

数字电视测量

余兆明 余智 李欣 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

数字电视测量

余兆明 余智 李欣 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

数字电视测量 / 余兆明等编著. —北京: 人民邮电出版社,
2008.7

ISBN 978-7-115-17851-0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 035993 号

内 容 提 要

本书系统地介绍并分析了数字电视测量原理、数字电视测量的主要参数、数字电视测量方法、测量仪器的使用及典型的测量实例等内容。数字电视测量与数字电视原理、数字电视传输与组网一起, 构成数字广播电视工程的关键技术。

本书内容丰富、系统性强、取材新颖、观点明确、易于理解。每一章节除了进行原理分析外, 还列举了各种曲线、图表和典型测试实例, 供读者查阅参考。本书可供高等院校广播电视专业、多媒体通信专业、宽带移动视频通信等相关专业的师生阅读, 也适用于电视台、广大电视设备的生产厂家和有关公司的工程技术人员和管理人员阅读。

数字电视测量

-
- ◆ 编 著 余兆明 余 智 李 欣
责任编辑 陈万寿
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京楠萍印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 14.5
字数: 354 千字
印数: 1-3 000 册
- 2008 年 7 月第 1 版
2008 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-17851-0/TN

定价: 33.00 元

读者服务热线: (010) 67129258 印装质量热线: (010) 67129223
反盗版热线: (010) 67171154

前 言

自从 1948 年提出视频数字化概念至今，视频编码压缩技术经历了近 60 年的发展历程，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，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。数字电视设备日新月异，数字摄像机、数字录像机、DVD、数字电视机顶盒、数字电视接收机、数字点播电视（VOD）、数字交互电视（ITV）、网络电视（IPTV）、全数字高清晰度电视、移动车载数字电视、手机电视等，逐步形成整个电子行业潮流的主导，已如日中天。我国也正处于数字电视普及推广应用阶段。

本书系统地介绍并分析了数字电视测量原理、数字电视测量的主要参数、数字电视测量方法、测量仪器的使用及典型的测量实例等内容。数字电视测量和数字电视原理、数字电视传输与组网一起，构成数字电视工程的关键技术。本书有助于读者对数字电视原理、数字电视传输与组网技术的全面认识和理解。

本书内容丰富、系统性强、取材新颖、观点明确、易于理解。每一章节除了进行原理分析外，还列举了各种曲线、图表和典型测试实例，供读者查阅参考。本书可供高等院校广播电视专业、多媒体通信专业、宽带移动视频通信等相关专业的师生阅读，也适合电视台、广大电视设备的生产厂家和相关公司的工程技术人员和管理人员阅读。

本书第一作者从事视频数字化技术的教学和科研工作已 20 多年。为配合数字电视测量技术教学，帮助从事数字电视测量的工程技术人员更深入地了解数字电视测量技术中的基本知识、基本原理，数字电视测量技术中各项关键技术，我们通过对数字电视测量技术大量相关资料的阅读、消化、理解，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。每一章除了进行技术分析外，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。全书共分 8 章。第 1 章介绍电视传输系统；第 2 章介绍数字电视模拟域测试；第 3 章介绍基带数字电视系统及测试；第 4 章介绍电视播控系统测量；第 5 章介绍数字电视射频（RF）系统的测量；第 6 章介绍数字音频的结构及测量；第 7 章介绍数字视频质量的主、客观评价方法；第 8 章介绍数字电视测量仪器；最后是附录，收录与数字电视测量相关的技术指标，以及相关标准。第 1、2 章由李欣老师编写，第 3、7、8 章由余智博士编写，第 4、5、6 章由余兆明教授编写。全书的结构安排与审校工作均由余兆明教授完成。

本书也是《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）、《数字电视设备及测量》（2000 年人民邮电出版社出版，余兆明、李晓飞、陈来春编著）、《数字

电视传输与组网》(2003年人民邮电出版社出版,余兆明、余智编著)、《数字电视原理》(2004年人民邮电出版社出版,余兆明、余智编著)、《数字电视原理习题及解答》(2005年人民邮电出版社出版,余兆明、孙海安、徐栋梁编著)、《图像编码标准中的H.264技术》(2006年人民邮电出版社出版,余兆明、查日勇、黄磊、周海骄编著)、《移动数字电视技术》(2007年人民邮电出版社出版,余兆明、余智编著)等书的姊妹篇。希望本书能为从事数字电视测量教学、数字电视设备研制和从事数字电视传输组网与推广应用的工程技术人员,稍尽绵薄之力。

我们对关心本书的所有同仁深表谢意。由于数字技术的发展一日千里,数字电视设备不断推陈出新,相关文献浩如烟海,书中的疏漏之处还望读者不吝赐教。读者可将宝贵意见和建议发至编辑电子邮箱 chenwanshou@ptpress.com.cn。

