

Prelucrarea numerică a semnalelor (PNS) este un domeniu al științei și tehnicii care s-a dezvoltat foarte rapid în ultimii ani, ca urmare a progresului înregistrat de tehnologia calculatoarelor și fabricarea circuitelor integrate. Au fost elaborate medii de dezvoltare de aplicații software specifice sistemelor de achiziție și prelucrare de date, dintre care cele mai larg utilizate sunt MATLAB, OrCad etc. Mediul MATLAB, utilizat în cercetare și în învățământ, include o serie de unelte specifice pe domenii, care permit soluționarea eficientă a următoarelor categorii de probleme: procesare date, simulare, vizualizare grafică a rezultatelor obținute ș.a. Prelucrarea numerică a semnalelor are aplicații în orice domeniu în care informația poate fi prezentată sub forma numerică. Dintre cele mai cunoscute putem menționa:

1. Procesarea de imagini, care este aplicația tehnicilor procesării semnalelor în domeniul imaginilor — semnale bidimensionale precum fotografiile sau imagini video: facsimil, harta vremii prin satelit, animație imagini satelit (meteorologice, topografice, militare) etc.
2. Instrumentație/control: analiza spectrală, controlul poziției și al vitezei, compresie de date etc.
3. Vorbire/audio: recunoașterea vocii, sinteza vorbirii, egalizare etc. În zilele de astăzi există programe gratuite, portabile(ex. DSpeech), ce utilizează caracteristica ASR (Automatic Speech Recognition) pentru a controla sistemele inteligente cu vocea umană.
4. Militar: securitatea comunicațiilor, procesare radar, procesare sonar, ghidarea proiectilelor etc. Sistemele sonare sunt utilizate în general sub apă pentru identificarea și detectarea distanței.
5. Telecomunicații: anulare ecou, egalizare adaptivă, conferințe video, comunicații de date etc.
6. Biomedical: scanare computer-tomografie, electroencefalografie, electrocardiografie, electromiografie etc.
7. GSM, CDMA.

Aceasta enumerare ilustrează importanța prelucrării numerice a semnalelor în diverse domenii de activitate.

Câteva dintre **avantajele acestui mod de prelucrare** a semnalelor sunt:

- 1) Precizie garantată – determinată de numărul de biți folosiți în reprezentarea semnalului;
- 2) Reproducibilitate perfectă – se obțin performanțe identice de la unitate la unitate, dacă nu variază toleranțele componentelor, de exemplu o înregistrare numerică poate fi copiată sau reprodusă fără vreo degradare a calității semnalului;
- 3) Nu are abateri cu temperatura sau vechimea;
- 4) Sistemele de PNS pot fi realizate sub forma de circuite integrate care prezintă
- 5) siguranța crescută, gabarit redus, putere mică, cost mic;
- 6) Flexibilitate crescută – sistemele de PNS pot fi programate și reprogramate
- 7) pentru a realiza o varietate de funcții, fără modificarea hardului;
- 8) Performanțe superioare – sistemele de PNS pot realiza funcții inaccesibile prelucrării analogice, de exemplu obținerea unui răspuns de fază liniară, implementarea de algoritmi pentru filtrarea adaptivă.

Evident, există și **dezavantaje ale PNS:**

1. **Viteza și cost** – sistemele de PNS pot fi scumpe când sunt implicate semnale de bandă largă. În prezent, convertoarele analog/numerice și numeric/analogice sunt costisitoare sau nu au suficientă rezoluție pentru aplicații PNS de bandă largă. Timpul necesar conversiei limitează viteza de lucru. Obişnuit, numai circuitele integrate specializate pot procesa semnale în domeniul MHz și sunt relativ scumpe. Semnale de bandă mai mare de 100 MHz se prelucrează numai analogic;
2. **Timpul de proiectare** – uneori proiectarea unui circuit poate consuma nejustificat de mult timp; instrumente de proiectare 3D(CAD), instrumente inteligente de calcul (CAE)
3. **Problema lungimii finite a cuvintelor** – în situațiile de prelucrare în timp real, considerații economice impun ca algoritmi PNS să fie implementați pe un număr limitat de biți. Dacă acesta nu este suficient

pentru a reprezenta variabilele, apar degradări serioase ale performanțelor circuitului. Sistemele numerice sunt afectate de zgomotul de cuantizare al convertoarelor analog/numerice, care este cu atât mai mare cu cât numărul de biți folosit în reprezentarea eșantioanelor semnalului de intrare este mai mic. Mai mult, în timpul prelucrării, datorită operației de rotunjire, apare un zgomot care, prin acumulare, poate duce la instabilitate pentru sistemele de ordin superior.

Prelucrarea numerică a semnalelor implică reprezentarea, transmisia și prelucrarea semnalelor folosind tehnici numerice și procesoare numerice, deci, se poate spune că PNS se ocupă cu reprezentarea numerică a semnalelor și utilizarea procesoarelor numerice pentru a analiza, modifica sau extrage informații din semnale.

Terminologia în domeniul prelucrării digitale a semnalelor

1. **Bitrate (BR, Bit Rate)** - viteza la care datele sunt codificate și transmise. Măsurată în biți pe secundă.
2. **Termenul "timp discret"** înseamnă că timpul (variabila independentă) este cuantificat. Semnale discrete de timp sunt definite numai pentru valori discrete ale variabilei independente.
3. **Sistem digital** este un sistem în care semnalele sunt reprezentate ca secvențe de numere, luând numai un număr finit de valori.
4. **CAN sau Convertor Analogic Numeric** reprezintă un bloc sau un circuit care poate accepta o mărime analogică (curent, tensiune) la intrare, furnizând la ieșire un număr care constituie o aproximare (mai mult sau mai puțin exactă) a valorii analogice a semnalului de la intrare.
5. **Cuantificare**. Divizarea intervalului de variație (tensiune, curent) al unei mărimi analogice într-un număr determinat de trepte („cuante”) de amplitudine egală, în scopul exprimării valorii analogice sub formă de număr, constituie procesul de cuantificare al unui semnal analogic. Mărimea treptelor rezultate în urma cuantificării este egală cu raportul dintre valoarea intervalului maxim de variație și numărul lor, fiecare astfel de „cuantă” fiind delimitată de două nivele de cuantificare succesive.
6. **Intermodulație**. Proces prin care neliniaritatea rețelei provoacă la ieșire semnale parazite (numite produse în intermodulație) pe frecvențe care sunt combinații lineare ale frecvențelor semnalelor de intrare.

Tema 2

Se numește **semnal** o mărime fizică măsurabilă, purtătoare de informație, care poate fi transmisă la distanță, recepționată și/sau prelucrată.

Prelucrarea numerică a semnalelor se ocupă cu reprezentarea numerică a semnalelor originale în domeniul variabilei sau al variabilelor sau într-un domeniu transformat și cu modificarea algoritmică a acestora cu ajutorul procesoarelor numerice pentru a analiza, modifica sau extrage informații din semnale.

Un semnal unidimensional, numit și semnal 1D, este o funcție de timp, notată generic prin $x(t)$, $t \in \mathbb{R}$. De regulă, mărimea fizică variabilă reprezentând semnalul este o tensiune electrică. Totuși, în echipamentele de automatizări se utilizează și semnale de altă natură fizică, așa cum sunt, de exemplu: curentul electric, presiunea aerului instrumental, deplasarea unui corp solid.

Fie $\mathfrak{T} = [t_1, t_2]$ suportul semnalului $x(t)$, adică intervalul de timp finit în care se observă (măsoară) semnalul.

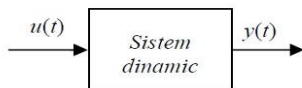


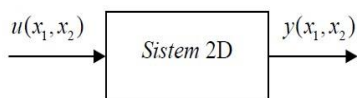
Fig. 1.1 Sistem dinamic

Semnalele se pot aplica unor circuite sau, mai general, unor sisteme dinamice.

Fie $u(t)$ semnalul aplicat la intrarea unui sistem și $y(t)$ semnalul obținut la ieșirea acestuia, numit și răspuns al sistemului la semnalul de intrare (figura 1.1). Sistemele dinamice realizează prelucrarea semnalelor, conform funcțiilor realizate de echipamentele electronice în care sunt înglobate. Exemplificăm câteva operații uzuale de prelucrare a semnalelor: integrarea unui semnal, derivarea acestuia, filtrarea (extragerea unor componente spectrale ale semnalului sau, după caz, eliminarea componentelor parazite), modulația semnalelor, etc. De fapt, cele mai multe echipamente electronice sunt formate din lanțuri de sisteme dinamice, care realizează prelucrări consecutive ale semnalelor, conform unei „tehnologii” care determină funcțiunile realizate de echipamentul respectiv.

Din clasa **semnalelor unidimensionale** menționăm: **semnalul vocal**, **semnalul radio** (modulat în amplitudine sau în frecvență), **semnalele furnizate de traductoare ale mărimilor fizice uzuale** (temperatură, viteză ș.a.) etc.

