



高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

数字电视原理

余兆明 余智 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

数字电视原理

余兆明 余智 编著

西安电子科技大学出版社

2009

内 容 简 介

本书是作者从事 20 多年数字电视原理的教学和科研工作的成果结晶。全书共 8 章, 内容包括数字电视中的模拟域技术、数字电视的基本概念、视频信号的数字化、图像数据压缩编码、视频压缩编码标准、数字电视传输、数字电视调制和解调及数字音频技术。

本书内容丰富、系统性强、取材新颖、观点明确、易于理解, 可作为高等院校广播电视专业、多媒体通信等相关专业的教材, 也可供通信部门、电视台、广大通信设备的生产厂家及公司的工程技术人员和管理人员参考。

★ 本书配有电子教案, 需要者可登录出版社网站, 免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

数字电视原理/余兆明, 余智编著. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2009. 2
高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材
ISBN 978 - 7 - 5606 - 2149 - 4

I. 数… II. ①余… ②余… III. 数字电视—高等学校—教材 IV. TN949.197

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 174233 号

策 划 毛红兵
责任编辑 王 瑛 毛红兵
出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)
电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071
网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com
经 销 新华书店
印刷单位 西安文化彩印厂
版 次 2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷
开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 23.125
字 数 548 千字
印 数 1~4000 册
定 价 33.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2149 - 4/TN · 0469

XDUP 2441001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

西安电子科技大学出版社
高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材
编审专家委员会名单

主任: 杨震 (南京邮电大学校长、教授)

副主任: 张德民 (重庆邮电大学通信与信息工程学院副院长、教授)

秦会斌 (杭州电子科技大学电子信息学院院长、教授)

通信工程组

组长: 张德民 (兼)

成员: (成员按姓氏笔画排列)

王晖 (深圳大学信息工程学院副院长、教授)

巨永锋 (长安大学信息工程学院副院长、教授)

成际镇 (南京邮电大学通信与信息工程学院副院长、副教授)

刘顺兰 (杭州电子科技大学通信工程学院副院长、教授)

李白萍 (西安科技大学通信与信息工程学院副院长、教授)

张邦宁 (解放军理工大学通信工程学院卫星系系主任、教授)

张瑞林 (浙江理工大学信息电子学院院长、教授)

张常年 (北方工业大学信息工程学院院长、教授)

范九伦 (西安邮电学院信息与控制系系主任、教授)

姜兴 (桂林电子科技大学信息与通信学院副院长、教授)

姚远程 (西南科技大学信息工程学院副院长、教授)

康健 (吉林大学通信工程学院副院长、教授)

葛利嘉 (中国人民解放军重庆通信学院军事信息工程系系主任、教授)

电子信息工程组

组长: 秦会斌 (兼)

成员: (成员按姓氏笔画排列)

王荣 (解放军理工大学通信工程学院电信工程系系主任、教授)

朱宁一 (解放军理工大学理学院基础电子学系系主任、工程师)

李国民 (西安科技大学通信与信息工程学院院长、教授)

李邓化 (北京信息工程学院信息与通信工程系系主任、教授)

吴谨 (武汉科技大学信息科学与工程学院电子系系主任、教授)

杨马英 (浙江工业大学信息工程学院副院长、教授)

杨瑞霞 (河北工业大学信息工程学院院长、教授)

张雪英 (太原理工大学信息工程学院副院长、教授)

张彤 (吉林大学电子科学与工程学院副院长、教授)

张焕君 (沈阳理工大学信息科学与工程学院副院长、副教授)

陈鹤鸣 (南京邮电大学光电学院院长、教授)

周杰 (南京信息工程大学电子与信息工程学院副院长、教授)

欧阳征标 (深圳大学电子科学与技术学院副院长、教授)

雷加 (桂林电子科技大学电子工程学院副院长、教授)

项目策划: 毛红兵

策划: 曹 晔 寇向宏 杨 英 郭 景

前 言

自 1948 年提出视频数字化概念至今, 视频数据压缩编码技术已经历了整整 60 年的发展。在这 60 年里, 视频数据压缩编码方法像雨后春笋般层出不穷。目前, 电视正迅速地走向“数字时代”, 数字电视的飞速发展远远超出人们的预料。世界发达国家的广播电视从模拟向数字的过渡已全面展开, 我国也在大力推广数字电视技术应用, 从部分(单机设备)数字化向全系统(节目制作、信号传输、发射和接收)数字化方向发展。DVD、数字电视接收机、数字摄像机、数字录像机、数字点播电视(VOD)、数字交互电视(ITV)、网络电视(IPTV)、移动车载数字电视、全数字高清晰度电视等数字电视设备层出不穷, 日新月异, 逐步成为整个电子行业潮流的主导。

