

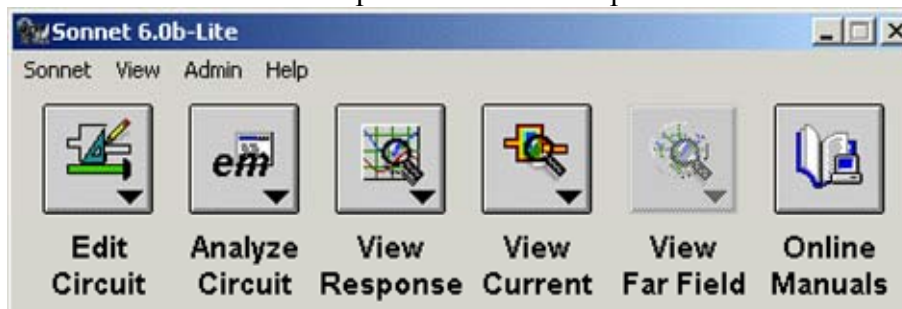
Programul de simulare electromagnetică SONNET

1. Prezentare generală

Programul este realizat de firma **Sonnet Software** și oferă soluții numerice pentru analiza electromagnetică de înaltă frecvență. Suita de programe Sonnet este orientată spre direcțiile de proiectare uzuale în circuitele integrate de microunde, unde, în afara elementelor active, se utilizează în primul rând circuite și antene planare (eventual planar tridimensional). Circuitele predominant planare includ linii microstrip, strip și coplanare, cablaje imprimate (pe unul sau mai multe straturi), plăci metalice verticale și orice număr de straturi metalice introduse într-un material dielectric stratificat.

Analiza electromagnetică presupune circuitul plasat într-un spațiu paralelipipedic realizat din pereți metalici pentru a simula o cutie metalică reală care închide circuitul și include efectele rezonanței cutiei. Realizarea unei analize care să ia în considerare spațiul liber, se schimbă condițiile la limită.

Suita de dezvoltare Sonnet este structurată pe un număr de programe fiecare îndeplinind o anumită funcție și utilizând anumite formate de fișiere pentru a-și comunica datele. Sonnet are o mică fereastră care permite accesul simplu la toate modulele.



Modulele suitei sunt cele prezentate în continuare:

- **xgeom™ Xgeom** este o interfață grafică ce permite introducerea geometriei circuitului pentru analizele **em™** următoare.
- **em Em** este motorul de analiză electromagnetică a cărui interfață se numește **em Control™**. Acest modul folosește o variantă modificată a metodei momentelor bazată pe ecuațiile lui Maxwell pentru a realiza analiza tridimensională a curenților prin structurile predominant planare. **Em** calculează parametrii S, Y, sau Z, parametrii liniilor de transmisie (Z_0 și ϵ_{eff}), sau elemente de tip linii de transmisie pentru analiza în SPICE. La cerere, poate crea fișiere pentru analiza suplimentară prin **emvu™** și **patvu™**. Modulul **em** poate fi dotat suplimentar cu extensia **emgen™**, ce permite cascada diferitelor analize electromagnetice, a liniilor de transmisie ideale și a parametrilor S proveniți din fișiere externe (date de catalog pentru componente, etc.).
- **emgraph™ Emgraph** este modulul de afișare a rezultatelor. Permite afișarea rezultatelor oferite de **em** sau de alte programe de simulare în coordonate carteziane sau pe o diagramă Smith.
- **emvu™ Emvu** este modulul de vizualizare a densității de curent. Permite o analiză calitativă imediată a interacțiunilor electromagnetice care intervin în circuit.

- **patvu Patvu** este modulul de calculare și afișare a caracteristicilor de radiație. Calculează câmpul electromagnetic îndepărtat emis de structurile radiante (cum ar fi antenele planare) utilizând densitatea de curent calculată de **em** și afișează radiația îndepărtată în formă carteziană, polară sau de suprafață. **Patvu** nu este inclus în versiunea Lite a suitei Sonnet.
- **gds™ Gds** permite conversia bidirecțională în și din fișiere structură în format GDSII™ în structura cerută de **xgeom**. **Gds** nu este inclus în versiunea Lite a suitei Sonnet.
- **dxfgéo™ Dxfgeo** permite conversia bidirecțională în și din fișiere structură în format DXF™ (AutoCAD™) în structura cerută de **xgeom**. **Dxfgeo** nu este inclus în versiunea Lite a suitei Sonnet
- **ebridge™ Ebridge** este un modul de conversie utilizat pentru comunicațiile între Sonnet și HP-EEsof™ Series IV™ sau HP-EEsof ADS™. Permite lansarea unei analize Sonnet și utilizarea rezultatelor în interiorul programelor de proiectare amintite. **Ebridge** nu este inclus în versiunea Lite a suitei Sonnet.

