

LUCRAREA NR. 1

PROIECTAREA UNEI ANTENE

PENTRU MICROUNDDE

1. Definiții generale

O antenă este acel dispozitiv care transformă energia undelor radio în energie electrică, sau vice-versa. În procesul de transmisie, un oscilator alimentează terminalele antenei cu un curent electric ce variază la o anumită frecvență radio, iar antena va emite în mediul înconjurător radiație electromagnetică având frecvența curentului folosit la alimentarea ei. În procesul de recepție, antena este responsabilă cu transformarea energiei electromagnetice captate (într-o bandă îngustă de frecvențe) într-un semnal la intrarea circuitului electronic de recepție. Antenele sunt elemente esențiale în orice dispozitiv ce folosește unde radio sau microunde, precum telefoanele mobile, transmisii radio, telecomenzi de garaj, dispozitive Blue-Tooth, etc.

Antenele microstrip (așa-zisele antene-imprimare) sunt acele antene care sunt obținute prin imprimarea unei benzi metalice într-un strat izolator. Un caz particular de antene microstrip sunt cele din telecomunicațiile mobile (așa-zisele antene PIFA). Un alt caz particular folosit frecvent este antena-patch, caracterizată prin forma sa regulată, fie rectangulară, fie circulară.

O antenă-patch este obținută prin montarea unei foițe metalice dreptunghiulare sau circulare (patch-ul) peste un strat metalic cu puțin mai larg, denumit *baza* (ground). Un dielectric (poate fi și aerul) separă cele două straturi metalice. Ansamblul poate fi în plus protejat de o carcasă de plastic. Antenele-patch sunt ușor de fabricat, de modificat și de proiectat. Cele două straturi de metal formează un circuit de lungime egală cu jumătate din lungimea de undă a radiației radio pe care vor să o capteze (sau radieze). Marele avantaj al antelor-patch este că utilizează aceleași procese tehnologice de fabricație ca orice alt circuit de cablaj imprimat.

2. Proiectarea unei antene

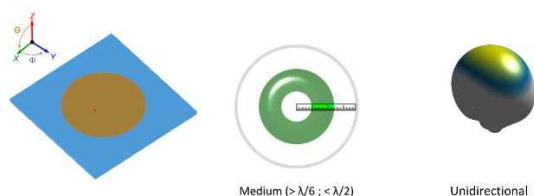
Sunt multe programe software care pot fi utilizate de cercetătorul în domeniul telecomunicațiilor pentru proiectarea unei antene pentru microunde. Cele mai complete sunt CST Microwave Studio și FEKO. Pentru inginerul care dorește însă să scurteze din pașii de proiectare și să pornească direct de la unul din cele câteva zeci de modele pre-existente de antene, cel mai recomandat program de proiectare este Antenna Magus, exemplificat în această lucrare de laborator.

Pasul 1. Deschideți softul Antenna Magus și căutați tipul de antenă denumit „Circular Pin-Fed Linearly Polarised Patch Antenna” folosind funcția „Find”. Numele acestui tip de antenă desemnează o antenă ce are un patch circular, ce emite lumină polarizată liniar și al cărei patch este alimentat cu un pin legat la stratul metalic de bază.

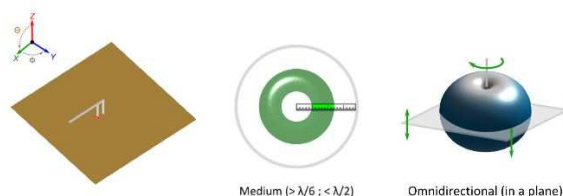
Pasul 2. Deschideți secțiunea „Info” a acestei antene pentru a afla informații despre ea. Informațiile vă pot ajuta să decideți asupra tipului de antenă care este cel mai potrivit pentru aplicația voastră specifică, de aceea trebuie să înțelegeți toată terminologia folosită. Secțiunea informativă constă dintr-un tabel ce rezumă valorile tipice, maxime și minime pentru parametrii importanți ai antenei, urmat de o secțiune ce cuprinde informații mai detaliate despre performanțele probabile, referințe și linii directoare în procesul de proiectare.

Exercițiu. Comparați caracteristicile antenei patch cu cele ale antenei IFA (precum în Figura 1) folosind butonul „New comparison” din secțiunea de informații a oricăreia dintre cele două antene. Cum explicați diferențele între caracteristicile de propagare (radiation pattern) ale celor două antene? Ce semnifică faptul că ambele antene emit radiație polarizată liniar? Care dintre ele are câștigul maxim mai mare și pentru care direcții? Care dintre cele două antene este mai performantă din punct de vedere al coeficientului de reflexie la frecvența nominală? Ce coeficient de reflexie are o antenă ideală?

Circular pin-fed linearly polarised patch



Inverted-F (IFA)



Quick Summary

Quantity	Typical	Minimum	Maximum
Polarisation	Linear		
Radiation pattern	Single broadside lobe		

Quick Summary

Quantity	Typical	Minimum	Maximum
Polarisation	Linear	-	-
Radiation pattern	Omnidirectional in the azimuthal plane	-	-

Figura 1 Comparare făcută cu Antenna Magus între caracteristicile a doua antene: antena-patch circulară (stânga) și antena de tip IFA (dreapta).

Pasul 3. Intoarceți-vă la pagina principală, acolo unde apare lista cu toate tipurile de antene. Acum, în loc să deschideți secțiunea „Info”, deschideți secțiunea „Design” a antenei patch de mai sus. Imediat se va deschide planșa unde va avea loc proiectarea efectivă a antenei dorite. Toate datele acestei planșe pot fi exportate la finalul lucrului. Există două moduri de lucru ale acestei planșe de proiectare, setabile din paleta stângă: „Designs” și „Specifications”.

Pasul 4. Setati paleta pe modul de lucru „Design”. În modul "Design", paleta este împărțită în 4 secțiuni. Cea mai de sus secțiune este utilizată pentru a gestiona versiunile precedente ale antenei. Aceste versiuni ale antenei sunt notate cu "Designs and Tweaks". Obiectivele (Objectives) și parametrii (Parameters) oricărei versiuni pot fi re-ajustate oricând pentru a restructura acea versiune. Cu toate acestea, dacă performanța acelei versiuni a fost estimată, trebuie să creați o nouă versiune dacă doriți să reproiectați sau editați manual un parametru.

A doua secțiune conține dialogurile de intrare pentru obiectivele de care algoritmul trebuie să țină cont în proiectare. În mod implicit, valorile obiectivelor disponibile sunt alese automat

în funcție de diferite considerente de performanță. Obiectivele pot fi însă setate manual prin extinderea căsuțelor de dialog corespunzătoare - se face click pe bordura groasă de pe partea stângă a fiecărui dialog.

Exercițiu. Denumiți versiunea curentă a antenei pe care o proiectați cu „Prima mea antena”. Setați banda de frecvențe a antenei pe 1800MHz, una din frecvențele folosite pentru comunicațiile de telefonie mobilă. Setați impedanța de intrare la 50 Ω .

Pasul 5. Pentru a porni algoritmul de proiectare conform cerințelor specificate în secțiunea „Objectives”, este suficient acum să apăsați butonul „Design”. Imediat, secțiunea aflată sub „Objectives”, denumită „Parameters”, va fi populată cu valorile parametrilor fizici ai antenei proiectate. Simultan, fiți atenți la culorile obiectivelor definite în secțiunea „Objectives” care au rolul de a indica stările valorilor acestora. Acestea sunt "Setată de utilizator" (albastru), "Valoare recomandată" (portocaliu) și "Neutilizată" (roșu). Deoarece utilizatorul poate seta obiective contradictorii - de exemplu, "lărgimea de bandă (în procente)" și "Raportul lărgimii de bandă" au o relație predefinită - este posibil să aveți un set de obiective supra-specificate. În acest caz, un obiectiv poate fi setat la "Not Used", ceea ce înseamnă că nu a fost folosit în calcularea valorilor parametrilor de material prezentate.

Exercițiu. Proiectați o antenă-patch folosind obiectivele cerute la exercițiul precedent. Notați într-un tabel valorile și semnificația parametrilor de material returnați de algoritmul de proiectare (Figura 2).

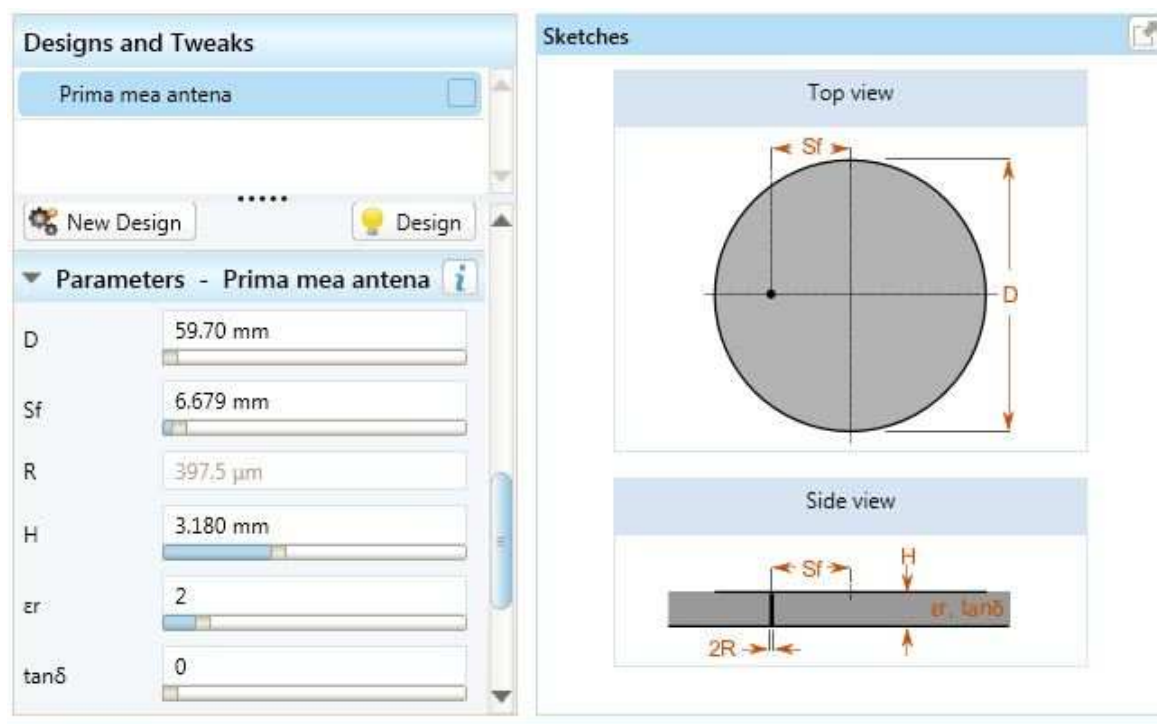


Figura 2. Exemplu de antenă proiectată cu Antenna Magus. Parametrii fizici (calculați) ai antenei sunt trecuți în partea stângă a ferestrei, în secțiunea „Parameters”.

În afara de alimentarea printr-un pin a antenelor patch (precum în cazul antenei pin-fed din Figura 2), este posibil ca alimentarea să se facă și printr-o linie microstrip (pentru așa zisele antene line-fed). Un exemplu de antenă patch line-fed rectangulară realizată în laboratorul de microunde este afișat în .



Figura 3. Exemplu de antenă patch line-fed rectangulară realizată în laboratorul de microunde al Universității din Pitești: a. vedere de sus (fața cu patch-ul), b. vedere de dedesubt (fața cu masa); c. vedere laterală (muchie).

Pasul 6. Se pot modifica valorile obiectivelor printr-un click pe dialogurile corespunzătoare. Imediat ce se operează o modificare la nivelul obiectivelor, valorile obținute anterior în secțiunea „Parameters” sunt șterse. Pentru a reproiecta antena și a repopula secțiunea „Parameters” folosind noile valori ale obiectivelor, trebuie reapăsat butonul „Design”.

Exercițiu. Creați o nouă antenă apăsând butonul „New Design” din secțiunea „Objectives” a primei antene. Numiți-o „A doua mea antena”. Aceasta va copia toate obiectivele folosite pentru proiectarea antenei precedente. Acum scoateți materialul care separă cele două straturi metalice ale antenei și lăsați în locul său aer. Apăsați „Design”. Ce se întâmplă cu valorile afișate în Secțiunea „Parameters”? Faceți un tabel comparativ față de cazul precedent. Explicați diferențele. Cum putem micșora dimensiunile antenei dintr-un telefon mobil?

3. Estimarea performanțelor unei antene

Pasul 7. După ce o antenă a fost proiectată folosind Antenna Magus, performanțele sale pot fi estimate. Acest lucru este foarte similar cu analiza folosind un simulator complet precum CST MICROWAVE STUDIO sau FEKO. Diferența este că în Antenna Magus se pune accentul pe un optim între precizie și timp, spre deosebire de un accent pus pe precizie indiferent de timp. Pentru fiecare antenă, documentul de informare (secțiunea „Info”) conține o porțiune care descrie care sunt diferențele așteptate între o soluție Antenna Magus și soluția unui simulator complet.

Pentru a obține o estimare a performanței unei antene proiectată cu Antenna Magus, apăsați butonul „Estimate Performance”. Calculul poate dura până la 20 de minute, iar progresul poate fi urmărit în secțiunea „Designs and Tweaks” din paletă. După ce calculul a fost finalizat, performanța va fi trasată pe graficele din spațiul de lucru. Pentru a vedea graficele, trebuie să vă asigurați că fereastra „Estimated Performance” este selectată în spațiul de lucru. Graficele pot fi de asemenea exportate ca fișiere de date sau ca imagini.

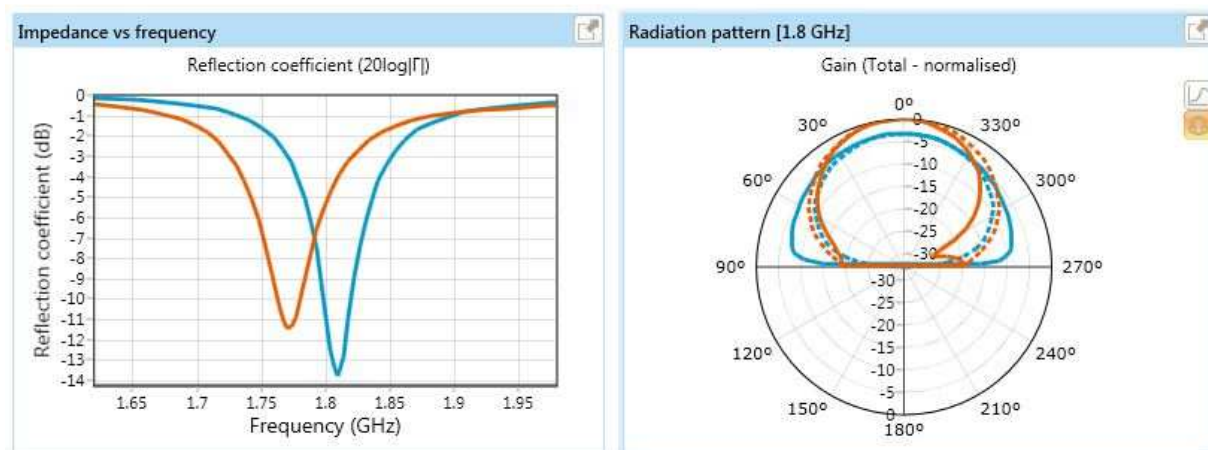


Figura 4. Comparație între performanțele a două anten-patch diferite

Pasul 8. Puteți schimba tipul de reprezentare al fiecărui grafic dacă îl selectați și faceți imediat click pe „Change representation”. De exemplu, în locul reprezentării „Impedanță vs frecvență” aleasă automat de simulator, puteți alege reprezentarea „Coeficient de reflecție vs frecvență” (Figura 4), „VSWR vs frecvență” sau „Diagrama Smith”. O antenă ideală are o bandă largă de frecvențe și un VSWR (sau un coeficient de reflexie S_{11}) cât mai scăzut în interiorul acestei benzi.

Exercițiu. Estimați performanțele celor două antene create anterior. Observați cum Antenna Magus reprezintă caracteristicile pentru ambele antene pe același grafic. Înlocuiți reprezentarea impedanței cu cea a coeficientului de reflecție. Comparați performanțele celor două antene.

Pasul 9. Rezultatele pot fi exportate sub forma unor fișiere de date care pot fi folosite de simulatoare mai complete ca CST sau FEKO. Aceasta se poate realiza cu butonul „Export mode” din meniul „Home”, după selectarea antenei dorite în Secțiunea „Designs and Tweaks”. Alternativ, se poate exporta doar graficul de performanță dorit, cu butonul „Export Image” din meniul „Format”.

Exercițiu. Înregistrați diagrama Smith pentru cele două antene create în pașii precedenți, sub forma unei imagini „jpg” într-un folder care să poarte numele dumneavoastră.

4. Desfășurarea lucrării

4.1. Răspundeți pe scurt pe o foaie la întrebările adresate în secțiunile precedente.

4.2. Realizați o antenă folosind un dielectric de separație cu permitivitatea relativă $\epsilon_r=4.5$. Modificați pe rând frecvența nominală f_0 a acestei antene și notați, pentru fiecare frecvență în parte, grosimea minimă necesară a dielectricului de separație și diametrul

patchului obținut pentru acea grosime minimă. Treceți rezultatele într-un tabel de forma celui de mai jos și faceți graficele $D(f_0)$ și $H_{\min}(f_0)$.

f_0 (GHz)	0,3	0,5	1	1,5	2	3	3,5	5	8	10	12
D											
$H_{\min}$											

- 4.3.** Realizați o antenă care să funcționeze la frecvența nominală de $f_0=3\text{GHz}$ și care să aibă grosimea stratului dielectric de $H=1\text{mm}$. Variind permitivitatea relativă a dielectricului antenei precum în tabelul de mai jos, notați de fiecare dată diametrul patchului obținut după proiectare. Faceți graficul variației $D(\epsilon_r)$.

ϵ_r	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D										

- 4.4.** Realizați o antenă care să funcționeze la frecvența nominală de 3GHz folosind un mediu de separație dielectric cu $\epsilon_r=4.5$. În proiectarea antenei variați grosimea dielectricului conform tabelului de mai jos, evaluând de fiecare dată performanțele antenei. Evaluarea performanțelor se vor face notând coeficientul de reflexie minim sau raportul VSWR pentru fiecare caz în parte și trecând rezultatele în tabel. Trasați graficul dependenței lui VSWR minim de grosimea dielectricului. Alt parametru după care putem considera performanța antenei este lărgimea benzii sale de frecvențe (B), pe care o putem defini ca intervalul de frecvențe pentru care raportul VSWR este mai mic decât 2. Trasați graficul dependenței lui B de grosimea dielectricului. Ce putem spune despre parametrii de performanță VSWR și B? Pot fi ei îmbunătățiți simultan prin variația lui H?

H(mm)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5
$S_{11 \text{ minim}}$							
VSWR _{min}							
B (MHz)							

LUCRAREA NR. 2

PROIECTAREA UNUI FILTRU DE MICROUND

1. Definiții generale

Filtrele sunt dispozitive de procesare a semnalelor cu funcțiile specifice de selectare sau eliminare a unei benzi de frecvențe. Filtrele se numesc pasive dacă nu depind de o sursă exterioară de energie pentru a fi alimentate, și deci nu conțin elemente active de circuit precum tranzistoarele. În general, aceste filtre vor conține doar rezistori (având rezistențele R_k), bobine (cu inductanțele notate L_k) și condensatori (având capacitățile C_k), de unde denumirea proprie de circuite RLC. Când sunt cuplate în serie, bobinele blochează frecvențele înalte, în timp ce condensatorii blochează frecvențele joase. Invers, la cuplarea în paralel, condensatorii opresc frecvențele joase, iar bobinele pe cele înalte. În funcție de rolul pe care-l au în circuit, filtrele aparțin uneia din următoarele clase:

- FTJ (filtru trece jos) lasă să treacă toate frecvențele sub frecvența de tăiere f_t
- FTS (filtru trece sus) lasă să treacă toate frecvențele peste frecvența de tăiere f_t
- FOB (filtru oprește bandă) lasă să treacă toate frecvențele mai mici decât frecvența f_{t1} și mai mari decât frecvența f_{t2} , cu $f_{t1} < f_{t2}$
- FTB (filtru trece bandă) lasă să treacă toate frecvențele cuprinse între f_{t1} și f_{t2} , cu $f_{t1} < f_{t2}$

Există mai multe variante tehnologice pentru a realiza un filtru de frecvențe, dar indiferent de tehnologia constructoare aleasă, există câțiva parametri comuni pentru toate filtrele:

a. Frecvența de tăiere a filtrului (frecvența critică) – este frecvența la care atenuarea filtrului scade cu 3dB. Filtrele FTJ și FTS au o singură frecvența de tăiere caracteristică f_t , în timp ce filtrele FOB și FTB au câte două (f_{t1} și f_{t2})

b. Banda de frecvență a filtrului B – pentru filtrele FTB și FOB se definește ca diferența între frecvența maximă de funcționare f_{t2} (frecvența înaltă) și cea minimă f_{t1} (frecvența joasă)

c. Factorul de calitate Q – se definește ca raportul între frecvența de rezonanță f_0 și banda de frecvență B a F.T.B și F.O.B.

d. Impedanța filtrului: măsurată la intrare Z_{in} sau la ieșirea din filtru Z_{out} .

La frecvențele mari ($>1\text{GHz}$) specifice domeniului microundelor, impedanțele caracteristice liniilor de legătură din circuit (proporționale cu frecvența) devin importante și vor avea același efect ca cel al unor bobine și condensatoare discrete (Figura 1). De aceea pentru a realiza un circuit de microunde nu este nevoie de folosirea unor componente electronice discrete (condensatoare, bobine, etc), fiind suficientă folosirea liniilor de circuit.

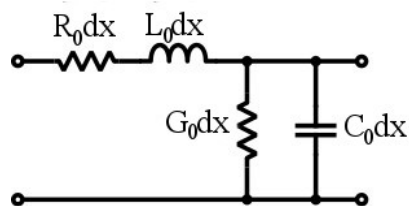


Figura 1. Efectele rezistive, inductive și capacitive ale unei linii de circuit de lungime dx .

