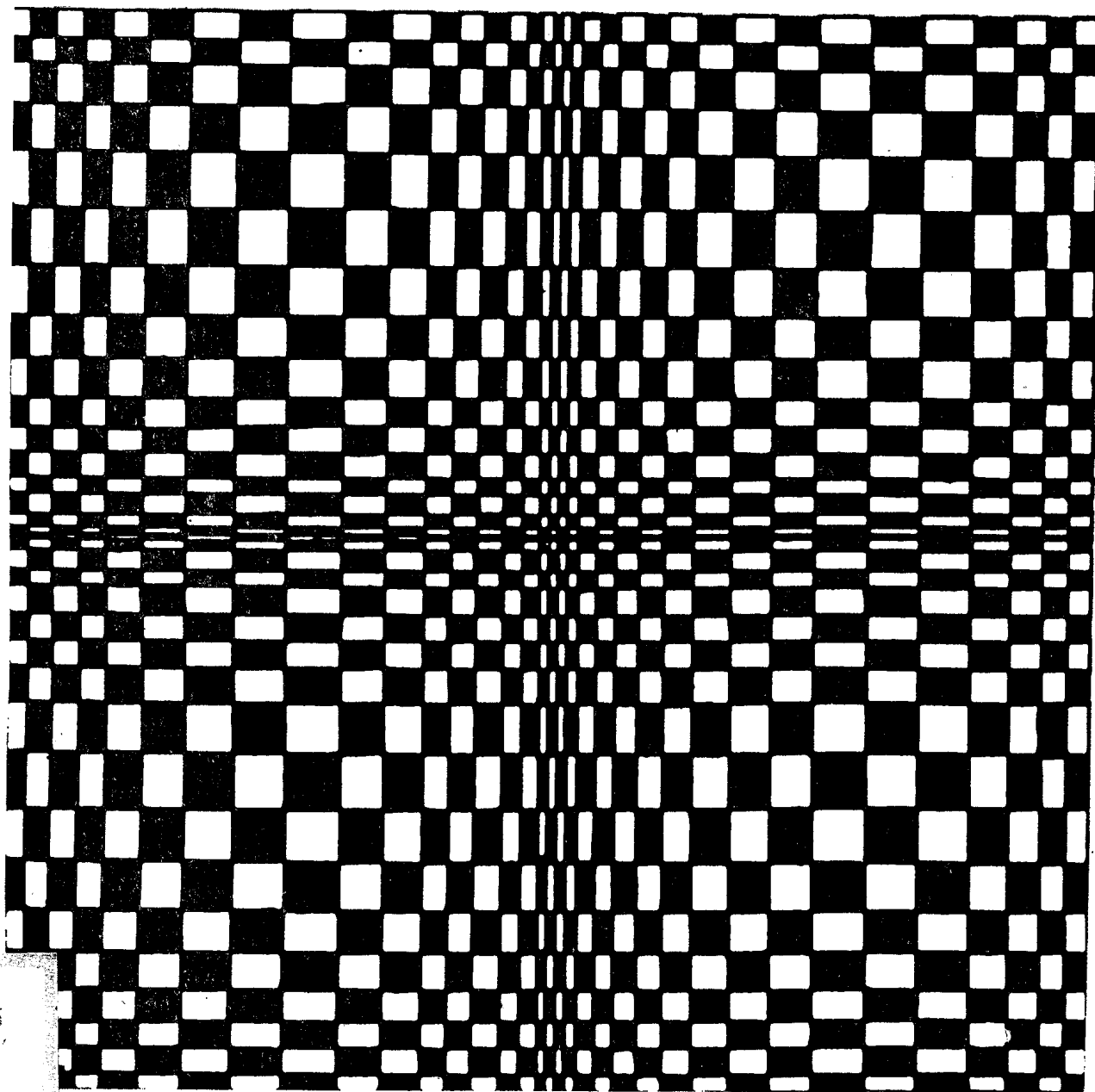


● 职业高中试用教材

电视机原理 及电路分析

● 下册

● 李伟辉 编



48.55

ZHIYE GAOZHONG SHIYONG JIAOCAI

● 高等教育出版社

内 容 简 介

本书是国家教委职业技术教育司和高等教育出版社共同组织编写的职业高中电子电器专业系列教材之一。

本书分上下两册出版。下册的主要内容有彩色电视信号、PAL-D 解码器、彩色显象管和集成电路彩色电视机整机电路分析。它是《电视机维修技术》(下册)的姊妹篇,两书内容互相呼应。本册主要分析彩色电视机的原理和国内常见的四片式、五片式和两片式集成电路彩色电视机的电路。本书结构紧凑,内容新颖,突出应用,通俗易懂。

本书适合城市和农村职业高中电子电器专业作为彩色电视机原理教材使用,也可供培训军地两用人才和电视机中、初级职业技术培训班作教材使用,还是电视机维修人员和广大爱好者的自学读物。

职业高中试用教材

电视机原理及电路分析

下 册

李伟辉 编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

国防出版社印刷厂印刷

*

开本787×1092 1/16 印张12.25 插页4 字数300 000

1989年10月第1版 1989年10月第1次印刷

印数0001—25 690

ISBN 7-04-002420-9/TM·136

定价3.80元

前 言

本书是国家教委职业技术教育司和高等教育出版社共同组织编写的职业高中电子电器专业系列教材之一。

本书主要阐述彩色电视机的原理和分析国内常见的集成电路彩色电视机电路,为了突出重点,凡上册书中已讲过的内容,不再重复。为了适应我国彩色电视机发展的需要,书中对近几年应用的新器件、新技术、新电路作了必要的介绍。阐述中,以定性分析为主,避免了不必要的数字推导和集成电路的内电路分析,力求做到使本书深入浅出,通俗易懂。在整机电路分析中,以应用国产D系列集成电路的上海牌Z-2371-A机为主,同时介绍了应用AN系列集成电路的牡丹牌TC-483D机。最后介绍了应用大规模集成电路的两片式机。

教学本书共需约100学时,学时分配为:第1章18学时;第2章42学时;第3章10学时;第4章26学时;机动4学时。书中用小号字印出的内容作为参考;带*号的内容可供各校选用。

本书的审者是重庆大学电气自动化系覃考教授和重庆市教育局职教处牟维坤同志。参加审稿会议的还有重庆市解放碑电子职业中学章夔、济南市第五职业中学高继宏、杭州市五四中学徐子火等,他们对本书提出了许多宝贵意见,特此致谢。

由于编者水平有限和时间较匆促,错漏之处在所难免,敬希各地师生不吝赐教。

编 者

一九八七年十二月于广州

目 录

第一章 彩色电视信号	1
§ 1-1 彩色和视觉	1
§ 1-2 亮度信号与色差信号	5
§ 1-3 NTSC 制的编码原理	8
§ 1-4 PAL 制的编码原理	17
§ 1-5 SECAM 制简介	21
思考与练习题	23
第二章 PAL_D 解码器	25
§ 2-1 彩色电视机的基本结构	25
§ 2-2 PAL _D 解码器原理概述	26
§ 2-3 色度带通放大电路	29
§ 2-4 延时解调电路	34
§ 2-5 同步检波电路	39
§ 2-6 G-Y 矩阵	42
§ 2-7 亮度通道	42
§ 2-8 基色矩阵电路和视放末级电路	49
§ 2-9 副载波恢复电路	51
§ 2-10 $\pm 90^\circ$ 副载波和识别信号的产生	61
§ 2-11 集成电路 D7193P 彩色解码器	67
思考与练习题	79
第三章 彩色显象管	83
§ 3-1 三枪三束式彩色显象管	83
§ 3-2 单枪三束彩色显象管	85
§ 3-3 自会聚彩色显象管	87
§ 3-4 自会聚原理	89

