

数字电视原理与应用

金 明 编著

SHUZI DIANSHI YUANLI YU YINGYONG

全国电子信息类
职业教育实训系列教材

东南大学出版社

内容提要

本书从人眼的视觉出发,系统地介绍了模拟电视信号的参数及三大彩色制式原理;从现行模拟电视的缺陷,介绍了数字电视信号参数的选择及 HDTV 和 SDTV 数字电视演播室标准;全面地讨论了数字电视信号的数字原理、数据压缩编码原理、数字电视的信源编码、信道编码和数字调制原理及应用;介绍了目前国际上已实施的 DVB-S、DVB-C、DVB-T、ATSC 和 ISDB-T 数字视频广播系统,以及条件接收、交互电视和视频点播系统的基本概念;重点介绍了当前市场流行的几种机顶盒,并举例进行了分析。

本书的特点是通俗易懂,去除了繁琐的数学推导,用最直观的实例进行定性分析,能满足一般工程技术人员的需要。

本书可作为高职高专院校广播电视工程、通信工程及电子信息工程等专业教材,也可以供广播电视领域内的工程技术人员作为参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电视原理与应用/金明编著. —南京:东南大学出版社,2005.6

ISBN 7-81089-918-X

I. 数... II. 金... III. 数字电视-高等学校:技术学校-教材 IV. TN949.197

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 044760 号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 南京京新印刷厂印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:12.5 字数:312 千字

2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月第 1 次印刷

印数:1-4000 册 定价:19.00 元

(凡有印装质量问题,可直接向发行部调换。电话:025-83795801)

出版说明

全国电子信息类职业教育教学改革与教材建设第二次研讨会于2004年4月17日在山西省电子工业学校召开,历时4天。

本次会议总结了2003年教材建设的经验,并提出了第二批教材建设的四项原则:一是求实的原则:编写的教材必须结合职业教育的特点,高质量、高标准;二是协作的原则:编委会打造了一个平台,各校通过参与教材建设,能够提高本校的教学质量,培养一批优秀的教师;三是民主的原则:编委会是一个民间组织,坚持民主的原则,通过协商共同开展教材建设;四是联系的原则:编委会每年至少召开一次会议,组织学校开展教学交流和教材建设。为了更好地开展教材建设,编委会建议将原来的“全国电子信息类职业教育实训教材编委会”更名为“全国职业教育电子信息类教材编委会”。

与会代表认真地总结了首批教材建设的经验,提出了教材编写的要求:坚决贯彻职业教育的要求,即基础适度够用、加强实践环节、突出职能教育,把握职业教育电子信息类专业课程建设的特点;立足当前学生现状,面向用人单位(市场),打破条条框框,少一些理论,多一些技能教育;采取逆向思维的方式编写,即从市场需要什么技能来决定学生需要什么知识结构,并由此决定编写什么教材。

参加教材编写的单位有:

山东信息职业技术学院

福建省电子工业学校

扬州电子信息学校

河南信息工程学校

大连电子工业学校

黑龙江信息技术职业学院

本溪财贸学校

湖北三峡职业技术学院

四川省电子工业学校

本溪电子工业学校

内蒙古电子信息职业技术学院

南京信息职业技术学院

长沙市电子工业学校

山西综合职业技术学院

北京信息职业技术学院

锦州铁路运输学校

山西省邮电学校

新疆机械电子职业技术学院

山西工程职业技术学院

哈尔滨机电工程学校

上海机电工业学校

贵州省电子工业学校

全国职业教育电子信息类教材编委会

2004年8月

前 言

随着电子科技的迅猛发展,数字电视工业在我国已形成了一个新的产业。与之相适应,不可避免地需要大量的高级技术人员。本书的特色是,以实用为基础,以够用为前提,系统地叙述了数字电视的原理及应用,去除了繁琐的数学推导,代之以简单明了的定性分析,力求做到言之有理、言之有据、言之有用。本书的宗旨是,以理论学习为基础,以技能培养为前提,系统地培养学生的自学能力,去除了繁琐的理论论述,代之以典型实例,力求做到学生能学、会学、想学。

本书是一本介绍数字电视原理与应用的高职高专的专业课教材,全书共分9章,分别叙述了电视的基本知识、兼容制彩色电视原理、数字电视标准、图像压缩编码原理、数字电视信号的信源编码、数字电视信号的信道编码、数字基带传输与数字调制、数字视频广播系统、数字电视机顶盒等。

