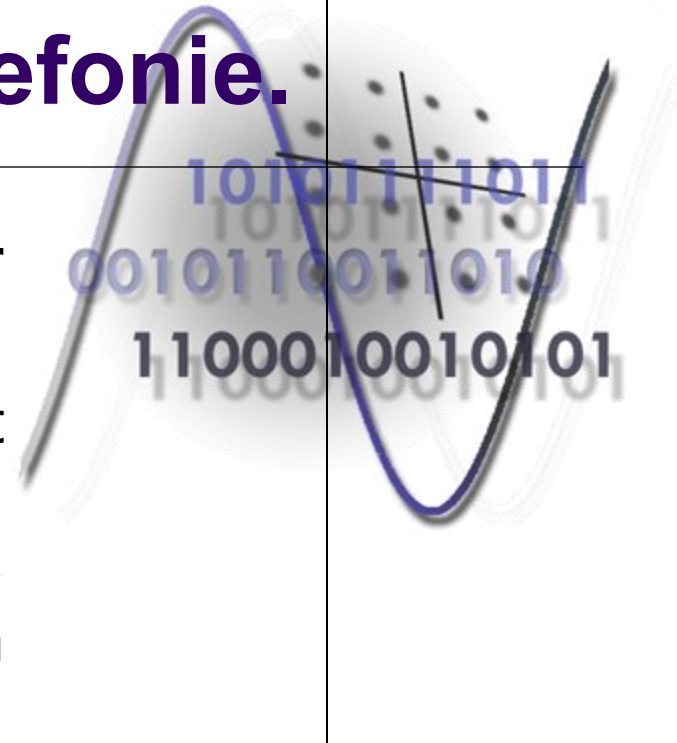


Curs 7

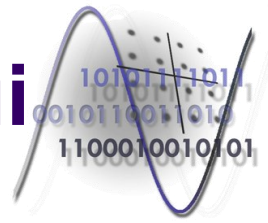
Ecol în telefonie.

Zsolt Polgar

Communications Department
Faculty of Electronics and
Telecommunications,
Technical University of Cluj-Napoca

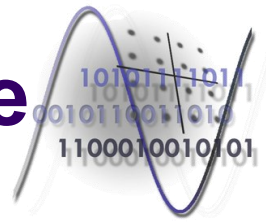


Conținutul cursului

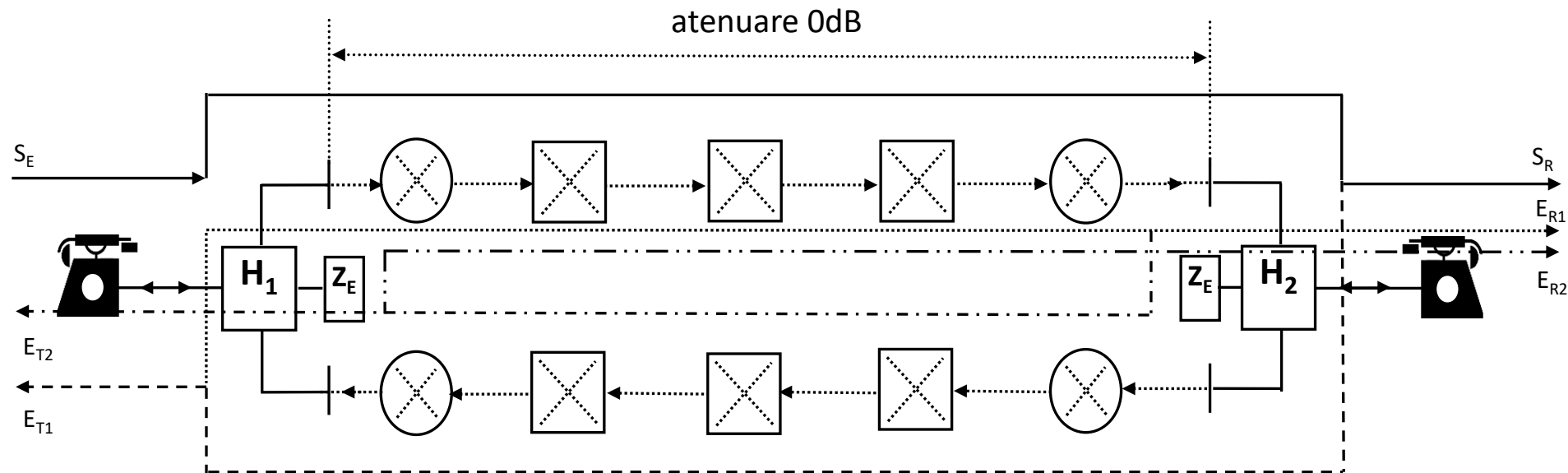


- Metode de control a ecoului;
 - Ecoul în telefonie;
 - Tehnici de control a ecoului.

