

MESURA DE CONSTANTS DIELECTRIQUES. GUIA RANURADA

1 INTRODUCCIÓ

L'objecte d'aquesta pràctica és determinar la constant dielèctrica i l'angle de pèrdues de materials aïllants sòlids.

Si anomenem ϵ_r la constant dielèctrica relativa d'un material i δ el seu angle de pèrdues, podem definir una quantitat complexa anomenada *constant dielèctrica relativa complexa*: ϵ'_r , mitjançant:

$$\epsilon'_r = \epsilon_r (1 - j \cdot \tan(\delta)). \quad (1)$$

Amb aquesta notació també podem definir la constant de propagació K_g (complexa):

$$K_g = j \frac{2\pi}{\lambda_0} \sqrt{\epsilon'_r - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_c}\right)^2} \quad (2)$$

També podem definir la impedància d'ona Z_g d'una guia sense pèrdues que treballi en un mode TE, plena d'un dielèctric caracteritzat per ϵ'_r :

$$Z_g = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon'_r - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_c}\right)^2}}, \quad (3)$$

amb $\lambda_0 = \frac{c}{f}$, longitud d'ona a l'espai lliure i $\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi \Omega$, impedància d'ona de l'espai lliure.

Suposem una guia d'ones (fig. 1) que tingui la part dreta plena d'un dielèctric de constant complexa $(\epsilon'_r)_2$, i la part esquerra plena d'un dielèctric de constant $(\epsilon'_r)_1$. La superfície de separació dels dielèctrics és una secció recta de la guia.

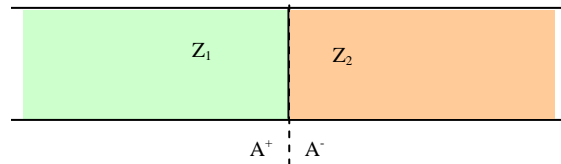


Figura 1

Si z_2 és el valor de la impedància reduïda en el punt A^- del medi 2, aquesta impedància es veurà des de l'altre costat de la superfície de separació, punt A^+ del medi 1, amb un valor igual a z_1 , tal que:

$$z_1 = \frac{Z_{g2}}{Z_{g1}} z_2 = \frac{K_{g1}}{K_{g2}} z_2 \quad (4)$$

i aquesta és la relació que servirà de base per a la mesura de ε'_r .

2 MÈTODE DEL CURTCIRCUIT DESPLAÇABLE

El tros de guia que conté el dielèctric 2 acaba en un pistó de curtcircuit desplaçable (fig. 2). El dielèctric 1 és aire i el conjunt està connectat a una línia de mesura.

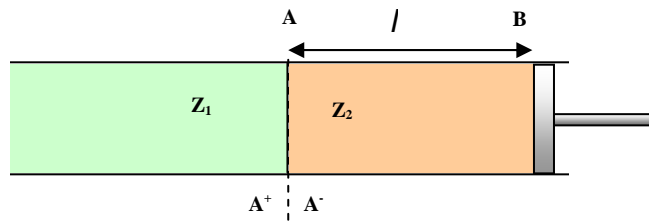


Figura 2

2.1 Pistó en contacte amb la cara posterior de la mostra

En aquest cas, z_2 correspon al valor reduït de la impedància d'entrada d'una guia d'ones curtcircuitada, de longitud $l = AB$

$$z_2 = \tanh(K_{g2} \cdot l) \quad (5)$$

i, segons (4):

$$z_1 = \frac{K_{g1}}{K_{g2}} \tanh(K_{g2} \cdot l). \quad (6)$$

2.2 Desplaçament del pistó $\frac{\lambda_{g2}}{4}$ cap enrere

Si desplacem cap endarrere el pistó una distància igual a $\lambda_{g2}/4$, la cara posterior del dielèctric 2 es troba ara amb un tros de guia curtcircuitada que li presenta una impedància infinita. z'_2 representa ara la impedància d'un tros de guia oberta, plena del dielèctric 2 i, per tant:

$$z'_2 = \coth(K_{g2} \cdot l) \quad \text{i} \quad z'_1 = \frac{K_{g1}}{K_{g2}} \coth(K_{g2} \cdot l). \quad (7)$$

Les inverses de z_1 i de z'_1 són les admitàncies reduïdes y_1 i y'_1 . El seu producte dóna:

$$K_{g2}^2 = K_{g1}^2 \cdot y_1 \cdot y_1' \quad (8)$$

d'on es dedueix, tenint en compte l'equació (3) i la relació $\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_c}\right)^2}}$:

$$\varepsilon_r = \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{g1}}\right)^2 \operatorname{Re}\{y_1 \cdot y_1'\} + \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_c}\right)^2 \quad (9)$$

$$\tan \delta = -\frac{1}{\varepsilon_r} \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{g1}}\right)^2 \operatorname{Im}\{y_1 \cdot y_1'\}. \quad (10)$$

