

**Lucrare de laborator la
COMPATIBILITATE ELECTROMAGNETICA**

Avansati

**Lucrarea 3
Materiale folosite pentru ecranare. Calculul eficienței
ecranării prin simulare în SPICE**

Cuprins:

- 1. Suport teoretic. Model SPICE pentru simularea ecranului**
- 2. Modelul dublei ecranări**
- 3. Efectul ecranării asupra transmisiei Ethernet**
- 4. Comparatie cu rezultatele obținute cu programe consacrate. Concluzii.**

Materiale folosite pentru ecranare. Calculul eficienței ecranării prin simulare în SPICE.

1. Suport teoretic. Model SPICE pentru simularea ecranului

Izomorfismul lui Shelkunoff face o paralelă între propagarea câmpului electromagnetic și propagarea în liniile de transmisie. Punctul de pornire pentru realizarea acestui model a fost izomorfismul lui Shelkunoff. Modelul se bazează pe paralela între propagarea unui semnal electric (tensiune, curent) printr-o linie de transmisie și propagarea câmpului electromagnetic în diferite medii. Paralela este arătată în figura 1:

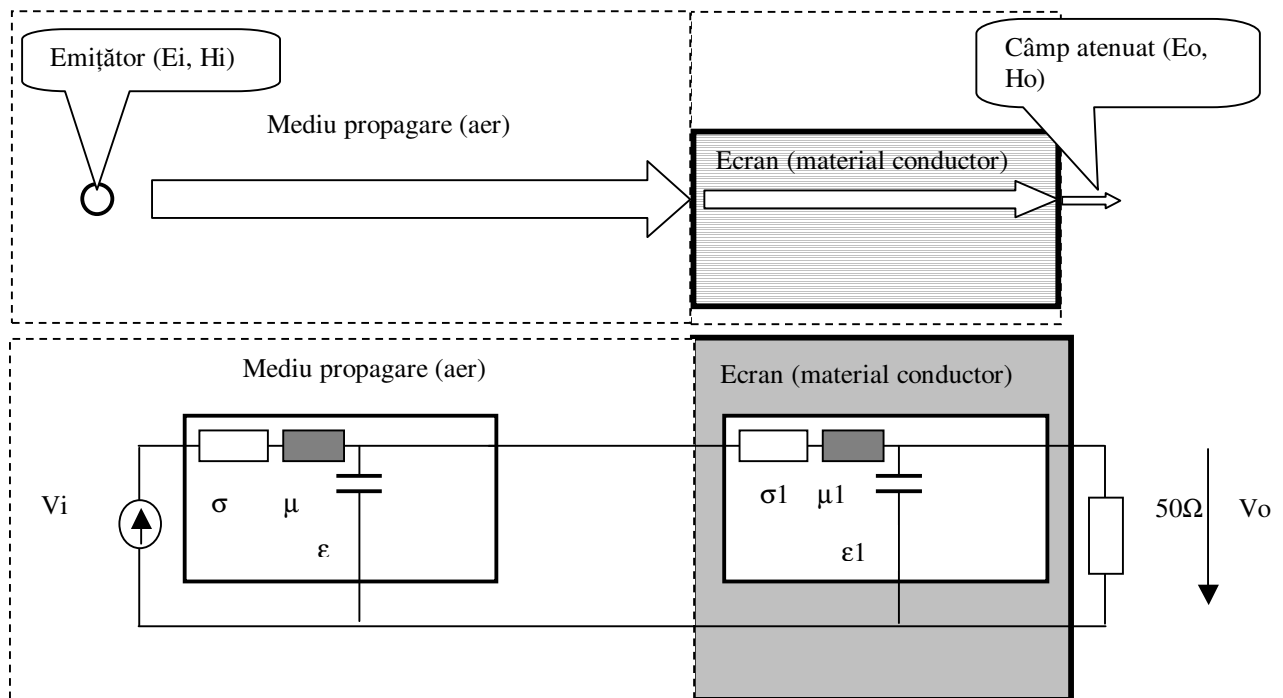


Figura 1: explicativă privind modelarea ecranării cu linii de transmisie

Unda electromagnetică incidentă este atenuată la trecerea prin materialul ecranului prin reflexie, absorbție și re-reflexie. La fel, tensiunea de intrare este micșorată prin reflexiile pe linie și absorbția în elementele disipative. Elementele de circuit C și L pentru liniile de transmisie se stabilesc conform izomorfismului lui Shelkunoff prin corespondența C corespunde lui ϵ și L corespunde lui μ , permitivitatea respectiv permeabilitatea mediului de transmisie. Elementul de circuit R se stabilește prin analogia firească între propagarea energiei electrice prin conductoare și propagarea undei electromagnetice printr-un mediu conductor care atenuază unda. Comportarea liniei de transmisie în cazul modelării unui ecran este opusă comportării la aplicarea unei tensiuni, deci lui R îi corespunde σ (conductivitatea mediului). și G se neglijează.

