

## Generarea semnalelor prin conversie numeric-analogică

Obținerea unui semnal real (valoare continuă definită pentru oricare moment de timp) din unul numeric (valori discrete la anumite momente de timp definite) presupune parcurgerea unui proces de conversie numeric-analogică, care în esență este un proces de interpolare.

Convertoarele numeric-analogice electronice (eng. DAC –Digital to Analog Converter) sînt circuite care acceptă la intrare un set de semnale electrice reprezentînd codul numeric ale unor eșantioane cuantizate și prezintă la ieșire un semnal electric analogic, așa cum generic arată schema bloc din figura 1. Majoritatea dispozitivelor DAC care operează în domeniul de radiofrecvență preiau la intrare eșantioanele zecimale de semnal  $z[n]$  codate sub o formă binară (considerată naturală în relația (1), pentru simplificarea prezentării).

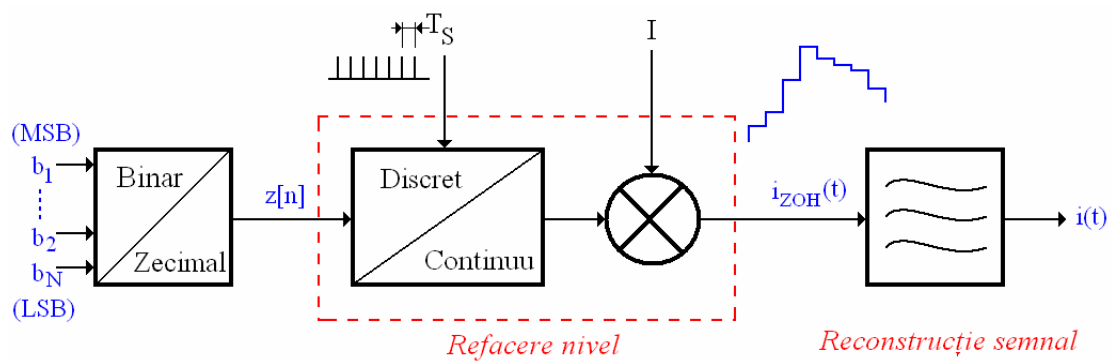


Figura 1

$$z[n] = \sum_{i=1}^N \frac{b_i}{2^i} \quad b_i \in \{0;1\} \quad (1)$$

$$i[n] = Iz[n]$$

Trecerea în domeniul analogic se face prin generarea unui curent electric de valoare maximă  $I$  care interpolează între momentele de eșantionare  $nT_s$  valorile eșantioanelor  $i[n]$ , și extragerea prin filtrare trece-jos sau trece-bandă a componentelor de semnal aflate în una dintre primele zone Nyquist, în cele mai multe situații chiar în prima.

Cea mai simplă interpolare aplicabilă este cea de ordin zero,  $i_{ZOH}(t)$  (eng. ZOH – Zero Order Hold), avînd avantajul unei ușoare implementări în structuri cu frecvență de eșantionare mare bazate pe surse de curenți egali sau ponderați binar. În figura 2 se exemplifică soluția de interpolare bazată pe comutarea unor surse de curent ponderate binar ([1]) pe 12 biți, în tehnologie bipolară.

Urmare a procesului de interpolare a eșantioanelor de curent  $i[n]$  este apariția unei filtrări suplimentare a semnalului reconstruit  $i(t)$ , pe lîngă aceea realizată de blocul de filtrare din figura 1. Funcția de transfer a filtrului echivalent interpolării de ordin zero,  $H_{ZOH}(\omega)$ , este dată de relația 2 avînd un modul normat de forma  $\text{sinc}(x) = \sin(x)/x$  și introducînd o atenuare de 3,92 dB la frecvența Nyquist.

