

Laborator 2

Utilizarea programului de simulare electromagnetică Sonnet

Continuare

3. Structura de analizat

În lucrarea de laborator se va investiga o linie de transmisie microstrip pe substratul utilizat la curs: GaAs, $\epsilon_r = 12.9$, $\tan \delta = 6 \times 10^{-3}$, $\sigma \approx 0$, $h = 200 \mu\text{m}$, o linie cu lățimea de $150 \mu\text{m}$.

În acest scop se va analiza o astfel de linie cu lungimea $2400 \mu\text{m}$, cu detectarea rezonanțelor care apar și prin calcularea impedanței caracteristice și a parametrului constantă dielectrică efectivă.

Se realizează un studiu de convergență și se estimează eroarea obținută.

Supliment teoretic

Se reamintește că impedanța de intrare într-o linie de lungime l cu impedanța caracteristică Z_0 închisă cu impedanța Z_L este dată cu relația:

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan(\beta l)}{Z_0 + jZ_L \tan(\beta l)}$$

Din tabelele de variație a parametrilor microstrip, pentru $\epsilon_r = 12.88$ și $W/h = 0.75$ se obține $Z_0 = 49 \div 50 \Omega$ și $\epsilon_{eff} = 8.47 \div 8.49$.

Mod de lucru

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{12} & Z_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \Rightarrow V_1 = Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2 \Rightarrow Z_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{I_2=0}$$

Z_{11} va reprezenta impedanța de intrare când ieșirea este lăsată în gol,

$$Z_{11} = \lim_{Z_L \rightarrow \infty} Z_0 \frac{1 + j \frac{Z_0}{Z_L} \tan(\beta l)}{\frac{Z_0}{Z_L} + j \tan(\beta l)} = -jZ_0 \cot(\beta l)$$

Constanta de propagare β va depinde de constanta dielectrică efectivă:

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{c} \cdot f = \frac{2\pi}{c_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \cdot f = \frac{2\pi}{c_0} \cdot f \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}}$$

Realizarea unei analize Adaptive Sweep (ABS) într-un interval mai larg de frecvență (0.1-50GHz) atrage apariția unui avertisment relativ la frecvența maximă prea mare și neconcordanța acesteia cu dimensiunea celulei (frecvența crește, scade lungimea de undă, la un moment dat dimensiunea celulei este mai mare decât 0.05λ , aceasta însemnând faptul ca rezultatele calculate pentru 50GHz e posibil sa fie calculate fără precizia necesară). Reprezentăm grafic Z_{11} ca parte reală/imaginară pentru a verifica validitatea ipotezei din relațiile anterioare (Figura 1). Se validează faptul ca impedanța este pur imaginară (partea reală este nesemnificativă în raport cu partea imaginară) și de asemenea variației impedanței (imaginare) corespunde cu funcția cotangentă negată.