Semnalele bidimensionale, numite și semnale 2D, sunt – de regulă – imagini. Fie $u(x_1, x_2)$ un semnal bidimensional, în raport cu coordonatele spațiale x_1 și x_2 .



Mărimea u reflectă valoarea nivelului de gri în punctul de coordonate x_1 și x_2 . Ca și în cazul semnalelor unidimensionale, modelarea matematică a semnalelor 2D vizează facilitarea descrierii operațiilor de prelucrare. Aceste operații de prelucrare se realizează cu ajutorul sistemelor 2D (fig. 1.2). Semnalul de ieșire din sistem, $y(x_1, x_2)$, se obține prin aplicarea unor operații specifice (filtrare, extragere contur, etc.) aplicate semnalului de intrare $u(x_1, x_2)$.

Un semnal se numește **M-dimensional** dacă valoarea sa este o funcție de M variabile independente.

Semnalele electrice cu care se lucrează în telecomunicații și TI se împart în două mari categorii: semnale analogice și semnale digitale (numerice).

Semnalul analogic este un semnal continuu, atât pe axa timpului cât și pe axa amplitudinilor. Un exemplu tipic de astfel de semnal este tensiunea de ieșire a unui microfon, care este continuu variabilă în funcție de valoarea semnalului sonor.

Semnalul numeric este discontinuu atât în timp cât și în amplitudine.

Prin urmare, un semnal analogic poate fi transformat în semnal numeric prin procedee de “întrerupere” a continuității în timp și simultan de “întrerupere” a continuității în amplitudine. Este necesar ca aceste “întreruperi”

să nu determine pierderi semnificative din ceea ce reprezintă informația înmagazinată în forma continuă a semnalului analogic.

Eșantionare - operația de rupere în timp;

Cuantizare - operația de rupere în amplitudine.

Sau mai științific

- **eșantionarea semnalului**, adică discretizarea timpului t cu un pas T_e , numit perioadă de eşantionare. Semnalul cu timp discret, $x(kT_e)$, este notat adesea cu $x(k)$, unde k reprezintă timpul discret, adică pasul curent de eşantionare;
- **cuantizarea semnalului**, adică discretizarea amplitudinii eşantioanelor $x(k)$. Se alege un pas de cuantizare, Δ , iar rezultatul operației de cuantizare este un număr întreg, q , astfel încât produsul $q \cdot \Delta$ să fie cât mai apropiat de amplitudinea eşantionului cuantizat.

În telecomunicații și TI semnalele analogice și cele numerice au avut multă vreme o existență separată și independentă. Transmisiunile telefonice, radio și de televiziune funcționau exclusiv cu semnale analogice, iar în telegrafie și în transmisiunile de date se foloseau numai semnalele numerice. Semnalul digital, caracteristic inițial telegrafiei și transmisiunilor de date, are avantajul simplității, este mult mai rezistent la zgomot în comparație cu cel analogic, iar echipamentul de transmisie utilizat este fiabil și nepretențios din punctul de vedere al reglajelor necesare. La început, dispozitivele digitale a avut un grad de complexitate ridicat, însă o dată cu apariția circuitelor digitale integrate, proiectarea unui dispozitiv nu a mai indicat probleme deosebite.

Forma principală de exprimare analitică a semnalului este reprezentarea lui prin oscilațiile sau prin spectrul lui. Oscilațiile descriu semnalul ca o funcție de timp $S(t)$. O altă formă de exprimare a semnalului este reprezentarea lor cu ajutorul spectrului. Orice semnal poate fi cercetat ca o uniune de oscilații $h_k(t)$ înmulțite cu coeficientul C_k și care prezintă un sistem al funcției de timp $\{h_k(t)\}$ de un anumit tip.

Semnalele reale e necesar să le idealizăm. Se folosesc următoarele permisiuni:

- 1) **Semnalele reale** sunt limitate în timp: în teorie deseori se cercetează semnalele care sunt expuse în timp la semiinfinit $0 \leq t \leq \infty$ sau la infinit - $-\infty \leq t \leq \infty$. Pentru limitare începutul cronometrării îl vom considera odată cu începutul semnalului.
- 2) **Semnalele reale** sunt aleatoare, dar în teorie deseori sunt cercetate semnalele care sunt total (integral) cunoscute în timp. Astfel de semnale sunt numite determinate.

Să definim unele tipuri de oscilații: cauzale – se numesc oscilațiile care au un început în timp (o cauză);
periodice – se numesc oscilațiile orice valoare a cărora se repetă peste intervale de timp egale cu perioada T .

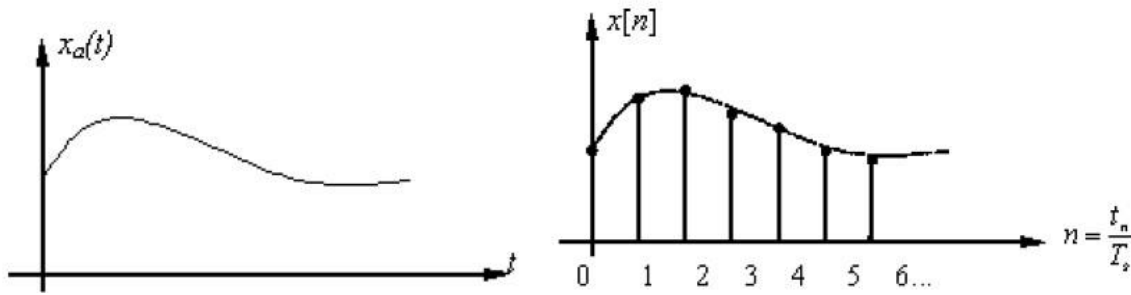
$$S(t) = S(t + kT)$$

- **finite** – se numesc oscilațiile localizate în timp, adică oscilațiile sunt perfect egale cu zero în afara unui interval de timp $t_a \leq t \leq t_b$. Toate semnalele reale pot fi cercetate ca finite.
- **continue** – se numesc oscilațiile care sunt cercetate în fiecare punct al treptei de timp. Așa oscilație e redată prin o mulțime infinită de puncte. O succesiune de impulsuri la fel e un semnal continuu. Aici se cercetează valoarea semnalului nu numai în timpul existenței impulsurilor, dar și între ele. discrete – se numesc oscilațiile care sunt cercetate numai în momente fixate de timp t_i , adică cele fixate în mulțimea de puncte ale treptei de timp.

Semnalele definite în timp continuu sunt definite pentru orice valoare a variabilei independente dintr-un interval finit sau infinit. Acestea mai sunt cunoscute așa după cum am menționat sub numele de semnale analogice.

$$s(t) = \sum_{i=1}^N A_i(t) \cdot \sin[2\pi F_i(t) + \theta_i(t)]$$

Un exemplu de semnal definit în timp continuu este reprezentat de semnalul de forma:



Spre deosebire de semnalele definite în timp continuu, există o a doua mare categorie de semnale definite în timp discret, care sunt definite numai pentru valori discrete de timp. Acestea nu trebuie neapărat să fie echidistante, dar în practică din considerente de comoditate a tratării matematice, de cele mai multe ori, se iau uniform distanțate. Un semnal definit în timp discret poate fi reprezentat matematic de o secvență de numere reale sau complexe.

Există o mare varietate de semnale:

- **semnalele luminoase emise de diverse surse de lumină** (corpuri cerești, materiale incandescente sau fosforescente);
- **semnalele acustice eliberate de aproape orice proces fizic;**
- **semnalele nervoase emise de creierul uman către organele corpului în vederea efectuării diverselor acțiuni;**
- **semnalele radio emise de posturile de radio și televiziune, sateliți de comunicație, sonare, radare;**
- **semnale electrice emise pe cablu, cum ar fi sem-nalul telefonic;**
- **semnalele optice emise pe fibrele optice;**
- **semnale analogice** (continuu în timp și în valori);
- **semnale digitale** (discontinuu în timp și în valori, se mai numește semnal în timp discret și cu valori discrete).

Semnalul în timp discret se mai numește semnal eșantionat), etc.

Tema 3

Clasificarea sistemelor

Sistemul reprezintă un mediu fizic, prevăzut cu posibilitatea de a prelua informații din mediul exterior (semnal de intrare) și de a furniza la rândul lui informații mediului exterior prin intermediul semnalului de ieșire. Semnalul de ieșire depinde evident de semnalul de intrare dar depinde esențial și de structura sistemului. Majoritatea sistemelor pot fi modelate matematic și astfel se poate estima răspunsul sistemului (semnalul de ieșire), atunci când se cunoaște semnalul de intrare și structura sistemului.