Ecoul în telefonie

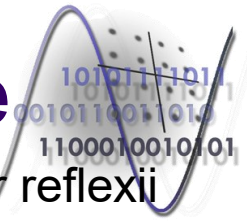


- Generarea ecoului în circuitele telefonice;
 - Schema simplificată a unei legături telefonice digitale și semnalele de ecou datorate reflexiilor la transformatoarele hibride.



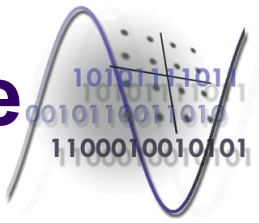
- semnalul sursă S_E este transferat de pe bucla de abonat la două fire pe circuitul de transmisie la patru fire de către transformatorul hibrid H_1 ;
- transformatorul hibrid H_2 face trecerea de pe circuitul de transmisie la 4 fire pe bucla de abonat destinație la 2 fire;

Ecoul în telefonie



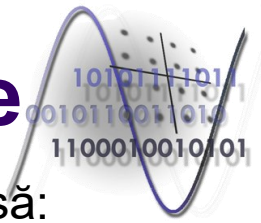
- datorită dezadaptărilor de la transformatoarele hibride H_1 și H_2 apar reflexii care duc printre altele la apariția semnalelor de ecou:
 - E_{T1} și E_{T2} la partea de transmisie;
 - E_{R1} și E_{R2} la partea de recepție.
- cele mai importante sunt semnalele de ecou generate de primele reflexii:
 - semnalul de ecou E_{T1} la emisie și de semnalul E_{R1} la recepție;
 - aceste semnale au nivele mai mari deoarece parcurg bucla la 4 fire de mai puține ori;
 - semnalele de ecou generate de reflexii multiple sunt mai atenuate, dar că au o întârziere mai mare.
- Există două categorii de semnale de ecou și anume:
 - ecoul la transmisie (ET) sau ecoul vorbitorului:
 - este sesizat de persoana care vorbește sub forma unei replici întârziate a propriului său semnal;
 - este datorat sistemului diferențial H_2 din punctul îndepărtat;
 - efectul acestui ecou în telefonie depinde de următorii parametri:
 - nivelul ecoului – depinde de atenuarea întregului traseu de propagare al ecoului;
 - întârzierea ecoului – este dependentă de structura circuitului (lungime, număr puncte de tranzit, număr de centrale).
 - acest ecou este cu atât mai stânjenitor cu cât nivelul și întârzierea sunt mai mari.

Ecoul în telefonie



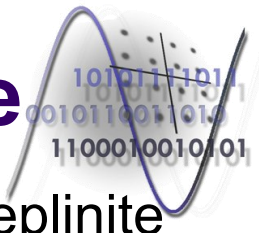
- ecoul la recepție (ER) sau ecoul ascultătorului:
 - este ecoul sesizat de persoana care ascultă;
 - este datorat dezechilibrelor de la ambele transformatoare diferențiale.
 - efectele ecoului de la recepție sunt cu atât mai supărătoare cu cât raportul semnal/ecou (S/E) este mai mic și cu cât întârzierea ecoului este mai mare;
 - la valori mici ale întârzierii ecoului ($< 3\text{ms}$), ecoul este perceput de persoana care ascultă sub forma unui sunet de peșteră (*hollowness*) sau sunet de butoi;
 - efectul apare mai ales când dezadaptările sunt mai pronunțate la frecvențe joase;
- În cazul unor dezadaptări importante atât ecoul de la emisie cât și cel de la recepție pot parcurge de mai multe ori bucla la 4 fire:
 - se generează ecouri multiple;
 - la rapoarte semnal/ecou mai mari de 8dB ecourile multiple se pot neglija.
- Particularitățile ecoului care apare într-o rețea telefonică digitală:
 - terminalul de abonat are o influență mare în apariția fenomenului de ecou:
 - trecerea la transmisia duplex-integral la patru fire se realizează în centrala locală, situată relativ aproape de abonat;
 - distanța relativ redusă dintre abonat și transformatorul hibrid H_1 face ca impedanța terminalului de abonat să aibă o influență mai mare asupra impedanței de intrare a liniei văzută de către transformatorul hibrid;

Ecoul în telefonie



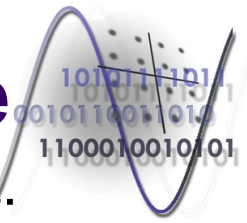
- atenuarea ecoului pe circuitele din bucla la 4 fire este relativ redusă:
 - circuitele de transmisie digitale inserează o atenuare de 0dB:
 - atenuările din buclă se datorează transformatoarelor diferențiale și parțial convertoarelor A/D și D/A;
 - pentru creșterea atenuării pe circuitele la 4 fire se pot introduce atenuatoare suplimentare care asigură reducerea nivelului semnalelor de ecou.
- comutația digitală determină întârzieri mari ale semnalului transmis:
 - întârzierile caracteristice comutației digitale sunt mult mai mari decât cele caracteristice comutației analogice;
 - aceste întârzieri fac fenomenul de ecou mai deranjant și necesită reducerea nivelului ecoului;
 - de exemplu: timpii de propagare într-un singur sens printr-o centrală digitală locală și una de tranzit sunt de 1,2ms respectiv 0,45ms;
 - rezultă un timp global de propagare în ambele sensuri de 3,3ms echivalent cu timpul de propagare pe o legătură analogică de 600km.