§ 3-5 色纯度和静会聚调节	91
§ 3-6 自动消磁电路 (ADC)	93
§ 3-7 枕形失真校正电路	94
§ 3-8 彩色显象管电路	96
§ 3-9 全方形彩色显象管 (FST)	97
思考与练习题	101
第四章 集成电路彩色电视机电路分	
析	102
§ 4-1 概述	102
§ 4-2 调谐器和频道预选器	104
§ 4-3 开关式稳压电源电路	113
§ 4-4 上海牌 Z237-1 A 型彩色电视机电	
路分析	119
§ 4-5 牡丹 TC-483D 型彩色电视机电路	
分析	136
§ 4-6 两片式彩色电视机——夏普 C-1834	
DK 型电路分析	158
思考与练习题	169
附录 1 卫星电视广播简介	174
附录 2 中华人民共和国国家标准 GB3174-	
82 彩色电视广播	179
附录 3 电视机常用术语的英汉对照表	185
附图 1 上海 Z-237-1 A 彩色电视机电路图	
附图 2 金星 C37-401 彩色电视机电路图	
附图 3 牡丹 TC-483D 彩色电视机电路图	

第一章 彩色电视信号

彩色电视机是把彩色电视信号转换成彩色图象和声音的一种设备。要了解彩色电视机的原理，首先要了解彩色电视信号的组成和特点。

§ 1-1 彩色和视觉

一、光和色

色来源于光。光是一种客观存在的物质，它既有粒子性又有波动性。从波动特性来说，它是一种电磁波，其属性和无线电波一样，以 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 速度传播，但频率更高，波长更短，可见光的频率范围为 $4 \sim 8 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ，波长范围自 $380 \sim 780 \text{ nm}$ ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)。由图 1-1 可见，光是电磁波“家族”中的一个成员。

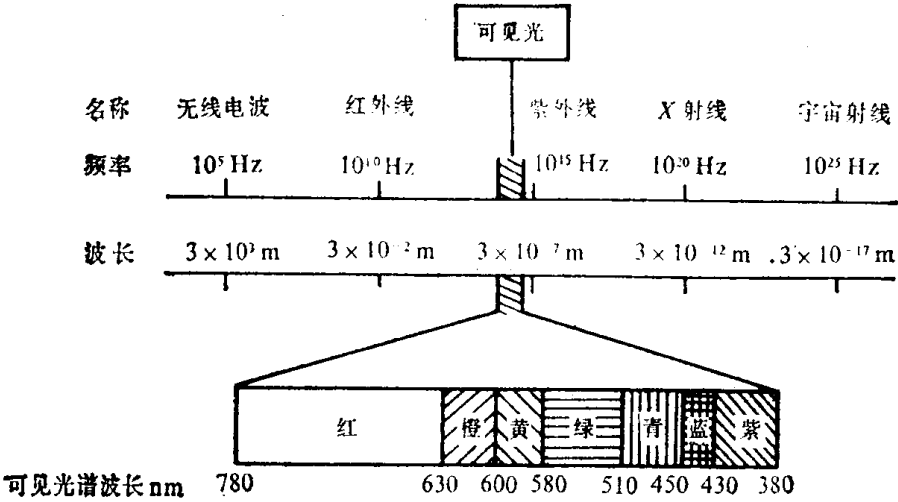


图1-1 电磁波谱

太阳是自然界中色调最丰富的光源。它发出的白光包括了自然界的一切可见光。让它的光束透过三棱镜就会分解出红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等一系列彩色光，如图 1-2 所示，称为光谱。光谱上的彩色称为谱色光，它已是不可再分解的单色光。

一定范围波长的光作用于人的视神经，就产生某种色觉。波长 400 nm 左右的光，作用于人眼，就产生紫色的感觉； 700 nm 左右的光，作用于人眼，就产生红色的感觉。

由此可见，光是一种客观存在的物质，色是人眼对光这种客观物质的视觉反映，所谓

“目遇之而成色”。光是色的存在条件，没有光也就没有色，色是人眼对不同光谱的主观反映。

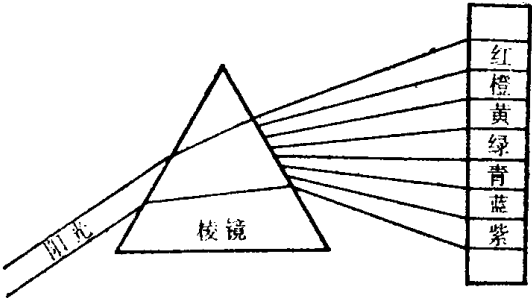


图1-2 太阳光的分解

二、彩色的三要素

任何一种彩色，都可由亮度、色调、色饱和度这三个参量来确定，这称为彩色三要素。

1. 亮度：表示彩色引起人的视觉的明亮程度，即彩色的明暗程度。它由发光体的发光强度来确定。

2. 色调：表示彩色的种类。红、橙、黄、绿……各种不同的颜色，它们的区别就在于各自的色调不同。色调是由光的频率决定的，这是决定色的本质的一个参量。

3. 色饱和度：表示彩色的深浅。同一色调的彩色，都有深、浅色之分，如红色有深红、粉红。深色的色饱和度高，浅色的色饱和度低。光的色饱和度的高低与彩色掺入的白光成分有关。完全不掺白光的色饱和度最高，定为 100%。掺白成分越多，饱和度越低，如掺入一半白光，色饱和度为 50%，实际上自然界的彩色都是非饱和色。

色调和色饱和度又称为色度，它描述了彩色的固有属性，既表明了彩色的种类又表明了彩色的深浅。

三、三基色原理与混色法

1. 三基色原理

世界上的色彩是绚丽多彩的，太阳光的色调就可分为 120 多种。能不能用几种单色光合成其他的所有彩色呢？经过实验证明，将红、绿、蓝三种色光投射到一个白色的屏幕上，调节它们的比例，可得到如图 1-3 所示(见书前插页)的相加混色效果，即

红 + 绿 = 黄

绿 + 蓝 = 青

蓝 + 红 = 紫

红 + 绿 + 蓝 = 白

调节三种色光的不同比例，几乎可以混合出自然界所有的彩色。用来混色的三种单色光称为基色。用三基色可以混合成其他彩色的原理称三基色原理。在电视技术中，以红(R)、绿(G)、蓝(B)为三基色，红光的波长为 700nm，绿光的波长为 546.1nm，蓝光的波长为 435.8nm。

三基色原理的主要内容有：

(1) 自然界的所有彩色几乎都可用三种基色按一定的比例混合而成；反之，任何彩色也可分解为份量不同的三种基色；

(2) 三种基色必须是相互独立的，即任一基色不能由另两种基色混合而成；

(3) 用三基色混合成的彩色，其色调和饱和度皆由三基色的比例决定；

(4) 混合色的亮度等于参与混色的基色的亮度的总和。

三基色原理是彩色电视的重要理论基础。根据这一原理，要传送和重现自然界和生活中的各种彩色，无需逐一去传送波长各异的各种彩色信号，这在实际上也是不可能的，而只要传送比例不同的三基色信号，在彩色重现时产生的彩色视觉效果相同即可。这就大大简化了传送和重现彩色图象的过程，使近代的彩色电视成为现实。它也使理论分析大为简化，比如分析白光，物理学上分析它是由频率十分丰富的连续光谱组成，但在彩色电视中，可将白光视为只含红、绿、蓝三种光谱成分。

2. 混色法

由三基色原理可知，用不同份量比例的三种基色，可直接混合出各种其他彩色，这称为直

接相加混色法。此外，还有间接相加混色法：

(1) 空间混色法：将三种基色同时投射到屏幕的三个相邻点上，当三个相邻点足够近时，由于人眼的分辨率的限制，三种色就象同时投射到同一点一样，同样会产生相加混色效应。这称为空间混色法。彩色显象管彩色的显示，就是根据这个原理实现的。

(2) 时间混色法：将三基色轮换交替地投射于同一屏幕表面，只要轮换的速度足够快，由于人眼视觉暂留作用，看起来也象三基色直接相加的效果一样。这称为时间混色法。顺序传送制的彩色电视机，就是应用这一原理制造的。

