

二次电子电导摄像管 (SEC) 在空间慢扫描电视系统中的应用

赵丙义 夏剑明 佟瑞林
(中国科学院长春物理所, 长春 130021)

摘要 给出了具有积累特性的 SEC 摄像管靶极信号电流与读出扫描速率的关系。慢读出使用时, 解决图像信号微弱的办法是采用取样读出。指出了靶电荷拾取深度与靶极电压有关及靶极电压最佳值的确定方法。讨论了 SEC 管使用中的一些具体技术问题及解决办法。

关键词: 二次电子电导摄像管; 取样读出; 电子束电流调整; 第一交叉电位; 保护

1 SEC 管读出信号的电流强度

SEC 管读出信号的电流强度与多种因素有关, 这里首先考虑读出信号电流强度与电子束的扫描速度 u 的关系。

电子束在扫描靶的过程中, 束电子着靶后与靶电荷中和, 信号板上与靶面被中和掉的正电荷相对应的负电荷流出靶极, 形成信号电流。此电流的强度与靶面电子图像电荷密度 σ 成正比, 与电子束扫描靶面面积的速率成正比。电子束扫描靶面面积的速率 S 为:

$$S = 2r \cdot V \quad (1)$$

式中 r 为电子束半径, u 是电子束扫描速度。

当电子束电流强度足够大时, 读出信号的电流强度 i 为:

$$i = \eta\sigma \cdot S = \eta\sigma 2rV \quad (2)$$

式中 η 为靶电荷的拾取效率。

在连续扫描情况下, σ 是靶面上电子束两次扫描间隔时间内的电荷积累面密度。对于单次曝光, σ 是曝光后靶面电荷密率。

当摄像管的状态 (工作电压、电子束聚焦情况、靶压及曝光光强度等) 一定, 读出信号

电流强度只由电子束的扫描速度决定,并与扫描速率成正比。对于广播电视,靶电荷积累时间为 40ms,行扫周期为 64 μ s,读出信号电流强度为 0.5 μ A 数量级。在单次曝光情况下设曝光时间为 40ms,行扫周期为 1s,扫描速率比广播电视慢 $1/64 \times 10^6 = 1.56 \times 10^4$ 倍,则读出电流强度也缩小 1.56×10^4 倍,即慢扫描的信号电流强度为:

$$\frac{0.5 \times 10^{-6}}{1.56 \times 10^4} = 3.2 \times 10^{-11} (A)$$

如此微弱的信号电流难以得到高质量的图像。为增大信号电流强度,可增大靶压。但是这只能在不大的范围内收到效果。另一途径是应用性能优良的低噪声前置放大器。但是在保证信噪比指标的前提下其增益要提高 80dB 左右,在技术方面是难以办到的,而且在体积、重量和造价等方面必然会出极大代价,这在空间使用是不能允许的。

SEC 管在慢读出情况下,由于它的积贮特性,只能使用单次曝光,这也正是它的特殊优点。解决读出信号微弱的最有效的办法是在不改变扫描速度的情况下,提高电子束的瞬间着靶速率。将阅读电子束用脉冲调制,形成间断的脉冲式的电子束电流,每一个电子束电流脉冲冲着靶的面积与靶面一个像元相对应。读出信号也是不连续的脉冲电压信号,我们称为取样读出。

慢读出可以提高靶电荷的拾取效率,因为有足够的对靶电荷进行充分的拾取。提高靶压,也可提高拾取效率 η 。

2 取样读出时信号的幅度及形状

取样读出的工作过程是:电子束轨迹扫到 A 像元时,阴极发出一个电流脉冲,在很短的时间内,电子束的轨迹移动很小的距离,以致电子束电流脉冲完全落在像元 A 上。之后电子束截止,电子束轨迹继续向前方移动。当电子束轨迹完全进入下一个像元 B 时,电子束电流又导通,开始拾取像元 B……。

对一个像元,它存储的电荷量 $q = \sigma \cdot \Delta S$ 。电子束着靶后被读出的电荷 $q' = \eta q = \eta \sigma \Delta S$ 。电子束电流刚上靶的瞬间,读出电流以很快的速率上升到最大值,随着时间的增长,一个像元存储的电荷逐渐减少,所以信号电流达最大值后,又呈指数规律下降。则取样读出电流的形状如图 1 所示。