3 MATERIAL

Es disposa d'un banc de mesura format per:

- Generador d'efecte Gunn, amb la seva font d'alimentació (figures 3 i 4).
- Aïllador de ferrita (figura 3).
- Atenuador variable (figura 5).
- Guia ranurada motoritzada (figura 6).
- Font d'alimentació del motor de la guia (figura 7).
- Pistó de curtcircuit (figura 7).
- Regla, clau fixa i clau *Allen*, peu de rei (figura 7).
- Dues mostres de dielèctric amb les dimensions transversals de la secció recta de la guia (baquelita: marró; PVC: verda) (figura 8).
- Ordinador amb programa de control del motor de la guia amb sistema d'adquisició de dades (figura 9).



Figura 3



Figura 4



Figura 5



Figura 6

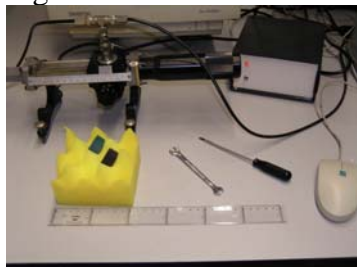


Figura 7



Figura 8



Figura 9

4 REALITZACIÓ DE LA PRÀCTICA

Per cada mostra de dielèctric cal fer tres mesures de l'admitància:

1. Una primera mesura, sense mostra, de l'admitància d'un curtcircuit situat en el mateix punt on hi haurà la cara anterior de la mostra, per tenir una referència de la seva posició dins de la guia (figura 10).

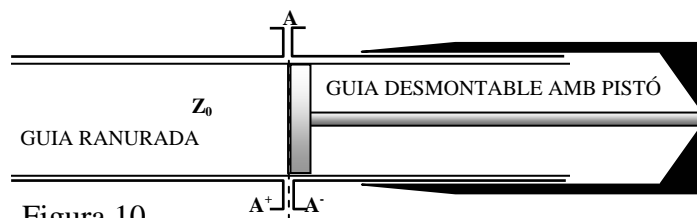


Figura 10

2. Una mesura amb el curtcircuit (pistó) tocant a la mostra colocada a l'interior del tros de guia amb pistó (cilindre negre).

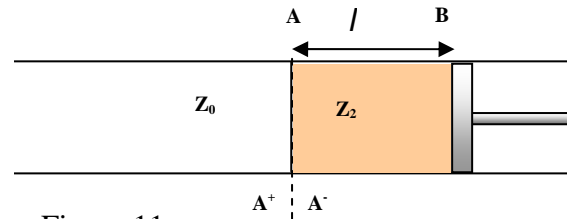


Figura 11

3. Una darrera mesura de l'admitància amb el curtcircuit desplaçat un quart de longitud d'ona des de la mostra.

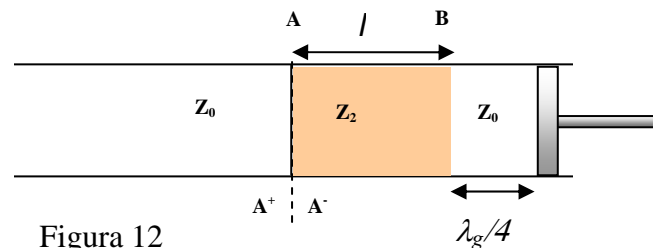


Figura 12

4.1 Mesura del curtcircuit de referència

4.1.1 Inicialització del banc de mesura:

- Podeu connectar el interruptor general de la font d'alimentació del generador Gunn (fig. 4), (8 V de tensió que tenen que donar 125 mA de corrent).
- Per tal de donar temps al generador a establir-se tèrmicament, convé que espereu al voltant de 15 min abans de fer les mesures.
- Per a realitzar la primera mesura de l'admitància, cal que a l'extrem de la guia ranurada es munti el pistó amb el curtcircuit desplaçable sense la mostra (figura 10).
- Per tal d'evitar errors deguts al joc mecànic del cargol micromètric, quan tingueu que situar el pistó en una certa posició, convé que gireu sempre el cargol en el mateix sentit.
- A la corona del pistó hi ha una escala amb divisions cada 2 centèsims de mil·límetre. Si us passeu del valor buscat, haureu de tornar endarrere una volta sencera (a valors més alts) i tornar a aproximar-vos-hi.
- Per començar, doncs, gireu la corona del pistó fins que el pistó es trobi a zero (girant des d'un valor superior a zero).

