

EXPERIMENTE CU FIDERI



Studierea experimentală a fenomenelor fizice pe liniile lungi (fideri) necesită aparatură scumpă și operatori foarte calificați. Programele speciale de analiză a circuitelor cu care se pot simula pe calculator aceste experimente sunt de uz general, deci scumpe și dificil de manipulat.

Plecând de la concepția că experimentul este cea mai eficientă cale de înțelegere a fenomenelor, prezentăm cititorilor câteva exemple practice de simulare folosind un program ușor de procurat și de utilizat.

ing. Dumitru Blujdescu

Programul și caracteristicile sale principale

Pentru experimentele propuse se folosește programul (proprietatea companiei Motorola) "MOTOROLA'S IMPEDANCE MATCHING PROGRAM" - prescurtat MIMP. Acesta se poate obține de la adresa <http://mot-sps.com/rf/designtds/mimp.html>. După operațiile convenite se obține arhiva zip "Mimpzip.exe" (120kB), care se copiază într-un director anume creat, apoi se comandă execuția sa (autodezarhivarea).

De fapt programul a fost conceput pentru proiectarea grafică interactivă direct pe diagrama Smith a circuitelor de adaptare pentru tranzistoare de putere de RF. În acest scop conține și o bază de date pentru 190 de tipuri de asemenea tranzistoare fabricate de Motorola.

Ca cele mai multe programe de proiectare (C.A.D.) conține însă și o parte de analiză a circuitului rezultat. Această parte va fi folosită în scopul ce ne-am propus și vom beneficia de faptul că rezultatele sunt prezentate și tabelar, deci nu este neapărat necesar ca utilizatorul să fie familiarizat cu folosirea diagramei Smith (dar este preferabil).

Programul este însoțit de un manual destul de complet, din care rezultă că poate fi folosit chiar și pe primele versiuni de PC (cu procesor "...286"), fără coprocesorul matematic și fără mouse. De asemenea poate fi rulat (se înțelege mai lent) și direct de pe dischetă.

Linia ne adaptată ca transformator de impedanță

Ne propunem să studiem impedanța la intrarea unui fider de lungime variabilă și cu $Z_0=50\Omega$, terminat pe o sarcină rezistivă $R_s=150\Omega$ (corespunzător unui $SWR=3$).

După lansarea programului (MIMP.exe) este prezentat

primul ecran de introducere a datelor, pe care-l vom denumi "ecranul a", prezentat în figura 1a. (În manualul programului este denumit "Impedance Entry Screen"). În partea dreaptă sus (deasupra siglei firmei) este o tastatură simplă pentru introducerea datelor cu ajutorul mouse-ului, dar această operație se poate efectua (chiar mai comod) direct din tastatura calculatorului.

Tabelul din partea stângă a ecranului conține pe trei coloane: frecvența F (MHz) scrisă cu alb, impedanța de sarcină $Z_{in}(\Omega)$ scrisă cu verde și impedanța internă a generatorului $Z_0(\Omega)$ scrisă cu albastru deschis. Dreptunghiul de deasupra tabelului este rezervat indicațiilor pentru operator: cu alb sunt menționate (contextual) datele care se cer, iar cu galben indicațiile suplimentare.

Menționăm că în **permanență** programul afișează frecvențele cu o singură zecimală,

iar impedanțele cu două - dar în calcule folosește datele cu atâtea zecimale cu cât au fost introduse. Din aceste motive două date (frecvențe cel mai des) care diferă abia de la a doua sau a treia zecimală, în tabel apar ca fiind egale. Prin urmare în aceste cazuri este recomandabil ca operatorul să alcătuiască mai întâi propria tabelă cu frecvențele și impedanțele respective.