Versiunea programului prezentă în laborator este Sonnet Lite 6.0. Aceasta este versiunea gratuită a suitei de dezvoltare și poate fi obținută prin Internet (www.sonnetusa.com). La instalare se pot face analize care necesită maxim 1Mb RAM, dar prin declararea ("registration") prin e-mail se poate mări această memorie la 16 Mb. În afară de aceste limitări și de absența anumitor module amintite anterior, există anumite limitări în legătură cu structurile permise.

- Sunt permise numai două nivele de metalizări.
- Se pot introduce maximum trei straturi dielectrice.
- Nu se pot introduce dielectrici paralelipipedici.
- Se pot introduce numai porturi în legătură cu cutia metalică externă cu masă proprie. Nu sunt permise porturile interne fără contact la masă, porturile de trecere între diferite straturi sau cele cu contact la masa generală.
- Nu este permisă eliminarea secțiunilor paralele. În cazul în care curentul este preponderent longitudinal se poate face o analiză unidimensională (mai rapidă) prin eliminarea secțiunilor paralele.
- Se pot introduce maximum 4 porturi în circuit.
- Porturile trebuie să fie pe terminație de 50Ω .
- Paleta geometriilor standard nu este disponibilă. Se pot introduce câteva structuri predefinite ca linii de transmisie uzuale, elemente de circuit realizate cu linii de transmisie (bobine etc.).
- Câteva programe ajutătoare nu sunt active: detectarea rezonanțelor cutiei, precizie cuadruplă, selecție inteligentă a frecvențelor, cache al datelor independente de frecvență. Aceste accesorii pot oferi îmbunătățiri ale preciziei sau o creștere importantă a vitezei de simulare.

câmpului astfel încât viteza de fază să aibă aceeași valoare ca în cazul neomogen original.

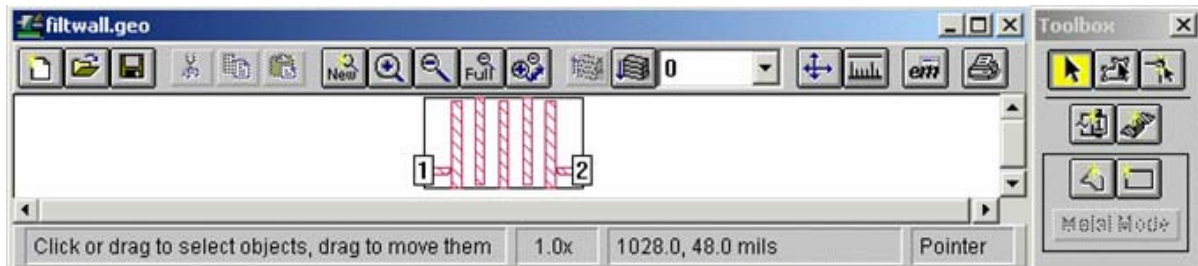
2. Exemplu de utilizare a suitei Sonnet

Se va utiliza ca exemplu realizarea și analiza unui filtru trece bandă interdigital realizat cu linii microstrip cuplate. Aceste filtre au avantajul că sunt foarte compacte și nu au de obicei benzi de trecere suplimentare pentru armonica a 2-a, au dimensiuni mici și costuri de realizare minime.

2.1. Desenarea circuitului în Xgeom

Interfața programului Xgeom permite desenarea structurii ce trebuie analizată. Există o fereastră (Toolbox) în care se pot accesa uneltele de desenare des întâlnite: desenare de dreptunghiuri, poligoane, introducere de porturi sau via-holes (găuri metalizate de trecere între diferitele straturi).

