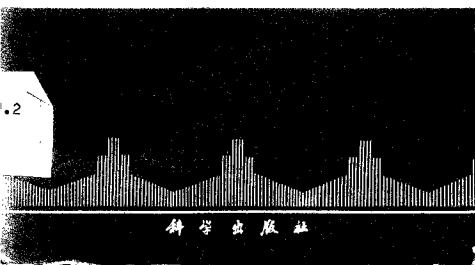


工业电视

上册



内 容 简 介

本书是一本系统的应用电视书籍，全书分上、下两册，上册主要讲述工业电视的基本原理、主要设备、器件和电子电路分析等内容。

本书主要是为实际工作者写的，对数学运算作了简化，可供从事工业电视及广播电视工作的科技人员和工人阅读，也适于自学用。

工 业 电 视

上 册

张兆扬 编著

责任编辑 陈 惠

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1982年9月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1982年9月第一次印刷 印张：11 7/8 插页：2

印数：0001—13,700 字数：272,000

统一书号：15031·4.1.0

本社书号：2064·15-7

定价：1.60 元

前 言

随着科学技术的迅速发展,“应用电视”在电视技术领域占有越来越重要的地位。它不仅已广泛地用于恶劣环境下的操作监视和工矿企业的自动化,而且在地表下层的矿床分析,深海中的水下作业和高空中的资源侦察,以及在医疗诊断、电化教育、数据测量、交通指挥、跟踪制导等方面都已大量应用。即使新兴的数字图象处理技术也常用摄象机和监视器作输入输出设备。然而,我国目前尚没有一本系统的应用电视方面的书籍。笔者在高等学校长期从事电视专业的科研教学,并与应用电视的生产、科研部门的接触中,许多技术人员和工人迫切要求我写一本有关工业电视方面的书籍,因而这本书便应运而生。

全书分七个部分。第一部分阐述闭路工业电视系统的基本原理;第二部分介绍主要器件的结构、特性与参数,重点放在各类光电导摄象管(包括微光摄象管)、光学镜头和偏转聚焦线圈;第三部分是电路分析,包括摄象机、同步机和监视器;第四部分讨论工业电视的调整、测试和维护;第五部分研究工业电视在应用上的特点;第六部分探讨了特种工业电视,包括水下电视、X光电视、红外电视和超声波电视;最后一部分是彩色工业电视。电路分析是本书的主要部分,占全书篇幅的一半以上(第三、四、五章及第六、第八章的一部分),分析的重点放在摄象机和同步机。至于监视器,因电视接收机的书籍甚多,写得比较简略。分析的电路大部分取材于国内生产厂的典型电路,也有一部分取材于从国外引

进的产品(例 SONY 公司的 DXC-1200P)。

本书主要是为实际工作者而写的,数学计算用得不多。

读者对象主要是从事工业电视的设计、制造、应用和维护方面的科技人员和工人,但对从事广播电视的人员、电化教育的人员、图象处理的人员以及大专院校有关专业的师生也有参考价值。在写作时,力求文字通俗易懂,并配之以大量图片,因此也很适宜于有一定电子技术基础的工人和青年作为自学读物。

北京电视设备厂杨景礼副总工程师担任了本书的审稿工作。他热情支持此书的编著,并提出了一些宝贵的意见。在编著过程中还受到上海市徐汇区科协、上海市科协以及赵启正、王世佐等同志的帮助,在此谨表示由衷的谢意。

鉴于作者的水平有限和经验不足,书中难免有错误和不妥之处,敬请广大读者提出批评和改进的意见。

作 者

1980年8月于上海工业大学

目 录

前 言

第一章 黑白工业电视原理	1
第一节 概论	1
第二节 重显黑白电视图象的原理	5
第三节 黑白工业电视的质量要求	22
第二章 电视摄像机的主要部件	34
第一节 电视光学镜头	34
第二节 光电导摄像管的工作原理	64
第三节 各类光电导摄像管的参数和特性	76
第四节 高灵敏度摄像管	101
第五节 摄像管的偏转聚焦系统	117
第三章 电视摄像机的基本电路	141
第一节 光电导管摄像机的电原理系统方框图	141
第二节 预放器	144
第三节 直流电平恢复(钳位电路)电路	171
第四节 电缆校正及50赫交流抑制	185
第五节 电平调节放大器	194
第六节 灵敏度自动控制电路	199
第七节 孔阑校正和轮廓补偿电路	206
第八节 底色补偿电路(黑斑校正)	220
第九节 灰度校正	230
第十节 黑电平控制电路	238
第十一节 同步信号混入和视频输出电路	247