$$H_{ZOH}(\omega) = \frac{1 - \exp(-j\omega T_s)}{j\omega T_s} \quad (2)$$

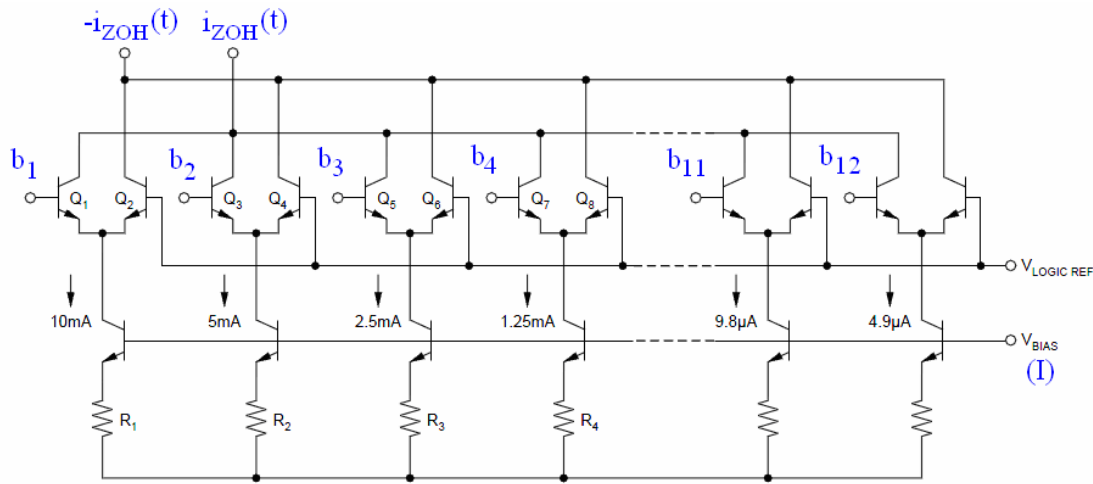


Figura 2

Pentru a da posibilitatea generării de semnale radio nedistorsionate care să ocupe un larg procentaj din zona Nyquist fără a fi nevoie de un filtru fizic compensator, dispozitivele moderne conțin în aceeași structură cu convertorul numeric-analogic filtre numerice (de tip FIR) care predistorsionează eșantioanele numerice  $z[n]$  (figura 1) printr-o funcție de transfer cu caracteristică inversă a funcției  $H_{ZOH}(\omega)$ . Ca exemplu, în figura 3 este indicată prezența unui asemenea filtru în structura convertorului de frecvență cu interpolare AD9857 ([2]) unde interpolarea realizată de convertorul numeric-analogic pe 14 biți este compensată de la 0 Hz pînă la 45 % din frecvența maximă de eșantionare a semnalului generat, care este de 200 MHz.

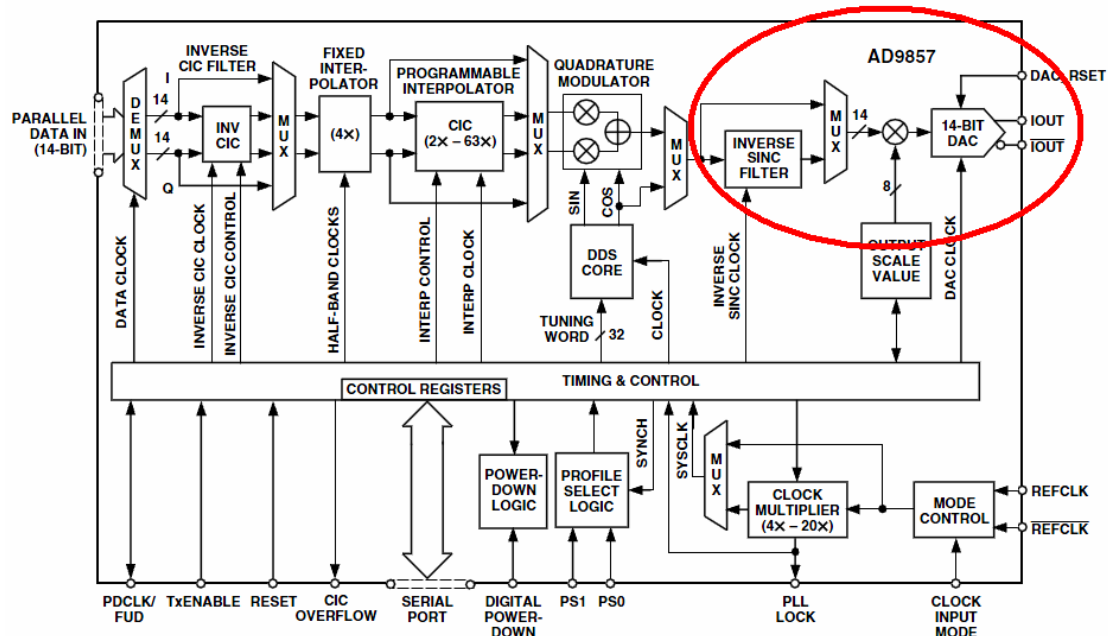
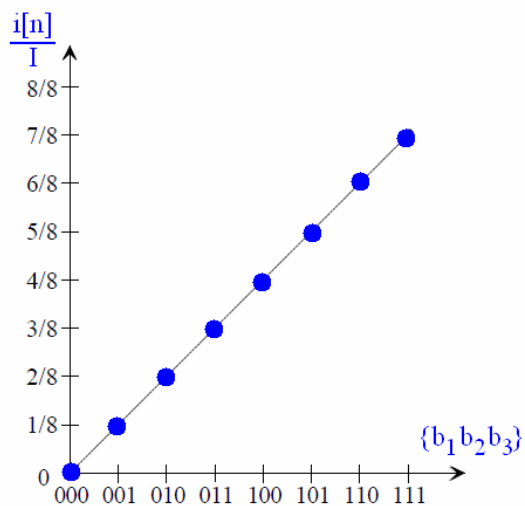
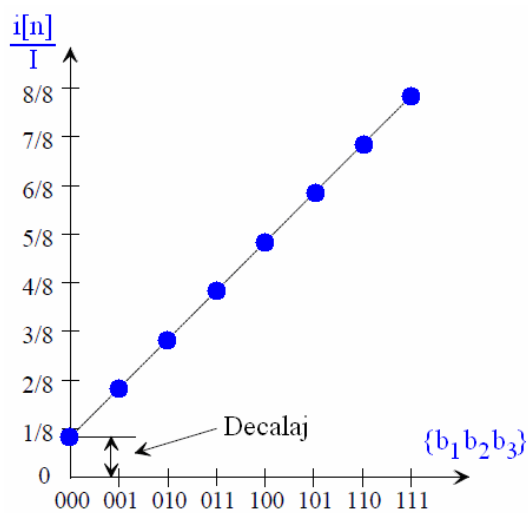