另外, 从移动通信的发展来看, 我国从 1987 年开始提供蜂窝移动通信业务, 到 2007 年底持有移动手机的用户已超过 5 亿, 从而成为世界上移动通信发展最快的国家之一。随着第三代移动通信技术的实现, 移动通信将进入宽带、多业务共存时代, 除了传统的通话以外, 借助于数字电视技术和移动通信技术的有机结合, 还将实现移动手机电视、电视电话、高速下载等信息传输, 大大改善人类社会活动的质量。移动通信正朝着实现“任何人在任何地方、任何时间与其他任何人进行任何方式的通信”的目标前进。

本书是作者从事 20 多年数字电视原理教学和科研工作的成果结晶。为进一步配合“数字电视原理”课程的教学, 帮助从事数字电视的工程技术人员更深入地了解数字电视技术中的基本知识、基本原理、数字电视新标准中的各项关键技术, 以便扩大推广数字电视技术应用, 作者通过对数字电视技术大量相关资料的阅读、消化、理解, 浓缩、综合数字电视各个国际标准中的技术, 并结合研究生、本科生的教学以及多年科研的亲身体会编写了此书。本书每一章除了进行原理和技术分析外, 还引用了国内外公开发表的成果和参考文献, 可供读者查阅参考。

本书系统地介绍了数字电视的基本概念、视频信号的数字化、图像数据压缩编码、视频压缩编码标准、数字电视传输、数字电视调制和解调及数字音响技术等内容。它有助于读者对数字电视原理的全面认识和了解。考虑到在数字电视中仍应用到一些模拟视频和彩色原理知识, 特将其浓缩成数字电视中的模拟域技术进行讲述, 因此, 可以不另开“模拟电视”课程。建议按 64 学时讲授本教材。本书配有相应的习题及解答指导书——《数字电视原理习题及解答》(西安电子科技大学出版社出版, 余兆明、王明伟、张丽媛编著)。

本书也是在《数字电视和高清晰度电视》(1997 年人民邮电出版社出版, 余兆明编著)(曾被评为江苏省高校一类优秀课程教材)、《数字电视原理》(2003 年人民邮电出版社出版, 余兆明、余智编著)和《数字电视原理习题及解答》(2004 年人民邮电出版社出版, 余兆明、孙海安、徐栋梁编著)三本书的基础上, 经过全面修改、编排、整理和补充而编写成的。

本书内容丰富、系统性强、取材新颖、观点明确、易于理解, 可作为高等院校广播电视专业、多媒体通信等相关专业的教材, 也可供通信部门、电视台、广大通信设备的生产厂

家及公司的工程技术人员和管理人员参考。

本书第1~5章由余兆明教授编写，第6~8章由余智博士编写。全书的审校工作由余兆明教授完成。

希望本书能为从事数字电视原理教学、数字电视设备研制和从事数字电视传输与组网推广应用的工程技术人员稍尽绵薄之力。

对关心本书的所有同仁深表谢意。数字技术发展一日千里，数字电视设备不断推陈出新，相关文献浩如烟海，本书疏漏之处在所难免，还望读者不吝赐教。

作者

2008年11月

目 录

第 1 章 数字电视中的模拟域技术	1
1.1 三基色原理	1
1.2 亮度信号和色差信号	2
1.3 标准彩条信号	4
1.4 三大彩色电视制式	5
1.5 扫描成像原理	17
1.6 清晰度与分解力	22
1.7 图像信号的最高频率——电视通道的频带宽度	24
1.8 电视信号的频谱	24
1.8.1 电视信号频谱分析	24
1.8.2 空间频率和空间频谱	27
习题	36
第 2 章 数字电视的基本概念	38
2.1 数字电视的优点	38
2.2 视、音频信号数字化参数	40
2.2.1 视频信号的抽样结构	41
2.2.2 视、音频信号量化及量化噪声	44
2.2.3 全信号和分量信号编码	47
2.2.4 图像分量信号量化比特数确定和量化电平分配	47
2.3 图像分量信号量化电平和量化比特数的计算	50
2.4 标准清晰度电视和高清晰度电视的各项参数	51
2.5 数字电视系统	52
2.6 数字电视机顶盒	53
习题	55
第 3 章 视频信号的数字化	56
3.1 电视信号的离散化	56
3.2 视频 A/D、D/A 变换器	63
3.3 PAL 信号亮、色数字分离	69
习题	72
第 4 章 图像数据压缩编码	74
4.1 图像数据压缩编码概述	74
4.1.1 图像数据压缩机理	74