第十二节	行扫描电路.....	253
第十三节	场扫描电路和菱形校正.....	264
第十四节	摄象机的辅助电路.....	272
第四章	工业电视同步机.....	286
第一节	简易同步信号发生器.....	286
第二节	隔行扫描晶体管工业电视同步机.....	295
第三节	标准的黑白电视同步机.....	312
第四节	数字集成电路同步机.....	330

第一章 黑白工业电视原理

第一节 概 论

工业电视是指广播电视外所有应用电视的泛称。绝大多数工业电视不象广播电视那样由空间电磁波传输信号，而是由视频电缆直接传输图象信号的，因此也常称工业电视为电缆电视或闭路电视。

一、工业电视在发展工农业生产中的作用

工业电视是一门新兴的现代化电子技术，随着国民经济的迅速发展，自动化的要求越来越高，工业电视的应用也越来越广泛。当前，是实现四个现代化必不可少的工具之一。

1. 在工业现代化上的应用

工业电视可以代替人眼作为直观的监视设备，因此在制药厂、农药厂、电镀厂、石油化工、电力、冶金、原子能等环境恶劣、易爆、有毒、有害于工人身体健康的车间使用工业电视后，工人可在远离现场的控制室中监视设备的运行情况或药物的反应过程。

无人操作的自动化车间，在不同角度设置了若干工业电视摄像机后，就可在中心控制室监控整个自动化线的流程，控制人员根据荧光屏上看到的现场随时改变指令，以保证自动化作业的正常进行。

工业电视还可代替人眼检查产品质量，从而降低工人的

劳动强度和提高生产效率，如在纺织厂中用装在导轨上的工业电视摄影机检查绸缎和布匹的疵点，在印刷厂中检查套色的漏印等等。

至于对人不易进入或看不到部位可应用工业电视进行质量检查，例如对下水道和各种细长管道内壁漏洞、裂缝的检查等，应用工业电视后就可得到解决。

工业电视可对正常运转设备进行定量测定，如机械工业中数控机床车刀磨损度的测量、冶金工业中真空自耗炉电极位置的测量以及对生长体或磨损体进行长度、直径和面积的测量等。

工业电视还能反映可见光范围以外的影象，例如利用红外电视反映燃烧炉内部的温度分布，利用 $\times$ 射线电视进行金属内部探伤，利用超声波电视检查海底电缆的埋设位置等等。

工业电视在交通运输上可合理调度、提高运输效率。机场和港口还可利用工业电视安全准确地导航。在地下隧道中工业电视可监视车辆的运输，特别是检查铁路隧道、公路隧道和 underwater 隧道的塌方、漏水等。

