

Echipamente radio cu eșantionare sau sub-eșantionare directă

Variantele de structuri de echipamente radio numerice diferă în primul rând prin locul și condițiile în care se produce trecerea semnalelor din domeniul analogic în cel numeric și invers. Obiectivul urmărit în permanență a fost reducerea în cât mai mare măsură a ponderii și complexității părții analogice de radiofrecvență, prin apropierea convertoarelor analogic-numerice și numeric-analogice de antena echipamentului.

Schema bloc din figura 1 reprezintă din acest punct de vedere o limită care este atinsă în prezent prin disponibilitatea comercială a convertoarelor analog-numerice de 14 și 16 biți lucrând cu frecvențe de eșantionare de zeci de MHz și chiar de peste 100 MHz, cu benzi de semnal analogic mai mari de 0,5 GHz ([1], [2]), precum și a convertoarelor numeric-analogice de 12 - 16 biți și frecvențe de eșantionare de până la 1 GHz ([1]), capabile de generarea directă a mai multor semnale radio simultan până la frecvența Nyquist (jumătatea frecvenței de eșantionare). Astfel, între antena echipamentului și dispozitivele de conversie a semnalului radio se interpun numai blocuri de filtrare, amplificare (de semnal mic la recepție și de putere la emisie) și atenuare, semnalul radio emis sau recepționat fiind eșantionat în mod direct, adică așa cum este el în canalul radioelectric.

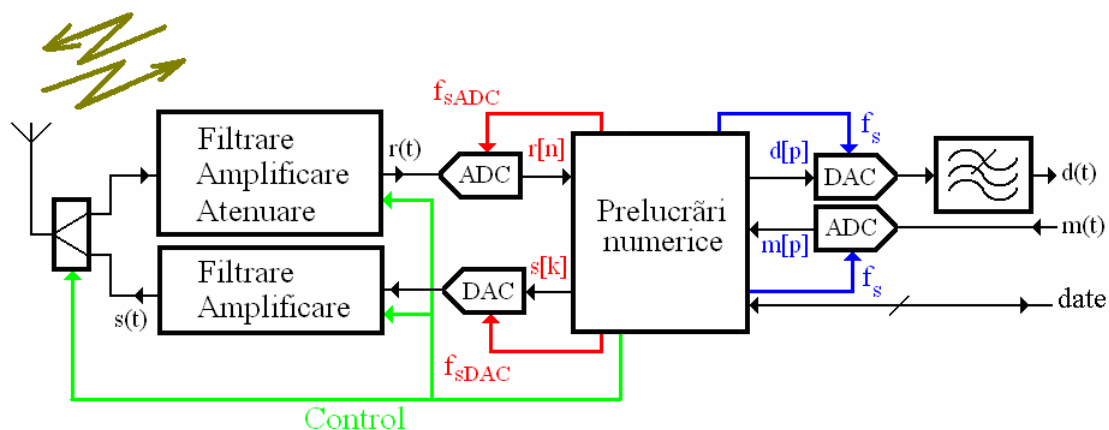


Figura 1 – Tx-Rx

Prelucrările numerice aplicate diverselor semnale eșantionate sînt descrise de schemele bloc generale din figurile 2 pentru emisie, și 3 pentru recepție, caracterizate de o anumită simetrie întrucît operațiile efectuate asupra eșantionalor de semnal sînt inverse în cele două situații. În echipamentele practice una din căi, emisia sau recepția, poate lipsi.

La emisie, pe baza eșantioanelor semnalului analogic audio/video $m(t)$ sau de *date* luate la momentele p/f_s , după codare, modulatorul numeric generează (calculează) eșantioanele semnalelor componentelor modulatorie în cuadratură ale viitorului semnal radio, $\hat{i}[p]$ și $\hat{q}[p]$. Întrucît semnalul radio trebuie eșantionat astfel încît să fie respectată cerința teoremei eșantionării de a avea spectrul încadrat în prima zonă Nyquist (datorită interpolării de ordin zero efectuată de convertorul numeric-analogic), frecvența sa de eșantionare f_{sDAC} este mult mai mare decît frecvența de eșantionare a semnalului modulator f_s și anume în general de un număr întreg de ori P , iar componentele modulatorie în cuadratură sînt reeșantionate prin interpolare la momentele k/f_{sDAC} transformîndu-se în $i[k]$ și $q[k]$. Eșantioanele în cuadratură ale

oscilației purtătoare cu frecvența f_0 furnizate de sintetizorul numeric direct sînt înmulțite cu eșantioanele semnalelor modatoare $i[k]$ și $q[k]$ pentru obținerea în final a eșantioanelor semnalului de radiofrecvență ce va fi emis $s[k]$.

