V_B 3 种基色电压波形组成的。若把它们和白条对应的电平定为 1, 黑条对应的电平定为零, 则彩条中含有的 V_R, V_G, V_B 值见表 1-1。其波形如图 1-4(a)(b)(c) 所示。

表 1-1 彩条信号的电平值

| 信号 色条 | V_R | V_G | V_B | V_Y | V_{R-Y} | V_{G-Y} | V_{B-Y} |
|----------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|
| 白 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0 | 0 | 0 |
| 黄 | 1.00 | 1.00 | 0 | 0.89 | 0.11 | 0.11 | -0.89 |
| 青 | 0 | 1.00 | 1.00 | 0.70 | -0.70 | 0.30 | 0.30 |
| 绿 | 0 | 1.00 | 0 | 0.59 | -0.59 | 0.41 | -0.59 |
| 紫 | 1.00 | 0 | 1.00 | 0.41 | 0.59 | -0.41 | 0.59 |
| 红 | 1.00 | 0 | 0 | 0.30 | 0.70 | -0.30 | -0.30 |
| 蓝 | 0 | 0 | 1.00 | 0.11 | -0.11 | -0.11 | 0.89 |
| 黑 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

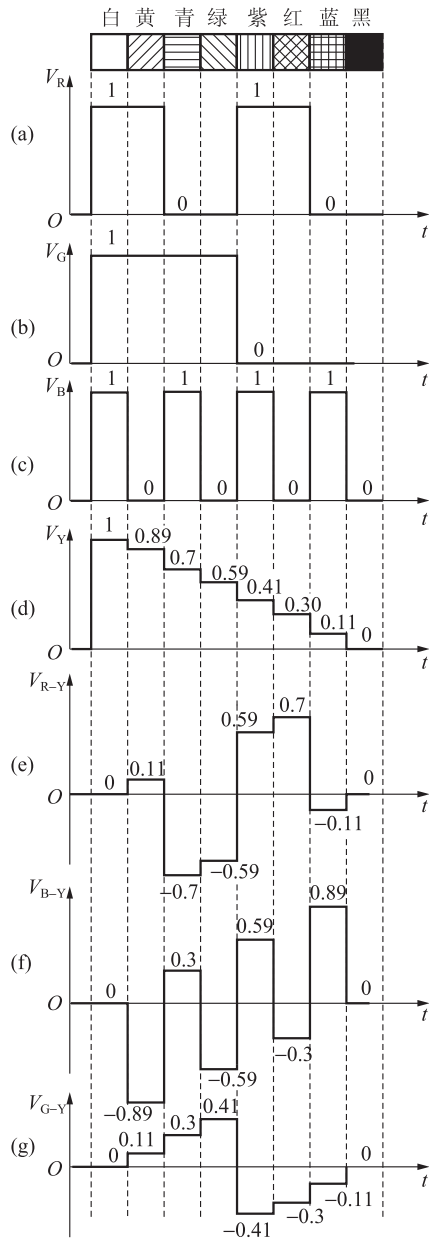


图 1-4 彩条信号

彩条信号的各彩条对应的亮度信号和色差信号电平,也可由相关的公式计算出来。由亮度方程可知

$$V_Y = 0.30V_R + 0.59V_G + 0.11V_B$$

由于白条是由 V_R, V_G, V_B 等量组成, 设 $V_R = V_G = V_B = 1$, 则对应于亮度信号的白色值

为 1; 对应于黄条, 其组成是 $V_R, V_G=1, V_B=0$, 其 $V_Y=0.89$ 。照此可算出其他彩条的 V_Y 值, 见表 1-1。其波形如图 1-4(d) 所示。

同理也可算出 $V_{R-Y}, V_{B-Y}, V_{G-Y}$ 中包含的彩条的值。如 V_{R-Y} 中的黄条值, 由于

$$V_{R-Y}=0.70V_R-0.59V_G-0.11V_B$$

因此黄条的组成是 $V_R=V_G=1, V_B=0$, 则上式的值为 $V_{R-Y}=0.11$ 。

与 $V_{R-Y}, V_{G-Y}, V_{B-Y}$ 对应的各彩条的值见表 1-1, 对应的波形如图 1-4(e)(f)(g) 所示。

任务 3 彩色电视的编码过程

任务描述: 掌握 NTSC 制式的工作原理;