在矿山采掘工业中工业电视可遥控观察井下的采掘进度和车辆运输情况，避免了操作人员进入危险现场。在钻头中放置特制的电视摄影机还可迅速直接地观察地下的地质和岩样。

工业电视与计算技术相配合，制成能把运行参数及时地直观地显示出来的计算机终端显示设备在石油化工工业和电力工业中更有广阔的应用前景。

2. 在农林牧副渔现代化上的应用

在城市和农村大规模自动化的饲养场中可用工业电视来观察家禽牲畜的生活动态；在大型水坝中可用工业电视监视水坝的异常状态和进行水位测量，在林业中工业电视可用来

监视森林中的火灾发生；在渔业中水下工业电视可监视鱼群的游向和捕鱼工具的作业过程。

3. 在科学技术现代化上的应用

在天文上工业电视与望远镜配合可直接观察和拍摄天体的运行和跟踪人造卫星；在宇宙航行中可把飞行过程及星球上的实况送到地面控制室；电视与显微镜配合可使许多人同时观察研究微生物的动态；用彩色胃镜电视和膀胱电视有助于正确诊断早期胃癌和膀胱癌；彩色医用电视还可使许多医务人员同时观看手术过程、会诊疑难病例；在辐射治癌中，工业电视解决了医务人员不能呆在辐射室但必须密切注意照射过程的矛盾。在科技教育上电视能使教学不受教室面积、教学地点的限制、尽可能扩大受教育的面，而且使教学形象化。

4. 在国防现代化上的应用

利用定向电视可进行海、陆、空的直观侦察、克服了目测法的不准和摄影侦察的滞后；电视有助于舰队和飞行大队在恶劣气候中导航；坦克电视扩大了坦克的视角范围；电视炸弹不仅把命中率提高几十倍而且可记录投掷的效果；用电视制导导弹避免了雷达制导和红外制导易受敌方干扰的缺陷；由于大气层外光波分辨力远高于无线电波，用电视制导的反弹道导弹提高了区分真假弹头的本领。

二、工业电视系统的组成

通常，工业电视由摄像机头、控制器和监视器组成，其间用电缆连接，图 1-1 是它的系统方框图。图 1-2 是实物照片，其中右边支撑在三脚架上的是摄像机头，左边是控制

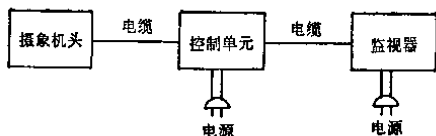


图 1-1 工业电视系统方框图

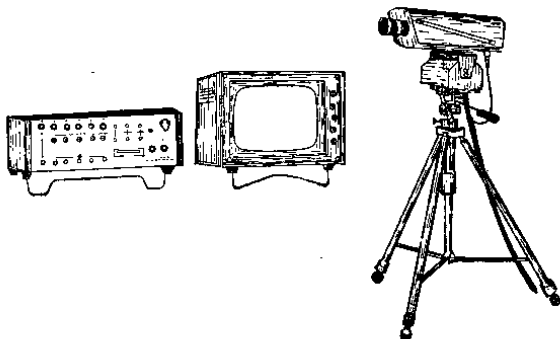


图 1-2 工业电视设备（摄象机、控制器和监视器）

器，中间是监视器。

对于标准的工业电视，摄象机头把被摄景物分解转换为图象信号并加以放大，因图象信号的频谱处在视频范围内，所以也常称为视频信号。控制器往往包括视频处理放大器、同步机和控制系统。其中视频处理放大器把摄象机经电缆传送来的信号进行必要的加工处理和放大使之成为标准的全电视信号；同步机用来产生各种同步脉冲迫使摄象机和监视器的扫描系统步调一致；控制系统用来控制摄象机头的工作状态和供给摄象机头和控制器本身的用电。监视器把控制器送来的全电视信号在荧光屏上重现出被摄景物的图象。

对于简易的工业电视，以简单的电源同步代替了复杂的同步机，且视频处理电路也大为简化并合在摄像机组头中，因此控制器仅成为一个控制摄像机组头工作状态的一个小盒。

第二节 重显黑白电视图象的原理

一、图象重显的过程

上一节介绍工业电视的作用和它的基本组成，那末电视摄像机组所拍摄的物体在荧光屏上重显图象的过程是怎样的呢？如果仔细研究一张相片，我们发现相片上的象并不连续，而是由许多称为象素的微小的黑白颗粒所组成。但当相片与人眼保持一定距离时，由于人眼分辨能力的限制，看起来似乎是连续的。同样如图 1-3 所示，光学镜头把物体的光象投映在摄像管靶面上，摄像管靶面由几十万个象素组