Ecoul în telefonie



- Instabilitatea sistemelor de transmisie apare dacă sunt îndeplinite condiții legate de câștigul și de defazarea în bucla la 4 fire:
 - oscilații apar de regulă la anumite frecvențe la care se îndeplinesc condițiile necesare întreținerii oscilațiilor:
 - fenomenul se manifestă de regulă printr-un „fluierat”.
 - circuitele tind să oscileze la frecvențe situate în vecinătatea benzii vocale:
 - la aceste frecvențe dezadaptările transformatoarelor hibride sunt mai accentuate.
 - instabilitatea face inutilizabil circuitul afectat și provocă diafonie.
- Performanțe de ecou și de stabilitate a circuitelor telefonice:
 - Toleranța la ecou a transmisiilor pe circuite telefonice trebuie considerată separat pentru ecoul de la transmisie și recepție;
 - Trebuie considerate separat transmisiile de voce și cele de date;
 - în transmisii de date ecoul de la emisie nu are practic nici un efect datorită separației căilor de transmisie și recepție realizate de către modem;
 - în cazul transmisiilor de voce ecoul de la emisie este foarte deranjant, vorbitorul auzind propria sa voce;

Ecoul în telefonie

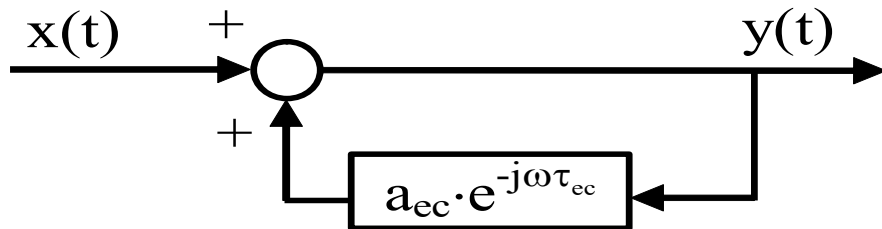


- Factorii care stabilesc toleranța la ecoul de la emisie sunt:
 - numărul de bucle 2-4-2 care contribuie la generarea ecoului;
 - timpul de parcurgere al traseelor amintite;
 - atenuarea totală a traseului ecoului (inclusiv linia de abonat);
 - toleranța la ecou exprimată prin teste de laborator:
 - toleranța la ecou se determină pentru diferite întârzieri și diferite atenuări ale ecoului;
 - reprezintă procentul vorbitorilor care caracterizează o transmisie de voce acceptabilă ca calitate pentru o anumită întârziere și o anumită atenuare introdusă de traseul ecoului;
 - atenuarea traseului ecoului asociată unei anumite toleranțe la ecou se poate caracteriza printr-o valoare medie și o deviație standard.
- Ecoul de la recepție are un efect mai redus în transmisiile de voce;
 - efectele acestui ecou pot fi neglijate dacă atenuarea în buclă deschisă este mai mare de 8 – 10dB și întârzierea ecoului este mai mică de 10ms;
 - în cazul unor întârzieri mici, de 3-4ms, poate apare așa numitul „efect de peșteră”:
 - semnalul vocal este distorsionat asemănător cu ecoul dintr-o încăpere.

Ecoul în telefonie



- În cazul transmisiilor de date efectul ecoului de la recepție asupra performanțelor acestor transmisii este foarte pronunțat;
 - apare o caracteristică de frecvență a canalului oscilantă;
 - atât caracteristica de atenuare cât și cea de timp de grup are o formă oscilantă.
 - caracteristica de frecvență a circuitului afectat de ecoul de la recepție se poate descrie cu ajutorul unui proces de filtrare;
 - filtru care are funcția de transfer dată de relația:
 - a_{ec} - amplificarea căii ecoului;
 - τ_{ec} - întârzierea căii ecoului.



$$H_{\text{filtru-ec}}(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} = \frac{1}{1 - a_{ec} \cdot e^{-j\omega\tau_{ec}}}$$