由于各院校情况不同,本课程教学学时数可根据具体情况灵活安排,但一般情况下,建议教学参考学时数为80学时左右。

本书在编写过程中,得到南京信息职业技术学院华永平副教授、杜庆波高级工程师和沈许龙工程师等领导和教师的大力支持,刘大会教授审读了本书,编者在此表示衷心感谢。

由于数字电视原理是一门新型课程,加上编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2005年3月

目 录

1 电视的基本知识	(1)
1.1 电视的基本理论	(1)
1.1.1 图像顺序传送	(1)
1.1.2 光电转换原理	(2)
1.2 电视的基本参数	(6)
1.2.1 视力范围与电视机屏幕形状	(6)
1.2.2 人眼视觉的适应性与电视图像的亮度、对比度和灰度	(6)
1.2.3 人眼的视力与电视的扫描行数	(7)
1.2.4 人眼的视觉惰性 with 图像场频	(7)
1.2.5 电视信号的带宽	(8)
1.3 电视扫描原理	(8)
1.3.1 隔行扫描	(9)
1.3.2 逐行扫描	(10)
1.4 黑白全电视信号	(11)
1.4.1 黑白图像信号	(11)
1.4.2 复合消隐信号与复合同步信号	(12)
1.4.3 黑白全电视信号	(13)
2 兼容制彩色电视原理	(15)
2.1 人眼的视觉特性与彩色电视系统	(15)
2.1.1 可见光与彩色三要素	(15)
2.1.2 物体的颜色	(16)
2.1.3 彩色光的复合与分解	(16)
2.1.4 三基色原理及混合方法	(16)
2.1.5 人眼的彩色视觉	(17)
2.1.6 XYZ 色度图与亮度方程	(17)
2.2 彩色电视的制式	(19)
2.2.1 彩色电视系统的兼容	(19)
2.2.2 实现兼容的基本措施	(19)
2.2.3 NTSC 制	(21)
2.2.4 PAL 制	(24)
2.2.5 SECAM 制彩色电视	(28)
2.2.6 彩条全电视信号	(29)
3 数字电视标准	(34)
3.1 数字电视概述	(34)
3.1.1 数字电视的优点	(34)

3.1.2	数字电视的发展	(36)
3.2	数字电视系统结构	(37)
3.3	数字电视信号的标准	(37)
3.3.1	图像取样格式	(37)
3.3.2	数字电视信号的量化	(39)
3.3.3	标准清晰度数字电视标准	(43)
3.3.4	数字高清晰度电视标准	(48)
4	图像压缩编码技术	(54)
4.1	图像压缩编码的机理和编码过程	(54)
4.1.1	图像数据压缩机理	(54)
4.1.2	图像压缩编码的过程	(55)
4.1.3	图像压缩编码的算法	(56)
4.2	预测编码	(57)
4.2.1	DPCM(差分脉冲编码调制)的原理	(57)
4.2.2	预测器的系数	(58)
4.2.3	预测方法	(59)
4.2.4	运动补偿预测	(59)
4.3	统计编码	(63)
4.3.1	统计编码的原理——信息量与信息熵	(63)
4.3.2	Huffman(哈夫曼)编码	(64)
4.3.3	算术编码	(66)
4.4	变换编码	(68)
4.4.1	变换的物理意义	(68)
4.4.2	变换编码的系统框图	(69)
4.4.3	离散余弦变换(DCT)	(69)
4.5	子带编码	(72)
4.5.1	子带编码的原理	(73)
4.5.2	子带滤波分解	(73)
5	数字电视信号的信源编码	(75)
5.1	帧内编码	(75)
5.1.1	JPEG 标准	(75)
5.1.2	JPEG 编码原理	(75)
5.1.3	JPEG 解码原理	(81)
5.2	数字电视视频信号的帧间编码	(82)
5.2.1	MPEG 标准简述	(82)
5.2.2	MPEG 的编码	(86)
5.2.3	视频编码的码流结构	(88)
5.3	数字电视音频信号的压缩编码	(89)
5.3.1	人耳的听觉特性	(89)
5.3.2	MPEG1 音频压缩编码	(90)

5.3.3	MPEG1 音频解码原理	(92)
5.3.4	AC-3 编码	(92)
5.4	数字电视的基本数据流	(93)
5.4.1	数字电视的系统复用	(93)
5.4.2	数字电视的多路节目双层复用	(94)
6	数字电视信号的信道编码	(97)
6.1	信道编码概述	(97)
6.1.1	信道编码的原因与要求	(97)
6.1.2	误码产生的原因	(98)
6.1.3	误码的形成	(99)
6.1.4	误码率与降低误码率的方法	(99)
6.1.5	信道编码的原理	(100)
6.2	检错纠错码	(101)
6.2.1	检错纠错码概述	(101)
6.2.2	检错纠错码的分类	(101)
6.2.3	检错纠错码的能力	(102)
6.3	线性分组码	(104)
6.3.1	线性分组码	(104)
6.3.2	循环码	(105)
6.4	RS(里德-所罗门)码	(107)
6.4.1	RS 码的生成	(107)
6.4.2	RS 码的纠错原理	(108)
6.5	交织码	(109)
6.6	卷积码	(111)
6.6.1	卷积码的编码原理	(111)
6.6.2	卷积码与格状图	(112)
6.6.3	卷积码的收缩	(113)
6.6.4	格栅编码调制(TCM)	(113)
6.6.5	TCM 的维特比(Viterbi)译码	(117)
7	数字基带传输与数字调制	(120)
7.1	数字基带传输	(120)
7.1.1	数字基带传输系统	(120)
7.1.2	数字基带信号	(121)
7.1.3	数字基带信号的常用码型	(122)
7.1.4	无码间干扰基带传输	(124)
7.2	数字调制	(130)
7.2.1	数字调制概述	(130)
7.2.2	二进制数字调制	(131)
7.2.3	多进制数字调制	(135)
8	数字视频广播系统	(144)