在图 1-3 中，红光 + 绿光 = 黄光，这与绘画时将红、绿两种颜料混合产生的彩色不相同。这是由于图 1-3 所示的是色光的直接相加混合，而颜料的混合色则是色光相减混合，它是由颜料的吸色性质决定的。如黄色颜料，它能吸收蓝色。在白光照射下它将蓝光吸收，而反射红光与绿光，经混合后呈现黄色。因此在相减混色中，是以黄、青、紫为三基色的，其混色效果如图 1-4 所示(见书前插页)：

$$\begin{aligned} \text{黄} + \text{紫} &= \text{白} - \text{蓝} - \text{绿} = \text{红} \\ \text{黄} + \text{青} &= \text{白} - \text{蓝} - \text{红} = \text{绿} \\ \text{青} + \text{紫} &= \text{白} - \text{红} - \text{绿} = \text{蓝} \\ \text{黄} + \text{紫} + \text{青} &= \text{白} - \text{蓝} - \text{绿} - \text{红} = \text{黑} \end{aligned}$$

3. 彩色三角形

三基色的混色效应可以用一个等边三角形直观地表示，这个三角形的顶点就是三基色，如图 1-5 所示。这个三角形的意义是：

(1) 三角形的边，是由其对应两顶点的基色组成的混色线。如红与绿组成的边，代表了红与绿组成的各种彩色，其中点是由两者等量配成的黄色，黄与红之间的是橙色，黄与绿之间是草绿色。因此由三基色混合的各种彩色，都在这个三角形的边上，其饱和度为 100%。

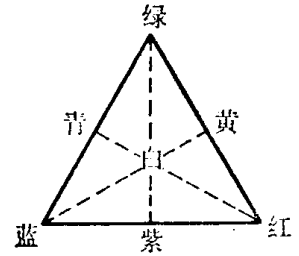


图 1-5 彩色三角形

(2) 三角形的重心，是由红、绿、蓝等量组成，为白色。

(3) 过三角形的顶点和其对边中点的连线，必过三角形重心，也就是说蓝色和黄色、红色和青色、绿色和紫色，也可组成白色，这两种类型的色称为互补色。

(4) 三角形顶点与重心的连线是等色调线。这等色调线越趋向于重心，饱和度越低。由三基色组成的其他非饱和色，就在此三角形包围的范围内。

四、色度图

为了说明各种彩色的色度区别和基色与混色之间的关系，根据混色三角形原理，可将各种彩色的色度用平面坐标来表示。图 1-6 (见书前插页) 就是国际照明委员会制定的色度图，称为 CIE 色度图或标准色度图。这个色度图取 $x = 0, y = 1$ 为理想绿， $x = 1, y = 0$ 为理想红， $x = 0, y = 0$ 为理想蓝，以此三理想基色为顶点的三角形就是理想的混色图。但自然界的彩色只分布在此三角形内的一条舌形曲线内，因此色度图有以下特点：

1. 自然界的所有可见光的谱色，都在舌形曲线上，曲线上的每一点都对应一种波长的谱色，其波长范围自 380~740nm，饱和度为 100%。舌形曲线底部是红色与蓝色混合的紫红色，没有特定的波长与之相对应，称为非谱色。舌形曲线内则是混色区，它可由两种或多种谱色混合而成。舌形曲线中的任一点的色调，都有固定的平面坐标与之相对应。

2. 三角形的重心 $E\left(x = y = \frac{1}{3}\right)$ 为标准白，也称为 $E_{\text{白}}$ 。这是假设的理想白，它含有

的谱色的辐射能量相等，实际上这种白光源是不存在，在国际上一般取 $C_{\text{白}}$ 或 $D_{\text{白}}$ 来作为彩色电视的标准白。 $C_{\text{白}}$ 接近于正常的白天光线，其坐标为： $x = 0.310$ ， $y = 0.316$ 。舌形曲线上与 C 的连线上各点都是草绿色，但越近 C 则饱和度越低。

3. 取舌形曲线上或曲线内任意两点连接起来，其连线就是此两点的混色线，如图中的 R G 连线，是 RG 的混色线，其中点是两者等量相加，呈黄色，在联线近 R 端，红色分量增大，呈橙色。

4. 在舌形曲线上任取三点作基色，如 R_1 、 G_1 、 B_1 ，则由此三基色混合所得的全部彩色，必包含在以此三基色为顶点的三角形内。显然三角形的面积越大，则包含的色调越丰富。彩色显象管的显色，要受此规律的制约。彩色显象管的屏幕布满了能发出红、绿、蓝光三种荧光粉，选用的荧光粉发光的饱和度越高，则混色三角形包围的面积越大，显现色调也就越丰富。但还要考虑到荧光粉的发光效率，发光效率高，显现的彩色亮度足够，色彩才鲜艳。考虑到这两个因素，近代彩色显象管采用的荧光粉发出的三基色坐标：如表 1-1 所示。

表1-1 显象荧光粉三基色坐标

	x	y
红	0.64	0.33
绿	0.29	0.60
蓝	0.15	0.06

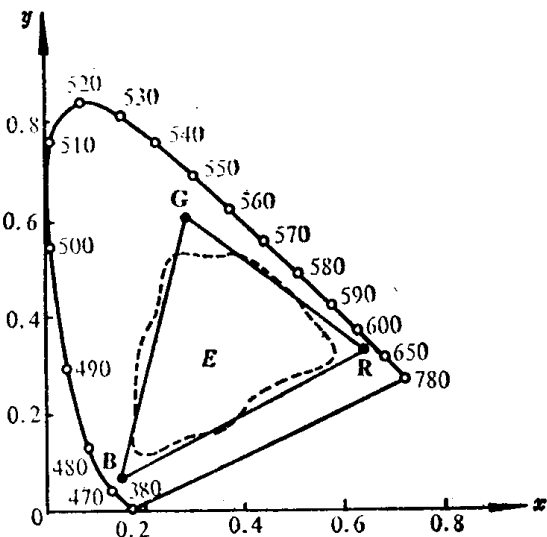


图1-7 显象基色的位置

由此三基色组成的混色三角形如图 1-7 所示。虽然这个三角形的面积较小，但已包含了日常生活常见的大部分彩色。

五、人眼的视觉特性

人的眼球构造如图 1-8 所示，它和照相机相似。眼球前面的水晶体，相当于照相机的镜头；瞳孔相当于照相机的光圈；眼球后面的视网膜相当于照相机的底片。视网膜上充满了视神经细胞，它受到光刺激时就产生视觉。现代的研究还认为：

1. 视神经细胞有两种：杆状细胞和锥状细胞。杆状细胞对亮度敏感，能感受弱光，但无色觉。锥状细胞对彩色敏感，对强光也能产生亮度感。白天的视觉过程主要由锥状细胞完成，晚上视觉则由杆状细胞来完成。

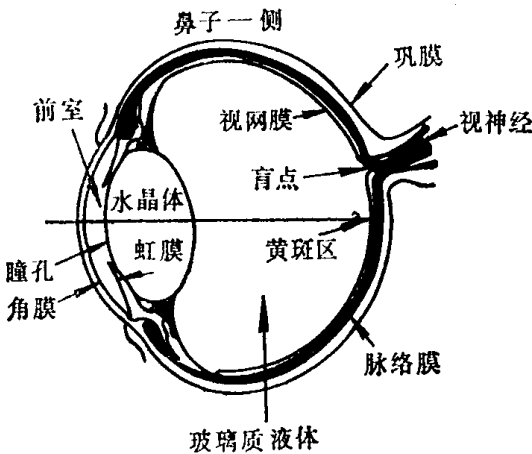


图1-8 眼球的构造

2. 锥状细胞有三种，分别对红、绿、蓝光敏感，在辐射强度相等但彩色不同的光激发下，三种锥状细胞产生的亮度感觉是不一样的，图 1-9 是它们的光敏曲线。由图可知，三种色觉细胞分别对 540nm 的黄绿光、580nm 的红光和 440nm 的蓝光最敏感，但敏感度不一样，它们产生的亮度比约为：100:10.7:3.8。黄绿光最高，蓝光最低。

(3)、当三种色觉细胞同时接受红、绿、蓝三种光激发时，这时产生白色的色觉。可见人眼的三种色觉细胞也有混色效应。同时改变三种色的强度，就会得到明亮不同的亮度感。因此，图 1-9 的三种色敏曲线的合成曲线，是人眼视觉的亮度曲线（图中用实线表示）。经过实验确定，若用强度相同的绿、红、蓝三种光合成亮度为 100% 的白光，则绿光产生的亮度占 59%，红光产生的亮度占 30%，蓝光占 11%，用式子来表示为：