Impedanța caracteristică unei linii de circuit (respectiv ghid de undă) se definește ca impedanța măsurată în direcția propagării unei unde directe, atunci când acel circuit se termină adaptat (nu se detectează prezența unei unde inverse). Formula pentru impedanța caracteristică a unui ghid de undă ce prezintă caracteristicile din Figura 1 (rezistența R_0 și inductanța L_0 a conductoarelor de legătură, respectiv conductanța G_0 și capacitatea C_0 a dielectricilor de separație, toate măsurate pe unitatea de lungime), se definește ca:

$$Z_c = \sqrt{\frac{R_0 + j\omega L_0}{G_0 + j\omega C_0}} \quad (1)$$

Atunci când putem neglija rezistența liniei de transmisie și conducanța dielectricului de separație (precum în cazul așa ziselor LFP - Linii Fără Pierderi), impedanța caracteristică a ghidului devine egală cu:

$$Z_c = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \quad (2)$$

Tot pe baza inductanței și capacității pe unitatea de lungime a ghidului putem calcula și viteza de propagare a radiației electromagnetice prin formula:

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} \quad (3)$$

Considerăm acum un astfel de ghid terminat pe o sarcină oarecare de impedanță Z_s , precum în Figura 2. Notăm cu $x=0$ coordonata sarcinii și considerăm axa x îndreptată de-a lungul ghidului, spre sursă. Pe măsură ce ne deplasăm de-a lungul axei x , impedanța pe care o măsurăm spre sarcină (Z_{in}) va varia. Acesta e un fenomen propriu ghidurilor de microunde, unde ghidul însuși acționează ca un element de circuit rezistiv sau reactiv, în funcție de constanta de atenuare a ghidului. În cazul general, impedanța Z_{in} măsurată în dreptul coordonatei x pe direcția sarcinii este egală cu:

$$Z_{in}(x) = Z_c \frac{Z_s + Z_c \tanh(\gamma x)}{Z_c + Z_s \tanh(\gamma x)} \quad (4)$$

În ecuația (4) γ reprezintă constanta de propagare a ghidului și este egală cu:

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)(G_0 + j\omega C_0)} \quad (5)$$

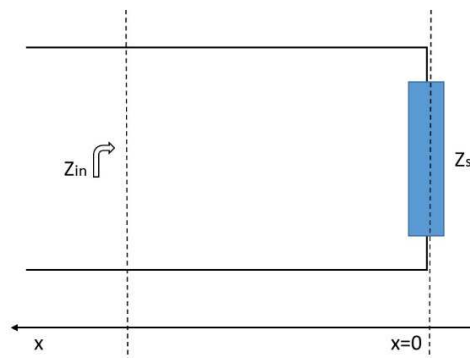


Figura 2. Linie de microunde terminată pe o sarcină de impedanță Z_s

Pentru un ghid fără pierderi, ecuația (5) se transformă în:

$$\gamma = j\beta = j\omega\sqrt{L_0C_0} = \frac{j\omega}{v_0} = j\frac{2\pi}{\lambda} \quad (6)$$

În ecuația (6) parametrul ω reprezintă pulsația, iar parametrul λ reprezintă lungimea de undă a radiației electromagnetice în ghid. Un alt parametru important în teoria propagării câmpului electromagnetic în ghidurile de microunde este coeficientul de reflexie $\Gamma(x)$, al cărui modul reprezintă raportul între amplitudinea undei inverse de tensiune și amplitudinea undei directe și a cărui fază reprezintă defazajul între cele două unde. Considerând $\Gamma(0)$ coeficientul de reflexie pentru poziția $x=0$, îl putem afla pe $\Gamma(x)$ prin una din cele două metode:

$$\Gamma(x) = \Gamma(0)e^{-2\gamma x} \quad (7.1)$$

$$\Gamma(x) = \frac{Z_{in}(x) - Z_0}{Z_{in}(x) + Z_0} \quad (7.2)$$

Exerciții:

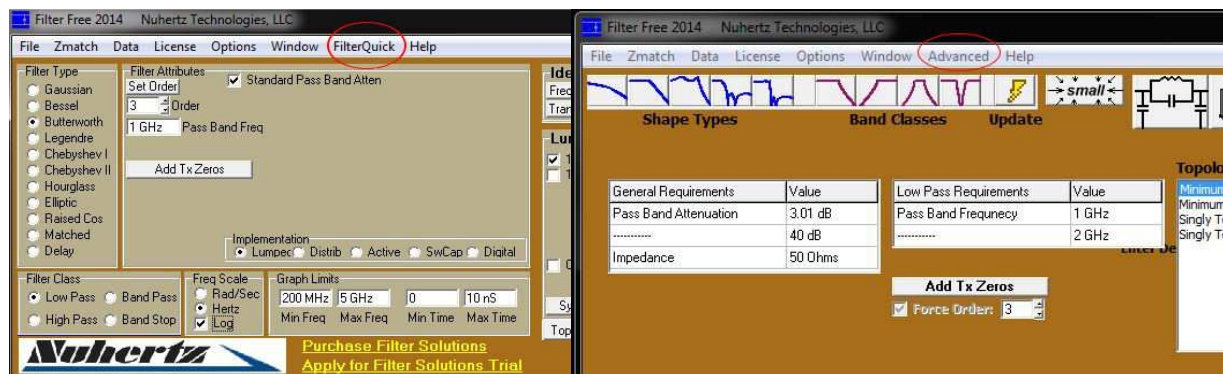
- 1.1. Particularizați calculul impedanței de intrare $Z_{in}(x)$ și a coeficientului de reflexie $\Gamma(x)$ pentru cazul unei linii fără pierderi (LFP).
- 1.2. Demonstrați că o linie de circuit terminată în gol este văzută la intrare ca un condensator, dacă lungimea ei este egală cu $\lambda/8$.
- 1.3. Demonstrați că o linie de circuit terminată în scurt este văzută la intrare ca o bobină, dacă lungimea ei este egală cu $\lambda/8$.

2. Proiectarea unui filtru cu Filter Free

Sunt multe programe software care pot fi utilizate de inginerul în domeniul telecomunicațiilor pentru proiectarea unui filtru. Cel mai complet software pentru proiectarea dispozitivelor (inclusiv filtrelor) ce lucrează în domeniul microundelor este CST Microwave Studio. Însă după cum am văzut în laboratorul trecut pentru cazul antenelor, timpul de învățare poate fi mult redus dacă apelăm la programe mai puțin complexe, care pornesc în proiectare de la câteva modele standard, pe baza cărora utilizatorul dezvoltă propriile aplicații. În această situație se află și aplicația Filter Free, o aplicație freeware pe care o vom folosi în acest laborator pentru proiectarea filtrelor ce lucrează în domeniul microundelor.

2.1. Reglarea modului de lucru

Aplicația Filter Free are două moduri de lucru: modul rapid (FilterQuick) și modul avansat (Advanced). Trecerea de la un mod de lucru la altul se realizează selectând comanda dedicată din meniu. Comanda se găsește lângă butonul Help (Figura 3). Modul de lucru rapid (Figura 3.b) este folosit pentru a simplifica sarcina proiectării unui filtru, făcând apel la topologiile cele mai folosite de filtre și la parametrii care nu necesită reglări avansate. În acest laborator vom lucra doar în modul de lucru avansat. Pentru a trece în acest mod, selectați comanda „Advanced” din meniu (Figura 3.b). Dacă această comandă nu apare pe meniu, înseamnă că programul lucrează deja în modul avansat.



a.

b.

Figura 3 Cele două moduri de funcționare ale programului Filter-Free: a. Modul avansat și b. Modul rapid

2.2. Alegerea tipului de filtru

Alegerea tipului de filtru se face în modul avansat folosind dialogul din partea stanga (Filter Type). Opțiunile disponibile sunt (Figura 4):

- Filtrul *Gaussian*: este filtrul al cărui răspuns la un impuls Dirac aproximează curba lui Gauss. Aceste filtre au un răspuns monoton la un semnal treaptă (fără overshoot). Sunt caracterizate de asemenea prin cel mai mic timp de propagare de grup (GTD – group time delay).
- Filtrul *Bessel*: este filtrul al cărui timp de propagare de grup (GTD) are cea mai mică variație în banda de trecere, conducând la cele mai puține distorsiuni ale semnalului filtrat. Datorită acestei proprietăți, filtrele de tip Bessel sunt cele mai utilizate în procesarea audio.
- Filtrul *Butterworth*: se caracterizează prin cea mai plată caracteristică de frecvență în banda sa de trecere, comparativ cu toate celelalte tipuri de filtre.
- Filtrul *Chebyshev* de tip I: este filtrul cu cea mai abruptă separare între banda de trecere și banda interzisă de frecvențe, însă spre deosebire de alte filtre, este lipsit de monotonie. Este ușor de recunoscut după mărimea ondulației (ripple) în banda de trecere a caracteristicii sale de frecvență. Filtrul Chebyshev are cel mai mare timp de propagare de grup.
- Filtrul cosinus-ridicat (*Raised-Cosine*) și filtrul adaptat (*Matched*): sunt filtrele ce se folosesc cu preponderență în zona comunicațiilor digitale, datorită abilității lor de a micșora interferența între simboluri.

2.3. Alegerea clasei filtrului

Clasa filtrului este selectată din dialogul din stânga jos (cf. Figura 4). Opțiunile disponibile sunt: FTJ (*Low Pass*), FTS (*High Pass*), FTB (*Band Pass*), FOB (*Band Stop*). O discuție mai amplă despre fiecare din aceste clase de filtre a fost prezentată în Secțiunea 1 a acestei lucrări.

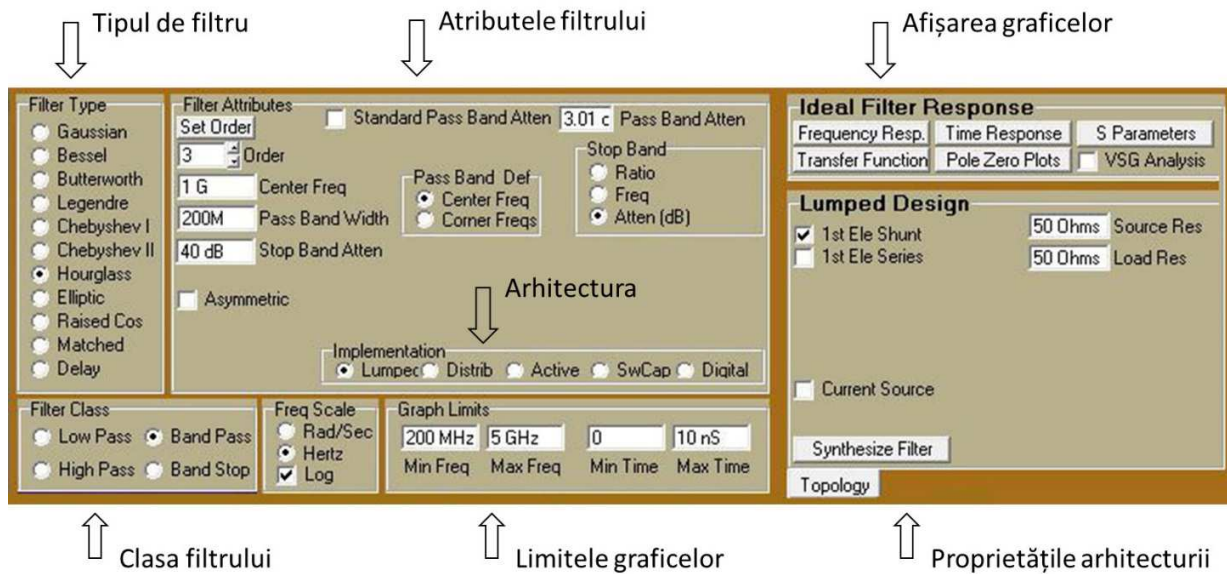


Figura 4. Dialogurile modului de lucru avansat (Filter Free)

2.4. Proprietățile graficelor

Fixarea proprietăților graficelor se face din dialogurile de jos. Scara frecvențelor poate fi setată în liniar sau logaritmic, iar unitatea de măsură a graficelor de frecvență poate fi aleasă între rad/s și $1/s$ (Hertz). Limitele graficelor (atât în frecvență, cât și în timp) pot fi setate în așa fel încât să conțină atât banda de trecere a filtrului, cât și o porțiune semnificativă din banda oprită.

2.5. Afișarea graficelor

Caracteristicile grafice ideale ale fiecărui tip de filtru pot fi afișate folosind comenzile din dialogul situat în partea dreaptă sus. Graficele reprezintă răspunsurile ideale (teoretice) ale fiecărui tip de filtru și nu reprezintă simulări ale filtrelor sintetizate de program. Din acest motiv, graficele sunt independente de arhitectura folosită. Comenzile disponibile în acest dialog sunt:

- **Frequency Response:** Afișează caracteristica de frecvență a filtrului. Pe graficul astfel creat, puteți să vizualizați, pe lângă variația amplitudinii cu frecvența (checkbox „Mag”) și variația fazei (checkbox „Phase”) sau a timpului de întârziere de grup (checkbox „Grp Delay”). Prin selectarea checkbox-ului „dB” este aleasă scara logaritmică pentru reprezentarea amplitudinilor, iar prin selectarea checkbox-ului „Deg” este preferată reprezentarea unghiurilor în grade (față de radiani). Prin selectarea checkbox-ului „Smith”, reprezentarea răspunsului în frecvență va fi făcută pe o diagramă Smith. Odată construită această diagramă, putem schimba reprezentarea ei din planul impedanței (checkbox „Zgrid”) în planul admitanței (checkbox „Ygrid”).
- **Time Response:** Pe acest grafic poate fi afișat răspunsul în domeniul timp al filtrului la un semnal treaptă (checkbox „Step”), la un semnal rampă (checkbox „Ramp”) sau la un semnal impuls (checkbox „Impulse”).

- *S Parameters*: Această comandă activează reprezentarea variației cu frecvența a coeficientului de reflexie S_{11} (checkbox „ S_{11} ”), respectiv transmisie S_{21} (checkbox „ S_{21} ”). Reprezentările celor doi parametri pot fi făcute pe o diagramă Smith în mod analog cu ce a fost explicat pentru cazul caracteristicii de frecvență.
- *Transfer Function*: Această comandă afișează formula matematică (analitică) a funcției de transfer a filtrului. Polinomul de la numitorul funcției de transfer are gradul egal cu ordinul filtrului.
- *Pole Zero Plots*: Pe graficul afișat cu această comandă putem observa locația polilor funcției de transfer. Axa Ox reprezintă partea reală a unui număr complex, iar Oy partea imaginară.

2.6. Fixarea atributelor filtrului

Cele mai utile atribute ale filtrelor pe care utilizatorul le poate regla sunt:

- *Order*: Ordinul filtrului. Arată gradul polinomului de la numitorul funcției de transfer, precum și numărul de poli al acestei funcții.
- *Pass Band Freq*: Pentru filtrele din clasele FTJ și FTS, această mărime indică frecvența de tăiere f_t .
- *Center Freq*: Pentru filtrele din clasele FTB și FOB, această mărime indică frecvența centrală a benzii de trecere, respectiv blocate.
- *Pass Band Width*: Pentru filtrele din clasele FTB și FOB, această mărime indică lățimea benzii de frecvențe B a filtrului, unde $B = f_{t2} - f_{t1}$.
- *Pass Band Def*: Pentru filtrele FTB și FOB, în acest chenar se poate alege dacă descrierea benzii de frecvențe să fie făcută prin intermediul frecvenței centrale și lățimii benzii (checkbox „Center Freq”) sau prin intermediul frecvențelor de tăiere f_{t1} și f_{t2} .
- *Pass Band Atten*: Fixează diferența (în dB) dintre amplitudinea corespunzătoare frecvenței centrale din banda de frecvențe și amplitudinea frecvenței de tăiere (f_t). Pentru filtrele FTJ și FTS frecvența centrală se consideră a fi nulă.

2.7. Arhitectura

În interiorul dialogului ce fixează parametrii cei mai importanți ai filtrelor, apare un dialog secundar destinat alegerii modului de implementare a filtrului. Opțiunile de bază ale acestui dialog sunt:

- *Lumped*: implementarea filtrului va fi făcută pe bază de componente discrete.
- *Distrib*: filtrul va avea o arhitectură distribuită, fiind realizat pe bază de linii de transmisie. Aceasta este arhitectura pe care o vom utiliza pentru a realiza filtre de microunde.
- *Active*: implementează filtre pe bază de amplificatoare operaționale (OpAmp).

2.8. Proprietățile arhitecturii

Fiecare metodă de implementare are proprietățile ei caracteristice. Așadar, partea aceasta a ferestrei aplicației se schimbă în funcție de arhitectura selectată la pasul precedent (Secțiunea 2.7). Pentru scopul acestei lucrări, vom discuta doar proprietățile reglabile în modul de implementare distribuit (butonul „*Distrib*” trebuie să fie selectat în Figura 4). Dialogul pentru

reglarea proprietăților arhitecturii apare sub comenzile de afișare a graficelor și este afișat în Figura 5.

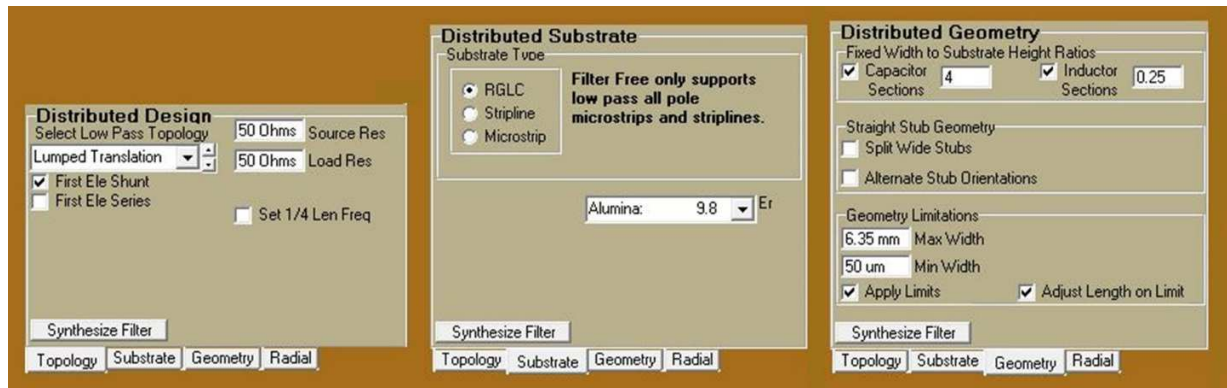


Figura 5. Proprietățile arhitecturii distribuite (Filter Free)

Cei mai importanți parametri care pot fi setați în ferestrele (taburile) acestui dialog, sunt:

- *Synthesize Filter*: sintetizează și afișează filtrul proiectat.
- *First Ele Shunt*: se bifează dacă se dorește afișarea unei soluții pentru care primul segment după generator este o linie de adaptare (shunt stub).
- *First Ele Series*: se bifează dacă se dorește afișarea celei mai scurte soluții (neadaptate)
- *Combine Stubs*: reduce numărul de segmente de linie prin cuplarea rezonatorilor de tip LC într-un singur segment.
- *Source Res*: se trece valoarea rezistenței sursei.
- *Load Res*: se trece valoarea rezistenței folosite ca sarcină (rezistența care va culege semnalul filtrat). Dacă se dorește folosirea unei sarcini de rezistență foarte mare sau punerea filtrului în gol, se va completa „Inf” în interiorul căsuței de text.
- *1/4 Len Freq*: La selectarea opțiunii „Set 1/4 Len Freq” va apărea o căsuță de text în care se va putea trece valoarea frecvenței pentru care segmentele terminate în gol se vor comporta ca și cum ar fi terminate în scurt și vice-versa.
- *Select ... Topology*: Alege metoda de sinteză. Prin selectarea „Lumped Translation” se vor folosi doar linii de circuit în sinteză. Prin selectarea „Inductor Translation” se vor putea folosi, alături de liniile de circuit, și condensatoare discrete.
- *Substrate Type*: Acest dialog, disponibil în tabul „Substrate”, permite definirea ghidului fie prin parametrii săi RGLC (cf Secțiunii 1 a acestei lucrări), fie sub forma unei linii microstrip.
- *Er*: Permite definirea permitivității relative a materialului folosit ca dielectric în ghid.

2.9. Afișarea filtrelor sintetizate

Imediat după apăsarea butonului „Synthesize Filters” schema soluției va fi afișată sub formă de segmente de linii, precum în Figura 6. În dreptul fiecărui segment putem vedea informațiile sale constructive, precum impedanța caracteristică (Z_0) și lungimea lui (Len). Dacă suntem interesați de valorile exacte ale inductanței și capacității pe unitatea de lungime, putem bifa căsuța „Other Info” din meniul schemei.

RLGC Filter

Er = 9.800 (Alumina)

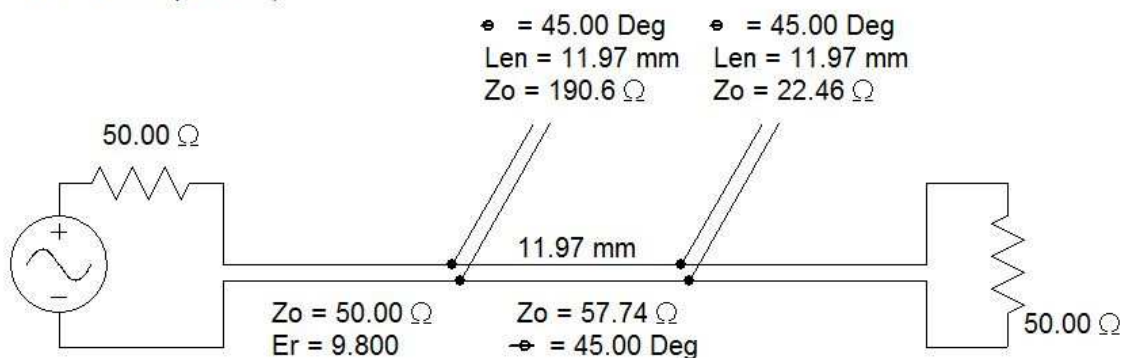


Figura 6. Schema unui filtru FTJ (cu o frecvență de tăiere de 1GHz) sintetizat cu Filter Free

O altă facilitate a programului apare în meniul figurii atunci când generăm filtre în tehnologia microstrip. Într-adevăr, pentru aceste circuite, selectarea comenzii „Layout View” transformă reprezentarea din linii de transmisie în schema layout-ului, precum în Figura 7. Informațiile referitoare la lățimile și înălțimile exacte ale fiecărui segment de pe layout se pot găsi doar dacă deselectionăm căsuța „Layout View” și revenim la reprezentarea prin linii de transmisie, unde este suficient să notăm valorile parametrilor „Wid”, respectiv „Len”.