作者

目 录

第1章 电视传输系统	1	3.3.1 误码率	59
1.1 模拟分量信号传输系统	1	3.3.2 信噪比	61
1.2 数字电视传输系统	2	3.3.3 信号抖动	61
1.3 数字电视传输系统总图	4	3.3.4 传输码流格式	62
第2章 数字电视模拟域测试	6	3.4 数字电视基本参数测量	64
2.1 模拟视频测试信号	6	3.4.1 抖动的测量	64
2.2 模拟彩色电视信号波形的认识	12	3.4.2 误码率的测量	73
2.3 模拟视频信号基本参数的测量	15	3.4.3 数字输出接口参数测量	75
2.3.1 视频信号电平及介入增益的测量	15	3.4.4 信噪比的测量	80
2.3.2 视频杂波的测量	17	3.5 基带数字系统测试	82
2.4 视频非线性失真的测量	20	3.6 数字电视综合测试图及其测量	86
2.5 视频线性失真	25	3.6.1 黑白图像测试卡	86
2.5.1 幅频特性失真	26	3.6.2 彩色图像测试卡	87
2.5.2 群时延特性失真	28	3.6.3 数字电视综合测试图制作方法	87
2.5.3 亮度信号波形失真	28	3.7 波带图信号及其测量	92
2.5.4 亮度信号线性失真 K 系数评价法	31	3.7.1 空间频率和空间频谱	92
2.5.5 色度信号的波形失真	33	3.7.2 波带图信号	95
2.5.6 色度—亮度增益差	33	3.7.3 采用波带图信号对数字电视系统进行测试	98
2.5.7 色度—亮度时延差	33	第4章 电视播控系统测量	100
2.6 插入测试行信号测量	35	4.1 数字电视播出前端 MPEG 码流监测	100
2.6.1 国际插入测试行信号	36	4.2 数字视频通路的测量	104
2.6.2 国内插入测试行信号	37	第5章 数字电视射频 (RF) 系统的测量	107
第3章 基带数字电视系统及测试	39	5.1 数字电视 RF 测量参数	107
3.1 视频信号数字化及数字视频链路接口	39	5.2 数字电视发射机的射频 (RF) 测量实例	116
3.2 视频数字化测试信号	49	5.3 数字卫星电视广播接收机的测量	118
3.3 数字电视测量的基本参数	59		

5.3.1 天线系统	118	第 6 章 数字音频的结构及测量	167
5.3.2 低噪声下变频器 (LNB)	119	6.1 ANSI/SMPTE 标准中的数字	
5.3.3 综合接收解码器 (IRD)	119	音频结构	167
5.3.4 参数要求	119	6.2 系统化的 AES/EBU 数字音频	170
5.3.5 参数测量	120	6.3 数字音频通路的测量	186
5.3.6 卫星数字电视广播系统及其测试	125	第 7 章 数字视频质量的主、客观	
5.3.7 卫星数字电视广播电子调谐器基本参数要求及试验方法	127	评价方法	187
5.4 数字有线电视系统的测量	130	7.1 数字视频质量评价研究现状	187
5.4.1 DVB-C 数字电视系统测试	130	7.2 数字电视图像质量的主观评价	187
5.4.2 DVB-C 数字电视系统测试项目	131	7.3 数字视频客观质量评价	190
5.4.3 数字有线电视系统的实时监测	132	7.4 典型模型分析	194
5.4.4 数字有线电视广播电子调谐器基本参数要求及测试方法	138	第 8 章 数字电视测量仪器	201
5.4.5 DVB-C 的技术参数和测试方法	143	附录 1 广播电视短程光缆传输技术参数 (GB 12365-90)	212
5.5 数字地面电视广播接收机的测量	157	附录 2 RCA 复合视频输出特性	215
5.5.1 数字电视接收机 EMC 测试探讨	157	附录 3 机顶盒指标	217
5.5.2 地面数字电视广播电子调谐器基本参数要求及试验方法	161	附录 4 VCD、SVCD 指标	219
5.5.3 测试方法	164	附录 5 数字视频相关标准	220
		附录 6 广电网络码流监视方案	221
		参考文献	224

第 1 章 电视传输系统

电视技术经历了黑白电视、彩色电视、数字电视 3 个发展阶段，前两者为模拟电视。在我国，目前正处在数字电视的普及过渡阶段，但在这个阶段仍有模拟技术应用于电视传输系统之中，在此对模拟技术一并加以简单介绍。

1.1 模拟分量信号传输系统

1. RGB 分量信号传输

摄像机将摄取的图像光束分解为 3 种基色：红 (R)、绿 (G) 和蓝 (B)。其中感光器件将这样的 3 种光信号分别转换为相应的电信号。图 1.1 是 R 、 G 、 B 分量信号最简单的连接线路，由摄像机输出的信号直接送入图像监视器。

由于传送的 3 个基色信号分别由不同的通道传送，互相间没有相互的干扰，因而这种传输系统可用来产生从摄像机到显示器的高质量图像，目前有少数电视演播室在使用。

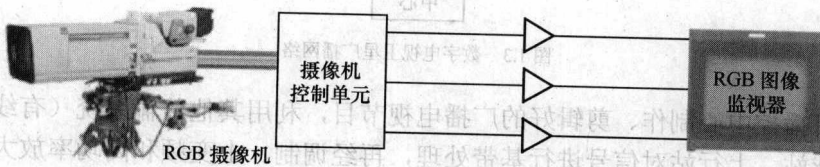


图 1.1 摄像机的 RGB 信号与监视器直接相连

2. Y 、 C_b 、 C_r 分量信号传输

上面的 R 、 G 、 B 分量信号传输因其带宽要求高（每个分量需 6MHz），在实际中很少使用，而是将 R 、 G 、 B 信号转换成亮度信号 Y ，2 个色差信号 C_b 、 C_r 分别在 3 个通道中传输，在接收端恢复为 R 、 G 、 B 分量信号显示。亮度信号 Y 的带宽为 4.2MHz（NTSC 制）和 5.0~6MHz（PAL 制），两个色差信号带宽不超过 1.5MHz。单芯同轴电缆传输如图 1.2 所示。