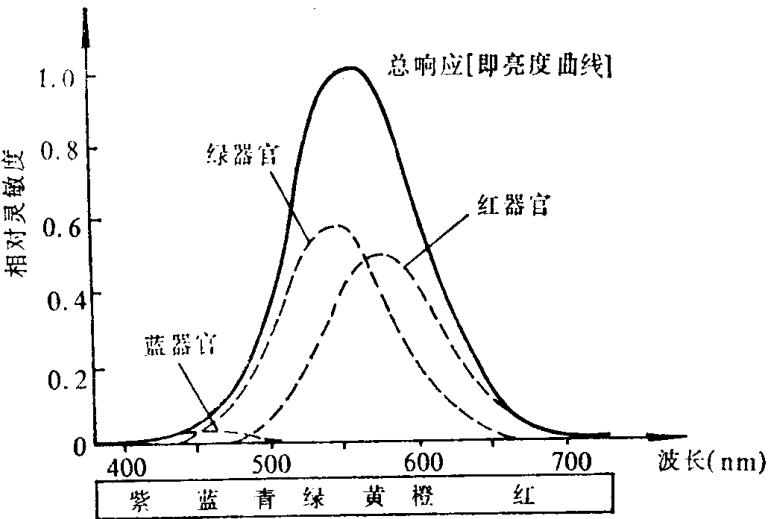


图1-9 人眼的光敏曲线

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B \tag{1-1}$$

这称为亮度方程，它表明由三基色合成亮度的数量的关系，在彩色电视原理中有着重要的指导意义。

4. 锥状细胞分辨细节的能力远低于杆状细胞，也就是说人眼的辨色能力远低于辨别亮度的能力，表 1-2 提供了一组实验数据。

表1-2 人眼对色度的分辨力

色 度 对 比	黑 白	黑 绿	黑 红	黑 蓝	绿 红	红 蓝	绿 蓝
分 辨 率	100%	94%	90%	26%	40%	23%	19%

从表中可知，如果我们离开电视机屏幕一定距离处能分辨出白衬底上大小为1mm的黑色细节来，那末在同样的条件下，能分辨出红色衬底的绿色细节部分的大小为 2.5mm，能分辨出蓝色衬底的绿色细节部分的大小为 5mm。若屏幕出现的彩色图象小于上述尺寸，我们将看不出各细节有颜色的差别，只有亮度的不同，均表现为灰色。

我们知道，传送图象的清晰度越高，则图象信号的频带越宽。在黑白电视制式中已作出规定，传送黑白信号——即亮度信号的频宽为6MHz。由于人眼的辨色能力低，传送彩色信号的清晰度要求较低，传送彩色信号的频宽只要求为 1.3MHz，就已满足要求。

§ 1-2 亮度信号与色差信号

一、彩色摄象机的光电转换过程

根据三基色原理，可将彩色图象分解为红、绿、蓝三种信号来传播。这个过程首先是由彩色摄象机来完成的。彩色摄象机的构造如图 1-10所示。摄象机的分光镜把要拍摄的彩色图象

分为R、G、B三种色光，这三种色光分别投射到三个摄像管的靶面上，由于靶面涂层物质的光敏效应，经过各管的电子束的扫描，就形成了代表三种信号的电流，在负载上就输出了三种电压： U_R 、 U_G 和 U_B 。

二、兼容制的要求

由于黑白电视的制式在彩色电视机出现以前已制定下来，因此彩色电视的制式必须为黑白制式所兼容，即黑白电视机能接收彩色电视节目，彩色电视机也能接收黑白电视节目。为了实现兼容，则彩色电视台发出的彩色全电视信号应具备以下特点：

1. 既含有色度信号也含有亮度信号；
2. 共用同一频带，即视频信号频宽是6MHz，射频电视信号频宽是8MHz。图象载频和伴音载频，沿用黑白电视的规定。

3. 行场同步信号和扫描制式与黑白电视相同。

具备了以上的条件，就能使黑白电视机完满地接收彩色节目，当然收看到的是亮度信号。

三、亮度信号的产生

彩色摄像机输出的三个基色信号，怎样才产生亮度信号呢？由式（1-1）可知：

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B$$

这个亮度方程的意义是说明强度相同的三基色合成白色亮度时各自的贡献。这个公式可以表达为亮度电压公式：

$$U_Y = 0.30U_R + 0.59U_G + 0.11U_B \quad (1-2)$$

当 $U_R = U_G = U_B = 1$ 伏时，则 U_Y 也是1伏，设为白色；如 $U_R = U_G = U_B < 1$ 伏时， U_Y 也小于1伏，则为灰色； $U_R = U_G = U_B = 0$ ， U_Y 也为0，则为黑色。总之当 $U_R = U_G = U_B$ 时，组成幅度不同的亮度信号。

由上式可知， U_Y 可由 U_R 、 U_G 、 U_B 组成。最简单的方法是用一个如图1-11所示的电阻分压网络产生。

根据基尔霍夫第一定律：

$$I_4 = I_1 + I_2 + I_3$$

根据欧姆定律：

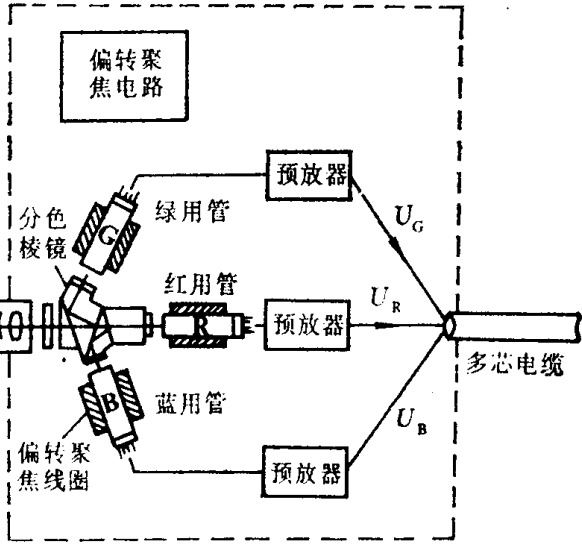


图1-10 彩色电视摄像机组结构示意图

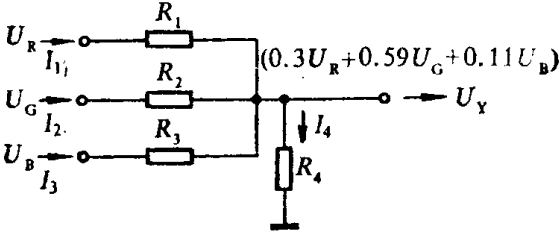


图1-11 亮度信号矩阵电路

$$I_4 = \frac{U_Y}{R_4}, \quad I_1 = \frac{U_R - U_Y}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U_G - U_Y}{R_2}, \quad I_3 = \frac{U_B - U_Y}{R_3}$$

代入基尔霍夫第一定律得

$$\frac{U_Y}{R_4} = \frac{U_R - U_Y}{R_1} + \frac{U_G - U_Y}{R_2} + \frac{U_B - U_Y}{R_3}$$

$$U_Y \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) = \frac{U_R}{R_1} + \frac{U_G}{R_2} + \frac{U_B}{R_3}$$

设 $\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$, 则

$$U_Y = \frac{R_0}{R_1} U_R + \frac{R_0}{R_2} U_G + \frac{R_0}{R_3} U_B$$

若 $R_4 \ll R_1, R_2, R_3$, 则 $R_0 \approx R_4$ 。

上式变为

$$U_Y = \frac{R_4}{R_1} U_R + \frac{R_4}{R_2} U_G + \frac{R_4}{R_3} U_B$$

只需 $R_4/R_1 = 0.30$, $R_4/R_2 = 0.59$, $R_4/R_3 = 0.11$, 则满足 $U_Y = 0.30U_R + 0.59U_G + 0.11U_B$, U_Y 就是亮度信号电压。产生亮度的上述电路也称为矩阵电路, 实质上是一种线性组合运算电路。

