

太阳磁场望远镜摄像系统信噪比的分析

孙星宇

(长春物理研究所)

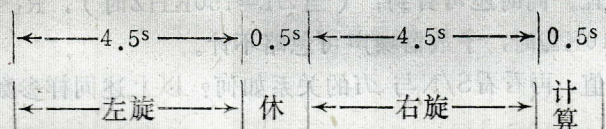
一、对整个电视接收系统信噪比之要求

左、右旋光量差, 最小者 $0.15\%I_0$, 相当于太阳磁场10高斯。为了能从噪声中分辨出这样一个微弱信号, 则应使噪声均方值小于信号电压的 $\frac{1}{4}$ 以上, 即要求噪声小于或等于 $0.15I_0\% \times \frac{1}{4} = 0.0375I_0$, 信噪比 $S/N = \frac{I_0}{0.0375I_0} = 2670 \Rightarrow 68.5\text{dB}$ 。

二、对摄像机信噪比之要求

对于68.5dB这样高的信噪比, 摄像系统本身是无法达到的, 利用计算机进行累加的方法可以进行补救, 累加 m 次, 则信噪比提高 \sqrt{m} 倍。但在扫描制式和时间分辨率已确定了的情况下, m 值也就固定了。若想增大 m 值, 就必须提高扫描速度和降低时间分辨率。下面仅用已确定的扫描速度(帧频 8Hz)和时间分辨率(10^5)来进行分析计算。

分辨率为 10^5 , 即每 10^5 处理一幅图像而得到一次结果。其时间分配是:



左、右旋各为 4.5° , 而帧频为 8Hz , \therefore 左、右旋信号各积累36次, 即可提高信噪比6倍。通常情况将取样保持和A/D变换的噪声忽略, 则要求摄像机信噪比 $(S/N)_{\text{摄}} = \frac{2670}{6} = 445 \Rightarrow 52.50\text{dB}$ 。该指标是否能达到和如何实现, 下面进行计算和分析。

三、摄像机信噪比的初步分析

为了以下叙述方便, 先将信噪比计算公式列出:

$$\frac{S}{N} = \frac{i_s}{\sqrt{2e i_s \Delta f + \frac{4KT \Delta f}{R_L} + \left(\frac{4KTR_E \Delta f}{R_L^2} + \frac{16}{3} \pi^2 KTR_E C^2 \Delta f^3 \right)}} \quad (1)$$

式中, i_s —摄像管信号电流; Δf —衡量噪声时所取的频宽; $K=1.37 \times 10^{-23}$ 焦耳/ $^{\circ}\text{K}$, 波尔兹曼常数; T —绝对温度; R_L —摄像管的交流等效靶负载电阻; R_E —表示场效应管的等效

噪声电阻；C—摄像管的输出电容、场效应管的输入电容以及两者之间的连线电容之和，通常 $<20\text{PF}$ 。

式(1)中分母的根号里共有三项。其中第一项为摄像管的噪声；第二项为交流等效靶负载的噪声；第三项为放大器第一级的噪声，该项中的第一小项一般可以忽略(\because 通常 $R_L \gg R_E$)。

摄像管的噪声，在广播视频带为 $5\sim 6.5\text{MHz}$ 的情况下，与放大器的噪声相比是可以忽略的。但在低速扫描时，如带宽只有 150kHz 的情况下，就不容忽略了，在选管子的时候必须注意噪声参数。

靶负载电阻 R_L ，不但数值要选得适当，且宜选用功率较大的薄膜电阻(热噪声小)。

一个多级功率放大器的噪声系数主要取决于第一级。 \therefore 第一级宜选用低噪声系数的结型场效应管，同时要注意提高一、二级的功率增益，即要选跨导大的管子。 g_m (跨导)越大，

则 $R_E = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{g_m}$ 越小，可使 S/N 大。3DJ7的 g_m 值可在 $4000\mu\text{v}$ 以上，即 $R_E = 168\Omega$ 或更小。