由上述分析,信号电流幅度与持读时间与每一像素的电荷存储量 q 成正比,而电荷量 q 是代表图像亮度的,所以图像亮度信号幅值 y 的表达式应为

$$y = Aq \quad (3)$$

式中 A 是变换系数,可对信号电流进行积分变换成亮度信号:

$$y = \frac{1}{C} \int_0^{\tau} i dt = \frac{1}{C} q' = \frac{1}{C} \eta \sigma \Delta S \quad (4)$$

式中 C 是积分电容的容值,积分上界 τ 是取样脉冲的宽度。

则变换系数 $A = \frac{1}{C} \eta$ 。

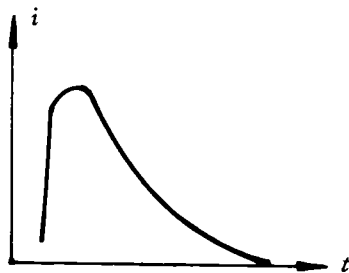


图 1 取样读出信号电流波形

3 取样读出 SEC 管电子束的脉冲宽度

SEC 管取样读出的工作原理及工作状态与连续读出时是相同的。一般情况下 SEC 管的阴极电流为 $200\mu\text{A}$ 左右，能上靶的电子束电流不到 $1\mu\text{A}$ 。取样脉冲宽度 τ 以能拾取完一个像元上靶电荷 q 为其最小宽度，即 $\tau I'_B \geq q \cdot I'_B$ 是能着靶的电子束电流强度。则取样脉冲宽度 $\tau \geq q/I'_B$ 。设靶电容密度为 $300\text{pf}/\text{cm}^2$ ，靶电位起伏为 25 伏特，则一个像元靶面（其面积约为 $650\mu\text{m}^2$ ）的电量 $q = 300 \times 10^{-12} \times 650 \times 10^{-6} \times 25 = 4.875 \times 10^{-12}$ (库)，取样脉冲宽度 $\tau = q/I'_B = 9.75 \mu\text{s}$ (假设 $I'_B = 0.5\mu\text{A}$)。如果脉冲宽度 τ 取更大的值，但不会拾取下一个像元上的靶电荷，这是允许的。

4 SEC 管靶压与信号电流强度的关系

SEC 靶的结构如图 2 所示。

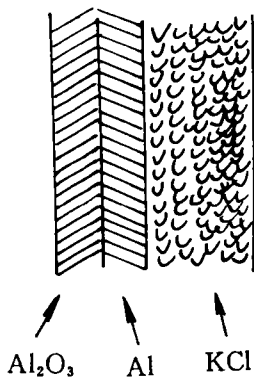


图 2 SEC 靶

它是由厚度为 700\AA 的 Al_2O_3 作为支撑层， 500\AA 厚的 Al 层作为信号板。在信号板上蒸发上 $10\sim 20\mu$ 厚的 KCl 层，其密度只有通常大块 KCl 密度的 2%。由光电阴极发射的具有 $8\sim 10$ 千电子伏特能量的光电子打入 SEC 靶， KCl 层产生的二次电子被信号板收集，低密度的 KCl 层产生了正电荷的电子图像。SEC 靶 KCl 层内电子的传导是在材料间隙真空里移动的自由电子，因此 SEC 靶电子图像正电荷是体分布。

读出过程，由阴极发射出的电子经控制极后被阳极加速，到分离网极时射束电子具有最大的速度。之后向靶极运动是减速过程。SEC 靶曝光后，设靶面电位升至 15 伏（相对于阴极电位）。阅读电子束到达靶表面时具有的速度为：

$$V = 600 \sqrt{15} = 2323.8 (\text{千米 / 秒})。$$

阅读电子依靠它的动能进入 KCl 层一定的深度，并将靶上的正电荷中和掉一部份。由于阅读电子束着靶时具有不同的径向速度，靶面电位随着靶电荷的被拾取而逐渐降低，射束电子进入 KCl 层的深度也将不同，且越来越浅。当靶面电位降至阴极电位时，射束电子将不能着靶。所以一个像元的读出电流脉冲在达到最大值后将产生指数衰减的过程。

