

Lucrarea 4.

SIMULAREA ÎN SPICE A LINIILOR DE TRANSMISIE.

4.1. Modelul echivalent al circuitului electric.

O linie de transmisie este un grup de conductoare folosite pentru transmiterea informațiilor sub formă de semnale electrice [1].

În general fiecare conexiune, sau circuit electric; poate fi considerat ca o linie de transmisie, cu condiția să fie cu geometrie uniformă și structură omogenă a materialelor componente. Aceasta înseamnă că forma, mărimea și suprafața conductoarelor sunt constante, iar caracteristicile electrice ale conductoarelor și cele dielectrice ale materialelor dintre ele, sunt uniforme.

Exemple de linii de transmisie uniforme sunt cablurile coaxiale și perechile de conductoare răsucite.

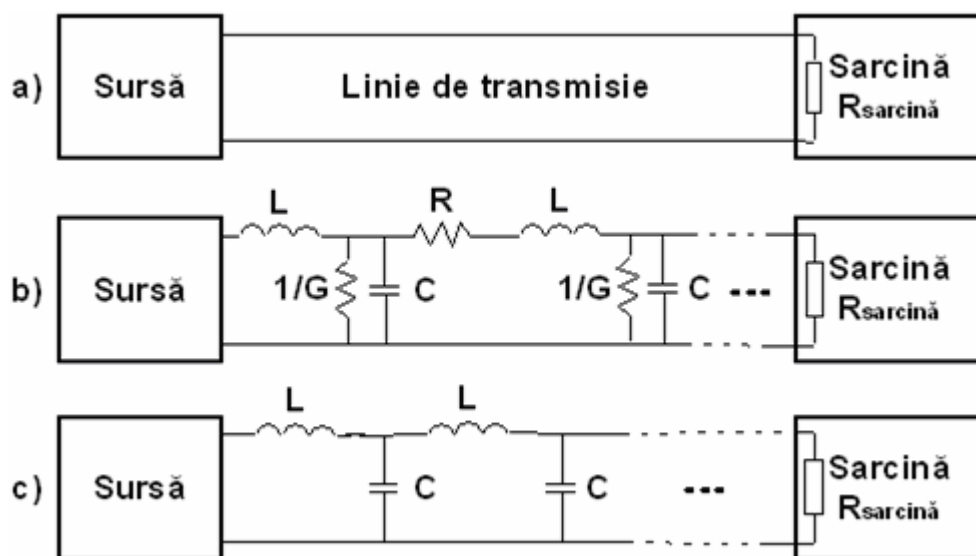


Fig. 4. 1. Modelele simplificate ale unei linii de transmisie.

Impedanța caracteristică a unei linii de transmisie.

În figura 4.1 se prezintă câteva dintre modelele simplificate ale liniilor de transmisie, asociate unei perechi de conductoare răsucite, astfel:

- a) modelul ideal;
- b) modelul de circuit cu parametri R , L , C distribuiți;
- c) modelul simplificat, cu parametri distribuiți și pierderi neglijabile.

Componenta activă este reprezentată printr-o rezistență R , așezată în serie cu circuitul și una egală cu $1/G$ în paralel, distribuite uniform de-a lungul circuitului.

Componenta reactivă este reprezentată de inductivitatea L și capacitatea C care apare între fiecare pereche de fire reale. Datorită polarizării electrice, în dielectricul cu care sunt înconjurat firele, apar fenomene de conducție și pierderi, care se materializează prin conductanța de valoare mică (rezistență mare), G .

Acești parametri se presupun a fi uniform distribuiți, în fiecare segment elementar din lungimea conductoarelor și de aceea se numesc **parametrii distribuiți**, sau **parametrii lineici**. Se exprimă în unități naturale, specifice mărimilor respective, raportate la unitatea de lungime (metrul) Ω/m , H/m , F/m și S/m . Deoarece valorile parametrilor lineici sunt foarte mici, unitățile de măsură se folosesc cu prefixe de submultipli, $m\Omega/m$, $\mu H/m$, pF/m și $\mu S/m$.

Linia de transmisie se poate modela folosind un model simplu de circuit care conține un număr finit de elemente **R, L, C** și **G**, așa cum se poate vedea în **figura.4.1 b**.

În cazul liniilor cu pierderi, impedanță caracteristică se poate calcula cu relația de mai jos:

$$z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

iar în cazul circuitelor folosite la transmiterea informației, unde componentele **R** și **1/G** se pot neglija, relația de calcul a impedanței caracteristice este:

$$z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Modelul de linie folosit în această lucrare este cel prezentat în **figura 4.1 c**.

