

数字电视工程丛书

# 数字电视系统 测量与监测

Measurement and Monitoring of  
Digital Television Systems



苏志武 林定祥 章文辉 主编



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

数字电视工程丛书

# 数字电视系统测量与监测

Measurement and Monitoring of Digital Television Systems

苏志武 林定祥 章文辉 主编  
韦博荣 金 杰 王 晖  
杨盈昀 关亚林 李传珍 编著  
施晓亮 侯亚辉 黄 奎

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

随着广播电视数字化、网络化和信息化进程的不断深入,为满足广大读者的需要,本书结合国内外数字电视的发展和我国数字电视国家标准或行业标准(有线、地面、卫星传输),论述了数字电视系统测量的相关技术,以及具有代表性的系统测量方法,并介绍了最新的技术研究成果。全书分为5篇,包括数字视音频测量基础、数字有线电视广播系统测量、数字卫星电视广播系统测量、数字地面电视广播系统测量以及手机电视系统测量。

本书可供从事数字电视系统研究、施工、维护和测量的技术人员阅读,也可作为电视、通信、电子技术应用等专业的教材或参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

数字电视系统测量与监测/苏志武,林定祥,章文辉主编. —北京:电子工业出版社,2009.1  
(数字电视工程丛书)

ISBN 978-7-121-07399-1

I. 数… II. ①苏…②林…③章… III. 数字电视—电视系统—测量 IV. TN949.197

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第142172号

责任编辑:张来盛(zhangls@phei.com.cn) 吴健秋

印 刷: 北京市李史山胶印厂  
装 订:

出版发行:电子工业出版社  
北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:18 字数:460千字

印 次:2009年1月第1次印刷

印 数:4000册 定价:39.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

## 《数字电视工程丛书》编委会

**顾问:** 童志鹏 章之俭 杜百川 徐孟侠

**主任:** 张文军

**副主任:** 杨 杰 王保平

**编委:** (以姓氏笔画为序)

王 匡 王兴军 王保平 苏志武 杨 杰

李桂苓 何 芸 余松煜 张一钧 张文军

陈 科 陈兆武 林定祥 郑世宝 姜秀华

徐康兴 高 文 郭 柯 章文辉 童林夙

葛建华 廖洪涛 潘龙法

**秘书长:** 郑世宝 张来盛

# 总 序

数字高清晰度电视是继模拟黑白电视和彩色电视之后的第三代电视，数字电视是包含高清晰度电视在内的数字视频广播系统，包括节目制作和管理，内容分发和服务，数据传送或传输，用户接收和显示等全过程的数字化，是电视事业和产业的一场划时代革命。

数字电视基于现代先进信息压缩和传输理论，利用高速发展的 VLSI 技术，能够以高效、可靠的技术方案和较低的实现成本，通过卫星、无线和有线信道传送大量的几近演播室质量的数字电视节目，包括高清晰度的图像和高保真的环绕声或立体声音频，以及增值服务数据；数字电视技术还催生了多种新媒体传送形式，如基于 IP 协议的网络电视、移动电视、手机电视等，使宽带活动视频业务融入互联网，实质性地推动着广播、电信和互联网业务的不断融合和相互促进。数字电视广播及其延伸应用已成为未来 10 年全世界信息产业和媒体服务业的巨大增长点，也成为市场竞争的热点领域之一。

继美国 ATSC (1995)、欧洲 DVB (1996) 和日本 ISDB (1999) 等系列标准之后，我国是世界上第四个制定完整的数字电视广播系统标准的国家。从 20 世纪 90 年代初期的“八五”科技攻关，到 90 年代中期的“九五”重大科技产业专项，再到本世纪初的“十五”国家数字电视研发及产业化专项，我国的数字电视研发及产业化工作已经经历了整整 3 个五年计划。2006 年，期待已久的中国数字电视地面广播传输标准等相关标准相继发布了，这意味着我国数字电视广播开始全面进入从模拟电视到数字电视整体转换的商业化时代。

作为一个国家培养的科技工作者，本人有幸参加并历经了这 3 个五年计划、长达十余年的数字电视研发工作，对我国数字电视科技及产业化取得的每一步进展，都历历在目，记忆犹新。我心里一直在想，在此数字电视技术全面推广的时刻，除了身体力行参与相关自主技术的科技成果转化工作外，还应该做点别的什么？