由上述分析，靶压 V_T 不同， KCl 层被拾取的深度不同，一个像元的电荷量 q 转变成信号电流的电荷 q' 也不同，则产生了不同的拾取效率 η 。提高靶压 V_T 可提高拾取效率 η ，使读出信号电流强度增加。但是靶极电源电压有一定的最大值 $V_{T \text{ max}}$ ，超过此值，虽然拾取效率较高，但是由于电子束着靶时径向速度很高，部份电子穿透靶的 KCl 层，或是由于 KCl 层厚变不均匀产生局部的穿透，使阅读电子束直接进入信号板而出现严重的暗电流或斑点信号，此时图像信号的信噪比大大降低，图像质量严重变坏。

由于 SEC 管制作工艺的不一致性，不同的管子所使用的靶压也是不同的，只能由实验确定靶压的最大值。

5 取样读出的主要优点

在慢读出情况下，不论扫描到何种程度，读出信号的幅度可达到与快速扫描差不多同样的幅值。

取样读出时，由于读出信号幅度增加，读出速度越慢，取样脉冲的占空比越小。取样脉冲的间隔时间内摄像管对噪声无贡献，放大器的噪声可通过钳位电路消掉，因而在保证图像质量的前提下，可大大降低前置放大器的噪声指标。同时放大器不必用直流放大器，因而可简化视频放大器电路，降低制做成本。

如图像信号用数字信号传送，可直接对经过积分运算后的取样图像信号电压进行量化及编码，简化了图像信号的处理程序。

6 取样读出时图像信号的处理与补偿

钳位：慢扫描取样读出的图像信号是脉冲信号。为保证图像信号零电平的安全性，图像放大器的输出级加钳位电路。由于图像脉冲信号占空比很小，钳位电路可用简单的二极管单向钳位电路，即可得到满意的效果。其电路如图 3 所示。

孔栏效应：单次曝光取样读出水平分解力的孔栏效应较之连续曝光连续读出的孔栏效应有所改善。第一个原因是取样位置与图像黑白条纹相一致，此时不产生孔栏效应，如图 4 所示。

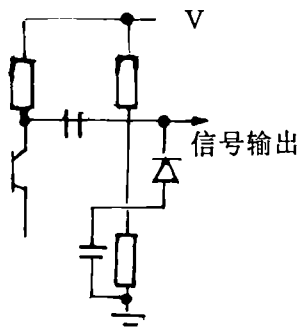


图 3 视放钳位电路

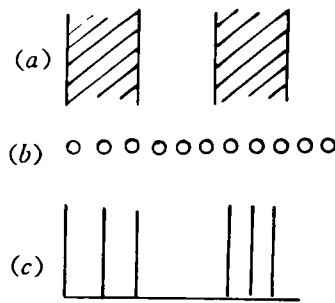


图 4 (a) 测试卡图像 (b) 取样脉冲与图像的相对位置
(c) 图像信号（无孔栏效应）

第二种情况，取样脉冲打在靶上的位置相对明亮条纹的一侧是对齐的，而另一侧取样脉冲的位置是明暗各占一半，信号幅度也只有正常值的一半，即出现了孔栏效应。但只是在明亮条纹的一侧，如图 5 所示。

第三种情况是两侧都出现孔栏效应，这是最坏的一种情况。如图 6 所示。

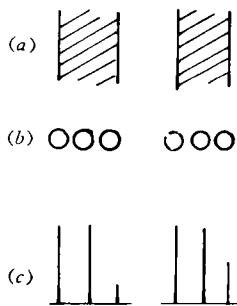


图5 (a) 测试卡图像 (b) 取样脉冲位置
(c) 图像信号 (一边出现孔栏效应)

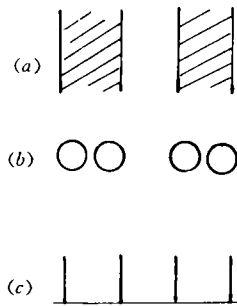


图6 图像信号的两侧出现孔栏效应

由上述理由, 取样读出时, 孔栏效应出现的几率和程度都有所降低。对于垂直分解力也是这样。由于视频信号是脉冲信号, 进行孔栏校正是困难的。如果要求正确的重现图像。可在地面显示系统进行判图和校正。如果允许, 可提高取样脉冲的重复频率。SEC管的水平分解力提高, 可有效的降低孔栏效应。

考虑到取样读出的孔栏效应, 水平分解力 f 不应大于 $N/4$ 线对, N 是一行取样脉冲个数。黑斑校正与 r 校正:

慢扫描电视系统与广播电视的传送与显示方式不同, 前者可用打印机或传真机重现图像, 因而可以认为显示系统的 r 值等于 1。摄像管的 r 值近似等于 1, 成像系统(包括镜头和光学放大部分)的 r 值可不等于 1。另外 SEC 靶的不均匀性使图像发生畸变, 产生所谓黑斑效应。

考虑到系统的各种畸变, 应进行系统校正。用均匀白光经光学系统后成像于 SEC 靶上, 进行读出, 将视频信号幅度与光学图像的亮度进行比较, 得出每个像元系统校正数据, 存入计算机存储器, 对以后得到的实际图像信号进行校正, 以得到定量亮度的图像。

由上述看出, 在慢扫描取样读出情况下, 视频信号放大器主要是对图像信号进行线性放大, 或是进行对数放大, 对尔后的图像信息处理提供有较好信噪比的图像信号, 各种校正和补偿可在地面系统进行较为合理。

7 电子束电流调制及调整电路

慢扫描电视摄像机 SEC 管的工作分为擦除, 曝光和读出三个过程。曝光前需要将靶上的残留图像信号清除掉。用电子束连续扫描靶面即为擦除。为了使擦除均匀并节省时间, 擦除过程用电子束快速扫描靶面。读出时, 将电子束调制成不连续的脉冲电子束。上述工作均由射束调正电路完成。图 7 给出了电子束电流调制及调正电路的原理图。它的工作原理如下:

当控制脉冲(幅度为 +10 伏)加入三极管 T_1 的基极输入端, T_1 截止, SEC 管阴极电位下降, 当阴极电位低于 -24 伏时, 三极管 T_2 也截止, 三极管 T_3 被导通, SEC 管控制栅极电位升高。则 SEC 管阴极电流增加。如 SEC 管的阴极电流较大时, SEC 管阴极电位上升至比 -24 伏为正的位, 三极管 T_2 的集电极电流增加, T_3 的集电极电流减少, 则 SEC 管的控制栅极电位

降低, 阴极电流减少。所以电子束电流调制及调正电路控制 SEC 管阴极电流的通断, 并使阴极电流恒定在 $\frac{100-24}{R}$ 的数值。当更换 SEC 管或是 SEC 管老化使伏安特性变化时, 射束调制及调正电路会自动改变 SEC 管控制栅极电压, 使阴极电流保持不变。

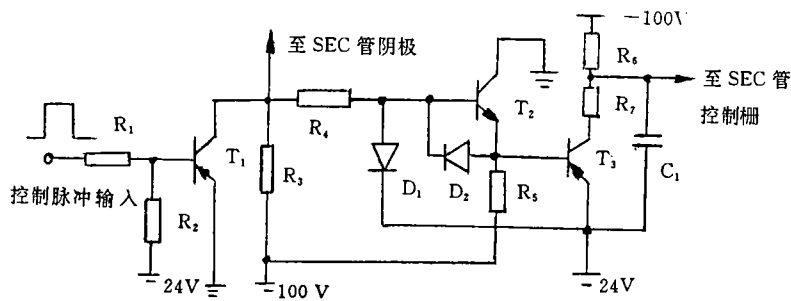


图 7 电子束电流调制及调正电原理图

当输入端电压为零时, 三极管 T_1 导通, 三极管 T_3 截止, SEC 管阴极电位为零伏, 控制栅极电位降至 -90 伏左右, SEC 管处于截止状态。SEC 管阴极电流的持续时间与控制脉冲的宽度是一致的, 因而电子束电流脉冲可以方便的由控制脉冲控制。

擦除期间, 三极管 T_3 总处于导通状态, 它使 SEC 管控制栅极电位保持约 -60 伏。读出期间控制栅极电位也必须稳定在 -60 伏。擦除结束至读出开始有几秒的空余时间, SEC 管控制栅极电位应能立即恢复至 -60 伏。这要求电子束调制及调正电路满足下述两个条件:

(1) 读出过程为保持控制栅极电位不变, 应满足

$$\begin{aligned} R_6 C_1 &\gg T \\ 3R_7 C_1 &\ll \tau \end{aligned} \quad (5)$$

式中 τ 是取样脉冲宽度, T 是取样周期。

(2) 读出开始后要求经过 N 个取样周期, 控制栅极电位即能恢复至正常工作电压 -60 伏, 应满足下式:

$$\frac{C_1}{T} \leq N, \text{ 或 } \frac{R_7 C_1}{1 + \frac{TR_7}{\tau R_6}} \leq N, \quad (6)$$