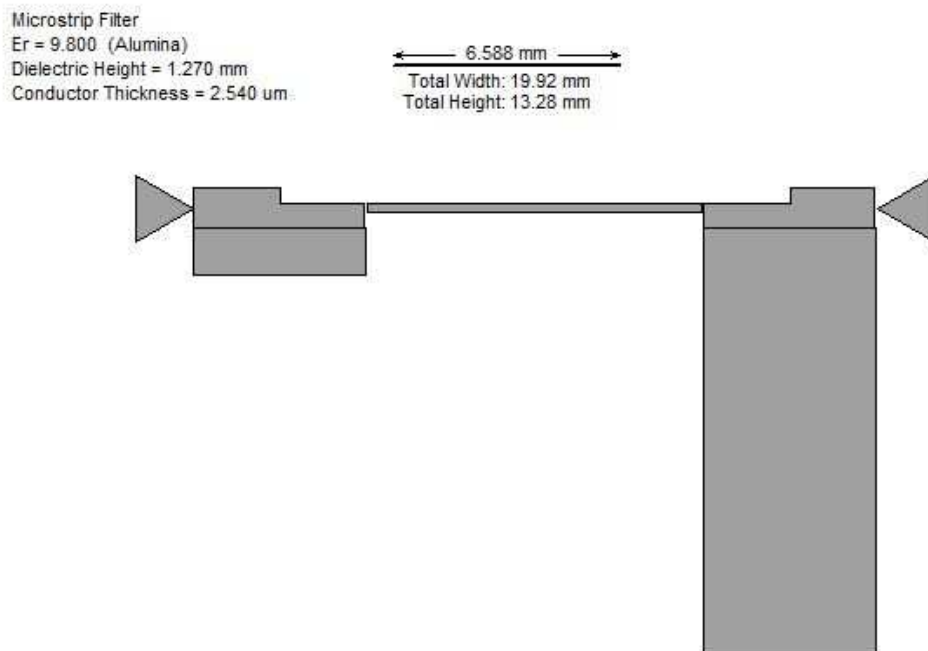


Figura 7. Reprezentarea unui filtru FTJ în tehnologia microstrip. Filtrul are o frecvență de tăiere de 1GHz și a fost sintetizat cu Filter Free

Exerciții:

2.10. Desenați pe același grafic răspunsul în timp la un semnal treaptă, răspuns corespunzător filtrelor FTJ de tip Gaussian și Butterworth de ordin 3. Care dintre ele are cel mai mic overshoot? Care dintre ele este mai plat (constant) în banda de trecere?

2.11. Comparați pe același grafic GTD-ul (timpul de propagare de grup) pentru filtrele FTJ de tip Bessel și Butterworth de ordin 3. Care dintre ele prezintă cele mai puține distorsiuni pentru un semnal de bandă largă?

2.12. Desenați pe același grafic caracteristicile de frecvență pentru filtrele FTJ de tip Chebyshev I și Gauss de ordin 3. Care dintre ele are cea mai abruptă coborâre între banda de trecere și banda interzisă?

2.13. Cum vă explicați forma caracteristicii de frecvență a unui filtru FTJ proiectată pe diagrama Smith? Dar pentru un filtru FTS, respectiv FTB?

3. Desfășurarea lucrării

3.1. Proiectați un FTJ Gaussian de ordin 2, cu frecvența de tăiere de 10GHz, folosind doar linii de transmisie, în varianta cu tronson de adaptare (shunt).

- A. Desenați caracteristica de frecvențe pentru un astfel de filtru. Fixați limita superioară a graficului la 50GHz și limita inferioară la 200MHz.
- B. Proiectați în paralel un FTJ identic din punct de vedere funcțional, dar folosind elemente discrete. În ce constă dificultatea de a realiza un asemenea FTJ folosind doar componentele discrete?
- C. Revenind la schema cu linii de transmisie, calculați impedanța de intrare în shunt la frecvența de 1GHz. Este reactanța sa de ordin capacitiv sau inductiv?
- D. Care este viteza de propagare a câmpului electromagnetic în tronsonul de adaptare (shunt)? Dar în tronsonul de linie ce precede imediat sarcina?
- E. Pe care tronson lungimea de undă a câmpului electromagnetic este cea mai mică? Justificați răspunsul.
- F. Demonstrați că pentru frecvențe radio (sub 300MHz) lungimea de undă a radiației este mult mai mare decât lungimea tronsoanelor de linii.
- G. La ce frecvență reactanța tronsonului de linie terminat în gol este egală cu reactanța elementului de circuit cu rol analog din schema FTJ-ului realizat cu elemente discrete?
- H. Cât ar trebui prelungită linia terminată în gol pentru a inversa semnul reactanței măsurate la intrarea sa? Ce schimbare trebuie produsă în schema FTJ-ului cu elemente discrete pentru a se obține același efect?

3.2. Proiectați un FTS Bessel de ordin 2, cu frecvența de tăiere de 3GHz, folosind doar linii de transmisie, în varianta cu tronson de adaptare (shunt).

- A. Desenați caracteristica de frecvențe pentru un astfel de filtru. Fixați limita superioară a graficului la 50GHz și limita inferioară la 200MHz.

- B. Proiectați în paralel un FTS identic din punct de vedere funcțional, dar folosind elemente discrete. In caz că aplicația de sinteză generează mai multe soluții, alegeți-o pe cea cu bobina ce are inductanța cea mai mică.
 - C. Revenind la schema cu linii de transmisie, calculați impedanța de intrare în shunt la frecvența de 5GHz. Este reactanța sa de ordin capacitiv sau inductiv?
 - D. Care este viteza de propagare a câmpului electromagnetic în tronsonul de adaptare (shunt)? Dar în tronsonul de linie ce precede imediat sarcina?
 - E. Pe care tronson lungimea de undă a câmpului electromagnetic este cea mai mică? Justificați răspunsul.
 - F. Verificați dacă pentru frecvențe mici (sub 5GHz) lungimea de undă a radiației este mai mare decât lungimea fiecărei linii de transmisie.
- 3.3.** Proiectati un FTB Butterworth de ordin 1, neadaptat, cu frecvența centrală de 2GHz și o bandă de trecere de $B=200\text{MHz}$, folosind doar linii de transmisie.
- A. Desenați caracteristica de frecvențe pentru un astfel de filtru. Fixați limita superioară a graficului la 10GHz și limita inferioară la 200MHz.
 - B. Care este impedanța de intrare în filtru la frecvența centrală?
 - C. Care este viteza de propagare a câmpului electromagnetic prin linia de transmisie?
 - D. Verificați dacă pentru frecvența centrală lungimea de undă a radiației este mai mare decât lungimea liniei de transmisie.

LUCRAREA NR. 3

SIMULAREA CIRCUITELOR DE MICROUND E CU OrCAD

1. Modelul echivalent al liniei de circuit

O linie de circuit de lungimea atât de mică încât faza radiației electromagnetice care se propagă prin linie să fie aceeași de-a lungul acesteia, poate fi echivalată cu un circuit precum cel din Figura 1a. Liniile metalice de legătură formate din cei doi conductori paraleli vor fi aproximați de o rezistență serie pe unitatea de lungime notată R_0 și de o inductanță pe unitatea de lungime L_0 . Dielectricul dintre cei doi conductori este aproximat prin mărimile G_0 (conductanța pe unitatea de lungime) și C_0 (capacitatea pe unitatea de lungime). O linie de circuit de lungime mare poate fi echivalată (Figura 1b) cu o serie de elemente precum cel din Figura 1a, cu singura condiție ca lungimea elementelor să fie aleasă astfel încât să fie respectată condiția de fază constantă. Aceasta înseamnă că pentru a reprezenta corect propagarea la frecvențe mari (lungimi de undă mici) este necesar să divizăm linia de circuit în mai multe elemente decât pentru a reprezenta propagarea la frecvențe mici (lungimi de undă mari). Rezultă de asemenea că lungimea dx a elementelor serie va tinde spre zero atunci când frecvența de lucru va crește.

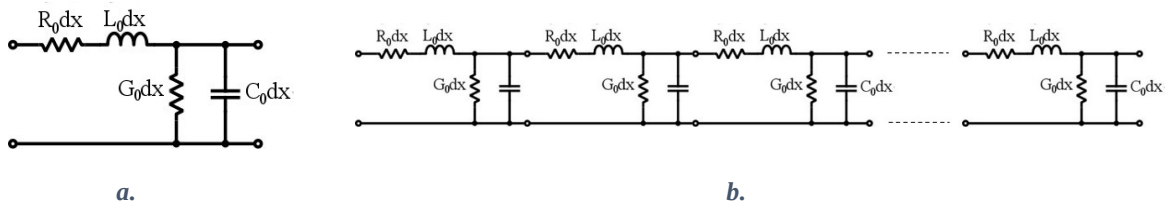


Figura 1. Circuitul echivalent unei linii de circuit de lungime dx (a) și cuplarea mai multor astfel de elemente în serie pentru a forma o linie de circuit (b)

Am văzut în lucrarea trecută că impedanța caracteristică a unei linii de circuit se definește ca impedanța măsurată pe linie în direcția propagării unei unde directe, atunci când acel circuit se termină adaptat (nu se detectează prezența unei unde inverse). Formula pentru impedanța caracteristică a unui element echivalent de circuit precum cel din Figura 1 este scrisă în ecuația (1), unde parametrul ω reprezintă pulsația (care este de 2π ori mai mare decât frecvența):

$$Z_c = \sqrt{\frac{R_0 + j\omega L_0}{G_0 + j\omega C_0}} \quad (1)$$

Cum linia de circuit este formată dintr-o serie de elemente identice între ele, atunci formula (1) reprezintă nu doar impedanța caracteristică a unui singur element serie, ci și impedanța caracteristică a întregii linii.

Notând cu γ constanta de propagare a radiației electromagnetice atât în elementul serie din Figura 1, precum și în întreaga linie de circuit, atunci:

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)(G_0 + j\omega C_0)} \quad (2)$$

În formula (2) α reprezintă constanta de atenuare, iar β reprezintă constanta de fază. Considerăm acum o astfel de linie de circuit terminată pe o sarcină oarecare de impedanță Z_s . Notăm cu $x=0$ coordonata sarcinii și considerăm axa x îndreptată de-a lungul ghidului, spre sursă. Pe măsură ce ne deplasăm de-a lungul axei x , impedanța totală pe care o măsurăm spre sarcină (Z_{in}) va varia după formula:

$$Z_{in}(x) = Z_c \frac{Z_s + Z_c th(\gamma x)}{Z_c + Z_s th(\gamma x)} \quad (3)$$

O altă mărime interesantă este coeficientul de reflexie $\Gamma(x)$ din punctul x , care este definit ca raportul dintre amplitudinea undei directe (ce se îndreaptă spre sarcină) și cea a undei inverse, ce se îndreaptă spre generator, conform (4.1). Formula (4.2) leagă coeficientul de reflexie de toate mărimile definite anterior.

$$\Gamma(x) = \frac{U^-(x)}{U^+(x)} \quad (4.1)$$

$$\Gamma(x) = \frac{Z_{in}(x) - Z_0}{Z_{in}(x) + Z_0} = \Gamma(0)e^{-2\gamma x} \quad (4.2)$$

Se observă din formulele (3) și (4.2) că putem cunoaște în întregime mărimile $\Gamma(x)$ și $Z_{in}(x)$ dacă știm valorile lui Z_c și γ , care la rândul lor sunt perfect definite prin formulele (1) și (2) dacă știm valorile mărimilor R_0 , L_0 , G_0 și C_0 ce caracterizează linia, precum și valoarea frecvenței radiației electromagnetice generate de sursă. Pentru că distanța față de sarcină este de asemenea un parametru important în formulele (3) și (4), un model complet al linei trebuie să conțină și lungimea acesteia printre parametri.

Atunci când putem neglija rezistența conductorilor liniei și conducența dielectricului de separație (precum în cazul așa ziselor LFP - Linii Fără Pierderi), ajungem la formulele simplificate ale modelului liniei de transmisie:

$$Z_c = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \quad (1')$$

$$\gamma = j\beta = j\omega\sqrt{L_0C_0} = \frac{j\omega}{v_0} = j\frac{2\pi}{\lambda} \quad (2')$$

$$Z_{in}(x) = Z_c \frac{Z_s + jZ_c tg(\beta x)}{Z_c + jZ_s tg(\beta x)} \quad (3')$$

$$\Gamma(x) = \frac{Z_{in}(x) - Z_0}{Z_{in}(x) + Z_0} = \Gamma(0)e^{-2j\beta x} \quad (4.2')$$

Toate formulele corespunzătoare cazului liniei fără pierderi (1', 2', 3', 4.2'), au fost obținute prin înlocuirea în formulele generale (1, 2, 3, 4.2) a parametrilor R_0 și G_0 cu zero. Tot pe baza inductanței și capacității pe unitatea de lungime a ghidului putem calcula și viteza de propagare a radiației electromagnetice într-o linie fără pierderi prin formula:

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0C_0}} \quad (5)$$

2. Simularea unui circuit de microunde în OrCAD

OrCAD este cel mai complet pachet software de simulare a tuturor tipurilor de circuite electronice (analogice sau digitale, la frecvențe reduse sau înalte, folosind componente discrete, integrate sau distribuite) având cea mai completă librărie de modele dintre toate programele de acest gen. Folosind două din suita de programe oferită de pachetul OrCAD, vom simula în această lucrare de laborator funcționarea circuitelor de microunde realizate pe bază de linii de transmisie. Cele două programe pe care le vom folosi sunt Capture CIS și PSpice AD. Ambele programe sunt disponibile și în versiunea demonstrativă (pentru studenți) a pachetului OrCAD, care poate fi downloadată și instalată gratuit de pe site-ul companiei. Limitările versiunii demo constau în numărul maxim de componente pe care le vom putea folosi în fiecare circuit.

În această lucrare de laborator vom învăța de la zero cum putem realiza un proiect OrCAD pentru testarea liniilor de microunde. La finalul secțiunii a doua va trebui să avem pe planșa de lucru o schemă precum cea din Figura 2. Simulările pe care le vom face asupra acestei scheme vor fi atât în domeniul temporal, cât și în domeniul frecvență. După terminarea acestui proiect, vom testa ce am învățat prin implementarea câtorva modele de filtre de microunde în secțiunea a treia.

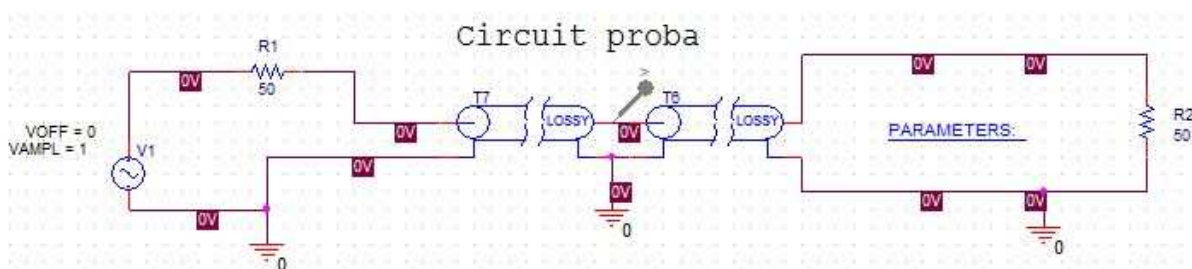


Figura 2. Primul proiect: schema de test a unui circuit de microunde realizat cu linii de transmisie.

2.1. Deschiderea unui nou proiect

Deschideți aplicația Capture CIS a pachetului OrCAD și deschideți un nou proiect folosind comanda din meniu „File | New | Project...”. În fereastra de dialog care se deschide dați un nume proiectului („Circuit proba” de exemplu) și alegeți opțiunea „Analog or Mixed A/D”. În casuța de dialog de jos, alegeți o locație pe disc pentru proiect (de exemplu „...\\Desktop\\LabNr3”). Chiar dacă folderul ales nu există pe disc la locația respectivă (în cazul de față folderul „LabNr3” nu există pe „Desktop”) acesta va fi creat automat de către program la deschiderea proiectului. După apăsarea butonului „Ok” va apărea o nouă fereastră de dialog în care avem posibilitatea să alegem un alt proiect pre-existent drept model de plecare pentru noul nostru proiect. Vom alege opțiunea „Create a blank project” și vom apăsa butonul „Ok”.

Următoarea pagină afișată reprezintă planșa schemei. Pentru a putea vedea întreaga structură de fișiere a proiectului o putem face din meniul „Window”, selectând fișierul rădăcină al proiectului, cel care are terminația „.opj” (în cazul nostru „Circuit proba.opj”). Revenirea la schema proiectului se poate face din același meniu „Window”. Pe lângă fișierul (având extensia .dsn) care conține schema, un proiect OrCAD va conține și resursele proiectului, ce constau din fișierele cu librăriile de modele ale componentelor folosite și din fișierele cu profilurile simulărilor

pe care le vom rula asupra schemei. Despre fișierul schematic vom vorbi în secțiunea 2.2, iar despre profilurile simulărilor în secțiunea 2.3. Cât despre librăriile de modele ale componentelor (fișiere ce au terminația *.olb*), în proiectul de față vom folosi doar modelele standard ale componentelor, incluse toate în versiunea demonstrativă a OrCAD.

2.2. Schema proiectului

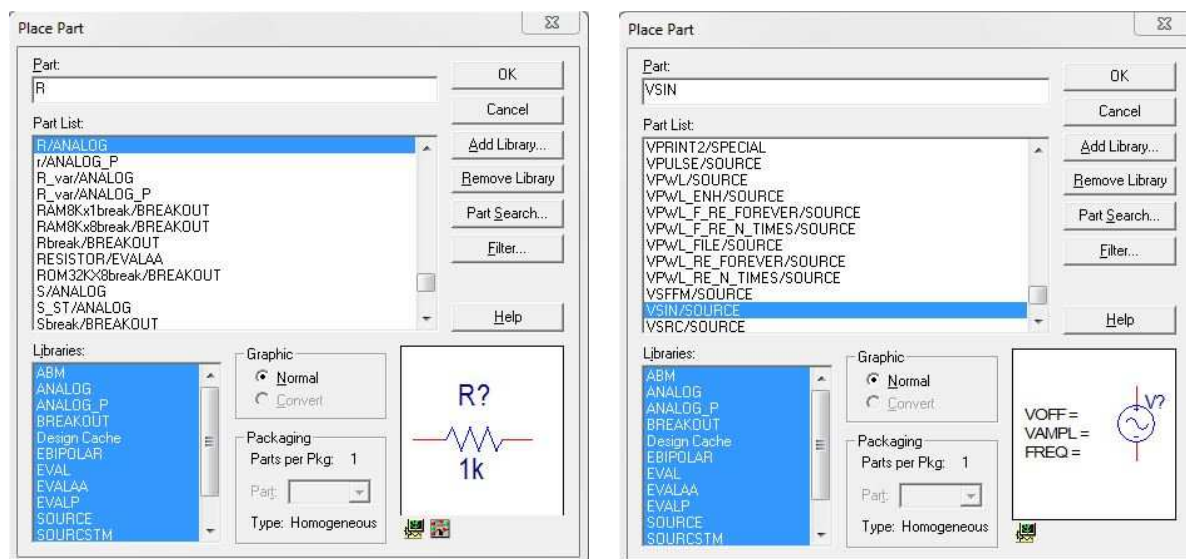
Schema proiectului, inclusă în fișierul schematic (în cazul nostru „Circuit proba.dsn”), este desenată cu ajutorul barei de instrumente din Figura 3. Pentru proiectul de față vom folosi doar o mică parte din instrumentele disponibile. Nu vă faceți griji dacă bara de instrumente nu apare la început precum în Figura 3. Aceasta este fixată inițial în partea dreaptă a planșei de lucru, în poziție verticală. Ulterior poate fi mutată în orice poziție convine mai mult utilizatorului. Pentru a nu ocupa prea mult spațiu în prezentarea acesteia, bara de instrumente apare în Figura 3 în poziție orizontală.

Primul pas este acum așezarea tuturor componentelor pe planșa de lucru. Să începem cu rezistoarele. Se deschide librăria de componente (apăsând iconița corespunzătoare din Figura 3 – a doua de la stânga la dreapta). Noul dialog care se deschide va arăta ca în Figura 4. Pentru a adăuga un rezistor se caută componenta notată cu „R/ANALOG” și se selectează. Dialogul se închide cu butonul „Ok”. În cazul în care nu puteți găsi componenta în listă înseamnă că nu toate librăriile de modele disponibile sunt încărcate. Pentru a adăuga toate modelele disponibile în versiunea demonstrativă putem folosi butonul „Add Library” (Figura 4a). Adăugați în listă toate fișierele *.olb* găsite în folderul „Locație_OrCAD/tools/capture/library/”. Înlocuiți „Locație_OrCAD” cu amplasamentul de pe disc al pachetului OrCAD.

Imediat după ieșirea din dialogul de selecție a componentelor, veți putea observa că în dreptul cursorului mouse-ului va apărea forma componentei selectate. Pentru a fixa pe planșă o nouă componentă de tipul celei selectate, este suficient să apăsați cu mouse-ul în locul dorit. Puteți adăuga oricâte componente de același tip doriți, componenta selectată rămânând atașată de cursor până la apăsarea butonului „Esc” sau până la selectarea unui tip diferit de componentă. O componentă poate fi rotită prin apăsarea tastei „r”. Puteți observa că în cazul componentei „R/ANALOG”, de fiecare dată când adăugăm un nou rezistor pe planșă, acesta va avea valoarea predefinită de 1k Ω . După fixarea tuturor rezistoarelor în schemă (în Figura 2 sunt doar două astfel de componente) putem modifica această valoare predefinită printr-un dublu-click pe valoarea rezistenței folosind unealta de selecție (prima unealtă de la stânga la dreapta în Figura 3). În noul dialog care se deschide va trebui să schimbăm valoarea predefinită de 1k cu cea de 50 afișată în Figura 2. La fel putem modifica numele în schema al rezistorului printr-un dublu-click pe acesta (îl putem de exemplu denumi „Rezistor sursă” în loc de „R1”).