$$\begin{aligned}\cos[k] &= \cos\left(2k\pi \frac{f_0}{f_{sDAC}}\right) \\ \sin[k] &= \sin\left(2k\pi \frac{f_0}{f_{sDAC}}\right) \\ s[k] &= i[k]\cos[k] - q[k]\sin[k]\end{aligned}\quad (1)$$

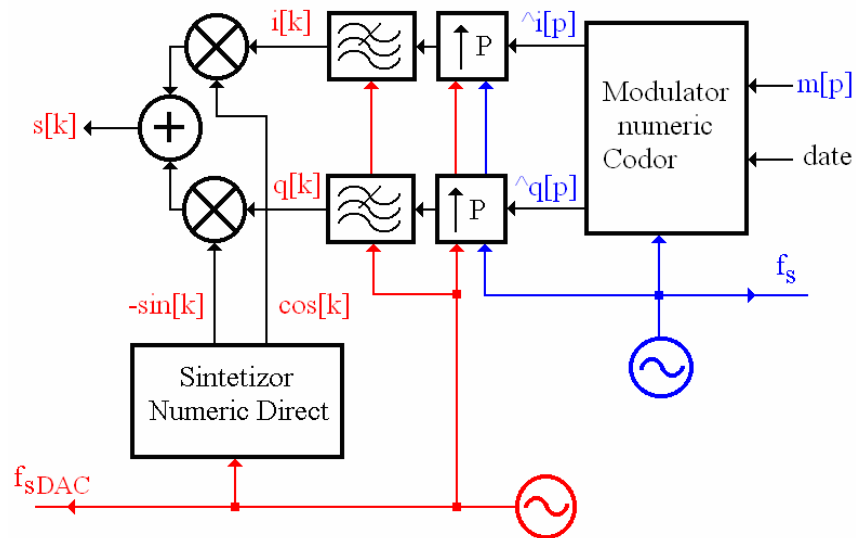


Figura 2 – SDVR Tx

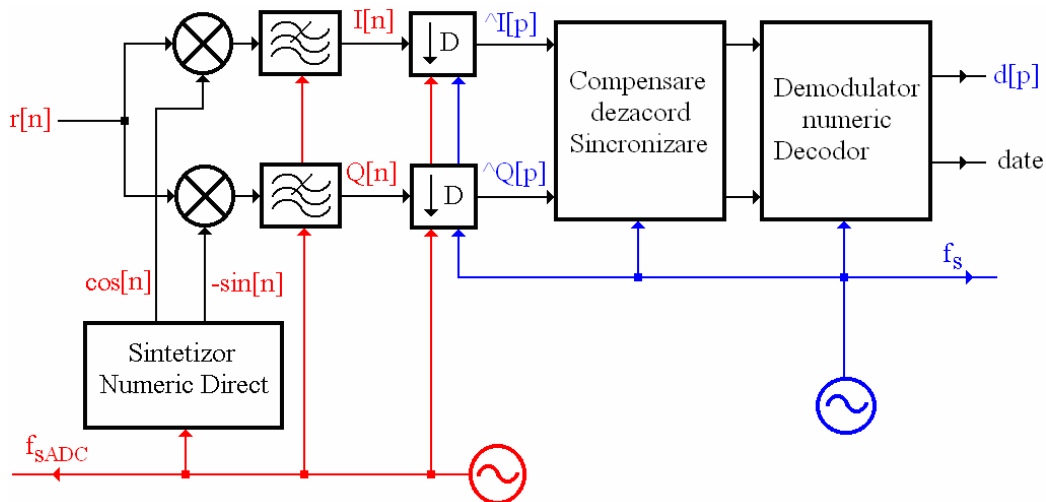


Figura 3 – SDVR Rx

La recepție, semnalul radio util $r(t)$ este mai întâi separat prin filtrul blocului analitic de intrare (figura 1) de toate semnalele radio și zgomotele externe aflate în afara zonei Nyquist căreia îi aparține în raport cu frecvența de eșantionare a convertorului analog-numeric, f_{sADC} , pentru a le împiedica ca prin acțiunea de eșantionare să se suprapună peste semnalul util. Rolul de a selecta efectiv semnalul

