

Echipamente Radio Definite prin Program si Virtuale

Exemplu simplificat de receptor

Proiectarea echipamentelor radio este de cele mai multe ori un proces iterativ, în care calculele exacte, pe modele matematice riguroase, se reiau atunci când rezultatele lor nu au (încă) acoperire tehnologică prin componente comercial disponibile. Așa se poate întâmpla și în cazul unui radioreceptor numeric, atunci când impunerea unei anumite sensibilități nu este urmată de o dimensionare corectă a blocurilor de intrare analogice. Se poate ajunge să se constate faptul că este nevoie de un convertor analog-numeric de o rezoluție neatinsă încă.

Drept exemplu, să presupunem că pentru un anumit convertor analog-numeric disponibil, de exemplu AD9245 ([3]) de 14 bit și frecvență de eșantionare 80 MHz, dorim să estimăm sensibilitatea maximă care se poate obține de la cel mai simplu receptor în care semnale radio de bandă îngustă din gama 0,5 – 30 MHz sînt eșantionate direct. Punctul de plecare îl constituie analiza mecanismului de zgomot la semnal mic din convertorul analog-numeric, întrucît se poate considera că ulterioarele prelucrări numerice ale eșantioanelor nu adaugă zgomot semnificativ. Pentru a se putea efectua însă această analiză este nevoie să fie mai întîi stabilită modalitatea practică de interfațare între blocul analogic de radio frecvență și convertor, iar în detaliu această interfațare trebuie să țină seama de particularitățile etajului de intrare al convertorului.

Circuitul de intrare al convertorului analog-numeric AD9245, din figura 1, este un amplificator diferențial cu capacități comutate prin tranzistoare MOS, optimizat pentru etapele procesului de eșantionare de mare viteză, adică *urmărirea* (eng. **Track**) și apoi *menținerea* (eng. **Hold**) valorii semnalului de intrare pe durata cuantizării (ambele etape avînd aproximativ aceeași durată în timp, adică 50% din perioada de eșantionare). Important pentru acest tip de circuite de intrare în convertoarele analog-numerice sînt următoarele trei caracteristici generale ([7]):

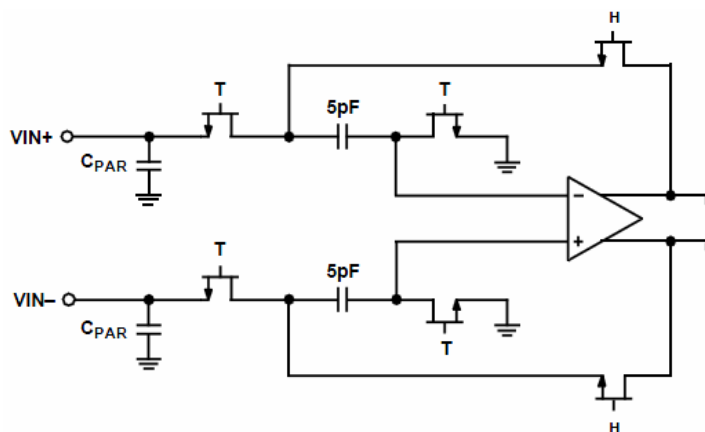


Figura 1

- Impedanța de intrare în convertor este dominant capacitivă;
- Impedanța de intrare în convertor este diferită pe durata celor două etape ale procesului de eșantionare (urmărire – Track, menținere - Hold);
- Sursa de semnal trebuie să facă față solicitării prin pulsuri de curent pentru încărcarea rapidă a condensatoarelor (~5 pF) la începutul fazei de urmărire a semnalului de intrare, fără al distorsiona.

Echipamente Radio Definite prin Program si Virtuale

Pe baza datelor furnizate de fabricant ([4]), graficele din figura 2 arată variația cu frecvența a componentelor paralele rezistivă și capacitivă a impedanței de intrare diferențială în convertor.

