

Cuantizarea reală

Ideal, ansamblul cuantizor-codor din compunerea convertoarelor analog-numerice ar trebui să manifeste un comportament linear și uniform, așa cum se prezintă în figura 1-(a) pentru un convertor unipolar de trei biți. O formă generalizată a caracteristicii de transfer este ([1]):

$$D = K + GA \quad (1)$$

unde D este codul numeric, A este semnalul analogic, iar K și G sînt constante.

Totuși, convertoarele analog-numerice practice se abat de la relația ideală (2.4.1) datorită variațiilor elementelor din rețelele rezistive care abundă în circuitele cuantizoare și codoare. Cele mai multe valori de rezistoare din convertoarele integrate pot avea o dispersie de pînă la 5%. Aceste diferențe de valori conduc la o caracteristică de transfer practică cu erori în valorile de prag ale semnalului de intrare și corespondențe incorecte între praguri și codurile numerice generate.

Eroarea de decalaj se definește ca diferență dintre valoare reală și cea ideală a constantei K , ca în exemplul din figura 1-(b). **Eroarea de câștig**, exemplificată în figura 1-(c), este diferența procentuală între valorile reală și ideală ale constantei G . Erorile de câștig pot duce la limitarea valorilor numerice la ieșirea convertorului datorită imposibilității reprezentării unor nivele mai mari decît cel de saturație.

Pe lîngă cele două erori de transfer liniare, de decalaj și de câștig, convertoarele practice manifestă și erori neliniare sub forma **neliniarității integrale** (INL), figura 1-(e), și a **neliniarității diferențiale** (DNL), figura 1-(d). Deși sînt tratate separat, cele două tipuri de erori nu sînt decît măsuri diferite ale acelorași neliniarități.

Neliniaritatea integrală este definită ca deviația maximă pe care caracteristica de transfer reală a convertorului o are față de linia dreaptă a caracteristicii ideale, și este uzual exprimată în procente din nivelul de saturație (maxim admis pentru semnalul de intrare). Se utilizează două metode de măsurare a acestei neliniarități și anume: metoda punctului terminal, în care se măsoară deviația maximă față de linia dreaptă care unește originea caracteristicii cu punctul de saturație după eventuala ajustare a câștigului, și metoda regresiei liniare, în care se măsoară deviația maximă față de linia de cea mai bună aproximație a caracteristicii de transfer reale. Deși metoda regresiei liniare oferă în general o indicație mai precisă a performanței convertorului, metoda punctului terminal este cea mai utilizată întrucît oferă estimarea cea mai dezavantajoasă (în mod asemănător unui coeficient de siguranță).

Neliniaritatea diferențială este o măsură a variației mărimii fiecărui nivel de cuantizare în raport cu mărimea pasului ideal. Această neliniaritate poate avea ca rezultat o caracteristică de transfer nemonotonă, sau chiar absența unor nivele de cuantizare. Pentru cazul unui ipotetic semnal de intrare aleator, care acoperă întregul domeniu de valori admise, probabilitatea relativă de apariție a fiecărui nivel de cuantizare este legată direct de mărimea sa și neliniaritatea diferențială poate fi calculată cu formula

$$DNL = \frac{P_{real}(nivel\ de\ cuantizare\ n)}{P_{ideal}(nivel\ de\ cuantizare\ n)} - 1 \quad (2)$$