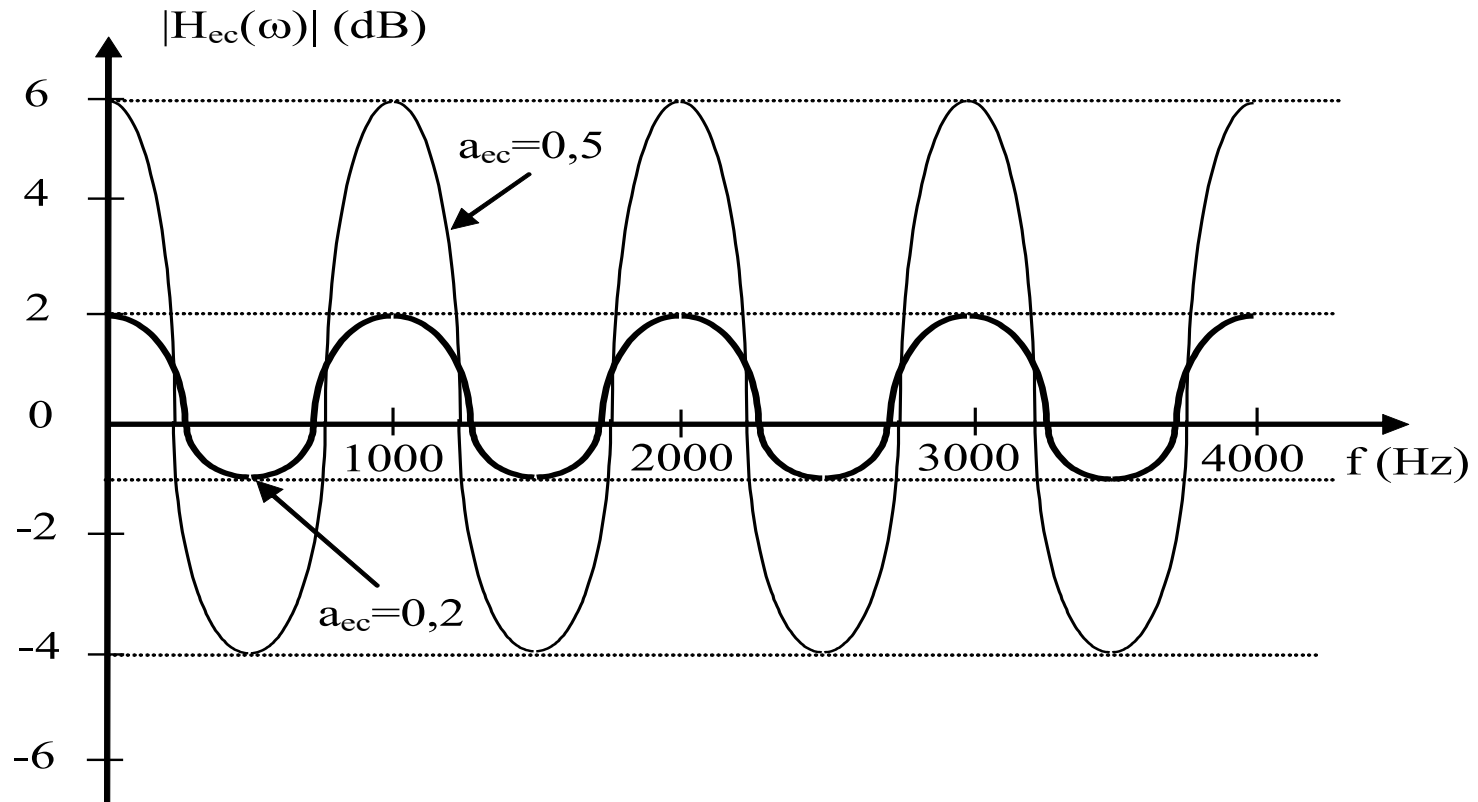
$$X(\omega) = \text{Fourier}(x(t)) \quad ; \quad Y(\omega) = \text{Fourier}(y(t))$$

$$|H_{\text{filtru-ec}}(\omega)|^2 = \frac{1}{1 + a_{ec}^2 - 2 \cdot a_{ec} \cdot \cos(\omega \cdot \tau_{ec})}$$

Ecoul în telefonie



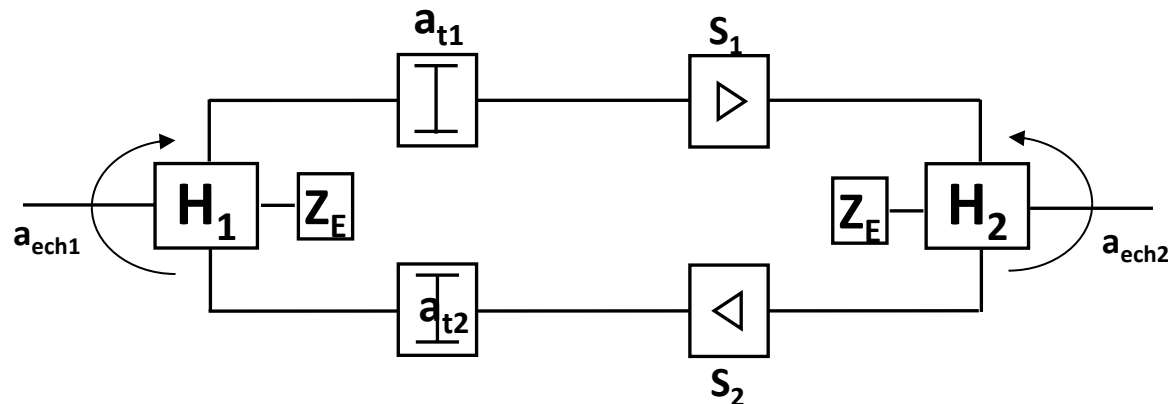
- Ex.: funcția de transfer în frecvență a unui circuit afectat de ecou;
 - întârziere ecou = 1ms;
 - atenuare cale ecou: 5 și respectiv 2:
 - câștig cale ecou a_{ec} : 0.2 și respectiv 0.5.