8.1	数字广播电视发送系统组成方框图	(144)
8.2	DVB 数字视频广播电视系统	(145)
8.2.1	DVB 的技术特点	(145)
8.2.2	DVB 系统的主要标准	(146)
8.2.3	DVB 系统的核心技术	(147)
8.2.4	DVB-S(卫星)	(148)
8.2.5	DVB-C(有线)	(152)
8.2.6	DVB-T(地面)	(154)
8.3	ATSC 数字电视系统	(155)
8.3.1	系统概况	(156)
8.3.2	ATSC 系统复用	(157)
8.3.3	射频/传输子系统特性	(158)
8.4	ISDB-T 数字电视系统	(159)
8.4.1	ISDB-T 的传送带宽	(159)
8.4.2	传送信号形式	(160)
8.5	数字电视的特殊功能	(160)
8.5.1	条件接收	(160)
8.5.2	交互式电视	(162)
8.5.3	视频点播系统	(166)
9	数字电视机顶盒	(169)
9.1	机顶盒的功能	(170)
9.2	机顶盒的基本结构及原理	(170)
9.2.1	机顶盒的结构要求	(170)
9.2.2	机顶盒的工作原理	(171)
9.2.3	有线数字机顶盒系统结构	(171)
9.2.4	机顶盒的关键技术	(172)
9.2.5	软件机顶盒技术	(174)
9.3	目前各主要公司生产的机顶盒介绍	(175)
9.3.1	ST 公司 DVB-C 机顶盒	(175)
9.3.2	Cable 的数字机顶盒	(178)
9.3.3	SC2000 芯片机顶盒	(180)
9.4	DVB 机顶盒系统分析	(183)
9.4.1	DVB-S 数字卫星接收系统	(183)
9.4.2	DVB-C 数字卫星接收系统	(187)
9.4.3	机顶盒的开关电源电路分析	(188)

1 电视的基本知识

内容提要：

(1) 电视的图像是由一个个像素组成的,由摄像管摄像,通过信道顺序传送,在接收端由显像管逐点显示图像。

(2) 摄像管和显像管都是通过光电(电光)转换形成图像。

(3) 从人眼的视觉出发,得出电视系统的各种参数。

(4) 电视接收机的显示方式,有隔行扫描和逐行扫描。

(5) 全电视信号是根据接收机的要求来安排各种信号,其特点和波形能满足接收机的需要。

1.1 电视的基本理论

什么叫“电视”?概括说来,就是根据人眼的视觉特性,用电的方法传送活动图像的技术。通常,在发送端,用电视摄像机把景物的光像转变成相应的电信号,再将电信号通过一定的途径传输到接收端,最后由电视接收机把电信号还原成原景物的光像。

1.1.1 图像顺序传送

尽管电视系统非常复杂,但都遵循一个基本原则,即先将图像分解为像素,然后将这些像素的亮度转变为电信号,最后将电信号按顺序传送出去。

如果我们仔细观察各种画面,如照片、图画、报纸上的画面,就会发现它们都是紧密相邻黑白相间的细小的点子的集合体。这些细小点子是构成一幅图像的基本单元,称为像素。像素越小,单位面积上的像素数目越多,图像就越清晰。如果把要传送的图像也分解成许多像素,并同时把这些像素变成电信号,再分别用各个信道传送出去,到了接收端又同时在屏幕上变换成光,那么发送端所摄取的景象就能在屏幕上得到重现。但是这样做过于复杂,因为按规定,电视技术要求一幅景象约分成几十万个像素,如果将这些像素同时传送到接收端,这就需要几十万条信道。显然从技术上看,这种同时传输系统既不经济,也难以实现。

由于人眼具有惰性和光的余辉效应,只要传送像素的速度足够快,收端和发端每个像素的几何位置一一对应,即收端和发端应同步工作,重现图像给人以连续、活动而又没有跳动的感觉。电视把组成图像的各个像素亮度按一定顺序一个个地转换成相应的电信号,并依次传送出去。在接收端的荧光屏上再按同样的顺序,将各个电信号在对应的位置上转变成具有相应亮度的像素。这种将图像像素顺序传送的系统,叫做顺序传送电视系统,它只需要一条信道,如图 1-1 所示。

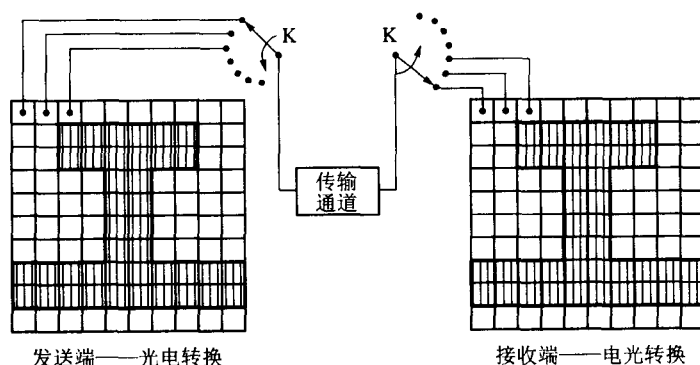


图 1-1 顺序传送电视系统示意图

将组成一幅图像的像素,按顺序转换成电信号以及将电信号依次转换成图像的过程,在电视系统中称为扫描。在电视技术中采用的是电子扫描装置,通过电子扫描与光电转换,就可以把反映一幅图像亮度的空间、时间函数转变为只是时间单值函数的电信号。即:

$$Y = f(x, y, t)$$

可转化为:

$$U = f(t)$$

这就实现了平面图像的顺序传送。

但有两个问题需要解决:

- (1) 图像分解像素和光电转换问题,即摄像问题。
- (2) 收发端的同步和开关运行速度问题,即扫描同步问题。

1.1.2 光电转换原理

发送端将图像转换成电信号,在接收端将电信号还原成原景物的图像是基于光电转换原理。实现光电转换的关键器件是发送端的摄像器件和接收端的显像器件。

1) 摄像器件的光电转换

摄像器件有两类:一类是利用光电材料制成靶面的各种摄像管,如超正析像管、视像管、氧化铅管、硒靶管和硅靶管等;另一类是固体摄像器件,如 CCD(电荷耦合器件)等。下面简单分述它们的光电转换原理。