Pentru a vedea cum se comportă un material folosit pentru ecranare se poate simula comportarea lui folosind un model al liniei de transmisie. Un astfel de model există în SPICE. Schema electrică simulată este dată în figura 2:

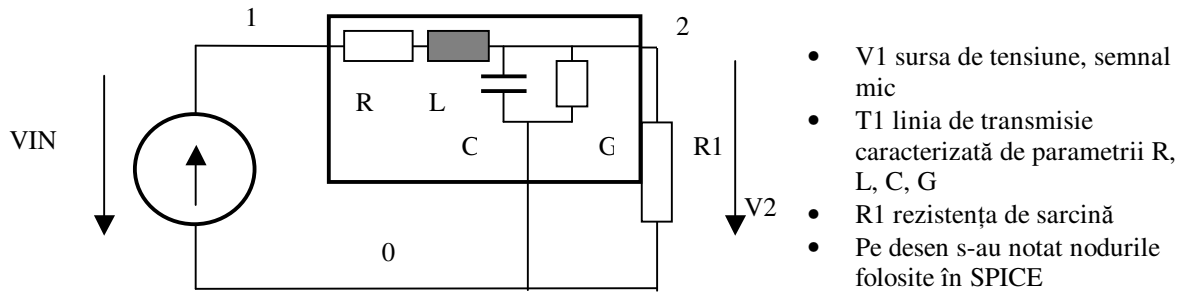


Figura 2: Modelul de linie de transmisie folosit pentru modelarea unui material de ecranare

Prima simulare a fost realizată pentru un ecran din cupru, caracteristicile materialului fiind:

Conductivitatea $\sigma = 5,8 \cdot 10^7 \Omega^{-1} m^{-1}$

Permeabilitatea $\mu = 1,257 \cdot 10^{-6} H / m$

Permitivitatea $\epsilon = \frac{1}{36 \cdot \pi \cdot 10^9} F / m$

Fișierul SPICE pentru simulare care conține 4 variante de ecrane cu grosimile de $1\mu m$, $10\mu m$, $100\mu m$ și $1000\mu m$.

```
*ecran-Cu
VIN 1 0 AC 1 0
TCU 1 0 2 0 r=5.8e+7 l=1.257e-6 c=8.84e-12 g=0.17e-7 len=1000u
R1 2 0 50ohm
VIN1 4 0 AC 1 0
TCU1 4 0 5 0 r=5.8e+7 l=1.257e-6 c=8.84e-12 g=0 len=100u
R2 5 0 50ohm
VIN2 7 0 AC 1 0
TCU2 7 0 8 0 r=5.8e+7 l=1.257e-6 c=8.84e-12 g=0 len=10u
R3 8 0 50ohm
VIN3 10 0 AC 1 0
TCU3 10 0 11 0 r=5.8e+7 l=1.257e-6 c=8.84e-12 g=0 len=1u
R4 11 0 50ohm
.PROBE
.AC DEC 100 1Hz 1000GHz
.END
```

Eficiența ecranării este:

$$S_E = 20 \cdot \log \frac{V_{IN}}{V_2} \quad (\text{tensiunea în absența ecranului/ tensiunea după ecran})$$

Cele 4 grafice de variație a eficacității ecranării în funcție de frecvență în gama 1Hz-1000Ghz sunt date în figura 3:

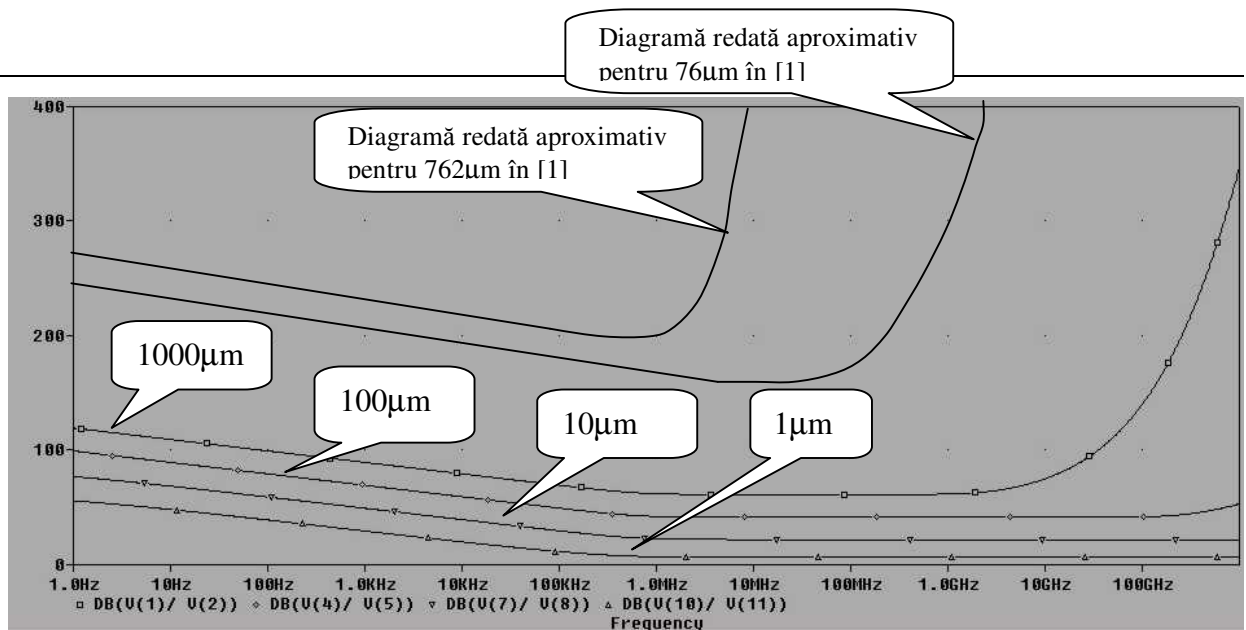


Figura 3: eficiența ecranării pentru un ecran de cupru, eficiența cea mai mare corespunde ecranului cel mai gros

Se remarcă o bună asemănare a formei graficelor date de simulare cu cele ridicate experimental. Totuși se remarcă o eficiență a ecranării prin simulare mai mică decât cea măsurată, precum și frecvențe mai mari de la care crește eficiența decât la graficele ridicate prin măsurare.

Condițiile de măsurare implică o anumită distanță de la sursa de radiație electromagnetică la ecran. Dacă se extinde izomorfismul lui Shelkunoff de la ecrane la mediile conductoare de unde electromagnetice se poate imagina un model de linie de transmisie pentru aer, parametrii echivalenți fiind cei din tabelul 1. Singura modificare este conductivitatea electrică a aerului care este foarte mică-120µS/cm.

Se poate analiza procesul de ecranare și în domeniul timp prin simularea ecranului de cupru printr-o linie de transmisie. La intrarea liniei se aplică un semnal dreptunghiular asemănător cu semnalul de rețea Ethernet de 100Mbps cu amplitudinea de 1V și se determină amplitudinea semnalului de ieșire. Programul SPICE nu admite în această simulare un raport $R/L > 10^{10}$ așa încât s-a redus valoarea L, ceea ce nu afectează eficacitatea ecranării ci numai forma semnalului. Programul SPICE este:

```
*ecran-Cu
V1 1 0 AC 1 PULSE 0 1V 0 0 0 2n 10n
TCU 1 0 2 0 r=5.8e+7 l=1.257e-2 c=8.84e-12 g=0 len=100u
R1 2 0 50ohm
V2 3 0 AC 1 PULSE 0 1V 0 0 0 2n 10n
TCU1 3 0 4 0 r=5.8e+7 l=1.257e-2 c=8.84e-12 g=0 len=500u
R2 4 0 50ohm
V3 5 0 AC 1 PULSE 0 1V 0 0 0 2n 10n
TCU2 5 0 6 0 r=5.8e+7 l=1.257e-2 c=8.84e-12 g=0 len=1000u
R3 6 0 50ohm
.PROBE
.tran 0.5n 10n 0 0
.END
```

Rezultatele sunt date în figura 4 pentru 3 grosimi ale ecranului, tensiunea de intrare fiind 1V:

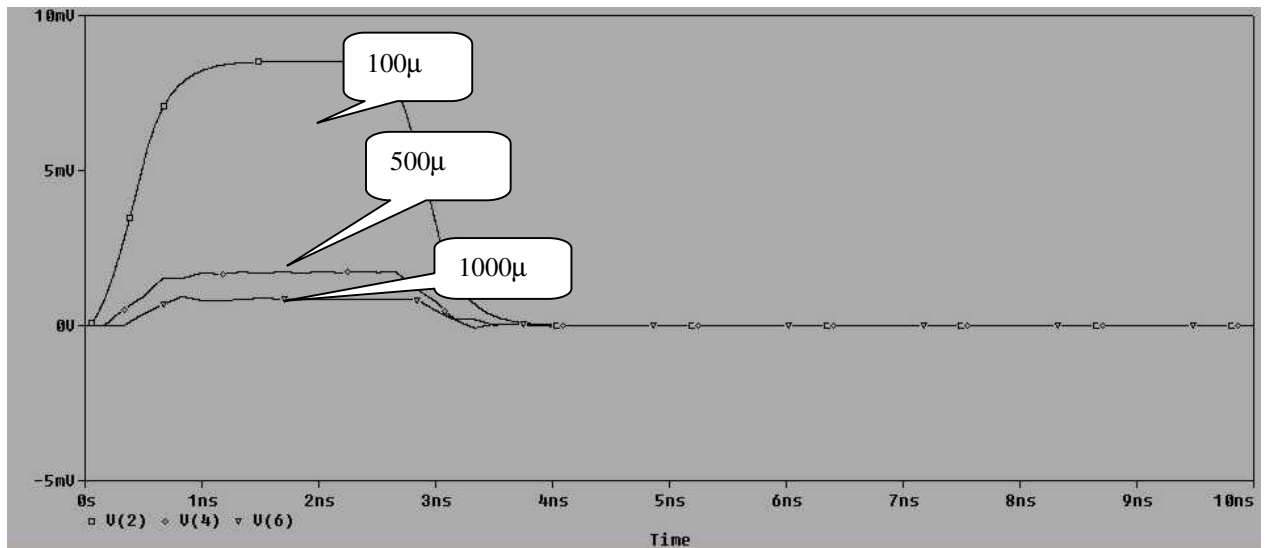


Figura 4: semnal de ieșire provenind dintr-un semnal ecranat cu ecran de Cu

2. Modelul dublei ecranări

Dubla ecranare poate fi simulată prin introducerea a 2 ecrane de cupru situate la o oarecare distanță unul de celălalt, sursa de radiație fiind situată și ea la distanță. Modelul este dat în figura 5:

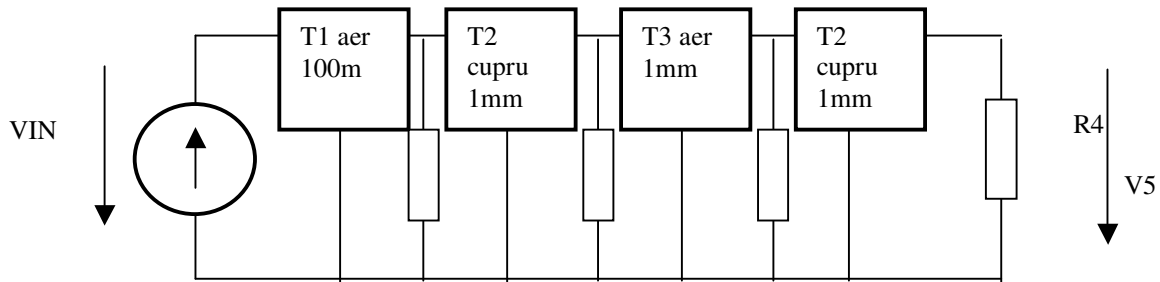


Figura 5: modelul dublei ecranări

Programul SPICE este:

```
*aer+2xecran-Cu
VIN 1 0 AC 1 0
TAER 1 0 3 0 r=0.012 l=1.257e-6 c=8.84e-12 g=0 len=100
R1 3 0 50ohm
TCU 3 0 2 0 r=5.8e+7 l=1.257e-6 c=8.84e-12 g=0 len=1m
R2 2 0 50ohm
TAER1 2 0 6 0 r=0.012 l=1.257e-6 c=8.84e-12 g=0 len=1m
R3 6 0 50ohm
TCU1 6 0 5 0 r=5.8e+7 l=1.257e-6 c=8.84e-12 g=0 len=1m
R4 5 0 50ohm
.PROBE
.AC DEC 100 1Hz 1000GHz
.END
```

Conform așteptărilor graficul eficienței ecranării arată o eficiență dublă în cazul folosirii dublei ecranări, figura 6:

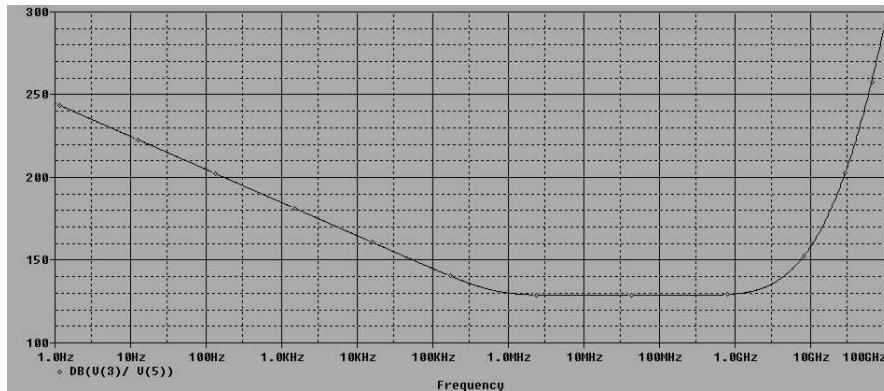


Figura 6: eficiența unui ecran dublu de cupru cu grosimea de 2x1mm

3.Efectul ecranării asupra transmisiei Ethernet

Cablul UTP categoria 5 are caracteristici standardizate de standardul EIA/TIA 568A și standardul ASTM D 4566. Astfel valorile maxime ale capacității sunt 5,6nF/100m (200pF/100m), inductivitatea de ordinul μ H iar rezistența este cea a cuprului. Impedanța caracteristică a cablului este $100\Omega \pm 15\%$, iar rezistența de sarcină se pune de aceeași valoare pentru a se realiza o transmisie adaptată. Un cablu de rețea UTP arată ca în figura 7:

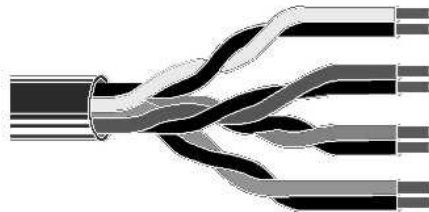


Figura 7: Cablu cu 4 perechi torsadate UTP

Un model al unei linii de transmisie Ethernet este dată în figura 8:

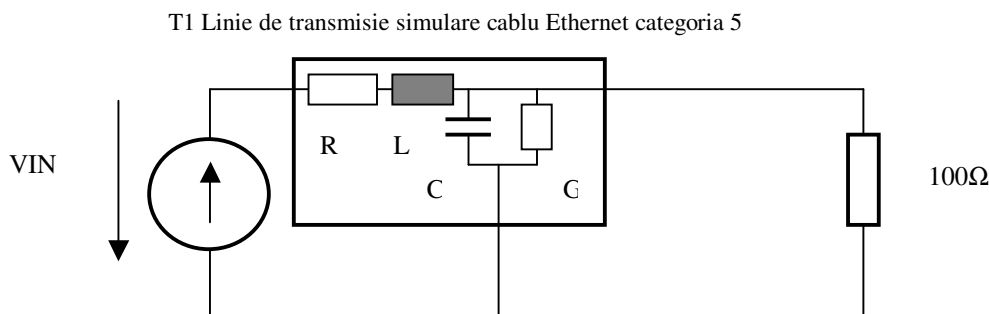


Figura 8: Modelul unei transmisii Ethernet prin cablu UTP cat. 5

Programul SPICE este:

```
*UTP cat 5-atenuare
VIN 1 0 AC 1 0
T1 1 0 2 0 r=1e-7 l=1e-6 c=2e-12 g=1e-9 len=100
R1 2 0 100ohm
.PROBE
.AC DEC 100 1Hz 1000GHz
.END
```

Graficul atenuării semnalului în raport cu frecvența este dat în figura 9:

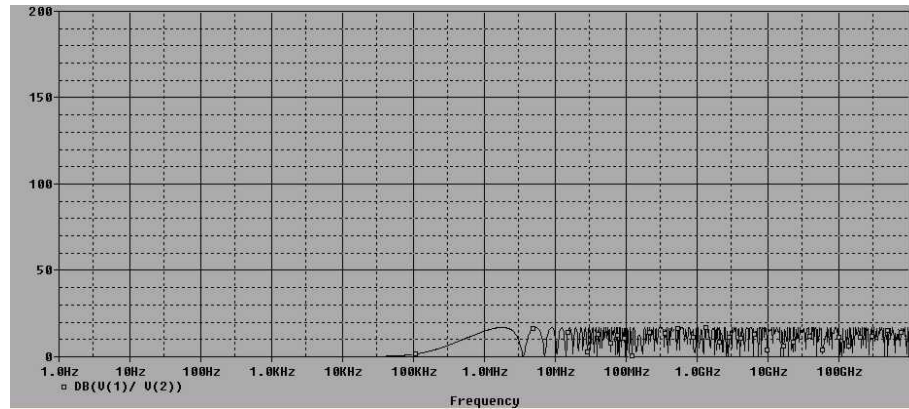


Figura 9 : Atenuarea introdusă de 100m cablu UTP categoria 5

Conform standardului EIA/TIA 568A atenuarea în toată gama de frecvențe este de sub 22dB/100m ceea ce confirmă corectitudinea modelului.

Dacă se realizează o simulare în domeniul timp cu un semnal de intrare cu frecvența de 100MHz cu aceeași lungime a tronsonului de cablu de 100m, se obține reprezentarea în timp din figura 10.

Se poate remarca întârzierea semnalului pe linia de transmisie de sub 20ns/100m, ceea ce se încadrează în limita maximă de 5,7ns/m solicitată de standardul EIA/TIA 568A, încă o confirmare a corectitudinii modelului ales.