Prima întrebare cere să se introducă "numărul frecvențelor", dar mai corect ar trebui denumit "numărul de seturi de

Tabelul 1

L(λ)	R1(Ω)	X1(Ω)
0	150	0
0.05	85.04	-66.64
0.1	39.85	-50.54
0.15	24.05	-30.5
0.2	18.21	-14.27
0.25	16.67	0
0.3	18.21	14.27
0.35	24.05	30.5
0.4	39.85	50.54
0.45	85.04	66.64
0.5	150	0
0.55	85.04	-66.64
0.6	39.85	-50.54
0.65	24.05	-30.5

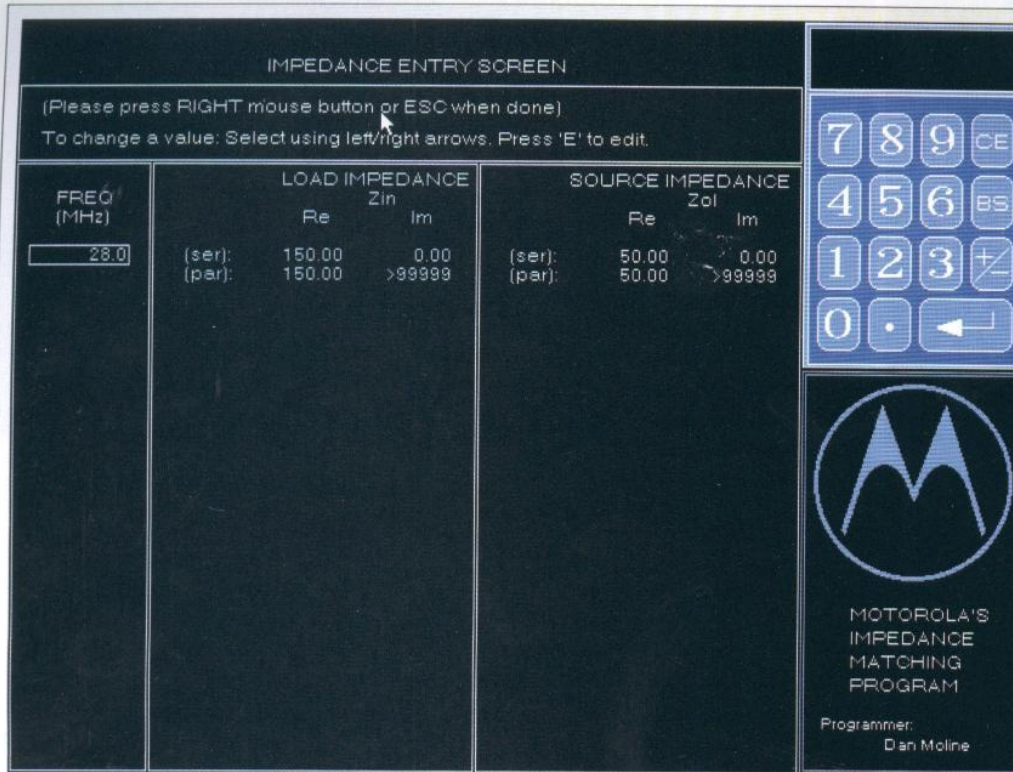


Fig. 1a

impedanțe" - dacă se ține seama de mențiunea anterioară - căci se pot folosi frecvențe care diferă abia la a opta sau a zecea zecimală. Programul acceptă între 1 și 11 seturi de valori (frecvențe).

În exemplul nostru vom introduce numărul de frecvențe $n=1$, după care se cere frecvența nr.1, deci vom introduce $F=28$ (MHz).

Apoi se cere impedanța de sarcină (notată în program Z_{in}), mai întâi partea activă (rezistența) și apoi partea reactivă. Vom introduce $Z_{in}=150\Omega$ (fără componentă reactivă). După aceasta se cere impedanța internă a generatorului (notată de program Z_{ol}), pentru care (din motive pe care le vom explica în exemplul următor) aștem o valoare egală cu impedanța caracteristică a fiderului pe care-l vom folosi în experiment, adică 50Ω rezistiv.

Observație: când numărul de frecvențe (de seturi de valori) este mai mare de 1, programul cere completarea datelor pe coloane (pe verticală) și de la stânga la dreapta.

Dacă au fost introduse toate datele în tabel, în caseta de dialog (de deasupra tabelului) operatorul este invitat fie să treacă la ecranul următor prin apăsarea tastei "Escape" (sau click cu butonul drept al mouse-ului), fie să reediteze (corecteze) datele introduse.