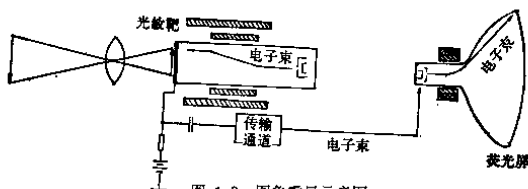


图 1-3 图象重显示意图

成。通过摄像管电子束对象素的扫描就能把象素上的明暗变化转变为相应的电信号，显象管通过电子束扫描再把此电信号电光重新转换为荧光屏上明暗的变化。显象重现的图象一一对应摄像管的象素，它也是不连续的，但当人眼与荧光屏保持某一距离时人眼感觉到的却是一幅连续的图象。

在这过程中应满足两个条件：第一，不论电子束对摄像管靶面的扫描或对荧光屏的扫描都是自左至右（或自右至左）、

从上而下（或自下而上）顺序扫描的，所以像素的明暗变化不是同时呈现在眼前而是有先后次序的。只有当扫描的速度足够快，快到因人眼的视觉惰性，感觉上是所有像素同时到达人眼时，才能看到一幅完整的图象。第二，摄像管电子束与显象管电子束必须按同样规律扫描，即完全同步时，才能使荧光屏上的象与摄像机拍摄的象一个样。

二、扫 描

扫描就是电子束在摄像面（或显象面）上按一定规律的偏转。由于在摄像端扫描把靶面分解为许多像素并转为电信号，在接收端扫描又把此电信号转变为像素的明暗并合成成一帧图象，因此扫描实质上是一个把图象分解和综合的过程。

电子束的扫描方式可以是直线的或曲线的，但考虑到图象质量及扫描设备尽可能简单，广播电视和工业电视基本上都采用匀速单向直线扫描。即电子束沿水平方向从左至右并逐渐从上到下匀速扫过摄像管靶面或显象管屏幕①。

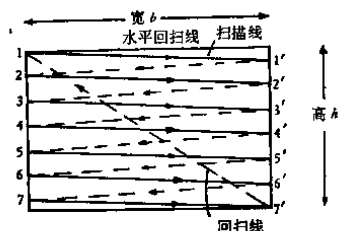


图 1-4 逐行扫描示意图

1. 逐行扫描

如果电子束一行紧接一行挨着顺序地扫描，称为逐行扫描。扫完一帧画面后重新回到

① 对图 1-3 所示一次成象的镜头、摄像管靶面上是倒象、电子束是自右至左、自下而上扫描的，对中有中继镜头的摄像机，靶面上是正象，靶面的扫描与显象管一样是自左至右、自上而下。——作者

原来的起点开始新的一帧扫描。图 1-4 是逐行扫描示意图。

图中 $1-1'$, $2-2'$ ……等实线称行扫描线或水平扫描线, $1'-2$, $2'-3$ ……称水平回扫线, 由于在水平扫描的同时又在自上至下作帧扫描(垂直扫描), 因此扫描轨迹略呈倾斜, 扫完一帧后重新回到起点的轨迹 $7'-1$ 称垂直回扫线。

扫描线轨迹的集合称为光栅, 摄象端称摄象光栅, 显象端称显象光栅。根据视觉的经验当画面的高 h 与宽 b 的比例为 3 比 4 时, 人眼的观察最不费力, 因此光栅的 h/b 取为 $3/4$ 。光栅线数越多代表垂直方向分解的像素数越多, 图象也就越清晰。以 n 代表光栅线数即垂直方向的像素数, 因希望水平方向与垂直方向像素的分解率一致, 所以一帧光栅的像素数 N 应为:

$$N = \frac{4}{3}n^2 \quad (1-1)$$

根据理论和实验, 当 $n = 625$ 时对人眼来说电视图象已足够清晰且又不使电视设备过于复杂, 此时 $N = \frac{4}{3} \times (625)^2 \approx 52 \times 10^4$ 。

在电影中对活动的景象如以每秒 24 帧的速度拍摄时, 由于人眼的视觉惰性就有连续活动的感觉。电影中的这一拍摄速度就相当于电视中每秒钟能扫描的帧数即帧扫描频率, 所以电视帧扫描频率 f , 至少应在 24 Hz 以上。