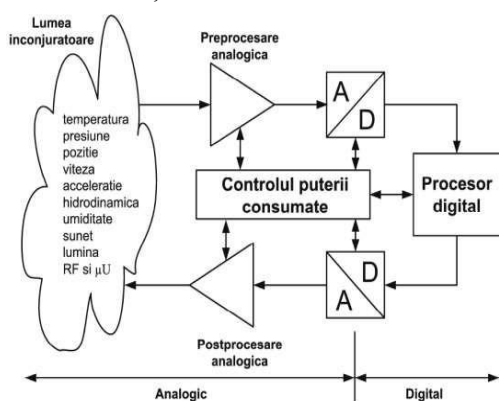
Similar în parte cu criteriile amintite la clasificarea semnalelor, există mai multe criterii de clasificare a sistemelor. Iată câteva dintre ele: Sisteme analogice / sisteme digitale

Un prim criteriu de clasificare îl constituie natura semnalelor pe care sistemul le procesează. În acest sens există:

- **Sisteme analogice.** Sunt sistemele care prelucrează semnale analogice (semnale continue în timp continuu). Un exemplu de astfel de sistem este amplificatorul de semnale audio, construit cu rezistoare, condensatoare, tranzistoare.

În figura 1 este indicat că:

- interfațarea cu lumea reală este analogică → importanță vitală.
- domeniul digital domină în aplicații, dar semnalele trebuie convertite → operații analogice de condiționare a semnalului.



- **Sisteme digitale.** Sunt sistemele care prelucrează semnale în timp discret, ca de exemplu cele care redau semnale audio înregistrate numeric. Un sistem digital poate fi un PC „obișnuit”, sau poate fi un sistem de calcul dedicat de exemplu DSP procesor.

Sisteme liniare / neliniare

Un sistem este liniar dacă îndeplinește următoarele două criterii:

- 1) Dacă semnalul de intrare x va determina semnalul de ieșire X , atunci un semnal de intrare $2x$ va produce un semnal de ieșire $2X$.

Cu alte cuvinte, la un sistem liniar amplitudinea semnalului de ieșire este direct proporțională cu amplitudinea semnalului de intrare.

- 2) Dacă un semnal de intrare x produce un semnal de ieșire X , și un semnal de intrare y produce un semnal de ieșire Y , atunci semnalul rezultat de intrare $x + y$ va produce o ieșire $X + Y$. Cu alte cuvinte, la sistemul liniar semnalele de intrare sunt independente, deci nu interacționează în cadrul sistemului.

Nici un sistem real nu este absolut perfect liniar. Se poate vorbi despre mai multe tipuri de neliniarități existente în grade diferite în toate sistemele mecanice, deși comportamentul mai multor sisteme reale poate fi abordat ca unul liniar, în special la semnale mici de intrare. Dacă un sistem nu este perfect liniar, va produce frecvențe de ieșire care nu se regăsesc în semnalul de intrare. Un exemplu în acest sens poate fi considerat un amplificator stereo (sau un magnetofon) care produce armonici ale semnalului său de intrare. Acest fenomen se numește „distorsiune armonică” și degradează calitatea sunetului de reprodus. Distorsiunea armonică aproape întotdeauna

devine mult mai severă la un nivel ridicat de semnal. Un exemplu în acest sens poate fi un aparat mic de radio care redă un sunet relativ „clar” la un volum redus, dar scoate sunete dure și distorsionate la volum ridicat.

Multe sisteme sunt aproape liniare la semnale de mică amplitudine, dar devin neliniare la niveluri mai ridicate de excitație. Uneori, există un prag definit, de la care sistemul își pierde liniaritatea. Un exemplu în acest sens reprezintă întreruperea semnalului de ieșire al unui amplificator, atunci când nivelul semnalului de intrare depășește tensiunea de alimentare prescrisă de producător. Similar este și la sistemele mecanice în cazul în care o piesă componentă se mișcă liber până când se lovește de un obstacol

Exemple de sisteme liniare:

- Propagarea undelor cum sunt undele sonice și electromagnetice
- Circuitele electrice compuse din rezistoare, condensatoare și bobine
- Circuitele electronice ca amplificatoare și filtre
- Sisteme descrise prin ecuații diferențiale ca rețele rezistorcondensator-bobină
- Multiplicarea cu o constantă, adică amplificarea și atenuarea semnalului
- Modificări ale semnalului, ca ecouri
- Perturbații mici în alte sisteme neliniare

Exemple de sisteme neliniare:

- Sisteme care nu au fidelitate sinusoidală, ca circuitele electronice pentru: conversia undelor sinusoidale în unde dreptunghiulare, dublarea frecvenței etc.
- Multiplicarea unui semnal cu alt semnal, ca modularea în amplitudine.
- Sisteme cu prag, de exemplu, porți logice digitale sau vibrații seismice

Sisteme variate / invariante în timp

Sisteme invariante în timp sunt acele sisteme la care răspunsul sistemului va fi același, indiferent de momentul aplicării semnalului de intrare. Aplicând deci același semnal $x(t)$ la momente diferite de timp, la ieșirea sistemului se va produce același semnal.

Dacă $y(t) = S \{x(t)\}$, atunci $y(t-t_0) = S \{x(t-t_0)\}$, unde prin $S \{x(t)\}$ am notat transformarea suferită de semnalul $x(t)$ la trecerea sa prin sistem.

Sisteme cauzale / necauzale

Sistemele cauzale sunt cele la care mărimea de ieșire nu depinde decât de valori ale mărimii de intrare, anterioare momentului curent. Altfel spus, ieșirea nu depinde decât de trecut, nu și de viitor. Spre deosebire de acestea, la sistemele necauzale ieșirea depinde și de valori viitoare ale mărimii de intrare.

Proprietățile generale ale sistemelor analogice

1. **Cauzalitatea** înseamnă caracterul neanticipativ al sistemului: răspunsul $y(t)$ nu poate preceda excitația $x(t)$, adică pentru $x(t) = 0$, la $t < 0$, $y(t)$ tot este nul – $y(t) = 0$, la $t < 0$. Sistemele reale sunt cauzale.
2. **Linearitatea**. Un sistem este liniar, dacă satisface principiul de superpoziție: sumei excitațiilor îi corespunde suma răspunsurilor la fiecare excitație în parte. Dacă au loc relațiile

$$\begin{array}{lcl} x_1(t) \rightarrow y_1(t); x_2(t) \rightarrow y_2(t), & \text{atunci pentru sistemul liniar are loc relația:} & \begin{array}{l} x(t) = ax_1(t) + bx_2(t) \rightarrow \\ \rightarrow y(t) = ay_1(t) + by_2(t). \end{array} \end{array}$$

3. **Invarianta în timp** înseamnă că caracteristicile și parametrii sistemului nu variază în timp. De aceea, translația în timp a excitației, conduce la aceeași translație în timp a răspunsului $x(t-t_0) \rightarrow y(t-t_0)$.
4. **Stabilitatea sistemelor** implică răspuns mărginit la excitația mărginită:
 $|x(t)| \leq M_1 < \infty \rightarrow |y(t)| \leq M_2 < \infty.$

Funcții DSP:

Comprimarea și decompimarea vorbirii, detectia și corectia erorilor, encriptarea, măsurarea calitatii și puterii semnalului, module-de module, eliminarea diafoniei, managementul consumului.

La acestea se adaugă diverse alte funcțiuni: internet, jocuri, recunoașterea vorbirii și scrisului, sinteza de voce, GPS, prelucrări de imagine, etc.

Amplificator operațional (AO) este un amplificator de curent continuu cu intrare diferențială. El posedă factor de amplificare foarte mare, Z_{int} foarte mare și $Z_{ieș}$ foarte mică. De regulă, etajul de intrare este diferențial, care asigură Z_{int} foarte mare, stabilitate și sensibilitate înaltă. Etajul final este un repetitor pe emitor, care asigură $Z_{ieș}$ mică. Etajele intermediare asigură amplificarea la valoarea necesară. În baza AO se realizează: amplificatoare, oscilatoare, filtre active, generatoare de impulsuri, stabilizatoare, limitatoare de amplitudine etc.

Simbolul AO și simbolul simplificat:

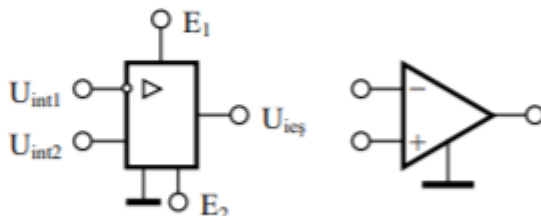


Fig.1. Simbolul AO și simbolul simplificat

U_{int1} - intrare inversoare, se află în antifază cu U_{ies} .

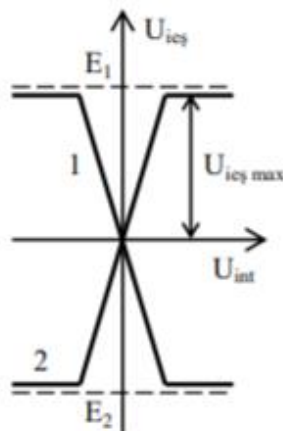
U_{int2} - intrare neinversoare, se află în aceeași fază cu U_{ies} .