Pentru aceasta cu ajutorul mouse-ului, prin click cu butonul stâng se selectează data ce urmează a fi modificată (va fi încadrată într-un dreptunghi alb), după care se apasă tasta "E" (de la Edit) și se introduce noua valoare.

Ecranul următor, pe care-l vom denumi "ecranul b", este destinat descrierii circuitului de adaptare și arată ca în figura 1b. (În ecranul din figură sunt introduse deja

datele fiderului cu care se face experimentul.)

Ca și în cazul ecranului "a", în colțul din dreapta sus este prezentat display-ul și tastatura cu ajutorul căreia operatorul poate introduce datele cu ajutorul mouse-ului, dar datele pot fi introduse și de la tastatura calculatorului.

Tot ca în ecranul precedent, în partea stângă sus este caseta de dialog, în care cererile sunt scrise cu alb, iar indicațiile cu galben.

Sub caseta de dialog se găsește un set de 12 butoane marcate cu cifrele 1...9 și literele A, B și C. Pe fiecare buton este figurat schematic o componentă reactivă sau un grup de componente reactive cu care operatorul poate să compună o mare diversitate de circuite de adapta-

re.

Componentele simbolizate prin dreptunghiuri (butoanele 9, a, b, și c) sunt *elemente cu constante distribuite*, adică linii folosite ca reactanțe sau pentru conexiuni. (După cum se va vedea în cele ce urmează, pe bună dreptate fiderul (butonul B) trebuie considerat ca făcând parte din circuitul de adaptare.)

Jumătatea de jos a ecranului este destinată prezentării schemei circuitului de adaptare. Programul acceptă numai structuri asimetrice (masa este conductor comun) cu configurație "în scară", deci cu brațe serie sau paralel, dar în această categorie se încadrează cele mai multe cazuri.

În partea dreaptă este conectată sarcina, considerată ca fiind componenta numărul zero, dar nefigurată în ecran. Tot nefigurată în ecran este și generatorul, situat în partea stângă și conectat printr-un reflectometru la ultima componentă a circuitului de adaptare (cea cu numărul de ordine cel mai mare).

Pe măsură ce sunt introduse în circuit, componentele sunt numerotate automat. Nodurile rețelei primesc (pe rând) numărul ultimei componente introduse, dar aceste numere nu apar pe ecran.

În cazul nostru trebuie să conectăm un fider cu $Z_0=50\Omega$, deci vom face click cu butonul stâng pe butonul "B" (linie în brațul serie), după care - la cerere - se introduc pe rând parametrii componentei.

Observație: Programul calculează automat dimensiunile fizice ale componentelor cu constante distribuite, realizabile ca linii plate (strip-line) față de planul masei.

În consecință la prima introducere a unui asemenea element se cer caracteristicile materialului dublu placat pe

care se vor realiza liniile.

Revenind la cazul nostru, vom introduce impedanța caracteristică a liniei ($Z_0=50\Omega$) și apoi datele materialului dublu placat (pentru care programul va calcula dimensiunile liniei) după cum urmează:

Grosimea dielectricului: $H = 250$ mils (miimi de inch);

Grosimea straturilor metalizate: $T = 10$ mils;

Permitivitatea dielectrică relativă: $\epsilon = 2.3$.

(Se pot introduce și date mai apropiate de cele ale materialelor uzuale, dar acestea limitează valorile pe care le poate primi Z_0 fie la introducerea datelor, fie la eventuale reglaje ulterioare.)

Imediat după introducerea acestor date, vor fi înscrise în colțul din dreapta sus al casetei ce va conține schema circuitului (jumătatea inferioară a ecranului) și se cere lungimea liniei în fracțiuni din lungimea de undă (λ) precum și frecvența "f" la care este calculată. Introducem $L=0.65\lambda$ și $f=28$ MHz, cu care - în cazul nostru - considerăm descrierea circuitului încheiată.

Pe ecran va apărea simbolul fiderului (linie în brațul serie), iar în jurul său vor fi menționați parametrii introduși precum și dimensiunile calculate ca "strip-line" pe materialul ales: lățimea "W" și lungimea "L" în inch.