4.1.2	图像编码算法的分类	75
4.1.3	图像编码压缩比	76
4.1.4	混合编码	77
4.2	预测编码	80
4.2.1	预测编码的类型	81
4.2.2	差分脉冲编码调制(DPCM)的分析	83
4.2.3	预测器	85
4.2.4	前向预测和双向预测	90
4.2.5	像素块预测	91
4.2.6	量化与编码	96
4.2.7	图像帧间编码中的运动处理方法	98
4.3	变换编码	103
4.3.1	变换的物理意义	103
4.3.2	正交变换的矩阵表示	104
4.3.3	协方差矩阵和 K - L 变换	105
4.3.4	离散余弦变换(DCT)	106
4.3.5	二维整数变换	110
4.3.6	变换系数量化的几种方式	115
4.3.7	变换后对直流系数的处理	119
4.3.8	变换系数量化后的扫描方式	122
4.4	熵编码	123
4.4.1	前缀码	124
4.4.2	信息量和信息熵	125
4.4.3	无失真信源编码定理	126
4.4.4	变字长(Huffman)编码	126
4.4.5	游程编码加变字长编码	128
4.4.6	H.264 标准中的熵编码技术	134
4.5	子带编码	150
4.5.1	子带编码原理	150
4.5.2	子带滤波	151
4.5.3	HDTV 子带编码	153
4.5.4	塔型编码	154
4.6	小波变换	154
4.6.1	基于小波变换的静态图像编码方法	154
4.6.2	小波变换的数学分析基础	155
4.6.3	图像小波多分辨分解的数据特性	159
4.6.4	基于小波变换的静态图像压缩算法	160
4.7	分形图像编码	164
4.7.1	分形的引出	164
4.7.2	分形压缩法概况	167
4.7.3	分形图像编码过程	167
4.7.4	分形图像编码的 IFS 方法	168
4.7.5	分形编码实例	169

4.8 模型基图像编码	170
4.8.1 模型基图像编码的引出	170
4.8.2 语义基图像编码	171
4.8.3 物体基图像编码	173
习题	174
第5章 视频压缩编码标准	179
5.1 视频压缩编码标准的发展历程	179
5.2 H.261 标准	183
5.2.1 图像格式	183
5.2.2 信源编码器方框图	185
5.2.3 信源解码器方框图	191
5.2.4 图像复用和解复用	191
5.3 JPEG 标准	195
5.3.1 基于 DCT 的编码器和解码器	195
5.3.2 离散余弦变换和 DCT 系数量化	196
5.3.3 熵编码器	197
5.3.4 数据交换格式	197
5.4 MPEG-1 标准	197
5.4.1 MPEG-1 标准的内容	198
5.4.2 MPEG-1 视频流结构	200
5.4.3 MPEG-1 音频压缩处理单元	201
5.4.4 通信处理板	202
5.5 MPEG-2 标准	202
5.5.1 系统部分	203
5.5.2 图像部分	205
5.5.3 声音部分	208
5.5.4 图像格式	208
5.6 H.263 建议	211
5.6.1 ITU 极低码率视频编码标准	212
5.6.2 H.263 极低码率视频编码标准	212
5.6.3 H.263 中的帧间预测算法	213
5.7 MPEG-4 标准	217
5.7.1 MPEG-4 可视信息编码	218
5.7.2 MPEG-4 基于 VOP 的视频编码	221
5.7.3 MPEG-4 视频信号编码基本框图	224
5.7.4 MPEG-4 的音频编码	225
5.8 H.264 标准	225
5.8.1 H.264 标准中的主要技术	225
5.8.2 H.264 标准的应用范围	233
习题	234
第6章 数字电视传输	235
6.1 数字电视传输系统	235

6.1.1	数字通信系统	235
6.1.2	数字电视卫星传输系统	237
6.1.3	数字电视有线传输系统	238
6.1.4	数字电视地面广播传输系统	239
6.2	能量扩散	241
6.3	纠错编码	245
6.4	数据交织和解交织	251
6.5	格状编码(TCM)	258
6.6	美国 ATSC 数字电视地面广播系统	272
	习题	274
第 7 章 数字电视调制和解调		279
7.1	数字电视调制的种类	279
7.1.1	为什么要进行数字调制	279
7.1.2	数字电视调制的分类	279
7.1.3	数字电视信号经调制后的几项性能	280
7.2	BPSK 调制	281
7.3	QPSK 数字调制技术	283
7.4	MQAM 调制	287
7.5	$\pi/2$ 旋转不变 QAM 星座的获得	293
7.6	Offset-QAM 数字调制技术	297
7.7	M-VSB(残留边带)数字调制技术	299
7.8	OFDM 数字调制技术	301
7.9	QPSK、MQAM、M-VSB、OFDM 小结	310
7.10	字节到符号的映射	311
7.11	反向信道(上行信道)数字调制技术	312
	习题	314
第 8 章 数字音频技术		315
8.1	数字音频广播	315
8.1.1	DAB 的技术特点	316
8.1.2	尤里卡(Eureka)147/DAB 发射系统	317
8.1.3	尤里卡(Eureka)147/DAB 接收系统	320
8.2	MPEG 音频压缩技术	322
8.3	美国 HDTV AC-3 音频压缩技术	339
8.4	家庭影院和环绕立体声	344
	习题	355
参考文献		357