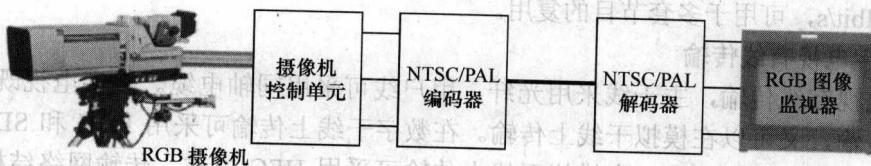


图 1.2 编码为 NTSC 或 PAL 后的视频信号沿单芯同轴电缆传输

1.2 数字电视传输系统

数字电视传输系统根据其传输信道的不同,可分为卫星传输、有线传输和地面广播 3 大类。

1. 数字电视卫星传输

数字电视卫星广播网络(简称卫星直播系统)是把数字电视节目信息集中经卫星地面发射站用微波发送到离地面 $3.8 \times 10^4 \text{ km}$ 高度的同步卫星上,同步卫星用微波转发回地面,用户电视机通过小型卫星接收天线和卫星制式机顶盒收视卫星数字电视节目。根据电波传播原理,卫星数字电视广播信道是微波直线传播的恒参信道,传输功率效率是其主要矛盾。

数字电视卫星系统由节目播控中心、上行地球站、广播卫星、卫星电视接收站和遥测遥控跟踪站 5 部分组成,如图 1.3 所示。

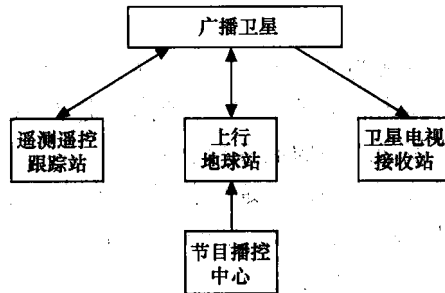


图 1.3 数字电视卫星广播网络

首先节目播控中心制作、剪辑好的广播电视节目,利用其他传输系统(有线等)将节目送往上行地球站。上行站对信号进行基带处理,再经调制、上变频和高功率放大,由天线向卫星发送上行信号。同时也接收卫星转发的下行信号,以监视节目传输质量。卫星广播系统的核心是广播卫星,其星载转播天线和转发器完成接收上行信号,经低噪声放大、下变频与功率放大后,再转发到接收服务区。卫星电视接收站可以个体、集体、无线收转、有线电视网收转等方式接收下行信号。遥测遥控跟踪站与广播卫星的遥测遥控跟踪系统相结合,测量卫星的各种工作参数,测控卫星的轨位和姿态,对卫星实施各种功能和状态的切换。

卫星传输具有覆盖面广、节目容量大、传输质量高等特点。数据流采用四相相移键控调制(QPSK)方式,工作频率为 $4/12 \text{ GHz}$ 。在使用 MPEG-2 格式时,用户端若达到 CCIR 601 演播室质量,码率为 9 Mbit/s ;达到 PAL 质量,码率为 5 Mbit/s 。一个 54 MHz 转发器传送速率可达 68 Mbit/s ,可用于多套节目的复用。

2. 数字电视有线传输

数字电视有线传输,主干线采用光纤,用户线可采用同轴电缆。数字电视既可以在数字干线上传输,又可以在模拟干线上传输。在数字干线上传输可采用 PDH 和 SDH 方式,可通过我国电信公用网传输。在模拟干线上传输可采用 HFC 方式。传输网络结构如图 1.4 所示。

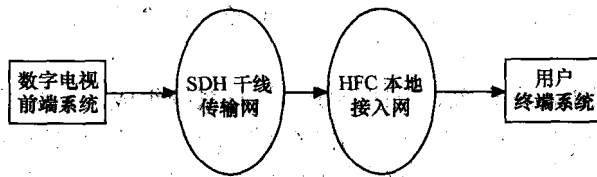


图 1.4 数字电视有线传输网络

前端设备系统是数字电视前端的核心部分，它包含节目的采集、编码、复用、调制等功能。系统前端可从卫星和地面发射获得信号，也可经 MPEG-2 编码压缩相关的视音频信号。传输平台包括 SDH 干线传输网和 HFC 本地接入网组成。用户终端系统主要指的是机顶盒，它是用户收看数字电视和接收各种数字电视应用业务的终端设备，它将接收到的数字电视信号进行转换，转换成电视机能够识别的信号供用户使用，同时要支持前端业务系统提供的所有业务。

数字有线电视广播系统标准具有 16、32、64QAM（正交调幅）3 种调制方式，工作频率在 10GHz 以下。采用 64QAM 时，一个 PAL 通道的传送码率为 41.34Mbit/s，可用于多套节目的复用。