4.1.2 Mesura del coeficient de reflexió complex de la càrrega

- a) *Connexió del sistema de control i mesura:* Connecteu l'ordinador, la font d'alimentació del motor de la guia ranurada i el oscil·loscopi (opcional, per a veure el nivell del senyal de la sonda). Apareixerà una pantalla com la de la figura 13.



Figura 13

- b) *Posta en marxa del programa de control de la posició de l'antena i d'adquisició de dades:* Si premeu l'accés directe "lmd.bat", es carregarà el programa de control del posicionament de l'antena i de l'adquisició de dades. Aquest programa treballa a l'entorn DOS i està programat amb *Quick Basic* (figura 14).

NOTA: En el cas que hagueu entrat a l'entorn DOS, sense l'accés directe, podreu entrar al programa lmd.bas, cridant-lo des de la pantalla del Quick-Basic. Aleshores haureu d'introduir les instruccions següents:

Alt-F **Open program**

A la finestra **File name** podreu escollir (e:\microona\pract_lab\):

lmd.bas **Enter**

S'obrirà el programa de control i adquisició i aleshores podreu arrencar el programa fent:

Alt-R **Start**

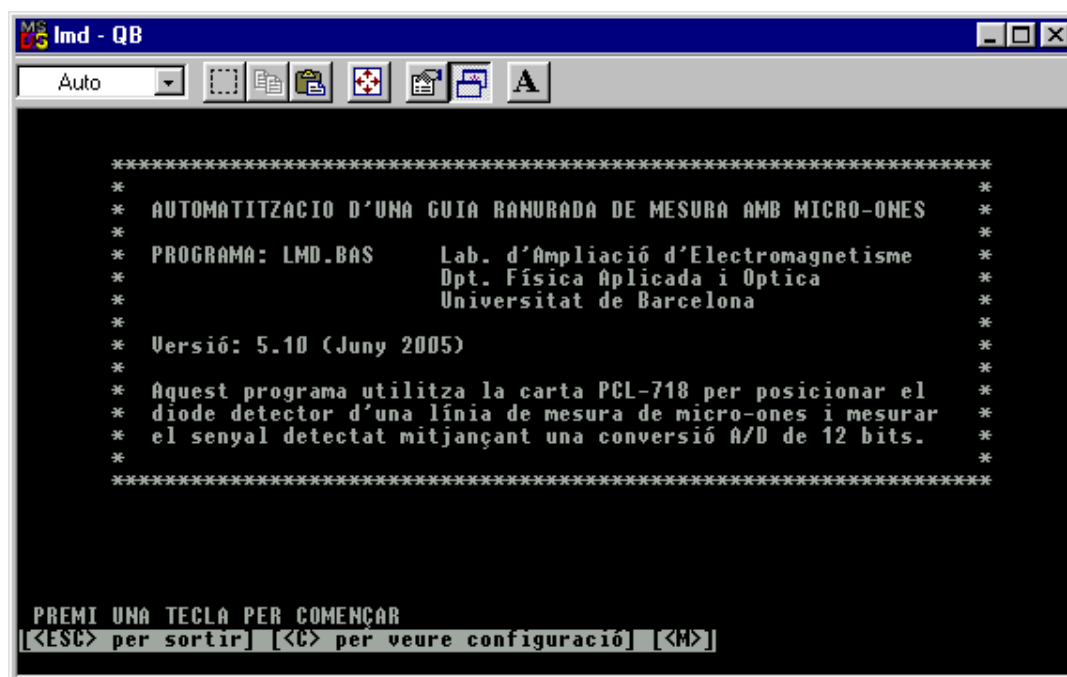


Figura 14

c) *Inicialització del programa:* Apareixerà el menú principal del programa (figura 15).