(1) 光电摄像管

用于摄像管的发光材料又可分为两类:一类具有外光电效应,其摄像管靶面受光照射时所激发的光电子飞逸出靶面,从而使靶面产生与光强度成正比电位起伏。超正析摄像管所用的就是这一类材料。另一类具有内光电效应,被入射光所激发的电子并不逸出材料的界面,而是留在材料的内部参与导电,使材料本身产生附加的光电导,这类材料也称为光电导材料,视像管、氧化铅管、硒靶管、硅靶管是用这一类材料制成靶面的,所以也称为光电导摄像管。现在以光电导摄像管为例说明光电转换的过程。

图 1-2 为氧化铅光电导摄像管的示意图,它主要是由光电靶、电子枪组成,在管外还装有聚焦线圈和偏转线圈。管子前端是光电靶,光电靶的结构见图 1-3(a),它是由三种不同的材料组成,中间较厚的是本征半导体氧化铅,向着景物的一侧是光敏材料,具有厚度均

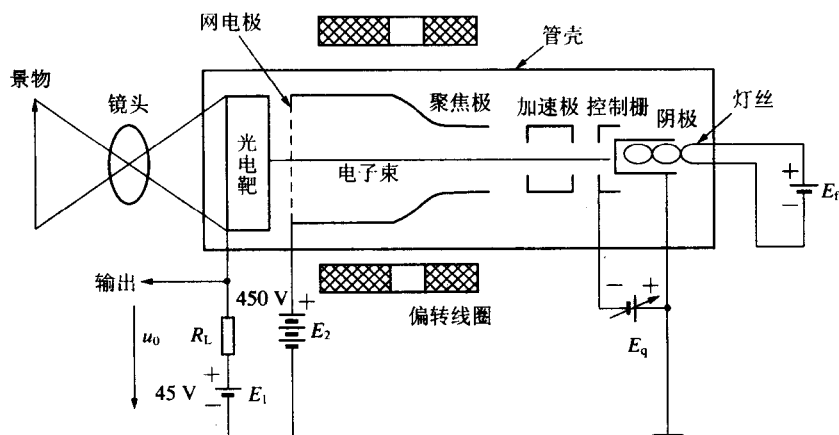


图 1-2 氧化铅光电导摄像管示意图

匀、透明度高、导电性能好的特点。这种材料不受光照时，电阻率非常大，在光照条件下，其电阻率减小，而且光线越强，材料呈现的电阻率越小。这种电阻率的变化只体现在光电靶的厚度方向，而不横向扩散，因此可认为靶面是由许许多多细小的各自独立的单元像素组成，每一个像素都可等效成一个电阻与电容并联的电路，电容 C 的大小决定于光电材料本身的介电系数、像素单元的面积以及光电导层的厚度。电阻 R 的数值除了与材料本身的电阻率有关以外，还将随着光照的强弱而变化。

当被摄景物通过摄像机的光学系统在光电靶上成像的时候，由于图像的各点亮度不同，而使靶面各单元受光照强度不同，导致靶面各单元电阻值不同，与较亮像素对应的靶面单元阻值较小，与较暗像素对应的靶面单元阻值较大。也就是说，一幅图像上各像素的不同亮度，转变为靶面上各单元的不同电阻值，于是“光像”变成了“电像”，见图 1-3(b)。

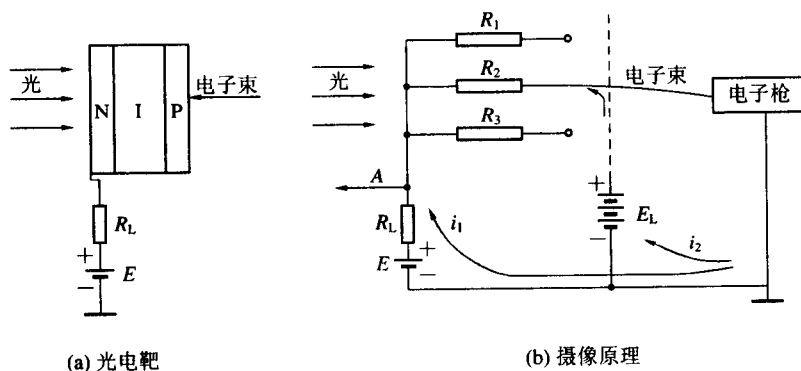


图 1-3 摄像原理

电子枪能发射电子，其发射的电子能在聚焦线圈产生的磁场作用下，聚焦成很细的电子束。当电子束接触到靶面某单元时，就使电子枪阴极、光电靶等效电阻、负载、电源构成一个回路，在负载 R_L 中就有电流流过，而电流的大小取决于光敏靶各单元的电阻值大小。阻值越小流过负载 R_L 的电流就越大，因而在 R_L 两端产生的压降也就越大。

当电子束在偏转线圈产生的磁场作用下，按一定规律扫过靶面各单元时，便在负载 R_L 上依次得到与景物各点亮度相对应的电信号，从而完成了把一幅图像分解成像素以及把各像素