3. 数字电视地面广播传输

数字地面电视广播系统是最复杂的传输系统。由于地面广播面对的环境非常复杂，在城市要对付楼宇造成的多径干扰情况，在农村要面对起伏的丘陵地形，或者是水面的镜面反射，而在移动接收环境（汽车、高铁、磁悬浮等）下，还需要对抗高速的动态衰落信道。

数字电视地面广播系统由前端系统、传输网络、发射系统和接收系统组成，如图 1.5 所示。

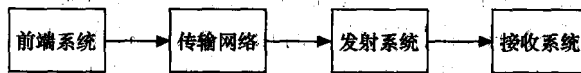


图 1.5 数字地面电视广播系统

前端系统由视音频编码器、数字视音频码流服务器、播出控制软件等设备组成，主要完成节目的制作、编辑、播出控制、视音频编码、数据协议转换、码流复用、单频网适配等任务。传输网络上接单频网适配器、下连单频网同步系统，主要由发送网络适配、网络分配、接收网络适配器等部分组成，主要任务是将数字电视码流传输到发射系统，并完成码流的恢复和同步等，系统前端一般与发射系统不在同一处，在单频网模式下，一般有多个发射系统。发射系统的主要作用是组成单频网，以实现地面广播覆盖。它由传输网络与发射台组成，各发射台中有调制器（包含单频网适配器）和发射机。接收设备主要包括移动接收天线、移动接收机、移动接收控制软件、移动存储软件、显示屏等。

地面数字电视发射的传输容量理论上与有线电视系统相当，本地区覆盖较好。采用抗干扰能力较强的编码正交频分复用（COFDM）调制方式，在 8MHz 带宽内能传送 4~6 套电视节目，传输质量高，但接收费用也高。

4. 移动数字电视传输

移动数字电视属于地面数字电视技术。

随着手机视频通信的不断发展，移动数字电视传输系统的发展越来越广泛。无线移动数

字图像传输系统的研发可以极大地提高传输覆盖半径及传输质量,更好地为广电系统现场直播等活动服务。

数字移动电视系统由前端系统、发射系统和接收系统组成。系统框图如图 1.6 所示。

移动数字电视的前端系统是将经过 MPEG 编码压缩的视音频信号及其他经过协议转换的数据进行打包,并结合具体的业务要求将复用后的码流送给传输网络。移动数字电视发射系统由传输网络与发射台组成,经过传输网络送来的数字电视信号进行调制,并由节点发射台将信号通过无线方式发射。接收系统由高频头、解调器及解复用器等部分组成,是将接收到的射频信号转换成解调器可以接收的中频或基带调制信号,并进行与发射端互逆的解调和解复用过程,再后是进行信源解压缩,最终按照用户的要求输出视、音频信号。

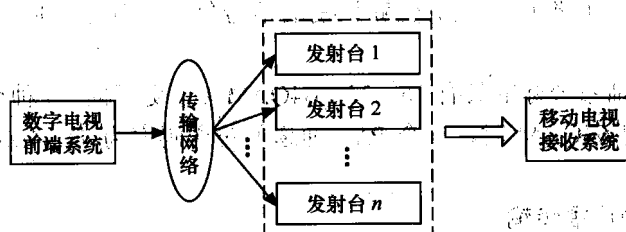


图 1.6 移动数字电视传输系统

移动数字电视传输系统目前主要有基于多载波的 OFDM 调制方式和基于单载波的 40QAM 调制方式。目前市场上现有国产 OFDM 产品大都采用进口模块,这种“黑匣子”内嵌编码和调制单元,对外仅提供模拟视音频和 RF 接口,目前多采用点对点传输,或由多个发射点组合成“单频网络”传输系统,以覆盖大片地区。40QAM 调制技术是基于单载波的时域处理技术,采取时域 PN 序列同步技术、时域信号处理技术、时域/频域滤波处理,从而能够快速捕获/恢复信号;它还采用了双导频同步等机制,配合强大的能量合并均衡技术,可以在快速动态衰落信道下可靠同步;在信道纠错编码方面,它没有采用 OFDM 系统普遍使用的 TCM+RS 编码方式,而是采用了更为先进的 LDPC 编码方式,进一步有效降低了接收门限。除此以外,还考虑到移动数字电视中手机电视信道传输带宽相对较窄,信源编码标准选用压缩比更高的 H.264 标准。

1.3 数字电视传输系统总图

图 1.7 为数字电视传输系统网络拓扑图,此网络完成 3 种主要传输系统的传输功能。

传输的前端,也就是数字电视信号的来源,可以来自于卫星信号、省级 SDH 干线传送的电视信号以及本地编码的电视节目。接收到的信号经过复用/加扰后,可通过各种方式继续传输:首先可以通过本地的 HFC 接入网将有线电视信号传送到用户家中,用户利用机顶盒和电视接收机接收电视信号;其次可通过数字 MMDS 微波系统发射数字电视信号;通过再次复用的信号还可送入 SDH 传输系统,向下一级地市传送。