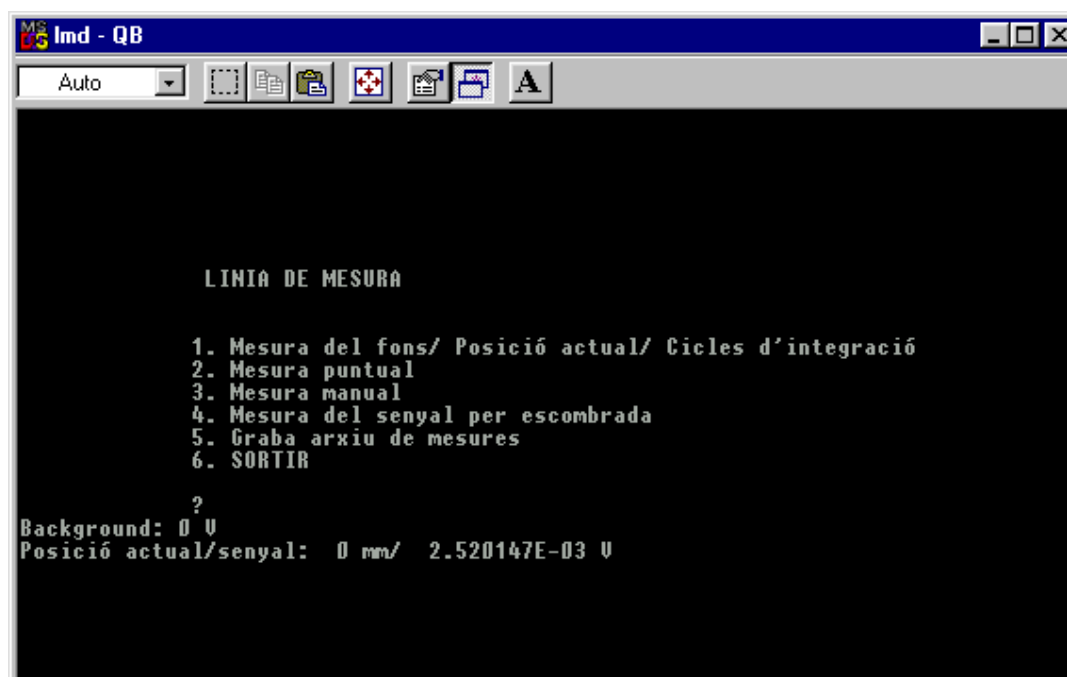


Figura 15

Introduïu:

1 **Enter**

El programa demanarà (figura 16):

posició actual de la sonda
nombre de cicles d'integració

La posició actual la podreu llegir sobre l'escala (amb nònius) de la guia ranurada (la sonda no pot estar per sota de 43 mm). Després podreu introduir:

100 **Enter**

Important: en el cas que tingueu de desplaçar manualment la sonda, primer desconnecteu la font d'alimentació del motor (centre de la figura 9); ajusteu la posició de la sonda i torneu a connectar l'alimentació. Pot ser que, en connectar-la, el motor es desplaci una mica. És normal. El motor té uns increments mínims i no es pot situar a qualsevol lloc. Introduïu a l'ordinador la nova posició on s'hagi quedat la sonda després de connectar l'alimentació del motor.

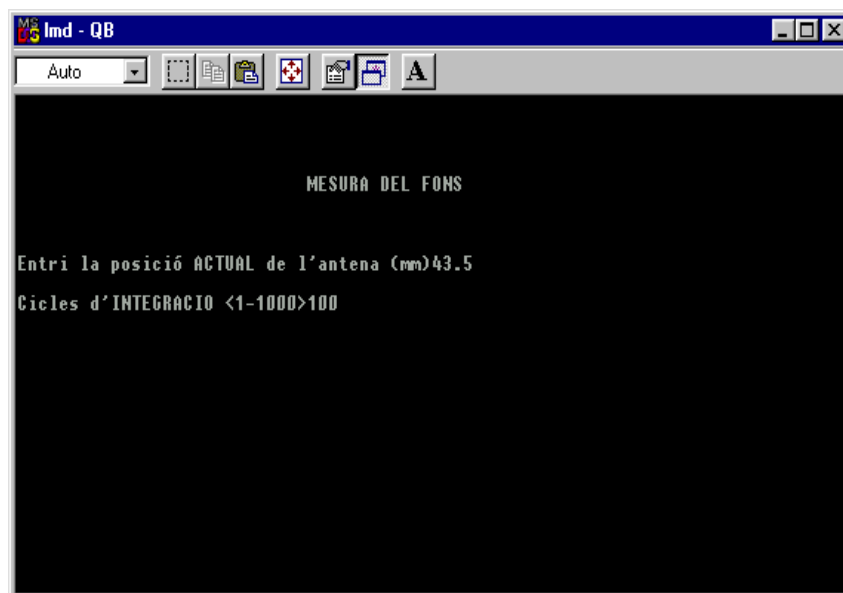


Figura 16

Un avís us recordarà que:

cal desconnectar el díode Gunn

Apagueu aleshores la font d'alimentació del generador Gunn.
Quan polseu:

Enter

el programa farà un cicle de mesures de zero i tornarà al menú principal.

d) *Cicle de mesura manual.* Seleccioneu:

3 **Enter**

Ara podeu connectar el generador. A **Senyal mesurat** llegireu el valor de la mesura integrada.

