

增量调制中斜率过载和采样频率不稳定性问题的研究*

郭乃健 杜戈 石秉恭

(暨南大学, 广州)

Slope overload noise and sampling frequency unstability in delta modulation

Guo Naijian, Du Ge Shi Bingong

(Jinan University, Guangzhou)

提要: 本文详细讨论了图像信号增量调制中的斜率过载噪声问题, 根据实验结果, 提出一个计算斜率过载噪声功率的简化模型并得出相应的信噪比公式。并对采样频率不稳定在增量调制中产生的影响进行了研究。

关键词: 光纤通信, 增量调制, 数字传递

一、问题的提出

将模拟信号变为数字脉冲的方法主要有增量调制法(DM法)、脉冲编码调制法(PCM法)和差分脉冲编码调制法(DPCM法)三种, 各有优缺点, 而DM法则是电路上最易实现的一种。

当我们研究采用DM法的图像信号数字光纤传输系统时, 发现斜率过载噪声对图像信号DM编码的质量影响最大, 以往关于这方面的计算 Zetterberg^[1], Rice 和 O'Neal^[2] 以及 Protonotarios^[3] 等都做了详细的研究工作, 但他们给出的结果却过于繁杂和变量关系不明确, 对于实际电路的设计缺乏指导意义。另外, 过去很少有人讨论采样频率不稳定对DM编码质量的影响, 但实际DM系统必然会遇到这个问题。因此, 作者认为有

必要研究斜率过载噪声的简化计算和讨论采样频率不稳对DM的影响, 这可为实际系统的设计提供依据。

二、信号的增量编解码原理 及实验装置

众所周知, 简单DM系统的原理框图见图1所示。其中, 限幅的作用是将连续变化的差值信号 $e(t)$ 以高低电平表示, 实现幅度的量化; 定时判决的作用是在CP脉冲前沿时刻触发下输出由限幅器送来的信号, 实现时间上的量化。设采样时刻为 $t_r (r=1, 2, 3, \dots)$, 相加器的作用是将 $X(t_r)$ 与前一时刻 t_{r-1} 的近似信号 $-Y(t_{r-1})$ 相加, 输出差值信号:

收稿日期: 1988年1月28日。

* 国家自然科学基金资助的课题。

$$\varepsilon(t_r) = X(t_r) - Y(t_{r-1}) \quad (1)$$

故编码规则是: 若 $\varepsilon(t) > 0$, 发“1”码; 若 $\varepsilon(t) < 0$, 发“0”码。其 DM 码流 $P(t)$ 可用全占空比正负脉冲序列表示, 即

$$P(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} b_k h_p(t - k\tau_s) E \quad (2)$$

此处, τ_s 为脉冲周期; E 为脉冲幅度; $b_k = \pm 1$ 与输入信号有关; $h_p = \begin{cases} 1 & (0 \leq t \leq \tau_s) \\ 0 & (\text{其它}) \end{cases}$ 。



图 1 增量调制系统

解码的原理很简单, 一般由 RC 积分器构成, 取 $RC \gg \tau_s$ 时, 输入与输出呈积分关系: $Y(t) = \frac{1}{RC} \int_0^t P(t) dt$, 故对于阶跃电压, 有 $Y(t) = \frac{Et}{RC}$; 而对于(2)式的 $P(t)$, 则

$$Y(t) = \frac{E}{RC} \tau_s \sum_{k=-\infty}^t b_k \quad (3)$$

此即模拟信号 $X(t)$ 的近似还原信号, 其误差由 $\varepsilon(t)$ 决定, 所以

$$X(t_r) = \varepsilon(t_r) + q \sum_{k=-\infty}^{(r-1)} b_k \quad (4)$$

其中, $q = E\tau_s/RC$ 称为译码器的量阶电平。可见所需传送的信息是由 b_k 运载的, 而参数 E 和 τ_s 却决定了还原质量的优劣。

研究视频信号增量调制特性的信号源为正弦波发生器, DM 系统主要元件为 ECL 和 TTL 集成块, 且采样频率在 4~70MHz 内可调。用示波器和高频毫伏表测量和显示。

三、斜率过载特性的分析

经 DM 编码后, 其复原信号必然会存在一些固有失真, 这是由 DM 本身的特性所决定, 也是其它数字化方法共有的。斜率过载噪声就是其中一种, 由 RC 积分器输出的信号由一系列斜率为 $\pm qf_s$ 的线段迭加而成, 只要脉幅 E 和 RC 值给定, 则斜率不变, 因此当输入信号的斜率大于 qf_s 时, 就会产生译码信号跟不上输入信号变化的情况, 从而出现斜率过载现象。观察表明: 当输入正弦波的幅度大于某一值后, 复原波形近似呈三角波形状。