Se deschide câte o fereastră separată pentru fiecare structură în parte. Din bara de butoane a ferestrei se poate realiza o mărire a desenului (zoom), alegerea între diferitele straturi ale structurii, afișarea dimensiunilor fizice sau lansarea programului de analiză.



Structura filtrului interdigital este cuprinsă în fișierul *filtwall.geo* și va conține 5 porțiuni de linie microstrip, un port de intrare și un port de ieșire. Placva este realizată cu un singur substrat de dielectric, O parte a plăcii va fi metalizată realizând planul de masă, iar pe cealaltă se desenează circuitul, prezentat în figura următoare.



După desenarea circuitului se poate apăsa butonul de pe fereastră care lansează programul *em* fără a mai fi necesară trecerea prin meniul general al sutei Sonnet.

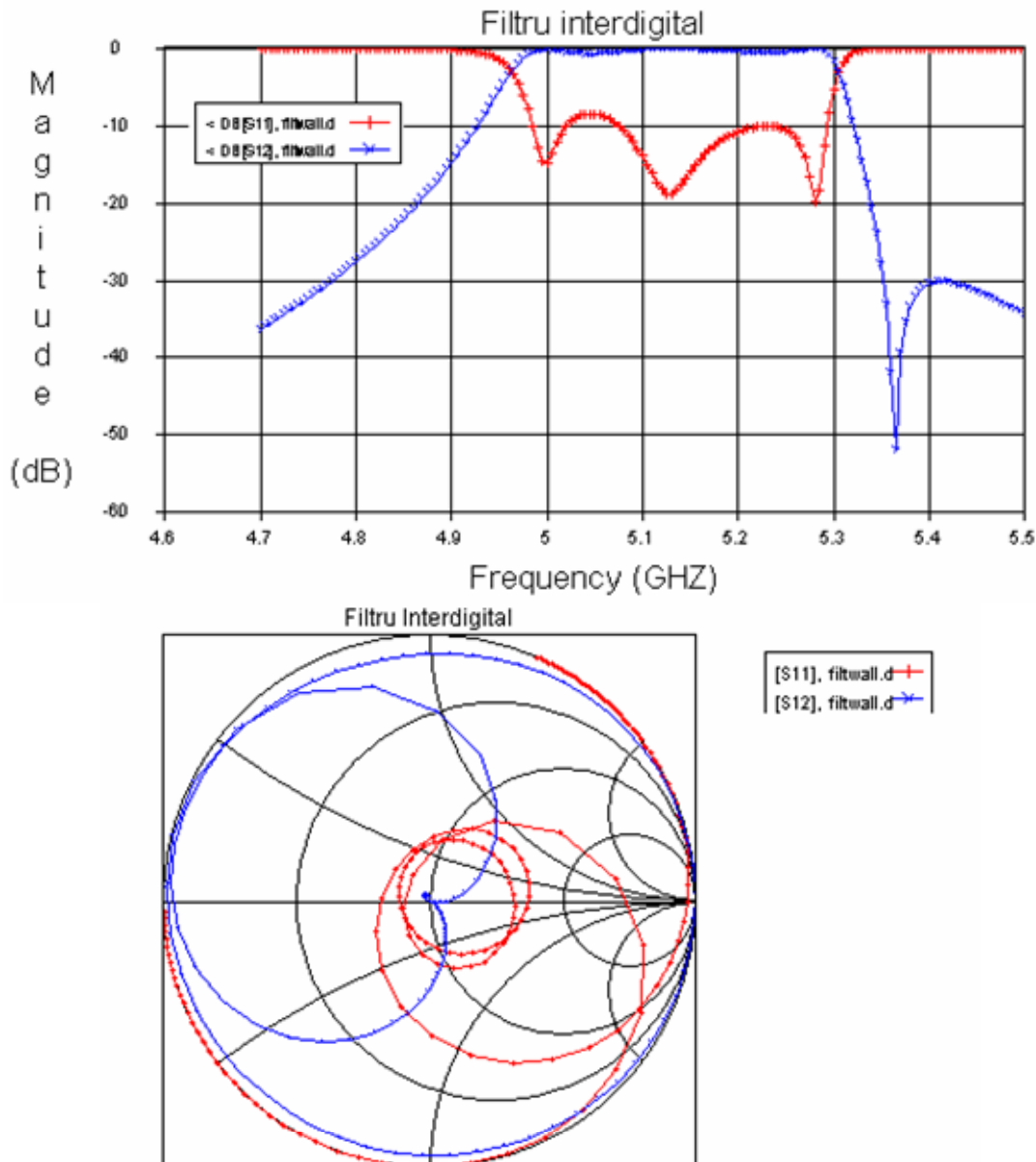
2.2. Simularea cu programul Em

Interfața cu programul Em se numește Em Control și permite selectarea fișierului care urmează a fi analizat, limitele în frecvență pentru care se face analiza, fișierele care vor fi salvate.