R_L 值的考虑。从式(1)中可见， R_L 值越大对信噪比越有利。在广播视频率下， R_L 值若取得太大，必然导致放大器的输入信号电压值在高频时比低频时幅度降低很多，给高频补偿造成困难。本系统由于采用慢扫描制式，频带很窄，不必有上面的顾虑，可使 R_L 尽量取大，但究竟大到什么程度合适？可通过计算加以比较。

用下列参数代入式(1)作成表I。

$i_s = 300\text{nA}$ ； $\Delta f = 150\text{kHz}$ ； $C = 20\text{PF}$ ； $T = 323^\circ\text{K}$ (即 50°C ，摄像机工作时的最高环境温度)； $R_E = 168\Omega$ ；

从表I中可以明显地看到： S/N 随 R_L 增大而增大，但当 $R_L > 1\text{M}\Omega$ 以上时， S/N 不再增加。所以，取 $R_L = 1\text{M}\Omega$ 为宜。同时还可看到：(当 $\Delta f = 150\text{kHz}$ 时)， $R_L < 10\text{k}\Omega$ 时，摄像管噪声可忽略不计； $R_L > 10\text{k}\Omega$ 时，予放器噪声可忽略不计。

如果 $R_L = 1\text{M}\Omega$ 为确定值，再看看 S/N 与 Δf 的关系如何？以上述同样参数代入式(1)作成表II。

从表II中可见， S/N 随 Δf 降低而上升，当 $\Delta f = 150\text{kHz}$ 时， $S/N = 67.2\text{dB}$ ，这是慢扫描制式的一个优点。同时还可看到： $\Delta f > 4\text{MHz}$ 时，摄像管与靶负载噪声均可忽略不计； $\Delta f < 1\text{MHz}$ 时，三个因素皆起作用； $\Delta f = 150\text{kHz}$ 时，予放器的噪声可忽略不计，主要起作用的是摄像管噪声，其次是靶负载噪声。

综合表I与表II，可以得出一个初步结论： R_L 取大， Δf 取小都可使 S/N 提高。当 $R_L = 1\text{M}\Omega$ ， $\Delta f = 150\text{kHz}$ 时， $S/N = 67.2\text{dB}$ ，远大于 $S/N = 52.9\text{dB}$ 的要求。

四、慢速扫描与信噪比关系的探讨

慢速扫描时由于频带 Δf 很窄，故有利于提高信噪比 S/N ，这在上面已做了分析与比较，然而，尚存在着一个非常不利的因素：慢速扫描时其输出信号电流相应减小，使之 S/N 降低(见式1)。假定靶面的电荷是固定的量 Q ，据式 $i_s = \frac{Q}{T}$ 可得出：信号电流 i_s 与扫描时间 T 成

表 I S/N 与 R_L 关系表

项 目	R _L	1KΩ	10KΩ	100KΩ	500KΩ	1MΩ	10MΩ	100MΩ
$2e^{-16} is \Delta f$		1.44×10^{-20}	1.44×10^{-20}	1.44×10^{-20}	1.44×10^{-20}	1.44×10^{-20}	1.44×10^{-20}	1.44×10^{-20}
$4KT\Delta f/R_L$		2.64×10^{-18}	2.64×10^{-19}	2.64×10^{-20}	5.24×10^{-21}	2.64×10^{-21}	2.64×10^{-22}	2.64×10^{-23}
$4KT\Delta f R_E/R_L^2$		4.45×10^{-19}	4.45×10^{-21}	4.45×10^{-23}	1.78×10^{-24}	4.45×10^{-25}	4.45×10^{-27}	4.45×10^{-29}
$\frac{16}{3} \pi^2 KTR_E C^2 \Delta f^3$		5.3×10^{-23}	5.3×10^{-23}	5.3×10^{-23}	5.3×10^{-23}	5.3×10^{-23}	5.3×10^{-23}	5.3×10^{-23}
S/N		171 44.7dB	565 55dB	1492 63.5dB	2142 66.6dB	2300 67.2dB	2479 67.8dB	2500 67.9dB
影响S/N的主要因素		靶 负 载 放 靶 子	靶 负 像 管 靶 摄	靶 负 像 管 靶 摄	靶 负 像 管 靶 摄	靶 负 像 管 靶 摄	靶 负 像 管 靶 摄	靶 负 像 管 靶 摄