可见, 斜率过载噪声与输入信号的幅度和频率有关。例如, 设输入 DM 系统为 $U(t) = U_0 \sin \omega t$, 则 $U'(t) = U_0 \omega \cos \omega t$, 令 $U'(t)|_{\max} \leq qf_s$, 得: $U_0 \leq \frac{qf_s}{2\pi f}$, 故该系统的最大输入电压幅值为

$$U_{0\max} = qf_s / 2\pi f \quad (5)$$

由此看来, 对于低频信号, $U_{0\max}$ 较大, 不易过载; 对于高频信号, $U_{0\max}$ 较小, 极易过载。所以有必要增大量阶电平 q 或提高采样频率 f_s 以减少斜率过载, 但往往采取后者效果较佳, 因为增大 q 会增加量化噪声。

若定义 $K = RC/\tau_s$ 为积分时间常数与脉冲周期的比值, 则 $U_{0\max} = E f_s / 2\pi f K$, 虽然积分译码要求 $K \gg 1$, 但是斜率过载却要求 K 不宜过大。实验结果表明, 当 RC 值过大时, 译码信号过于平滑, 高频损失严重, 对图像信号的 DM 编码尤为如此。实际上, 取 $K \approx 70$ 可获得较好的图像复原效果。

一旦系统发生斜率过载, 译码信号就存在斜率过载噪声。根据上述实验结果, 假定当输入幅度为 U_0 、频率为 ω 的正弦波时, 斜率过载后的译码波形呈同频率的三角波, 且最大幅度为 $E/4RCf$ 。见图 2 示, 若设译码信号为 $\hat{U}(t)$, 则

$$\hat{U}(t) = \begin{cases} \frac{Et}{RC}, & 0 \leq t \leq \frac{T}{4} \\ -\frac{Et}{RC} + \frac{E}{RC} \frac{T}{2}, & \frac{T}{4} < t \leq \frac{T}{2} \end{cases}$$

故由差值 $\varepsilon(t) = \hat{U}(t) - U(t)$ 产生的噪声功率为

$$\begin{aligned} N'_0 &= \frac{4}{T} \int_0^{\frac{T}{4}} \varepsilon^2(t) dt \\ &= \frac{1}{2} U_0^2 - \frac{2}{\pi^2} \frac{EU_0}{RCf} + \frac{1}{48} \left(\frac{E}{RCf} \right)^2 \\ &= \frac{1}{2} U_0^2 - \frac{2}{\pi^2} \frac{\tau}{\tau_s} q U_0 \\ &\quad \times \left(1 - \frac{\pi^2}{96} \frac{\tau}{\tau_s} \frac{q}{U_0} \right) \end{aligned}$$

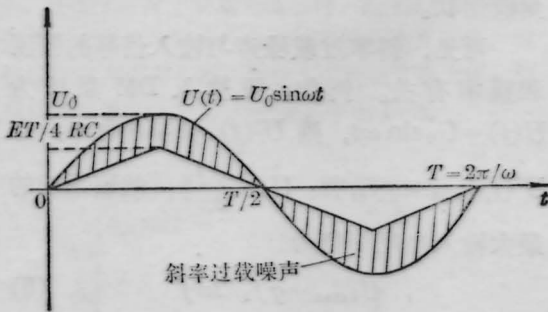


图2 斜率过载噪声的计算

因斜率过载 $\frac{U_0}{\tau} > \frac{q}{\tau_s}$, 故可忽略括号内最后一项, 得

$$N'_0 = \frac{1}{2} U_0^2 \left(1 - \frac{4}{\pi^2} \frac{\tau}{\tau_s} \frac{q}{U_0} \right) \quad (6)$$

由此可以归纳出斜率过载噪声的特点: 斜率过载噪声随输入信号增大而增大; 随输入信号频率增加而增加; 随量阶电平变大而变小。与过去得出的一些有关计算公式相比, (6)式更加简单明了, 虽然并非十分精确, 但却有利于指导设计工作。相应地, 斜率过载信噪比为

$$\begin{aligned} (SNR)_{slop} &= 20 \log 1 / \left(1 - \frac{4}{\pi^2} \frac{E}{RCf} \frac{1}{U_0} \right) \\ &\simeq -7.8 + 20 \log \frac{\tau}{\tau_s} \frac{q}{U_0} \quad (dB) \end{aligned}$$

所以, 当产生斜率过载后, 信噪比以每倍频程 6dB 的速度减少。

由于图像信号的频谱成分丰富, 脉冲性强, 故对其采取 DM 编码后, 其斜率过载噪声就大, 所以实际系统总存在最大不失真输入电平 V_{imax} , 图 3 是实测的图像信号 DM 系统输入与输出的对应关系, 其中 V_{imax} 与信号频率有关, 可见在 $[V_{imin}, V_{imax}]$ 内呈斜率为 1 的线性关系, 该区也正好是输入信号的不失真动态范围, 大于 V_{imax} 输出就呈现斜率过载, 其噪声由 (6) 式决定。