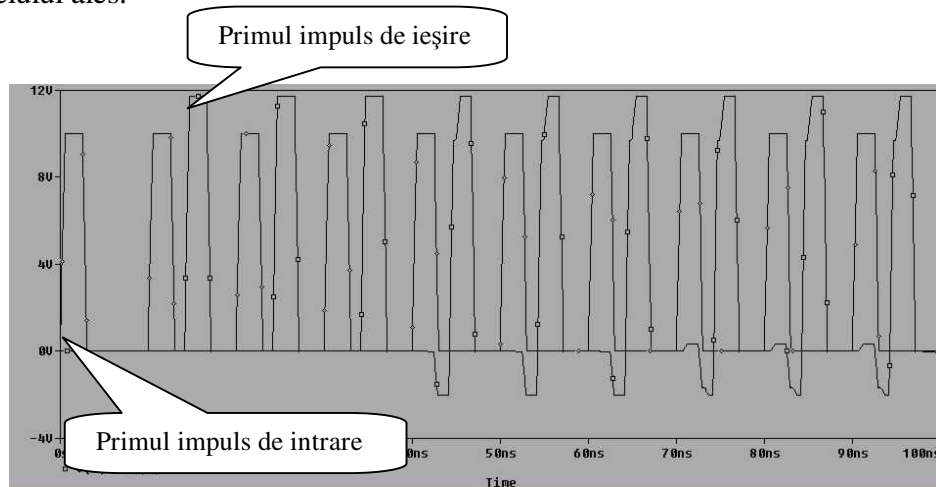


Figura 10: reprezentarea în timp a unei transmisii Ethernet

Pentru a verifica eficiența unui ecran în cazul unei transmisii Ethernet se poate realiza un model al transmisiei Ethernet perturbate care este dat în figura 11:

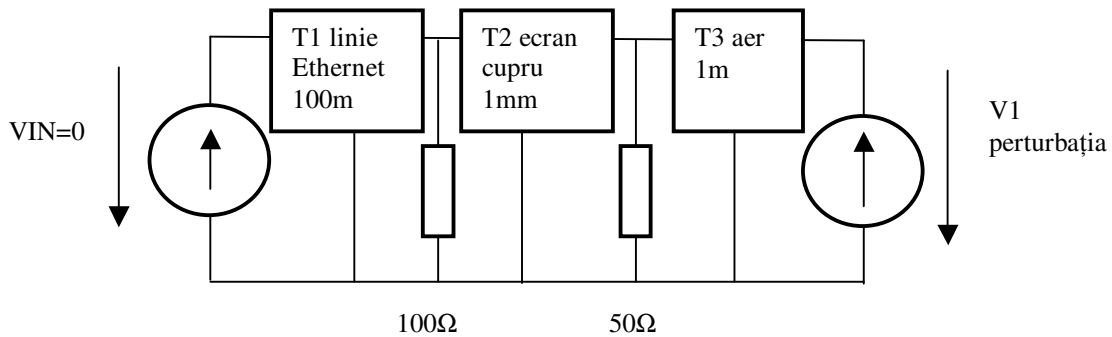


Figura 11: modelul unei transmisii Ethernet perturbate și ecranate

Modelul simulează următoarea situație reală (din figura 12) iar rezultatele sunt date în figura 13:

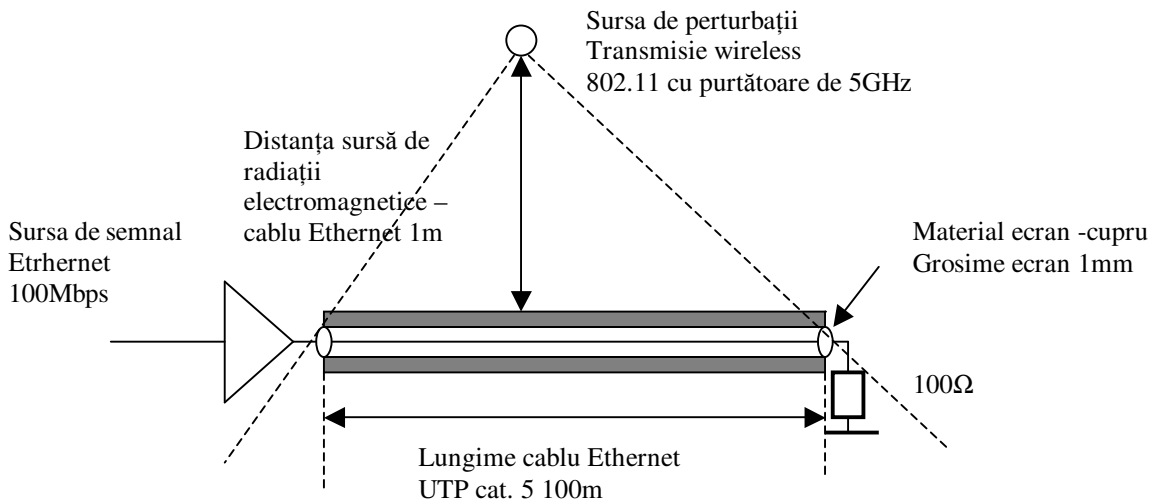


Figura 12: situația reală simulată

Programul SPICE este:

```
*UTP cat 5-atenuare
VIN 1 0 AC 0 0
Teth 1 0 2 0 r=1e-7 l=1e-6 c=2e-12 g=1e-9 len=100
R1 2 0 100ohm
V1 3 0 AC 1 0
TAER 3 0 4 0 r=3e-15 l=1.257e-6 c=8.84e-12 g=0 len=1
R2 4 0 50ohm
TCU 4 0 2 0 r=5.8e+7 l=1.257e-6 c=8.84e-12 g=0 len=1m
.PROBE
.AC DEC 100 1Hz 1000GHz
.END
```

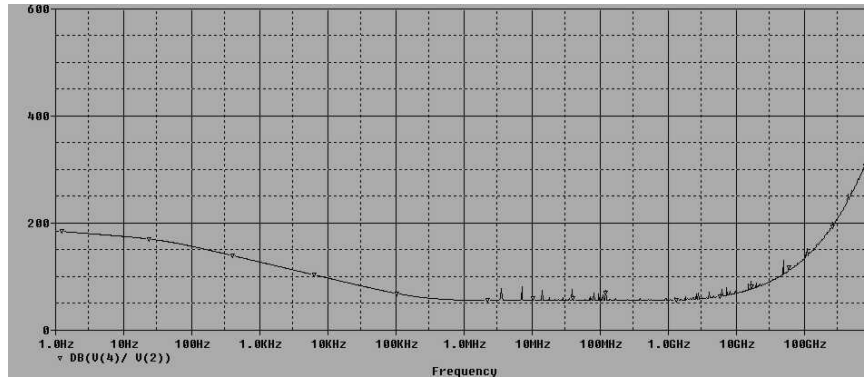



Figura 13: atenuarea introdusă de un ecran de cupru de 1mm

Această atenuare este suficientă conform standardului EIA/TIA 568A care solicită o atenuare la perturbații (ACR Attenuation to Cross Talk Radio) de minimum 50dB în toată gama de frecvențe. Pentru analiza în timp programul SPICE este:

```
*UTP cat 5-timp
V1 1 0 AC 1 PULSE 0 10V 0 0 0 2n 10n
T1 1 0 2 0 r=1e-6 l=1e-8 c=2e-12 g=0 len=100
R1 2 0 100ohm
V2 3 0 SIN 0 1000 5e+9 0 0
TAER 3 0 4 0 r=3e-15 l=1.257e-6 c=8.84e-12 g=0 len=1
R2 4 0 50ohm
TCU 4 0 5 0 r=5.8e+7 l=1.257e-4 c=8.84e-12 g=0 len=100u
R3 5 0 50ohm
D1 5 2 D1
.MODEL D1 D(Is=1e-6)
.PROBE
.tran 1n 30n 0 0
.END
```

Suplimentar față de analiza în frecvență s-a introdus o diodă fără tensiune de prag care face ca influența perturbației să fie de la radiație spre linia UTP. S-a redus și grosimea ecranului la 100 μ m. Sursa de perturbație are amplitudinea de 1000V.

Diagrama de timp este dată în figura 14:

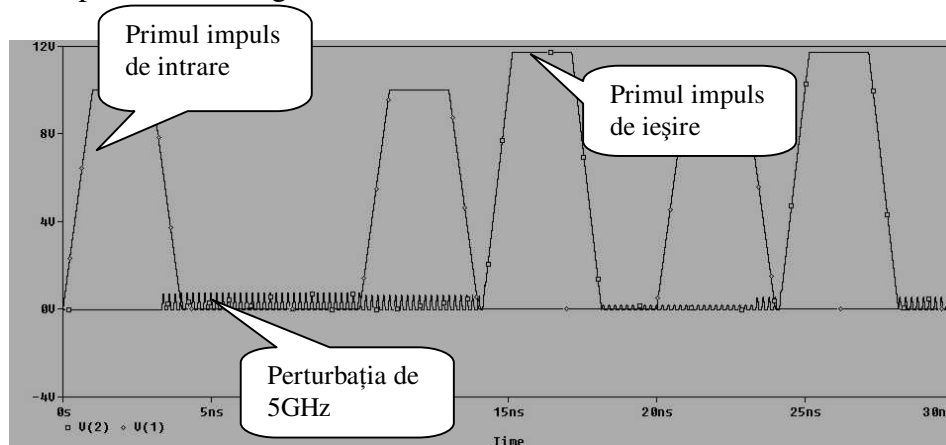


Figura 14: perturbația de 5GHz în semnalul Ethernet 100MHz

Se observă atenuarea puternică introdusă de ecran și perturbația nu afectează semnalul util.