数字电视产业化是一个庞大的产业链运转过程，产业链的各个环节甚至包括最终的用户，都需要一定的数字电视知识或对数字电视有一定的了解。“数字电视工程丛书”的想法早在 1994 年我国决定开发高清晰度电视功能样机系统时就已经萌生，当年 HDTV 总体组凭借数字电视的前辈——中国电视电声研究所乐陶总工和北京大学徐孟侠教授等翻译的美国数字电视大联盟的 ATSC 标准草案等文件，学习和掌握了数字电视的基本技术，自主研制成功了第一代 HDTV 功能样机系统。之后，随着数字电视研发及产业化工作的深入，国家组织更多的研发力量开始研制具有自主知识产权的数字电视地面广播传输标准，数字电视接收机及中间件标准，AVS 标准，机卡分离条件接收标准等，使我国在数字电视广播系统的各个主要环节，都逐步拥有了自己的核心技术、创新性成果和各种技术报告、学术论文。但是，这些成果太专业化了，不易为社会公众和技术人员所了解和理解。

此次电子工业出版社决定出版《数字电视工程丛书》，给了我实现多年心愿的一次良

机。2005年5月由出版社邀请来自全国从事数字电视技术研发的十几位专家代表，组成《数字电视工程丛书》编委会，并在上海讨论确定了丛书的架构和出版计划。

丛书内容尽可能覆盖从节目制作与播出，信源编码与传输，信道编码与调制，发射与组网，接收与显示，存储与播放，业务支撑与运营，数字电视测量等数字电视系统及应用的各个主要组成部分，今后还将根据技术的发展和读者的需求，陆续将新的内容充实到本丛书中来。在技术定位上，丛书既有基本理论介绍又有工程实践总结，并着重加强对国外最新技术进展以及自主研发技术和标准的特色阐述，如此安排的目的是希望本丛书能够成为较系统介绍数字电视技术的参考系列，为广大研究人员和工程技术人员所借鉴。

对于本丛书的编撰和出版，一些老专家、老领导、老教授寄以厚望，并给予支持和鼓励，提出了许多很好的建议，在此向他们表示感谢。

在这里，我要特别感谢参与丛书编写工作的每位专家、学者，他们克服重重困难，在科研生产或管理任务繁重的压力下，仍以极大的热情投入到丛书的编写工作中。他们认真负责、严谨细致、不辞辛劳、精益求精的态度，充分体现了我国科技工作者的良好美德。

同时我也要感谢出版社编辑同志的辛劳工作，没有他们积极组织联络各位专家，不厌其烦地敦促每一本书的作者完成计划，丛书的出版是不可能的。

由于出版时间仓促，加之大部分编委都是身处一线的科研人员，他们工作繁重，很可能有疏漏和出错，甚至有的研究成果尚来不及呈现给读者，不足之处敬请读者原谅。真诚希望广大读者向出版社或编委多提宝贵意见和建议。

最后，预祝《数字电视工程丛书》的出版取得圆满成功。

《数字电视工程丛书》编委会主任  
上海交通大学教授





# 前 言

目前,数字电视广播技术发展迅速,广播影视数字化、网络化和信息化的进程大大加快。为满足信息产业广大工程技术人员知识更新的需要,本书编者本着理论联系实际的原则,结合国内外数字电视的发展和我国数字电视国家标准或行业标准(有线、地面、卫星传输),论述数字电视系统测量的相关技术。在阐述成熟的理论和技术的基础上,本书介绍了最新的技术研究成果,对理论和技术进行了深入阐述,并提供具有代表性的系统测量方法。全书介绍了基带数字视音频、调制传输等方面的测量理论,同时结合实际数字电视广播系统分别介绍了数字有线、卫星、地面和手机电视等主要数字电视广播传输系统的测量。

本书由苏志武、林定祥、章文辉主编,共分5篇。

第1篇为数字视音频测量基础,包括第1~5章。其中第1章介绍标准清晰度数字分量视频信号测量,第2章介绍高清晰度数字分量视频信号测量,第3章介绍数字电视图像质量主观评价与客观测量,第4章介绍AES/EBU数字音频,第5章介绍数字音频信号测量方法和测量设备。第1~3章由章文辉编写,第4章、第5章由金杰和施晓亮共同编写。