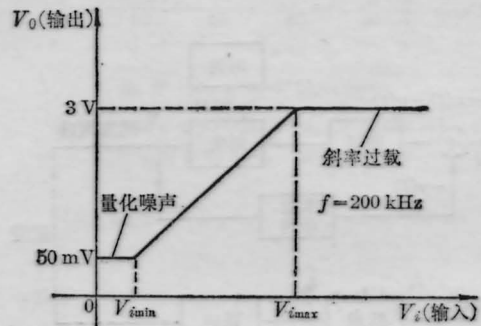


图3 输入与输出关系

然而, 为了使图像信号中的高频成份不易过载, 往往可用加重滤波法在输入端预先压缩高频成份, 而在解码端再将其放大补偿, 达到减小过载噪声扩大动态范围的目的。

四、采样频率不稳定的影响

关于采样频率 f_s 不稳定对 DM 编码质量的影响, 过去这方面的讨论不多, 但实际上, 在 DM 系统设计时, 这问题确实存在。根据 (3) 式, 若 f_s 随时间 t 改变, 即 $f'_s = f_s \pm [\Delta f_s]$, 则微分的结果为

$$\begin{aligned} |\Delta Y(t_r)| &= \left(\frac{E}{RC} \sum_{k=-\infty}^r b_k \right) \frac{|\Delta f_s|}{f_s^2} \\ &= \frac{E\tau_s}{RC} \sum_{k=-\infty}^r b_k \frac{|\Delta f_s|}{f_s} \end{aligned}$$

同时, 量阶电平变为

$$|\Delta q| = \frac{E\tau_s}{RC} \frac{|\Delta f_s|}{f_s}$$

故严格而言, 采样频率的变化将通过量阶电平对输出信号产生影响。但是, 只要相对变化

(下转第 597 页)

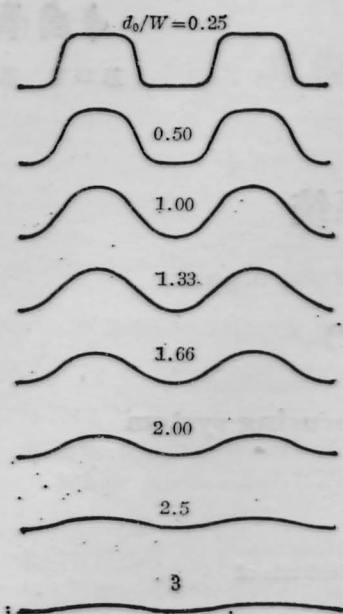


图5 理论计算的 $P-d_0/w$ 曲线

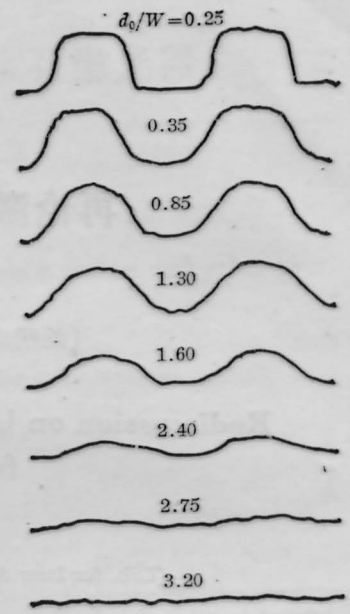


图6 实验所得的 $P-d_0/w$ 曲线

参 考 文 献

1 John M. Fleischer and C. Brech Hitz, *Laser and Optonics*, **6** (5), 61(1987)

2 LeRoy D. Dichson, *Opt. Engin.*, **18**(1), 70(1979)
 3 周晨波, *应用激光*, **7**(5), 223(1987)
 4 李家伟, 吴昌军, *激光与红外*, **17**(2), 46(1987)
 5 D. K. Cohen *et al.*, *Appl. Opt.*, **23**(4), 637(1984)

(上接第 608 页)

不太大,就不会对译码图像产生很大的影响,在实验中,当使 $|df_s|/f_s < 0.01$ 时,仍然没有观察到图像明显受损现象,究其原因是由于它的影响被量化噪声淹没了,因为

$$\frac{|\Delta q|}{q} = \frac{|\Delta Y(t)|}{Y(t)} < 0.01。$$

参 考 文 献

1 Zetterberg L.H., *Ericsson Technics*, **11**(1), 95 (1955)
 2 O'Neal, Jr., *B. S. T. J.*, **45**, Jan, 117(1966)
 3 Protonotarios E. N., *B. S. T. J.*, **46**(9), 2119(1967)
 4 De Jager F., *Philips Res. Rept.*, **7**, 442(1952)