Ecol în telefonie



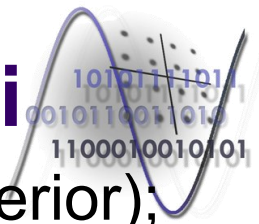
- Performanțe de stabilitate a circuitelor telefonice afectate de ecou:
 - Se referă la două probabilități:
 - probabilitate de intrare în oscilație a circuitelor;
 - probabilitatea de asigurare a un parametru de stabilitate.
 - Stabilitatea unui circuit telefonic la 4 fire se definește ca și amplificarea maximă, S , care poate fi inserată pe fiecare sens de transmisie fără a se pierde stabilitatea (fără a se genera oscilații);



- atenuatoare: a_{t1} și a_{t2} ;
- amplificatoare: S_1 și S_2 .
- atenuarea în buclă deschisă: a_{b-d} ;

$$S_1 + S_2 \leq a_{b-d} \rightarrow \text{daca } S_1 = S_2 = S \Rightarrow S \leq \frac{a_{b-d}}{2}$$

Metode de control a ecoului

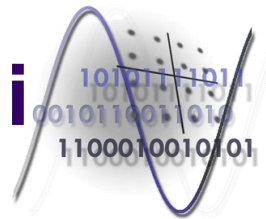


- Controlul ecoului cu atenuare (vezi fig. de pe slide anterior);

$$a_{b-d} = a_{t1} + a_{t2} + a_{ech1} + a_{ech2}; S_1 = S_2 = 0$$

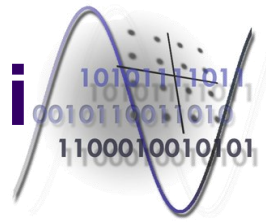
- Marginea de siguranță la oscilații (fluierare) depinde direct de atenuarea în buclă deschisă:
- Creșterea cu 1dB a atenuărilor a_{t1} și a_{t2} înseamnă:
 - o creștere cu 2dB a marginii de siguranță la oscilații;
 - ecoul vorbitorului este atenuat suplimentar cu 2dB, iar ecoul ascultătorului este atenuat cu 3dB;
- Dacă nivelul semnalului recepționat trebuie menținut constant, creșterea cu 1dB a atenuărilor a_{t1} și a_{t2} induce:
 - o atenuare de 1dB a ecoului vorbitorului și de 2dB a ecoului ascultătorului;
- O soluție mai bună este inserarea controlată a atenuărilor:
 - efectul ecoului crește dacă crește întârzierea totală pe conexiune:
 - atenuările sunt inserate pe măsură ce crește lungimea căii;
 - controlul ecoului prin atenuare nu este o soluție adecvată pentru întârzieri mari.