第2篇为数字有线电视广播系统测量与监测,包括第6~9章。其中第6章介绍数字有线电视广播系统常用测试仪器,第7章介绍DVB-C系统指标及其测量,第8章介绍数字有线电视系统主要设备测量,第9章介绍有线电视光纤传输系统技术指标测量。第6章、第7章由李传珍编写,第8章由王晖编写,第9章由关亚林编写。

第3篇为数字卫星电视系统测量与监测,包括第10~12章。其中第10章介绍卫星电视广播传输原理概述,第11章介绍卫星电视的监测,第12章介绍卫星电视的测量。这部分内容由金杰和施晓亮共同编写。

第4篇(第13章)为数字地面电视广播系统测量,由韦博荣教授编写。

第5篇为手机电视系统测量,包括第14,15章。其中第14章介绍手机电视系统构成与传输原理概述,由侯亚辉、黄奎共同编写;第15章介绍手机电视传输系统性能指标的测量方法与数据分析,由杨盈昀编写。

由于编者学识水平所限,书中难免出现错误和疏漏之处,诚望广大读者不吝赐教。

编 者

2008年6月于中国传媒大学

# 目 录

## 第 1 篇 数字视音频测量基础

<b>第 1 章 标准清晰度数字分量视频信号测量</b> .....	(2)
1.1 标准清晰度数字分量视频信号格式检验 .....	(2)
1.1.1 525/60、625/50 扫描标准的 4:2:2 编码参数 .....	(2)
1.1.2 数字视频分量格式检验 .....	(12)
1.2 串行数字视频系统测试 .....	(23)
1.2.1 串行数字信号的传输和数据复用 .....	(23)
1.2.2 串行数字信号的接口特性参数测量 .....	(26)
1.2.3 反射损耗测量 .....	(31)
1.2.4 误码及增强测试 .....	(34)
1.2.5 抖动概念及测量 .....	(43)
参考文献 .....	(50)
<b>第 2 章 高清晰度数字分量视频信号测量</b> .....	(51)
2.1 数字高清晰度电视格式检验 .....	(51)
2.1.1 数字高清晰度电视演播室参数标准 .....	(51)
2.1.2 高清晰度数字分量视频信号格式 .....	(52)
2.1.3 高清晰度数字分量视频信号格式检验与内容监测 .....	(57)
2.2 高清晰度数字分量视频信号测量 .....	(60)
2.2.1 高清晰度数字分量视频信号接口 .....	(60)
2.2.2 高清晰度数字分量视频信号串行接口特性参数测量 .....	(62)
参考文献 .....	(64)
<b>第 3 章 数字电视图像质量主观评价与客观测量</b> .....	(65)
3.1 数字电视图像质量主观评价 .....	(65)
3.1.1 图像质量主观评价的一般要求 .....	(65)
3.1.2 图像质量主观评价方法 .....	(71)
3.2 数字电视图像质量客观测量 .....	(74)
3.2.1 数字图像质量客观测量方法 .....	(75)
3.2.2 图像质量的测量和分析的应用 .....	(83)
参考文献 .....	(88)
<b>第 4 章 AES/EBU 数字音频</b> .....	(89)
4.1 数字音频基本概念 .....	(89)
4.2 AES/EBU 标准 .....	(90)



4.2.1	AES/EBU 格式结构	(90)
4.2.2	AES/EBU 信号的电气特性及互连	(93)
4.3	SD/HD 中的嵌入音频	(94)
<b>第 5 章</b>	<b>数字音频测量方法和测试设备</b>	<b>(103)</b>
5.1	音频信号的电平和测量	(103)
5.1.1	平衡信号与不平衡信号	(103)
5.1.2	音频信号电平	(104)
5.1.3	音频电平的监视	(105)
5.2	数字音频眼图测量	(107)
5.2.1	AES/EBU 数字信号比特流的模拟波形 (眼图)	(108)
5.2.2	AES/EBU 数字音频信号格式分析	(110)
	参考文献	(114)