Observație: Corecturile în schema circuitului de adaptare se pot face numai prin ștergerea pe rând a ultimei componente din schemă. Pentru aceasta se scoate cursorul mouse-ului în afara câmpului cu butoane, pe marginea tastaturii pentru introducerea datelor și se apasă tasta "Backspace" de atâtea ori de câte ori se urmărește ștergerea ultimei componente a circuitului (cea mai din stânga).

După aceasta operatorul poate să reîncepă alegerea componentelor pentru completarea circuitului, sau să răspundă invitației (cu galben) de a trece la ecranul următor (și ultimul) prin click cu butonul drept sau cu tasta "Escape".

Cu datele introduse anterior, ecranul "c" (ultimul) arată ca în figura 1c și conține în partea de sus meniul general (la stânga și la dreapta etichetei cu numele programului), iar în restul ecranului rezultatele calculului impedanțelor văzute la fiecare nod în direcția spre sarcină.

Acestea sunt prezentate grafic pe diagrama Smith precum și sub formă de tabel (stânga sus).

În plus, pentru nodul generatorului (cu numărul cel mai mare) se prezintă

în formă grafică (stânga jos) pierderile de reflexie (RL- în dB) pentru fiecare frecvență, deci se dispune de un reflectometru a cărui utilizare va fi prezentată în experimentul următor.

Pentru experimentul propus este suficientă consultarea datelor din tabel, pe care le vom extrage (manual) într-un alt tabel separat pentru a putea desprinde concluziile.

Cu datele introduse rezultă din tabel că impedanța de intrare în fider, adică la bornele de intrare în elementul nr.1 (la nodul nr.1) spre sarcină este: $R_s=24.05\Omega$ și $X_s=-30.50\Omega$ (echivalentul serie). Retinem în tabelul nostru aceasta valoare pentru lungimea electrică a fiderului de 0.65l.

În bara menu-lui principal din partea superioară a ecranului sunt o serie de etichete, fiecare având în partea dreaptă o pereche de butoane cu săgeți în sensul de creștere/scădere, exceptând-o pe ultima care conține trei întrebări la care se poate răspunde cu da sau nu (Y/N).

Trei etichete din partea stângă se referă la componentele circuitului de adaptare introduse în ecranul b (în cazul nostru fiderul), iar celelalte sunt destinate reprezentării grafice pe diagrama Smith.

Prima etichetă conține denumirea componente, în cazul nostru "SERIES TX LINE", adică fiderul.

Următoarele două etichete conțin parametrii principali ai componente: $Z_1=50.00\Omega$ impedanța caracteristică și $\lambda_1=0.6500$ lungimea electrică exprimată în lungimi de undă.

Toate valorile numerice din bara menu-lui principal care au una din cifre subliniată cu o liniuță roșie, sunt reglabile cu ajutorul mouse-ului prin click pe butonul de