Pentru un cablu UTP Categoria 5, folosit pentru realizarea circuitelor în rețelele bazate pe interfețele Ethernet, RS 485, CC-Link, CAN etc., parametrii lineici sunt cei prezentați în tabelul de mai jos:

Caracteristici electrice ale cablului UTP cat. 5e

Proprietăți	Valoare nominală	Toleranța	UM
Impedanța caracteristică la 100 MHz		100 ± 15	Ω
Rezistivitatea în curent continuu	≤ 0.188		Ω/m
Viteza de propagare = Coeficient de scurtare x c	0.64		c
Întârzierea	4.80-5.30		ns/m
Deriva întârzierii pentru f < 100 MHz	< 0.20		ns/m
Capacitatea lineică la 800 Hz	52		pF/m
Inductivitatea lineică	525		nH/m
Frecvența de tăiere	≤ 57		kHz
Forța de tragere, la instalare, maximă admisă	100		N
Diametrul/aria secțiunii firelor (AWG-24)	0.51054 mm / 0.205 mm ²		
Grosimea Izolației	0.245		mm
Curentul maxim admis prin fiecare conductor	0.577		A
Temperatura de lucru	Între -55 și +60		°C
Tensiunea maximă admisă între conductoare (Power over Ethernet folosește max 57 V CC)	125		V CC

Sursa: http://en.wikipedia.org/wiki/Category_5_cable

4.2. Mersul lucrării.

4.2.1. Realizarea circuitului.

Se deschide aplicația **LTSpiceIV** (furnizat gratuit de firma Linear Technology) și se proiectează un circuit nou, prin apelarea meniului **File > New Schematic**. Circuitul care va fi folosit pentru simulare se poate vedea în **figura 4.2**.

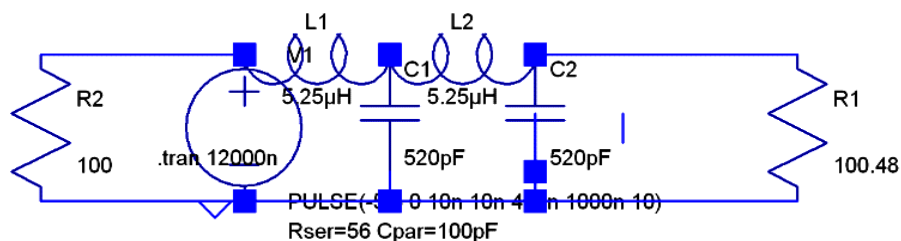


Fig. 4. 2. Schema folosită pentru modelarea liniei de transmisie.

Pentru realizarea sa, se apasă tasta **F2**, sau se alege din meniul **Edit** opțiunea **Component**, de unde se alege componenta **voltage**. După poziționarea acestuia pe desen, se apasă butonul din dreapta al mouse-ului astfel încât va apărea fereastra din **figura 4.3**,

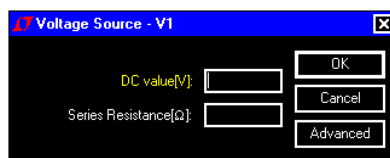


Fig. 4. 3. Fereastra cu proprietățile inițiale ale unei surse de tensiune.

unde se apasă butonul **Advanced**. Se completează câmpurile, așa cum se poate vedea în figura 4.4.

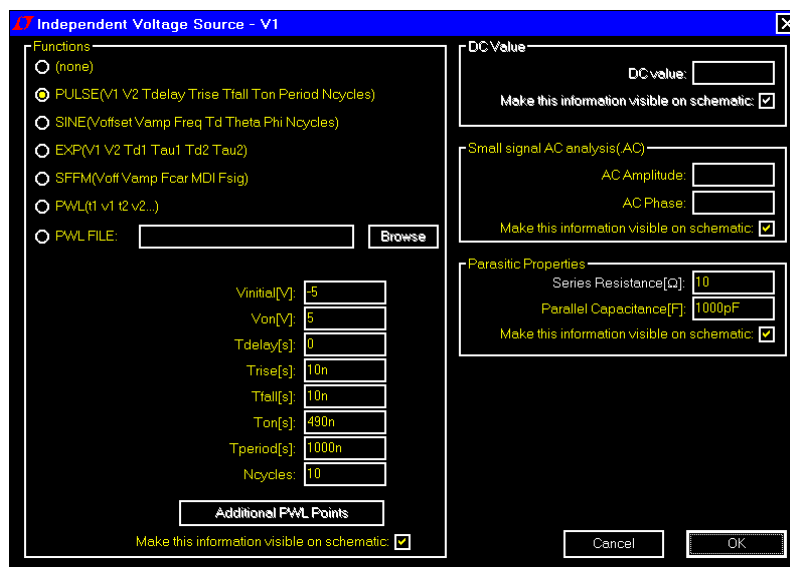


Fig. 4. 4. Proprietățile componentei sursă de tensiune.

