

Techniques de Réalisation et Très Hautes Fréquences au GEII de Marseille.

S'il y a bien un domaine de l'électronique qui reste absent de la salle de maquette, c'est bien celui des THF ou des "hypers". Principalement parce que sa réputation est d'être coûteux et difficile à maîtriser, mais aussi parce que le résultat n'est pas palpable et visible avec l'instrumentation classique.

Au GEII (Marseille) l'utilisation de microrubans "maison" prêts à l'emploi et l'achat d'analyseurs de spectres peu coûteux, a bien débloqué la situation depuis 1989.

En 1993 nous avons pu ajouter deux éléments pédagogiques puissants :

un petit logiciel de CAO en hyperfréquence et un analyseur de réseaux.

Puisque de CAO il est question, soulignons tout de suite que les notions d'onde de courant et tension sur une ligne bifilaire, de constantes réparties, de coefficient de réflexion, sont d'un degré d'abstraction qui rebute l'élève moyen, et proposer en salle de pratique une aide à la conception, leur permet de multiplier les essais sans se décourager devant d'horribles calculs. Ils peuvent ainsi concentrer leur efforts sur l'observation, cerner l'effet des paramètres dont ils sont maîtres et prendre le fer à souder à bon escient.

Il nous a paru intéressant de décrire aux collègues cette approche pratique des THF.

1° La première approche en 89.

Le sujet : réaliser en technique microstrip (microruban) un oscillateur à 1,5 GHz avec un BFR91 monté en base commune. Ce transistor présente un Ft de 5GHz pour un coût de 6 francs. Il est décrit par ces capacités intrinsèques Cce: 0,9pF Ccb: 0,6pF Cbe: 2,5pF soit 2.26pF vu du collecteur, émetteur à la masse.

L'oscillation est possible à condition de provoquer au collecteur une forte résonance à 1.5GHz en ajoutant un élément selfique de 8nH. C'est ce résonateur qui est réalisé en microstrip (ligne chargée par 2.2pF). La condition d'oscillation était donc discrètement surveillée.

Du point de vue pratique les élèves disposent de microrubans cuivre sur epoxy simple face, (autocollants 3M n° 388) de différentes largeurs W de 0.8 à 6mm. On développe à l'avance sur une plaque une provision dans chaque largeur W en séparant les rubans de 5mm de façon à s'approcher du modèle de microstrip (CAO) à diélectrique infini.

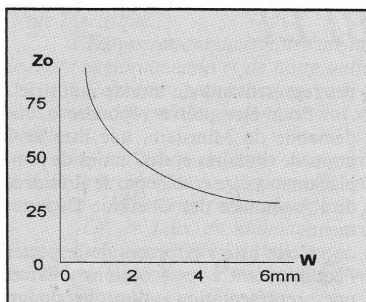
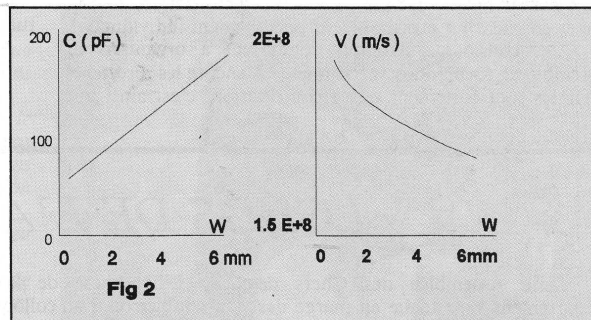
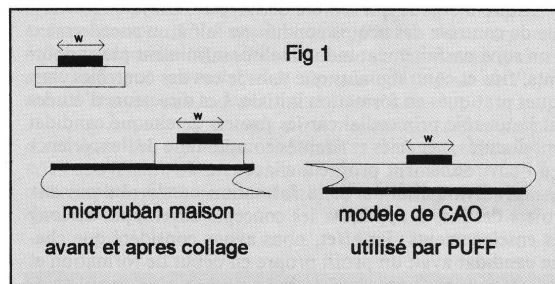
La plaque est passée au massicot en respectant les marges non cuivrées. Fig 1.

On obtient ainsi des microstrips d'impédance caractéristique de 100 à 25 Ohms.

Le signal de sortie à 1.5GHz est extrait grâce à une ligne couplée au résonateur, ce qui permet le branchement sans danger d'un analyseur de spectre.

On obtient quelques mW avec une précision de fréquence dépendant du soin apporté à la caractérisation préalable des microstrips.