第1章 电视传输系统

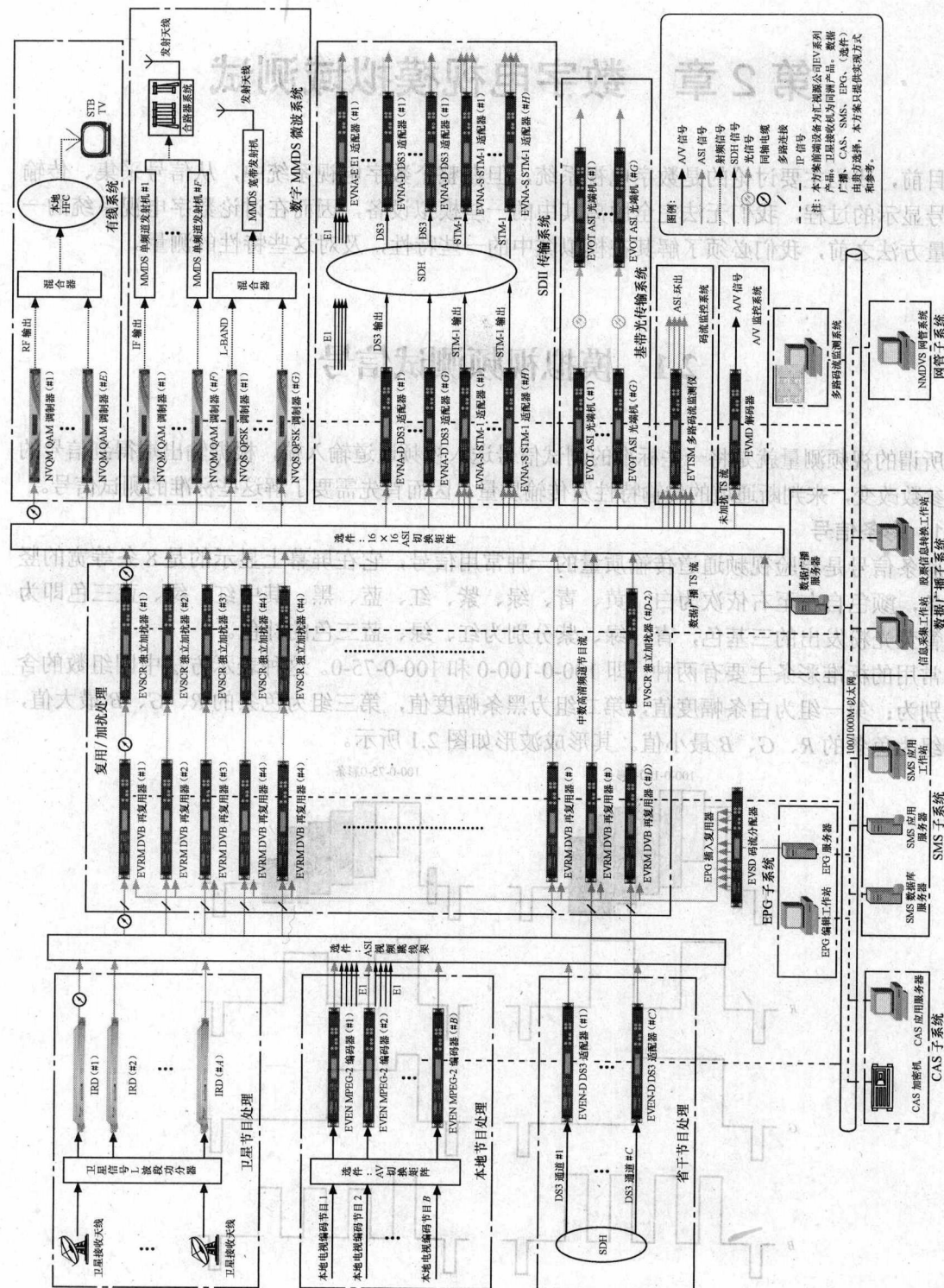


图 1.7 数字电视传输系统总图

第2章 数字电视模拟域测试

目前，我们主要讨论的是数字电视系统，但在整个数字电视系统中，从信号采集、传输到信号显示的过程，我们无法完全脱离其中的一些模拟设备，因而在讨论数字电视系统的一些测量方法之前，我们必须了解其在模拟域中的一些特性，及对这些特性的测量。

2.1 模拟视频测试信号

所谓的视频测量就是将一些标准的测试信号送入视频通道输入端，根据输出端得到信号的一些参数改变，来判断通道的传输特性及传输质量。因而首先需要了解这些标准的测试信号。

1. 彩条信号

彩条信号是检验视频通道传输质量的一种常用信号，它在屏幕上显示的是8条等宽的竖直色条，颜色自左至右依次为白、黄、青、绿、紫、红、蓝、黑。其中红、绿、蓝三色即为显像管荧光粉发出的三基色，青、绿、紫分别为红、绿、蓝三色的补色。

常用的标准彩条主要有两种，即100-0-100-0和100-0-75-0。这种表示方法中四组数的含义分别为：第一组为白条幅度值，第二组为黑条幅度值，第三组为色条的 R 、 G 、 B 最大值，第四组为色条的 R 、 G 、 B 最小值。其形成波形如图2.1所示。