Figura 3. Bara cu instrumentele de desenare a schemei (Capture CIS), pe care sunt marcate toate uneltele pe care le vom folosi în proiectul curent.



a.

b.

Figura 4. Dialogul de adăugare a unei componente de circuit din librăriile cu modele Spice: a. adăugarea unui rezistor; b. adăugarea unui generator de semnal sinusoidal

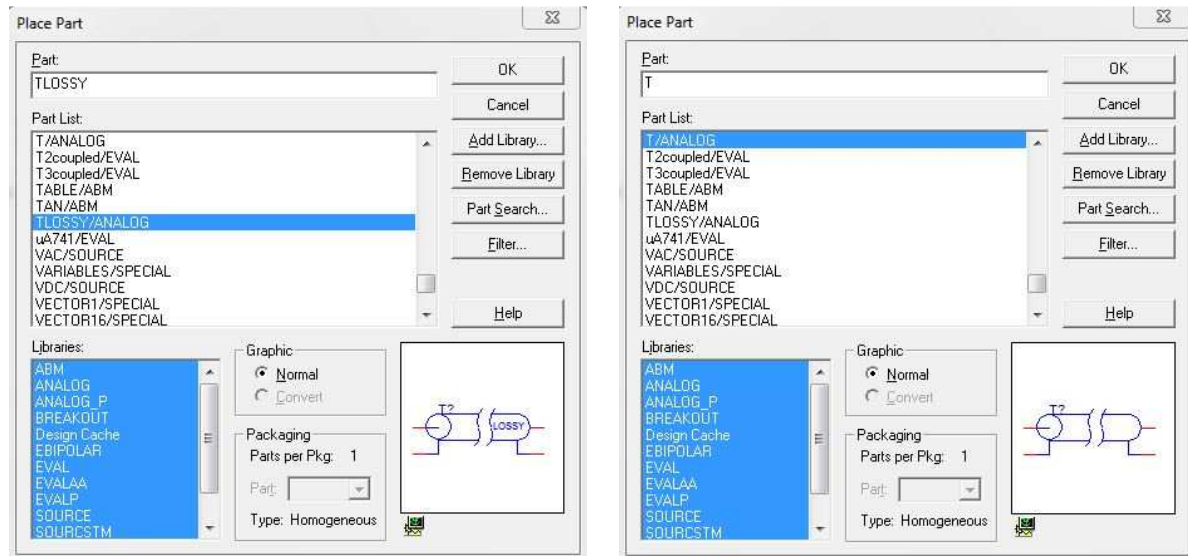
Pentru a adăuga în schemă un generator de semnal sinusoidal precum în Figura 2, avem nevoie să căutăm în lista de componente numele „VSIN/SOURCE” al componentei, analog cu pașii pe care i-am urmat pentru a adăuga rezistoarele. După adăugarea componentei, se folosește unealta de selecție pentru a schimba amplitudinea semnalului generat ($V_{AMPL}=1$), frecvența sa ($FREQ=1G$) și offsetul ($VOFF=0$).

Toate dimensiunile pe care le dăm mărimilor fizice în OrCAD se consideră exprimate în S.I. Pe lângă o valoare numerică putem adăuga și un prefix care să reprezinte ordinul de mărime al unității de măsură: p-pico, n-nano, u-micro, m-mili, k-kilo, meg-mega, g-giga. OrCAD nu este sensibil la capitalizarea textului (case-insensitive) așadar prefixele „m” și „M” reprezintă ambele 10^{-3} , iar 10^6 poate fi scris fie ca „meg”, fie ca „MEG”. O frecvență de 1GHz va fi scrisă așadar ca „1G”, iar o amplitudine de 1V ca „1”.

Putem modifica toate aceste mărimi și din foaia componentei. Putem activa fereastra dedicată printr-un dublu-click pe componentă însăși. De exemplu, pentru a modifica toate proprietățile sursei de semnal sinusoidal (nu doar cele 3 afișate în schemă) vom deschide foaia sursei de semnal care va arăta ca în Figura 5. Majoritatea componentelor, inclusiv sursa de semnal, au tabele de proprietăți ce depășesc lungimea paginii. Este nevoie să vă folosiți de scroll pentru a le putea modifica pe toate. Este indicat ca pentru sursele de semnal, valoarea mărimii pe care o introduceți pentru „AC” (prima proprietate din tabel) să coincidă cu valoarea lui „VAMPL” (penultima proprietate din tabel).

New Column...		Apply	Display...	Delete Property	Filter by:	< Current properties >					Help			
1	+	SCHEMATIC1 : PAGE1 : V1	AC	Color	DC	Designator	DF	FREQ	Graphic	ID	Implementation	Implementation Path	Implementation Type	Location X-Co
1	+	SCHEMATIC1 : PAGE1 : V1	1	Default	0		0	1G	VSIN.Normal				PSpice Model	300

Figura 5. Foaia ce caracterizează sursa de semnal sinusoidal VSIN/SOURCE



a.

b.

Figura 6. Dialogul de adăugare a unei linii de transmisie: a. adăugarea unei linii cu pierderi; b. adăugarea unei linii fără pierderi

Pentru a ieși din foaia componentei și a vă întoarce la schemă este nevoie să faceți modificarea necesară în meniul Window, analog cu felul în care făceați trecerea de la fișierul de proiect la schemă. Odată întorși pe pagina schemei, adăugați două linii de transmisie cu pierderi, poziționate precum în Figura 2. În versiunea demonstrativă a OrCAD există două modele de linii de transmisie. În figura 6a este reprezentat modul de adăugare a tipului de linie pe care-l vom folosi în acest proiect (TLOSSY/ANALOG). Acesta este modelul bazat pe parametri R_0 , L_0 , G_0 și C_0 descris în prima parte a lucrării. În figura 6b putem observa un al doilea model de linie, un model simplificat, bazat însă pe alți parametri descriptivi, pe care de aceea nu-l vom folosi în această lucrare de laborator.

Adăugați așadar pe planșa de lucru două linii de transmisie de tipul TLOSSY/ANALOG precum în Figura 2. Deschideți foile proprietăților ambelor linii de transmisie și setați proprietățile liniilor în felul următor:

- prima linie (cea dinspre sursă): $Len = 0.5$ (lungimea: 0,5m); $C = 208p$ ($C_0=208pF$); $L = 522.1n$ ($L_0=522,1nH$); $R=0$ ($R_0=0\Omega$); $G=0$ ($G_0=0S$).
- a doua linie (cea dinspre sarcină): $Len = 0.1$ (lungimea: 0,1m); $C = 208p$ ($C_0=208pF$); $L = 522.1n$ ($L_0=522,1nH$); $R=0$ ($R_0=0\Omega$); $G=0$ ($G_0=0S$).

Pentru a completa schema din Figura 2 a mai rămas așadar să plasați doar firele de legătură și legăturile la masă. Dialogul ce prezintă tipurile disponibile de legături la masă este activat prin apăsarea cu mouse-ul pe iconița dedicată din Figura 3. Dintre toate opțiunile disponibile, alegeți-o pe cea care poartă numele de „0/SOURCE”. Dintre toate variantele disponibile, aceasta este singura legătură la masă compatibilă cu sursa de semnal sinusoidal. Este nevoie să o plasați în trei puncte diferite ale circuitului, la sursă, între cele două linii și la sarcină. Această nevoie apare datorită felului în care este modelată în OrCAD o linie de transmisie. Dacă liniile de transmisie nu ar fi fost prezente în circuit, ar fi fost suficient o singură legătură la masă pentru toată schema.

Firele de legătură între componente sunt plasate cu ajutorul mouse-ului, după selecția căsuței dedicate din bara de instrumente (Figura 3). Puteți imprima orice indicație doriți pe schemă

folosind unealta text din bara de instrumente (Figura 3). In final schema dumneavoastra trebuie să arate ca cea din Figura 2. Nu vor apărea deocamdată în schema dumneavoastra nici linia de text albastră „PARAMETERS:” și nici potențialele diferitelor puncte de interes din circuit (căsuțele mov din Figura 2).

2.3. Simularea schemei

Bara de comenzi situată deasupra planșei de lucru (Figura 7) face legătura între aplicația Capture CIS și PSpice A/D. In prima dintre ele am realizat schema, iar pe cea de a doua o vom folosi pentru a testa schema noastră sub diferite configurații de test. Bara de comenzi din Figura 7 ne ușurează munca, permițându-ne să comandăm simulatorul PSpice direct din schemă. Pentru a crea un nou tip de simulare, trebuie să alegem căsuța dedicată din Figura 7 („*New Simulation Profile*” - prima căsuță de la stânga). In noul dialog care se deschide este suficient să dăm un nume simulării (de exemplu „*proba1*”) și să apăsăm comanda „*Create*”. Numele dat aici va ocupa pe viitor o poziție in meniul derulant de la stânga barei de comenzi din Figura 7.

După apăsarea butonului „*Create*” va apărea o nouă fereastră de dialog, de data aceasta destinată stabilirii proprietăților simulării. Pe viitor aceeași fereastră poate fi apelată folosind căsuța „*Edit Simulation Settings*” (a doua căsuță din Figura 7).

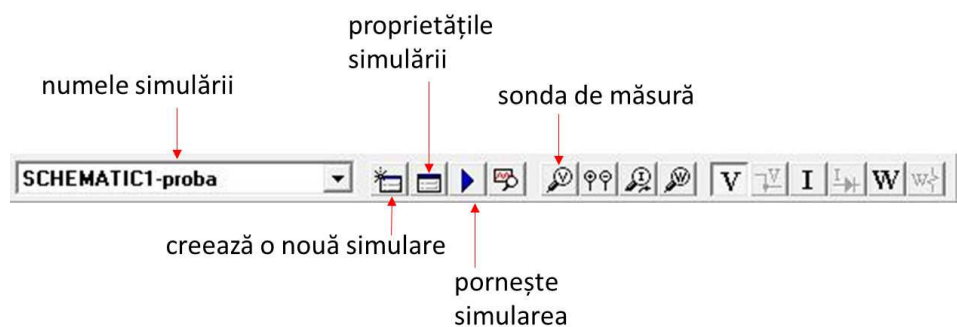


Figura 7. Meniul care leagă aplicația Capture CIS de simulatorului PSpice A/D

Cele două categorii de simulări pe care le vom realiza în această lucrare sunt cele în domeniul timp și cele în domeniul frecvență. O simulare în domeniul temporal (Figura 8a) urmărește variația potențialului unui punct din circuit un anumit interval de timp (parametrul „*Run to Time*”). Inregistrarea rezultatelor nu se va face însă pe tot acest interval de timp monitorizat, ci doar pe sfârșitul acestui interval, după trecerea unui alt reper de timp (parametrul „*Start saving data after*”). Ultimul parametru ce trebuie fixat pentru o simulare în domeniul timp este „*Maximum step size*”, care stabilește care să fie pasul maxim de timp pe care algoritmul de simulare poate să îl folosească. Acest parametru permite așadar o stabilire indirectă a numărului minim de puncte de eșantionare ale graficului. După apăsarea butonului „Ok” programul revine în fereastra principală. Pentru a porni simularea trebuie apăsat butonul dedicat din Figura 7 (al treilea de la stânga la dreapta). In momentul pornirii simulării, o fereastră PSpice se va deschide în paralel cu cea a schemei. In aceasta se poate urmări evoluția algoritmului și observa sfârșitul simulării. Este momentul acum să ne întoarcem la fereastra schemei și să alegem un punct de măsură pe circuit. Acest lucru îl putem face prin selectarea sondei de măsură din Figura 7, pe care o putem plasa pe orice fir de legătură din circuit.

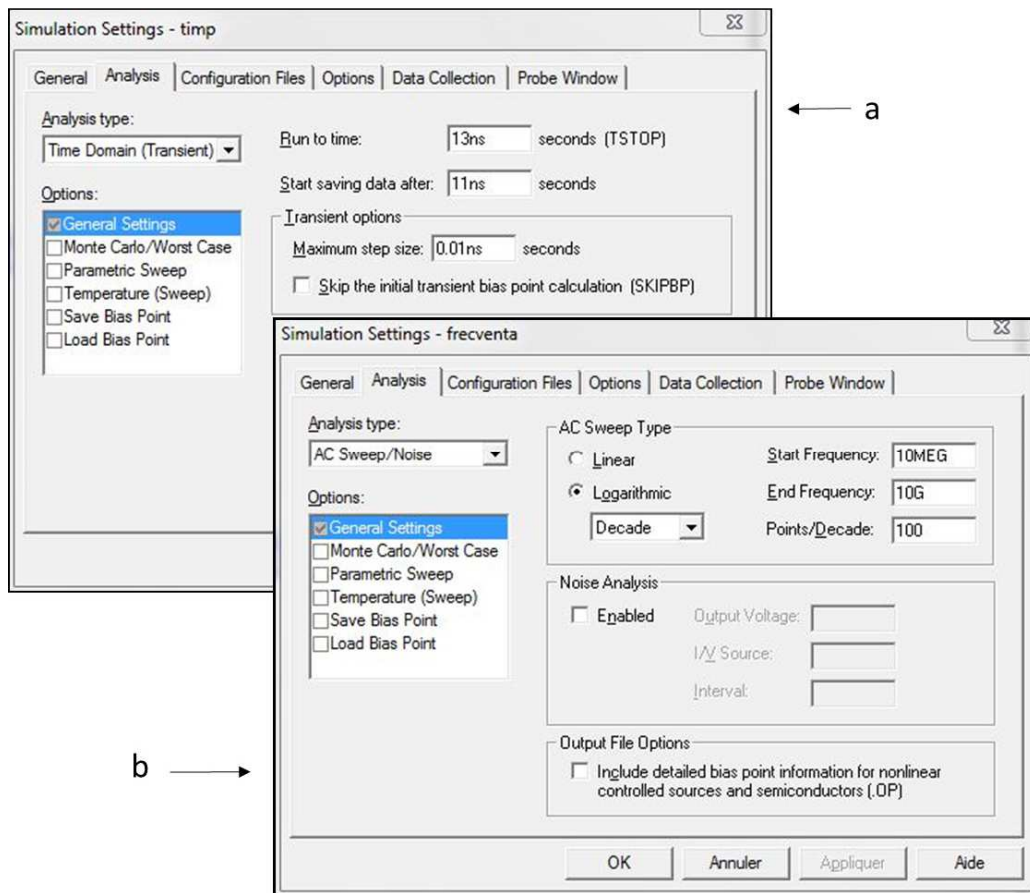


Figura 8. Dialogul pentru selectarea proprietăților simulării pentru: a. o simulare în domeniul temporal; b. o simulare în domeniul frecvență.

Imediat după fixarea sondei ne putem întoarce la fereastra simulatorului PSpice, unde putem observa instantaneu graficul variației potențialului punctului unde am fixat sonda, pe intervalul de timp ales. Mai mult, ne putem întoarce din nou la fereastra schemei și adăuga o a doua sondă în alt punct de pe circuit. Urmărind acum graficul din fereastra simulatorului PSpice putem observa ambele grafice în paralel, fiecare având culoarea sondei corespunzătoare punctului său de măsură. Alegând de exemplu ca puncte de măsură pe Figura 2 firul de legătură dintre rezistorul R1 și prima linie de transmisie, iar ca al doilea punct de măsură firul de legătură dintre rezistorul R2 și a doua linie de transmisie, vom obține graficul din Figura 9. Variația potențialului în primul punct este reprezentată cu albastru, iar variația potențialului în al doilea punct cu verde.

Pentru o simulare în domeniul frecvență, fereastra proprietăților simulării trebuie să arate ca în Figura 8b. O astfel de simulare urmărește modificarea frecvenței sursei de semnal și înregistrează de fiecare dată amplitudinea semnalului rezultat în punctul de măsură. Parametrii ce trebuiesc fixați sunt frecvența inițială („Start Frequency”), frecvența finală („End Frequency”) și numărul de puncte de eșantionare pe decadă („Points/Decade”). Punctele de măsură sunt fixate cu ajutorul sondelor, în mod identic cu procedeul urmat anterior pentru o simulare în domeniul temporal. Pentru o sondă fixată pe firul ce leagă rezistorul R2 cu a doua linie de circuit din Figura 2, caracteristica de frecvență va arăta precum în Figura 10.

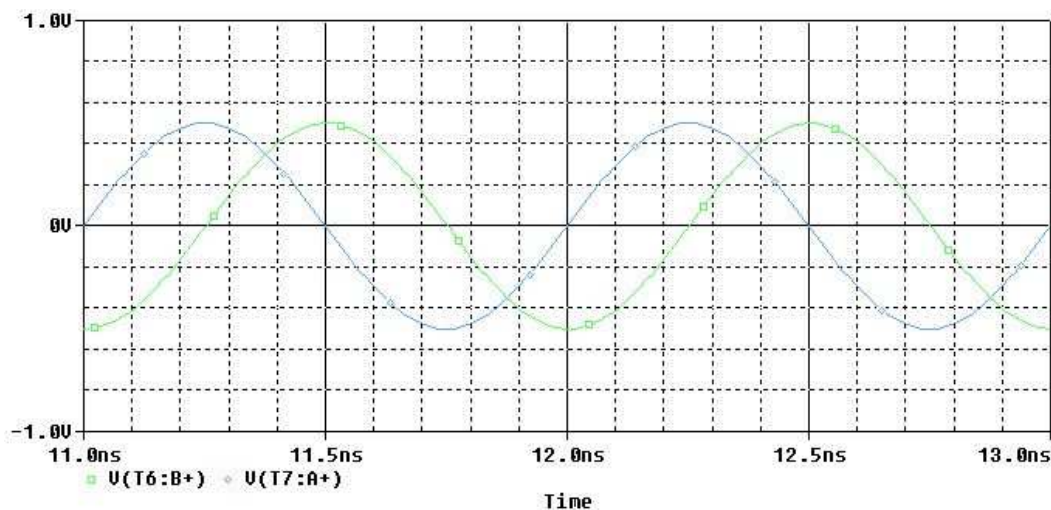


Figura 9. O simulare temporală a circuitului din Figura 2, folosind două puncte de măsură

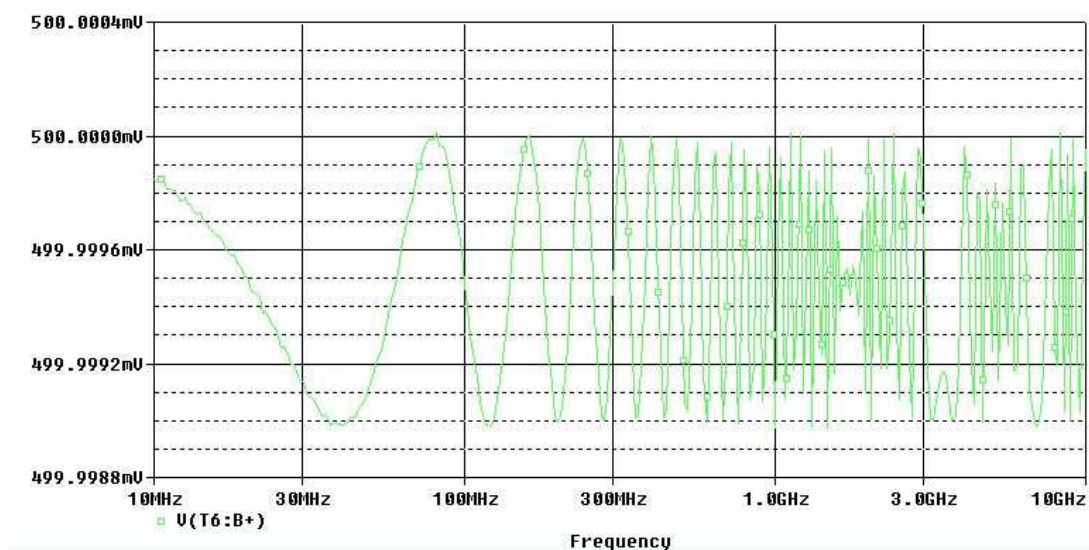


Figura 10. O simulare în domeniul frecvență a circuitului din Figura 2, folosind un punct de măsură

Căsuțele mov care au apărut pe schema circuitului după rularea oricăreia dintre simulări (fie în domeniul timp, fie în domeniul frecvență) reprezintă punctul static de funcționare al circuitului, adică valorile distribuției tensiunii continue în diferite puncte ale acestuia.

2.4. Curbe parametrice

Curbele parametrice sunt curbele de același tip, plasate toate pe același grafic, diferențiate între ele doar prin variația unui singur parametru al circuitului. Să luăm de exemplu montajul nostru din Figura 2. Să spunem că vrem să variem lungimea celei de a doua linii de transmisie și să observăm efectul pe care această variație îl are asupra tensiunii de pe sarcină. Pentru aceasta vom adăuga în primul rând în circuit o componentă specială numită „PARAM” în același mod în care am adăugat un rezistor (Figura 11a).