E_1, E_2 - surse de alimentare cu polaritate diferită, raportate la masă și egale ca modul.

Parametrii AO:

- Viteza creșterii tensiunii de ieșire - tangenta unghiului de înclinație a U_{ies} . Se măsoară în $[V / \mu s]$.
- Timpul stabilirii tensiunii de ieșire - timpul de la $0,1 \cdot U_{ies}$ pînă la $0,9 \cdot U_{ies}$.
- Factorul dinamic de amplificare $K_U = \Delta U_{ies} / \Delta U_{int}$. Pentru frecvențe aproape de zero $K_U \sim 10^4 \div 10^6$.
- Tensiunea de offset (tensiunea de decalaj la intrare) este diferența de tensiune, care trebuie aplicată între cele două intrări pentru a aduce U_{ies} la zero. U_{off} are valori $5 \div 20$ mV.

$$U_{off} = U_{int1} - U_{int2}, \text{ pentru } U_{ies} = 0$$
- Impedanța de intrare Z_{int} este foarte mare.
 AO cu TB în etajul de intrare $Z_{int} = k\Omega$
 AO cu TEC în etajul de intrare $Z_{int} = \text{zeci de } M\Omega$
- Impedanța de ieșire Z_{ies} = cîțiva $\Omega \div$ sute de Ω .
- Caracteristica de amplitudine.

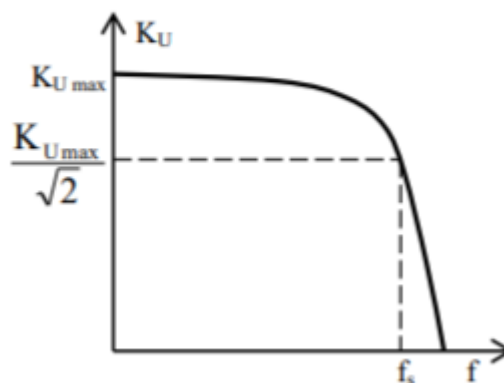


1 - domeniul dinamic, în care caracteristica este liniară și panta ei determină factorul de amplificare. Este foarte îngust, deoarece K_U este foarte înalt.

2 - domeniul de saturație. Valorile $U_{ies \max}$ sunt foarte aproape de valorile tensiunilor de alimentare.

➤ Caracteristica amplitudine-frecvență.

f_s - frecvența limită de sus.
 $\Delta f = 0 \div f_s$ - banda de trecere.



Procesare analogică versus procesare numerică

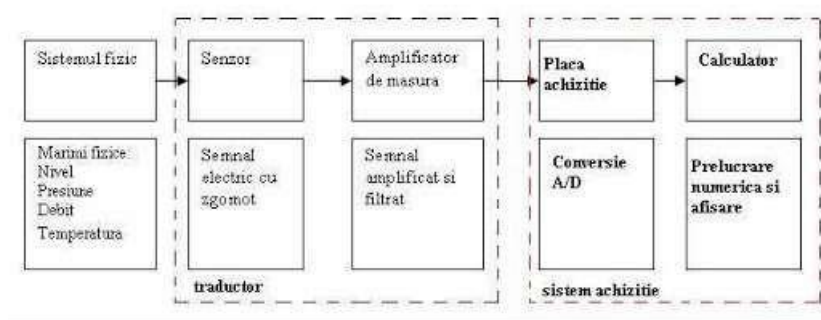
Conform criteriilor de clasificare a sistemelor, menționate la prelegerile precedente există două mari categorii de sisteme ce se referă la tipul de semnale pe care le prelucrează: sisteme analogice și sisteme digitale (numerice).

Marea majoritate a sistemelor din natură precum și din **unele procese tehnologice sunt de natură continuă, analogică**. Prelucrarea semnalelor analogice, se face de către echipamente analogice, care din punct de vedere teoretic pot fi privite ca sisteme analogice. Iată câteva exemple:

- Emițătoare și receptoare radio și de televiziune;
- Amplificatoare cu tranzistoare, ca de exemplu cele de microfon sau cele existente în receptoarele de radio;
- Filtre analogice, ca de exemplu cele existente în componența stațiilor de amplificare cu tranzistoare.
- Sisteme implicate în transferul de energie: transformatoare, redresoare oscilatoare etc.
- Reglatoare analogice care, incluse în bucla de reglare automată a unui proces, ce pot controla valoarea unui parametru al acelui proces (viteză, temperatură, presiune etc.).

Toate acestea sunt construite cu rezistoare, condensatoare, diode, tranzistoare etc. și sunt alimentate cu surse de energie electrică. Prin toate aceste echipamente, semnalul analogic se propagă de la intrare la ieșire.

Tehnicile și tehnologiile moderne obligă utilizarea calculatorului în prelucrarea semnalelor. Relația dintre procesarea numerică de semnal și semnalul analogic din care provine semnalul de prelucrat este sintetizată în figura următoare:



Procesarea Numerică a Semnalelor (Digital Signal Processing) nu reprezintă altceva decât prelucrarea cu ajutorul calculatorului, prin operații matematice (adunări, înmulțiri, operații logice etc.), a semnalelor reprezentate numeric.

Iată câteva din domeniile care au beneficiat esențial de **avantajele procesării numerice** a semnalelor:

- **Comunicații:** codarea / decodarea digitală a sunetului în telefonie digitală cu multiplexarea mai multor convorbiri pe același fir, Faxul, Internet-ul etc;
- **Medicină:** analiza semnalelor biomedicale (ECG, EEG, computer-tomografia etc.), diagnosticarea automată, monitorizarea diverselor funcții vitale,
- **Conducerea automată a proceselor:** pilotarea automată a navelor, avioanelor și rachetelor, servomecanisme, roboți, controlul proceselor industriale complexe sau periculoase;

- **Radioul** si televiziunea digitală;
- **Aplicații ce implică semnalul vocal:** filtrare, recunoașterea vorbirii, sinteza vorbirii;
- **Multimedia:** captarea, generarea, procesarea, transmiterea și stocarea sunetului și imaginilor;

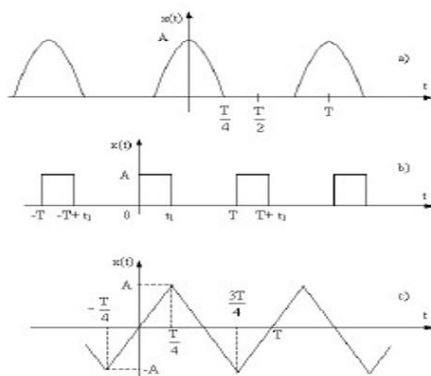
Avantajele utilizării sistemelor de procesare numerică de semnal față de sistemele analogice sunt următoarele:

- **Flexibilitatea.** Un sistem de prelucrare numerică este un algoritm de calcul, algoritm pe care îl efectuează un sistem de calcul (sistem cu microprocesor, calculator specializat, sau chiar un calculator). Algoritmul poate fi ușor schimbat, prin reprogramare, ceea ce face ca sistemul să poată fi schimbat cu eforturi materiale nule(mici). Deci, prin schimbarea algoritmului, sistemul își modifică comportarea, fără nici o modificare fizică a sistemului de calcul.
- **Eficiență economică.** Procesarea numerică are avantaje economice deosebite. Să presupunem că unui sistem analogic (un amplificator cu tranzistoare, spre exemplu), îi sunt schimbate caracteristicile, a comportării. Pentru aceasta el trebuie modificat fizic, îi trebuie schimbate acestuia anumite componente (rezistoare, condensatoare), ceea ce implică cheltuieli materiale, experimente si noi teste de omologare. În cazul unui amplificator numeric, pentru schimbarea comportării sale, i se va schimba acestuia prin programare doar o mică parte din algoritmul de calcul, fără nici o modificare fizică a sistemului.
- **Fiabilitatea.** Bineînțeles că problema fiabilității unui sistem digital rămâne de luat în calcul, dar ea depinde de fiabilitatea părții hard a acestuia. Tehnologiile moderne de realizare a circuitelor numerice au ajuns la performanțe atât de înalte încât, și din punct de vedere al fiabilității, partea hard a sistemelor digitale este comparabilă și adesea superioară sistemelor analogice.
- **Integrarea.** Sistemele digitale pot fi realizate într-o singură capsulă de circuit integrat. Consecință a tehnologiilor moderne, integrarea are implicații pozitive asupra fiabilității si costurilor.
- **Adaptabilitatea.** Odată realizat un algoritm de procesare numeric destinat unui anume sistem, este simplu ca el să poată fi folosit și în alte aplicații, prin simpla adaptare/ajustarea unor parametri. Mai mult chiar, în cadrul aceluiași proces, algoritmul de calcul poate fi schimbat dinamic, adaptat la schimbările intervenite în proces.
- **Stocarea și transmisia performantă a datelor.** Pentru datele numerice există soluții de a stoca date mult mai rapid și cu o densitate mult mai mare pe unitatea fizică de volum.
- **Performanțe superioare.** Nu în ultimul rând, trebuie menționat că performanțele sistemelor numerice sunt cel mai adesea superioare sistemelor analogice. Mai mult chiar, există numeroase tipuri de procesări care nici nu pot fi realizate în sistemele analogice, ca de exemplu filtre de ordin mare sau filtre având impuse anumite caracteristici de frecvență