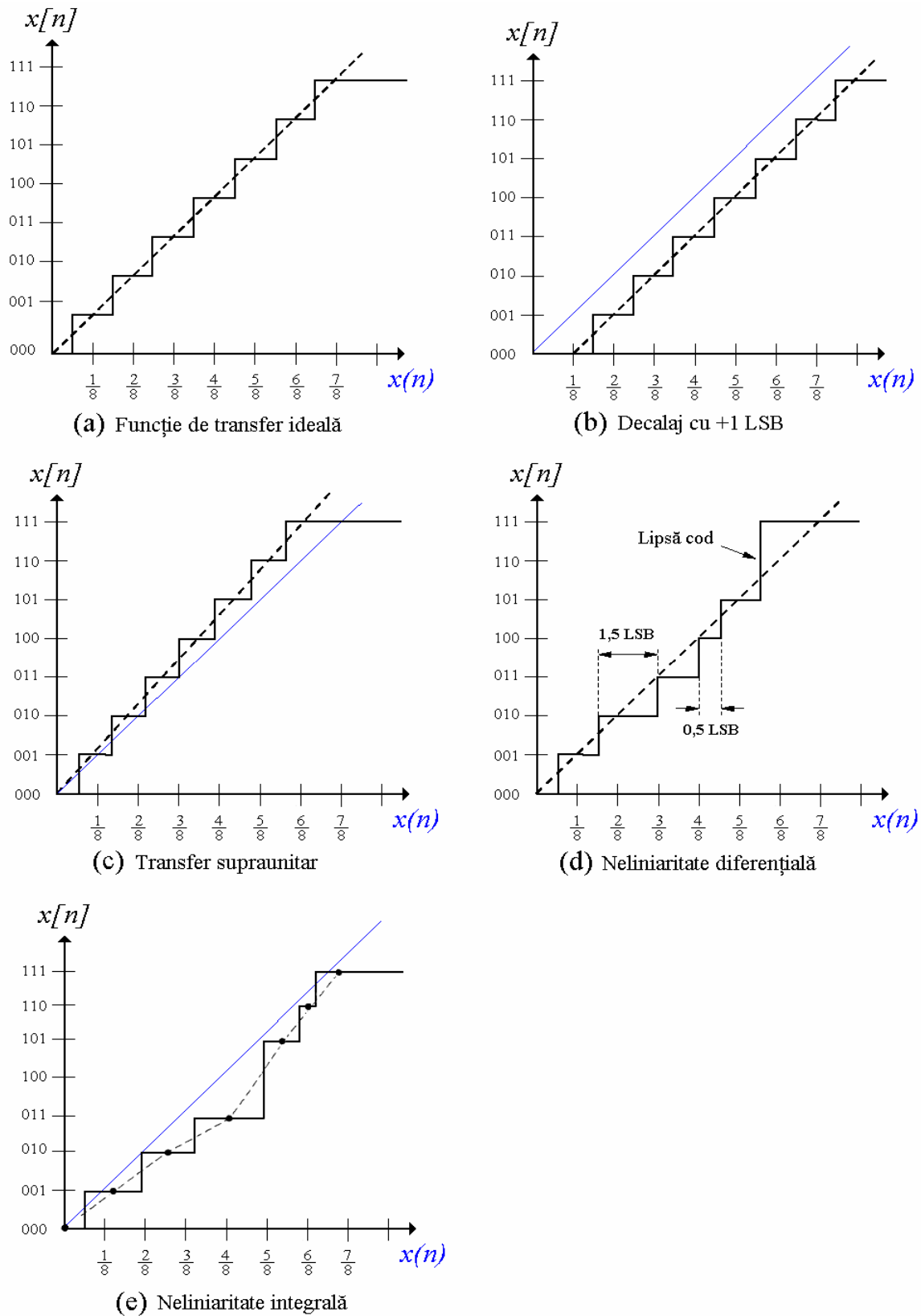


Figura 1

unde $P_{real}(\text{nivel de cuantizare } n)$ este probabilitatea măsurată de apariție a nivelului n și $P_{ideal}(\text{nivel de cuantizare } n)$ este probabilitatea teoretică de apariție a acestui nivel în semnalul de intrare.

Oricare dintre erorile caracteristicii de transfer a convertorului analog-numeric introduce distorsiuni în reprezentarea semnalului de intrare, și contribuie la micșorarea gamei dinamice a acestuia.

Metoda clasică utilizată pentru determinarea parametrilor evocați este tehnica histogramei. Ea presupune aplicarea la intrarea convertorului analog-numeric a unui semnal periodic cu distribuție de nivel cunoscută și înregistrarea (numărarea) aparițiilor valorilor (codurilor) numerice la ieșirea convertorului. Din compararea frecvenței de apariție a valorilor numerice cu cea a valorilor semnalului real se obțin prin calcul parametrii caracteristici cuantizorului real. Cele mai utilizate semnale analogice de test sînt cele triunghiulare și sinusoidale, care în figura 2 sînt însoțite de histogramele lor ([2],[3]).