掌握 PAL 制式的工作原理;

掌握 SECAM 制式的工作原理;

了解 SECAM 制式与 NTSC 制式和 PAL 制式的区别。

任务分析: 目前, 世界上采用的兼容制彩色电视制式分为 NTSC 制、PAL 制和 SECAM 制 3 种, 本任务主要介绍了 3 种制式的工作原理及彼此之间的区别。

目前, 除高清晰度数字电视外, 就普通模拟广播电视而言, 世界上彩色广播电视制式主要有 3 种。

(1) NTSC 制。属于同时制, 由美国于 1953 年创立。日本、加拿大、韩国等采用这种制式。

(2) PAL 制。属于同时制, 由联邦德国于 1967 年创立。中国内地、香港特别行政区及英国、澳大利亚、新西兰等也都采用这种制式。

(3) SECAM 制。属于顺序-同时制, 由法国于 1967 年创立。

这 3 种制式皆属兼容制, 其共同点是都采用能与黑白电视兼容的亮度信号和两个色差信号作为传输信号; 其不同点是两个色差信号对副载波采用不同的调制方式。换句话说, 由两个色差信号以不同方式对副载波进行的调制体现了制式的主要特点。

活动 1 正交平衡调幅制

正交平衡调幅制, 简称为 NTSC 制, 它把三基色信号编码成一个亮度信号和由两个色差信号(R-Y 及 B-Y)组成的色度信号。

1. 平衡调幅

平衡调幅是调幅中的一种, 又叫抑制载波调幅, 简称抑载调幅。

用单一频率的信号 F 对频率为 f_c 的高频载波信号进行调幅后, 高频调幅波的频谱中除有原来的高频载波频率分量 f_c 外, 还增加了上边频 f_c+F 和下边频 f_c-F , 频谱如图 1-5(b)

所示。至于平衡调幅,其特点是不输出载波分量 f_c ,若绘出频谱图与图 1-5(b)相比较,发现区别就在于没有中间的 f_c 分量。若作出波形图来比较,则如图 1-5 所示,图 1-5(c)所示为一般调幅波波形,图 1-5(d)所示为平衡调幅波波形。

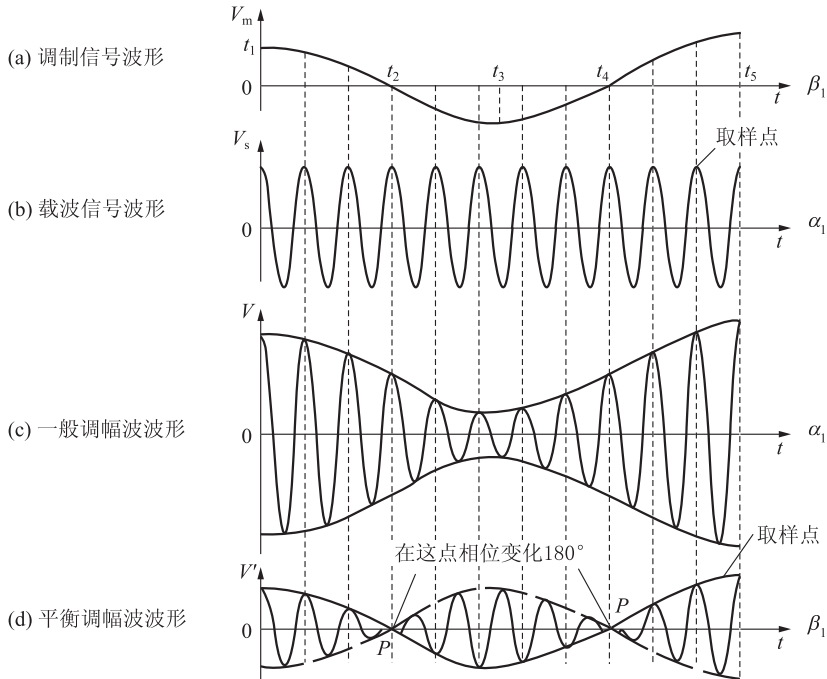


图 1-5 一般调幅波和平衡调幅波的波形图

2. 正交平衡调幅

所谓正交是指相互垂直的意思。正交调幅是将两个色差信号 V_{R-Y} 和 V_{B-Y} 分别调制在频率相同,但相位差 90° 的两个色副载波上,再将两个输出合成在一起。在接收机中,根据其相位的不同,可从合成的副载波已调信号中分别取出两个色差信号。正交调幅既能在一个副载波上互不干扰地传输两个色差信号,又能在接收机中简单地将它们分开。