Se repetă pașii pentru toate celelalte componente **R1**, **R2** (100Ω), **L1**, **L2** ($5,25\mu\text{H}$ rezistența serie $1,88\Omega$), **C1**, **C2** (520pF), corespunzător unei linii de transmisie formată din două tronsoane de câte 10m , definind proprietățile și valorile acestora, așa cum se poate vedea în figurile 4.5-6,-7.

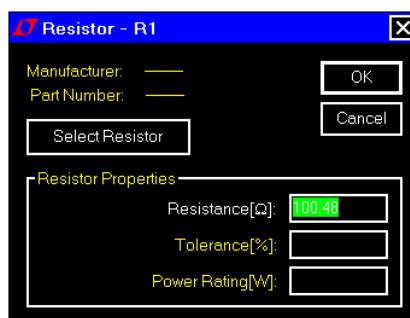


Fig. 4. 5. Proprietățile componentei R1.

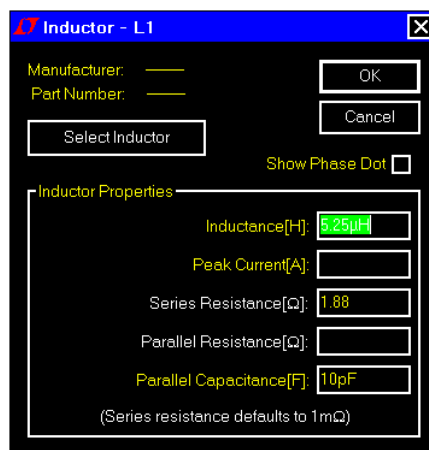


Fig. 4. 6. Proprietățile componentei L1.

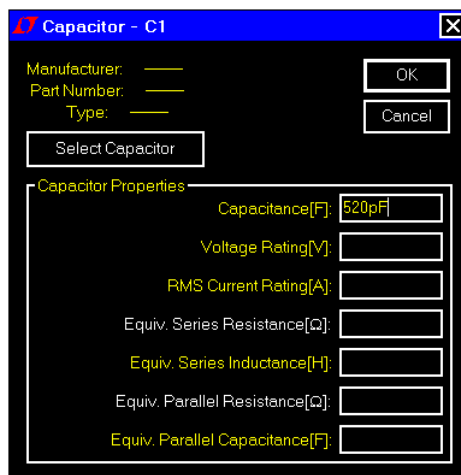


Fig. 4. 7. Proprietățile componentei C1.

Se adaugă componenta **GND**, foarte importantă pentru funcționarea aplicației deoarece reprezintă referința de tensiune „0” față de care se calculează toate ecuațiile de simulare. După realizarea circuitului se verifică conexiunile și valorile componentelor din circuit.

4.2.2. Configurarea parametrilor de simulare a circuitului.

Pentru simulare, trebuie configurați parametrii de simulare. Aceasta se face din meniul aplicației **Simulate > Edit Simulation Cmd**, completând valorile prezentate în **figura 4.8**.

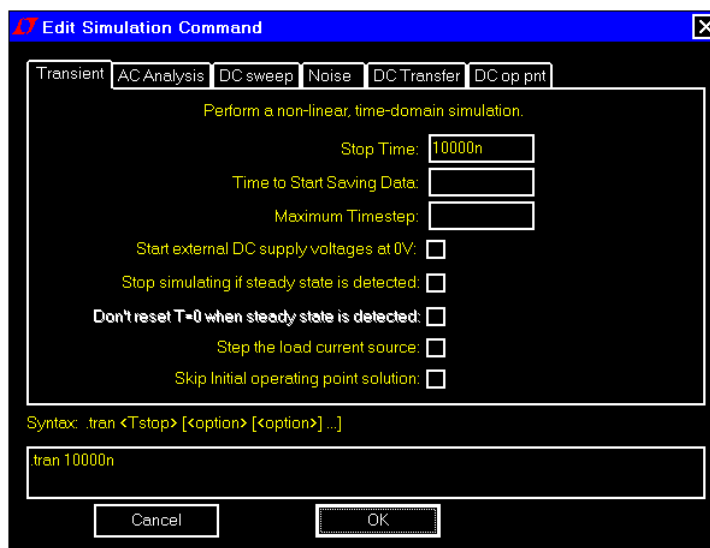


Fig. 4. 8. Configurarea parametrilor de simulare.