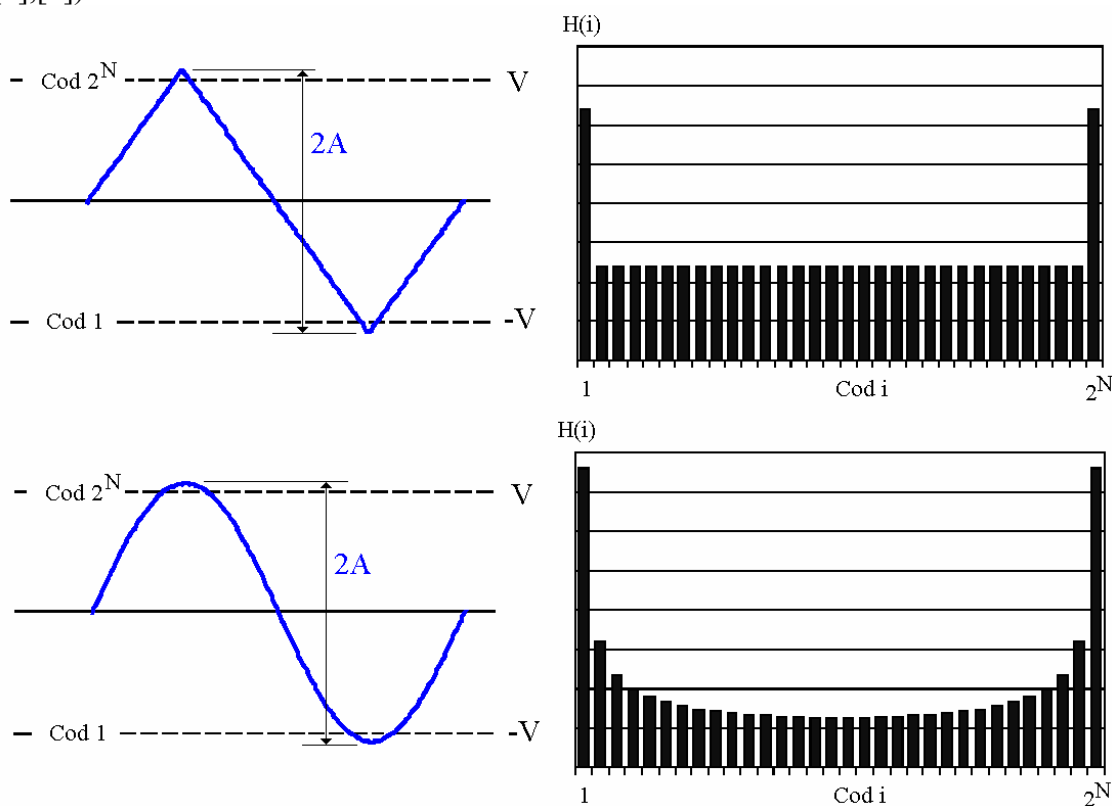


Figura 2

Pentru semnalul de test sinusoidal cu amplitudinea A aplicat unui convertor analog-numeric de N biți, histograma de referință obținută pe un număr total de eșantioane N_T este:

$$H^{ref}(i) = \frac{N_T}{\pi} \left\{ \sin^{-1} \left[\left(\frac{2i - 2^N}{2^N} \right) \frac{V}{A} \right] - \sin^{-1} \left[\left(\frac{2i - 2^N - 2}{2^N} \right) \frac{V}{A} \right] \right\} \quad (3)$$

$$i \in \{1, 2, 3, \dots, 2^N\}$$

Decalajul caracteristicii V_{offset} este uzual determinat folosind frecvențele experimentale de apariție a celor două valori numerice extreme $H^{exp}(1)$ și $H^{exp}(2^N)$.

$$V_{offset} = V \frac{\cos\left[\frac{\pi H^{exp}(1)}{N_T}\right] - \cos\left[\frac{\pi H^{exp}(2^N)}{N_T}\right]}{\cos\left[\frac{\pi H^{exp}(1)}{N_T}\right] + \cos\left[\frac{\pi H^{exp}(2^N)}{N_T}\right]} \quad (4)$$