色差信号的正交平衡调制如图 1-6(a)所示。图中共有两个平衡调制器,一个是 V_{R-Y} 信号的,一个是 V_{B-Y} 信号的。设前者的副载波为 $\cos\omega_{sc}t$,后者为 $\sin\omega_{sc}t$ (振幅均设为 1)。那么,两个平衡调幅器的输出分别是 $V_{R-Y}\cos\omega_{sc}t$ 和 $V_{B-Y}\sin\omega_{sc}t$,它们在线性相加器中合成,就形成色度信号为

$$F = V_{R-Y}\cos\omega_{sc}t + V_{B-Y}\sin\omega_{sc}t$$

图 1-6(b)所示为合成信号与两平衡调制器输出之间的矢量关系。图中对角线的长度代表色度信号 F 的振幅, φ 是 F 的相角。

图 1-6(b)表示合成的色度信号 F 与两个平衡调制器输出之间的矢量关系。分别用水平矢量 V_{B-Y} 和垂直矢量 V_{R-Y} 表示色度信号的两个平衡调幅波,矢量的长度代表副载波的瞬时振幅(其变化规律反映调制信号),矢量取向反映副载波的初相位。显然,合成矢量的模 $|F|$

和幅角 φ 均由两个分量的长度决定,即

$$|F| = \sqrt{(V_{R-Y})^2 + (V_{B-Y})^2}$$

$$\varphi = \arctan \frac{V_{R-Y}}{V_{B-Y}}$$

这说明色度信号 F 是一个既调幅又调相的波形,它的振幅变化反映了色饱和度的变化,而相角 φ 的变化反映了色调的变化(由于 φ 与两个色差信号的比值相关,对不同的色调来说,这个比值是不同的)。在传输彩色图像时,色度信号的幅度和相位随着画面上各像素彩色的饱和度和色调的变化而变化。因此,若色度信号在传输过程中出现幅度失真,则会引起色饱和度的失真;若出现相位失真,则会引起色调的失真。