Si desplaçeu la sonda manualment (amb l'alimentació del motor encara desconnectada) podreu trobar el màxim del senyal mesurat (opcionalment, podreu llegir-ho també amb un oscil·loscopi).

Convé que ajusteu l'atenuador perquè aquest màxim no arribi a 1 V (per seguretat: entre 0,985 i 0,990). Així no se satura la targeta d'adquisició de dades.

Per sortir i tornar al menú principal premeu:

ESC

- e) *Reinicialització de la mesura i cicle de mesura automàtica.* Per a iniciar el cicle de mesura automàtica caldrà que introduïu de nou la posició actual de la sonda. Podeu fer:

1

Enter

Seleccioneu ara **mesura del senyal per escombratge**:

4

Enter

A les preguntes del programa podeu respondre (figura 17):

Rang d'escombratge:

44,120

Interval entre dues posicions:

0.34

Quan us ho demani el programa, connecteu l'alimentació del generador i premeu:

Enter

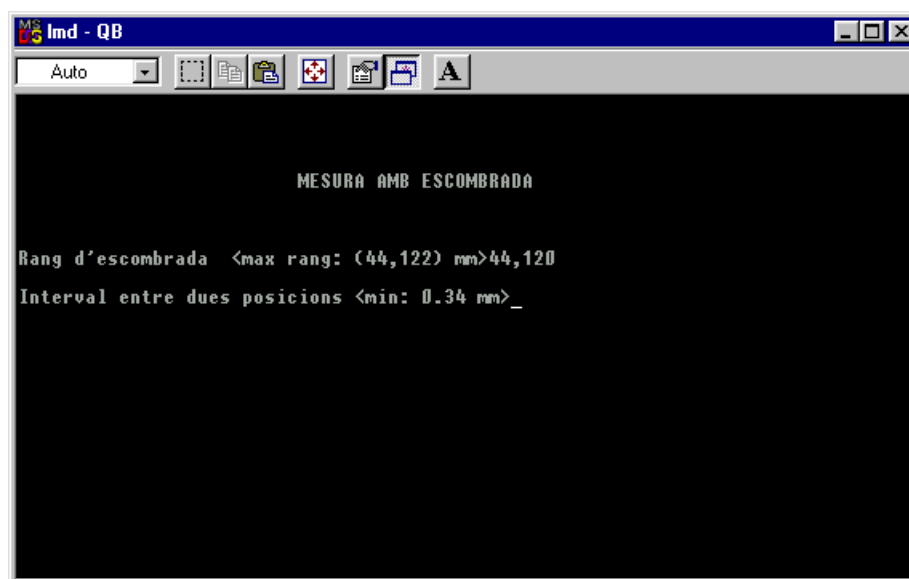


Figura 17

La sonda se situarà a 44 mm i es desplaçarà fins a 120 mm, per intervals de 0,34 mm; a cada posició farà la mitjana de 100 lectures.

En acabar, la sonda tornarà al punt inicial i a la pantalla tindreu de nou el menú principal.

- f) *Arxivament de les dades.* Per tal de salvar les mesures en un arxiu (figura 18), introduïu el disquet de treball (3,5", 1,44 Mb) a la disquetera A i seleccioneu:

5 **Enter**

Us demanarà:

nom d'arxiu

Escriviu:

"nom" (sense extensió) **Enter**

Quan hagi acabat d'arxivar el fitxer, el programa tornarà al menú principal.