## 第 2 篇 数字有线电视系统测量与监测

<b>第 6 章</b>	<b>数字有线电视系统常用测试仪器</b>	<b>(116)</b>
6.1	频谱分析仪	(116)
6.1.1	频谱分析仪的分类	(116)
6.1.2	频谱分析仪的基本原理	(116)
6.1.3	频谱分析仪的使用	(118)
6.2	光时域反射计	(121)
6.2.1	概述	(121)
6.2.2	光时域反射计 (OTDR) 的原理	(121)
6.2.3	光时域反射计 (OTDR) 的使用范围	(122)
6.2.4	光时域反射计 (OTDR) 的使用	(122)
<b>第 7 章</b>	<b>数字有线电视系统传输指标及其测量</b>	<b>(123)</b>
7.1	数字有线电视系统的主要传输技术指标	(123)
7.1.1	数字频道输出电平	(123)
7.1.2	系统输出口频道间电平差	(124)
7.1.3	调制误差率 (MER)	(124)
7.1.4	系统噪声余量	(125)
7.1.5	误码率 (BER)	(125)
7.1.6	载波抑制	(126)
7.1.7	正交误差	(126)
7.1.8	射频载波相位噪声	(127)
7.2	系统传输指标测量方法	(127)
7.2.1	主要测量仪器和测量框图	(127)
7.2.2	系统输出口电平的测量	(128)
7.2.3	系统输出口电平差的测量	(128)

7.2.4	调制误差率的测量	(128)
7.2.5	噪声余量的测量	(128)
7.2.6	误码率的测量	(129)
7.2.7	信号质量余量测试	(129)
<b>第8章</b>	<b>数字有线电视系统主要设备测量</b>	<b>(131)</b>
8.1	QAM 调制器的主要技术指标及测量	(131)
8.1.1	QAM 调制器的功能性参数、接口要求及测量	(131)
8.1.2	QAM 调制器输出信号的主要技术指标及测量	(133)
8.2	机顶盒的主要技术指标及测量	(139)
8.2.1	机顶盒基本参数要求	(140)
8.2.2	机顶盒射频参数指标要求及测量	(140)
8.2.3	机顶盒的视频输出指标及测量	(142)
8.2.4	机顶盒的音频输出指标及测量	(145)
8.2.5	机顶盒的物理接口及其他指标	(147)
8.3	复用器的主要技术指标及其测量	(147)
8.3.1	复用器标准一致性测试	(148)
8.3.2	复用器码流监测	(151)
8.3.3	复用器物理接口特性	(153)
<b>第9章</b>	<b>有线电视光纤传输系统技术指标测量</b>	<b>(155)</b>
9.1	有线电视光纤传输系统概述	(155)
9.1.1	有线电视传输媒介	(155)
9.1.2	电视信号在光纤中的传输方式	(156)
9.1.3	混合光纤同轴网	(157)
9.1.4	光系统总体规划	(158)
9.1.5	有线广播电视光纤网络拓扑结构	(159)
9.2	有线电视光纤传输系统技术指标及测量	(161)
9.2.1	光纤测量概述	(161)
9.2.2	光传输链路损耗的测量	(162)
9.2.3	光纤色散的测量	(163)
9.2.4	光功率的测量	(167)
9.2.5	光调制度的测量	(168)
	参考文献	(169)

### 第3篇 数字卫星电视系统测量与监测

<b>第10章</b>	<b>卫星电视广播传输原理概述</b>	<b>(172)</b>
10.1	卫星电视广播系统组成	(172)
10.2	卫星电视传输技术原理	(173)

<b>第 11 章 卫星电视的监测</b> .....	(176)
11.1 对卫星电视监测系统的要求 .....	(176)
11.2 卫星电视监测参数及监测方法 .....	(177)
<b>第 12 章 卫星电视的测量</b> .....	(179)
12.1 卫星电视系统的技术要求 .....	(179)
12.1.1 卫星电视上行系统的技术要求 .....	(179)
12.1.2 卫星电视接收系统技术要求 .....	(180)
12.1.3 天线系统测试参数定义和技术指标 .....	(185)
12.2 卫星电视系统的测量方法 .....	(188)
12.2.1 上行系统射频指标测量 .....	(188)
12.2.2 系统测量的主要项目及方法 .....	(190)
12.2.3 地球站室外单元(下变频器)的主要测量项目及方法 .....	(199)
12.2.4 地球站室内单元(IRD)的主要测量项目及方法 .....	(204)
参考文献 .....	(208)