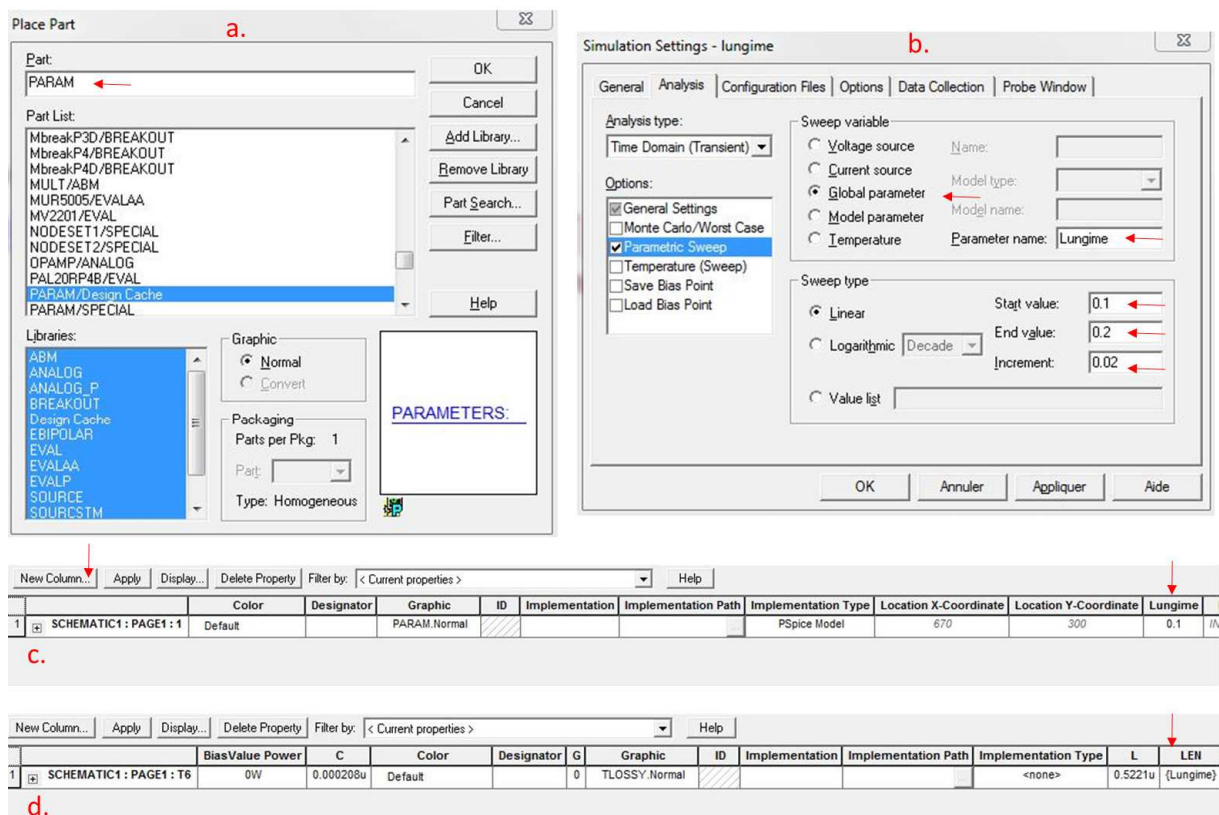


Figura 11. Realizarea unei simulări parametrice în domeniul timp, în care parametrul variat este lungimea celei de a doua linii din circuitul din Figura 2: a. adăugarea unei componente „PARAM”; b. completarea rubricii „Parametric Sweep” în profilul simulării; c. Adăugarea unei coloane noi („New column”) în foaia de proprietăți a componentei PARAM; d. Modificarea foii de proprietăți a celei de a doua linii: în locul valorii numerice a lungimii vom scrie numele parametrului între acolade.

În foaia de proprietăți a noii componente vom adăuga o nouă coloană ce va purta numele dat de noi parametrului pe care îl vom varia (de exemplu „Lungime”) și va avea o valoare predefinită pentru acest parametru (Figura 11a). Valoarea predefinită va fi folosită de simulator de fiecare dată când vom face alte tipuri de simulări în afară de cele de tip parametric.

Modificăm valoarea lungimii din foaia de proprietăți a celei de a doua linii de transmisie pentru a coincide cu numele dat de noi parametrului, pus între acolade. În exemplul nostru trebuie modificată valoarea coloanei „LEN” din valoarea ei numerică inițială în textul „{Lungime}” (Figura 11d).

Pornim o nouă simulare în domeniul temporal cum am procedat și în secțiunea precedentă, însă înainte de a da „Ok” va trebui să bifăm și linia „Parametric Sweep” și să completăm noua fereastră de dialog precum în Figura 11b: Sweep variable: Global parameter; Parameter name: Lungime; Sweep type: Linear; Start value: 0.1; End value: 0.2; Increment: 0.02.

Fixăm acum sonda de măsură între cele două linii de transmisie ale montajului din Figura 2. Pornim simularea folosind butonul corespunzător din Figura 7. Rezultatul simulării va arăta precum în Figura 12.

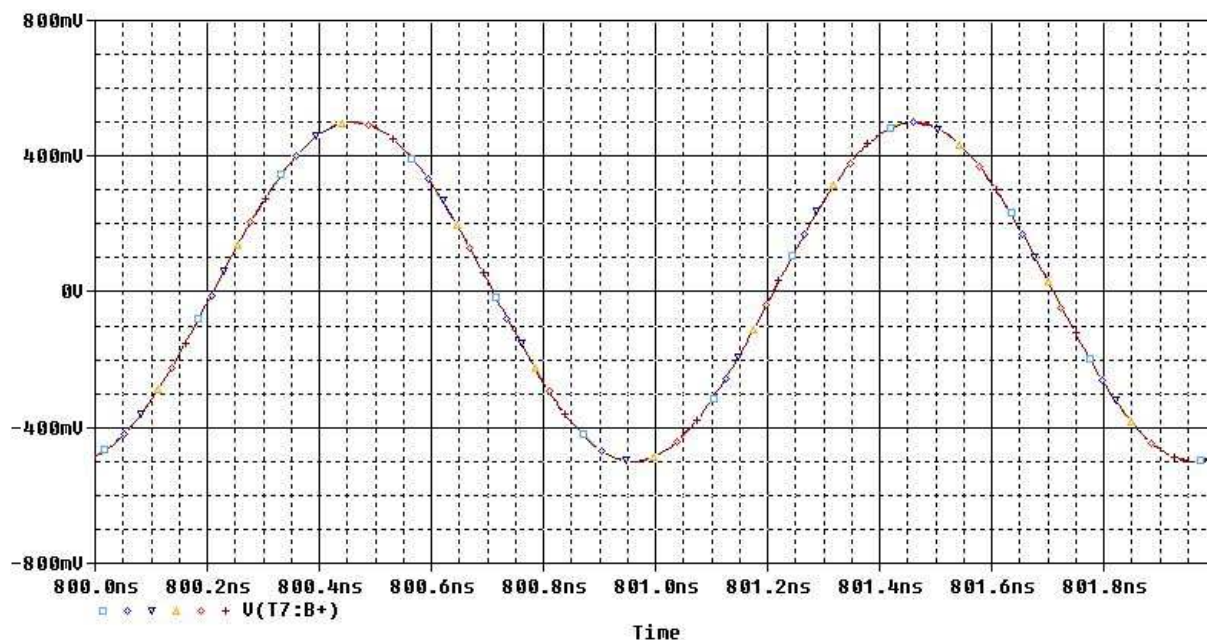


Figura 12. Rezultatele unei simulări parametrice: toate cele 6 curbe obținute prin variația lungimii celei de a doua linii de circuit sunt identice, de aceea se vor suprapune.

Fiecare curbă dintre cele 6 din Figura 12 corespunde unei valori diferite a lungimii celei de a doua linii de transmisie. Prima valoare (*Start value: 0.1*) este de 0,1m. În continuare pentru următoarele simulări, lungimea celei de a doua linii va crește cu câte 0,02m (*Increment: 0.02*) până va ajunge la valoarea de 0,2m (*End value: 0.2*). Suprapunerea curbelor parametrice este datorată adaptării sarcinii.

2.5. Exerciții

2.5.1. Faceți o simulare în domeniul timp a montajului din Figura 2, precum în Secțiunea 2.2. Plasați sonda de măsură pe toate firele de legătură din circuit și observați modificările apărute în graficul de la ieșire.

2.5.2. Faceți mai multe simulări în domeniul frecvență, precum în Secțiunea 2.3, schimbând pe rând rezistența pe unitatea de lungime a liniei a doua de circuit (parametrul R_0) de la zero la valorile de {10Ω/m; 100Ω/m; 1000Ω/m}. Ce schimbări apar în potențialele diferitelor puncte de pe circuit și cum le explicați? La sfârșitul simulării, fixați din nou parametrul R_0 la 0Ω/m.

2.5.3. Refaceți simularea parametrică din Secțiunea 2.4, schimbând de data asta rezistența sarcinii de la 50Ω la 10Ω, apoi la 250Ω. Înregistrați noile grafice și explicați diferențele dintre ele.

3. Desfășurarea lucrării

3.1 Realizați circuitul din Figura 13 și aflați-i caracteristica de frecvență pe intervalul [100MHz, 10GHz].

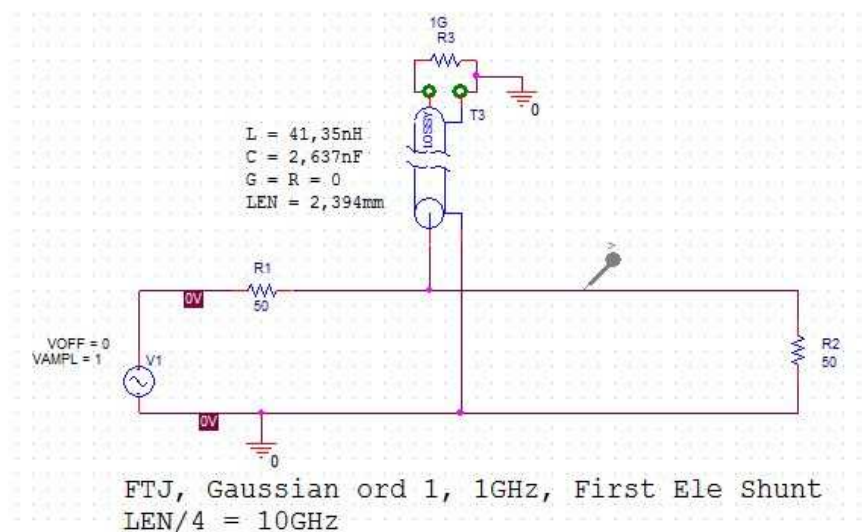


Figura 13. Schema unui filtru FTJ proiectat cu programul Filter FREE și tradus în Capture CIS

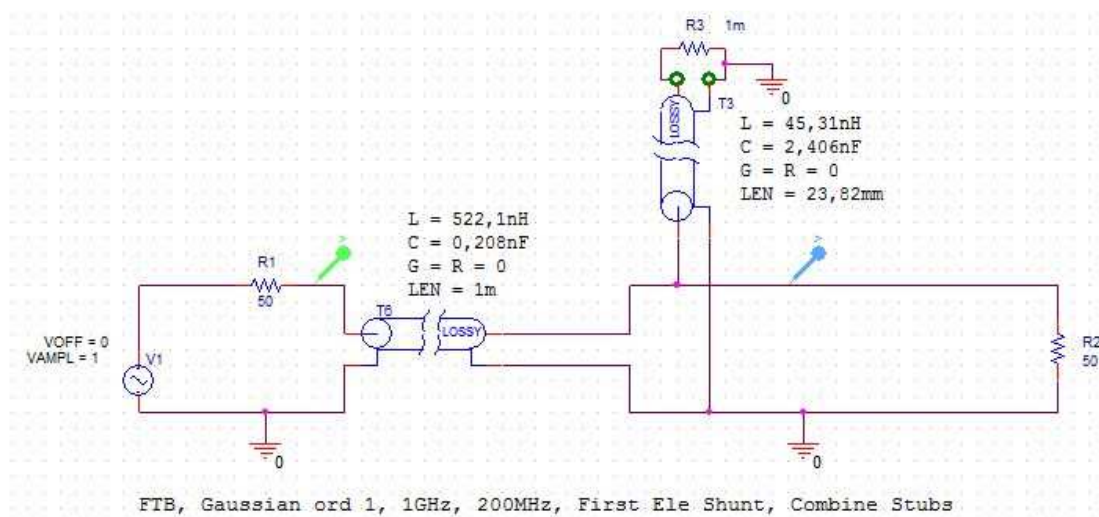


Figura 14. Schema unui filtru FTB proiectat cu programul Filter FREE și tradus în Capture CIS

3.2 Schimbați linia de transmisie din Figura 13 cu o linie care are următorii parametri: $L_0=261,1\text{nH/m}$; $C_0=417,7\text{pF/m}$; $LEN=11,97\text{mm}$; $R_0=0\Omega/\text{m}$; $G_0=0\text{S/m}$. Cum arată noua caracteristică de frecvențe? Cum explicați diferențele?

3.3 Realizați circuitul din Figura 14 și aflați-i caracteristica de frecvență pe intervalul [100MHz, 10GHz] atât pentru punctul de măsură albastru cât și pentru cel verde din Figura 14. Cum vă explicați rezultatul? Atenție! Luați suficiente puncte de eșantionare între cele două capete ale intervalului de frecvențe.

3.4 Faceți o analiză amănunțită a caracteristicii de frecvențe a circuitului din Figura 14 pe intervalul [800MHz, 1,2GHz] folosind 10.000 de puncte de eșantionare. Modificați lungimea

primei linii de transmisie (cea dinspre sursă) la 0,1m, apoi la 10m. Comentați diferențele atât pentru punctul verde de măsură, cât și pentru cel albastru. Pentru o lungime de 10m, schimbați rezistența pe unitatea de lungime pentru prima linie de transmisie de la zero la valoarea $R_0=10\Omega/m$. Explicați schimbările în caracteristica de frecvențe.

3.5 Realizați circuitul din Figura 15 și aflați caracteristica de frecvență a tensiunii de pe sarcină pe intervalul [100MHz, 10GHz]. Care este diferența dintre caracteristica acestui circuit și caracteristica celui de la punctul 3.3?

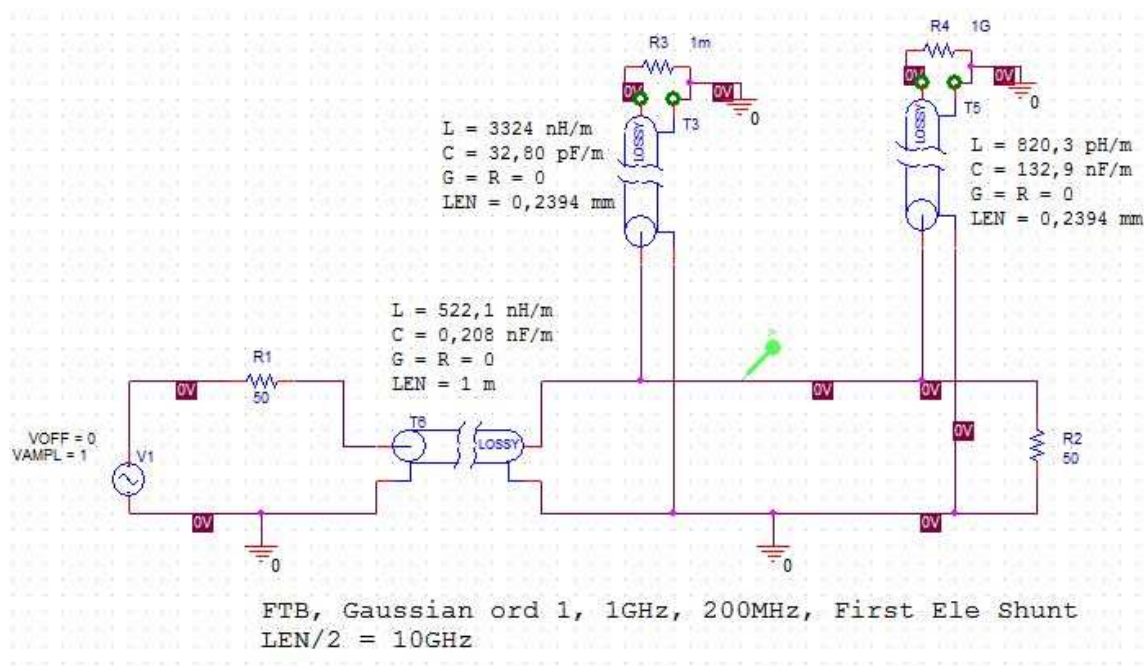


Figura 15. Schema unui filtru FTB proiectat cu programul Filter FREE și tradus în Capture CIS

LUCRAREA NR. 4

GENERATOARE ȘI MODULATOARE DE MICROUNDE

1. Introducere

Am studiat în laboratoarele precedente posibilitatea transmiterii microundelor prin aer folosind o antenă atât la recepție cât și la emisie, sau prin linii conductoare de circuit definite prin parametrii generali R , L , G , C . Am studiat de asemenea posibilitatea realizării de filtre folosind doar de linii de transmisie. Pentru ca elementele studiate precedent să poată fi însă utile în transmisia informației, avem nevoie înainte de toate de un generator de microunde, adică de un oscilator ce va fi capabil să genereze în circuit unde cu frecvența dorită. Undele realizate de un astfel de oscilator vor trebui apoi modulate cu informația dorită folosind un dispozitiv numit modulator. Mai departe aceste oscilații purtătoare de informație pot fi amplificate și transmise antenei sau direct liniei de circuit folosite pentru transferul informației la distanță. Pe partea de recepție, o altă antenă captează (în cazul transmisiei prin aer) radiația electromagnetică într-un interval larg de frecvențe și o trimite mai departe către un filtru spectral. Urmează amplificarea și demodularea semnalului util. În caz că transferul informației la distanță este realizat prin linii de transmisie, radiația electromagnetică va fi direct trecută prin filtrul de frecvențe și amplificată înainte de a fi demodulată.

Am văzut că pentru transferul radiației la distanță este nevoie fie de antene, fie de linii de transmisie. Am văzut de asemenea că la frecvențe foarte mari liniile de transmisie au rol de componente electronice pasive și pot fi folosite drept filtre de frecvență, pentru transportul informației la aceste frecvențe fiind preferabilă folosirea antenelor. Înainte însă de a trimite radiația electromagnetică la distanță, pentru generarea ei la nivel local și pentru modularea acesteia cu un semnal util vom folosi ca mediu de transmisie așa-zisele ghiduri metalice de undă, care iau în general forma unui conductor metalic gol în interior (Figura 1). Construcția unor astfel de ghiduri de undă nu este practică pentru transferul radiației la distanță, însă tot ce ține de manipularea undelor electromagnetice la nivel local poate fi realizat în astfel de ghiduri.

Pentru reprezentarea matematică a propagării radiației prin ghidul metalic dreptunghiular din Figura 1 este nevoie de rezolvarea ecuațiilor lui Maxwell, folosind în același timp condițiile la limită impuse de geometria specifică ghidului folosit. Pentru a afla lungimea de undă maximă λ_{max} (corespunzătoare frecvenței minime) care se poate propaga prin ghid, trebuie să măsurăm lățimea W a secțiunii ghidului (considerăm înălțimea secțiunii mai mică) și să o înmulțim cu 2, conform ecuației:

$$\lambda_{max} = 2W \quad (1)$$

Acest simplu calcul arată că folosirea ghidurilor de undă metalice este practică doar pentru lungimi de undă mici (frecvențe mari). În cazul în care dorim transmisia undelor radio prin ghiduri de undă metalice precum cel din Figura 1, am avea nevoie de o bară de metal cu o secțiune de cel puțin $0,5m$ lățime (pentru o frecvență de $300MHz$). Nu există o limită inferioară a lungimilor de undă pe care le putem transmite printr-un ghid de undă metalic, însă de fiecare dată când micșorăm lungimea de undă a radiației prin ghid, vom mări în același timp numărul de moduri de propagare. Acest fenomen se consideră dăunător transmisiei informației din cauza

dispersiei intermodale, care semnifică lărgirea unui impuls datorată diferitelor viteze de propagare pe care le are fiecare mod prin ghidul de undă.

Fiecare ghid de undă are o bandă îngustă de frecvențe la care poate opera în regim monomod. Pentru ghidurile cu secțiune de formă dreptunghiulară, această bandă de frecvențe este maximă atunci când raportul dintre lățimea și înălțimea secțiunii este 2. În acest caz optim, lungimile de undă pe care le poate avea radiația electromagnetică pentru a se propaga în regim monomod sunt cuprinse în intervalul $(0,5\lambda_{max}, \lambda_{max})$.

În Tabelul 1 sunt afișate benzile principale de frecvențe folosite în aplicațiile de microunde în funcție de lungimile lor de undă. Banda X (corespunzătoare lungimilor de undă cuprinse între 2,5 și 3,75cm și evidențiată în Tabelul 1) este cea pe care o vom folosi în lucrările de laborator prezentate în această lucrare.

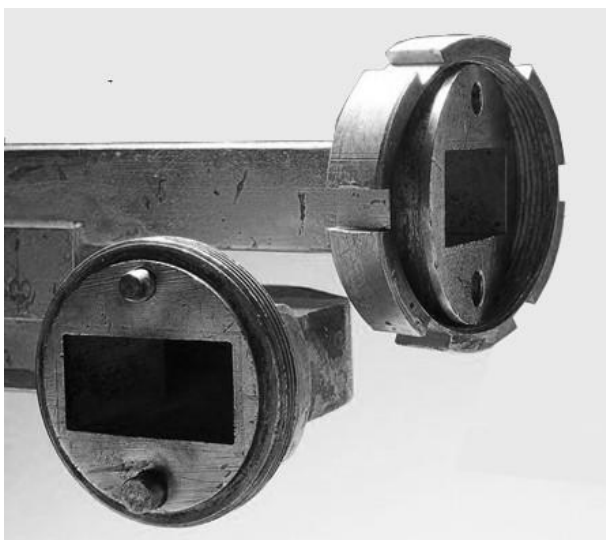


Figura 1. Ghiduri de undă metalice (commons.wikimedia.org)

Tabelul 1 – Benzile de frecvențe folosite în comunicații, lungimile lor de undă corespunzătoare și aplicațiile cele mai frecvente

Banda	Frecvențe	Lungimi de undă	Aplicații
L	1-2 GHz	15 cm - 30 cm	telemetrie militară, GPS, telefonie mobilă, radio amatori
S	2-4 GHz	7,5 cm - 15 cm	radar meteo și o parte din sateliții de comunicații, cuptoare cu microunde, astronomie radio, telefonie mobilă, wireless LAN, Bluetooth, GPS, radio amatori
C	4-8 GHz	3,75 cm - 7,5 cm	Telecomunicații
X	8-12 GHz	25 mm - 37,5 mm	sateliți de comunicații, radar, transmisii terestre de date, transmisii de date în spațiu, radio amatori, detectori de mișcare
Ku	12-18 GHz	16,7 mm - 25 mm	sateliți de comunicații
Ku	18-26.5 GHz	11,3 mm - 16,7 mm	radar, sateliți de comunicații, astronomie, senzori pentru mașini

Kitul de laborator pe care-l vom folosi în următoarele montaje experimentale este AT3000(3CM) de la Atten Instruments. Lungimea de 3cm din numele kitului corespunde lungimii de undă a radiației electromagnetice pe care o vom folosi. Kitul cupinde 16 componente diferite:

- un oscilator Gunn pe care-l vom folosi pentru generarea oscilațiilor electromagnetice la frecvența dorită (Figura 2A);
- un modulator PIN pe care-l vom folosi pentru a modula unda purtătoare cu un semnal primit de la un generator extern (Figura 2B);
- un frecvențmetru rezonant (Figura 2C);
- un powermetru cu o sondă termocuplu;
- un atenuator variabil (Figura 2D);
- un atenuator fix de 20dB;
- un cuplor direcțional, ce poate fi folosit la măsurarea unde reflectate (Figura 2E);
- un segment cu fantă (slotted line: Figura 2F) pentru măsurarea raportului de undă staționară (SWR, sau Standing Wave Ratio);
- un adaptor cu șurub, pentru adaptarea unei sarcini la ghidul de undă (Figura 2H);
- o terminație adaptată;
- un adaptor coaxial, folosit pentru adaptarea ghidului la un cablu coaxial de 50Ω;
- un divizor în T hibrid, folosit pentru cuplarea radiației din axul longitudinal de propagare în cele două axe perpendiculare pe acesta (Figura 2G);
- o folie reflectorizantă;
- un plan de scurt, care se comportă ca o sarcină cu impedanță nulă ce poate fi cuplată la ghidul de undă;
- un ghid de undă drept;
- o diodă detectoare, pentru detecția câmpului electromagnetic din ghidul de undă.