表 II S/N 与 Δf 关系表

项 目	Δf	6.5MC	4MC	2MC	1MC	500KC	150KC	50KC
$2e^{-16} is \Delta f$		6.24×10^{-19}	3.84×10^{-19}	1.92×10^{-19}	9.6×10^{-20}	4.8×10^{-20}	1.44×10^{-20}	4.8×10^{-21}
$4KT\Delta f/R_L$		1.15×10^{-19}	7.08×10^{-20}	3.54×10^{-20}	1.77×10^{-20}	8.85×10^{-21}	2.65×10^{-21}	8.85×10^{-22}
$4KT\Delta f R_E/R_L^2$		1.93×10^{-23}	1.18×10^{-23}	5.9×10^{-24}	2.97×10^{-24}	1.48×10^{-24}	4.45×10^{-25}	1.48×10^{-25}
$\frac{16}{3} \pi^2 KTR_E C^2 \Delta f^3$		4.3×10^{-18}	1×10^{-18}	1.25×10^{-19}	1.57×10^{-20}	1.96×10^{-21}	5.28×10^{-23}	1.96×10^{-24}
S/N		133.7 42.5dB	248.8 47.9dB	623 55.9dB	834 58.4dB	1240 61.9dB	2300 67.2dB	3979 72dB
影响S/N的主要因素		子 放	子 放	子 摄 像 管 子 摄	子 靶 负 像 管 子 靶 摄	子 靶 负 像 管 子 靶 摄	子 靶 负 像 管 子 靶 摄	子 靶 负 像 管 子 靶 摄

反比,即扫速越慢, T 越长, 则 i_s 越小。假如用在正常的电视扫描制式下给定的 i_s 为 300nA 进行计算, 上面求出的 S/N 为 67.8dB 。现假定其它条件不变, 单纯考虑 i_s 与扫速的关系变化, 如帧频 8Hz 与 25Hz 相比, 扫描降低 3 倍, i_s 亦降低了 3 倍, 则 $i_s = 100\text{nA}$ 。代入式 (1) 进行计算可得 $S/N = 1154 \Rightarrow 61.24\text{dB}$ 。再假如原为每秒 50 周的 i_s , 现为每秒 8 周, 则扫速降低 6 倍, i_s 亦降低了 6 倍, 则 $i_s = 50\text{nA}$, 代入式 (1) 进行计算可得 $S/N = 700 \Rightarrow 58.90\text{dB}$ 。这仅仅是一个粗略的分析, 从中可以看出由于扫描速度变慢而使 i_s 降低新造成的 S/N 降低的大致比例关系。此外, 慢扫情况下 Δf 变得很窄, 上面根据式 (1) 分析, S/N 可提高, 这主要是由于 Δf 窄其白噪声小的原因。事实上忽略了 $\frac{1}{f}$ 噪声的因素, 它主要表现在低频部分, 并不因 Δf 变窄而变小, 因而在 Δf 很窄情况下 $\frac{1}{f}$ 噪声相对来说起主要的作用, 这从式 (1) 是

反映不出来的, 因此上面的计算也是不精确的。换言之, Δf 窄而 S/N 提高的结论是对的, 但用式 (1) 计算出的 S/N 值与 Δf 的比例关系是有误差的。

再者, 作为信号一部分的读出的暗电流却随扫描速度的降低而降低, 并最终倾向于一个常。这又是一个有利因素, 它可弥补一部分信噪比的损失。

从上述的分析可以看出, 慢速扫描对摄像系统信噪比的影响因素是非常复杂的, 而且有利因素与不利因素又是各不相让和纠缠在一起的, 这给 S/N 的精确计算带来了一定的困难。上面的计算只能是粗略的, 仅供分析问题时用之, 因为不是把所有的因素同时考虑进去加以