## 第 4 篇 数字地面广播电视系统测量

<b>第 13 章 地面数字电视传输系统设备测量</b> .....	(210)
13.1 载频的测量 .....	(210)
13.2 占用带宽、IFFT 取样频率和符号宽度的测量 .....	(212)
13.3 信号和噪声的功率测量 .....	(214)
13.4 相位噪声的测量 .....	(215)
13.5 RF 频谱模板符合性的测量 .....	(217)
13.6 肩电平衰减的测量 .....	(218)
13.7 杂散发射和无用发射测量 .....	(219)
13.8 误比特率(BER)和载噪比(C/N)的测量 .....	(220)
13.8.1 误比特率(BER)的测量 .....	(220)
13.8.2 不同发射机输出功率时 BER 与 C/N 的测量 .....	(222)
13.8.3 不同高斯噪声功率时 BER 与 C/N 关系的测量 .....	(222)
13.8.4 C/N 门限的测量 .....	(222)
13.8.5 接收机最小/最大接收信号电平 .....	(224)
13.8.6 等效噪声损伤(END)和等效噪声 C/N 的测量 .....	(224)
13.9 调制误差比(MER)、调制目标误差(STE)和延迟时间的测量 .....	(226)
参考文献 .....	(229)

## 第 5 篇 手机电视系统测量

<b>第 14 章 手机电视系统构成与传输原理概述</b> .....	(232)
14.1 手机电视技术概述 .....	(232)

14.2 手机电视系统结构与传输原理 .....	(233)
14.2.1 DVB-H .....	(233)
14.2.2 Media-FLO .....	(233)
14.2.3 T-DMB .....	(235)
<b>第 15 章 手机电视传输系统性能指标的测量方法与数据分析 .....</b>	<b>(237)</b>
15.1 手机电视传输系统的主要技术指标 .....	(237)
15.2 手机电视传输系统指标测量方法 .....	(239)
15.2.1 接收失败判据 .....	(239)
15.2.2 信道模型 .....	(239)
15.2.3 测量步骤 .....	(243)
15.3 手机电视系统测量指标数据分析 .....	(252)
参考文献 .....	(259)
<b>附录 A PSI (节目信息表) 结构描述 .....</b>	<b>(260)</b>
<b>附录 B 缩略语 .....</b>	<b>(266)</b>



# 第1篇

## 数字视音频测量基础

# 第 1 章 标准清晰度数字分量视频信号测量

传统的视频通道测量是以视频模拟视频信号质量检验为基础，测量内容包括视频线性、非线性、杂波、介入增益、稳定性和反射损耗等指标。通过这些指标可以达到对模拟视频通道进行客观检验的目的，而且测量参数可以反映出被测系统图像的主观质量，这主要是由模拟通道的特性所决定的，模拟视频通道的信号波形失真与图像损伤有着直接的接近于线性的对应关系，图像质量的劣化是渐变的。然而，数字视频系统的特性与模拟系统的特性有着本质的不同：在系统的临界点之前，系统总能完好地解码出视频信号波形，图像质量的劣化是突变的。但是，视频系统的测试有一个共同的特点：都是针对系统的特性进行测量，数字系统克服了以往模拟系统的诸多缺点和不便，因此其测量参数和测试项目自然会与模拟系统有所不同。本章主要结合标准清晰度数字分量视频系统的特点，介绍标准清晰度数字分量视频信号的格式检验，标准清晰度数字分量视频系统测试以及标准清晰度数字分量视频系统运行监测。

## 1.1 标准清晰度数字分量视频信号格式检验

ITU-R BT.601《演播室数字电视编码参数》规定了数字分量演播室设备的编码参数，这实际上是对标准清晰度数字分量视频信号进行格式检验的基础。下面以 ITU-R BT.601 建议书为基础，结合 601 测试仪器介绍数字分量视频信号格式检验的内容。