我们又知道人眼对周期性变化的光源有一个临界闪烁频率, 对电视来说一秒钟内荧光屏上图象变换的帧数大于此临界闪烁频率时就没有不舒服的闪烁感。临界闪烁频率与光源的亮度及周围环境的照明有关, 在环境照明较暗、黑白显象管亮度 120 尼特时临界闪烁频率约 48 Hz , 选择帧频时还要考虑应与电网的频率相同, 以减少电源纹波及交变磁场对电视图象的影响。我国的电网频率为 50 Hz , 所以逐行扫描的

帧扫描频率 f_p 取为 50 Hz 。

如此，扫一帧图象所需时间 $T_p = \frac{1}{f_p} = \frac{1}{50} = 20 \text{ ms}$ ，人眼的视觉惰性大于 20 ms ，所以虽然电子束在 20 ms 时间内挨着顺序先后扫描 52 万个像素，但人眼看起来似乎 52 万个像素是同时发光的。

一秒钟内电子束能扫描的行数称行扫描频率，以 f_h 表示。对逐行扫描，

$$f_h = n f_p = 625 \times 50 = 31250 \text{ Hz} \quad (1-2)$$

逐行扫描所形成的图象信号的频带很宽。图象信号的最高频率减去最低频率即为图象信号的带宽，因图象信号的最低频率很低，最高频率 f_m 近似等于图象信号的带宽 Δf 。对图 1-5 所示的黑白方格摄象，若方格的宽度正好等于扫描电子束的直径，一个方格就相当于一个最小像素，只要电子束扫描时正好与方格的宽度相重合，所得的相应电信号的频率就是图象信号的最高频率。

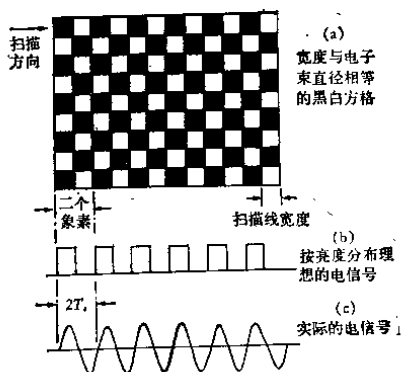


图 1-5 计算图象信号最高频率示意图

根据式 (1-1), 一帧图象的像素数 $N = \frac{4}{3}n^2$, 所以每秒传送的像素数为:

$$M = Nf_s = \frac{4}{3}n^2f_s \quad (1-3)$$

则传送一个像素需要的时间:

$$T_s = \frac{1}{M} = \frac{3}{4n^2f_s}$$

图 1-5 (b)是按图(a)所示亮度分布而得到的理想图象信号, 由于电子束孔阑效应及电视设备带宽的限制, 实际所得的图象信号如图(c)所示。由图可见信号的一个周期 T 等于扫描二个像素所需要的时间, 即:

$$T = 2T_s = \frac{3}{2n^2f_s}$$

图象信号最高频率 $f_{\max}$ 是 T 的倒数, 所以

$$f_{\max} = \frac{1}{T} = \frac{2}{3}n^2f_s \quad (1-4)$$

当 $n = 625$ 行, $f_s = 50\text{Hz}$ 时, 则 $f_{\max} \approx 12\text{MHz}$ 。实际的有效扫描行数比 n 少, 但由于有行消隐期, 缩短了每个像素实际被扫描的时间, 因此实际的 $f_{\max}$ 仍近于此数。

由上可见, 逐行扫描得到的图象信号的频带很宽, 相应的电视设备较复杂, 因此除有特殊要求的工业电视外, 一般不采用。

要得到逐行扫描的扫描光栅, 在摄像管和显象管中一般都采用在行、场偏转线圈中分别注入线性锯齿波电流。在行偏转线圈中通入频率为 f_h 的锯齿电流 i_h , 当 i_h 增大时, 电子束便沿着靶面(或屏幕)自左至右移动, 由于 i_h 跟时间成线性关系所以偏转是匀速的, 这段扫描称行扫描正程如图1-6 中的 T_{h1} 所示, 此后 i_h 随时间增加而减小这时电子束