第 1 章 数字电视中的模拟域技术

电视技术已经历了黑白电视、彩色电视、数字电视三个发展阶段，前两者为采用模拟技术的电视。在我国，目前正处在数字电视的普及过渡阶段，但仍有模拟技术应用于数字电视系统中，如彩色电视三基色原理、三大彩色电视制式、彩色显示技术等，甚至还有少许摄像设备也采用模拟技术。在此，我们把它们归结为数字电视中的模拟域技术，下面分别予以介绍。

1.1 三基色原理

自然界的景物万紫千红、五彩缤纷，利用彩色电视能生动地、逼真地传送和显示这些景物图像。由物理学可知，日光(白色光)可通过分光棱镜分出红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等颜色的光。既然白色光可分成不同颜色的光，反过来，也可以用几种不同颜色的光通过不同比例合成白色光。通过研究可知，只需三种颜色的光以不同比例就可以合成白色光。这三种颜色为红、绿、蓝，称为三基色。三基色除了能合成白色外，还可以不同比例合成万紫千红的其它颜色。这称之为三基色原理。

彩色电视中采用三基色光按不同比例相加而获得不同彩色的方法，称为相加混色法。例如：

红色光 + 绿色光 = 黄色光

蓝色光 + 红色光 = 品红色光(或称紫色光)

绿色光 + 蓝色光 = 青色光

红、绿、蓝三色光按一定比例相加 = 白色光

上述只给出了相加混色法的一个概念，即利用三基色产生少数几种颜色的方法，如图 1.1.1 所示。

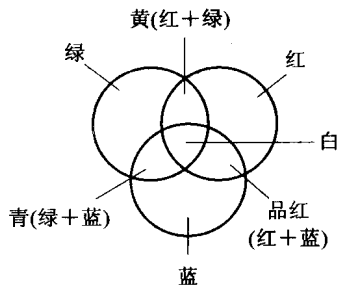


图 1.1.1 三基色光相加混色法原理

1.2 亮度信号和色差信号

1. 亮度信号

通过研究可知,按三基色原理可得到亮度方程:

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B \quad (1.2.1)$$

该方程描述了采用相等的三基色信号($R=G=B=1$,即红=绿=蓝=1),按式(1.2.1)比例就可以得到白色亮度信号。在彩色电视系统中,发送端由摄像管摄取图像,接收端由显像管显示图像。摄像机摄取黑白图像时,其输出的三个基色信号均相等。

2. 色差信号

在彩色广播电视系统中为与黑白电视兼容(彩色电视机可接收黑白图像),彩色电视信号的带宽应与黑白电视一样,即6 MHz(指我国电视制式),所选用的传输信号并非三个基色信号($R、G、B$),而是经过转换成代表三个基本参量的新的传输信号($Y、R-Y、B-Y$), Y 称做亮度信号, $R-Y、B-Y$ 分别称做两个色差信号。也就是说,彩色电视系统也传输一个由亮度方程组成的亮度信号 Y ,而不是三个基色分量信号($R、G、B$)。另外,再选用两个代表色度信息的信号——色差信号 $R-Y、B-Y$,在传输亮度信号(色调和饱和度)的同一频带内传送。三者的关系分别如下:

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B \quad (1.2.2)$$

$$\begin{aligned} R - Y &= R - (0.30R + 0.59G + 0.11B) \\ &= 0.70R - 0.59G - 0.11B \end{aligned} \quad (1.2.3)$$

$$\begin{aligned} B - Y &= B - (0.30R + 0.59G + 0.11B) \\ &= -0.30R - 0.59G + 0.89B \end{aligned} \quad (1.2.4)$$

在传输黑白图像时,三个基色信号相等,即 $R=G=B$,式(1.2.2)有值,而式(1.2.3)和式(1.2.4)为零。也即只有亮度信号,无彩色的黑白图像信号。

这样,如果保证 Y 信号的传输带宽为6 MHz,而两个色差信号 $R-Y、B-Y$ 的带宽分别为1.5 MHz,并选用同一个彩色副载波(正弦)频率分别正交调制在它之上,使其频谱落入亮度信号6 MHz之内,并设法不干扰亮度信号,这就做到了三个信号 $Y、R-Y、B-Y$ 的总带宽仍为6 MHz。这比分别传输 $R、G、B$ 信号(每信号带宽均为6 MHz,总带宽为18 MHz)大大节约了传输带宽。