Metode de control a ecoului

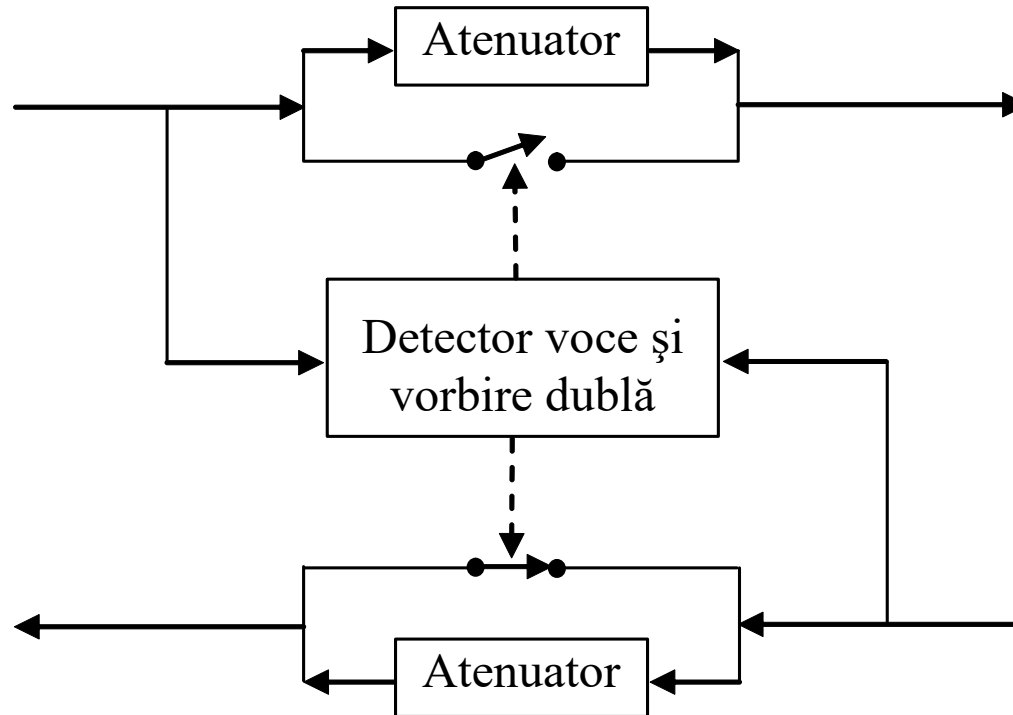


- Supresorul de ecou;
 - Acest echipament inserează într-o conexiune o atenuare mare (chiar întrerupere) într-un sens de transmisie sau altul;
 - scopul este inserarea unei atenuări mari în direcția opusă căii de transmisie;
 - se presupune că la un moment dat semnalul de voce este transmis doar într-o singură direcție;
 - rezultatul este o atenuare mare a semnalului de ecou;
 - se introduc inevitabil limitări de amplitudine în perioada când ambele persoane vorbesc;
 - se poate forța un mod de lucru semi-duplex pe linia telefonică.
 - în cazul transmisiilor de date supresorul de ecou este dezactivat cu ajutorul unui semnal transmis de modem (2100Hz);
 - se asigură în acest fel o transmisie duplex-integral.
 - O problemă dificilă este alegerea unei strategii corecte pentru perioadele cu vorbire dublă;
 - când întârzierea de propagare este mare este dificil de detectat și gestionat într-un mod corespunzător vorbirea dublă;

Metode de control a ecoului

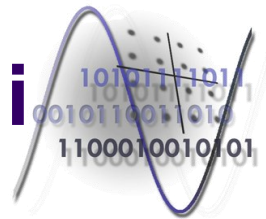


- Principiul de funcționare al supresorului de ecou:

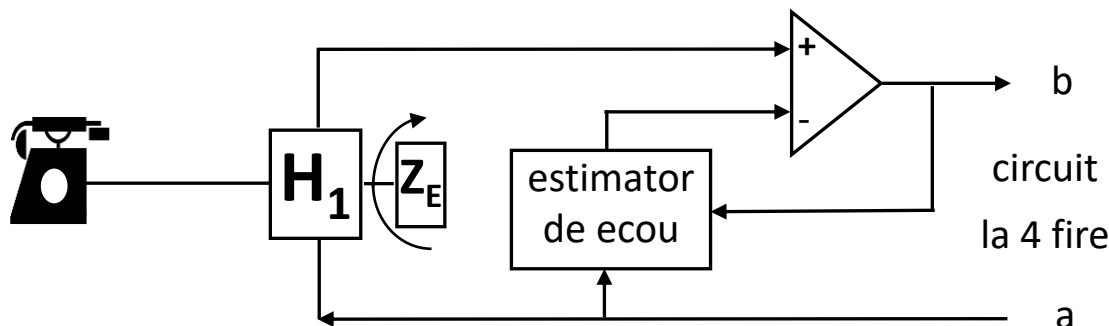


- Nu este posibilă cascadarea a două supresoare de ecou;
 - se poate ajunge la blocarea circuitului în perioadele de vorbire dublă.

Metode de control a ecoului

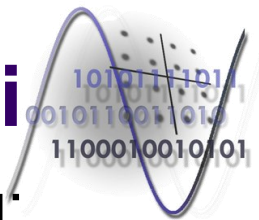


- Compensatorul de ecou (anulatorul de ecou);
 - Principiul de funcționare al compensatorului de ecou:

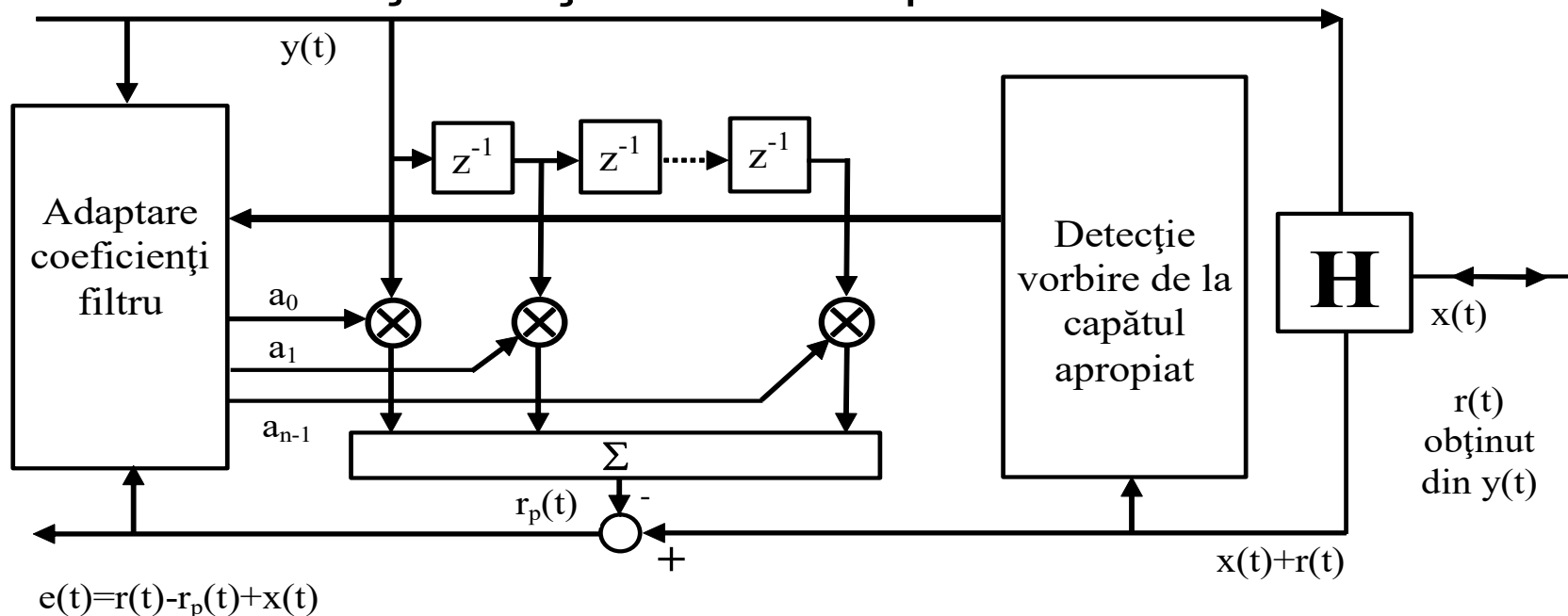


- funcționarea circuitului se bazează pe estimarea caracteristicilor căii ecoului, dintre punctul de intrare (a), prin sistemul diferențial și până în punctul de ieșire (b);
 - această funcție este implementată de așa numitul estimator de ecou;
 - estimatorul generează un semnal identic cu cel generat pe calea ecoului;
 - semnalul estimat este scăzut din semnalul transmis afectat de ecou.

Metode de control a ecoului

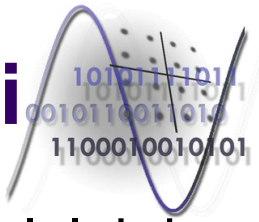


- Schema bloc și funcționarea compensatorului de ecou:

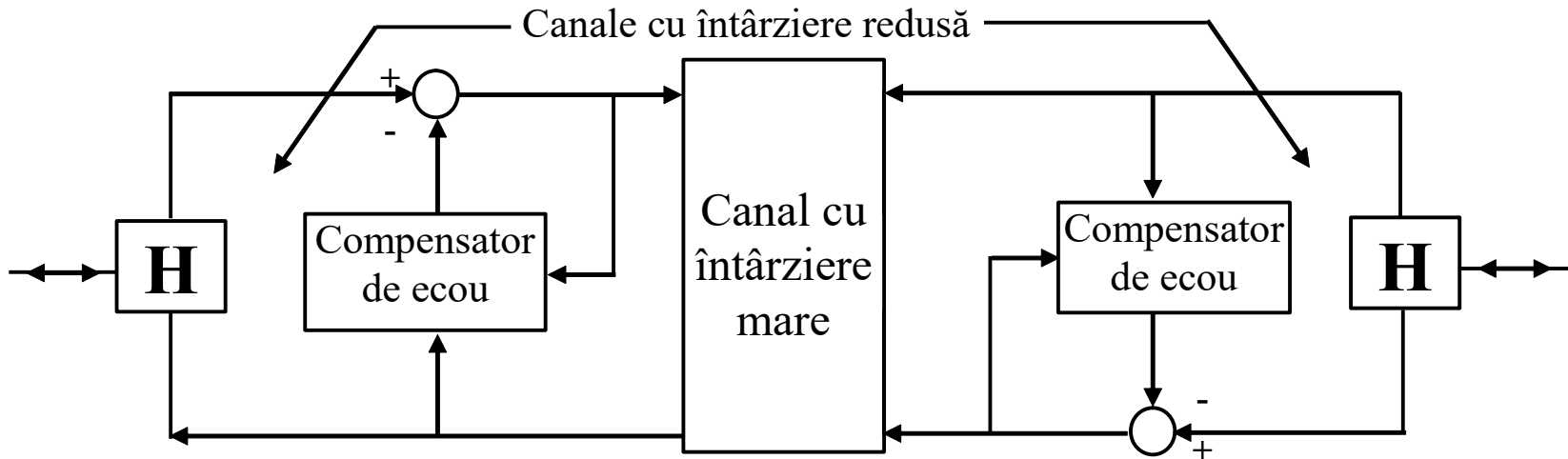


- semnalul de la vorbitorul distant: $y(t)$;
 - este semnalul de referință pentru compensatorul de ecou;
 - este utilizat pentru a genera o replică a ecoului: $r_p(t)$;
 - această replică este scăzută din semnalul vorbitorului apropiat afectat de ecou.
- semnalul de la vorbitorul apropiat: $x(t)$;
- ecoul: $r(t)$;