### 1.1.1 525/60、625/50 扫描标准的 4:2:2 编码参数

数字分量信号是对模拟分量信号进行 A/D 变换得到的，所用  $E_R$ 、 $E_G$ 、 $E_B$  都是经过  $\gamma$  校正的信号。其亮度信号的编码参数为

$$E_Y = 0.587E_G + 0.114E_B + 0.299E_R \quad (1-1)$$

在数字分量信号的编码参数定义中，把进行 A/D 变换前的色差信号称为  $E_{CR}$  和  $E_{CB}$ 。亮度信号峰-峰幅度为 700mV；黑电平与消隐电平一致；同步顶为 -300mV，同步信号只加到亮度信号上；色差信号是双向的，两个色差信号的满幅度都是 700mV，色差信号  $(E_R - E_Y)$ 、 $(E_B - E_Y)$  的关系如下：

$$E_{CR} = 0.713(E_R - E_Y) \quad (1-2a)$$

$$E_{CB} = 0.564(E_B - E_Y) \quad (1-2b)$$

#### 1.1.1.1 分量信号的取样比例

各信号的取样频率都基于一个最低基准频率 3.375MHz，演播室数字电视取样比例有以下几种。

(1) 4:2:2 取样: 亮度信号的取样频率为 13.5 MHz, 每个色差信号的取样频率为  $3.375\text{ MHz} \times 2 = 6.75\text{ MHz}$ 。

(2) 4:4:4 取样: 亮度信号和两个色差信号的取样频率都是 13.5 MHz。可用于对带宽相同的 RGB 信号取样。一些高档的演播室质量数字处理设备采用这种取样比率。

表 1-1 列出 525 行/60 场扫描标准和 625 行/50 场扫描标准的 4:2:2 编码参数, 通过对分析这些参数的由来, 可以帮助我们进一步理解数字分量信号。

表 1-1 525 行/60 场和 625 行/50 场扫描标准的 4:2:2 编码参数

	525/60 扫描标准	625/50 扫描标准
每行总的样点数	Y: 858 C <sub>B</sub> : 429 C <sub>R</sub> : 429 总样点数: 1716	Y: 864 C <sub>B</sub> : 432 C <sub>R</sub> : 432 总样点数: 1728
取样频率	Y: $858f_{\text{H}}=13.5\text{ MHz}$ C <sub>B</sub> 和 C <sub>R</sub> : $429f_{\text{H}}=6.75\text{ MHz}$	Y: $864f_{\text{H}}=13.5\text{ MHz}$ C <sub>B</sub> 和 C <sub>R</sub> : $432f_{\text{H}}=6.75\text{ MHz}$
每个有效行的样点数	Y: 720 C <sub>B</sub> : 360 C <sub>R</sub> : 360 总样点数: 1440	
编码方式	均匀量化的 PCM 码	
量化分辨率	8 比特或 10 比特量化	
编码信号	$E_{\text{Y}}=0.299E_{\text{R}}+0.587E_{\text{G}}+0.114E_{\text{B}}$ $E_{\text{CB}}=0.564(E_{\text{B}}-E_{\text{Y}})$ $E_{\text{CR}}=0.713(E_{\text{R}}-E_{\text{Y}})$	
取样结构	正交。行、场、帧内, 每行的 C <sub>B</sub> 、C <sub>R</sub> 样点位置与 Y 的奇数样点位置一致	

### 1.1.1.2 取样频率和取样结构

亮度信号的取样频率定为 13.5 MHz, 可保证对 525 行/60 场和 625 行/50 场两种扫描标准, 在行周期内都有整数个取样周期, 即每行内的样点数都是整数。对前者每行内有 858 个样点; 对后者每行内有 864 个样点。产生取样频率的振荡器用输入视频信号的行同步锁定。