4.2.3. Simularea funcționării circuitului.

A. Linie adaptată.

Dacă modelul este corect, se poate trece la simularea funcționării circuitului. Pentru aceasta se alege din meniul aplicației **Simulate > Run**. Pe ecran va apărea o fereastră de afișare a evoluției în timp a variabilelor calculate în timpul simulării. Se vor afișa, în trei panouri separate, tensiunea generată de sursă, tensiunea la mijlocul „liniei de transmisie” (în nodul care unește L1 cu L2 și C1) și tensiunea la bornele rezistorului terminator din partea opusă sursei V1. Pentru aceasta, se alege din meniul aplicației **Plot Settings > Add Plot pane(I)**, repetând operația pentru fiecare variabilă care se dorește a fi afișată. După definirea panourilor, se alege pe rând câte un panou, pentru care se definește câte o variabilă, apelând din meniu opțiunea **Plot Settings > Add trace**.

Trebuie să se obțină o imagine ca cea din **figura 4.9**.

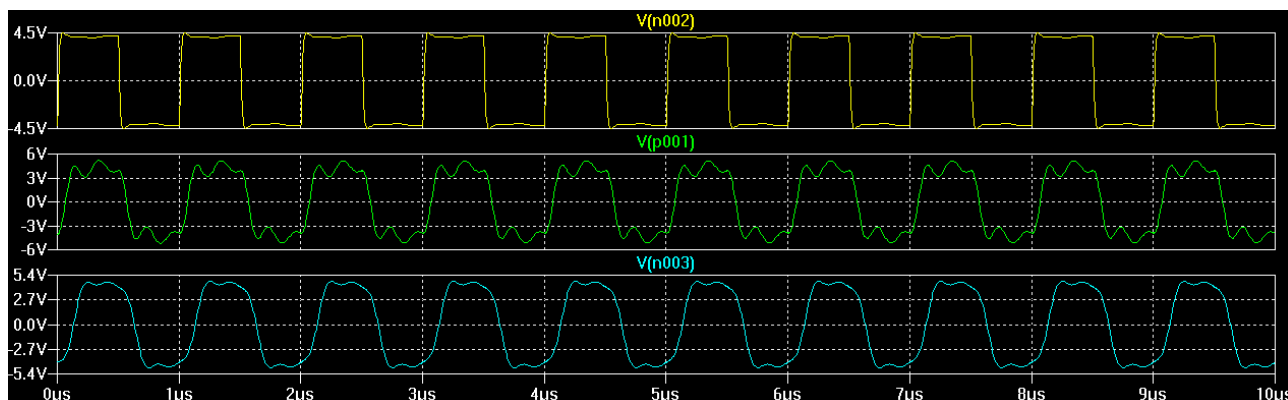


Fig. 4. 9. Forma semnalelor de tensiune de-a lungul liniei de transmisie adaptată la capete cu rezistor terminator.

B. Linie întreruptă, sau cu rezistor terminator întrerupt.

Se modifică valoarea rezistorului din partea opusă sursei V1 (R1), de la **100Ω**, la **100.000Ω**, ceea ce reprezintă practic întreruperea acesteia. Se repetă simularea și se obține imaginea prezentată în **figura 4.10**.