四、色差信号

彩色电视不传送基色信号而是传送两种色差信号, 即 $U_R - U_Y$ 和 $U_B - U_Y$, 分别用 U_{R-Y} 和 U_{B-Y} 来表示:

$$U_{R-Y} = U_R - U_Y = 0.70U_R - 0.59U_G - 0.11U_B \quad (1-3)$$

$$U_{B-Y} = U_B - U_Y = -0.30U_R - 0.59U_G + 0.89U_B \quad (1-4)$$

当传送黑白信号时, $U_R = U_B = U_G$, 则上两色差信号都为零, 即不存在色度信号对亮度信号的干扰, 这就是为什么不传送基色信号而传送色差信号的原因。

为什么不传送 U_{G-Y} 呢? 因为 $U_{G-Y} = -0.30U_R + 0.49U_G - 0.11U_B$, 幅度过小, 传送时信噪比过小。而 U_{G-Y} 又可由 U_{R-Y} 和 U_{B-Y} 合成, 这是由于

$$U_Y = 0.30U_R + 0.59U_G + 0.11U_B$$

两边减去 U_Y 即得

$$0.30U_{R-Y} + 0.59U_{G-Y} + 0.11U_{B-Y} = 0$$

$$\begin{aligned} \therefore U_{G-Y} &= -\frac{0.30}{0.59}U_{R-Y} - \frac{0.11}{0.59}U_{B-Y} \\ &= -0.51U_{R-Y} - 0.19U_{B-Y} \quad (1-5) \end{aligned}$$

发射台可不传送 $G-Y$, 接收机接收到 $R-Y$ 和 $B-Y$ 信号, 用矩阵电路可合成 $G-Y$ 信号。

五、彩条信号的波形

彩色电视台都发出一个彩色竖条图案作为基准信号, 供接收机检验校正之用。这个彩条

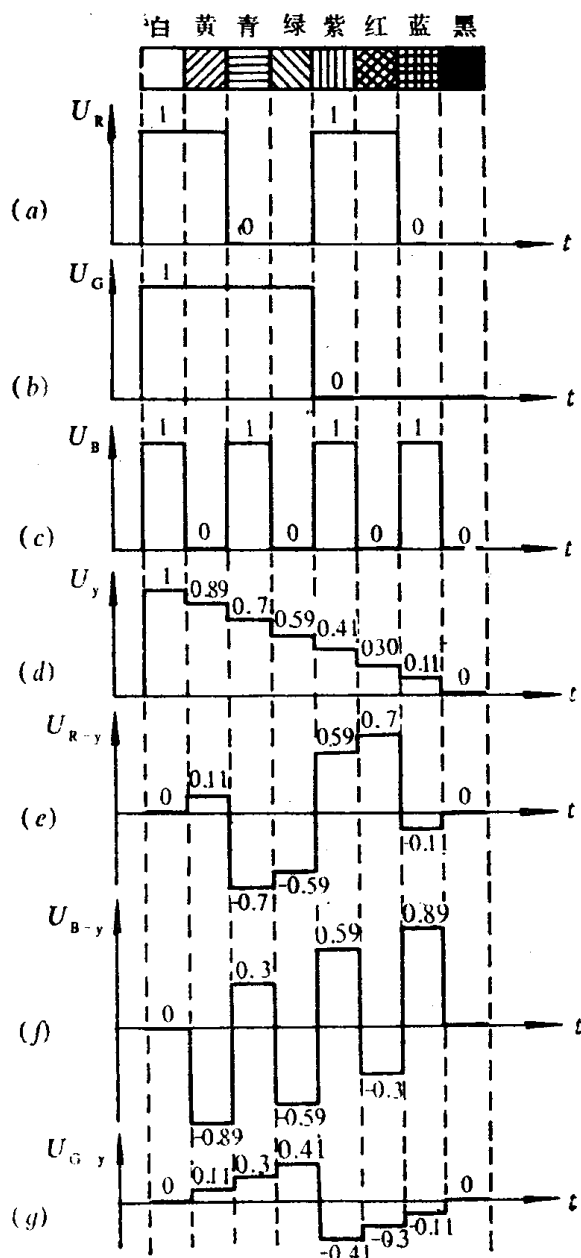


图1-12 彩条信号

从左到右的顺序是：白、黄、青、绿、紫、红、蓝、黑（见扉页图3）。
我们先来分析这个彩条包含的 R 、 G 、 B 和 $R-Y$ 、 $G-Y$ 、 $B-Y$ 的信号波形。

根据三基色原理，黄条是由红与绿组成，青条由绿与蓝组成，紫条由红与蓝组成，组成彩条的基色电平都相等，设为1，就得出彩条中包含 R 、 G 、 B 信号波形如图1-12(a)、(b)、(c)所示。

彩条信号为黑白机所接收，就是从白至黑的八级灰度竖条。它对应的波形是一个阶梯波，如图1-12(d)所示。据式(1-2)： $U_Y=0.30U_R+0.59U_G+0.11U_B$ ，可计算出这个阶梯波对应于各彩条的幅度。如白条，由于白条由 U_R 、 U_G 、 U_B 组成，且 $U_R=U_G=U_B=1$ ，故 $U_Y=1$ ；又如黄条，它由 U_R 、 U_G 组成，且 $U_R=U_G=1$ ， $U_B=0$ ，故 $U_Y=0.30+0.59=0.89$ ，其余可类推。

对于 U_{R-Y} 信号的各彩条的幅度计算公式是式(1-3)，即 $U_{R-Y}=0.70U_R-0.59U_G-0.11U_B$ ，白条： $U_R=U_G=U_B=1$ ， $U_{R-Y}=0$ ；黄条： $U_R=U_G=1$ ， $U_B=0$ ，则 $U_{R-Y}=0.11$ 。照此法可计出各彩条的幅度值，彩条信号的数值见表1-3。得出如图1-12(e)图所示的波形。

同样的方法可得到 U_{G-Y} 和 U_{B-Y} 对应于各彩条的幅度值和波形图。

表1-3 彩条信号的数值

彩条	U_R	U_G	U_B	U_Y	U_{R-Y}	U_{B-Y}	U_{G-Y}
白	1	1	1	1	0.00	0.00	0.00
黄	1	1	0	+0.89	+0.11	-0.89	+0.11
青	0	1	1	0.70	-0.70	+0.30	+0.30
绿	0	1	0	+0.59	-0.59	-0.59	+0.41
紫	1	0	1	+0.41	+0.59	+0.59	-0.41
红	1	0	0	+0.30	+0.70	-0.30	-0.30
蓝	0	0	1	+0.11	-0.11	+0.89	-0.11
黑	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00

§ 1-3 NTSC 制的编码原理

为了实现兼容的要求，彩色电视台既要传送色度信号，又要传送亮度信号，而占有的带宽又不能超过黑白电视所规定的带宽，这就需要对这几种信号进行特殊的组合处理，这个过程称之为编码。要了解编码过程，得先了解亮度信号的频谱结构。

一、亮度信号的频谱

亮度信号的频宽为6MHz，但它并没有占满，而是留有许多空隙。当传送图1-13(a)所示的

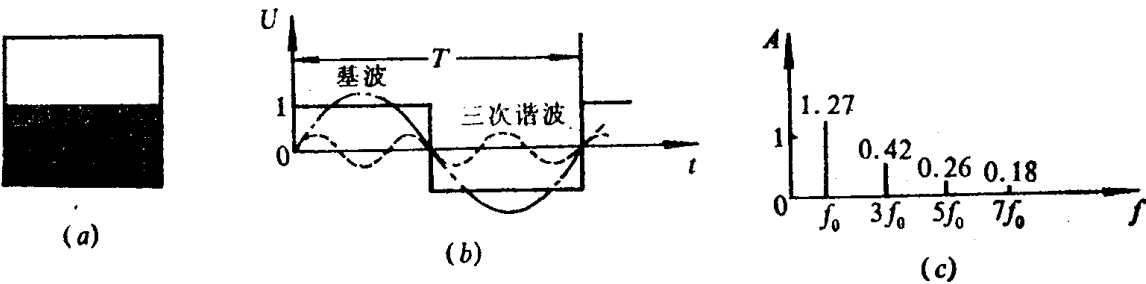


图1-13 矩形脉冲波的频谱

在垂直方向黑白相间的图象时，它的信号波形为矩形脉冲波。矩形脉冲波可用频率等于它的 1、3、5……奇次倍的正弦波来合成，这些正弦波称为谐波，见图 1-13(b)，图 (b) 中的点划线和虚线表示一次谐波（基波）和三次谐波。也即是说，矩形脉冲波含有 1、3、5……等奇