亮度信号 Y 选用6 MHz带宽,两个色差信号 $R-Y、B-Y$ 分别选用1.5 MHz带宽是考虑了人眼的视觉特性,因为人眼对亮度细节分辨力高,对色度细节分辨力低。

在接收端,为了恢复重现图像所需的三基色信号,由 $Y、R-Y、B-Y$ 可导出如下等式:

$$\begin{aligned} G - Y &= G - (0.30R + 0.59G + 0.11B) \\ &= -0.30R + 0.41G - 0.11B \\ &= -\frac{0.30}{0.59}(R - Y) - \frac{0.11}{0.59}(B - Y) \end{aligned} \quad (1.2.5)$$

然后再将三个色差信号分别与亮度信号相加,就得到三个基色信号,即

$$(R - Y) + Y = R \quad (1.2.6)$$

$$(B - Y) + Y = B \quad (1.2.7)$$

$$(G - Y) + Y = G \quad (1.2.8)$$

将这三个信号(R 、 G 、 B)传输到显像管上,就可显示彩色图像了。

下面举例说明不同颜色时亮度信号与色差信号值的情况。

(1) 黑白图像。我们知道,相等的三个基色信号($R=G=B=1$)使显像管显示白色光,摄像机摄取黑白图像时,其输出的三个基色信号均相等。在摄取最亮的白色光(即峰值白色光)时,设 $R=G=B=1$, 则

$$Y = 0.30 + 0.59 + 0.11 = 1 \quad (1.2.9)$$

这表示显示亮度最强的白色光。

对于亮度较低的白色光(或称灰色光),设 $R=G=B=\epsilon < 1$, 则

$$Y = 0.30\epsilon + 0.59\epsilon + 0.11\epsilon = \epsilon < 1 \quad (1.2.10)$$

当传输彩色图像时,在一般情况下,三个基色信号 R 、 G 、 B 的电压各不相同,若三个值都不为零,则说明该彩色是非饱和色,因为其中必然包含由相等的三个基色量混配出的白色光成分。

(2) 饱和黄色光。设 $R=E$ 、 $G=E$, 而 $B=0$, 则按式(1.2.2)~式(1.2.4), 发送端发出的三个信号分别为

$$Y = 0.30E + 0.59E = 0.89E \quad (1.2.11)$$

$$R - Y = E - 0.89E = 0.11E \quad (1.2.12)$$

$$B - Y = 0 - 0.89E = -0.89E \quad (1.2.13)$$

在接收端,当用彩色电视机收看时,通过线性组合可恢复出原基色信号电压,即有

$$R = (R - Y) + Y = 0.11E + 0.89E = E \quad (1.2.14)$$

$$B = (B - Y) + Y = -0.89E + 0.89E = 0 \quad (1.2.15)$$

$$\begin{aligned} G &= (G - Y) + Y = -0.51 \times (R - Y) - 0.19 \times (B - Y) + Y \\ &= -0.51 \times 0.11E - 0.19 \times (-0.89E) + 0.89E = E \end{aligned} \quad (1.2.16)$$

从式(1.2.14)~式(1.2.16)可以看出接收端信号得到了还原,还可以看出在该彩色中不含有白色光成分,它只含等量的红色光和绿色光成分,这两种颜色的光相加混色显示出饱和黄色光。

当用黑白电视机收看时,如果亮度信号为 E , 相当于峰值白色光,则亮度信号为 $Y = 0.89E$, 相当于较暗的灰色。

(3) 未饱和品红色光(或称紫色光)。设 $R=E$ 、 $G=0.2E$ 、 $B=E$, 则发送端发出的三个信号分别为

$$Y = 0.30E + 0.59 \times 0.2E + 0.11E = 0.53E \quad (1.2.17)$$

$$R - Y = E - 0.53E = 0.47E \quad (1.2.18)$$

$$B - Y = E - 0.53E = 0.47E \quad (1.2.19)$$

用彩色电视机收看时,恢复出三个基色信号: $R=E$ 、 $G=0.2E$ 、 $B=E$, 它们可以正确重现原来的彩色。用黑白电视机收看时,亮度信号 Y 的值为 $0.53E$, 比峰值白色光显得稍暗些,即为灰色光。