radio în limitele benzii sale îi revine mixării în cuadratură a eșantioanelor $r[n]$ cu eșantioanele unei oscilații locale avînd frecvența f_{0L} apropiată (ideal identică) de cea a purtătoarei semnalului $r(t)$, urmată de filtrarea trece jos a fiecărui produs de mixare în parte ce are ca rezultat perechile de eșantioane $I[n]$ și $Q[n]$. Întrucît operațiile ulterioare grupate în funcțiile de compensare automată a erorii de acord a receptorului și de sincronizare cu variațiile anumitor parametri ai semnalului iar ulterior de demodulare/decodare sînt în general mari consumatoare de timp, se efectuează o reducere a frecvenței de eșantionare a semnalului radio de un număr (în general) întreg de ori $D = f_{sADC} / f_s$ prin decimare (adică preluarea din semnalul eșantionat inițial numai a eșantioanelor avînd indicele multiplu de D) avînd grijă ca prin noua eșantionare f_s să nu fie încălcată în nici o etapă condiția de încadrare a semnalelor curente în banda Nyquist corespunzătoare ei.

$$\begin{aligned}\cos[n] &= \cos\left(2n\pi \frac{f_{0L}}{f_{sADC}}\right) \\ \sin[n] &= \sin\left(2n\pi \frac{f_{0L}}{f_{sADC}}\right) \\ r[n] &= I[n]\cos[n] - Q[n]\sin[n]\end{aligned}\tag{2}$$

În funcție de destinația echipamentului radio se întîlnesc în principal două categorii de filtre în blocul analogic de radiofrecvență din figura 1.

Prima categorie este aceea a filtrelor avînd banda de trecere B apropiată de lărgimea zonei Nyquist, iar în această zonă de frecvențe intră mai multe emisiuni cu nivele comparabile. Situația este simplificat descrisă numai pentru structura de recepție în figura 4, și este aplicabilă dacă nivelul semnalului rezultat la intrarea convertorului analog-numeric prin însumarea tuturor semnalelor radio din banda B nu depășește limitele de saturație ale acestuia (în limita de acțiune a blocului atenuator). Sarcina selectării și demodulării unei anumite emisiuni existente în această bandă largă de frecvențe revine în exclusivitate blocului de prelucrări numerice organizat după schema din figura 3 și este îndeplinită practic prin programarea frecvenței oscilatorului local și a benzii filtrelor trece-jos postmixare. Dacă este nevoie să fie recepționate simultan mai multe emisiuni din respectiva zonă Nyquist și dacă se dispune de suficientă putere de calcul, blocul de prelucrări numerice poate executa în paralel operațiile corespunzătoare schemei din figura 3 pentru fiecare emisiune dorită, așa cum indică schema bloc din figura 5, exploatînd pentru toate același flux de eșantioane provenit de la convertorul analog-numeric.

Cea de a doua categorie de filtre se întîlnește în situațiile în care emisiunile de interes sînt de nivel mic în comparație cu celelalte existente în aceeași zonă Nyquist iar atenuarea care ar trebui introdusă pentru a nu depăși gama dinamică a convertorului analog-numeric cînd la intrarea acestuia ar fi aplicate toate semnalele radio ar coborî nivelul semnalului util prea mult pentru a mai fi posibil ca informația ce o poartă să fie recuperată. În această situație banda filtrului analogic B trebuie redusă cît mai aproape de cea a emisiunii dorite și centrată pe aceasta, așa cum este sugerat în figura 6.