的亮度转变成相应电信号的过程,称为图像的摄取。

(2) CCD 摄像器件

自 1970 年电荷耦合器件诞生以来,由于构造简单,容易大规模集成化,现已应用于信息处理和储存等领域,尤其是应用于电视摄像。

电荷耦合器件(CCD——Charge Coupled Device),是一种 MOS 集成电路器件。图 1-4 (a)示出了 CCD 一个电极单元的基本结构。在 N 型的硅基片上,生长一层很薄的 SiO_2 , 再在 SiO_2 上蒸发一层铝电极,在电极上加适当的负偏压,该偏压形成的电场穿过 SiO_2 薄层排斥 N 型硅中的多数载流子——电子,于是在电极下形成一个电荷耗尽区,而在 SiO_2 - Si 的界面上得到一个存贮少数载流子的势阱。所加负偏压越高,势阱越深。

图 1-4 示出了三相 CCD 的工作原理。

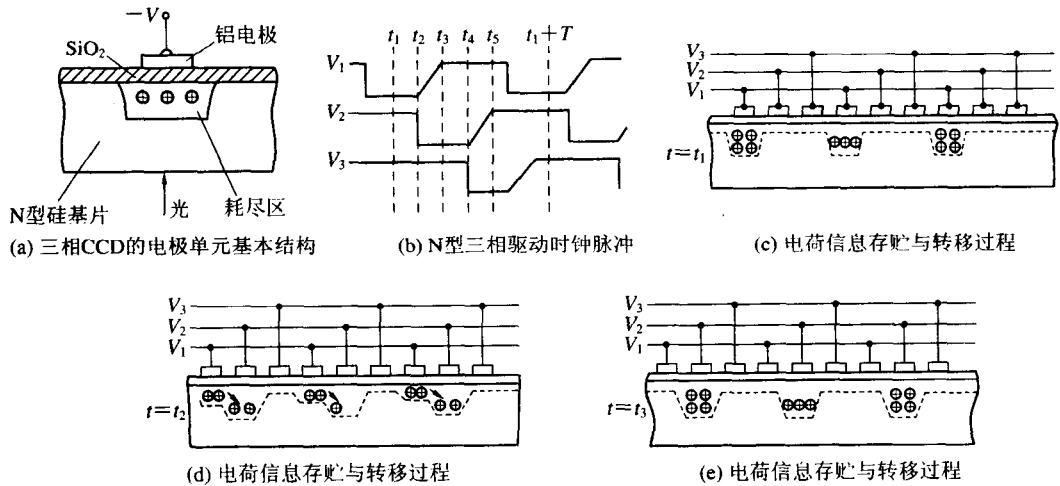


图 1-4 三相 CCD 工作原理

① 光电转换:设在时间 t_1 , V_1 为低电位,而 V_2 、 V_3 为高电位,则在 V_1 低电位的电极下形成较深的势阱(见图 1-4(c))。如果当硅晶体受到景物光像照射时而产生空穴——电子对以后,少数载流子在负电场的作用下被吸引到较深的势阱(该势阱通常称为电荷包)中,而且势阱中所截取的电荷数目的大小与该处照射光的强弱成正比,即光照越强,电荷包所截取的电荷数越多,反之则越少。由此可见,景物的光像通过 CCD 的光电转换已转变成了电荷包截取的电荷所描绘的电子图像,即完成了光电转换。

② 信息的读出:为了取出各电荷包所形成的电子图像信号,三相 CCD 的每三个同一组电极连接起来,用如图 1-4(b)所示的三相时钟脉冲去驱动。当电荷存贮过程结束后到 $t = t_2$ 时,负电位 V_1 开始减小,负电位 V_2 达到最大,于是电极 V_2 下的势阱所达到的深度比存贮有电荷的 V_1 电极下的势阱要深一些,这时电荷就要向 V_2 电极势阱移动(图 1-4(d))。由于负电极之间距离很近,耗尽区互相沟通起来,如图 1-4(e)所示, $t = t_3$, 负电位 V_1 上升至 0,而 V_2 负电位开始减小,而 V_3 负电位达到最大,电荷包又开始从 V_2 电极下转移,到 $t = t_5$ 时,电荷包第二次转移完毕,又向右移一个势阱,以此类推,以后每经过一个周期(即时钟脉冲周期),电荷包完成了一个像素全过程的转移。当三相时钟脉冲按顺序依次排列时,便可保证电荷包作定向转移。

当电荷从 CCD 始端依次转移到末端后,如果在终端硅基片上做一个 PN 结,加上正向偏

置,旁边装上一个控制栅极,就构成了一种 CCD,如图 1-5 所示。到达终端的电荷,被收集到 PN 结上,在负载 R_L 上产生一个脉冲,其幅度值正比于每个电荷包中的电荷数。在一行的时间里,输送出一行上所有像素元的电荷包,给出一行的光图像信息。

在每行终端的输出控制栅极上接入交替电路和垂直移位寄存器就可完成一幅画面的传送(见图 1-6)。

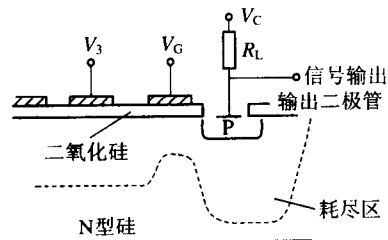


图 1-5 三相 CCD 电荷耦合输出

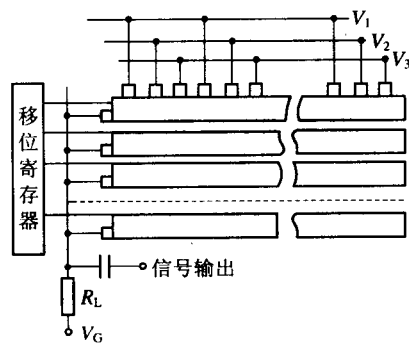


图 1-6 三相 CCD 电荷图像的传输

2) 显像器件的电光转换

在接收端用于重现图像的显像管也有不同的种类,如阴极射线管(CRT)、液晶显示器(LCD)、等离子显示屏(PDP)等,现介绍阴极射线管的电光转换过程。阴极射线管主要由电子枪、荧光屏组成,如图 1-7 所示,其显像过程如下。