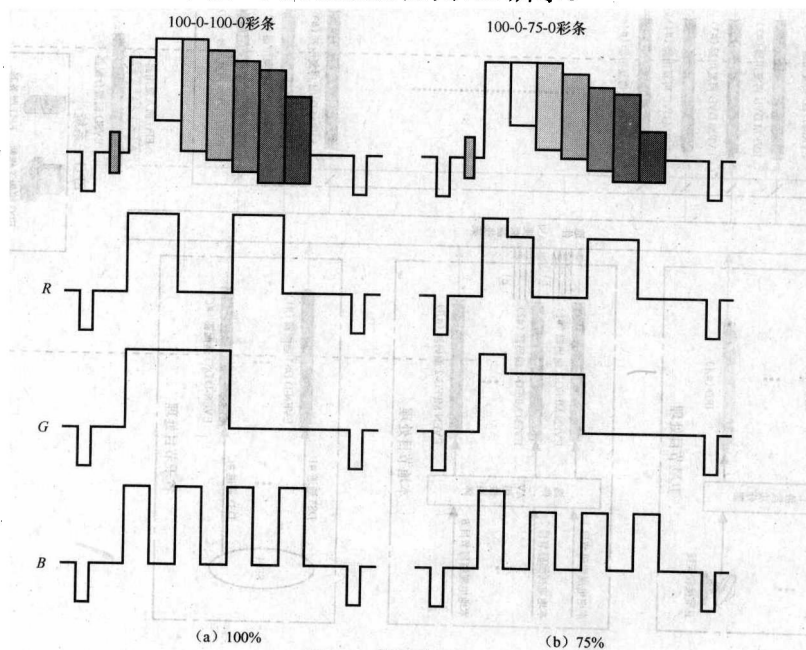


图 2.1 彩条信号

以上两种彩条也就是我们通常所说的 100%彩条和 75%彩条。由于 100%彩条对传输通道的动态范围要求较高，对于一般的电路常常无法满足这个要求，在传输过程中会引起严重的失真。因而在实际测试中我们主要采用的是 75%标准彩条。图 2.2 为 75%彩条信号的波形图及参数。

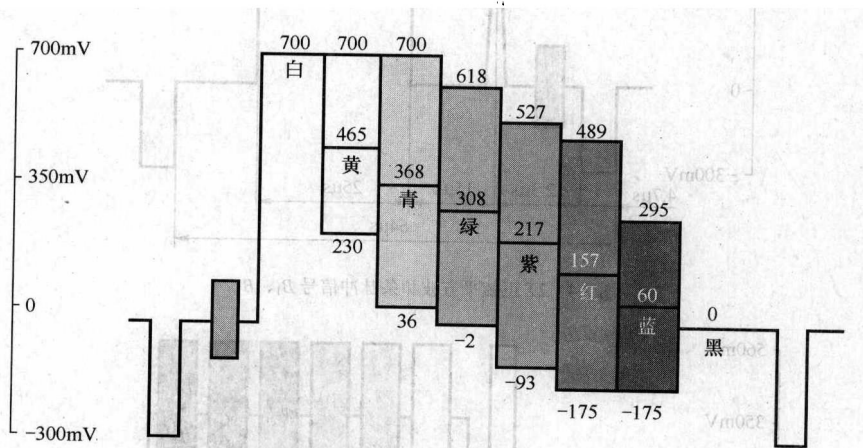


图 2.2 75%标准彩条

彩条信号正确地反映出电视信号各彩色的亮度、色饱和度和色调等基本信号，常用于检验视频通道传输质量。例如电视台将彩条信号作为开播前的信号，以供全系统的初始调试，对应的家庭电视接收也可用此信号检验是否有图像，颜色是否正确。