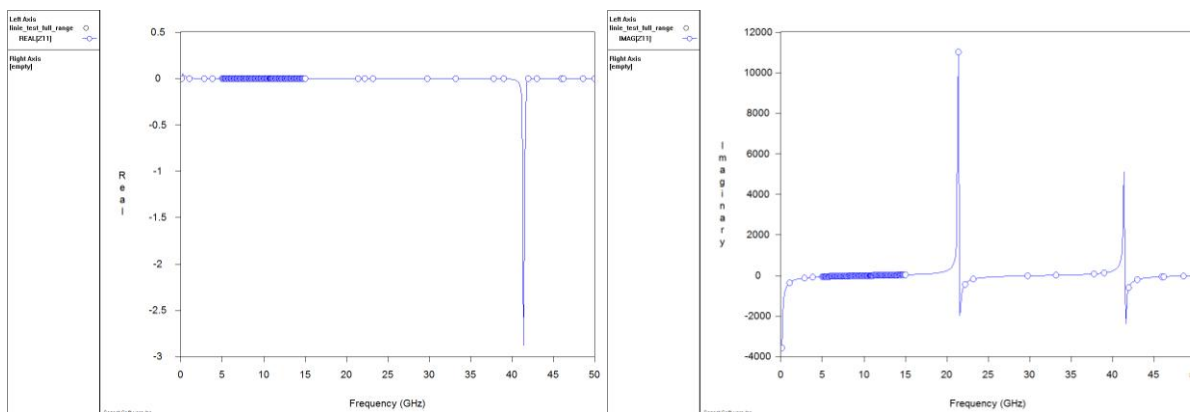


Figura 1. $\text{Re}(Z_{11})$ și $\text{Im}(Z_{11})$

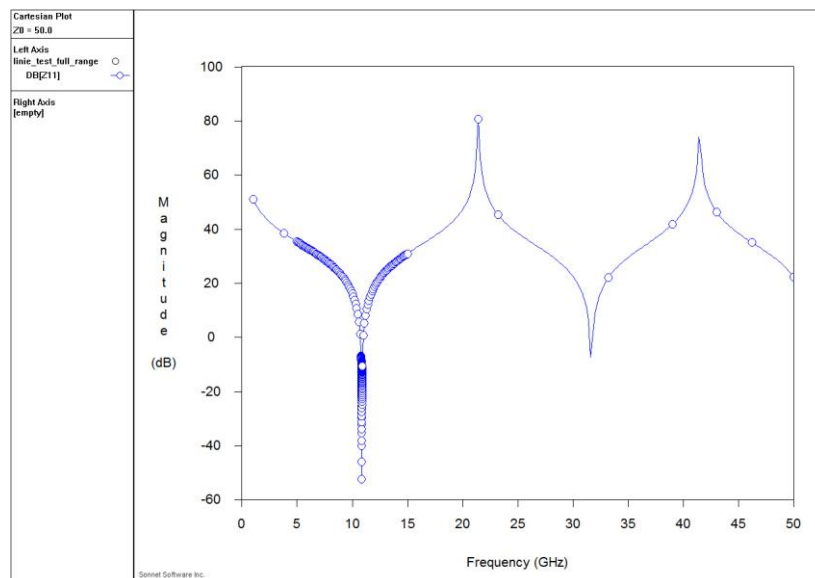


Figura 2. $Z_{11}[\text{dB}]$

Reprezentarea lui $Z_{11}[\text{dB}]$ (Figura 2) scoate în evidență existența unor rezonanțe ușor de poziționat (și cu precizie ridicată) în rezultate, la frecvențe de ordinul: 0GHz, 10.8GHz, 21.4GHz, 31.6GHz, 41.4GHz, provenind din anulările și punctele de singularitate pentru funcția cotangentă, deci corespunzătoare unor lungimi fizice egale cu multipli de $\lambda/4$ la

frecvența respectivă. Deoarece analiza în curent continuu nu este posibilă, iar analize precise la frecvențe ridicate necesită grilaj mai fin (atenționarea/"warning" oferită de program ne indică acest lucru) ne vom orienta atenția spre detectarea cât mai precisă a primei frecvențe de rezonanță în caracteristica logaritmică, $f_1 = 10.8\text{GHz}$.

Această frecvență va fi momentul în care lungimea fizică a liniei ($2400\mu\text{m}$) va fi egală cu un sfert din lungimea de undă:

$$\beta l|_{f_k} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot l = k \cdot \frac{\pi}{2} \Rightarrow \frac{2\pi}{c_0} \cdot f_k \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}} \cdot l = k \cdot \frac{\pi}{2} \Rightarrow \sqrt{\epsilon_{eff}} = k \cdot \frac{c_0}{4 \cdot l \cdot f_k}$$