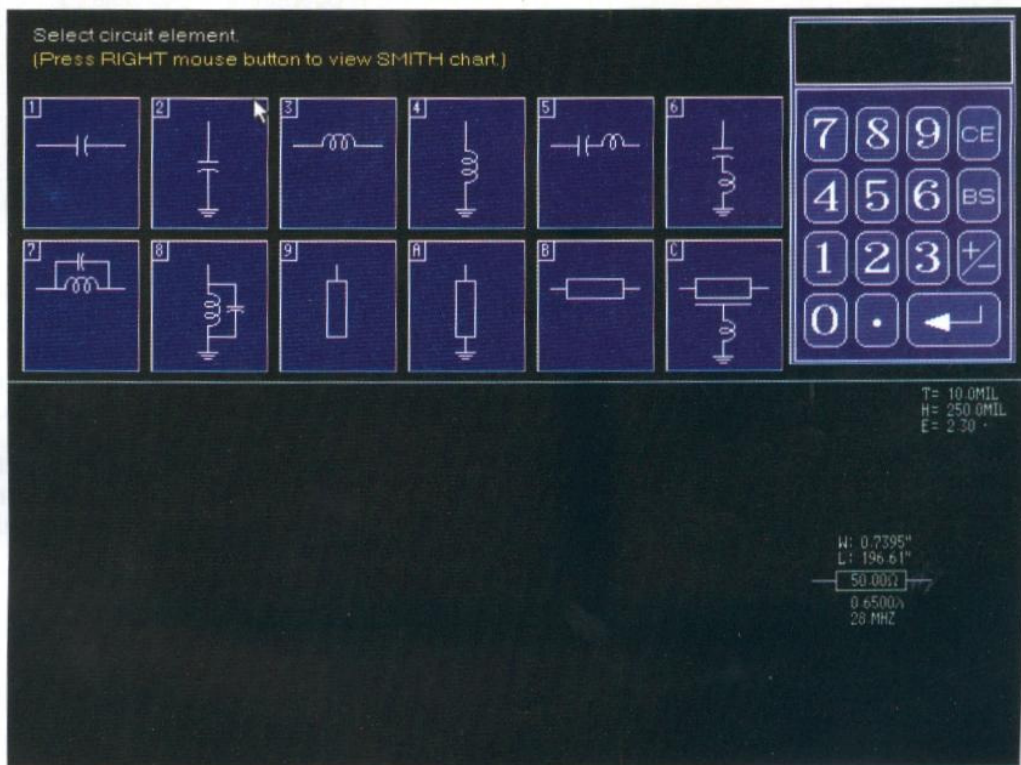


Fig. 1b

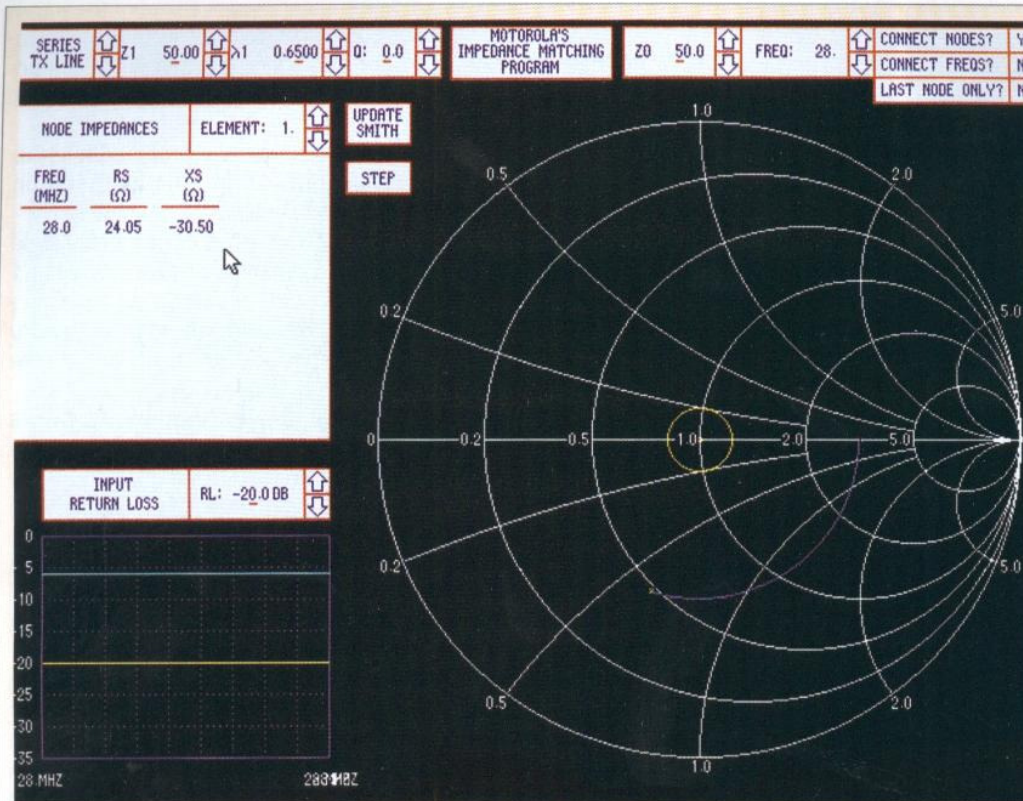


Fig. 1c

butonul stâng odată sau de două ori în dreapta markerului roșu de sub număr, apoi tot cu butonul stâng faceți clic pe butonul "STEP" din dreapta tabelului de date. Acesta se va schimba în "CONT", iar pentru că lungimea fiderului a rămas probabil pe poziția $\lambda_1=0.0000$, deplasați cursorul pe butonul cu săgeata în sus din dreapta etichetei respective și mențineți butonul stâng apăsat până ce se obține valoarea dorită.