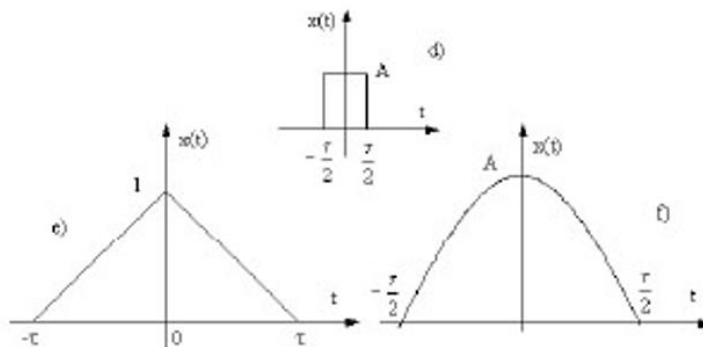
Față de prelucrarea analogică, **procesarea numerică a semnalelor oferă o serie de avantaje**. Aceste avantaje rezultă chiar din caracteristicile specifice sistemelor de prelucrare numerică (SPN):

- repetabilitatea, adică proprietatea unui SPN de a conduce la rezultate identice ale prelucrării, dacă semnalele numerice de intrare sunt aceleași și dacă se folosește același algoritm de prelucrare;
- re-programabilitate, reprezintă posibilitatea de modificare a algoritmului de prelucrare numerică doar prin reprogramare, fără vreo altă modificare în structura SPN;
- adaptabilitatea, adică posibilitatea de modificare a funcției de transfer corespunzătoare unui algoritm de prelucrare numerică, în concordanță cu caracteristicile semnalelor de intrare sau cu caracteristicile de mediu;
- stabilitate ridicată la perturbații, caracteristici ce rezultă din însăși structura discretă a semnalelor numerice. Se are în vedere diferența relativ mare a valorilor de tensiune corespunzătoare celor două niveluri logice ale variabilelor binare;
- tehnica numerică de prelucrare se poate utiliza și la compresia de date, adică la reprezentarea informației pe un număr redus de biți, procedeu deosebit de util în comunicații și la memorare.

Semnale periodice



Semnale neperiodice



Reprezentarea semnalelor periodice prin serii Fourier

Seria Fourier Trigonometrică (SFT)

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k \omega_1 t + b_k \sin k \omega_1 t)$$

$$\frac{a_0}{2} = \frac{1}{T} \int_T x(t) dt; \quad a_k = \frac{2}{T} \int_T x(t) \cos k \omega_1 t dt;$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_T x(t) \sin k \omega_1 t dt$$

Seria Fourier exponențială (sau complexă)

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{jk \omega_1 t}$$

$$c_k = |c_k| e^{j\varphi_k} = \frac{1}{T} \int_T x(t) e^{-jk \omega_1 t} dt$$

Seria Fourier armonică (SFA)

$$x(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos(k \omega_1 t + \varphi_k) \text{ unde } A_0 = \frac{a_0}{2};$$

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad (k=1, 2, \dots);$$

$$\varphi_k = -\arctg\left(\frac{b_k}{a_k}\right)$$

Pentru calculul dezvoltării în serii Fourier sunt utile următoarele proprietăți:

1. Dacă $x(t) = x(-t)$, adică semnalul $x(t)$ este par, atunci $b_k = 0$,

$$a_k = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} x(t) \cos k \omega_1 t dt$$

și

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos k \omega_1 t.$$

2. Dacă $x(t) = -x(-t)$, atunci

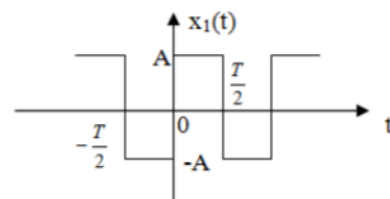
$$a_k = 0, \quad b_k = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} x(t) \sin k \omega_1 t dt$$

și

$$x(t) = \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin k \omega_1 t.$$

Exemplu

Să se determine dezvoltările în serie Fourier (formele trigonometrică, armonică și complexă) ale semnalului $x_1(t)$ pe perioada T , prezentat în figura



Rezolvare

a) Forma trigonometrică.

Semnalul $x_1(t)$ este o funcție impară $x_1(t) = -x_1(-t)$

De aceea $a_0=0$, $a_k=0$ și dezvoltare va conține numai componente sinusoidale cu coeficienții:

$$b_k = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x_1(t) \sin k\omega_1 t dt = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} x_1(t) \sin k\omega_1 t dt = \frac{4A}{T} \int_0^{T/2} \sin k\omega_1 t dt =$$

$$= -\frac{4A}{T} \frac{\cos k\omega_1 t}{k\omega_1} \Big|_0^{T/2} = -\frac{4A}{k2\pi} (1 - \cos \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{2}) = \frac{2A}{k\pi} [1 - (-1)^k]$$

Pentru

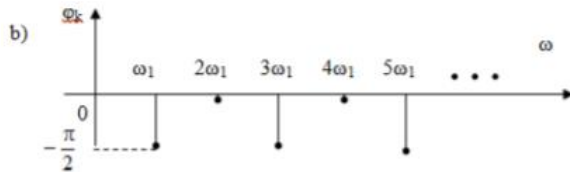
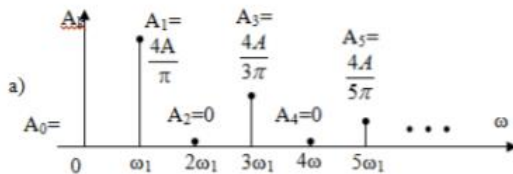
$$k = 2n - 1 (\text{impar}) \rightarrow b_{2n-1} = \frac{4A}{(2n-1)\pi}, n = 1, 2, 3, \dots$$

$$k = 2n (\text{par}) \rightarrow b_{2n} = 0.$$

Revenind la indicele de sumare K , forma trigonometrică a dezvoltării este

$$x_1(t) = \frac{4A}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{(2k-1)} \sin(2k-1)\omega_1 t$$

și conține numai componentele impare cu frecvențele ω_1 , $3\omega_1$, $5\omega_1$ etc. Acest rezultat este o consecință a faptului că $x_1(t+T/2) = -x_1(t)$.



b) Forma armonică.

Din coeficienții a_k, b_k se obțin amplitudinile armonicilor

$$A_0 = \frac{a_0}{2} = 0, A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} = |b_k| \rightarrow A_{2k-1} = \frac{4A}{(2k-1)\pi}, A_{2k} = 0$$

și fazele lor $\varphi_k = -\arctg b_k/a_k \rightarrow \varphi_{2k-1} = -\pi/2$, iar dezvoltarea poate fi scrisă sub forma

$$x_1(t) = \frac{4A}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{2k-1} \cos \left[(2k-1)\omega_1 t - \frac{\pi}{2} \right].$$

Graficele spectrelor de amplitudine și fază pentru semnalul dat sunt arătate în figurile următoare.

c) Seria exponențială.

Coeficienții C_k pentru forma exponențială

$$C_k = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x_1(t) e^{-jk\omega_1 t} dt = \frac{1A}{T} \left(\frac{e^{-jk\omega_1 t}}{jk\omega_1} \Big|_{-T/2}^0 - \frac{e^{-jk\omega_1 t}}{jk\omega_1} \Big|_0^{T/2} \right) =$$

$$= \frac{A}{j2k\pi} (1 - e^{jk\pi} - e^{-jk\pi} + 1) = \frac{A}{jk\pi} (1 - \cos k\pi) = \frac{A}{jk\pi} [1 - (-1)^k].$$

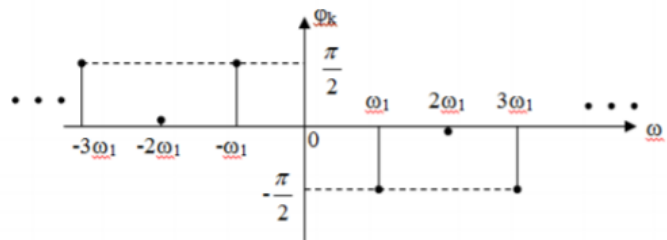
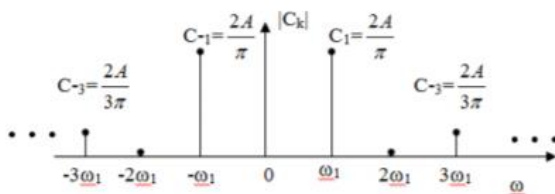
$$\text{Rezultă că pentru } k = 2n - 1 (\text{impar}) \rightarrow C_{2n-1} = \frac{2A}{j(2n-1)\pi}$$

$$k = 2n (\text{par}) \rightarrow C_{2n} = 0.$$

Revenind la indicele de sumare k , descompunerea în serie Fourier, forma exponențială este

$$x_1(t) = \frac{2A}{\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{1}{j(2k-1)} e^{j(2k-1)\omega_1 t}.$$

Spectrele de amplitudini si faze corespunzătoare



Reprezentarea semnalelor prin transformata Fourier

Transformata Fourier folosită, de obicei, pentru calculul spectrelor semnalelor neperiodice se definește în modul următor.