După lansarea programului de simulare se poate urmări evoluția sa, într-o fereastră separată afișându-se rezultatele intermediare și pasul curent. După terminarea analizei se poate lansa în execuție programul de grafică sau cel de vizualizare a curenților.

2.3. Afișarea rezultatelor cu programul Emgraph

Programul Emgraph permite afișarea rezultatelor în diagrame carteziene sau în diagrame Smith. Se prezintă în continuare rezultatele simulării filtrului trece bandă desenat anterior.

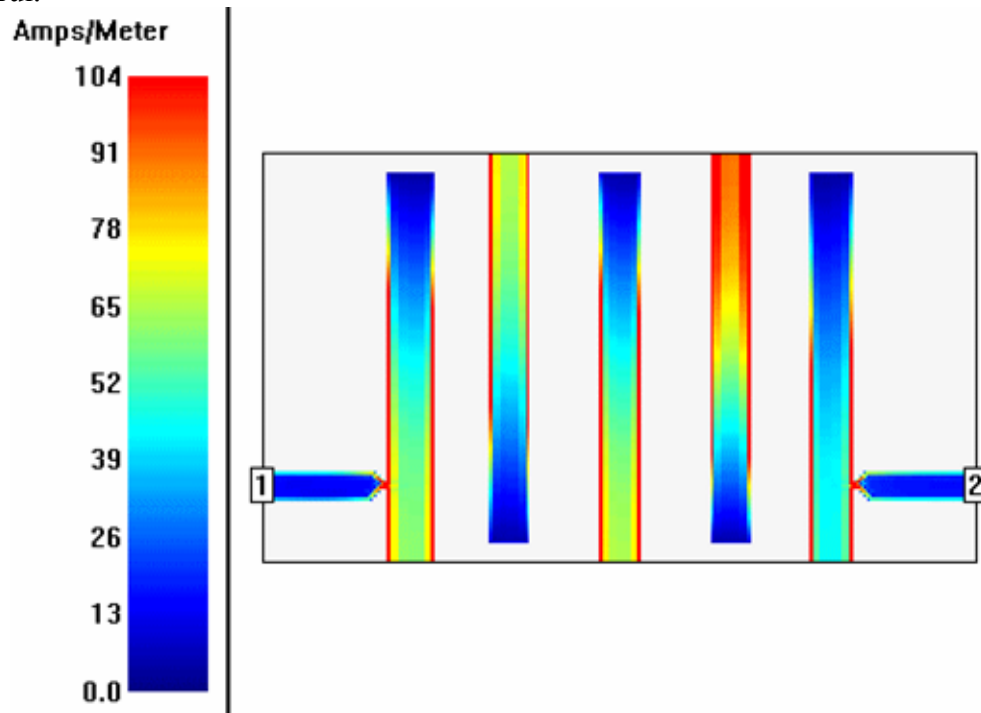


S-au prezentat coeficientul de reflexie și cel de transmisie pentru filtru.

2.4. Afișarea curenților superficiali cu programul Emvu

Programul Emvu permite afișarea curenților superficiali la diferite frecvențe, permițând o privire intuitivă foarte utilă pentru determinarea performanțelor circuitului. Se poate realiza și o animație pentru parcurgerea întregii game de frecvență în care a fost realizată analiza, automatizându-se astfel procesul de verificare a circuitului.

Pentru filtrul trece bandă interdigital, la frecvența de 5,1 GHz rezultatul este următorul.