La sfârșitul lucrului, pentru ieșirea din program se comandă Shift+X.

Observații: Toate datele din tabelul impedanțelor (și nu numai) sunt prezentate și grafic pe diagrama Smith, cu o particularitate deosebit de utilă: prin reglajul elemen-

creștere (săgeata în sus) sau de scădere (săgeata în jos), Prin aceasta se modifica cifra subliniată cu roșu, dar puteți schimba în prealabil poziția acestui marker prin click în stânga sau în dreapta sa.

Celelalte butoane "crește/scade" de lângă etichetele ce nu conțin markerul roșu (inclusiv cele din colțul din dreapta tabelului) comută numărul nodului sau elementului la care se referă datele.

La pornirea programului, acestea sunt comutate pe ultimul nod sau element spre generator. În cazul nostru având un singur element în circuitul de adaptare, nu se poate comuta decât nodul la care se referă datele din tabel, celălalt nod fiind sarcina, deci nodul nr. zero.

Acum începem experimentul prin "scurtarea" treptată a fiderului cu pasul de $0,05\lambda$ prin click pe săgeata îndreptată în jos de la eticheta care prezintă lungimea liniei (a treia de la stânga). Cum markerul roșu este chiar sub cifra care indică sutimile, vor fi necesare cinci asemenea manevre până se obține valoarea dorită ($\lambda_1=0.6000$), după care citim noua valoare a impedanței de intrare: $R_s=39.85\Omega$ și $X_s=-39.85\Omega$ pe care le vom nota în tabelul nostru pentru $L/\lambda=0.6000$.

Continuând în acest fel până când lungimea fiderului devine zero, se obțin datele din tabelul 1.

Toate reglajele pot fi realizate și continuu cu ajutorul mouse-ului, dar la vitezele de lucru ale calculatoarelor moderne schimbarea este atât de rapidă, încât este necesar să mutați markerul roșu spre dreapta cu unu sau două ordine de mărime pentru a putea controla mai precis operația.

Pentru aceasta, la eticheta " λ_1 " executați click cu

telor circuitului se schimbă reprezentarea grafică, dar nu se șterg vechile reprezentări decât la comanda operatorului. Aceasta se obține prin click pe butonul "UPDATE SMITH" din dreapta tabelului de date.

După lansarea programului diagrama Smith este normalată la 10Ω , deci pentru a-i fructifica mai bine particularitățile se va folosi normarea la o impedanță egală cu Z_0 al fiderului (50Ω). Pentru aceasta se folosesc butoanele de lângă eticheta "Z0" (aflată imediat în dreapta etichetei cu numele programului), folosind procedura de acum cunoscută (în figura 1c normarea este deja "reglată" la 50Ω).

Concluzii: Din datele obținute (tabelul 1) rezultă că fiderul neadaptat produce transformarea impedanței de sarcină în valori care depind (printre altele) de lungimea acestuia. Aceste valori se reproduc ciclic la fiecare $\lambda/2$ pe fiderul cu atenuare neglijabilă, deci toate valorile posibile se găsesc pe o porțiune de cablu care corespunde cu jumătate din lungimea de undă.

Nici una dintre aceste valori posibile ale impedanței de intrare în fider nu este egală cu impedanța sa caracteristică.

Pe diagrama Smith aceste valori se înscriu pe un cerc a cărui rază este cu atât mai mare, cu cât dezadaptarea este mai mare.

Cum impedanța de intrare în fider determină structura circuitului de adaptare între fider și emițător (Transmatch), rezultă că în cazuri dificile se poate recurge la prelungirea sau scurtarea fiderului.