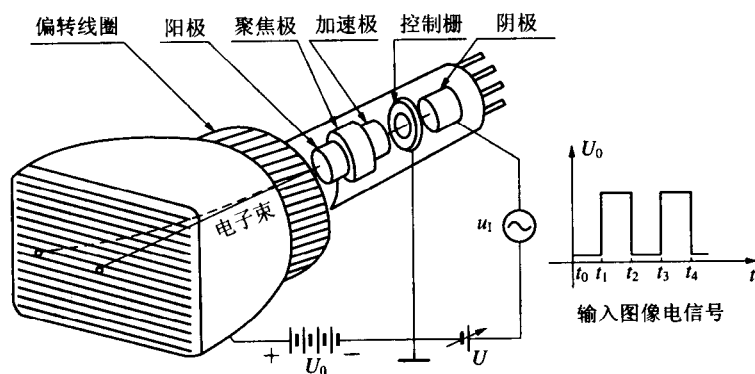


图 1-7 CRT 显像管示意图

由阴极发射出的电子束,在电、磁场的作用下,按一定规律高速轰击荧光屏。

在显像管的荧光屏上涂有一层荧光粉,它在电子束轰击下会发光,其发光的强度正比于电子束所携带的能量,轰击荧光屏的电子束携带的能量越大,发出的光越强,反之越弱。当摄像机送来的图像信号加到组成显像管电子枪的阴极或者栅极上,用以控制电子束携带的能量,使荧光屏的发光强弱受图像信号 U_0 的控制。

若认为摄像管的光-电转换及显像管的电-光转换是线性的,则屏幕上重现的图像,就是发送端原图像,其各像素的亮度都正比于被摄图像相应各像素的亮度。根据人眼的视觉特性,只要保证重现图像的最大亮度与最小亮度之比(即对比度)等于原景物的最大亮度与最小亮度之比,就能获得真实的感觉,比如:从电视屏幕上观看一场足球赛,现场的亮度范围可达 200~

20 000 cd/m²(亮度单位),但电视机的屏幕上重现的亮度仅为 2~200 cd/m²,我们仍有真实的感觉,因为对比度同为 100。

综上所述,显像管显像可理解为以下三个部分:

- ① 显像管各极加上合适的工作电压,在屏幕中心形成一个亮点;
- ② 行、场偏转线圈加上合适的锯齿电流,形成偏转磁场,控制电子束左右上下高速扫描整个荧光屏,形成光栅;
- ③ 阴栅极叠加上图像信号电压,控制电子束中电子的数量,形成图像。

1.2 电视的基本参数

电视是为人类的视觉器官——人眼服务的,是以人的视觉特性为基础设计发明的。人所看到的鲜艳的、逼真的电视图像,在动物看来不一定能感觉到是好的图像。电视图像的基本参数都是以人眼的视觉特性和当前的科技水平来确定的。因此,有必要分析电视图像与人眼的视觉特性关系。

人眼的视觉性能有很强的适应环境的能力,但也存在一些“弱点”,使我们“有空可钻”,能用最经济的手段,制造出景物的“假象”,给人以真实的感觉。

1.2.1 视力范围与电视机屏幕形状

人眼的视力范围在水平方向大约为 180°,在垂直方向约为 130°。人眼最清楚的范围是:水平方向夹角为 20°,垂直方向夹角为 15°,如图 1-8 所示。因此电视机的屏幕尺寸一般设计宽与高比为 4:3。这里需要说明的是电视机的屏幕尺寸(以对角线的长度为依据)都用英寸来表示,它与厘米(cm)之间是怎么转换的呢?具体是 1 英寸=2.54 cm 或者是 1 cm=0.39 英寸。

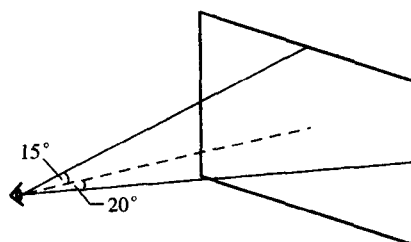


图 1-8 人眼的视觉范围

1.2.2 人眼视觉的适应性 with 电视图像的亮度、对比度和灰度

亮度是指人眼对光线明亮程度的感觉。它取决于两个方面,一是与光所发出的能量有关,另一个是与人的主观感觉有关。人眼所能感觉到的亮度范围很宽,一般从百分之几坎[德拉]每平方米(cd/m²)到几百万坎[德拉]每平方米,但人眼并不能同时感觉到这样宽。当人眼适应了某个亮度范围以后,人眼对亮度的感觉范围就变得很窄了,这是由于人眼具有自动调节作用。深有体会的是,当我们从阳光下走进电影院时,眼前一片漆黑,适应一会,又能看清座位的轮廓了。这说明在不同的亮度环境下,人眼对实际亮度值的感受是大不相同的。因此,在适当的环境下,我们可以用低亮度重现高亮度的景物,给人以真实的感受。电视的观看也必须在适当的环境下,才能有较好的图像效果。