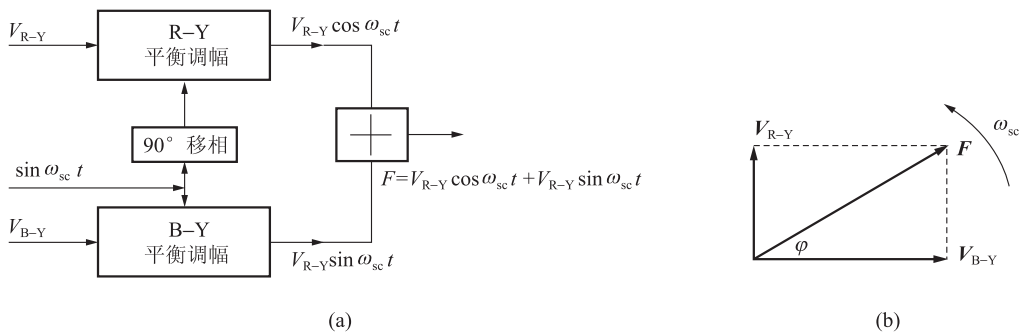


图 1-6 正交平衡调幅的基本方法

3. NTSC 编码器

NTSC 编码器结构如图 1-7 所示。

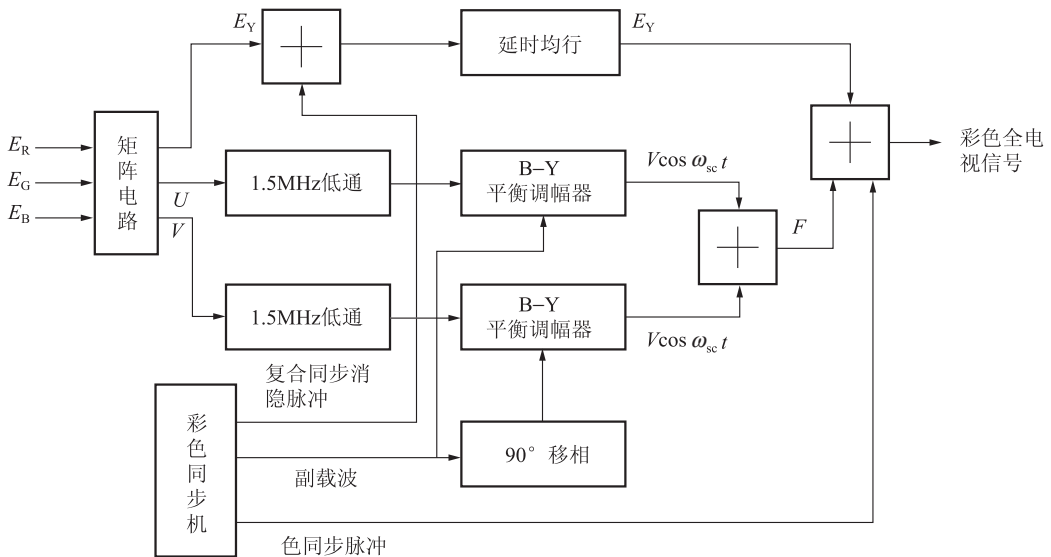


图 1-7 NTSC 制编码器

其编码过程如下:由摄像机送来的三基色信号 R,G,B 经矩阵电路变换,形成亮度信号 Y、蓝色色差信号 U 和红色色差信号 V 3 个信号。将 U,V 信号的带宽限制在 1.5MHz 以内,然后送到相应的平衡调制器中进行调制。色差信号 U,V 分别在两个平衡调幅器中对频率为 f_{sc} (不同制式 f_{sc} 的数值不同)、相位差为 90° 的两个彩色副载波进行平衡调幅,输出已调蓝色色差信号 F_U 和已调红色色差信号 F_V ,分别用 $U\sin\omega_{sc}t$ 和 $V\cos\omega_{sc}t$ 表示,叠加后即为色度信号 F 。色度信号 F 与经延时并加入复合同步、消隐信号的亮度信号 Y 同时到达加法器,再与色同步信号叠加组成彩色全电视信号。

活动 2 逐行倒相制(PAL 制)

1. 逐行倒相的处理方法

PAL 是逐行倒相的英文缩写,PAL 制是在正交平衡调幅制的基础上加上一个逐行倒相措施,因此称为逐行倒相正交平衡调幅制。所谓逐行倒相,就是将色度信号中的一个分量,即 F_V 逐行倒相,而不是将整个色度信号倒相,更不是将整个视频信号倒相。为了方便,把不倒相的那些行叫做 NTSC 行,倒相的那些行叫 PAL 行。

一个任意色调的色度信号,如果 NTSC 行用 F_n 表示,那么它的 PAL 行的矢量 F_{n+1} 就应该以 U 轴为基准的一个镜像,如图 1-8(a)所示。因为两者的第一分量(即 U 轴分量)是相同的,仅第二分量(即 V 轴分量)倒了相。图 1-8(b)则是整个彩条矢量图逐行倒相的情况,其中实线表示 NTSC 行,虚线表示 PAL 行。