Dacă un semnal $x(t) \in L_2$ (este pătrat integrabil), atunci:

-transformata Fourier directă

$$X(j\omega) = X(\omega) = F\{x(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt,$$

prin care se determină funcție spectrală $X(\omega)$ a semnalului $x(t)$;

-transformata Fourier inversă

$$x(t) = F^{-1}\{X(\omega)\} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega)e^{j\omega t} d\omega,$$

prin care semnalul $x(t)$ poate fi determinat din spectrul lui $X(\omega)$.

Dacă $x(t) \leftrightarrow X(\omega)$ sunt perechi de transformate Fourier, atunci sunt valabile următoarele teoreme (T):

T1: $X(\omega)$ este o funcție continuă și $\lim_{|\omega| \rightarrow \infty} X(\omega) = 0$;

T2: teorema conjugării

$$x^*(t) \leftrightarrow X^*(-\omega);$$

T3: teorema simetriei

$$X(t) \leftrightarrow 2\pi x(-\omega);$$

T4: schimbarea de scară

$$x(at) \leftrightarrow \frac{1}{|a|} X(\omega/a);$$

T5: teorema deplasării în timp

$$x(t-t_0) \leftrightarrow e^{-j\omega t_0} X(\omega);$$

T6: teorema deplasării în frecvență

$$x(t)e^{j\omega_0 t} \leftrightarrow X(\omega - \omega_0);$$

T7: teorema derivării în timp

$$\frac{d^n x(t)}{dt^n} \leftrightarrow (j\omega)^n X(\omega);$$

Impulsul unitar (impulsul lui Dirac) $\delta(t)$ se definește prin relațiile

T8: teorema integrării în timp

$$f(t) = \int_{-\infty}^t x(\tau) d\tau \leftrightarrow \frac{1}{j\omega} X(\omega) + \pi \delta(\omega) X(0);$$

T9: teorema derivării în domeniul frecvență

$$f(t) = (-jt)^n x(t) \leftrightarrow \frac{d^n X(\omega)}{d\omega^n}$$

Impulsul unitar (impulsul lui Dirac) $\delta(t)$ se definește prin relațiile

$$\int_{-\infty}^{\infty} x(t)\delta(t)dt = x(0);$$

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty, & t=0 \\ 0, & t \neq 0 \end{cases}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t)dt = 1.$$

Exemplu

- Fie semnalul $x(t)$ de formă triunghiulară, reprezentat în următoarea figura a). Sa se determine transformata Fourier a semnalului $x(t)$
- Conform teoremei derivării în timp vom deriva semnalul de 2 ori

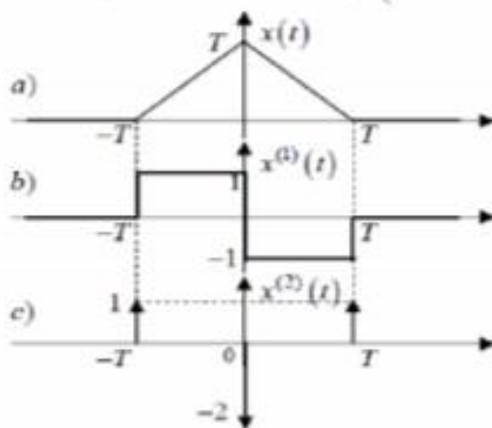
Prima derivată, $\dot{x}^{(1)}(t)$, este reprezentată în fig. b), iar derivata a doua, $\dot{x}^{(2)}(t)$, în fig. c).

Transformata Fourier a semnalului $\dot{x}^{(2)}(t)$ este:

$$\mathcal{F}\{\dot{x}^{(2)}(t)\} = \mathcal{F}\left\{\frac{1}{T}\delta(t+T) - \frac{2}{T}\delta(t) + \frac{1}{T}\delta(t-T)\right\}$$

sau, aplicând teorema întârzierii/anticipării,

$$\mathcal{F}\{\dot{x}^{(2)}(t)\} = \frac{1}{T} \cdot (e^{j\omega T} - 2 + e^{-j\omega T}) = \frac{1}{T} \cdot \left(e^{j\frac{\omega T}{2}} - e^{-j\frac{\omega T}{2}}\right)^2$$



Utilizând teorema integrării în timp rezultă transformata Fourier a semnalului $x(t)$:

$$X(j\omega) = \left(\frac{1}{j\omega}\right)^2 \mathcal{F}\{\dot{x}^{(2)}(t)\} = \left(\frac{1}{j\omega}\right)^2 \frac{1}{T} \left(e^{j\frac{\omega T}{2}} - e^{-j\frac{\omega T}{2}}\right)^2 = T \frac{\left(e^{j\frac{\omega T}{2}} - e^{-j\frac{\omega T}{2}}\right)^2}{(2j)^2 \cdot \left(\frac{\omega T}{2}\right)^2}$$

Prin urmare:

$$X(\omega) = T \cdot \text{sinc}^2\left(\frac{\omega T}{2}\right)$$

Tema 6

Semnalul vocal

Semnalul vocal reprezintă un proces aleator continuu. Însă caracteristicile statistice ale semnalului vocal se obțin prin stabilirea valorilor medii a rezultatelor măsurărilor parametrilor semnalului vocal, din mulțimile de măsurări au fost obținute unele rezultate importante.

Puterea semnalului pe întreg tractul de transmisie se socrate activă și s-a stabilit că puterea medie a semnalului vocal în intervalul (când abonatul vorbește) este de $88 \mu W$ în punctul de transmisiuni cu nivelul de măsurare 0.

Dacă luăm în considerație coeficientul activității abonatului $\eta = 0,25 - 0,35$ atunci obținem $P_{med} = 22 \mu W$. Deoarece pe unul și același canal se transmit în afară de semnalul inițial al abonatului încă și alte semnale cum ar fi semnalul de control și semnale de dirijare. S-a stabilit că puterea medie a semnalului inițial $C(t)$ să fie luată $P_{med} = 32 \mu W$.

Puterea minimală $P_{min} = 0,1 \mu W$. Puterea maximală $P_{max} = 2220 \mu W$.

Gama dinamică

$$D_{voc} = 10 * \lg \frac{P_{max}}{P_{min}} = 43 \text{ dB}, \text{ factor-vârf } Q_{voc} \approx 14 \text{ dB}$$

Spectrul energetic al vocii este de la 50 Hz până la 10000 Hz. Însă dacă omul vorbește normal 95% din toată energia vocală este cuprinsă în banda de frecvențe 300-3400 Hz. Vocea transmisă în această bandă asigură claritatea vocii la 99% și o naturalitate satisfăcătoare.

Cantitatea de Informație a semnalelor vocale $I = \text{aprox } 8000 \text{ bps}$.

În timpul transmisiunii pe parcursul traversării canalului de la stația de emisie până la stația de recepție semnalul este afectat de distorsiuni – lineare și neliniare. Distorsiunile lineare modifică relațiile între faze (distorsiuni de fază-frecvență a diferitor componente caracteristice spectrului de frecvență) și relațiile dintre amplitudine (distorsiuni de amplitudine-frecvență a diferitor componente caracteristice spectrului de frecvență) a semnalului vocal. Distorsiunile neliniare conduc la ivirea armonicilor și combinațiilor de frecvență.

Auzul reacționează slab la distorsiunile fază-frecvență. Distorsiunile amplitudine-frecvență schimbă timbrul sunetului (vocii), cu alte cuvinte se pierde naturalitatea vocii. Distorsiunile neliniare se recepționează cu schimonosirea sunetelor prin schimbarea naturalității vocii. Acestea acționează esențial asupra calității vocii.

Mecanismul vorbirii

Tot ce se întâmplă în corpul nostru este pornit sau/și reglat de creier. Așa se întâmplă și în cazul vorbirii. Putem spune că vorbirea pornește din creierul nostru care dă o anumită comandă. Participarea creierului în vorbire o numim segmentul reglator.

Comanda aceasta, cu o viteză foarte mare, se transmite în diferite părți ale corpului. Corpul va reacționa și va pune în mișcare mai multe mecanisme. Unul dintre acestea este respirația. Aerul va pătrunde în organism, prin inspirație și va ieși, prin expirație. Acesta este segmentul respirator.

În drumul său, aerul expirat va întâlni laringele, aici se găsesc coardele vocale. Impulsurile nervoase date prin comanda creierului și presiunea aerului expirat le vor face să se miște. Mișcarea este oscilatorie, coardele vibrează. În felul acesta se produce un sunet incipient, pe care îl numim sunetul inițial. Acest mecanism se numește fonație – segmentul fonator.