主观测试表明, 电视的最佳亮度信号带宽为 5.8~6 MHz。为有效地抑制混叠噪声且便于模拟低通滤波器的设计, 取样频率最低应为信号带宽的 2.2 倍, 即至少为 12.76~13.2 MHz。其次, 为形成正交的取样结构, 取样频率应为行频的整数倍, 即  $f_{\text{s}} = mf_{\text{H}}$ , 而且为统一国际编码标准, 要求这种整数倍关系能对 625 行和 525 行的扫描制式兼容。625 行制的行扫描频率为  $f_{\text{H}}=15625\text{ Hz}$ , 525 行制的行扫描频率为  $f'_{\text{H}} = 4.5 \times 10^6\text{ Hz}/286$ , 二者的最小公倍数为 2.25 MHz, 即  $143f'_{\text{H}} = 144f_{\text{H}} = 2.25\text{ MHz}$ 。考虑到上述因素, 数字电视演播室编码标准 (以下简称国际标准) 将亮度信号的取样频率定为 2.25 MHz 的六倍频, 即 13.5 MHz。在这一取样频率下, 525 行制式每行的总样点数为  $143 \times 6=858$ , 625 行制式每行的总样点数为  $144 \times 6=864$ 。

主观测试还表明, 具有连续平滑下降幅频特性的 2 MHz 带宽的色差信号 (R-Y) 和



( $B-Y$ ) 可保证足够高的图像质量。然而, 决定色差信号带宽和取样频率的主要因素是彩色色键可达到的质量, 较低的取样频率会使图像前景和背景之间的倾斜过渡处出现锯齿。为此国际标准确定色差信号的取样频率为  $6.75\text{MHz}$ , 这样, 色差信号的带宽可达  $3\text{MHz}$ , 可获得满意的彩色和色键质量。色差信号的取样频率正好是亮度信号取样频率的一半, 同样可实现 525 行制和 625 行制兼容的正交取样结构, 它是 525 行制行频的 429 倍, 是 625 行制行频的 432 倍。

为了便于信号处理, 国际标准对亮度信号与色差信号的正交取样结构作了具体规定, 在每一行中两个色差信号的样点空间同位, 而色差信号与亮度信号的奇数样点空间同位, 如图 1.1 所示。

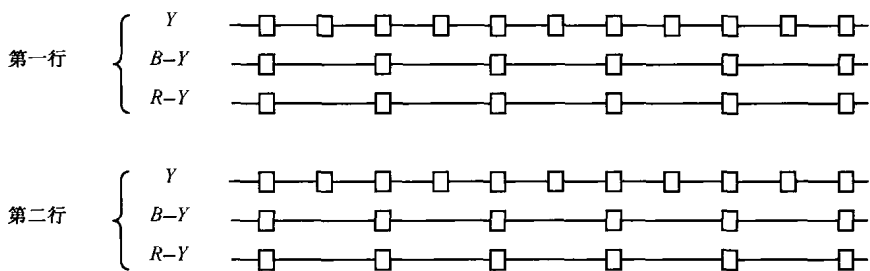


图 1-1 分量编码取样结构

为使 525 行制与 625 行制兼容, 国际标准定义了数字有效行并规定了它与模拟行的对应关系。无论 525 行制还是 625 行制, 数字有效行的亮度信号样点数都是 720, 色差信号的样点数都是 360, 即每行中仅有  $(720+2\times 360)=1440$  个样点必须处理、存储或记录。显然, 数字有效行消除了制式间的差别。

### 1.1.1.3 量化范围的规定

现以 100/0/100/0 彩条信号为例, 说明数字分量信号对量化范围的规定。对于 10 比特量化的亮度信号可表示为:  $Y=876E_Y+64$ 。亮度分量的模拟信号电平与其相对应的数字信号样值 (即量化电平) 之间的关系如图 1-2 所示。图中示出了 8 比特 (bit) 量化和 10 比特量化两种情况下的对应样值, 每个样值分别以十进制数和十六进制数表示其量化级数 (亦称量化电平或数字电平)。

在 10 比特量化系统中共有 1024 个数字电平 ( $2^{10}$  个), 用十进制数表示时, 其数值范围为  $0\sim 1023$ ; 用十六进制数表示时, 其数值范围为  $000\sim 3FF$ 。数字电平  $000\sim 003$  和  $3FC\sim 3FF$  为储备电平 (reserve) (或称保护电平), 这两部分电平是不允许出现在数据流中的, D/A 后恢复的模拟信号也不会出现储备电平范围的信号。其中  $000$  和  $3FF$  用于传送同步信息。

$004\sim 3FB$  (十进制数  $4\sim 1019$ ) 代表亮度信号电平; 消隐电平定为  $040$  (十进制数为  $64$ ); 峰值白电平定为  $3AC$  (十进制数为  $940$ )。