上述两个互相矛盾的条件, 当取样脉冲占空比很小或要求 N 很小时, 难于同时满足。为解决这个问题, 采取了两种措施:

(1) 在读出开始前的一行时间内, 电子束调制及调正电路的输入端加入 $1S$ 宽的控制脉冲, 使 SEC 管控制栅极电位恢复至正常工作电位。

(2) 将取样脉冲宽度加宽至 $400\mu s$, 电子束调正电路可很好的满足所有要求。

8 SEC 管电子束聚焦的调正

慢读出取样脉冲图像信号不易用一般显示装置成像, 视频放大器输出的脉冲图像信号, 它是时间的显函数, 而难以判断相对于靶面的聚焦情况。

利用存储电视将取样读出的图像信号先写入存储管内, 再以快速读出将图像显示在荧光

屏上，可由图像的清晰度判断聚焦好坏。

另一种较简单的方法是把一行的图像脉冲信号显示在长余辉示波管上，测试卡为等距离的条状明暗条纹。理想情况下，图像信号应由视频脉冲组成的其包络为方波的形状，如图 8 (b) 所示。由此可判断聚焦好坏。

如将测试卡的明暗条纹变窄，并提高取样频率，可更仔细地观察聚焦情况，做细致的调正。

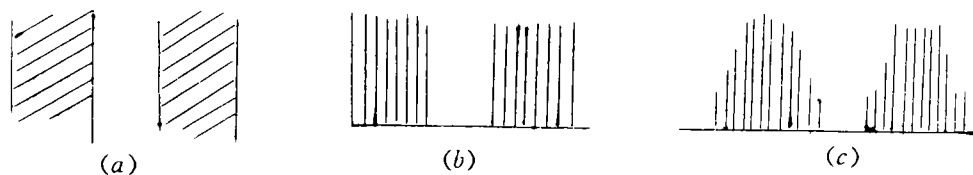


图 8 (a) 测试卡的明暗相间条纹 (b) 理想的读出信号 (c) 聚焦不好时的图像信号色络变为钟形

9 SEC 管的保护

SEC 靶具有积累和存储特性，灵敏度也高，使它具有特殊的使用价值。但是 SEC 靶非常脆弱，使用不当时，会使靶很容易被烧毁。主要原因是曝光过渡时，靶面电位升高至第一交叉电位以上时，阅读电子束扫描靶时，靶面电位不但不能降低反而会越来越高，使靶产生击穿烧毁。

在靶极与分离网极间加抑制网，抑制网处在第一交叉电位以下，可防止靶产生击穿现象。但目前我们用的 SEC 管还没有应用这些工艺。因此使用时在电子线路上采取必要的保护措施，是十分必要的。

(1) 曝光过程中将分离网电位降至靶的第一交叉电位以下，使靶面电位的升高不会高于第一交叉电位，可有力的防止靶烧毁。

SEC 管在使用过程中不允许分离网极电位低于聚焦极电位，所以在曝光过程中聚焦极电位与分离网极电位同时降低。

(2) 如果电子快门电路及控制信号失灵，在曝光时间之外将电子快门打开，必然会使 SEC 靶烧毁，我们在电子快门电路及控制信号电路增加了双重保护措施，使电子快门的动作准确无误，有效地防止了 SEC 靶的破坏现象。

参 考 文 献

- [1] S. B. MENDE, A Low Light Level Slow Scan TV Camera for Satellite Application. IEEE, 1969, 57 (3): 281
- [2] NACA ITOS TLROS—m, P2—V: 47—55
- [3] 摄像管中二次电子传导对于信号的放大和存储. 电视技术, 1972, 2
- [4] Proceedings of The IEEE, 1964, 52 (52): 1007—1012

Application of Secondary Electron Conduction Target Vidicon In Slow Deflection TV System

Zhao Bingyi, Xia Jianming and Tong Ruilin
(*Changchun institute of Optics and Fine Mechanics,*
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021)

Abstract

The relation between target signal current and deflecting rate of the secondary electron conduction target vidicon (SECTV) which has accumulating effect is presented. When the SECTV is used in slow read out, sample read out is used to increase the reading signal current. The picked-up depth of target charges is related to the target voltage. The method to define the optimal value of target voltage is given. Some technological problems in using the SECTV and its solved methods are discussed.

Key words: Secondary electron conduction target vidicon, Sample reading out, Beam current regulation, First cross potential, Protection