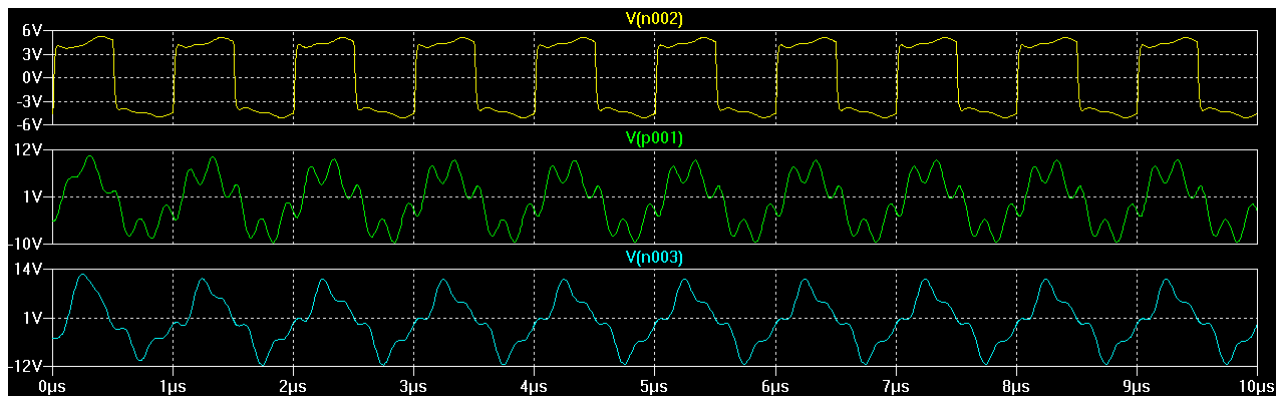


Fig. 4. 10. Răspunsul liniei în situația întreruperii, unui rezistor terminator.

C. Linie în scurtcircuit, la un capăt, sau cu rezistor terminator în scurtcircuit parțial.

Se repetă simularea pentru o valoare de cca. 10Ω a rezistorului terminator, ceea ce se poate asimila cu scurtcircuitarea liniei la un capăt. După repetarea simulării se obține rezultatul din **figura 4.11**.

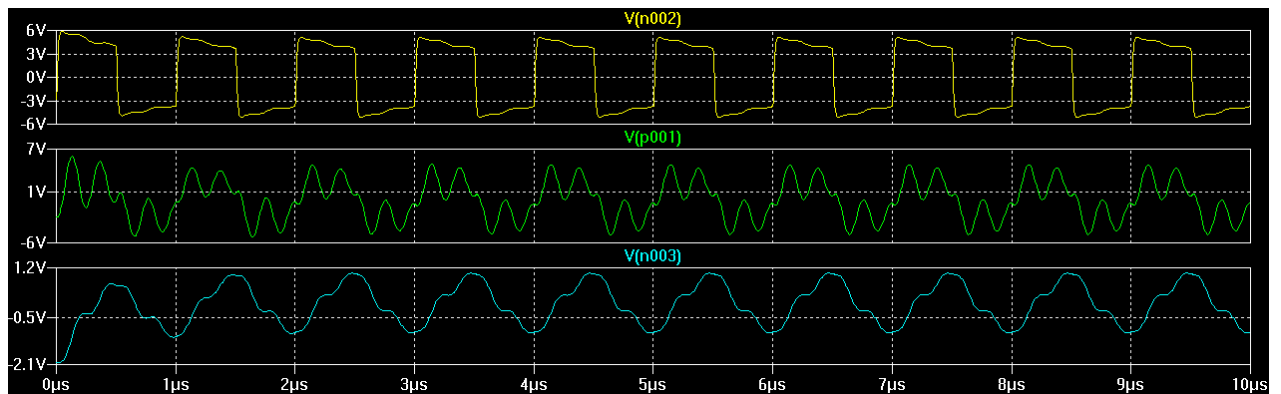


Fig. 4. 11. Răspunsul liniei în situația unui scurtcircuit, la un capăt al liniei.

D. Linie în scurtcircuit parțial, la mijloc.

Se modifică **R1** la 100Ω , valoare egală cu impedanța caracteristică a liniei, pentru a închide capătul acesteia.

Se modifică parametrii capacității **C1**, adăugând o rezistență echivalentă în paralel egală cu 10Ω , ceea ce simulează un scurtcircuit parțial de 10Ω , la mijlocul liniei de transmisie. Răspunsul circuitului se poate vedea în **figura 4.12**.