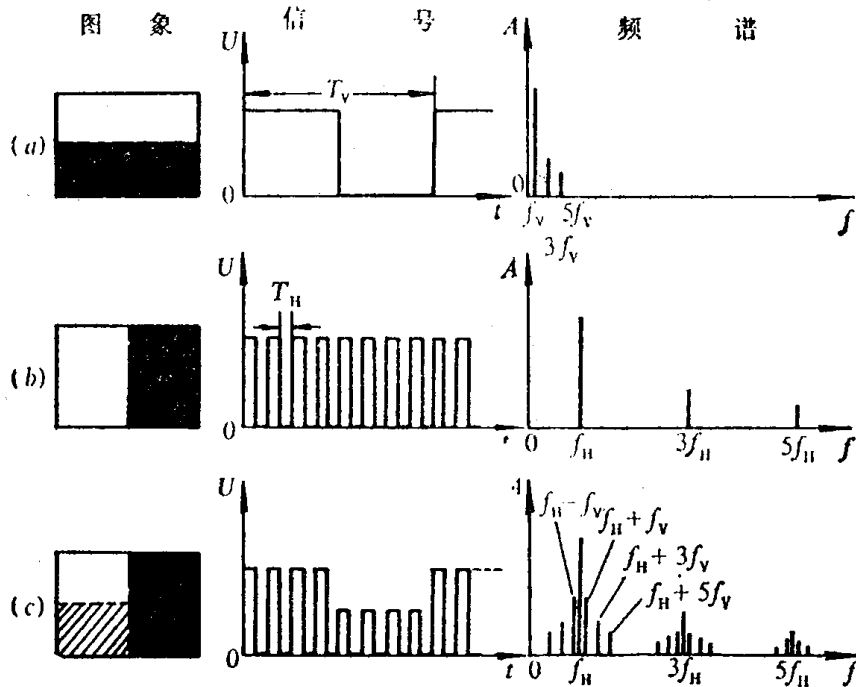


图1-14 典型图系的信号及其频谱

次谐波，它的频谱（即信号的能量按频率分布的图线）如图 (c) 所示，其幅度随谐波次数的增大而很快减小，故其频谱以帧频 $f_v=25\text{Hz}$ 为基波频率（即图示中的 f ），它的频谱包含 $f_v, 3f_v, \dots, nf_v$ 。为了便于比较，我们把图 1-13 的结果归并到图 1-14(a) 中。

如果传送图 1-14(b) 所示的图象，其波形和频谱与图 1-14(a) 相似，但由于每扫描一行，其波形就重复出现一次，其频谱的基波频率等于行频 ($f_H=15625\text{Hz}$)，含有 $f_H, 3f_H, 5f_H, \dots, nf_H$ 等频谱。

如果传送的图象在垂直方向与水平方向都有变化，如图 1-14(c)，其频谱是在图 1-14(b) 频谱的基础上，即各行频谱线的左右，对称地分布着帧频频谱线。这些行频线称为主谱线。

实际上，图象亮度的变化虽是任意的，但图象信号是摄像管按行频、场频规律扫描靶面而取得的，因此它是上述简单分布的组合。图 1-15 是复杂的活动图形的频谱。它是以行频和它的

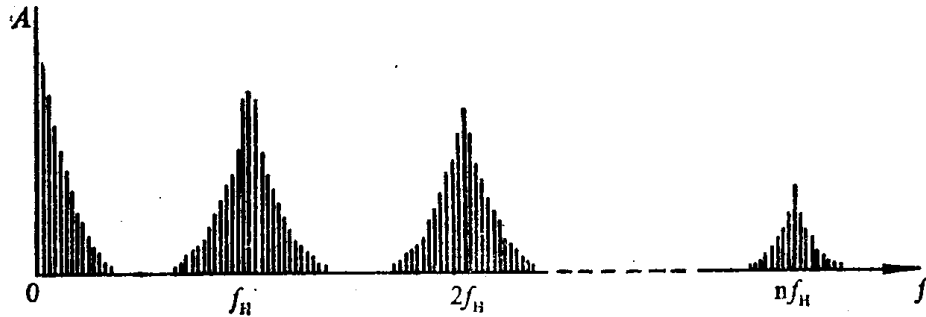


图1-15 活动图象的频谱

高次谐波为主谱线、帧频及其高次谐波对称地分布在它的两侧的离散频谱群。由于高次谐波很快衰减，故其能量集中在主谱线附近很窄的频带内。

由图可见,在主谱线之间存在大量空隙。如静止的或动作缓慢的图象,其帧频的 20 次谐波已可忽略不计,则它仅占用了 $2 \times 25 \times 20 = 1000\text{Hz}$, 空隙为主谱线间距的 $\frac{15625 - 1000}{15625} = 93.6\%$ 。对于活动的图象,空隙小些,也占 60~70%。

二、频谱间置原理

既然亮度信号的主谱线之间存在大量间隙,就可以把色度信号插到其间来传播。但同一幅图象,亮度信号和色度信号的频谱结构是完全相同的,如图 1-17(a)、(b)所示。必须将色度信号与亮度信号错开,才避免彼此的干扰。调幅是最普遍采用的移频技术。因为调幅时采用的载波 f_c 比信号频率 F 高得多,调幅波的频率为 $f_c \pm F$ 也就比信号频率 F 高得多。调幅波频谱见图 1-16。彩色电视需对色度信号进行调幅处理。既是调幅,就要选择一个载波。为了避免与高频发射时的载波相混淆,这个载波称为色副载波 f_{sc} 。色副载波当然要求选在 $\frac{1}{2}$ -行频处,但选在低端还是高端呢?选在低端,则副载波形成的亮点干扰明显些,因此都选在高端,选在 283 与 284 之间,即 $283.5f_H$,副载波的频率为

$$f_{sc} = 283.5f_H = 283.5 \times 15625\text{Hz} = 4.4296875\text{MHz} \approx 4.43\text{MHz}$$

色度信号对 f_{sc} 进行调幅,形成的调幅波主频谱为 $f_{sc} + f_H$ 与 $f_{sc} - f_H$, 其高次谐波为 $f_{sc} \pm 2f_H, f_{sc} \pm 3f_H$ 等,频谱结构如图 1-17(c)所示。把亮度信号和色度信号相加,色度信号刚好嵌置于亮度信号之间的空隙中,如图 1-17(d)所示。这就是频谱间置原理。