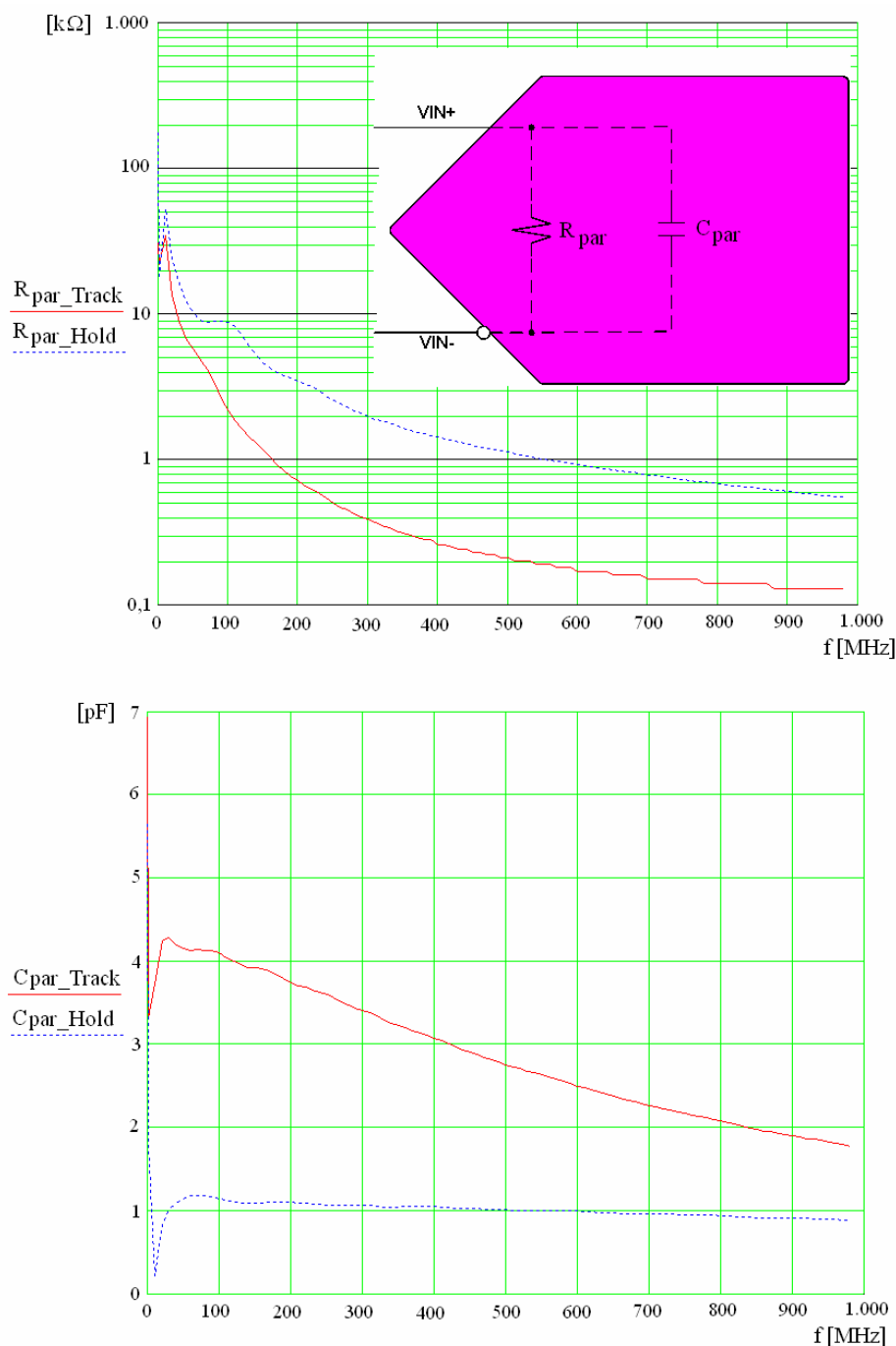


Figura 2

Figura 3 indică o modalitate recomandată ([3], [7]) pentru interfațarea prin transformator 1:1 (de exemplu ADT1-1WT Mini-Circuits) a intrării diferențiale a convertorului lucrând în banda Nyquist de bază cu etajele asimetrice de radiofrecvență într-un