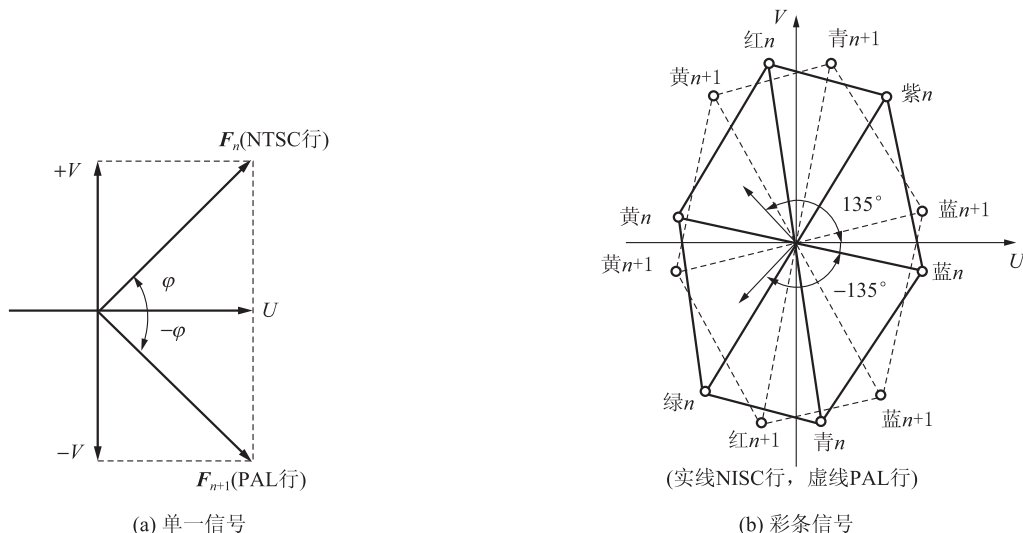


图 1-8 PAL 制的色度信号矢量图

为了使接收机能按色度信号的原相位正确重现原来的色调,在接受端必须采用相应的

措施将 PAL 行的色度信号 $-F_V$ 再重新倒回来。以图 1-8(a) 为例, 图中的 PAL 行 F_{n+1} 在接收机中必须再倒回到 F_n 的位置上。否则, 第 n 行的 F_n 被接收机重现为紫色, 而 $(n+1)$ 行的 F_{n+1} 却被接收机重现为一种接近青色的色调, 这样就不能正确重现原来的色调。其他的色调也会有类似的变化。

2. PAL 制编码器

彩色全电视信号 FBAS 中的 F 代表色度信号, B 代表亮度信号, A 代表复合消隐信号, S 代表复合同步信号和色同步信号。如图 1-9 所示, 它们的形成过程如下:

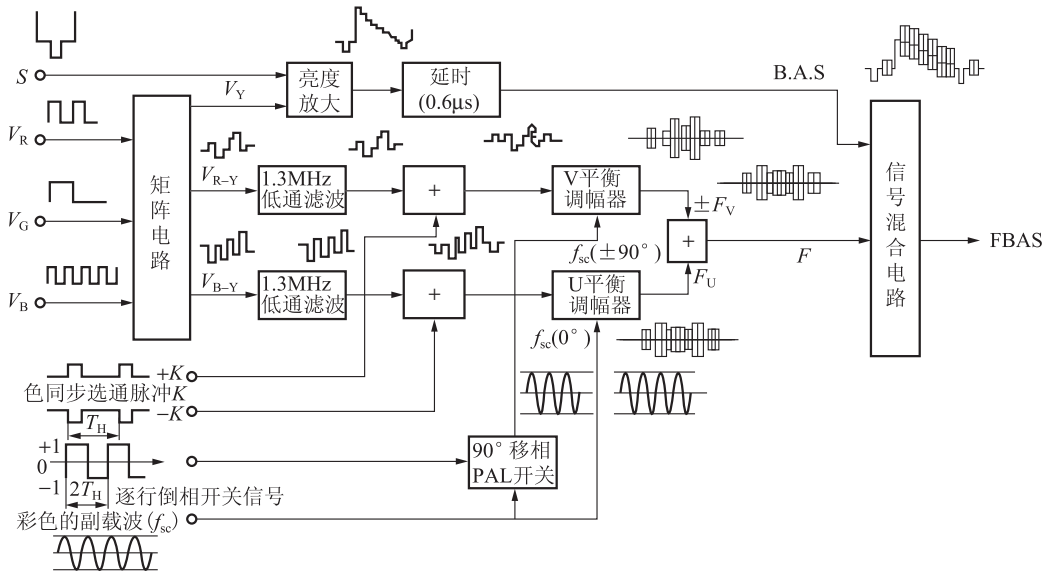


图 1-9 PAL 制编码器原理

由摄像机摄取并经光-电转换成的 3 个基色信号 V_R, V_G, V_B 送入矩阵电路转换成亮度信号 V_Y 和色差信号 V_{R-Y}, V_{B-Y} 。为了频谱间置的需要, 按照大面积着色原理, 两色差信号仅保留 1.3MHz 以下的低频分量, 而将其高频分量通过两个 1.3MHz 低通滤波器滤除。然后, 在两信号的行消隐期间加入 $\pm K$ 脉冲(色同步选通脉冲), 以便在 FBAS 中产生色同步信号。 K 脉冲的周期和行周期相同, 脉宽为 $2.23\mu\text{s}$ (为 10 个色副载波周期)。带宽限制后的两色差信号经压缩变成 V, U 信号, 并分别对相位相差 90° 的两个色副载波进行平衡调幅。含有一 K 脉冲的 U 信号与 0° 的副载波输入到 U 平衡调幅器, 由于平衡调幅器是个乘法器, 因此在已调 U 信号中的一 K 脉冲对应的位置上就出现了相位为 180° 的副载波, 这就是 U 信号的色同步信号, 设为 bU ; 同理, 含有 $+K$ 脉冲的 V 信号与 $\pm 90^\circ$ 的副载波输入到 V 平衡调幅器, 经平衡调幅后, 在已调 V 信号中 $+K$ 脉冲对应的位置上, 就出现了逐行倒相 $\pm 90^\circ$ 的副载波, 这就是 V 信号的色同步信号, 设为 $\pm bV$; 已调的 F_U 和 $\pm F_V$ 信号在加法器中混合, 色同步信号 bU 和 $\pm bV$ 也混合, 这是两个矢量相加, 由图 1-10 可知, 其矢量和就是相位逐行摇摆

于 $\pm 135^\circ$ 的 $b(n)$ 和 $b(n+1)$,此即为 PAL 制的色同步信号。

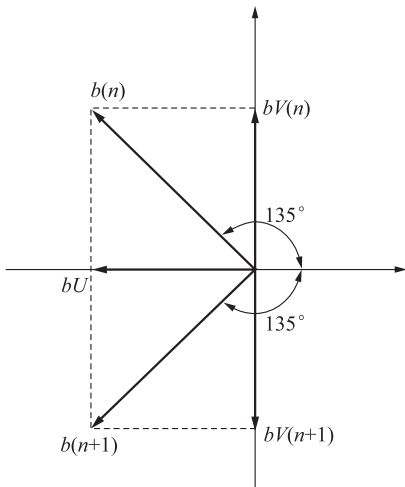


图 1-10 PAL 制色同步信号的矢量合成

在 PAL 制编码器中, PAL 开关的作用是十分重要的。为了实现 V 信号的逐行倒相, 0° 的彩色副载波(f_{sc})须移相 90° 后输送到 PAL 开关。PAL 开关受半行频脉冲信号控制而使 f_{sc} 逐行倒相,即输出 $\pm 90^\circ$ 的 f_{sc} 到 V 平衡调幅器,从而得到逐行倒相的 $\pm F_V$ 信号,使相位失真得到改善。 $\pm F_V$ 和 F_U 同时送入混合电路,最终即得到色度信号 F 。

活动 3 行轮换调幅制 (SECAM 制)

该制式是为了克服 NTSC 制的色调失真而设计的。它与前两种制式的不同点是两个色差信号不是同时传送,而是轮流、交替地传送的。另外,两个色差信号不是对副载波进行调幅,而是对两个频率不同的副载波进行调频,然后将两个调频波逐行轮换插入亮度信号频谱的高端。

SECAM 制比 NTSC 制复杂,比 PAL 制简单,但副载波调频也带来以下几个问题。

(1) 副载波调频信号的频谱比较复杂,不能和亮度信号的频谱进行交错间置,无法避免色度信号与亮度信号的相互干扰。

(2) 对于调频副载波,由于其周期不是常数,因而不能采用相邻行和相邻场的副载波亮点相互抵消。因此,必须采取一些措施,如将副载波三行倒相一次,使每场中的副载波干扰光点互相错开,而且每场也倒相一次,使相邻两场的副载波干扰光点互相抵消。

(3) 即使没有色度信号时,副载波依然存在,所以副载波对亮度信号的干扰始终存在。