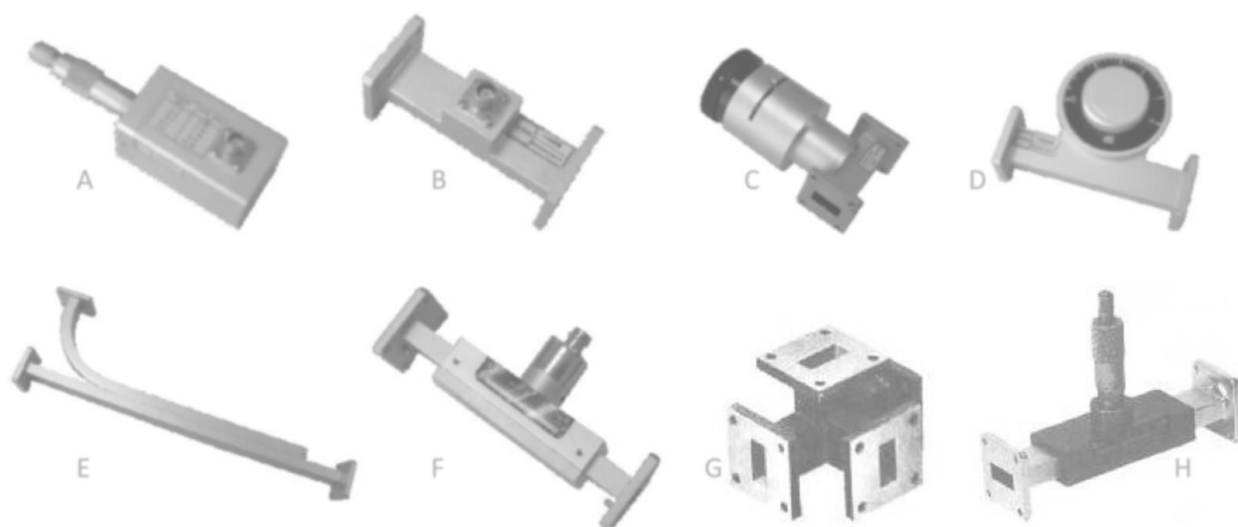


Figura 2. Componentele principale ale kitului de microunde AT3000: A – oscilator Gunn; B – modulator PIN; C – frecvențmetru rezonant; D – atenuator variabil; E – cuplor direcțional; F – linie cu fantă; G – divizor în T; H – atenuator variabil

Atenționări speciale la folosirea kitului AT3000:

1. Atunci când oscilatorul Gunn este în funcțiune, nu va uitați direct în interiorul acestuia. Nerespectând această indicație vă puteți leza ireversibil ochii.
2. Componentele ghidului trebuie aliniate cât mai bine și strânse unul în continuarea celuilalt folosind șuruburi. În acest fel ne putem asigura că nu vor exista pierderi ale radiației electromagnetice la îmbinări.
3. Asigurați-vă că nu există corpuri străine în interiorul ghidurilor de undă la pornirea experimentului și că tot ansamblul este ferit de căldură și umiditate.

2. Generatorul de microunde

Există mai multe componente electronice care pot fi folosite pentru generarea microundelor, cele mai importante fiind diodele de tip BARITT, IMPATT, diodele tunel, precum și diodele Gunn. Diodele BARITT pot fi folosite în benzile de frecvențe L, S și C (

Tabelul 1) însă nu pot atinge frecvențele necesare pentru operarea în banda X. Au în schimb avantajul unui proces de fabricație mai simplu, zgomot mai redus și o eficiență energetică mai mare comparativ cu celelalte diode. Diodele tunel sunt din ce în ce mai puțin folosite în prezent, fiind treptat (din anii '60 până astăzi) înlocuite cu unul din celelalte tipuri de diode, mai avantajoase din punctul de vedere al reproductibilității și a lății regiunii de rezistență negativă (regiunea în care trebuie să opereze dioda pentru producerea oscilațiilor). Pentru generarea oscilațiilor electromagnetice cu frecvența în banda X vor fi folosite așadar fie diodele IMPATT, fie diodele Gunn. Diodele IMPATT pot fi operate la puteri foarte mari, dar au un zgomot mai pronunțat decât diodele Gunn, care în plus pot atinge și cele mai bune performanțe în frecvență. Într-adevăr, diodele Gunn bazate pe GaN pot atinge frecvențe de operare de până la 3THz.

Oscilatorul Gunn (Figura 2A) folosit în această lucrare de laborator are la bază așadar o diodă de tip Gunn, operată în regiunea de rezistență negativă de pe caracteristica sa curent-tensiune (Figura 3A). Spre deosebire de alte diode, o diodă Gunn nu este formată dintr-o joncțiune pn, ci dintr-un sandwich semiconductor cu un profil de dopare de forma n^+nn^+ (Figura 3C).

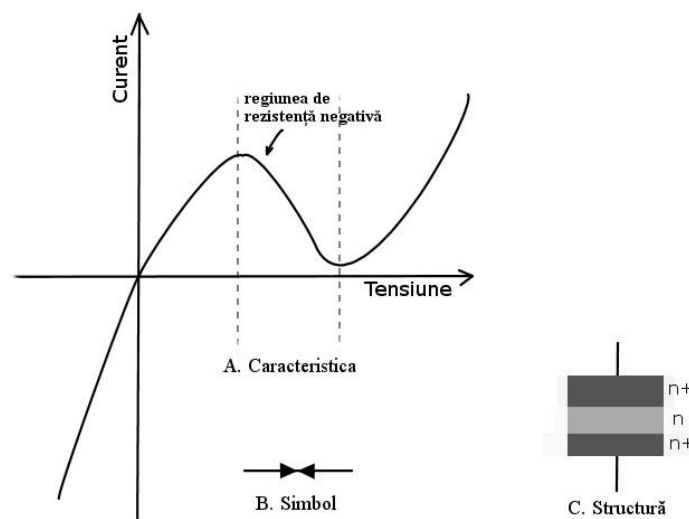


Figura 3. Caracteristica current-tensiune a unei diode Gunn: A – Caracteristica $I(V)$; B – Simbolul în schemele electrice; C – Structura fizică

Oscilațiile sunt cauzate de un proces periodic de trecere a electronilor din banda de conducție pe o bandă cu o conductivitate mai mică, urmată de anihilarea lor la anod. Când sub influența unei tensiuni continue venite din exterior polarizăm dioda în regiunea sa de rezistență negativă, electronii trec din banda de conducție pe o bandă de energie superioară (dar caracterizată de o conductivitate mai mică). Rezistența diodei va crește, corespunzător unei deplasări pe caracteristica $I(V)$ înspre partea dreaptă a regiunii de rezistență negativă. Electronii se vor acumula în banda de energie superioară și se vor deplasa în grupuri spre anodul diodei. De fiecare dată când un grup de electroni ajunge la anod vom avea o cădere bruscă a valorii tensiunii pe diodă, corespunzător unei deplasări pe caracteristica diodei (Figura 3A) înspre partea stângă a regiunii de rezistență negativă. Urmează din acest punct reluarea procesului de trecere a electronilor din banda de conducție în banda de energie superioară și creșterea căderii de tensiune pe diodă. Procesul așadar periodic depinde de parametrii fizici ai diodei Gunn, precum lungimea diodei și structura de benzi energetice. Structura de benzi energetice este dependentă la rândul ei de nivelurile de dopare ale celor trei straturi semiconductoare din Figura 3C. Frecvența de desfășurare a procesului periodic descris mai sus poate fi forțată să coincidă cu frecvența de rezonanță a unei cavități rezonante, dacă introducem dioda Gunn într-o astfel de cavitate. Acest fenomen de rezonanță poate avea loc doar dacă frecvența cavității se află în banda de frecvențe în care poate opera dioda conform parametrilor săi fizici descriși mai sus.

Oscilatorul Gunn din Figura 2A este așadar format dintr-o diodă Gunn introdusă într-o cavitate rezonantă a cărei frecvență proprie este reglată dintr-un șurub micrometric. Alimentarea diodei Gunn se face de la o sursă de tensiune continuă. Punctul static de funcționare al diodei va fi fixat în regiunea de rezistență negativă din Figura 2A.

2.1. Măsurarea caracteristicii curent-tensiune

Realizați montajul experimental din Figura 4, cuplând un multimetru digital în paralel cu oscilatorul Gunn pentru măsurarea tensiunii și un altul în serie cu acesta, pentru măsurarea curentului. Reglați atenuatorul variabil din schemă pe o atenuare de 10dB pentru asigurarea izolării oscilatorului față de reflexiile din circuit. Același atenuator asigură protecția sondei termocuplu față de puteri prea ridicate produse de oscilator. Sonda termocuplu nu poate rezista la puteri mai mari de 1W.

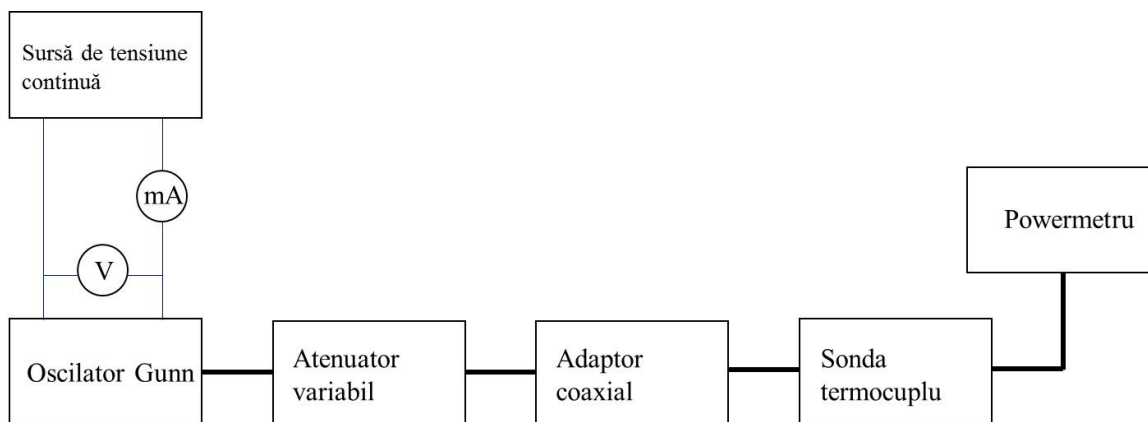


Figura 4. Montajul experimental necesar pentru măsurarea caracteristicii $I(V)$ și de putere

După realizarea montajului din Figura 4, reglați sursa de tensiune U la o valoare de 1V. Creșteți apoi tensiunea conform valorilor din Tabelul 2, măsurând de fiecare dată curentul I care trece prin oscilator. Treceți rezultatele în Tabelul 2 și desenați dependența $I(U)$ pe un grafic. Dacă nu reușiți să detectați regiunea de rezistență negativă pe caracteristica diodei Gunn, atunci puteți crește tensiunea pe oscilator până la valoarea de 10V, dar aveți grijă să nu depășiți această valoare!

Tabelul 2 – Măsurarea variației curentului în funcție de tensiunea aplicată unei diode Gunn

Tensiune (V)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Curent (mA)									

2.2. Măsurarea puterii emise în funcție de tensiune

Pentru măsurarea puterii emise de oscilator în funcție de tensiunea aplicată la intrare vom folosi în continuare montajul din Figura 4. Atenuatorul variabil trebuie fixat tot pe valoarea de 10dB, precum în experimentul precedent. Înainte de a alimenta oscilatorul cu o tensiune continuă, vom calibra powermetrul la valoarea zero. Se fixează apoi tensiunea la prima valoare din Tabelul 3 și se va nota indicația powermetrului în mW, pe a doua linie a tabelului. Transformați valoarea măsurată pentru putere din mW în dBm folosind formula:

$$P(\text{dBm}) = 10 \cdot \log(P(\text{mW})) \quad (2)$$

Pentru a calcula acum puterea P emisă de diodă (exprimată în dBm), este suficient să adunați la puterea măsurată de powermetru (în dBm) valoarea atenuării din circuit (în dB). Valoarea puterii emise de dioda Gunn poate fi convertită și în mW, realizând transformarea inversă celei din ecuația (2):

$$P(\text{mW}) = 10^{P(\text{dBm})/10} \quad (3)$$

Tabelul 3 – Măsurarea variației puterii emise în funcție de tensiunea aplicată unei diode Gunn

Tensiune (V)	2	4	6	8
Putere (mW)				
Putere (dBm)				
Atenuare (dB)				
Puterea diodei (dBm)				
Puterea diodei (mW)				
Puterea electrică (mW)				
Randament (%)				

Desenați graficul dependenței puterii emise de oscilatorul Gunn, în funcție de tensiunea aplicată la bornele acestuia și în funcție de puterea electrică consumată de acesta. Pentru calcularea puterii electrice P_e folosiți-vă de datele din Tabelul 1:

$$P_e(mW) = I(mA) \cdot U(V) \quad (4)$$

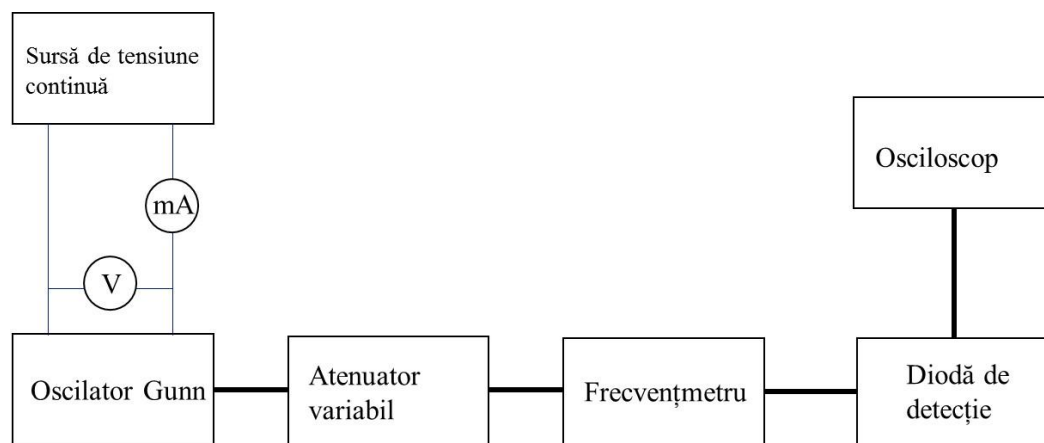


Figura 5. Montajul experimental necesar pentru măsurarea frecvenței în funcție de tensiunea aplicată

Randamentul η se va calcula la final după formula:

$$\eta(\%) = 100 \cdot P/P_e \quad (5)$$

Se repetă pașii de mai sus pentru toate valorile tensiunii din Tabelul 3.

2.3. Dependența frecvenței oscilațiilor de tensiunea aplicată

Pentru a măsura dependența frecvenței oscilatorului de tensiunea aplicată la bornele sale vom intercala între atenuatorul variabil și adaptorul coaxial din Figura 4 un frecvențmetru precum în Figura 5. Acest tronson de circuit are structura unei cavități rezonante a cărei frecvență de rezonanță este reglabilă dintr-un șurub. Atunci când frecvența acestei cavități devine egală cu frecvența radiației electromagnetice care se propagă prin circuit, cavitatea rezonantă va absorbi o mare parte din energia radiației, iar de celalaltă parte a circuitului powermetrul va indica o scădere bruscă a puterii.

Primul pas înainte de a porni sursa de tensiune la prima valoare din Tabelul 4 este să mărim atenuarea din circuit la maxim și fixarea scalei powermetrului la 1(mW). După pornirea sursei de tensiune, putem reduce atenuarea până ce indicația powermetrului se apropie de maximul scalei (între 0,8 și 1mW). Se rotește reglajul frecvențmetrului până ce se observă o cădere abruptă a indicației powermetrului. Frecvența indicată de frecvențmetru în acel moment este frecvența oscilațiilor produse de dioda Gunn. Frecvențmetrul este gradat din 10 în 10MHz.

Se repetă măsurătoria de mai sus pentru toate valorile tensiunii pentru care se înregistrează oscilații (Tabelul 4) iar rezultatele se trec în tabelul de mai jos. Reprezentați grafic această variație.

Tabelul 4 – Măsurarea variației frecvenței în funcție de tensiunea aplicată unei diode Gunn

Tensiune (V)	3	4	5	6
Frecvență (MHz)				

3. Modulare și detecție

Am văzut în secțiunea trecută cum putem transporta energie electromagnetică la distanță prin intermediul unui câmp electromagnetic de înaltă frecvență produs de un oscilator Gunn. Recepția energiei la capătul ghidului era realizată de un termocuplu. Radiația electromagnetică studiată în secțiunea precedentă era însă lipsită de informație. Pentru a putea transmite informație este nevoie să introducem în circuit un dispozitiv care să moduleze unda purtătoare folosind informația pe care dorim să o transmitem. Semnalul (informația) trebuie să aibă o frecvență mult inferioară unde purtătoare. Această condiție asigură faptul că semnalul pe care dorim să îl transmitem va avea o foarte mică influență asupra frecvenței câmpului electromagnetic folosit ca mediu de transport și, indiferent de ceea ce dorim să transmitem, receptorul va recepționa unda electromagnetică pe o frecvență stabilă.

Dispozitivul folosit pentru modularea în amplitudine este un modulator cu diodă PIN. Dioda PIN este o diodă care între zona dopată p^+ și zona dopată n^+ are un strat de semiconductor intrinsec. Acest strat intrinsec este inundat de purtătorii de sarcină injectați din zonele p^+ și n^+ atunci când dioda este polarizată direct. Atunci când o undă de frecvență foarte înaltă oscilând simetric în jurul valorii de zero traversează dioda PIN în timp ce aceasta este polarizată direct de un al doilea câmp electromagnetic cvasi-constant (comparativ cu frecvența unde), dioda PIN va permite întotdeauna trecerea unde. Aceasta deoarece purtătorii injectați în zona intrinsecă de câmpul cvasi-constant au nevoie de un timp suficient de lung pentru a fi eliminați din acea regiune, în timp ce unda ce se propagă prin diodă va reuși să polarizeze invers dioda doar pentru un timp foarte scurt. Permeabilitatea diodei PIN va fi dictată așadar doar de câmpul electromagnetic de frecvență redusă (cvasi-constant). Atunci când acest câmp polarizează direct dioda, aceasta va lăsa să treacă orice undă de frecvență mare. Atunci când acest câmp polarizează invers dioda, aceasta se va comporta ca o sarcină de rezistență mare pentru unda ce se propagă prin diodă.

Generatorul de semnal din Figura 6 va avea rolul așadar de a crea câmpul de joasă frecvență cu rol de modulare asupra diodei PIN. Într-adevăr, acesta va funcționa la frecvența de 1kHz, mult mai mică decât frecvența purtătoare generată de oscilatorul Gunn (10GHz). Datorită faptului că frecvența de 1kHz este mult mai mică și decât frecvența limită la care poate comuta dioda PIN, toate concluziile trase precedent pentru un câmp cvasi-constant se vor aplica și pentru cazul semnalului de modulare. Pentru experimentul care urmează, generatorul de semnal va fi reglat să producă un semnal dreptunghiular cu durata de 1ms. Din acest motiv, jumătate de perioadă dioda va funcționa în polarizare inversă și va bloca trecerea purtătoare, pe când în cealaltă jumătate de perioadă dioda va funcționa în polarizare directă și va permite trecerea purtătoare.

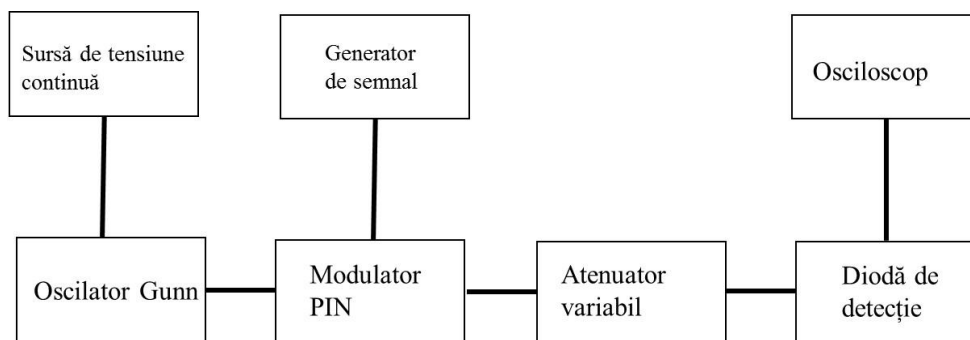


Figura 6. Montajul experimental necesar pentru evidențierea modulației unei unde de frecvență mare și detecției semnalului la destinație

În cazul ideal dioda ar trebui să blocheze total purtătoarea în timpul perioadei în care este polarizată invers și să fie complet transparentă atunci când este polarizată direct, însă în mod real acest lucru nu se întâmplă. Eficiența modulației este dată de o mărime numită indice de modulație:

$$m = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}} = \frac{\frac{U_{max}}{U_{min}} - 1}{\frac{U_{max}}{U_{min}} + 1} \quad (6)$$

În ecuația (6) U_{max} este amplitudinea unei atunci când dioda este polarizată direct de către câmpul modulator, iar U_{min} amplitudinea corespunzătoare polarizării inverse a diodei. Un exemplu de modulație în amplitudine este prezentată în Figura 7, în care purtătoarea (de frecvență înaltă) este modulată de semnalul dreptunghiular provenind de la generatorul de semnal. Unda la ieșirea din modulator va arăta precum în caseta din Figura 7, în care apare figurată și semnificația indicelui de modulație m .