计算的, 而且, 式 (1) 是个通用公式, 在慢扫描时的 Δf 很窄的情况下的 $\frac{1}{f}$ 噪声未能充分反映出来。这样, 单从信噪比这个角度来说, 究竟选择什么扫描频率最为合适, 需把各种因素综合起来加以考虑。并要进行多次反复计算加以比较, 最后才能确定之。

在慢速扫描制式下, 要想使 i_s 不减小, 可采用取样拾取信号电流的方法。虽然扫速很慢, 但拾取信号的时间却是短促的, 即 Δt 很小, 则信号电流 i_s 就大了, 因而非常有利于信噪比。

假如不受 A/D 变换速度的限制, 考虑问题将更加广阔和方便。如现有 A/D 变换组件可达 40 万次, 那么实现天文上的 $120 \times 160 = 192000$ 个点的要求是毫不困难的。同时可将帧频提高, 从而提高累加次数, 使信噪比提高。当然, 相应 Δf 增宽也会使 S/N 降低, 利弊要权衡。但究竟选择的范围大大地增宽了, 这无疑是有利于选出最佳的扫描制式来。

五、有关摄像管信噪比的讨论

当采用慢速扫描制式时, 用公式 (1) 进行摄像机信噪比的分析时, 曾得出一个结论: 对 S/N 起主导作用的是摄像管, 其次是靶负载, 余者可忽略不计。靶负载 R_L 已作了分析与计算。这里再专题讨论一下光导摄像管的信噪比问题。

光导管的信噪比, 与信号电流 i_s 成正比, 与暗电流成反比。就是说, i_s 越大越好, 暗电流越小越好。

光导管有许多种靶面, 其特点显著不同。SEC 靶具有电荷积累效应, 即电荷量与光照时

间成正比,因而特别适合慢速扫描制式的应用。其它靶无此特性,特别是硅靶漏电流比较大,因而它不适用于慢扫描的应用。

关于暗电流问题。从应用来说,慢扫描制式时暗电流小,对S/N是有利的。从管靶本身来说,暗电流与温度及靶压皆成正比关系。因而降低温度和降低靶压使用,对S/N是有利的。尽管如此,暗电流尚是存在的。为此,可将暗电流值测出并予先存放到计算机中去,在进行信号处理时再将该值减去,这样做的结果,可使摄像管的信噪比大为提高。在我们的系统里,采用了切割电路即黑电平调节,可起到同样的作用,但要注意定标的问题。

参 考 文 献

- (1) C.B. 古列维奇:《电视摄像管中的物理过程》
- (2) 《Low Light television Camera》Roy telev. soc. 9, 1970, 13NO245
- (3) 《TV Camera checks itself out》《Electronics》1970, 43, No18, 135—136.

S/N ANALYSIS FOR SMT (SOLAR MAGNETIC FIELD TELESCOPE) CAMERA SYSTEM

Sun Xing-Yu

(Chun Chun Institute of Physics)

Abstract

The S/N ratio is a very important technical index in SMT'S camera system, and the key to guarantee the precision. We have analysed and calculated the S/N in this paper. The results are listed in two schedules. Schedule I shows the relation between S/N and R (target load). Schedule II S/N and Δf (band-width). According to the schedules we can get at problems and obtain the answers we search for. If $\Delta f=150\text{KHz}$, the pre-amplifier's noise may be neglected, meanwhile the television camera tube's noise and target load's noise play an important part in system.

The larger R is, the better is. $R=1\text{M}\Omega$ is proper. Calculation results show that, if $R=1\text{M}\Omega$ $\Delta f=150\text{KHz}$, then $S/N=67.2\text{db}$. The S/N meets the need easily. But the calculations only help us analyse problems, because the influence factors of camera system produced by slow-speed scanning are very complex. Good factors and no good factors are involved so that it is difficult to do them well simultaneously. The article, in the end, made a special probe of the influence to S/N that is brought about by slow-speed scanning.