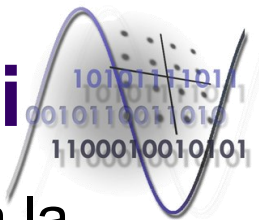
Metode de control a ecoului



- Replica ecoului, $r_p(t)$, este generată prin aplicarea semnalului de referință unui filtru digital transversal:
 - coeficienții filtrului sunt adaptați la funcția de transfer a ecoului;
 - coeficienții compensatorului sunt modificați astfel încât să se reducă eroarea $e(t)=r(t)-r_p(t)$:
 - adaptarea coeficienților este posibilă doar dacă $x(t)=0 \Rightarrow$ este necesară detecția vorbirii de la capătul apropiat.
- Compensarea ecoului în ambele sensuri;

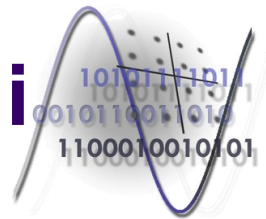


Metode de control a ecoului

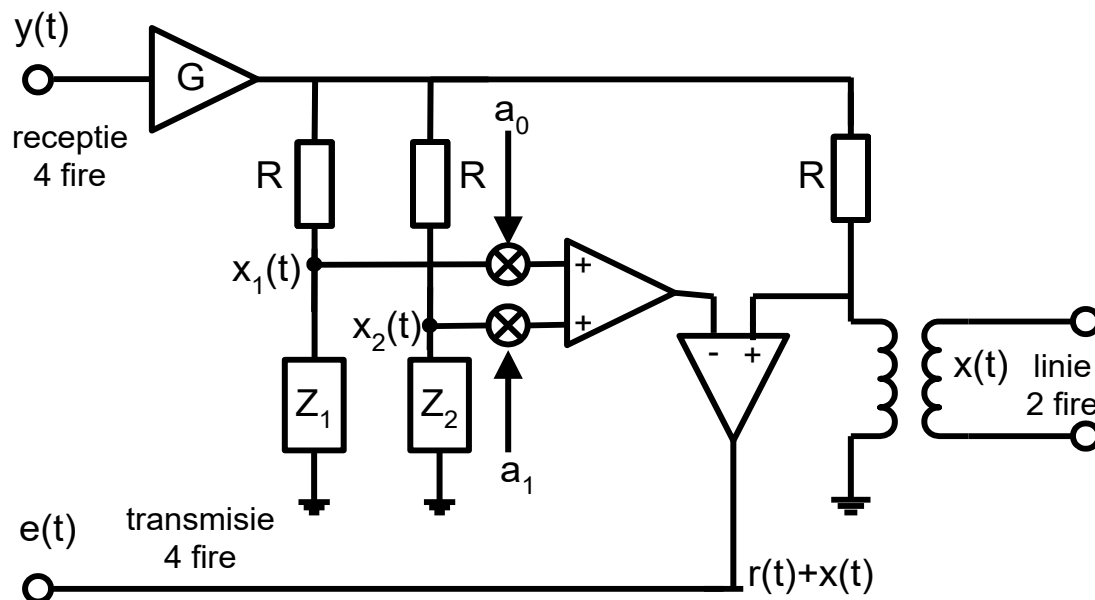


- Compensarea ecoului pentru fiecare vorbitor este făcută la celălalt capăt al conexiunii;
 - este de dorit o configurație formată din două blocuri pentru a se asigura aceeași întârziere a ecoului în ambele sensuri
 - numărul coeficienților compensatorului de ecou depinde de întârzierea ecoului;
 - în configurația prezentată întârzierea dintre semnalul de referință și ecou este minimă.
- Compensatoarele de ecou sunt conectate la intrările canalelor la distanță mare;
 - de ex. canale utilizate în legături internaționale;
 - într-o rețea digitală compensatorul de ecou se conectează la intrarea canalelor multiplexului PCM utilizat în conexiuni interurbane/internaționale;

Metode de control a ecoului



- Compensator de ecou în timp continuu (analogic):



- este o schemă de hibrid electronic care include două divizoare de tensiune comandate de semnalul de eroare;
- este o structură simplă și economică cu doar două grade de libertate;
 - în transmisii de voce poate asigura o compensare corespunzătoare a ecoului;
- se poate utiliza în centrale de tranzit digitale care conectează centrale locale analogice sau PBXuri.