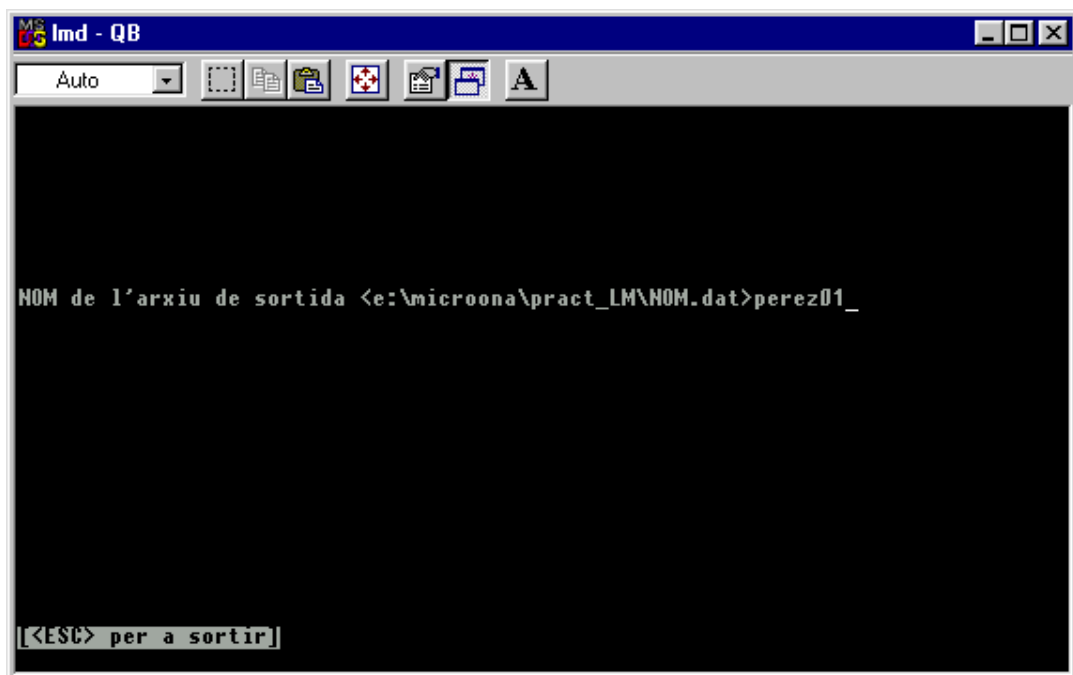


Figura 18

- g) *Sortida del programa d'adquisició de dades.* Per tal de sortir del programa podreu seleccionar:

6 **Enter**

Premeu una tecla qualsevol per acabar de sortir del programa i tornar a la finestra del *Quick Basic*.

Per tal de tornar a l'entorn *DOS* podeu introduir:

Alt-F

h) *Simulació de les mesures amb el full de càlcul.* A continuació, des de l'entorn *Windows* podreu carregar el programa *MS-Excel*, o bé podeu carregar directament el fitxer: *linxc.xls* (figura 13). Aquest fitxer és una simulació del senyal recollit per la sonda que permet comparar les *dades mesurades* amb les *dades calculades* a partir de certs *paràmetres* (amplitud del senyal, coeficient de reflexió, fase i longitud d'ona).

Per tal de visualitzar les vostres mesures, haureu de substituir les dades que hi ha a les columnes *A* i *B* del full de càlcul (posicions de la sonda i els valors mesurats, respectivament), per les dades que acabeu de mesurar, guardades a l'arxiu "*nom*".*dat*.

Al gràfic de la dreta de la pantalla (figura 19) representa la corba de valors mesurats, representats per petits quadrats de color verd junt amb els valors de la simulació amb una línia roja contínua.

A la columna *D* teniu els valors dels *paràmetres* amb els quals es calculen els punts de la columna *E* (simulació) mitjançant les expressions detallades a l'apèndix.

Modifiqueu els valors de la columna *D* fins que la corba roja coincideixi tant com sigui possible amb la sèrie de valors mesurats.