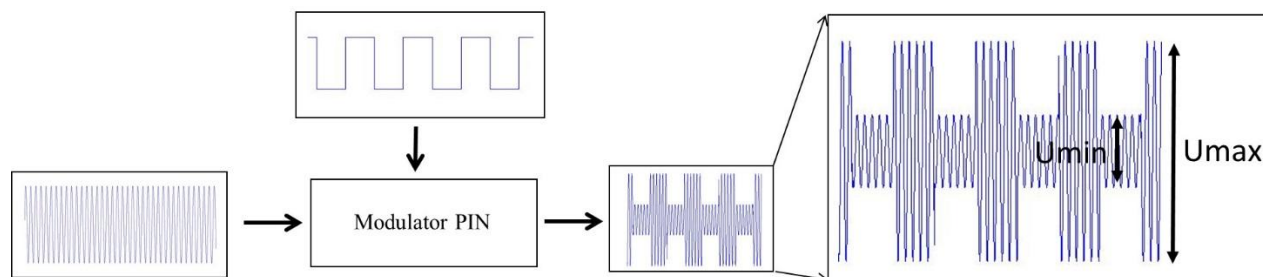


Figura 7. Reprezentarea grafică a principiului modulației unei unde purtătoare (intrând în modulator de la stânga) cu o undă de semnal (intrând în modulator din partea de sus).

În partea dreaptă a montajului din Figura 6 apare și o diodă de detecție, responsabilă cu detecția anvelopei unei incidente pe aceasta. Graficul pe care aceasta îl proiectează pe osciloscop nu are însă o dependență liniară de amplitudinea anvelopei, ci una pătratică. Acesta va fi așadar direct proporțional cu intensitatea undei, nu cu amplitudinea ei.

Pașii pentru aflarea experimentală a indicelui de modulație m , folosind montajul din Figura 6, sunt următorii:

1. După realizarea practică a montajului din Figura 6 se va regla atenuarea în circuit (prin rotirea atenuatorului variabil) la $A_0=10\text{dB}$.
2. Următorul pas este alimentarea oscilatorului Gunn la o tensiune continuă de 9V.
3. Se reglează în continuare generatorul de semnal dreptunghiular la o frecvență de 1kHz, cu o amplitudine vârf la vârf de $U_{G,v-v}=2\text{V}$.
4. Se reglează poziția verticală a afișajului osciloscopului pentru ca maximum semnalului detectat să coincidă cu nivelul de zero al osciloscopului.
5. Se reglează acum din nou atenuatorul variabil în așa fel încât minimum semnalului detectat pe osciloscop să coincidă cu nivelul de zero. Se notează noul nivel de atenuare folosit în circuit, A_1 .
6. Se calculează raportul $U_{\max}/U_{\min}$ conform formulei:

$$\frac{U_{\max}}{U_{\min}} = 10^{(A_0 - A_1)/20} \quad (7)$$

7. Se calculează indicele de modulație conform formulei (6).
8. Toate măsurătorile și calculele se vor trece în tabelul de mai jos și se va repeta procedeul și pentru cazul unui semnal dreptunghiular cu o amplitudine vârf la vârf de $U_{G,v-v}=1\text{V}$.

Tabelul 5 – Măsurarea eficienței modulației în amplitudine folosind o diodă PIN

$U_{G,v-v}$	A_1	$A_0 - A_1$	$U_{\max}/U_{\min}$	m
2				
1				

4. Desfășurarea lucrării

- 4.1. Realizați toate montajele experimentale expuse în această lucrare (Figurile 4, 5, 6).
- 4.2. Completați tabelele 2, 3, 4, 5.
- 4.3. Desenați graficele variațiilor mărimilor de interes din tabelele 2, 3 și 4.
- 4.4. Răspundeți la întrebările:
 - Deduceți formula matematică a variației anvelopei semnalului modulat în amplitudine din Figura 7, în funcție de m , $U_{\max}$ și f , unde f reprezintă frecvența semnalului util?
 - Cum se explică prezența numitorului „20” de la exponentul formulei (7) în locul numitorului „10” din formula (3)?
 - De ce semnalul oferit de diodele detectoare este proporțional cu pătratul amplitudinii anvelopei unde incidente, în loc să fie liniar proporțional cu amplitudinea?

LUCRAREA NR. 5

TRANSMISIA INFORMATIEI LA DISTANTA FOLOSIND MICROUNDULE

1. Montaje experimentale

1.1. Măsurarea amplitudinii semnalului recepționat în funcție de distanța față de emitor

Realizați montajul experimental din Figura 1, cuplând un multimetru digital în paralel cu oscilatorul Gunn pentru măsurarea tensiunii pe acesta. Porniți sursa de tensiune continuă la valoarea de 0V și rotiți de potențiometrul acesteia treptat până ce voltmetrul va indica 5V. Reglați generatorul de semnal din schemă la o tensiune vârf la vârf de $U_{G,v-v} = 2V$ corespunzătoare unui semnal dreptunghiular de frecvență 10kHz. Antenele pâlnie de la emisie și recepție trebuie să fie aliniate.

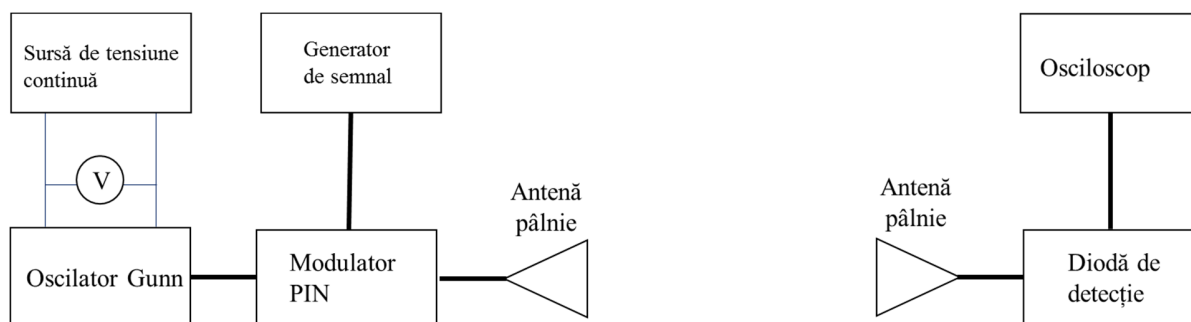


Figura 1. Montajul experimental necesar pentru măsurarea amplitudinii semnalului recepționat în funcție de distanța până la emitor.

Fixați inițial distanța dintre antena emitorului și a receptorului la valoarea de 4cm și măsurați amplitudinea semnalului recepționat pe osciloscopul din Figura 1. Creșteți apoi distanța dintre emisie și recepție conform valorilor din Tabelul 1, măsurând de fiecare dată amplitudinea semnalului electric detectat la recepție. Treceți rezultatele în Tabelul 1 și desenați dependența amplitudinii semnalului recepționat în funcție de distanță pe un grafic. Pentru că valoarea tensiunii generate de dioda de detecție și afișată pe osciloscop este proporțională cu pătratul amplitudinii anvelopei undelor electromagnetice recepționate, graficul desenat va corespunde și dependenței intensității unde recepționate în funcție de distanță. Ce lege matematică ar aproxima cel mai bine această variație?

Tabelul 1 – Măsurarea dependenței amplitudinii semnalului recepționat de distanța față de emitor

Distanță (cm)	10	20	40	80	160	320
Amplitudine (mV)						

1.2. Măsurarea caracteristicii de directivitate a unei antene-pâlnie

Pentru măsurarea caracteristicii de emisie a unei antene-pâlnie în funcție de unghi vom folosi montajul din Figura 2. Pe partea de emisie se păstrează toate reglajele folosite pentru măsurătorile de la secțiunea precedentă. Pe partea de recepție însă vom deplasa antenna în diferite puncte de pe cercul cu raza de 50cm. Punctele de pe cerc se aleg astfel încât direcția antenei de recepție să facă pe rând unghiurile date în Tabelul 2 cu direcția antenei de emisie, care rămâne pe toată durata experimentului nemișcată, conform montajului din Figura 2. Se obține și se desenează astfel graficul caracteristicii de directivitate a unei antene pâlnie în plan orizontal. Se poate repeta experimentul și pentru măsurarea directivității în plan vertical dacă se rotește fiecare componentă din sistem cu un unghi de 90° în jurul axului său longitudinal.

Tabelul 2 – Măsurarea caracteristicii de directivitate pentru o antenna-pâlnie

Unghi (grade)	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
Amplitudine (mV)									

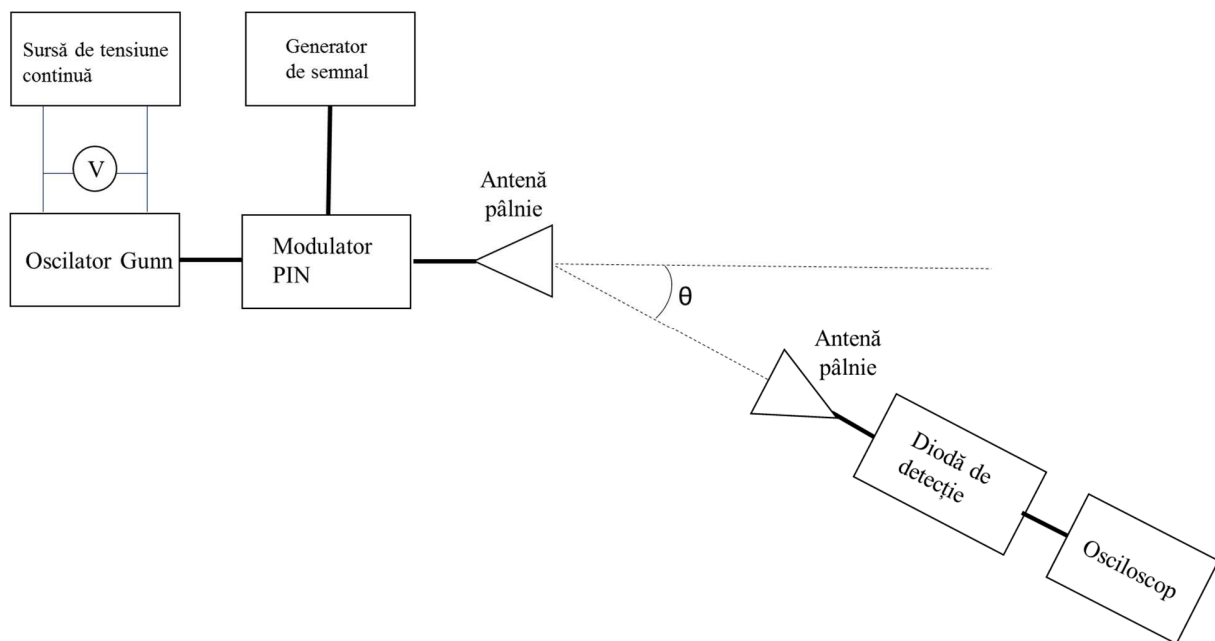


Figura 2. Montajul experimental pentru măsurarea caracteristicii de directivitate a unei antene-pâlnie

1.3. Caracteristica de frecvențe a sistemului de emisie-recepție „Modulator PIN – Diodă de Detecție”

Pentru a măsura caracteristica de frecvențe se poate folosi același montaj ca în Figura 1. De data aceasta însă distanța dintre cele două antene va fi fixată pe toată durata experimentului la valoarea de 80cm și se va varia doar frecvența semnalului util conform datelor din Tabelul 3. Se desenează graficul caracteristicii de frecvențe.

Tabelul 3 – Măsurarea caracteristicii de frecvențe a sistemului „Modulator PIN – Diodă de Detecție”

Frecvență (kHz)	1	10	100	200	300	400	500	600	700
Amplitudine (mV)									

Frecvență (kHz)	800	900	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
Amplitudine (mV)									

1.4. Detecția undelor reflectate. Senzor de proximitate

Printre aplicațiile pe care le au microundele se numără și cele care se folosesc de proprietatea acestora de a se reflecta de obiecte, în special metale: senzor de proximitate, radar de viteză, radar militar, măsurarea distanței. Reflectometria în general încorporează toate măsurătorile care se pot realiza prin intermediul undelor reflectate. Pentru a înțelege acest domeniu de măsură se poate realiza experimental montajul din Figura 3. Cuplorul direcțional permite trecerea nedeviată a radiației de la stânga la dreapta pe axul principal, în schimb are proprietatea de a devia o mare parte din radiația care circulă de la dreapta la stânga înspre dioda de detecție din axul secundar al său. Radiația care circulă de la dreapta la stânga va fi de fapt radiația reflectată de placa metalică. Realizați așadar montajul din figura de mai jos și aflați care este distanța minimă față de antenă la care un obiect metalic poate fi detectat de un „senzor” de poziție care funcționează conform principiului de mai jos.

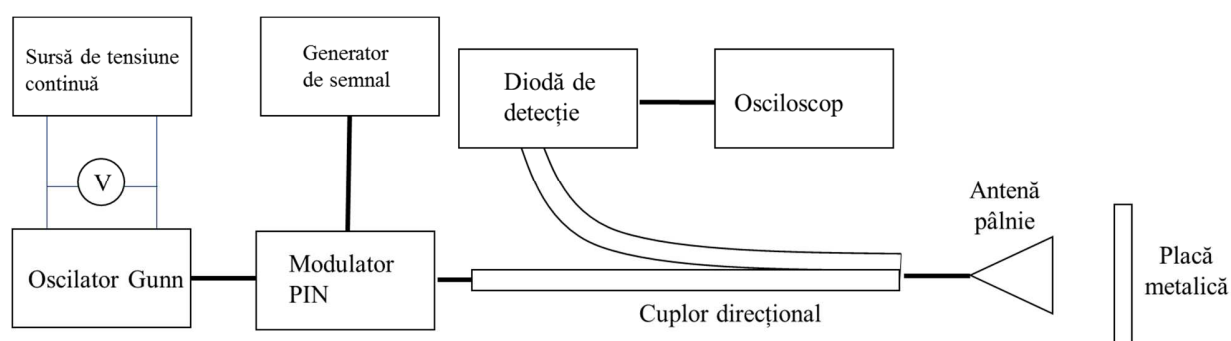


Figura 3. Montajul experimental pentru punerea în evidență a undelor reflectate

LUCRAREA NR. 6

STUDIUL FORMARII UNDELOR STATIONARE INTR-UN CIRCUIT DE MICROUND

1. Montaje experimentale

1.1. Măsurarea VSWR. Un alt procedeu de măsurare a lungimii de undă. Dependența VSWR de sarcina din circuit

Realizați montajul experimental din Figura 1, cuplând un multimetru digital în paralel cu oscilatorul Gunn pentru măsurarea tensiunii pe acesta. Reglați atenuatorul la 10dB și generatorul de semnal din schemă la o tensiune vârf la vârf de $U_{G,v-v} = 2V$ corespunzătoare unui semnal sinusoidal de frecvență 1kHz. Porniți sursa de tensiune continuă la valoarea de 0V și rotiți de potențiometrul acesteia treptat până în punctul în care apar oscilații în circuit. Vom numi tensiunea de alimentare pentru care apare unda purtătoare drept tensiune de prag. Se reglează poziția verticală a indicației osciloscopului până ce acesta va indica zero pentru o tensiune infinitesimal mai mică decât tensiunea de prag. Se fixează adâncimea sondei detectorului cu fantă la jumătate. Se reglează poziția acesteia în diferite puncte de-a lungul axei de transmisie conform valorilor indicate în Tabelul 1, măsurând de fiecare dată amplitudinea semnalului electric detectat pe osciloscop, atât pentru când semnalul este pozitiv (când dioda PIN este deschisă), cât și pentru perioada negativă a semnalului (când dioda PIN este închisă). Deplasarea detectorului cu fantă ne permite sondarea amplitudinii undei staționare care se formează în ghid. Măsurarea se face în raport cu poziția de zero a osciloscopului, de aceea osciloscopul trebuie setat să țină cont și de componenta continuă a semnalului. Se repetă măsurătorile pentru toate cele trei tipuri de terminații prezente în Figura 1. Se desenează variația cu poziția a celor două amplitudini pe același grafic și se caută amplitudinile maxime și minime corespunzătoare atât semi-perioadei pozitive a semnalului, cât și semi-perioadei negative. Se calculează VSWR folosindu-ne de ambele determinări conform formulelor (1).

$$VSWR^+ = \frac{V_{max}^+}{V_{min}^+} \quad VSWR^- = \frac{V_{max}^-}{V_{min}^-} \quad (1)$$

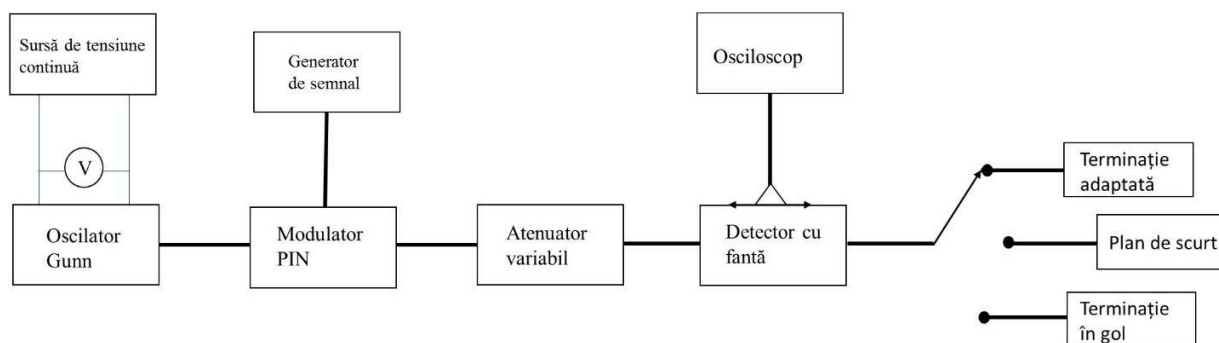


Figura 1. Montajul experimental folosit la măsurarea variației SWR în funcție de tipul terminației.

Tabelul 1 – Măsurarea SWR pentru fiecare din cele trei situații din Figura 1

Poziție (mm)	0	2	4	8	10	12	14	...	40
Amplitudinea semi-perioadei pozitive (mV)									
Amplitudinea semi-perioadei negative (mV)									

Pentru a măsura lungimea de undă a purtătoarei, este suficient să detectăm distanța dintre două noduri ale unei staționare formate (sau distanța dintre două minime dacă unda inversă nu este egală cu unda directă) și să o multiplicăm cu doi.

1.2. Influența adaptorului cu șurub asupra VSWR

Pentru măsurarea influenței adaptorului cu șurub asupra VSWR-ului din circuit vom folosi montajul din Figura 2. Calibrarea osciloscopului se face precum în secțiunea precedentă, recunoscând prezența purtătoarei prin detecția semnalului transmis. După calibrarea componentei de zero a osciloscopului putem opri generatorul de semnal. În lipsa semnalului sinusoidal, dioda PIN va fi tot timpul deschisă. Fixând poziția adaptorului cu șurub la una din valorile din Tabelul 2, se măsoară de fiecare dată amplitudinea maximă și minimă pe care le obținem în urma unei curse complete a detectorului cu fantă. Detectorul cu fantă are așadar rolul de a sonda amplitudinea unei staționare care se formează în circuit.

Tabelul 2 – Măsurarea influenței adaptorului cu șurub asupra VSWR

Poziție (mm)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Amplitudinea maximă (mV)									
Amplitudinea minimă (mV)									
VSWR									

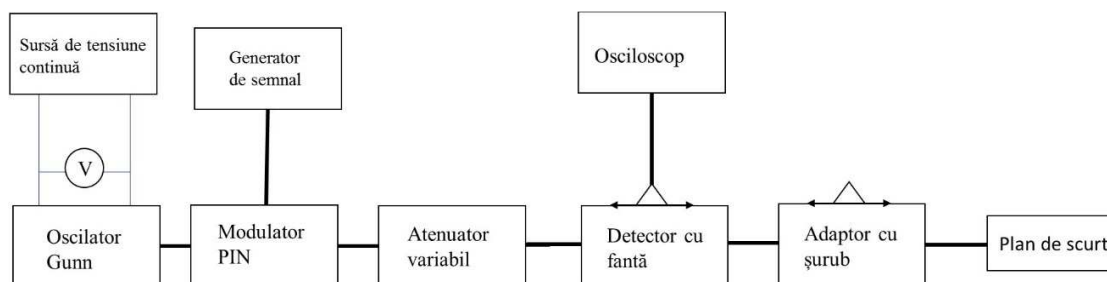


Figura 2. Montajul experimental folosit la varierea SWR prin intermediul adaptorului cu șurub

1.3. Măsurarea caracteristicii de transmisie a cuplorului direcțional

Se realizează montajul din Figura 3 și se reglează atenuatorul variabil la jumătatea indicatorului său (10dB). Se măsoară amplitudinea semnalului în punctul 1 fixând dioda de detecție din Figura 3 în punctul 1 al circuitului, în locul cuplorului direcțional. Se notează această amplitudine cu U_0 . Se mută apoi dioda de detecție în punctul 3, în timp ce punctul 2 este terminat adaptat. Se notează noua amplitudine măsurată cu $U_{1,3}$. Se repetă măsurătoarea schimbând poziția diodei de detecție în punctul 2, în timp ce punctul 3 este terminat adaptat. Se notează amplitudinea măsurată cu $U_{1,2}$. Se repetă experimentul schimbând cuplând succesiv sursa de radiație în toate cele 3 brațe ale cuplorului direcțional. Se vor obține amplitudinile $U_{2,1}$, $U_{2,3}$, $U_{3,1}$ și $U_{3,2}$. Divizând toate amplitudinile măsurate la U_0 se obțin factorii de cuplaj ai cuplorului direcțional.