综上所述,当色调相同而饱和度不同时,亮度也各不相同。

1.3 标准彩条信号

标准彩条信号是由彩条信号发生器产生的一种测试信号，常用来对彩色电视系统的传输特性进行测试和调整。用彩条信号比用彩色测试卡方便，而且还可以免除由于摄像机等设备信号源的性能不理想而给测试带来的影响。本节以标准彩条信号为例，给出亮度信号和色差信号的具体数据和波形。

标准彩条信号是用电的方法形成的一种电信号。它可以在接收机或监视器屏幕上显示出八条等宽的竖条，其颜色自左至右依次为白、黄、青、绿、紫(或称品红)、红、蓝、黑，如图 1.3.1(a)所示。标准彩条信号可以有不同规范，图 1.3.1(b)、(c)、(d)分别示出了一种规范的正极性彩条三基色信号波形图。如果把它们与白条对应的电平定为 1，与黑条对应的电平定为 0，则这种规范的三基色信号的电平非 1 即 0，由其显示的彩色均为饱和色。

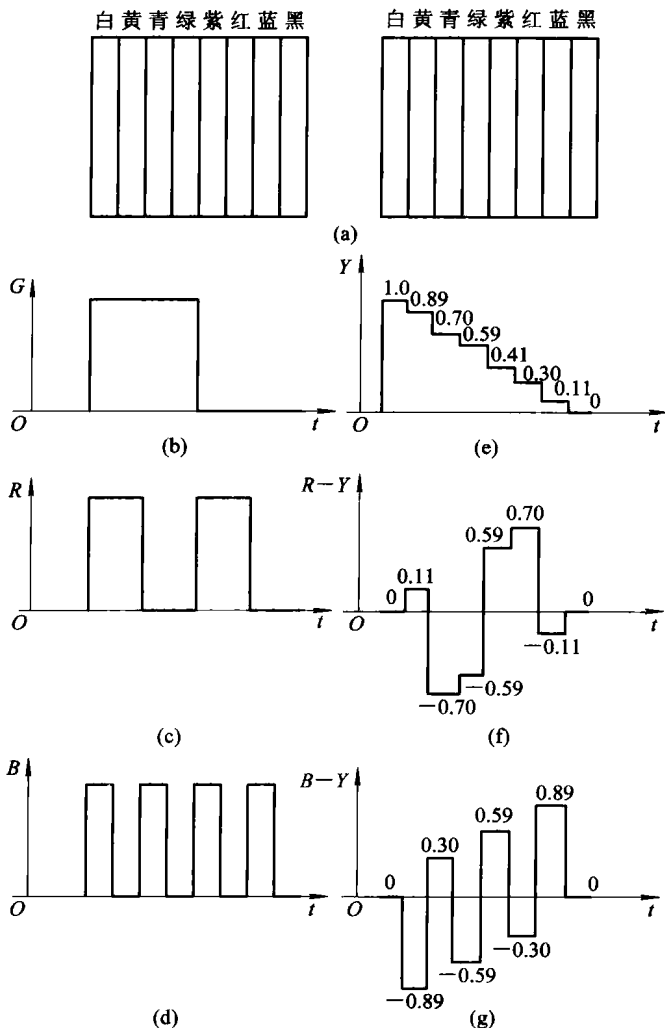


图 1.3.1 标准彩条信号

例如,对应自左至右第三条 $G=B=1, R=0$, 显示饱和青色;第四条 $G=1, R=B=0$, 显示饱和绿色;第五条 $G=0, R=B=1$, 显示饱和紫色(或称品红色),等等。称其为 100%饱和度、100%幅度(最大幅度)彩条信号。在这种命名法中,三基色信号均指未经 γ 校正的信号。

由 100%饱和度、100%幅度彩条三基色信号组成的亮度信号和色差信号的波形和数值见图 1.3.1(e)~(g)。

如果三基色信号的最大值仍为 1,而最小值为 0.05,则不难算出在各基色和补色条中,均含有 5%的白色光,因而称其为 95%饱和度、100%幅度彩条信号。此外,还可以有其它规范的彩条信号,例如 100%饱和度、75%幅度彩条信号等。

标准彩条信号还可以用四个数码表示的命名法来命名,如 100-0-100-0 彩条、100-0-75-0 彩条、100-0-100-25 彩条等。我国彩色电视广播标准规定采用 100-0-75-0 彩条信号。此彩条原是欧洲广播联盟(European Broadcasting Union, EBU)提出并采用的,故又称 EBU 彩条。

在四数码表示法中,各信号均指 γ 校正后的信号。每一数字表示相应条的基色信号的百分比幅度,而基准则是组成白条的这一基色信号幅度。第一和第二个数字分别表示组成无色条(黑白条)的 R, G, B 的最大值和最小值,第三和第四个数字分别表示组成各彩色条的 R, G, B 的最大值和最小值。例如,若组成白条的基色信号的幅度为 100%,则 100-0-75-0 彩条的各基色信号的值是这样的:对应白条有最大值 1,对应黑条有最小值 0,对应各彩色条有最大值 0.75 和最小值 0。