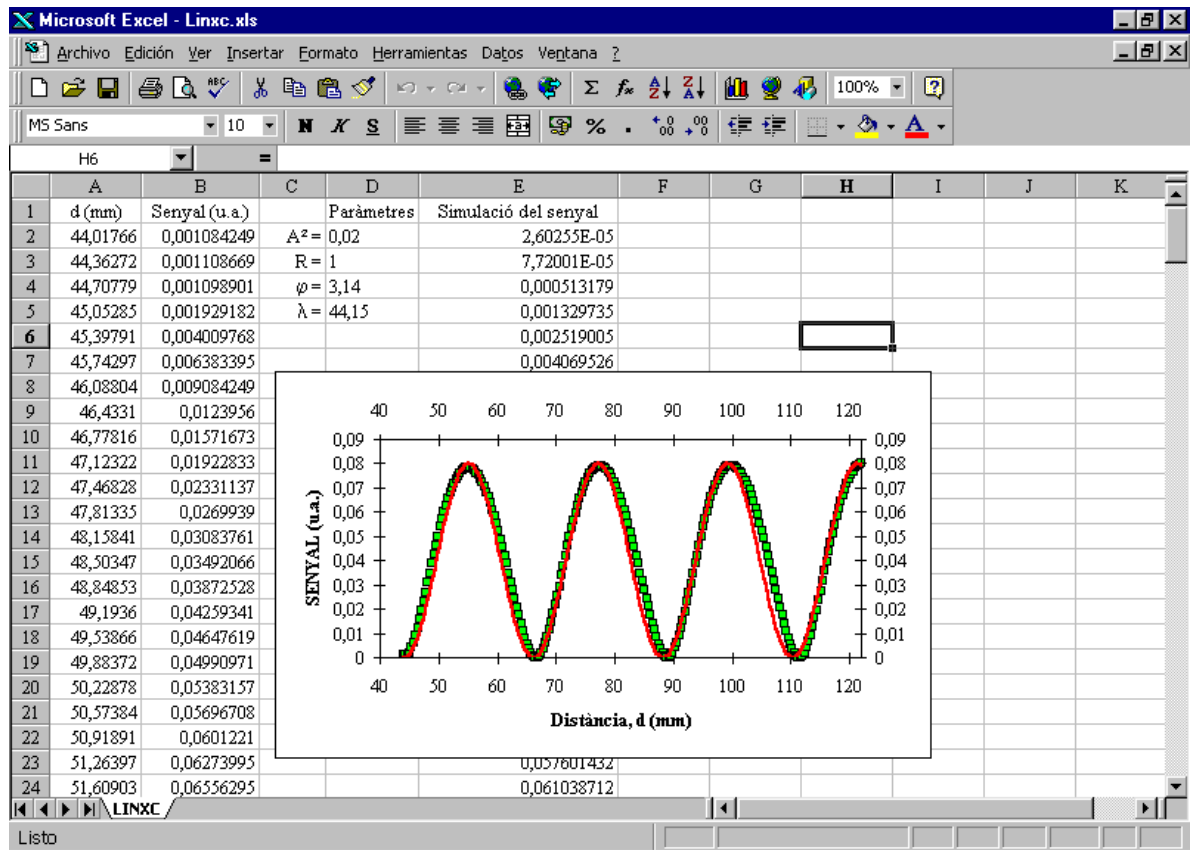


Figura 19

Criteris per a la simulació:

- Si els mínims de la corba estan més junts, o més separats que els mínims dels punts mesurats, modifiqueu la longitud d'ona (λ).
- Si dos mínims consecutius estan desplaçats tots dos a la dreta, o a l'esquerra, dels mínims mesurats, cal modificar l'angle de fase (φ) en radians.

- Si el màxim i el mínim de la corba estan tots dos per sobre, o per sota del màxim i el mínim mesurats, modifiqueu A^2 .
- Si el màxim de la corba està per sobre del màxim mesurat i el mínim per sota del mínim mesurat, o al revés, cal modificar R (≤ 1).
- En aquest cas (curtcircuit), R ha de ser molt proper a 1.
- Reduïu A^2 i augmenteu R per ajustar el màxim de la corba als punts mesurats, sense que el mínim de la corba quedi aplanat.

Si voleu veure amb més detalls l'adaptació de la corba als punts experimentals, feu dos clics dins de la gràfica.

Cal que anoteu els valors finals de R , φ i λ ($=\lambda_{gr}$) ajustats, corresponents a cada arxiu de mesures.

- i) *Determinació de les longituds d'ona de la guia.* A partir del valor de λ_{gr} determinat mitjançant el programa de simulació, i tenint en compte que la longitud d'ona de tall de la guia ($a=0,4''$ i $b=0,9''$), treballant en el mode TE_{01} és: $\lambda_c = 45,72$ mm, i la de la guia ranurada és: $\lambda_{cr} = 45,61$ mm, podreu calcular λ_g mitjançant les següents expressions:

$$\lambda_{air} \text{ (mm)} = \frac{\lambda_{gr}}{\sqrt{1 + \frac{\lambda_{gr}^2}{\lambda_{cr}^2}}} \quad \lambda_g \text{ (mm)} = \frac{\lambda_{air}}{\sqrt{1 - \frac{\lambda_{air}^2}{\lambda_c^2}}}.$$

En el cas present (pistó en la posició zero), la impedància a la càrrega correspon a la d'un curtcircuit, i per tant, $\varphi = \pi$, però, el resultat que s'obté al full de càlcul és diferent. Això és degut a que la posició del pistó no coincideix amb el zero de l'escala de la guia ranurada. Cal, doncs, corregir l'origen de l'escala mitjançant:

$$\pi = \varphi + 4\pi \frac{\Delta d}{\lambda_g},$$

on Δd és la diferència entre la posició real del curtcircuit i el zero de la guia ranurada:

$$\Delta d = \frac{(\pi - \varphi)\lambda_g}{4\pi}.$$

Aquest desplaçament de l'origen s'haurà de mantenir en les mesures que es facin amb les mostres que es proposen en aquest experiment.