Panta caracteristicii convertorului, câștigul său G , este evaluată prin compararea amplitudinei semnalului, așa cum “o vede” convertorul, cu cea reală.

$$G = \frac{V - V_{offset}}{A \cos\left[\frac{\pi H^{exp}(2^N)}{N_T}\right]} \quad (5)$$

Nelinaritatea diferențială se estimează pentru fiecare valoare numerică i generată de convertor, iar neliniaritatea integrală se obține ca sumă parțială a celei diferențiale.

$$DNL(i) = \frac{H^{exp}(i)}{H^{ref}(i)} - 1$$

$$INL(i) = \sum_{j=1}^i DNL(j) \quad (6)$$

$$i \in \{1, 2, 3, \dots, 2^N\}$$

În figura 3 sînt redată spre exemplificare rezultatele determinărilor de neliniaritate la convertorul analog-numeric de 14biți AD9240 ([4]), în configurația cu $V=2,5V$.

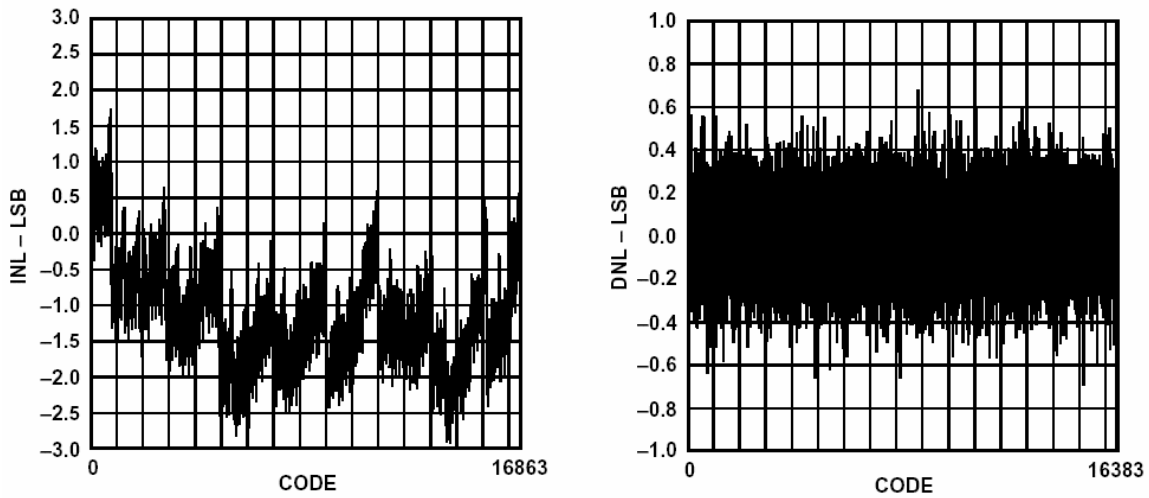


Figura 3

Pentru ca rezultatele obținute din aplicarea relațiilor (4), (5) și (6) să justifice un grad mare de încredere trebuie ca numărul eșantioanelor prelevate de la semnalul de test să fie cât mai mare, iar frecvența semnalului de test sinusoidal să aibe un divizor comun cu frecvența de eșantionare de valoare cât mai mare. De exemplu ([5]), determinarea cu o precizie de 0,1 biți a neliniarității diferențiale a unui convertor analog-numeric de 8 biți, cu o încredere de 99%, necesită prelevarea a 268.000 de eșantioane.

BIBLIOGRAFIE

- [1] - Jeffrey H. Reed, *“Software Radio: A Modern Approach to Radio Engineering”*, Prentice Hall, 2002, ISBN 0-13-081158-0
- [2] F. Azais, S. Bernard, Y. Bertrand, M. Renovell, *“Implementation of a Linear Histogram BIST for ADCs”*, University of Montpellier
- [3] F. Azais, S. Bernard, Y. Bertrand, M. Renovell, *“Towards an ADC BIST Scheme using the Histogram Test Technique”*, University of Montpellier
- [4] - ----- *“AD9240 Complete 14-bit, 10MSPS Monolithic A/D Converter”*, Analog Devices
- [5] Walt Kester, *“Measure Flash-ADC Performance for Trouble-Free Operation”*, ANALOG DEVICES, Application Note AN-215C