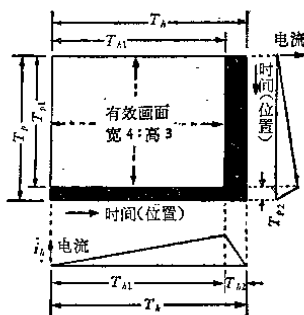


图 1-6 扫描光栅与偏转电流的关系

自靶面(或屏幕)的右面回到左边称为行逆程回扫, T_{A2} 就是行逆程时间。 $T_A = T_{A1} + T_{A2}$ 就是一个行扫描周期, 显然 $T_A = 1/f_h$ 。同理, 在场偏转线圈中通入频率为 f_v 的线性锯齿电流 i_v , 电子束就作垂直方向的匀速偏转。 T_{v1} 是场扫描正程时间, T_{v2} 是场扫描逆程时间, $T_v = T_{v1} + T_{v2}$ 就是一个场扫描周期, $T_v = \frac{1}{f_v}$ 。

2. 隔行扫描

在逐行扫描中为了抑制图象的闪烁把帧频提高到 50Hz, 致使图象信号的频带过宽。图 1-7 所示的隔行扫描就能解决抑制闪烁与频率过宽间的矛盾。

隔行扫描把一帧图象分成两场扫完。图 1-7 中全帧总共扫七行, 第一场先扫 1、3、5 行和第 7 行的前半行称为奇数场, 第二场从第 7 行后半行开始接着扫描 2、4、6 行称为偶数场。

扫完一场所需的时间称为场扫描时间以 T_v 表示, 它的倒数即每秒扫描的场数

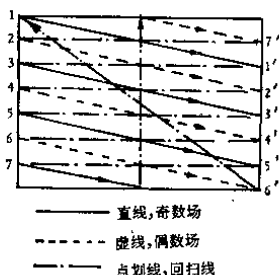


图 1-7 隔行扫描示意图

称为场扫描频率 f_v 。与逐行扫描时一样扫完整个一帧的时间称为帧扫描时间，它的倒数即每秒扫描的帧数仍称帧扫描频率 f ，显然：

$$f_v = 2f, \quad (1-5)$$

在隔行扫描中每秒扫50场，光源已经周期性变化50次，对闪烁来说与逐行扫描中扫50帧起到同样的效果。但在隔行扫描中 $f_p = f_v/2 = 50/2 = 25\text{Hz}$ ，代入式(1-4)：

$$f_{max} = \frac{2}{3} n^2 f_p = \frac{2}{3} \times (625)^2 \times 25 \approx 6\text{MHz}$$

因此隔行扫描的频带宽度比逐行扫描降低了一倍。由于隔行扫描的每帧扫描行数（奇数场与偶数场的扫描行之和）与逐行扫描的每帧行数相同，图象的清晰程度也就相同。正由于隔行扫描具有上述在保持同样的图象质量前提下能把图象信号带宽缩小一半的特点，在工业电视及广播电视中得到了广泛的采用。

然而，隔行扫描必须使偶数场的光栅正好嵌在奇数场光栅之间，否则轻则使扫描光栅不均匀，造成画面的分解率不一致，重则产生并行现象，甚至奇数场光栅与偶数场光栅完全重合，扫描线少了一半，图象的清晰度也降低了一半。为此必须满足如下条件：

$$f_A = \frac{n}{2} f_v \quad (1-6)$$

式中 $n = 1, 3, 5, 7 \dots$ 为任意奇整数， f_H 为行扫描频率。据式(1-2)， $f_A = n f_p$ ，以式(1-5)代入得： $f_A = n f_p = \frac{n}{2} f_v$ ，只要 f_v 由 f_A 按该式分频而得就可始终满足。

为什么要使 n 为奇数行呢？如果 n 为偶数，那么当一帧中的第一场扫完以后，第二场开始时的起点必须低于第一场的起点，即场扫描锯齿波的振幅在第一场和第二场不一