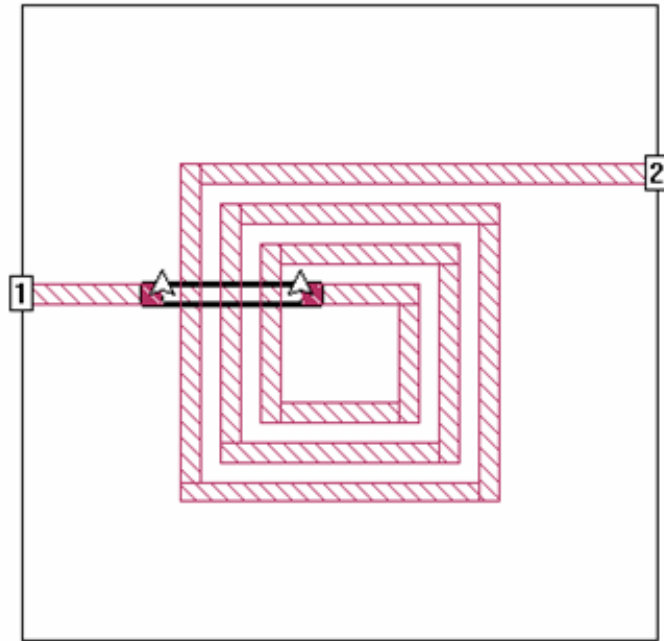


Lângă fiecare figură se prezintă o scală gradată pentru interpretarea numerică a culorilor afișate.

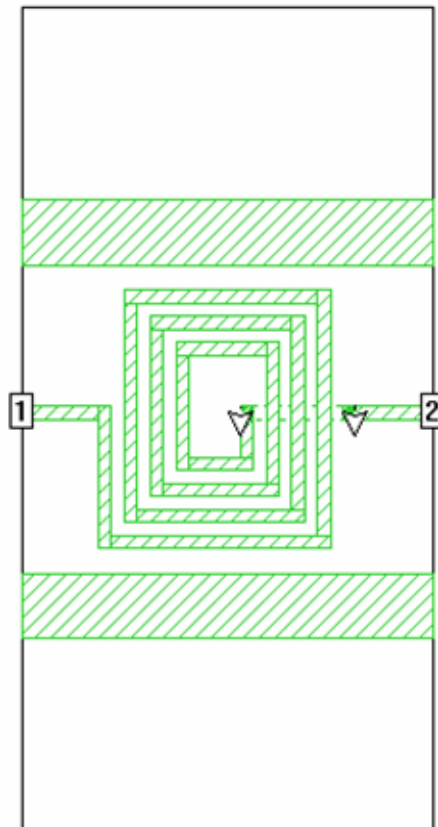
3. Structuri de analizat în laborator

3.1. Analiza bobinelor planare în circuitele integrate monolitice pentru microunde

Se va realiza analiza unei spirale realizată din linii microstrip. Se va identifica elementul de circuit realizat. Circuitul este realizat pe două straturi de dielectric și trei nivele de metalizare. Intrarea și ieșirea se realizează prin porturile 1 și 2, iar portul 1 este legat la un capăt al spiralei folosind două treceri via-hole și o linie de transmisie pe un al treilea nivel de metalizare (înafară de cel reprezentat și de nivelul de masă).



O a doua structură care va fi analizată în laborator va fi următoarea:



Bobina analizată este realizată pe un substrat de siliciu (situația uzuală în cazul circuitelor integrate pentru microunde). De obicei deasupra stratului de siliciu se realizează un strat de SiO_2 izolator, necesar pentru a izola circuitele active (din substrat) de liniile de transmisie. Bobina va fi realizată în mare parte deasupra stratului de SiO_2 doar conexiunea de la centrul bobinei la ieșire fiind realizată sub acest strat.

Liniile strip de masă laterale sunt introduse pentru a micșora pierderile în substrat. Curentul de întoarcere la masă trece prin aceste linii și astfel câmpul electric între linia de

semnal și masă nu trebuie să treacă prin întregul substrat de siliciu, micșorându-se astfel pierderile.