1.4 三大彩色电视制式

前面提到为了减少彩色电视的传输带宽,亮度信号以 6 MHz 带宽(我国标准)传送,而两个色差信号分别以 1.5 MHz 带宽信号调制在副载波上,其频谱落入亮度信号 6 MHz 带宽以内,并对亮度信号不造成干扰。不同的副载波调制方式可产生不同的彩色电视制式。到目前为止,实际用于模拟彩色电视广播的制式主要有 NTSC、PAL 和 SECAM 三种。这三种彩色电视制式都与黑白电视兼容。

1. NTSC 制

NTSC(National Television Systems Committee, 国家电视制式委员会)制是 1953 年美国研制成功的一种兼容彩色电视的制式,又称正交平衡调幅制。

兼容制彩色电视除了传送与黑白电视相同的亮度信号外,还要在同一频带内传送携带色度信息的色度信号。通过对亮度信号的频谱分析得知,亮度信号的主要能量分布在通带 5.5 MHz(指 NTSC 制)的低端,利用这一特点,NTSC 制把两个色差信号(带宽均为 1.5 MHz),对副载波(3.58 MHz 正弦波)进行正交平衡幅度调制,调制后的频谱落入通带 5.5 MHz 的高端,对亮度信号基本不造成干扰。传送黑白影像时,色差信号为零,若采用正交平衡幅度调幅方式就可使已调信号也为零,于是不存在光点干扰。传送低饱和度彩色影像时,已调副载波的幅度较小,在黑白电视机屏幕上光点干扰的可见度也较弱。但是,调制高频端的副载波色差信号时,会不断出现正峰点和负峰点,从而在黑白电视机屏幕上形成亮点、暗点形式的光点干扰,称为副载波干扰。为了减少这种干扰,NTSC 制除了采

用平衡调幅方式外还采用了频谱交错原理。

1) 正交调制原理分析

下面我们来分析正交幅度调制的基本原理。为了用单一频率的副载波(正弦波)传送色度信息, NTSC 色度信号由两个色差信号分别对初相位为 0° 和 90° 的两个相同频率的副载波平衡调幅再混合而成。当采用蓝、红色差信号时, 色度信号可表示成

$$(B-Y)\sin\omega_{sc}t + (R-Y)\cos\omega_{sc}t \quad (1.4.1)$$

式中, ω_{sc} 为副载波角频率。NTSC 正交调制方框图如图 1.4.1 所示。

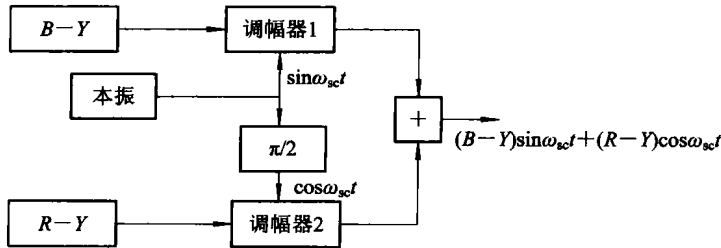


图 1.4.1 NTSC 正交调制方框图

在 NTSC 制接收机中, 上述已调信号同时通过两个同步检波器, 分别被初相位为 0° 和 90° 的两个解调副载波检波。因为同步检波器有以下特点: 对与解调副载波有 90° 相位差的已调信号分量无检波输出, 而只对与解调副载波同相的已调信号分量有检波输出, 输出信号正比于这一分量所反映的调制信号。所以可由两个检波器分别获得 $B-Y$ 和 $R-Y$ 信号。可解释如下, 将 $E_{sc} \sin\omega_{sc}t$ 与式(1.4.1)相乘, 得到

$$\begin{aligned} & E_{sc} (B-Y)\sin^2\omega_{sc}t + E_{sc} (R-Y)\cos\omega_{sc}t \sin\omega_{sc}t \\ &= \frac{E_{sc}}{2} (B-Y)(1 - \cos 2\omega_{sc}t) + \frac{E_{sc}}{2} (R-Y)\sin 2\omega_{sc}t \end{aligned} \quad (1.4.2)$$

如果通过低通滤波器消除上述信号中的 $2\omega_{sc}$ 分量, 则只剩下 $B-Y$ 信号, 而没有 $R-Y$ 信号。同理可证, 将 $E_{sc} \cos\omega_{sc}t$ 与式(1.4.1)相乘后消除 $2\omega_{sc}$ 分量, 则只剩下 $R-Y$ 信号, 而没有 $B-Y$ 信号。所乘系数 $\frac{E_{sc}}{2}$ 不难通过电路增益来补偿。同步检波方框图如图 1.4.2 所示。