Figura 3

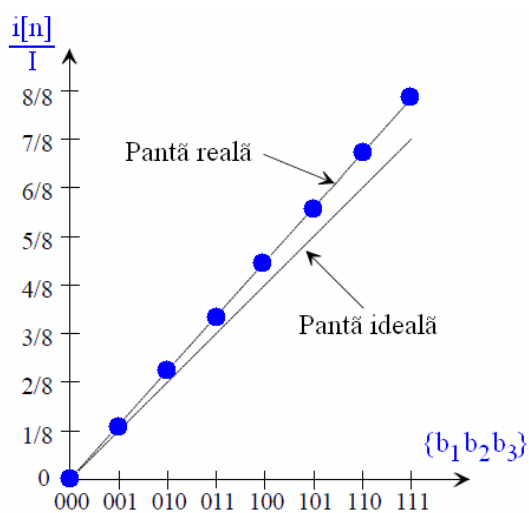
Convertoarele numeric-analogice reale manifestă atât imperfecțiuni statice cât și dinamice. Imperfecțiunile statice sînt exemplificate generic în figura 4 pentru cazul unui convertor pe 3 biți, deci la ieșirea căruia pot apare 8 nivele de semnal (curent în cazul acesta), iar în figura 5 cele dinamice.



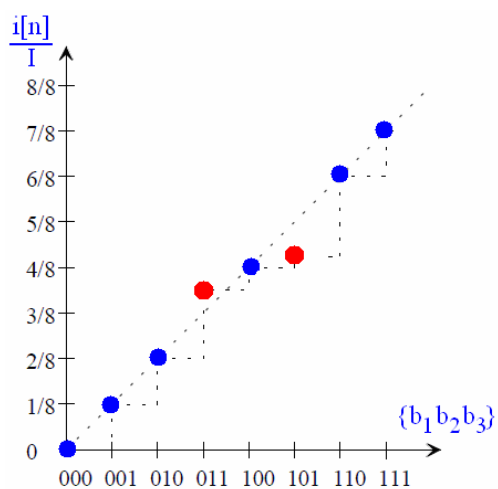
(a) – caracteristică ideală



(b) - caracteristică decalată



(c) – câștig eronat



(d) – caracteristică cu neliniarități

Figura 4

Dintre imperfecțiunile statice, acelea care descriu neliniaritatea caracteristicii de transfer a convertorului (întâlnite de altfel și în cazul convertoarelor analog-numerice), **neliniaritatea diferențială** (diferența maximă dintre un pas făcut de semnalul de ieșire al convertorului și valoarea ideală a acestuia corespunzătoare la 1 LSB) și **neliniaritatea integrală** (diferența maximă dintre valoarea semnalului la ieșirea convertorului și valoarea sa ideală, după compensarea eventualului decalaj și a eventualei erori de câștig), sînt mai importante pentru aplicațiile radio.

Limitările răspunsului convertoarelor numeric-analogice reale la dinamica semnalului numeric aplicat  $z[n]$  sînt înglobate în regimul tranzitoriu pe care semnalul de ieșire îl manifestă în cadență cu momentele (tactul) de eșantionare, ca în figura 5. Cuplajele parazite dominant capacitive din interiorul dispozitivului convertor, variațiile de impedanțe la schimbarea stărilor etajelor componente dar și neadaptarea în bandă largă cu circuitul de sarcină la ieșirea convertorului provoacă regimuri tranzitorii oscilante care distorsionează amplitudinile și fazele componentelor spectrale ale semnalului generat.

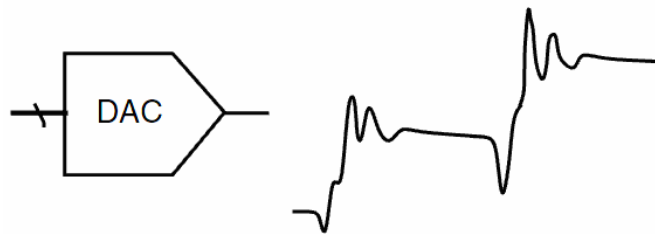


Figura 5

## BIBLIGRAFIE

- [1] – Mike Koen, “*High Speed Data Conversion*”, Burr-Brown, Application Buletin AB-027A, 1991
- [2] - ----- “AD9857 CMOS 200 MSPS 14-Bit *Quadrature Digital Upconverter*”, <http://www.analog.com/>
- [3] – Konstantinos Doris, Arthur van Roermund, Domine Leenaerts, “*Wide-Bandwidth High Dynamic Range D/A Converters*”, Springer, 2006, ISBN-10 0-387-30415-0