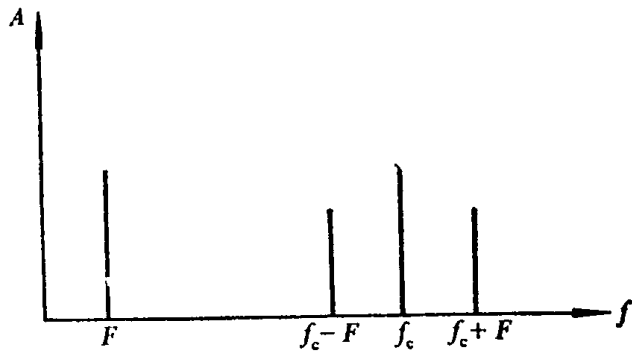


图1-16 调幅波频谱

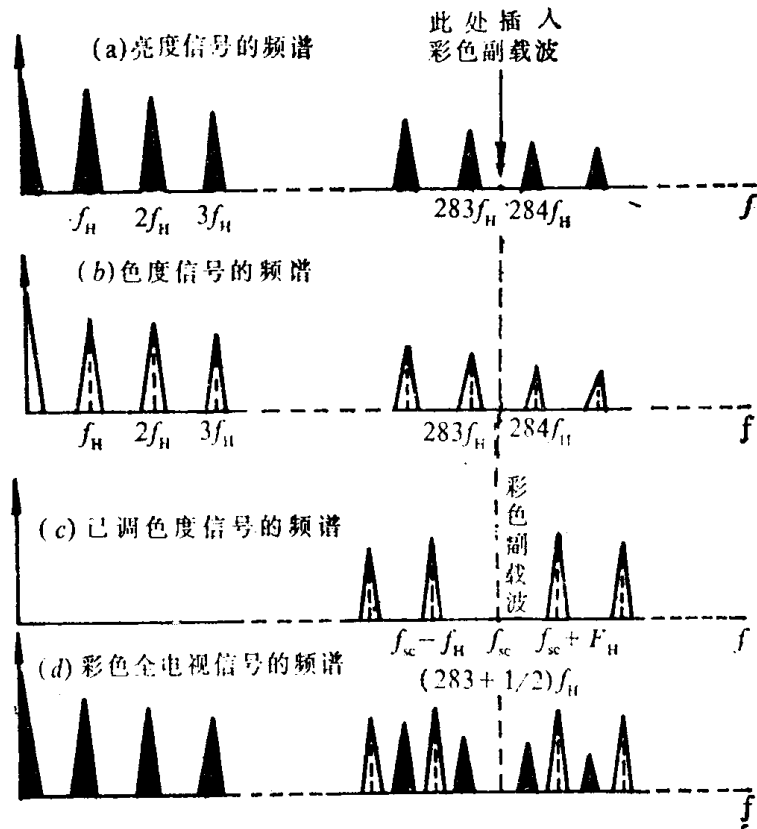


图1-17 频谱间置原理

色度信号的副载波选在 4.43MHz，比视频频带的上限 6MHz 低 1.57MHz，会不会使色度信号的频带过窄呢？前面已说过，人眼对色彩的分辨力远低于黑白的，其频宽一般取 1.3MHz，这样色度信号的上限频率为 $(4.43+1.3)\text{MHz} = 5.73\text{MHz}$ ，未超过亮度信号的上限频率 6MHz。色度信号在亮度信号的频带占的位置如图 1-18 所示。由于色度信号对 f_{sc} 进行调幅，调幅后的色度信号频宽为 $\pm 1.3\text{MHz}$ 。

三、平衡调幅

我们知道，用一个正弦信号 F 对一个频率比它高得多的载波 f 进行调幅，调幅波的振幅将随调制信号而变，其包络是代表原来的调制信号，其波形图如图 1-19(c) 所示。调幅波的数学表达式为

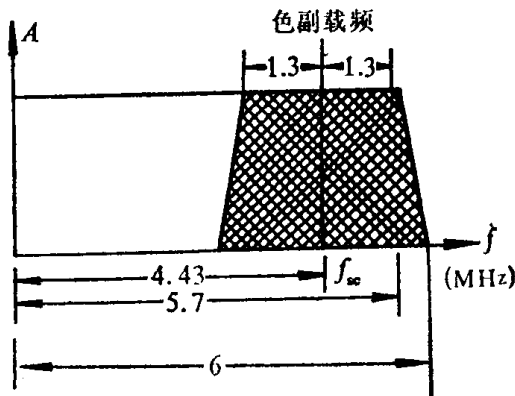


图1-18 色度信号和亮度信号频宽

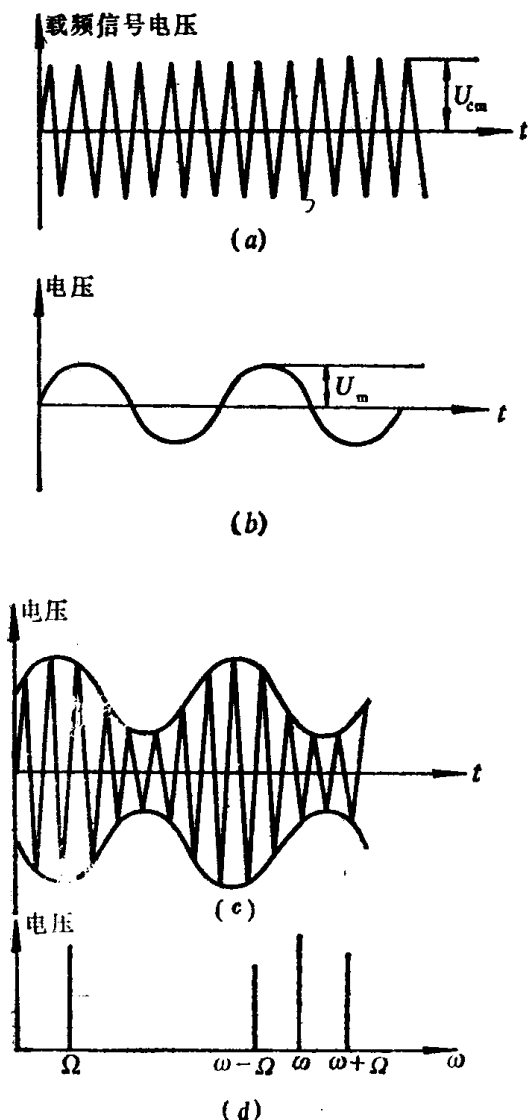
$$U = U_{cm}(1 + M \cos \Omega t) \cos \omega t \quad (1-6)$$

U_m 是调制信号的幅值， Ω 为其频率， U_{cm} 为载波信号幅值， ω 为载波频率。 $M = \frac{U_m}{U_{cm}}$ 称为调幅度。 $M < 1$ ，调幅波才不失真。

将上式展开得

$$\begin{aligned} U &= U_{cm} \cos \omega t + U_m \cos \Omega t \cdot \cos \omega t \\ &= U_{cm} \cos \omega t + \frac{U_m}{2} \cos(\omega + \Omega) t \\ &\quad + \frac{U_m}{2} \cos(\omega - \Omega) t \end{aligned} \quad (1-7)$$

可见，用单一信号调制时，它将出现三个信号成分：载波 ω ，上边频 $\omega + \Omega$ ，下边频 $\omega - \Omega$ ，如图 1-19(d) 所示。在调幅信号中，载波信号占去功率的 60~70%。而代表有用信号的上、下边频只占去调制功率很小的部分。为了提高调制效率和调幅波的信噪比，色度信号对副载波调制过程中是将副载波抑制掉，单输出上边频和下边频，这种调制方式称为平衡调幅，产生平衡调幅波的电路称为平衡调幅器，用式子来表示平衡调幅波为



(a) 载波信号 (b) 调制信号
(c) 已调幅波 (d) 调幅波频谱

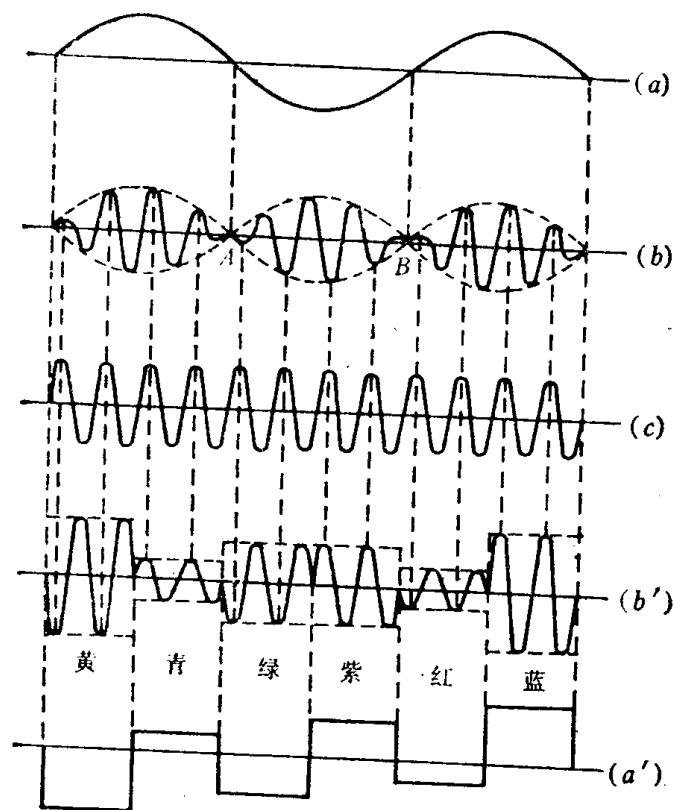
图1-19 普通调幅波

$$\begin{aligned} U &= \frac{U_m}{2} \cos(\omega_{sc} + \Omega) t \\ &\quad + \frac{U_m}{2} \cos(\omega_{sc} - \Omega) t \\ &= U_m \cos \Omega t \cos \omega_{sc} t \end{aligned} \quad (1-8)$$