Parametrii circuitului vor fi următorii:

- substrat dielectric – Siliciu
constantă dielectrică relativă – 12
conductivitate – 20S/m
- Strat izolator – SiO₂
constantă dielectrică relativă – 4
conductivitate – 0 (izolator ideal)
- Strat metalic – perfect conductor

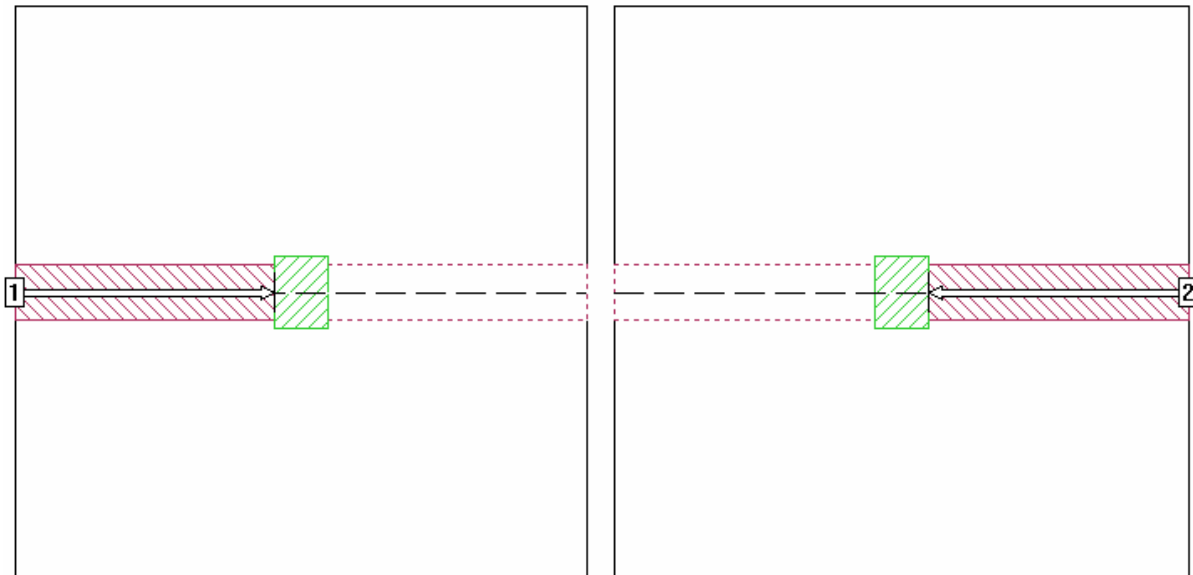
Analize în laborator

- Se va încerca simplificarea structurii pentru micșorarea timpului necesar pentru analiză
- Se va identifica eroarea analizei
- Comparații între structura reală și cea ideală
- Influența asupra pierderilor a lățimii liniilor de transmisie
- Influența asupra pierderilor ale stratului dielectric (SiO₂)

Notă: Se vor folosi indicațiile din documentul „Free EM Simulator Analyzes Spiral Inductor on Silicon” – James C. Rautio, pus la dispoziție în laborator.

3.2. Analiza capacităților planare în circuitele integrate monolitice pentru microunde

Structura care va fi analizată în laborator va fi următoarea:



În figură sunt prezentata cele două straturi ale capacității realizate (înafara stratului de masă).

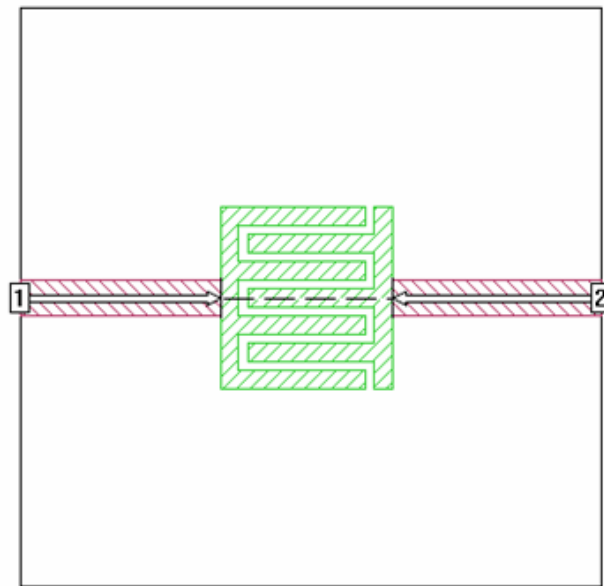
Parametrii circuitului vor fi următorii:

- substrat dielectric - Siliciu
constantă dielectrică relativă - 12.88

- conductivitate - 0 (izolator ideal)
- Strat izolator - SiO₂
 - constantă dielectrică relativă - 6.8
 - conductivitate - 0 (izolator ideal)
- Strat metalic - perfect conductor