Echipamente Radio Definite prin Program si Virtuale

sistem în care s-a adoptat impedanța nominală de $50\ \Omega$. Cele două rezistențe de $33\ \Omega$ și condensatorul de $20\ \text{pF}$ izolează secundarul transformatorului de curenții tranzistorii prezenți la intrarea convertorului și în plus formează un filtru trece-jos suplimentar pentru zgomotul prezent la intrarea transformatorului în zonele Nyquist superioare (banda de semnal mic a convertorului este de $500\ \text{MHz}$!). Pentru uniformizarea transferului de semnal în interfață este introdus un pol prin inductanța de $10\ \text{nH}$, accentuându-se astfel și atenuarea în afara primei zone Nyquist, iar pentru asigurarea unei impedanțe de sarcină în valoare de $50\ \Omega$ pentru modulul de radiofrecvență a fost introdusă rezistența de $62\ \Omega$.

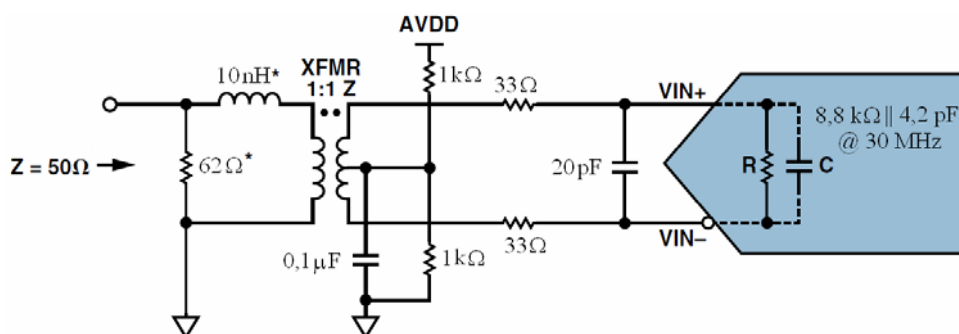


Figura 3

Efectuarea bilanțului de putere semnal-zgomot la nivelul convertorului analog-numeric în situația când la intrarea structurii din figura 3 este aplicat semnal de la un generator, este ușurată de schema echivalentă din figura 4 care corespunde și condițiilor în care fabricantul caracterizează dispozitivul prin raportul semnal-zgomot, *SNR* (eng. **S**ignal-to-**N**oise **R**atio). Pentru un convertor analog-numeric destinat semnalelor radio, *SNR* este ([3]) raportul valorii medii pătratice, *rms* (eng. **R**oot **M**ean **S**quare), a semnalului aplicat intrării lui și valoarea medie pătratică a sumei tuturor componentelor spectrale din banda Nyquist (sub $f_s/2$), mai puțin primele șase armonici ale semnalului și componenta continuă ($0\ \text{Hz}$).