Acustica vorbirii studiază semnele fizice ale vorbirii. Sunetul vorbirii se referă la fluctuațiile aerului cauzate de organele vorbirii. Sunetele sunt împărțite în tonuri (sunete muzicale) și zgomote (sunete non-muzicale).

- tonul – vibrații periodice (ritmice) ale corzilor vocale;
- zgomotul - vibrații neperiodice (neregulate) ale unui corp care sună, de exemplu, buzele.

Sunetele vorbirii variază în înălțime, rezistență și durată.

Înălțimea sunetului: numărul de oscilații pe secundă (hertz). Depinde de lungimea și tensiunea corzilor vocale. Sunetele mai înalte au o undă mai scurtă. O persoană poate percepe frecvența vibrațiilor în intervalul 16 – 20.000 hertz. Pisicile și câinii percep până la 40.000 Hz, iar peștii și lilieciul chiar până la 90.000 Hz.

Frecvențele principale de comunicare ale persoanelor sunt de obicei între 500-4000 Hz. Corzile vocale produc sunete de la 40 la 1700 Hz. De exemplu, basul începe de obicei la 80 Hz, iar soprana este definită la 1300 Hz. Frecvența naturală a vibrațiilor timpanului este de 1000 Hz. Prin urmare, cele mai plăcute sunete pentru oameni – sunetul mării, pădurile – au o frecvență de aproximativ 1000 Hz.

Intervalul de oscilație al sunetelor de vorbire masculină este de 100 – 200 Hz, spre deosebire de femeile care vorbesc cu o frecvență de 150 – 300 Hz (deoarece bărbații au corzi vocale în medie 23 mm, iar femeile de 18 mm, iar cu cât ligamentele sunt mai lungi, cu atât tonul este mai mic).

Puterea sunetului (volumul) depinde de lungimea de undă, adică din amplitudinea oscilațiilor (amplitudinea abaterii de la poziția inițială).

Amplitudinea vibrațiilor este creată de presiunea fluxului de aer și de suprafața corpului care sună. Puterea sunetului:

- Șoapta este definită în 20 – 30 dB;
- vorbire obișnuită – de la 40 la 60 dB;
- volumul țipătului ajunge la 80 – 90 dB.

Cântăreții pot cânta cu o putere de până la 110-130 dB.

Sunete de vorbire diferite au puncte forte. Puterea sunetului depinde de rezonator (cavitate). Cu cât volumul său este mai mic, cu atât este mai mare puterea. Sunete de aceeași putere, dar de înălțimi diferite sunt percepute ca sunete de volume diferite. Trebuie remarcat faptul că puterea sunetului și sunetul nu sunt echivalente, deoarece sunetul este percepția intensității sunetului de către aparatul auditiv al unei persoane.

Durata sunetului (timpul de oscilare) se măsoară în milisecunde. Sunetul are o compoziție complexă. Se compune din tonul și tonurile fundamentale (tonuri de rezonanță).

Ton de bază – ton generat de vibrațiile întregului corp fizic.

Subtext – un ton parțial generat de vibrațiile părților (jumătate, sfert, opt, etc.) ale acestui corp.

Tonul („ton superior”) este întotdeauna de câteva ori mai mare decât tonul fundamental, de unde și numele acestuia. De exemplu, dacă tonul principal este de 30 Hz, atunci primul avertisment va fi 60, al doilea 90, al treilea 120 Hz etc. Este cauzată de rezonanță, adică sunetul corpului în timpul percepției unde sonore având o frecvență egală cu cea a corpului.

Timbru – colorare deosebită a sunetului creat de capete. Depinde de raportul dintre ton și tonurile fundamentale. Timbrul vă permite să distingi un sunet de altul, să distingi sunetele diferitelor persoane, vorbirea masculină sau feminină. Timbrul fiecărei persoane este strict individual și unic, ca o amprentă. Uneori, acest fapt este utilizat în criminalistică.

Formant – spre deosebire de tonul vocal, formantul nu se formează în laringe, ci în cavitatea rezonantă. Prin urmare, persistă chiar și în șoaptă. Cu alte cuvinte, aceasta este banda de frecvență a sunetului care primește cel mai mare câștig datorită influenței rezonatorilor. Folosind formanți, putem distinge cantitativ un sunet de altul. Acest rol este jucat de formanții de vorbire – primii doi formanți cei mai importanți în spectrul sunetului vocal, cel mai apropiat în frecvență de tonul fundamental. Mai mult decât atât, vocea fiecăruia este caracterizată de propriile sale formante vocale. Ele sunt întotdeauna deasupra primelor două formante.

Eșantionarea vorbirii

Semnalele vocale, adică semnalele intenționate să poarte numai vorbirea umană, pot fi de obicei eșantionate la o rată mult mai scăzută. Pentru cele mai multe foneme, aproape toată energia este conținută în gama 5 Hz - 4 kHz, permițând o rată de eșantionare de 8 kHz. Această linie este rata de eșantionare folosită de aproape toate sistemele de telefonie, care folosesc specificațiile de eșantionare și cuantizare G.711. Acest codec este pe larg utilizat în comunicații și se poate utiliza la telefonie IP.

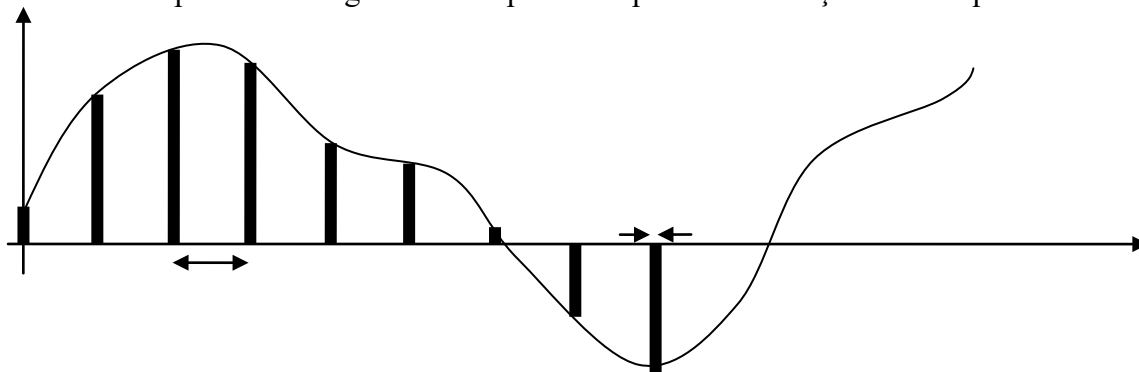
Un codec este un produs software utilizat pentru comprimarea sau decompimarea unui fișier media digital, cum ar fi un cântec sau un fișier video, eventual chiar și un aparat hardware corespunzător, care asigură codarea și decodarea unei informații. Cuvântul este un acronim care provine de la codificare/decodificare. Windows Media Player și alte programe utilizează codec-uri pentru redarea și crearea fișierelor media digitale.

Canalele de voce ocupă 64 Kbps folosind codarea PCM (Pulse Code Modulation) atunci când se transportă prin liniile E1. De-a lungul anilor, tehnicile de compresie s-au dezvoltat permițând o reducere a lărgimii de bandă în același timp cu păstrarea calității vocii. Aceste tehnici sunt implementate în codec-uri. Deși există mai mulți algoritmi de compresie, cele mai multe echipamente H.323 de astăzi utilizează codec-uri ce au fost standardizate pentru o bună interoperabilitate între producătorii de echipamente. Aplicații ca NetMeeting utilizează protocolul H.245 pentru negocierea folosirii unui codec în concordanță cu preferințele utilizatorului și cu codec-urile instalate. Diferenții algoritmi de compresie pot fi comparați folosind patru parametri :

- **Rata de compresie a vocii** – codec-urile compresează vocea de la 64 Kbps până la o valoare mai scăzută. Unele proiecte de rețea au o mare preferință pentru codec-urile cu rată scăzută (low-bit-rate codec). Cele mai multe codec-uri pot folosi mai multe rate de compresie cum ar fi 8, 6.4 și chiar 5,3 Kbps. De notat că această rată este doar pentru audio. Când se transmite vocea în pachete peste rețea, overhead-ul protocoalelor (ca de ex RTP/UDP/IP/ Ethernet) se adaugă la vârful acestei rate rezultând de fapt o rată mai mare.
- **Complexitatea** – cu cât complexitatea implementării în codec crește, cu atât mai multe resurse pentru CPU sunt necesare.
- **Calitatea vocii** – compresia vocii în unele codec-uri se face cu bună calitate, în timp ce în altele calitatea vocii suferă.
- **Întârzierea la digitalizare** – fiecărui algoritm îi sunt necesare o sumă de sunete ce trebuie memorate înainte de compresie. Această întârziere se adaugă întârzierii cap-la-cap. O rețea cu o întârziere cap-la-cap excesivă adesea face utilizatorii să revină la o conversație half-duplex în loc de o convorbire telefonică full-duplex.