由上式可知，平衡调幅波的特点有：

1. 不含有载波分量。
2. 平衡调幅波的幅值正比于调制信号振幅的绝对值，调制信号为零时平衡调幅波也为零。
3. 平衡调幅波的极性由调制信号和载波共同来决定，如果二者有一反相，平衡调幅波也就反相。

平衡调幅波的波形如图 1-20 所示，它的波形完全不同于普通调幅波。图 1-21 是它们的比较。



(a)、(a') 调制信号 (b)、(b') 已调信号 (c) 副载波信号
图 1-20 单一频率信号和色差信号的平衡调幅波

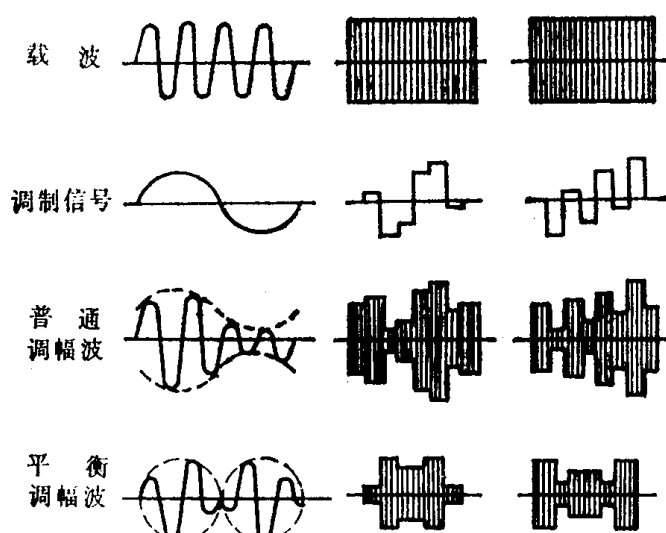


图 1-21 普通调幅波与平衡调幅波

由平衡调幅波的波形图可知，它的包络不代表调制信号，因而不能用普通的线性检波器检出原来的调制信号。只有在原载波的正峰点对平衡调幅波取样检波，才能得到原来的调制信号，因此，在接收机中还需恢复色副载波。其原理将在 § 2-5 中详加分析。

平衡调幅波是由平衡调幅器产生的。将调制信号如 U_{B-Y} 和色副载波信号 $\sin \omega_{sc}t$ 输入到平衡调幅器，在输出端将输出平衡调幅信号 $U_{B-Y} \sin \omega_{sc}t$ 。其输出信号为两输入信号的乘积，故平衡调幅器是一个乘法器。其原理图见图 1-22。

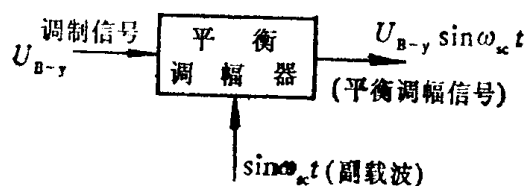


图 1-22 平衡调幅器原理

四、正交平衡调幅制 (NTSC制)

1. 正交平衡调幅

色度信号有两个： U_{R-Y} 和 U_{B-Y} 。为了不使两色度信号互相干扰而又不增加副载波，可将两色差信号分别调制在频率相同、相位相差 90° 的两个副载波上，再将两个平衡调幅信号相加输出，这就完整地解决了色度信号的编码问题，这种制式称为正交平衡制。由于这种制式最先是美国国家电视制式委员会提出的，故以该委员会的英文缩写 NTSC 来命名。

色差信号的正交平衡调幅原理方框图如图 1-23(a) 所示。图中有两个平衡调幅器，一个

是 $B-Y$ ，另一个是 $R-Y$ ，设输入到前者的副载波为 $\sin\omega_{sc}t$ ，后者为 $\sin\left(\omega_{sc}t + \frac{\pi}{2}\right)$ 即 $\cos\omega_{sc}t$ ，幅值均设为 1，则两个平衡调幅器分别输出 $U_{R-Y}\cos\omega_{sc}t$ 和 $U_{B-Y}\sin\omega_{sc}t$ ，它们在线性相加器中合成，就得色度信号 $F(t)$ 为

$$F(t) = U_{R-Y}\cos\omega_{sc}t + U_{B-Y}\sin\omega_{sc}t \quad (1-9)$$

这是两个矢量相加，其矢量图如图 1-23(b) 所示。

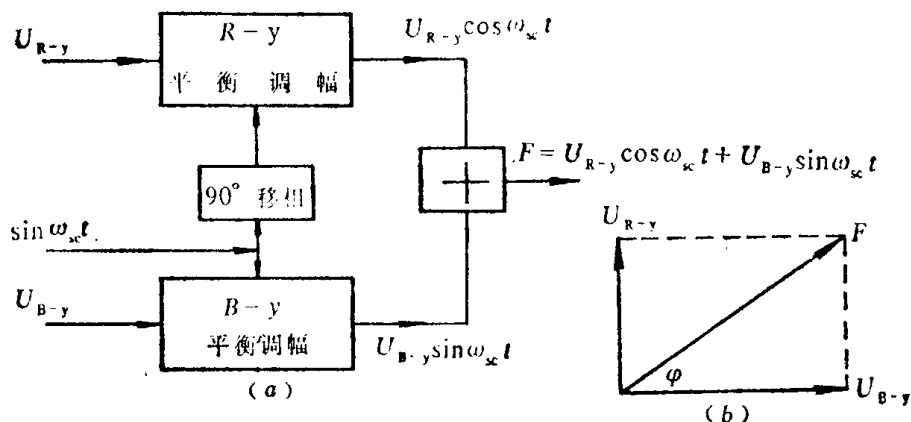


图1-23 正交平衡调幅

式 (1-9) 的幅值和幅角分别为

$$F = \sqrt{(U_{R-Y})^2 + (U_{B-Y})^2} \quad (1-10)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{U_{R-Y}}{U_{B-Y}} \quad (1-11)$$

F 反映了色饱和度的变化， φ 反映了色调的变化。

色度信号 F 和亮度信号 U_Y 相加，就得到彩色全电视信号 e_M (未计入消隐、同步信号) 为

$$e_M = U_Y + \sqrt{(U_{R-Y})^2 + (U_{B-Y})^2} \sin(\omega_{sc}t + \varphi) \quad (1-12)$$

其幅值为

$$E_M = U_Y + \sqrt{(U_{R-Y})^2 + (U_{B-Y})^2} \quad (1-13)$$

2. 色度信号的压缩

彩条信号经过平衡调幅，据式 (1-10) 色度信号的幅值计算公式为

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

色条信号的黄条: $U_R = U_G = 1$, $U_B = 0$ ，它的 U_{R-Y} 、 U_{B-Y} 、 F 、 E_M 的计算结果分别是:

$$U_{R-Y} = 0.70U_R - 0.59U_G - 0.11U_B = 0.70 \times 1 - 0.59 \times 1 - 0.11 \times 0 = 0.11$$

$$U_{B-Y} = -0.30U_R - 0.59U_G + 0.89U_B = -0.3 \times 1 - 0.59 \times 1 - 0.89 \times 0 = -0.89$$

$$F = \sqrt{(U_{R-Y})^2 + (U_{B-Y})^2} = \sqrt{0.11^2 + (-0.89)^2} = \pm 0.9$$

$$U_Y = 0.30U_R + 0.59U_G + 0.11U_B = 0.3 \times 1 + 0.59 \times 1 + 0.11 \times 0 = 0.89$$

$$E_M = U_Y + F = 0.89 \pm 0.9$$

则 E_M 最大幅度为 1.79，最小为 -0.01。

依此法计算，可得出 E_M 信号的动态范围如表 1-4 所示。

按该表画出负极性的 U_Y 彩条信号和色度彩条信号波形如图 1-24(a)、(b) 所示，彩色全电视信号是 (a) + (b) = (c)。

由图 1-24(c) 可知，黑白信号的电平是在 -0.43 到 1 之间变化，而色度信号的黄条正峰达 1.79，蓝条的负峰达 -0.79，大大超过黑白电视机的电平范围。我们知道，全彩色电