除了适当的环境(低亮度),还有景物的最高亮度与最低亮度的差,即对比度,这也是观看电视的另一条件。对比度指图像的最大亮度与最小亮度的比值,比值越大,图像越逼真。

灰度是指黑白图像从最暗到最亮之间划分的层次数。灰度级别越高,图像就越清晰。我

国规定:电视机的灰度等级要求至少达到 6 级。

1.2.3 人眼的视力与电视的扫描行数

人眼的视力是指在一定的亮度条件、人眼与被测物一定的距离下,人眼能看清在白底上两个黑点的最小张角。视力一般用 5 分制表示:

$$\text{视力} = 5 - \lg \theta$$

其中, θ 表示人眼的最小张角,单位为分(')。

例如 $\theta = 1'$ 时,视力为 5.0; $\theta = 10'$ 时,视力为 4.0。根据实测统计表明,正常视力的分辨角为 $1' \sim 1.5'$ 之间。对于电视图像,观看环境亮度较低,人眼的分辨能力较弱,所以一般取下限 $1.5'$ 。而人眼在垂直方向上的视力范围为 15° ,我们希望在观看电视图像时不能分辨出一行行扫描线,所以扫描行数为:

$$Z = \frac{15 \times 60'}{\theta}$$

当 $\theta = 1.5'$ 时, $Z = 600$ 行。我国规定一帧图像从上到下为 575 行(正程),由下向上返回的时间相当于行数(逆程)为 50 行的时间。世界各国大体都是在 500~600 行之间。

1.2.4 人眼的视觉惰性与图像场频

当某一强度的光突然消失,人眼的亮度感觉并不立即消失,要过一会儿才会消失,这种现象就称为视觉惰性。一般在中等强度的光照下,视力正常的人眼视觉暂留时间大约为 0.1 s。我们把电视屏幕上图像切换的频率称为图像场频,显然,图像的场频必须超过人眼视觉的闪烁频率,否则,电视图像会给人眼闪烁感。

在接收端复合图像,像素是按顺序依次排列的,要形成完整的图像就要求电子束高速并反复扫描整个屏幕,这是利用了人眼的视觉惰性和显像管的余辉特性,使断续的光连成了一片,形成了光栅。我们有这样的经验:夜间,点燃火把快速划过空中,形成一条亮的弧线,我们看到的不是一个个移动的光亮点,这是因为人眼的视觉惰性造成的。一个亮点已熄灭,而人眼对亮度的感觉,要经过一段时间才会消失,光点在人眼中暂留现象使不连续的光形成一条亮线,这就是人眼视觉惰性。

人眼的补充作用是指在 $1/24$ s 时间内,两个间隔发光的亮点只要不超过 $7.5'$ 视角,人眼就能通过大脑的补充作用,使人感觉是从先发光的亮点自动“移动”到后发光的亮点位置。这种补充作用与视觉惰性,再加上荧光粉的余辉,使不连续的画面在高速放映时连续活动起来。对于这点,你可以观察一段动画片的胶片,可以明显地看到画面中动作的间隔,而在放映时却感觉不到间隔就明显地说明了这个问题。

电视系统采用高速扫描,图像同样活动起来。然而,在扫描正程时,扫描点都被点亮,而在逆程时,扫描点又全部熄灭,这种亮暗的变化,给人以闪烁感,很不舒服。为了解决这个问题,采用提高亮暗变化的频率的方法。实验表明,如果把亮暗起伏的变化频率提高,则闪烁感会减小,最后感觉不出来,此时亮暗变化的频率称作“融合频率”,它与图像的平均亮度有关。一般地,在中等亮度条件下(100 cd/m^2),融合频率大约为 46 Hz。

在电视机的使用过程中,我们发现,如果电源滤波不良,行扫描的锯齿电流中串入了电源干扰,使图像不但扭曲,而且爬行。为了克服上述爬行,行扫描频率采用与电源频率相同的数

值。因我国的电源频率为 50 Hz,故场扫描频率也为 50 Hz;美国、日本的电源频率为 60 Hz,故场扫描频率也为 60 Hz。

1.2.5 电视信号的带宽

根据人眼视觉分辨力,我国规定一帧图像分成 625 行(正程 575 行,逆程 50 行)。根据图像连续无闪烁的原理,要求每秒传送 50 帧图像,这样每秒要扫描 $625 \times 50 = 31\,250$ 行,这就是行扫描频率,其周期为 $32\,\mu\text{s}$ 。

下面我们计算一下,在这样的扫描速度下产生的图像电信号带宽,即图像电信号的最高频率和最低频率为多少呢?

图像电信号的最低频率很容易找到,即图像信号不变化,频率为 0。

我们运用估算的方法求图像电信号的最高频率。一帧图像有 625 行,每一行包含的像素为:

$$625 \times \frac{4}{3} \approx 833(\text{个})$$

其中 $4/3$ 是指电视机的宽高之比,假设扫描点在水平与竖直方向上的疏密相同。

图像电信号最高频率决定于图像内容和扫描的速度。由于是一行行扫描图像,所以,图像内容在水平方向所包含的像素越细密,扫描的速度越快,则输出信号的频率越高。当扫描到最小像素时,得到的电信号将代表最高频率,所以,可以由黑白相间的细竖条图像求最高频率,黑白条的宽度等于最小像素大小。由于它接近电子束的直径,会产生“孔阑效应”,使扫描输出的信号失真,方波近似成了正弦波,即每两点就相当于一个正弦波,若每一个正弦波的频率都是不同的,就得到一行电信号的最高频率。即:

$$833 \div 2 = 416.5(\text{Hz})$$

若考虑到 1 s 内,每行像素的亮度都不同,则得到了电视图像的最高频率:

$$416.5 \times 625 \times 50 = 13\,020\,833(\text{Hz}) \approx 13(\text{MHz})$$

考虑到行、场逆程期间的频率是不变的,另外,电视信号同时变化这么高的情况是极少的,故电视的最高频率大约为 11 MHz。

11 MHz 的信号带太宽,浪费频率资源,传输困难,同时发射设备也极为复杂,所以要压缩图像信号的带宽。但减少行数,清晰度下降;降低扫描速度,又会造成图像闪烁。怎样解决这对矛盾呢?科学家找到了一种极为巧妙的方法,即隔行扫描法。既不降低图像的清晰度,也不闪烁,同时又能压缩图像的一半带宽。