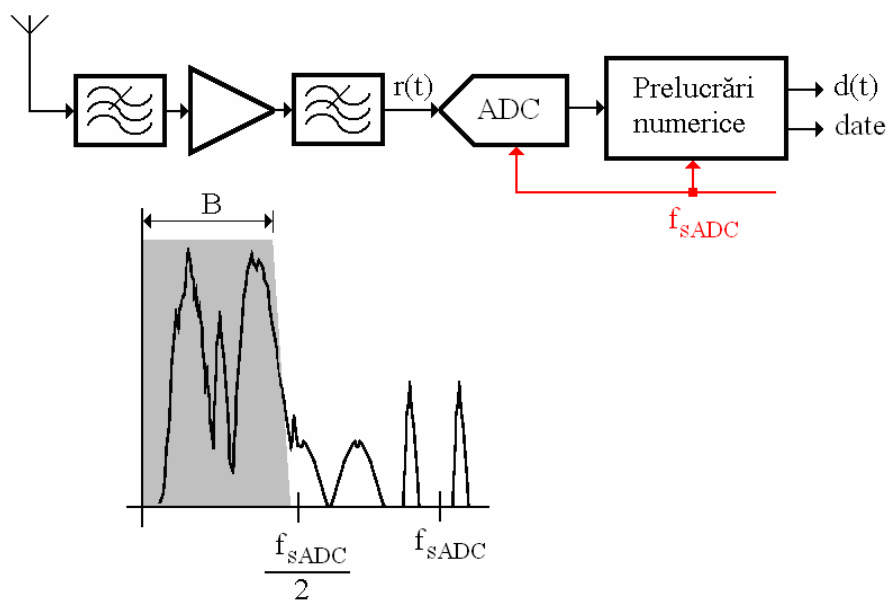


Figura 4

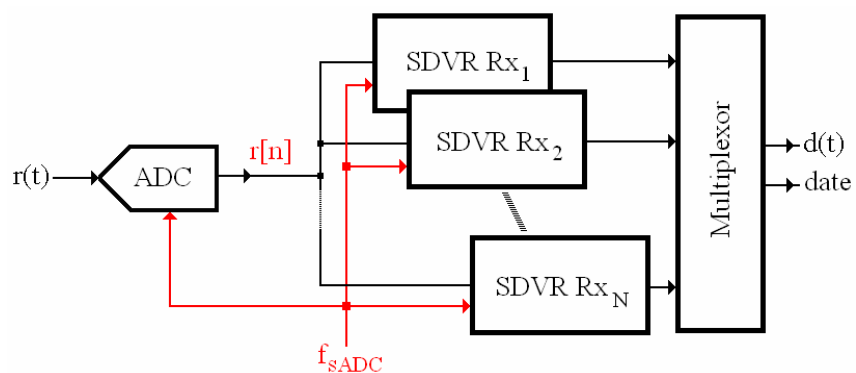


Figura 5

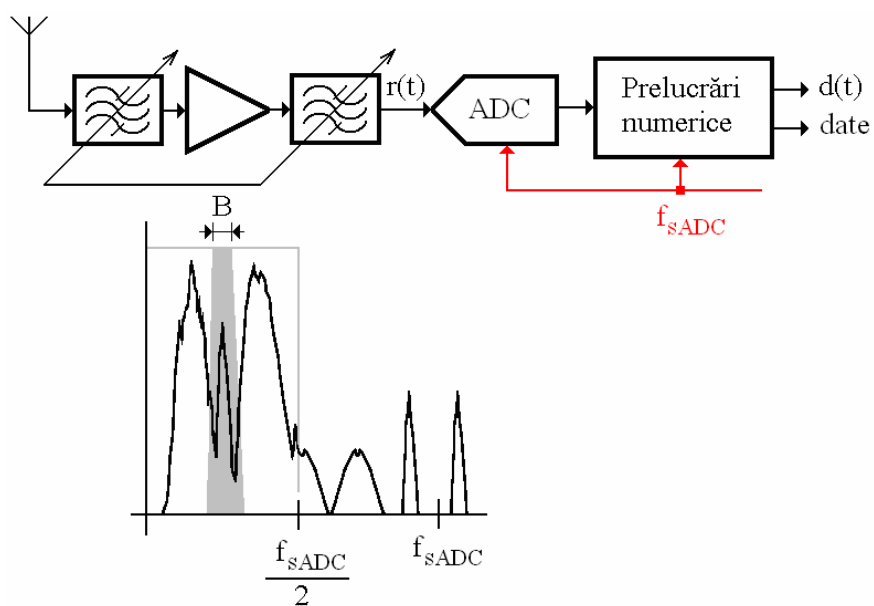


Figura 6

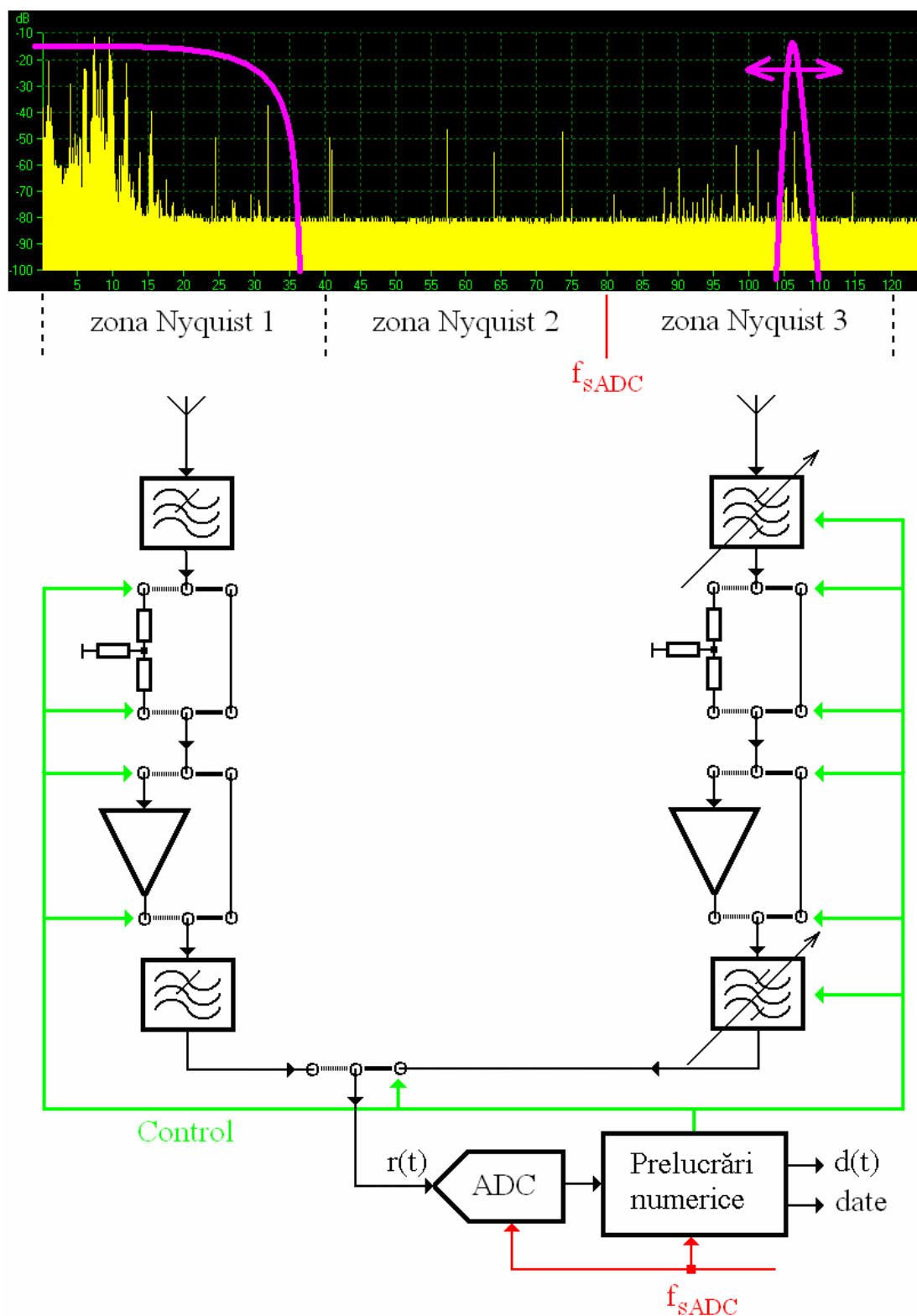


Figura 7

Flexibilitatea funcțională și constructivă deosebită oferită de accesul direct al semnalelor radio la dispozitivul de conversie analog-numeric este ilustrată prin exemplul din figura 7, de fapt o abordare modernă a uzualor receptoare comerciale destinate utilizării generale (divertisment și informare). Elementul central al structurii îl constituie un convertor analog-numeric lucrînd cu o frecvență de eșantionare $f_{sADC} =$

80 MHz, acoperind astfel cu prima zonă Nyquist (0 Hz – 40 MHz) gamele de unde lungi, medii și scurte 9 kHz – 30 MHz iar cu cea de a treia zonă Nyquist (80 MHz – 120 MHz) domeniul radiodifuziunii cu modulație de frecvență 87,5 MHz – 108,0 MHz.

Pentru fixarea ideilor ne putem raporta la circuitul AD9446 ([1]), un convertor analog-numeric de 16 biți și bandă pentru semnalul analogic de intrare 325 MHz.

BIBLIOGRAFIE

[1] - <http://www.analog.com/>

[2] - <http://www.linear.com/>

[3] – James Scarlett, “*A High-performance Digital Transceiver Design, Part 1*”, QEX, Iulie/August 2002

[4] – Wayne C. Ryder, “*A high-performance FM receiver for audio and digital applications*”, RF Design, Octombrie 2000, www.rfdesign.com

[5] – Ronald M. Hickling, “*New technology facilitates true software-defined radio*”, RF Design, Aprilie 2005, www.rfdesign.com