$$\epsilon_{eff} = k^2 \cdot \left(\frac{c_0}{4 \cdot l \cdot f_k} \right)^2$$

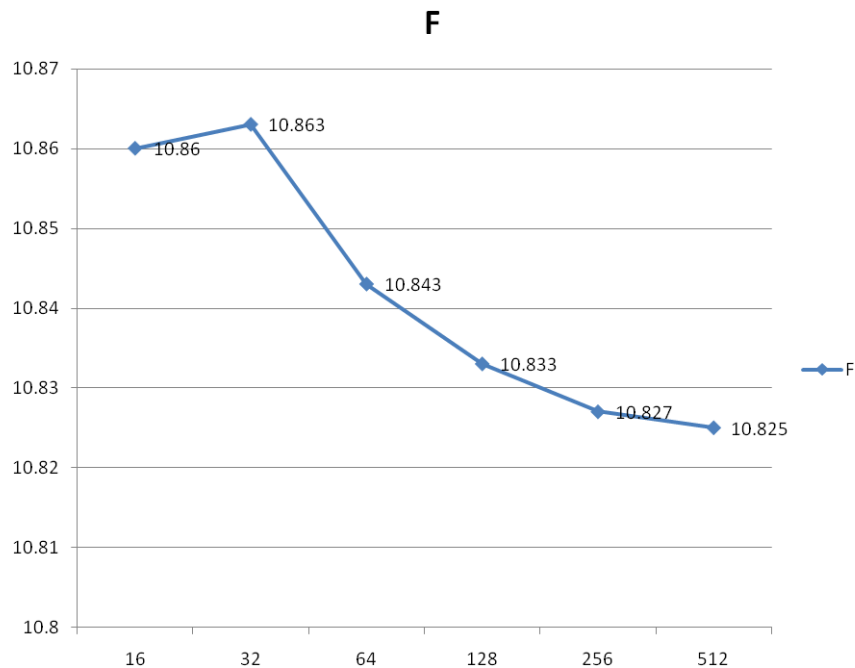
unde c_0 este viteza luminii în vid ($c_0 = 2.99790 \cdot 10^8$ m/s) iar k este indicele rezonanței (în cazul acesta, pentru $f_1 = 10.8\text{GHz}$ avem $k = 1$). Obținem $\epsilon_{eff} = 8.36$, suficient de aproape pentru o primă aproximare.

În continuare vom face o analiză de convergență, realizând simulări pentru număr de celule din ce în ce mai mare, 16×16 , 32×32 , 64×64 , etc., urmărind evoluția frecvenței și a valorii constantă dielectrică efectivă, în scopul realizării unei caracteristici de convergență. Se va alege analiza "Linear Frequency Sweep" pentru a controla frecvențele în care se face analiza.

Reamintim că alegerea unui pas Δf va impune eroarea absolută de determinare a frecvenței (de dorit cât mai mică) dar necesitatea acoperirii unui interval total de frecvență ΔF suficient de mare care să includă (ideal centrat pe) frecvența de rezonanță căutată poate deschide calea spre pornirea unor analize foarte lungi (interval larg cu pas de frecvență mic implică calcularea într-un numat mare de puncte). Se recomandă micșorarea pasului Δf pe măsura avansării în analiza de convergență, deoarece de obicei frecvența detectată se "stabilizează" și șansele să se găsească înafara intervalului preconizat ΔF , scad.

Se completează tabelul următor, unde x reprezintă direcția în lungul liniei, iar y direcția perpendiculară pe linie.

Nr	Celule X	Celule Y	F rez. [GHz]	Δf [GHz]	Nr. secțiuni	Memorie RAM [MB]	Timp/1 pct. frecv. [s]	ϵ_{eff}
1	16	16	10.86	0.1	10	1	0.135	8.268604
2	32	32	10.86	0.01	29	1	0.100	8.268604
3	32	32	10.863	0.001	29	1	0.140	8.264037
4	64	64	10.843	0.001	62	1	0.141	8.294551
5	128	128	10.833	0.001	134	1	0.298	8.309872
6	256	256	10.827	0.001	238	2	0.980	8.319085
7	512	512	10.825	0.001	390	5	4.0	8.322159
8	64	512	10.826	0.001	288	3	0.675	8.320622
9	64	1024	10.825	0.001	454	5	1.0	8.322159
10	64	2048	10.824	0.001	748	10	4.0	8.3236967



Lucru individual în laborator

Se va repeta demersul prezentat pentru a doua frecvență de rezonanță (în caracteristica logaritmică, prima în caracteristica liniară: 21.4GHz). Se reamintește că $-60\text{dB} \approx 0$, deci anterior a fost analizat punctul în care impedanța se anulează, punct în care tangenta la graficul de variație are valoare mică (≈ 0) și rezultă implicit o eroare mare de determinare.

Se completează un tabel asemănător și se reprezintă graficul de convergență pentru frecvență/constantă dielectrică.