1.3 电视扫描原理

电视中的扫描是指电子束以某种规律在光电靶或者荧光屏上来回运动的过程。电视图像的分解与复合都是通过扫描来完成的。在发送端,通过扫描把作为空间与时间函数的平面图像变换成只以时间函数来表示的电信号,这是一个图像分解过程。在接收端,通过扫描将作为时间函数的电信号再转换成一幅平面图像,这是一个图像复合过程。

按电子束的运行规则可分为直线扫描、圆扫描、螺旋扫描等,但在电视系统中,为了充分利用矩形屏幕,并使扫描设备简单而可靠,采用了匀速直线扫描方式。下面主要介绍隔行扫描、

逐行扫描等内容。

1.3.1 隔行扫描

逐行扫描具有简单、可靠等优点,但是为了保证得到高质量图像,必须要求每幅画面有足够多的行数,又不能使帧扫描频率太低(注:一般要求大于 46 Hz 扫完一幅图像为一帧),否则就会出现亮度闪烁,从而导致信号频带太宽,设备复杂,因此在广播电视中一般不采用逐行扫描而采取隔行扫描。

隔行扫描方式是将一帧(或称一幅)电视图像分成两场进行扫描(从上至下为一场)。第一场扫出光栅第 1、3、5、7 等奇数行,第二场扫第 2、4、6、8 等偶数行,并把扫奇数行的场称为奇数场,扫偶数行的场称为偶数场。这样,每一帧图像经过两场扫描,所有像素就可全部扫完。

图 1-9 是 11 行隔行扫描方式光栅形成的示意图。为了简化起见,把行、场扫描逆程时间都假设为 0。电子束由左上端开始按 1—1',3—3' 等顺序扫描,即第一场(奇数场)顺序扫第 1、3、5、7、9 等奇数行,当扫到第 11 行的一半(a 点)时,正好扫过 5 行半,完成了第一场扫描,电子束立即返回 a' 点,并由该点开始第二场(偶数场)的顺序扫描,首先扫完第 11 行余下的半行,紧接着扫描第 2、4、6、8、10 等偶数行,当扫到右下端第 10 行末(点 $10'$)时,也扫了 5 行半,完成了第二场扫描,两场扫描行数共为 11 行。由于扫完一场图像屏幕从上至下亮一遍,所以,扫完一幅(帧)图像屏幕亮了两遍,即可将帧频降低一半,但亮度并不会出现闪烁,同时,由奇偶数行均匀镶嵌,清晰度也不会降低。这样由于帧频的降低,使图像的带宽也可减少一半。

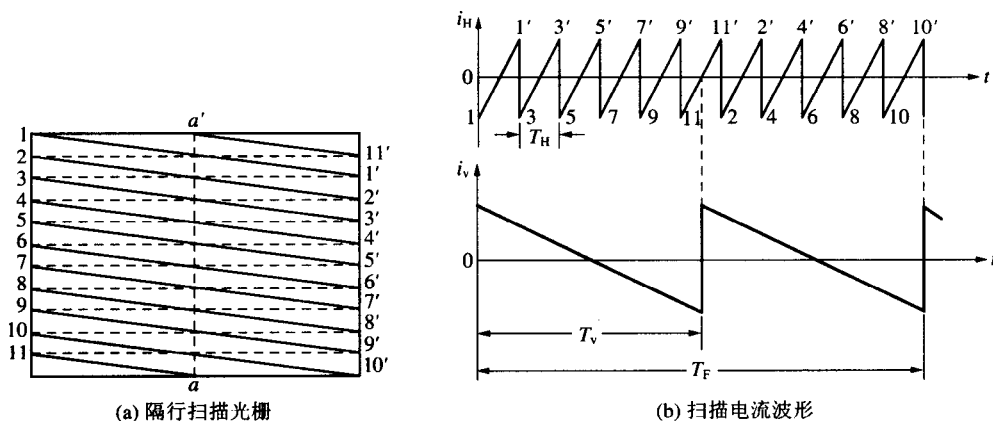


图 1-9 隔行扫描光栅及扫描电流波形

隔行扫描的关键是要使两场光栅均匀镶嵌,否则屏幕上的扫描光栅不均匀,甚至产生并行,严重影响清晰度。为此选取一幅图像的总扫描数为奇数,每场均有半行,称为“半行法”或称为“奇偶行法”,并设计第一场结束于最后半行,然后电子束返回到屏幕的最上方中间,开始第二场。第二场也有半行,最后结束的是整数行,如图 1-10 所示。这样就可以保证奇偶两场镶嵌。

在隔行扫描方式中,引用了帧频这一概念。将一幅画面全部扫描完毕所需时间称为帧扫描周期,用 T_F 表示,显然 $T_F = 2 T_V$ 。另外,每帧画面的扫描总行数是两场扫描行数之和,即与