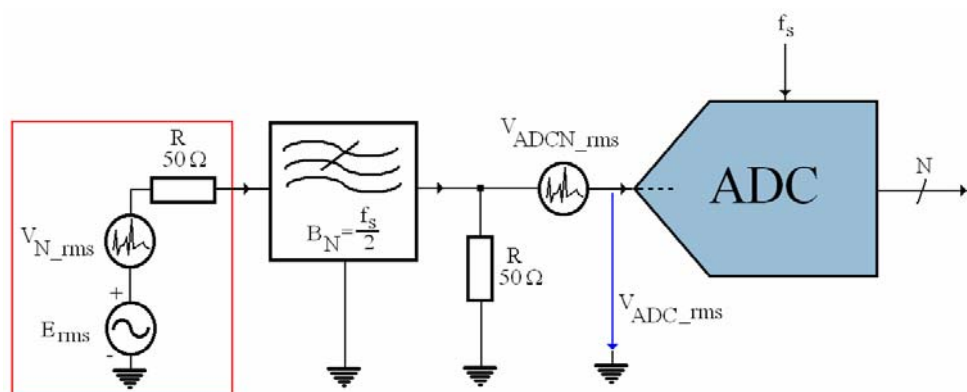


Figura 4

Notățiile din figura 4 au următoarele semnificații: E_{rms} este valoarea medie pătratică a tensiunii semnalului util prezent la ieșirea generatorului în gol; V_{N_rms} este valoarea medie pătratică a tensiunii zgomotului generat de rezistența internă a generatorului la ieșirea sa în

Echipamente Radio Definite prin Program si Virtuale

gol, proporțională cu radicalul produsului dintre constanta lui Boltzmann, $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K, temperatura absolută a "camerei", $T=300$ K, banda echivalentă de zgomot B_N exprimată în Hz și rezistența internă a generatorului, R ; $V_{ADC_{N_rms}}$ este tensiunea medie pătratică a zgomotului propriu convertorului analog-numeric raportată la intrarea sa; V_{ADC_rms} este tensiunea medie pătratică totală aplicată intrării convertorului analog-numeric ideal avînd același număr de biți și domeniu de intrare ca și convertorul real. Cu aceste notații se pot scrie relațiile (1), avînd ca scop explicitarea raportului semnal-zgomot la nivelul convertorului.

$$V_{N_rms} = \sqrt{4kTRB_N} = \sqrt{2kTRf_s}$$

$$V_{ADC_rms}^2 = \underbrace{\left(\frac{E_{rms}}{2}\right)^2}_{\text{Semnal}} + \underbrace{\left(\frac{V_{N_rms}}{2}\right)^2}_{\text{Zgomot}} + V_{ADC_{N_rms}}^2 \quad (1)$$

$$SNR = \frac{\frac{E_{rms}}{2}}{\sqrt{\left(\frac{V_{N_rms}}{2}\right)^2 + V_{ADC_{N_rms}}^2}} = \frac{\frac{E_{rms}}{2}}{\sqrt{kTR\frac{f_s}{2} + V_{ADC_{N_rms}}^2}}$$

Banda echivalentă de zgomot B_N , figura 5, este banda unui filtru ideal echivalent (cu caracteristică de transfer rectangulară), care are același câștig maxim G_{max} cu filtrul real și care oferă aceeași putere disponibilă ca și cel real atunci cînd la intrarea sa este aplicat zgomot alb.

$$B_N = \frac{\int_0^{\frac{f_s}{2}} G(f) df}{G_{max}} \quad (2)$$

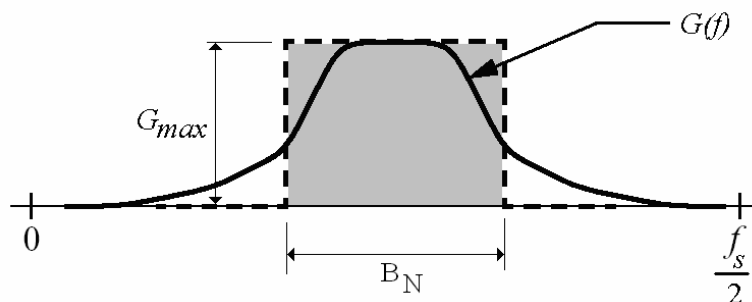


Figura 5

Un filtru potrivit pentru exemplul de receptor analizat este SLP-30+ (Mini-Circuits, www.minicircuits.com), figura 6, care are o atenuare de 3 dB la 35 MHz și apoi o atenuare mai mare de 20 dB pentru toate frecvențele mai mari de 47 MHz. Pentru frecvențele mai mici de 30 MHz atenuarea de inserție este mai mică de 0,5 dB.