4.Comparație cu rezultatele obținute cu programe consacrate. Concluzii.

Ca și termen de comparație se folosește un program realizat de EDSA [3], exemplul fiind calcularea eficacității ecranării pentru un ecran de fier cu grosimea de 1,7mm. Pentru fier $\sigma_R=0,17$ și $\mu_R=1000$. Modelul cu linii de transmisie corectat dă următoarea valoare, figura 15:

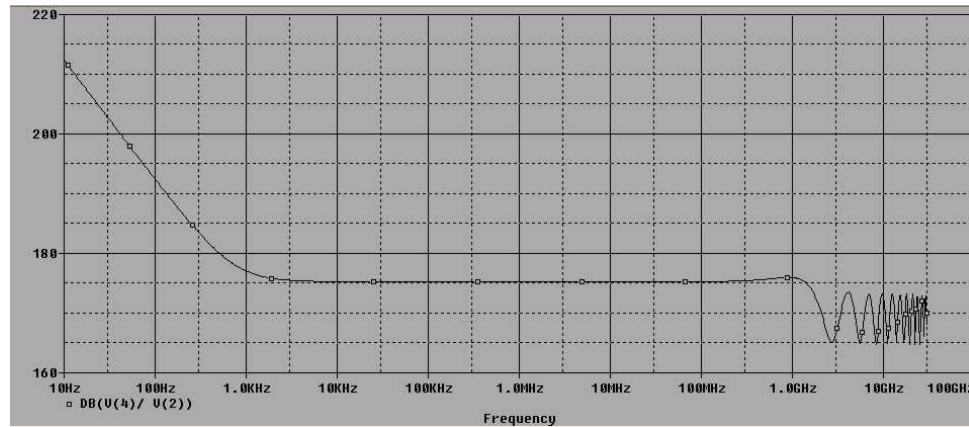


Figura 15: eficiența ecranării pentru un ecran de fier cu grosimea de 1,7mm cu modelul corectat

La frecvența de 60Hz atenuarea introdusă este de 198dB. Programul EDSA cu aceleași date afișează rezultatele din figura 16 :

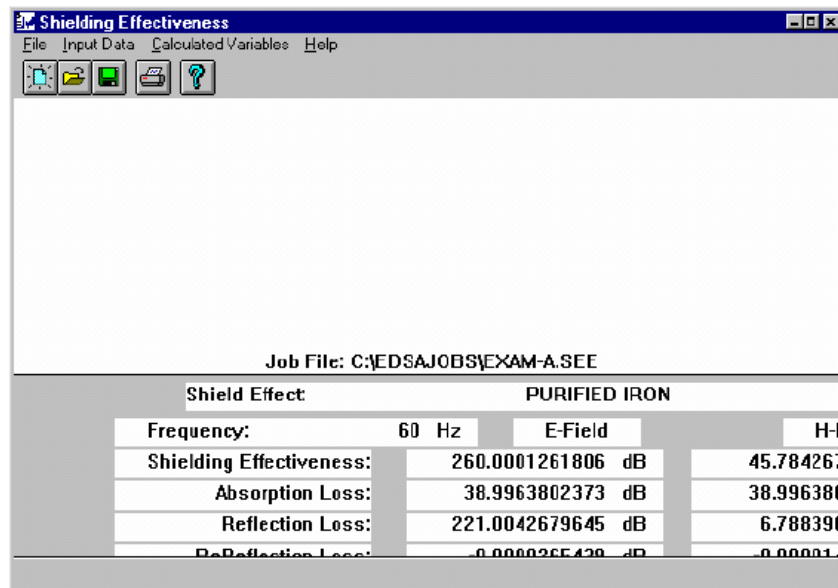


Figura 16: rezultate obținute cu programul EDSA

Se observă că rezultă o eficiență a ecranării de 260dB, mai mare decât cea din modelul cu linii de transmisie.

Concluzii

Modelul propus bazat pe izomorfismul lui Shelkunoff se poate folosi în acest stadiu doar la evaluarea eficienței ecranării. Pentru a se obține rezultate utilizabile în practică trebuie ca modelul să fie îmbunătățit. O cauză posibilă a preciziei mici ar putea fi modelul liniei de transmisie din SPICE care nu poate opera cu valori mari ale R/L.

Bibliografie

- [1] White, D.R.J.: *Electromagnetic Shielding Materials and Properties*. Don White Consultants, Inc., 1980.
- [2] www.emc.york.ac.uk/reports/linkpcp/appG.pdf *Coupling of EMI to cables: Theory and models*, University of York, 2003
- [3] www.edsa.com/infoCenter/pdfs/Shielding.pdf *Shielding effectiveness program electrical and magnetic field and plane wave calculation with longhand calculation*, EDSA Micro Corporation, USA, 1999