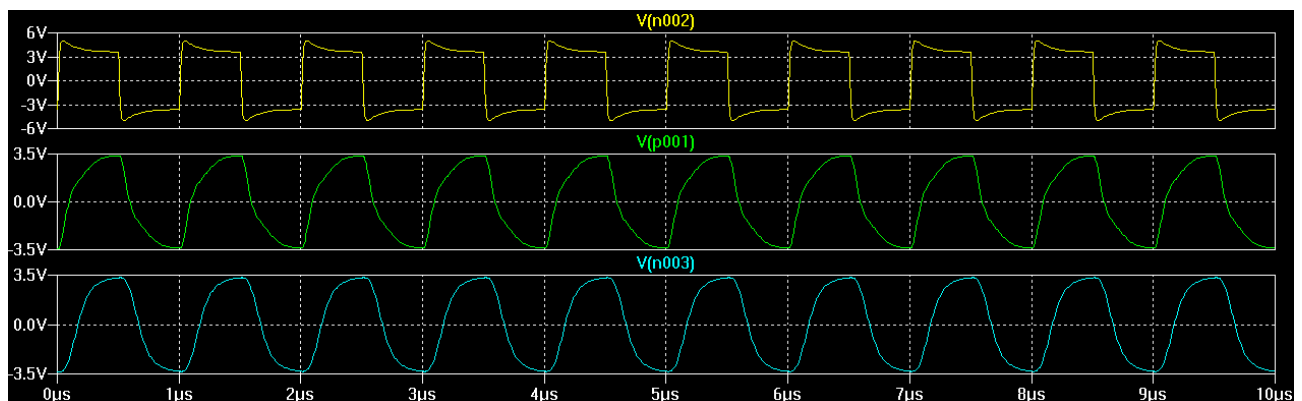


Fig. 4. 12. Răspunsul unei linii adaptate, dar cu un scurtcircuit echivalent de 100 la mijlocul liniei.

E. Linie adaptată, dar cu o lungime echivalentă de 200m.

Se modifică parametrii capacității C1, ștergând valoarea înscrisă în câmpul rezistenței echivalentă în paralel egală cu 10Ω ,

Pentru simularea unui segment de linie mai mare, de exemplu $2 \times 100\text{m}$ se modifică, prin înmulțirea cu 10 , valorile lui L1-2 ($52,5\mu\text{H}$ și rezistența echivalentă serie $18,8\Omega$) și C1-2 (5200pF). După simulare, se obține rezultatele prezentate în figura 4.13.

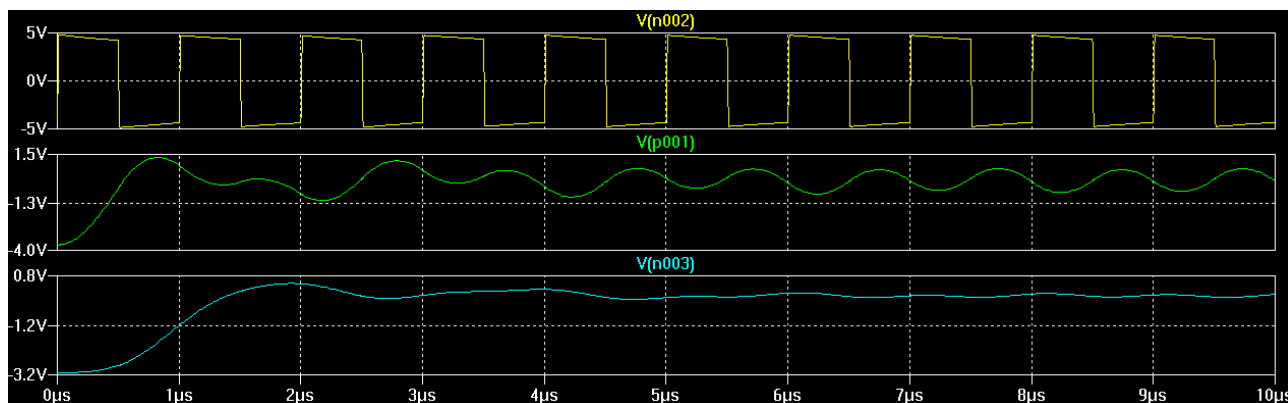


Fig. 4. 13. Răspunsul echivalent al unei linii cu lungimea de 200m.

Se poate observa că fenomenul de atenuare, a semnalului de tensiune, poate împiedica transmiterea informației la distanțe mari.

Se vor repeta pașii anteriori pentru alte valori ale parametrilor componentelor modelului studiat.

4.3. Concluzii.

Neadaptarea la capete, a liniilor de transmisie, cu rezistoare terminator egale cu impedența caracteristică a acestora, produce fenomene de reflexie a undelor (semnalelor electrice) ceea ce degradează calitatea semnalelor și implicit calitatea și performanțele transmisiei. Pentru linii lungi, aceste fenomene pot compromite total transmiterea datelor. Defecțiunile datorate situațiilor, prezentate și simulate mai sus, sunt greu de depistat, operațiile de depanare necesitând operații de izolare a segmentelor de rețea și un număr semnificativ de măsurători. Utilizarea acestui document, alături de măsurători efectuate cu un osciloscop, poate ușura operația de depanare.