Tema 7

Eșantionarea este procedeul prin care un semnal continuu în timp este înlocuit cu o succesiune de impulsuri situate la intervale egale de timp, ale căror amplitudini sunt determinate de valoarea semnalului continuu în momentele respective. În Fig. 1.1 este reprezentat procedeul de eșantionare aplicat semnalului $s(t)$.



Impulsurile vor fi denumite în continuare eșantioane: E_0, E_1, E_2 , etc. Durata unui eșantion este notată cu t_i . Intervalul dintre două eșantioane succesive notat cu TE reprezintă perioada de eșantionare. Frecvența de eșantionare egală cu inversul perioadei de eșantionare ($f_E = 1/TE$), specifică în același timp numărul de eșantioane transmise într-o secundă.

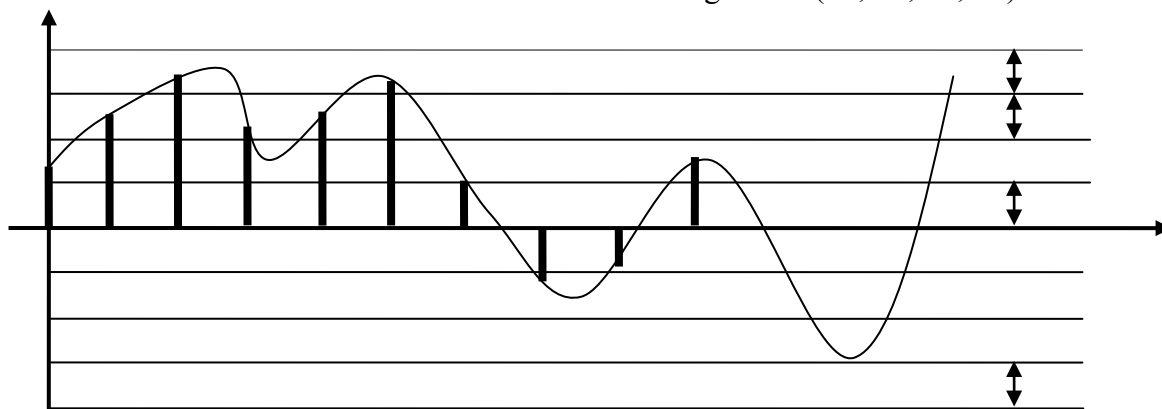
Teorema eșantionării precizează că un semnal continuu în timp, cu spectrul limitat la o frecvență maximă f_{Max} , este complet definit de eșantioanele sale, dacă se alege frecvența de eșantionare astfel ca să respecte relația: $f_E \geq 2f_{Max}$. Prin urmare, rezultă că dacă sunt transmise în fiecare secundă un număr $n \geq 2f_{Max}$ eșantioane egal distanțate, acestea vor fi suficiente pentru refacerea semnalului analogic la recepție.

Aplicarea raționamentelor anterioare la semnalul vocal telefonic, determină următoarele rezultate acceptate prin norme internaționale:

- deoarece spectrul vocal are $f_{Max} = 3,4 \text{ kHz}$, s-a ales frecvența de eșantionare pentru semnalul telefonic : $f_E = 8 \text{ kHz} > 2f_{Max}$;
- perioada de eșantionare este : $TE = 1/f_E = 1/8000 \text{ Hz} = 1\text{s}/8000 = 125\mu\text{s}$
- în cazul transmisiei semnalului vocal prin PCM, se transmit în fiecare secundă un număr $n = 8000$ eșantioane egal distanțate.

Prin eșantionare se realizează doar o “transformare analog/discretă”, impulsurile semnalului discret putând să aibă orice valoare, în concordanță cu amplitudinile semnalului analogic.

Prin cuantizare, din numărul infinit al valorilor posibile pentru amplitudinile impulsurilor, vor fi atribuite numai anumite valori bine stabilite. În acest sens, domeniul amplitudinilor posibile este divizat într-un număr finit de intervale de cuantizare. Toate amplitudinile care aparțin unui anumit interval vor primi aceeași valoare numerică, specifică acelui interval. În Fig. 1.2 este reprezentată în mod sugestiv operația de cuantizare pentru cazul când s-a ales numărul intervalelor de cuantizare egal cu 8 ($\pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4$).

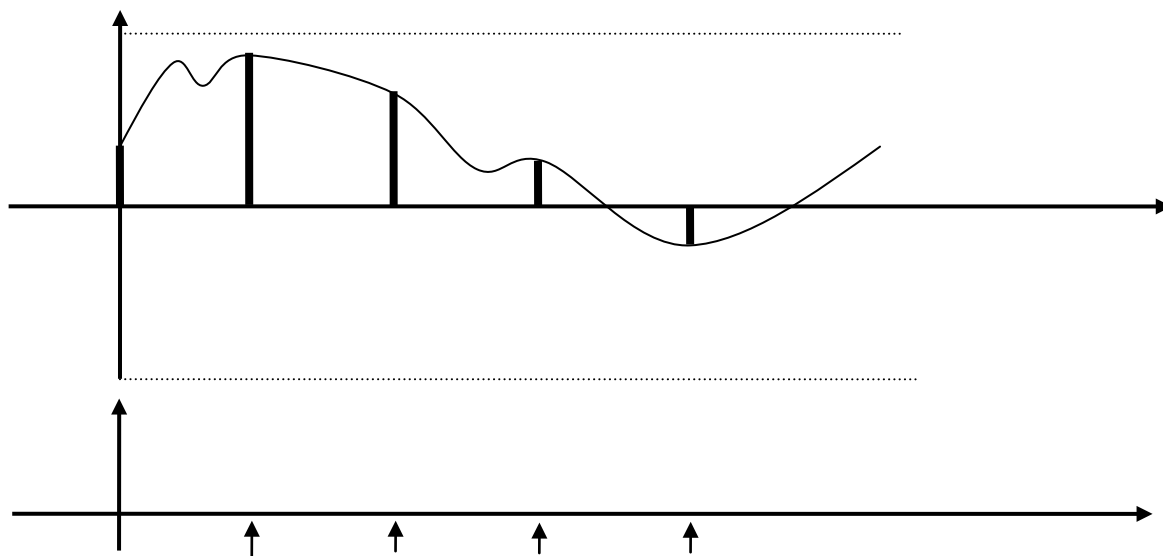


În acest exemplu, eșantioanele care au amplitudini mai mari decât nivelul N_3 și mai mici decât nivelul N_4 primesc valoarea $+4$. Prin urmare se vor transmite valorile: $+2$ pentru E_0 , $+3$ pentru E_1 , $+4$ pentru E_2 , etc.. Este evident că operația de cuantizare determină la recepție erori la refacerea semnalului. Zgomotul de cuantizare este micșorat prin mărirea numărului intervalelor, ceea ce implică o complexitate mai ridicată a echipamentelor

de telecomunicații. În cazul semnalului vocal utilizat în telefonie, cuantizarea acestuia se realizează cu un număr de 256 intervale, rezultând 256 valori posibile (128 nivele pozitive și alte 128 nivele negative).

După operațiile de eșantionare și cuantizare se obține o transformare “analog/numericzecimală”, impulsurile semnalului discret putând să aibă o mulțime de valori. La recepție, determinarea acestor valori cu precizie ar fi destul de dificilă, deoarece cu cât numărul valorilor transmise este mai mare, prin micșorarea diferențelor dintre ele crește posibilitatea unei interpretări eronate.

Codificarea este operația care ușurează interpretarea necesară la recepție. Fiecare dintre cele 256 valori posibile vor fi codificate binar, un eșantion putând să fie reprezentat cu 8 biți. Bitul cel mai din stânga va specifica semnul, iar următorii 7 biți vor desemna amplitudinea eșantionului, care va fi cuprinsă între 0 și 127. După operațiile de eșantionare, cuantizare și codificare se obține o transformare “analog/numericbinară”, cu alte cuvinte semnalul analogic a fost transformat în semnal digital. Transmisia binară simplifică interpretarea la recepție, numărul nivelelor de decizie reducându-se de la 256 la două valori. În Fig. 1.3 este reprezentat într-un mod simplificat, procedeul de obținere a semnalului PCM.



În momentul “ τ_0 ” se transmite valoarea binară a eșantionului E_0 , apoi la momentul “ τ_1 ” se transmite valoarea binară a eșantionului E_1 și așa mai departe. În canalul de comunicație se va forma un flux de valori binare. În cazul semnalului telefonic PCM, semnalul digital transmis va avea un debit pe secundă:

$(8000 \text{ eșantioane}) \times 8 \text{ biți} = 64 \text{ kb/s}$.

Valorile binare ale semnalului digital sunt transmise pe canalul de comunicație fie în banda de bază (fără prelucrare), fie printr-o codificare de linie, fie prin modulare digitală.