

#21: Subeșantionarea semnalelor modulate

de YO3ITI

Conform teoremei Nyquist-Shannon, reconstrucția unui semnal prin eșantionare necesită o rată de eșantionare egală cu minimum dublul frecvenței maxime a semnalului util. Această teoremă furnizează o condiție suficientă (dar nu întotdeauna necesară) sub care este posibilă reconstrucția perfectă a unui semnal. Această regulă previne fenomenul de dedublare* datorat pierii în jurul axei 0 Hz. Dacă dorim eșantionarea digitală a vocii umane, cu un maxim în frecvență în jurul valorii de, să zicem, 6 kHz, atunci rata de eșantionare trebuie să fie de cel puțin 12 kHz. În practica curentă, rata de eșantionare utilizată este un pic mai mare, oferind o rezervă-tampon, iar etajul de conversie A/D este precedat de un filtru trece-jos pentru a împiedica semnalele cu frecvență ridicată să pătrundă în convertor și, ca urmare, să determine dedublarea în componente ambigue sau false. Aceste reguli se aplică atât semnalelor digitale cât și celor analogice.

În cazul unei purtătoare de frecvență înaltă pe care este modulată informație de frecvență mai scăzută, este necesară translatarea conținutului de informație într-o bandă de frecvențe suficient de scăzută pentru a putea fi utilizată de convertorul A/D. Convertoarele A/D moderne† operează frecvent cu rate de eșantionare de peste 100 MHz, furnizând rezoluție de 12 sau 14 biți, sau chiar mai mult. Aceasta este o performanță fenomenală considerând că acum 15 ani proiectarea și construcția unor circuite A/D cu rezoluție de 12 biți la 20 MHz reprezenta o problemă. Un convertor A/D care funcționează la 216 MHz poate eșantiona direct întregul spectru radio comercial cu modulație în frecvență (88 – 108 MHz) și demodula informația direct în software. Nu am ajuns încă în acest punct‡ astfel că încă este necesară utilizarea unui mixer de radiofrecvență care să transforme semnalul RF într-o bandă de frecvențe utilizabilă. Emisiunile radio cu modulație în amplitudine (520 – 1.610 kHz) pot fi, însă, eșantionate direct.

* *Aliasing* în limba engleză

† Referitor la anul 2006.

‡ Lucru care, zece ani mai târziu, este posibil și reprezintă baza sistemelor SDR.

Ce este metoda de eșantionare super-Nyquist ?

Mai există o posibilitate denumită *subeșantionare*, uneori denumită și eșantionare în banda de trece sau eșantionare super-Nyquist. În acest caz, fenomenul de dedublare (aliasare) este utilizat pentru a determina convertorul A/D să eșantioneze semnalul utilizând o rată de eșantionare care dedublează în mod voit purtătoarea modulată (f_p) în intervalul de funcționare a convertorului A/D. Determinarea frecvenței de eșantionare necesare (f_e) este un proces în doi pași destul de simplu, care utilizează următoarele două formule:

$$f_e > 2 \cdot \Delta f_s \quad (1)$$

unde Δf_s reprezintă intervalul semnalului util.

$$f_e = \frac{4 \cdot f_p}{2 \cdot Z - 1} \quad (2)$$

unde f_e este frecvența (rata) de eșantionare, iar f_p este frecvența purtătoarei.

Modularea unui semnal periodic. De exemplu, să analizăm un semnal modulator de 20 MHz care modulează o purtătoare de 2 GHz. Conform teoremei Nyquist este necesară o frecvență de eșantionare de cel puțin 4,04 GHz ($2 \times 2,02$ MHz) — pentru eșantionarea directă a acestui semnal. Din ecuațiile de mai sus, găsim soluția ecuației 1 pentru frecvența minimă de eșantionare:

$$f_e = 2 \cdot \Delta f_s = 2 \cdot 10 \cdot 10^6 \quad (3)$$

Introduceți această valoare în ecuația (2), calculați valoarea lui Z , apoi rotunjiți rezultatul la cel mai apropiat număr întreg:

$$\begin{aligned} Z &= 0,5 \cdot \left(\frac{4 \cdot f_p}{f_s} + 1 \right) \\ &= 0,5 \cdot \left(\frac{4 \cdot 2 \cdot 10^9}{2 \cdot 10^7} + 1 \right) = 200,5 \Rightarrow 200 \end{aligned} \quad (4)$$

În final utilizați valoarea lui Z pentru a calcula frecvența de *subeșantionare*:

$$f_s = \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^9}{2 \cdot 200 - 1} = 20,050 \text{ MHz} \quad (5)$$

YO3ITI

Documentație de YO3ITI • Documentation by YO3ITI

P.O. BOX 49-6
024360 Bucharest
Romania

<http://www.yo3iti.ro>