4.2 Mesura de la mostra de baquelita

- a) *Col·locació de la mostra de baquelita dins de la guia (Figura 11).*

Per tal de posicionar la mostra, es recomana que situeu el pistó de curtcircuit a uns 17 mm i que el desmunteu de la guia.

Després, podreu introduir la mostra de baquelita, com a la figura 11, de manera que ompli tota la secció de la guia (cilindre negre). Per tal que quedi en contacte amb el curtcircuit, cal que l'enfonseu fins a arribar al pistó.

Ara podeu muntar el pistó a la guia.

Si gireu la corona del pistó fins que el curt-circuit se situï a una distància igual a la longitud de la mostra, aleshores, la cara anterior de la mostra es trobarà al mateix punt en què estava el curt-circuit.

Si, donat el cas, us passéssiu de llarg el punt previst, no podreu tornar endarrere. La mostra es quedarà allà on el pistó l'hagi deixat d'empènyer. Aleshores, haureu de desmuntar el pistó i repetir l'operació.

Un cop posicionada la mostra com a la figura 11 podreu repetir els passos de l'apartat 4.1.2 per mesurar R i φ corresponents a la impedància actual.

En la simulació del full de càlcul, només caldrà que modifiqueu els valors de R i de φ per ajustar la corba, ja que, en principi, λ i A^2 no hauran variat.

Anoteu els valors finals.

b) Desplaçament del pistó d'un quart de longitud d'ona (figura 12)

Amb els resultats del full de càlcul podreu determinar $\lambda_g/4$.

Ara, si actueu sobre la corona del pistó podreu posicionar-lo a una distància igual a $l + \lambda_g/4$, on l és la longitud de la mostra (figura 12).

Cal desplaçar el pistó lentament per tal d'evitar que el pistó succioni la mostra i l'arrossegui una mica cap endintre. Només s'ha de moure el pistó, no la mostra.

Arribats a aquest punt, podreu determinar els nous valors de R i φ i anotar-los.

4.3 Càlcul de les constants de la baquelita

a) Càlcul de l'admitància y_l .

Amb els valors obtinguts a l'apartat a) de 4.2 i corregint el valor de φ podreu determinar:

$$y_l = g_l + js_l$$

$$\text{on: } g_l = \frac{1 - R^2}{1 + R^2 + 2R \cos \varphi} \quad \text{i} \quad s_l = \frac{-2R \sin \varphi}{1 + R^2 + 2R \cos \varphi}$$

b) Càlcul de l'admitància y'_l i dels paràmetres ε_r i $\tan \delta$.

Per tal de determinar les constants de la baquelita, serà convenient repetir les operacions anteriors amb els valors de l'apartat b) de 4.2. Aleshores, calculant el producte $y_l \cdot y'_l$ i substituint en les equacions (9 i 10) podreu calcular ε_r i $\tan \delta$.

4.4 Mesura de la mostra de PVC

La mesura de la mostra de PVC la podeu realitzar repetint els apartats anteriors igual com heu fet amb la mostra de baquelita. Noteu que la longitud de la mostra de PVC és una mica diferent que la de la baquelita.

APÈNDIX

Equació de l'ona estacionària en una guia d'ones, o línia de transmissió, produïda per una càrrega no adaptada.

De l'expressió de la solució general de l'equació de propagació d'un camp elèctric que varia sinusoïdalment amb el temps, tenim:

$$E(z) = A \cdot e^{\gamma \cdot z} + B \cdot e^{-\gamma \cdot z}$$

es dedueix l'expressió del quadrat del camp en un punt, en funció del quadrat de l'amplitud de l'ona progressiva (A^2), de la longitud d'ona (λ), del mòdul del coeficient de reflexió (R), de la seva fase (φ) i del coeficient d'atenuació de la guia (α):

$$|E^2| = A^2 \cdot \left(e^{2\alpha \cdot z} + R^2 e^{-2\alpha \cdot z} + 2R \cdot \cos\left(\varphi - \frac{4\pi z}{\lambda}\right) \right).$$

En el cas de la guia utilitzada, el coeficient és molt petit i, treballant amb distàncies curtes, es pot suposar amb una bona aproximació que no hi ha pèrdues.

Suposant, doncs, que $\alpha = 0$, l'equació anterior es redueix a:

$$|E^2| = A^2 \cdot \left(1 + R^2 + 2R \cdot \cos\left(\varphi - \frac{4\pi z}{\lambda}\right) \right)$$