Echipamente Radio Definite prin Program si Virtuale

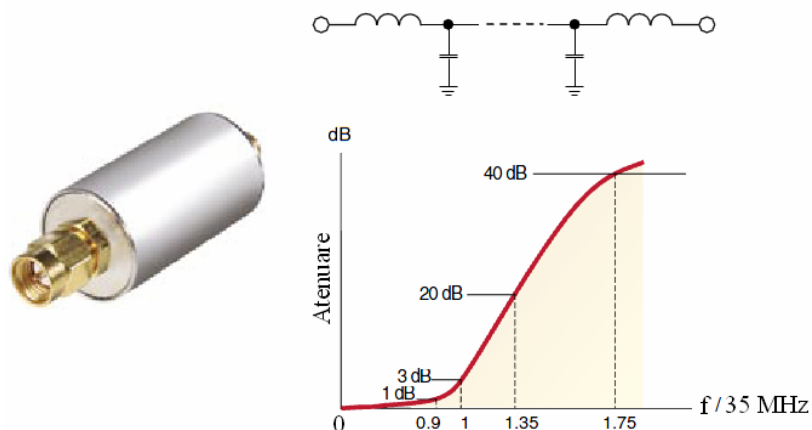


Figura 6

În specificațiile de catalog ale convertorului AD9245 sînt incluse informații grafice pentru *SNR* în condiția echivalentă în care tensiunea vîrf-vîrf a semnalului sinusoidal util ar acoperi integral domeniul de intrare de 2 V (situație care în practică ar conduce la distorsiuni cauzate de depășirea limitei maxime a domeniului prin efectul cumulat al tensiunii de zgomot!). Din figura 7, care reunește aceste grafice ([3]) pentru semnale de intrare apropiate de limitele zonei Nyquist, se observă că raportul semnal-zgomot exprimat în dB relativ la întreg domeniul de valori este de aproximativ 74 dBFS (eng. Full Scale). Cu aceasta se poate estima acum nivelul zgomotului propriu convertorului conform relației 4.

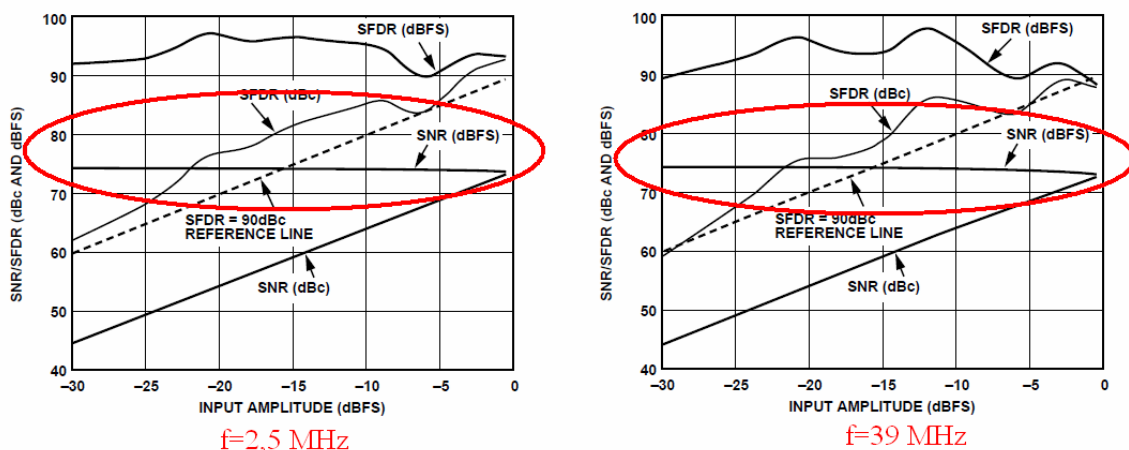


Figura 7

$$2 V_{v-v} \leftrightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} V_{rms} \Rightarrow E_{rms} = \sqrt{2} V_{rms}$$