2. 场方波信号 A

方波幅度 700mV，宽度 10ms，见图 2.3，用于场时间波形失真测量。

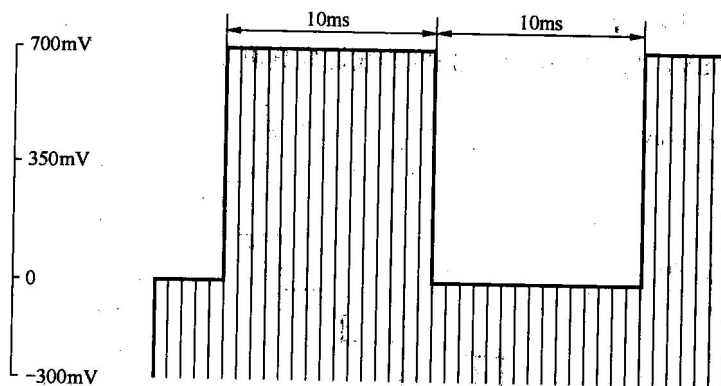


图 2.3 场方波信号 A

3. 2T 正弦平方波和条脉冲信号 B₁、B₃

正弦平方波半幅宽 2T (166.6ns)，条脉冲宽度 25μs，如图 2.4 所示，用于行时间、短时间波形失真测量。

4. 多波群信号 C

基线电平 350mV，多波群幅度 420mV，频率分别为 0.5、1.5、2.5、4.0、4.8、5.8MHz。见图 2.5，用于幅频特性的测量。

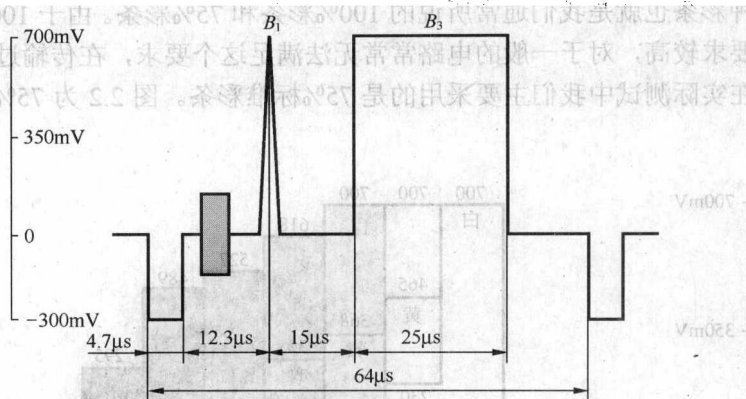


图 2.4 2T 正弦平方波和条脉冲信号 B_1 、 B_3

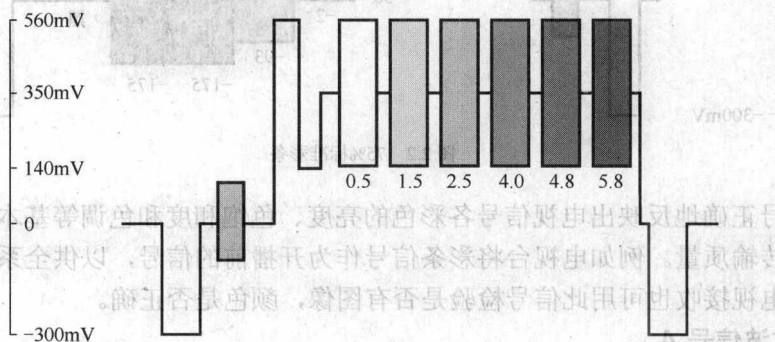


图 2.5 多波群信号 C

5. 阶梯波信号 D_1

台阶电平 140mV；见图 2.6，用于亮度非线性失真测量。

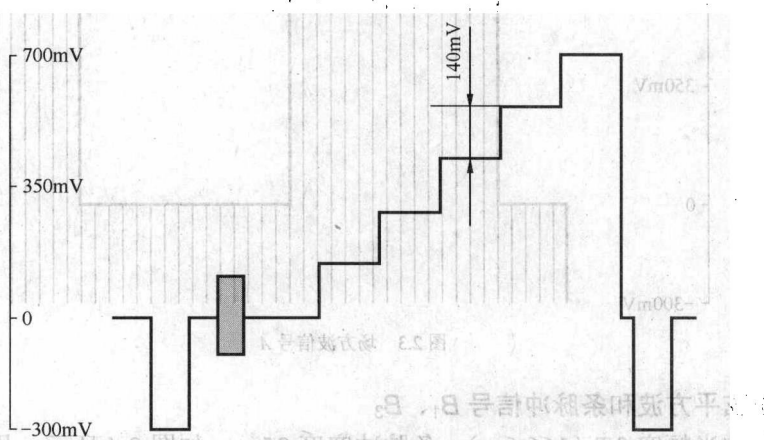


图 2.6 阶梯波信号 D_1

6. 阶梯波叠加副载波信号 D_2

台阶电平 140mV，叠加副载波幅度 280mV，见图 2.7，用于微分增益和微分相位的测量。

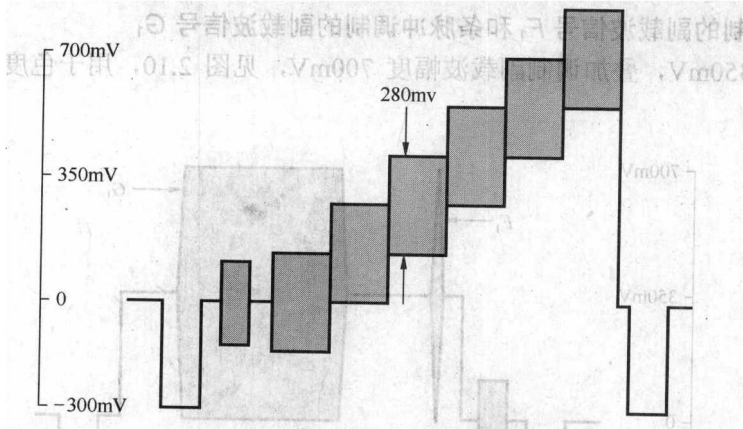


图 2.7 阶梯波叠加副载波信号 D_2

7. 250kHz 方波信号 E

方波幅度 700mV，宽度 $2\mu\text{s}$ ，脉冲沿建立时间 $T/2$ ，见图 2.8，用于过冲失真的测量。

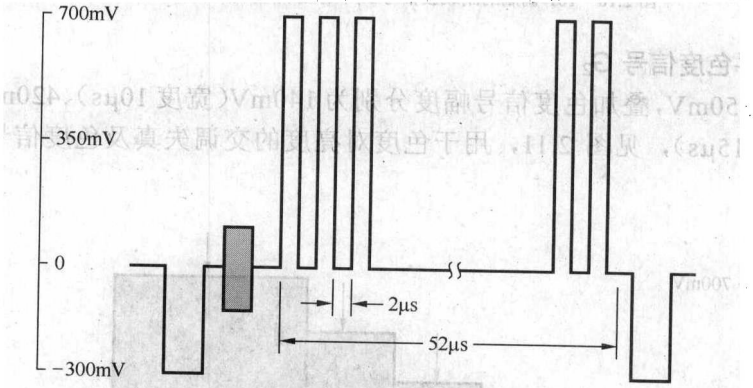


图 2.8 250kHz 方波信号 E

8. 副载波填充的 10T 信号 F 和副载波填充的条脉冲信号 G