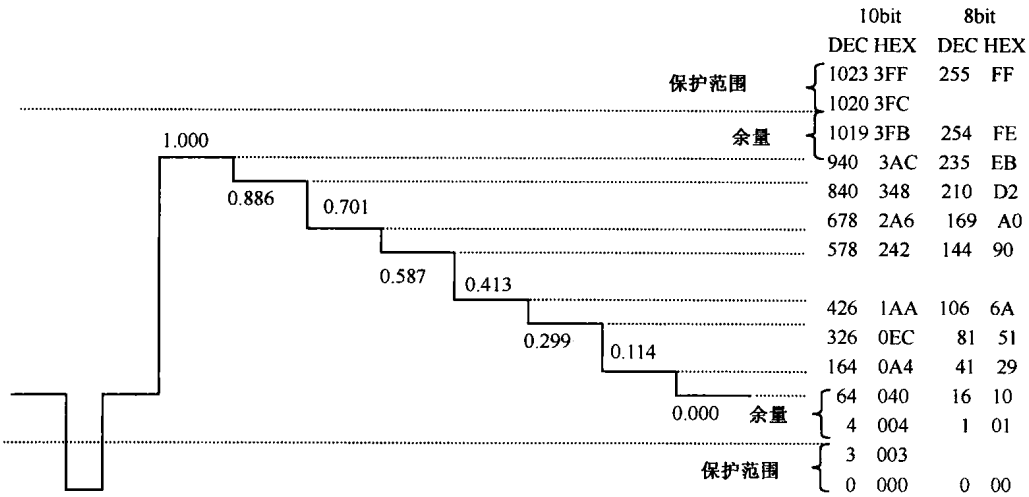


图 1-2 100%彩条中亮度信号之模拟电平与量化电平之间的关系

模拟信号进行 A/D 变换时，其电平不允许超出 A/D 的基准电平范围，否则会发生限幅，产生非线性失真，其谐波在取样后会出现频谱混叠。因此，标准规定的数字电平留有很小的余量：底部电平余量为 004~040（十进制表示为 4~64），顶部电平余量为 3AC~3FB（十进制表示为 940~1019）。上下余量称为“Headroom”。由于调整的偏差和漂移，通过滤波器和校正电路产生的过冲都会扩大模拟视频信号的动态范围，所以在消隐电平以下和峰值白电平以上都留有余量，以使余量范围内的信号不会发生限幅，防止了混叠失真。值得注意的是，数字分量方式对亮度信号中的同步部分不取样。

用 8 比特量化时，其储备电平为 0 和 255，用十六进制表示为 00 和 FF。数字电平的余量范围为 1~16 和 235~254，用十六进制表示为 01~10 和 EB~FE；1~254 代表亮度信号电平。消隐电平定为 16（十六进制数为 10），峰值白电平定为 235（十六进制数为 FB）。

值得注意的是：8 比特字的数字信号可以通过 10 比特字的数字设备和数字通路，只要在 8 比特的最低位后加两位 0 即可，在输出端再将两位 0 去掉，恢复 8 比特字数字信号。

色差信号的模拟电平与量化电平（即数字电平）之间的关系如图 1-3 和图 1-4 所示。应该注意到，色差信号是双极性的，而 A/D 变换器需要单极性信号，因此将 100%彩条的色差信号电平上移 350 mV，以适合 A/D 变换器的要求。对于 10 比特量化的色差信号可以表示成：

$$C_R = 896E_{CR} + 512, C_B = 896E_{CB} + 512 \quad (1-3)$$

图 1-3 示出  $C_B$  分量的模拟电平与 8 比特和 10 比特的量化电平之间的关系。图 1-4 示出  $C_R$  分量的模拟电平与 8 比特和 10 比特量化电平之间的关系。用 10 比特量化时，量化电平为十六进制数 004；3FB（十进制数表示为 4~1019），共 1016 级表示  $C_B$  和  $C_R$  信号。消隐电平（即零电平）定为 200（十六进制数）；模拟信号的最高正电平定为 3CD（十进制数为 960），最低的负电平定为 040（十进制数为 64）。所规定的顶部电平余量为 3CD~