$$SNR_{FS} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{kTR \frac{f_s}{2} + V_{ADCN_rms}^2} \quad (3)$$

$$SNR_{(dBFS)} = 20 \log_{10}(SNR_{FS})$$

Echipamente Radio Definite prin Program si Virtuale

de unde se obține imediat pentru AD9245:

$$V_{ADCN_rms} = \sqrt{\frac{1}{2} 10^{-\frac{SNR_{(dBFS)}}{10}} - kTR \frac{f_s}{2}} \approx 141 \mu V_{rms} \quad (4)$$

$$SNR = \frac{E_{rms}}{\sqrt{2}} 10^{\frac{SNR_{(dBFS)}}{20}} \quad (5)$$

Întrucât sînt vizate semnale de bandă îngustă, raportul semnal-zgomot prezent în fluxul eşantioanelor obținute de la convertorul analog-numeric, SNR , va fi îmbunătățit prin filtrarea numerică (ciștig de prelucrare) pînă la limita benzii efectiv ocupate de semnal, B . Raportul semnal-zgomot obținut după filtrarea numerică, SNR_p , este dat de relația (6).

$$SNR_p = SNR \sqrt{\frac{f_s}{2B}} = \frac{E_{rms}}{2} \sqrt{\frac{f_s}{B}} 10^{\frac{SNR_{(dBFS)}}{20}} \quad (6)$$

Impunînd, de exemplu, pentru cel mai simplu tip de semnal radio, și anume semnalul telegrafic (Morse, CW), ca pentru o bandă B de 500 Hz semnalul să fie extras cu un raport semnal-zgomot de cel puțin 10 dB, se obține valoarea medie pătratică minimă a semnalului radio necesar a fi furnizat de antena adaptată, $E_{rms\ min}$.

$$SNR_p = 10$$

$$E_{rms\ min} = 20 \sqrt{\frac{B}{f_s}} 10^{-\frac{SNR_{(dBFS)}}{20}} \approx 10 \mu V_{rms}$$

BIBLIOGRAFIE

- [1] - Ulrich Rohde, Jerry Whitaker, “*Communications Receiver – DSP, Software Radio, and Design*”, McGRAW-HILL, 2001
- [2] – Richard Groshong, Stephen Ruscak, “*Exploit Digital Advantages in an SSB Receiver*”, AN-302, Analog Devices Inc.
- [3] - ---- “*14-Bit, 80 MSPS, 3 V A/D Converter AD9245*”, Analog Devices Inc.
(www.analog.com)
- [4] - ---- “*AD9245LFCSP Analog Input S_Parameter Data*”, Analog Devices Inc.
(www.analog.com)
- [5] – Walt Kester, “*ADC Input Noise: The Good, The Bad, and The Ugly. Is No Noise Good Noise?*”, Analog Dialog 40-02, 2006 (<http://www.analog.com/analogdialogue>)
- [6] – Walt Kester, “*ADC Noise Figure – An Often Misunderstood and Misinterpreted Specification*”, MT-06, Analog Devices Inc., 2006

Echipamente Radio Definite prin Program si Virtuale

[7] – Rob Reeder, Jim Caserta, “*Wideband A/D Converter Front-End Design Considerations II: Amplifier- or Transformer Drive for ADC?*”, Analog Dialogue 41-02, 2007

(<http://www.analog.com/analogdialogue>)

[8] – Rob Reeder, “*Frequency Domain Response of Switched-Capacitor ADCs*”, AN-742, Analog Devices Inc.

[9] - ---- “*How Quantization and Thermal Noise Determine an ADC’s Effective Noise Figure*”, Application Note 1197, MAXIM (<http://www.maxim-ic.com/>)