脉冲 F 半幅宽 10T (833ns)，条脉冲 G 宽度 $25\mu\text{s}$ ，见图 2.9；用于色度—亮度不等性测量。

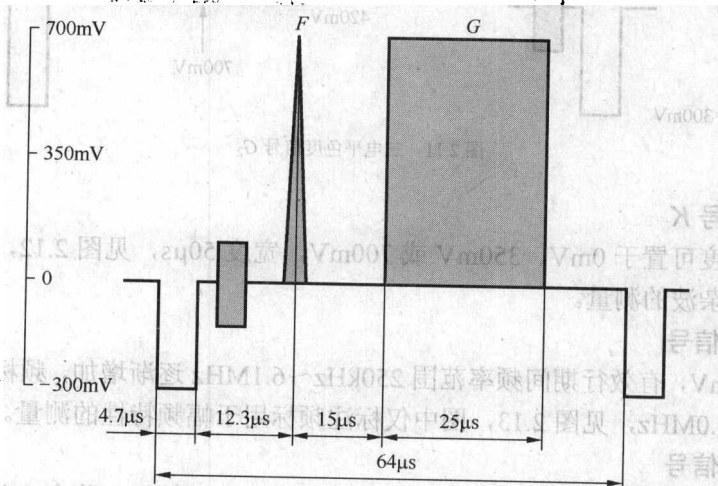


图 2.9 副载波填充的 10T 信号 F 和副载波填充的条脉冲信号 G

9. 10T调制的副载波信号 F_1 和条脉冲调制的副载波信号 G_1

基线电平 350mV，叠加调制副载波幅度 700mV，见图 2.10，用于色度对亮度的交调失真测量。

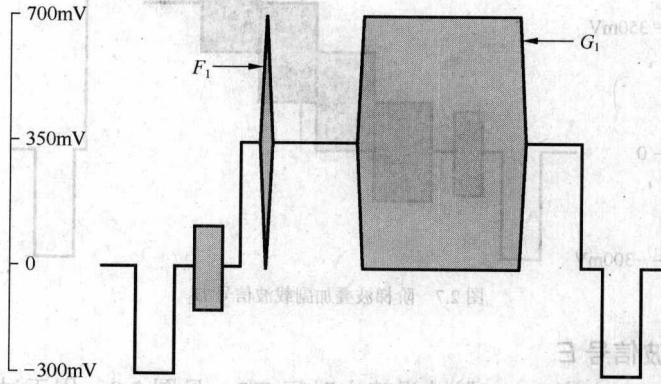


图 2.10 10T调制的副载波信号 F_1 和条脉冲调制的副载波信号 G_1

10. 三电平色度信号 G_2

基线电平 350mV，叠加色度信号幅度分别为 140mV(宽度 $10\mu\text{s}$)、420mV(宽度 $10\mu\text{s}$)、700mV(宽度 $15\mu\text{s}$)，见图 2.11，用于色度对亮度的交调失真及色度信号的非线性失真测量。

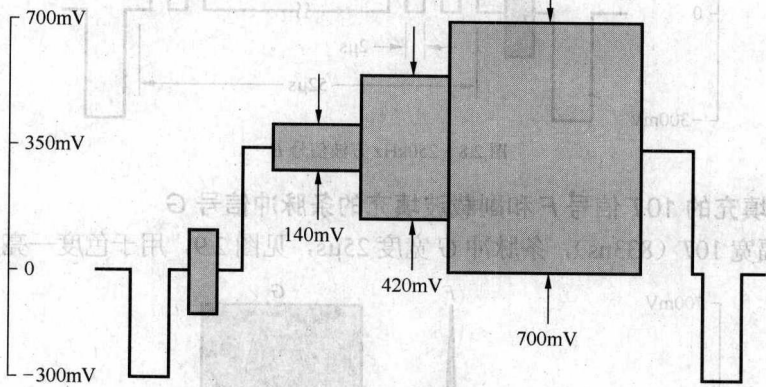


图 2.11 三电平色度信号 G_2

11. 平场信号 K

平场信号幅度可置于 0mV、350mV 或 700mV，宽度 $50\mu\text{s}$ ，见图 2.12，用于长时间波形失真测量和视频杂波的测量。

12. 行扫频信号

幅度为 700mV，有效行期间频率范围 250kHz~6.1MHz 逐渐增加，频标分别为 1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0MHz，见图 2.13，图中仅标注频标用于幅频特性的测量。

13. 多脉冲信号

幅度 700mV，所含频率分别为 1.0、2.0、4.0、4.8、5.8MHz，除含 1.0MHz 脉冲半副宽