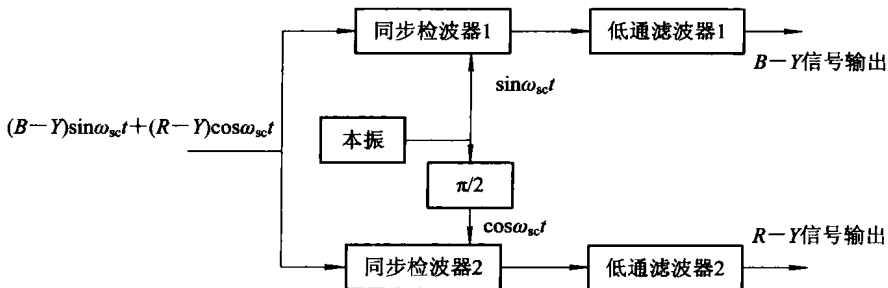


图 1.4.2 NTSC 同步检波方框图

可见, 正交平衡调幅于副载波上的两个色差信号可由解调副载波相位相互正交的两个同步检波器分别解调取得。因此, 正交平衡调幅和正交同步检波是 NTSC 制为用一个副载

波传送色度信息而采取的主要技术措施。

由式(1.4.1)描述的色度信号及其两个平衡调幅波分量也可以用矢量图来表示,如图1.4.3所示。图中用水平和垂直矢量分别表示两个相互正交的已调信号分量。矢量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。于是,合成矢量就代表整个色度信号,其模和幅角的计算公式如下:

$$C = \sqrt{(B-Y)^2 + (R-Y)^2} \quad (1.4.3)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{R-Y}{B-Y}\right) \quad (1.4.4)$$

显然,当 $R-Y$ 、 $B-Y$ 改变时,合成矢量的模和幅角均将变化。这说明 NTSC 色度信号既是调幅波又是调相波。在图 1.4.3 中还用 D_x 轴和 D_y 轴分别表示两个同步检波器的 0° 和 90° 相位的解调副载波,取合成矢量在 D_x 轴上的投影(D_x 轴的同相分量)即得 0° 相位的同步检波输出 $B-Y$;取合成矢量在 D_y 轴上的投影(D_y 轴的同相分量)即得 90° 相位的同步检波输出 $R-Y$ 。

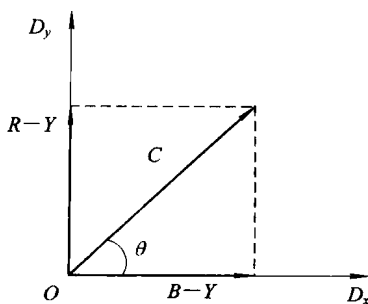


图 1.4.3 两个平衡调幅波分量矢量图

以上分析表明,为了实现色度信号的解调分离必须给同步检波器输入一个与被检波分量精确同步(同相)的副载波。为此,在 NTSC 制编码器中专门产生一个色同步信号来传送同步检波所需副载波的相位信息。图 1.4.4 给出了 NTSC 制的色同步信号波形图。它实际上是每行一个的副载频脉冲信号,出现在行消隐期间的行同步脉冲之后,而在场消隐期间则不传送。每一脉冲约包含 9 个周期的副载波,其相位为 180° 。若以 $e_b(t)$ 表示色同步信号,而以 $K(t)$ 表示其接近矩形的包络脉冲(称为旗形脉冲或 K 脉冲),则有

$$e_b(t) = K(t) \sin(\omega_{sc}t + 180^\circ) \quad (1.4.5)$$

在接收机中,利用门电路出色同步信号,然后通过晶体滤波器或锁相振荡器恢复确定相位的副载波,再经移相,形成两个相互正交的副载波分量。

2) 压缩系数

根据给定的彩条信号参数,利用亮度信号计算公式 $Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B$ 和式(1.4.3),不难计算出每一彩色条的亮度信号、色度信号以及由它们叠加形成的复合信号

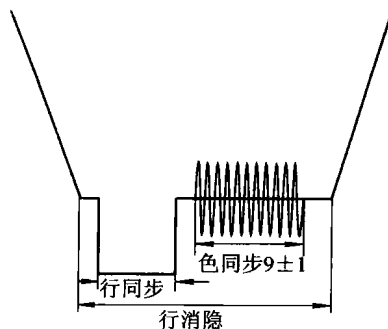


图 1.4.4 色同步信号波形图