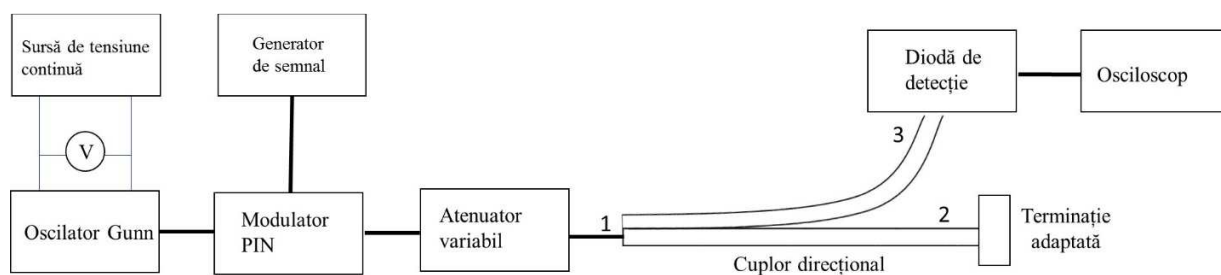


Figura 3. Montajul experimental folosit la măsurarea caracteristicii de transmisie a cuplorului direcțional

1.4. Măsurarea caracteristicii de transmisie a divizorului în T

Analog experimentului din secțiunea 1.3 se măsoară caracteristica de cuplaj a divizorului în T din Figura 4, folosind 2 terminații adaptate, destinate celor două ieșiri libere.

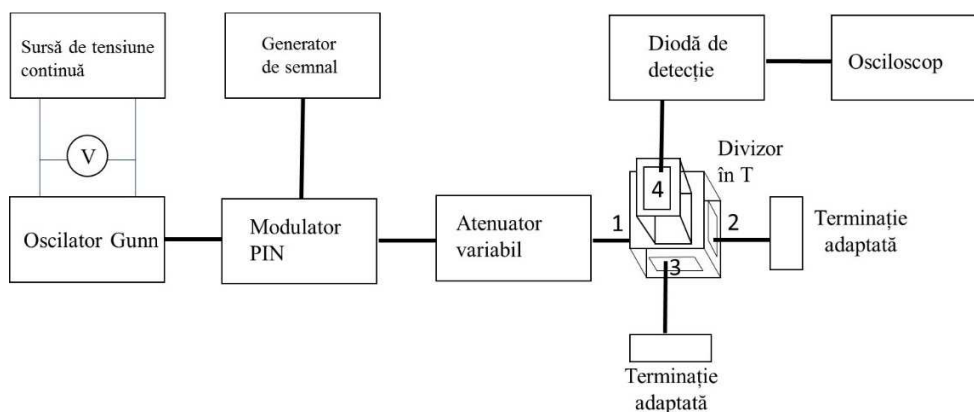


Figura 4. Montajul experimental folosit la măsurarea caracteristicii de transmisie a divizorului în T

LUCRAREA NR. 7

OSCILATOARE DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ

Scopul acestei lucrări de laborator este fixarea conceptelor de oscilator, frecvență de rezonanță și rețea de reacție din prisma unui experiment la frecvență mare (aprox. 100MHz), apropiată de banda microundelor.

Din punct de vedere practic, studenții se vor familiariza cu folosirea osciloscopului și a analizorului spectral, precum și cu deducerea frecvenței de oscilație pe baza citirii perioadei de oscilație pe osciloscop.

La finalul acestui laborator, studenții vor fi capabili și să recunoască diferența dintre o frecvență fundamentală și armonicile acesteia, precum și să deducă valoarea frecvenței fundamentale din analiza armonicelor rezultante, observate pe analizorul spectral.

1. Introducere teoretică

Oscilatoarele Colpitts sunt dispozitive electronice utilizate pentru a genera semnale oscilatorii sinusoidale. Acestea fac parte din familia oscilatoarelor LC, fiind recunoscute pentru stabilitatea și flexibilitatea lor. Inventat de Edwin H. Colpitts în 1918, acest tip de oscilator se bazează pe o combinație specifică de condensatori și o bobină (inductor) pentru a forma un circuit rezonant.

Oscilatoarele Hartley sunt circuite electronice utilizate pentru a genera semnale sinusoidale în diferite aplicații, în special în domeniul radiofrecvenței. Acestea au fost inventate de Ralph Hartley în 1915 și sunt caracterizate prin utilizarea unui divizor inductiv în circuitul rezonant. Comparativ cu oscilatoarele Colpitts, oscilatoarele Hartley folosesc două inductanțe (sau o singură bobină cu derivare) pentru a realiza divizarea semnalului.

Principiul de funcționare

Un oscilator Colpitts generează oscilații prin utilizarea unui circuit rezonant LC. Acesta constă dintr-un inductor și doi condensatori conectați în serie, care împreună formează o divizor capacitiv. În plus, oscilatorul utilizează un dispozitiv activ, cum ar fi un tranzistor sau un amplificator operațional, pentru a compensa pierderile de energie din circuit și pentru a menține oscilațiile.

Oscilațiile sunt susținute de **regenerare pozitivă**: o parte din semnalul de ieșire este reintrodusă în intrare cu faza corectă pentru a amplifica oscilațiile.

Oscilatoarele Hartley funcționează pe baza unui circuit rezonant LC, alcătuit dintr-un inductor și un condensator, care determină frecvența de oscilație. În acest tip de oscilator, semnalul de ieșire este preluat de pe un punct intermediar al inductorului și reintrodus în intrarea circuitului activ pentru a susține oscilațiile.

La fel ca oscilatoarele Colpitts, cele Hartley utilizează **regenerarea pozitivă** pentru a menține oscilațiile. Aceasta se realizează prin întoarcerea unei părți din semnalul de ieșire în fază corespunzătoare cu semnalul de intrare.

Structura unui oscilator Colpitts

Un oscilator Colpitts are următoarele componente principale:

1. **Divizorul capacitiv:** Două condensatoare conectate în serie, care determină frecvența de oscilație împreună cu inductorul.
2. **Inductorul (L):** Formează circuitul rezonant împreună cu condensatoarele.
3. **Dispozitivul activ:** De exemplu, un tranzistor bipolar (BJT), tranzistor efect de câmp (FET) sau un amplificator operațional, care oferă amplificare pentru menținerea oscilațiilor.
4. **Rezistențe și condensatoare auxiliare:** Utilizate pentru polarizarea tranzistorului și stabilizarea circuitului.

Frecvența de oscilație

Frecvența de oscilație a unui oscilator Colpitts este determinată de valoarea componentelor circuitului rezonant și este dată de formula:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C_{ech}}} \quad (1)$$

unde:

- L este inductanța bobinei;
- Cech este capacitatea echivalentă a celor două condensatoare conectate în serie:

$$C_{ech} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Structura unui oscilator Hartley

Un oscilator Hartley este format din următoarele componente principale:

1. **Inductor divizat (L1 și L2):** Reprezintă baza circuitului rezonant. Poate fi o singură bobină cu o derivare intermediară sau două inductanțe separate.
2. **Condensator (C):** Formează circuitul LC împreună cu inductorii, determinând frecvența de oscilație.

3. **Dispozitiv activ:** De obicei, un tranzistor sau un amplificator operațional, care asigură amplificarea semnalului pentru a menține oscilațiile.
4. **Rezistențe și condensatoare suplimentare:** Asigură polarizarea tranzistorului și stabilitatea circuitului.

Frecvența de oscilație

Frecvența de oscilație este determinată de valorile inductanțelor și capacității din circuitul LC. Formula de calcul este:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} \quad (2)$$

unde:

- $L=L_1+L_2$, dacă cele două inductanțe sunt conectate în serie;
- C este capacitatea condensatorului.

Avantaje și dezavantaje

Avantaje oscilator Colpitts:

1. **Stabilitate ridicată:** Frecvența de oscilație este stabilă și influențată minim de variațiile alimentării.
2. **Simplicitate:** Design-ul este relativ simplu și ușor de implementat.
3. **Frecvențe variabile:** Pot funcționa la o gamă largă de frecvențe, de la audio la radiofrecvență.

Avantaje oscilator Hartley:

1. **Simplicitate constructivă:** Design-ul este simplu și necesită puține componente.
2. **Flexibilitate:** Frecvența poate fi ajustată ușor prin modificarea valorii inductanței sau a capacității.
3. **Operare stabilă:** Este capabil să funcționeze stabil pe o gamă largă de frecvențe.

Dezavantaje oscilator Colpitts:

1. **Sensibilitate la componente:** Precizia frecvenței depinde de calitatea și stabilitatea componentelor utilizate.

2. **Dificultăți de ajustare:** Reglarea frecvenței necesită modificarea valorilor inductanței sau ale capacității.

Dezavantaje oscilator Hartley:

1. **Pierderea de energie în inductor:** Poate duce la o scădere a eficienței.
2. **Sensibilitate la variațiile temperaturii:** Inductanțele și capacitățile pot varia cu temperatura, afectând stabilitatea frecvenței.
3. **Dificultate în realizarea divizorului inductiv precis:** Necesită o bobină cu derivare intermediară sau inductanțe potrivite.

Aplicații

Oscilatoarele Colpitts sunt utilizate într-o varietate de aplicații, inclusiv:

1. **Transmițătoare radio:** Generarea de semnale de radiofrecvență.
2. **Receiver:** Oscilatoare locale pentru receiver superheterodină.
3. **Generatoare de semnal:** În echipamente de testare și măsurare.
4. **Sisteme de telecomunicații:** Ca parte din circuitele de modulație sau demodulație.

Oscilatoarele Hartley sunt utilizate în numeroase aplicații datorită versatilității lor:

1. **Transmițătoare radio:** Generarea semnalelor purtătoare pentru comunicații radio.
2. **Receiver superheterodine:** Ca oscilatoare locale pentru amestecarea frecvențelor.
3. **Generatoare de semnal:** În laborator, pentru testarea echipamentelor.
4. **Circuite de măsurare:** Folosite pentru măsurători de frecvență și testarea componentelor.

Concluzie

Oscilatoarele Colpitts reprezintă un exemplu clasic de circuit electronic care combină principiile rezonatorului LC cu amplificarea activă. Datorită stabilității și versatilității lor, aceste oscilatoare sunt larg utilizate în domeniul electronicii, fiind esențiale în multe aplicații moderne. Prin înțelegerea principiilor lor de funcționare, inginerii pot proiecta circuite eficiente pentru o varietate de scopuri.

Oscilatoarele Hartley sunt dispozitive versatile și eficiente, fiind utilizate în multe aplicații electronice, mai ales în domeniul radiofrecvenței. Deși pot avea unele dezavantaje legate de pierderile din inductor și sensibilitatea la temperatură, designul lor simplu și flexibilitatea le fac o alegere populară în proiectarea circuitelor oscilatoare.

2. Circuitul de test

În Fig. 1 se poate vedea schema electrică a circuitului de test, sub forma circuitului de bază a unui oscilator Colpitts. Se observă că circuitul nu are nicio intrare de semnal, dar are o alimentare în curent continuu, V1, cu o tensiune care în Fig. 1 are valoarea de 3V. Datorită circuitului de polarizare, format din rezistoarele R1, R2 și R7, tranzistorul BC108C în configurație emitor comun va avea joncțiunea bază-emitor polarizată direct.

În stânga circuitului se pot observa cele 3 elemente ale rețelei de reacție (C1, C2 și L1), cea care setează frecvența de oscilație a oscilatorului Colpitts. Dacă în locul condensatoarelor punem bobine, și în locul bobinei punem un condensator, transformăm oscilatorul Colpitts într-un oscilator Hartley.

Ieșirea de semnal a circuitului este reprezentată de rezistorul R3, cu o impedanță de 50Ω.

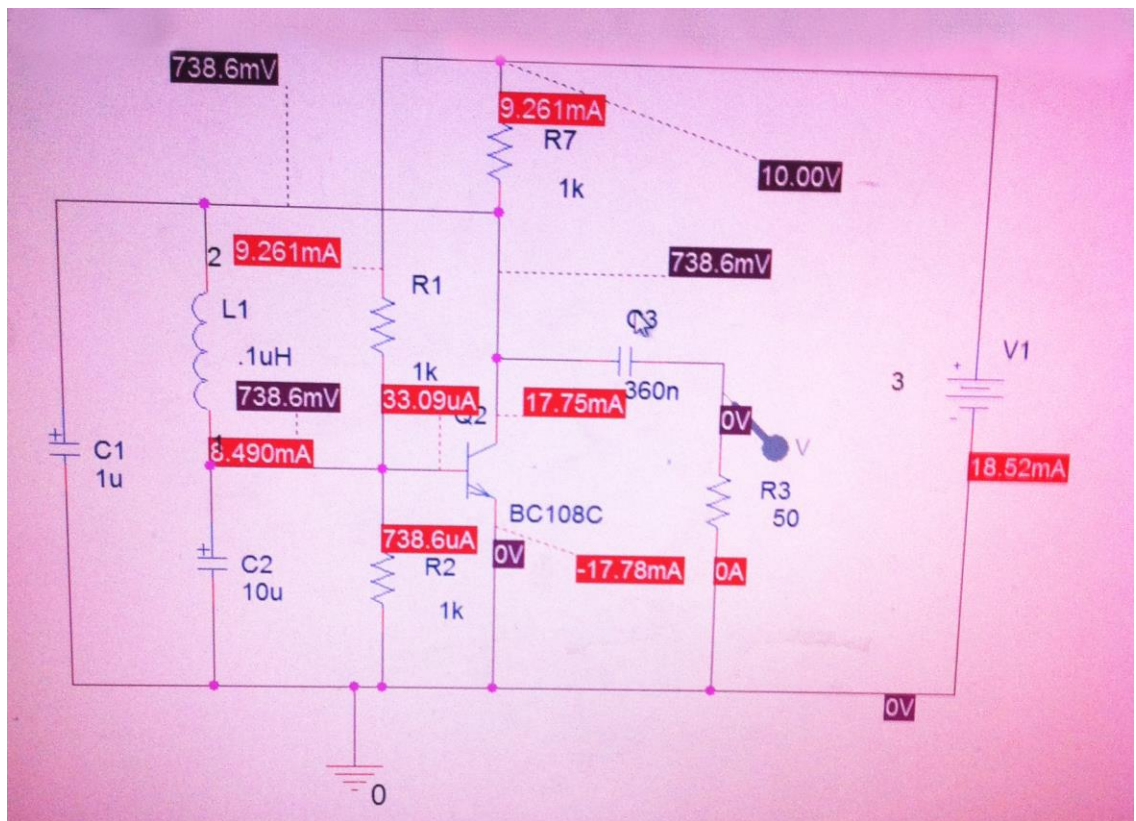


Fig. 1 – Schema electronică a circuitului de test

Circuitul din Fig. 1 poate fi transpus în realitate pe plăcuța de test fotografiată în Fig. 2. Se poate observa pe aceasta ieșirea de semnal pe BNC-ul din dreapta, echivalent cu rezistorul de 50Ω din Fig. 1. Această ieșire trebuie cuplată fie la osciloscop, fie la analizorul spectral, folosindu-se de un cablu de impedanță 50Ω sau 75Ω . Între BNC și colectorul tranzistorului se află o pereche de pini în care putem insera condensatorul de capacitate 360nF .

Cele 3 perechi de pini din partea stângă a circuitului din Fig. 2, care corespund rețelei de reacție, trebuie ocupați de componentele discrete C1, C2 și L1, pentru transformarea circuitului într-un oscilator Colpitts.

Alimentarea în curent continuu se realizează cu ajutorul pinilor + și – din partea dreaptă a circuitului.

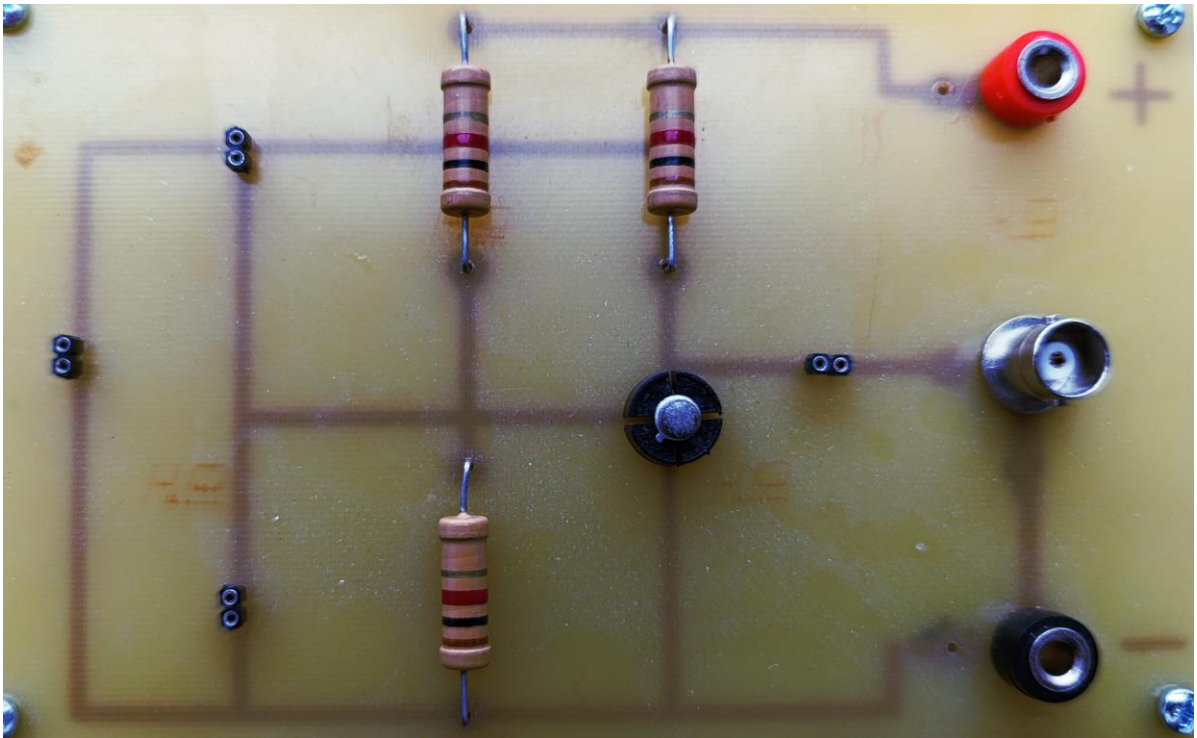


Fig. 2 – Fotografie a circuitului de test

3. Desfășurarea lucrării

3.1. Folosiți elementele pasive (condensatoare și bobine) disponibile în laborator pentru a realiza un oscilator Colpitts, folosindu-vă pe rând de datele din tabelul de mai jos:

Tabelul 1 – Tabel de măsurători

Nr. crt.	C1 (pF)	C2 (pF)	L1 (nH)	Frecvența de oscilație (GHz)			
				teorie	simulare	osciloscop	analizor
1							
2							
3							
4							
5							

3.2. Pentru fiecare caz din Tabelul 1, să se stabilească frecvența de oscilație folosindu-ne de 4 metode de lucru:

- Metoda teoretică – Se calculează frecvența de oscilație folosind formula (1)
- Metoda simulării – Se folosește mediul OrCAD pentru realizarea circuitului din Fig. 1 și se face o simulare în domeniul timp. Se măsoară perioada semnalului generat și se calculează frecvența.
- Metoda osciloscopului – Se cuplează circuitul de test la un osciloscop pentru măsurarea perioadei semnalului generat. Pentru mărirea preciziei, se apasă butonul **x10** în zona de pe osciloscop destinată scalei orizontale. Se calculează frecvența folosindu-ne de formula care leagă perioada unei sinusoide de frecvența acesteia
- Metoda analizorului spectral – Se folosește aceeași ieșire de semnal ca și pentru osciloscop și se măsoară pe un analizor spectral distanța în frecvență dintre 2 armonice consecutive, sau direct frecvența fundamentală.

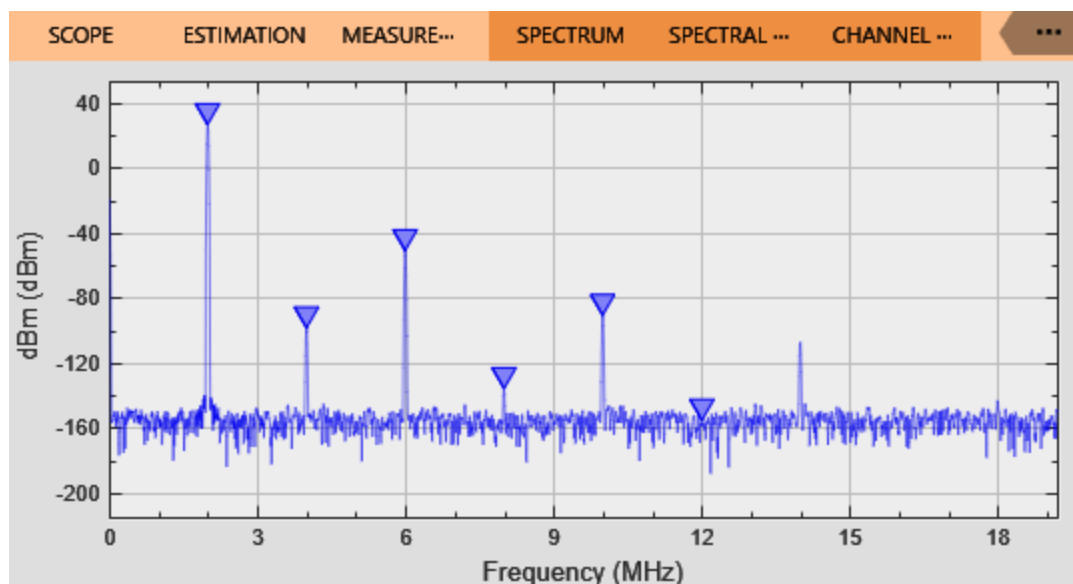


Fig. 3 – Rezultatul măsurătorii frecvenței pe un analizor spectral

- 3.3. Cum explicați neconcordanțele dintre valorile frecvenței obținute prin cele 4 metode: teorie, simulare și metodele experimentale. Care dintre cele 4 metode se abate cel mai mult de la valorile obținute prin celelalte metode? Cum puteți rezolva discrepanța folosindu-vă de foaia de catalog pentru tranzistorul BC108C?