Analize în laborator

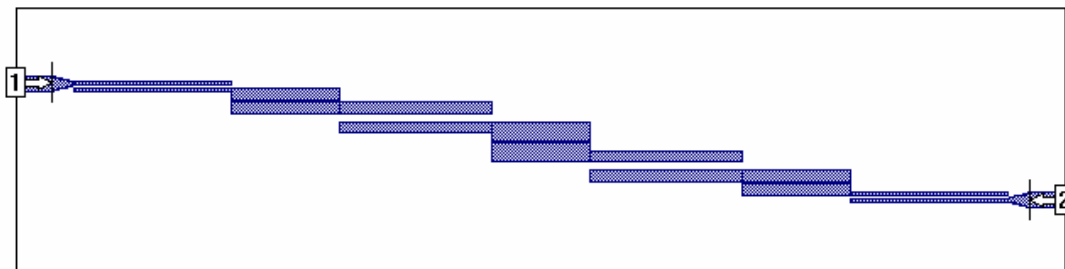
Se va determina valoarea capacității care apare în circuit la diferite valori ale frecvenței.

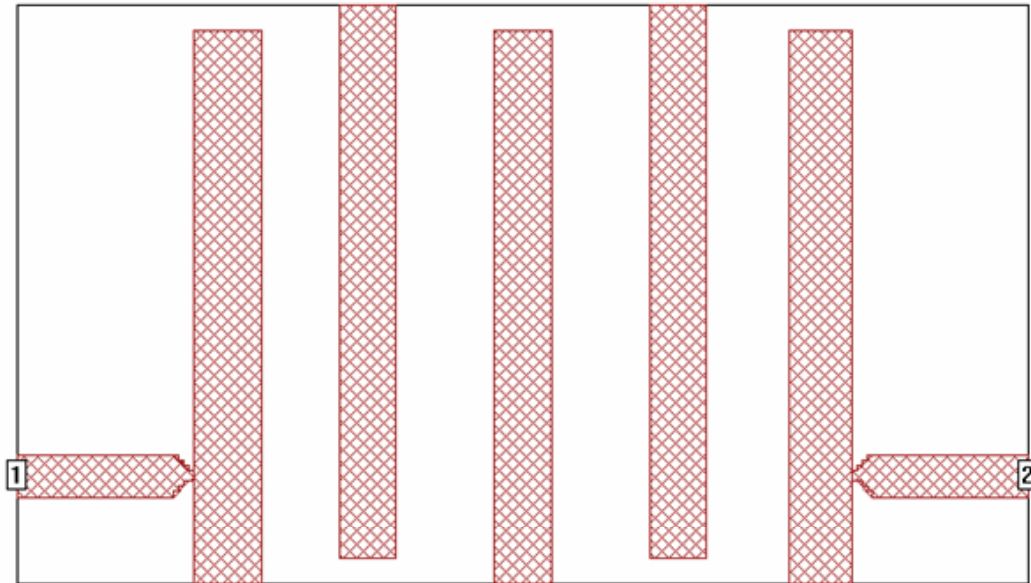


3.3. Analiza circuitelor realizate cu linii de transmisie

Filtre trece bandă

Se va analiza în laborator realizarea filtrelor trece bandă utilizând linii microstrip. Structurile analizate vor fi următoarele:





Cele două structuri realizează aceeași funcție (filtru trece-bandă) și reprezintă principalele modalități de realizare a filtrelor cu linii microstrip: filtru cu rezonatori cuplați marginal și filtru interdigital.

Analize de realizat în laborator

Se vor analiza cele două structuri și se vor nota următoarele rezultate:

- materialele utilizate și dimensiunile fizice
- caracteristici de frecvență.

Pentru filtrul interdigital se va face și o analiză a dependenței parametrilor de dimensiunile fizice: lățimea liniilor, distanța dintre linii.

În cazul filtrului cu rezonatori cuplați marginal se va exemplifica modalitatea de analiză a unui circuit complex prin împărțirea acestuia în probleme mai mici (schema inițială necesitând peste 300Mb de memorie RAM depășind astfel limitările impuse de varianta Lite a programului Sonnet).