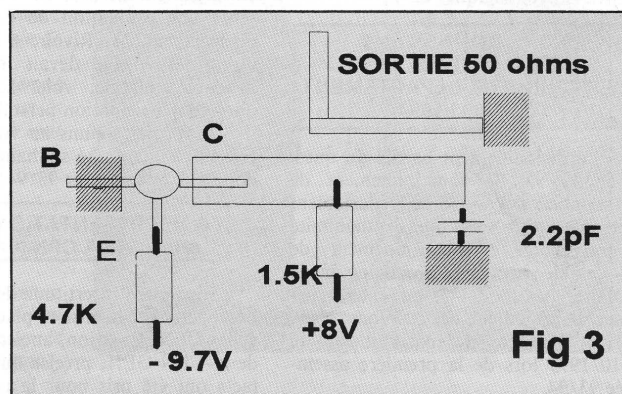
Les élèves déterminent la vitesse de propagation V pour plusieurs largeurs W, par une méthode d'onde stationnaire sur court circuit, puis la capacité linéique C.



Enfin Zo est obtenu par $(V \cdot C)^{-1}$.

L'abaque de Smith leur permet de "tailler" le résonateur (8nH à 1.5GHz).

Le montage présente l'allure de la figure 3.



2° L'approche actuelle 92-93.

Le logiciel PUFF développé et utilisé depuis une dizaine d'années à l'université de Californie (Caltech) a permis un gros progrès pédagogique dans l'étude de la condition d'oscillation de notre montage. Son apprentissage est très rapide, sa taille est très réduite (360Ko). La simplicité, le réalisme, la puissance méritent que l'on décrive sommairement ce qu'il utilise et ce qu'il produit: PUFF permet la simulation de montages passifs ou actifs en constantes localisées ou réparties.

Pour simuler un composant actif il utilise des fichiers au format EEsof contenant les paramètres S (scattering parameters) sous forme "module argument" pour chaque fréquence: le BFR91 sera décrit de 0.2 à 1.5GHz et à 2mA par:

f	S11	S21	S12	S22
0.2	0.7 -65°	5.3 13°	0.08 55°	0.8 -25°
0.5	"	"	"	"

A l'édition du composant on appellera le fichier précédé de DEV comme suit: **DEV BFR91A** pour 2mA ou **BFR91B** pour 5mA etc.. Pour les composants localisés on donne la valeur précédée de LUM: **LUM 6.8pF**.

Pour les éléments répartis, il faut préciser la construction: microstrip (un plan de masse) ou stripline (deux plans de masse) puis donner l'impédance caractéristique et la longueur géométrique ou électrique: **TLINE 34 ohms 87°** et si l'on veut simuler les pertes on ajoute: **TLINE 34ohms 87° 30Q**.

On peut aussi définir des lignes couplées par leur impédance de mode commun et différentiel **Zoc Zod**.

Tous les éléments utiles au "schéma" sont ainsi édités dans un cadre **PARTS** présenté par PUFF.

L'assemblage des éléments se fait dans un cadre **LAYOUT**.

Le substrat est défini dans un cadre **BOARD**. Le domaine de fréquence, le nombre de points, l'échelle sont définis dans **PLOT**.

PUFF fournit les résultats sous forme coefficient de réflexion et transmission (S_{ij}) en module et coordonnées cartésiennes et aussi en polaire avec un curseur en fréquence. Après calcul, PUFF présente en un seul coup d'oeil les données fournies et les résultats graphiques souhaités: c'est pédagogiquement très efficace (fig 5).

Précisons comment avec le langage "S" (cours Multimédia EN 25) on peut décrire la condition d'oscillation. La fréquence est réduite à 1GHz pour être compatible avec le fichier BFR91.

Le transistor, monté en EC, est encadré par une charge au collecteur Z_L (coefficient de réflexion Γ_L) et un générateur éteint Z_g (coefficient de réflexion Γ_g).

Celui-ci, décrit par sa matrice S, chargé par Γ_L présente sur sa base (Figure 4) un coefficient de réflexion:

$$S'_{11} = S_{11} + (S_{12} \cdot S_{21}) / (1/\Gamma_L - S_{22})$$

Le maintien de l'oscillation n'est possible que si $S'_{11} \cdot \Gamma_g = 1$; soit:

$$\arg(S'_{11}) + \arg(\Gamma_g) = 0 \text{ et } |S'_{11}| > 1/|\Gamma_g|$$

ce qui correspond à un module de S'_{11} supérieur à l'unité (car $|\Gamma_g| < 1$) ou bien, à une partie réelle de l'impédance d'entrée négative. Fig 5 La présentation de PUFF nous montre clairement que S'_{11} restant prisonnier du cercle unitaire, le BFR91 monté en émetteur commun n'oscillera jamais.

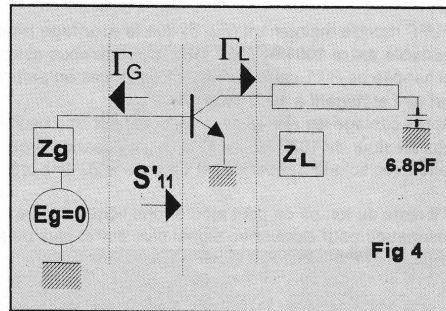


Fig 4

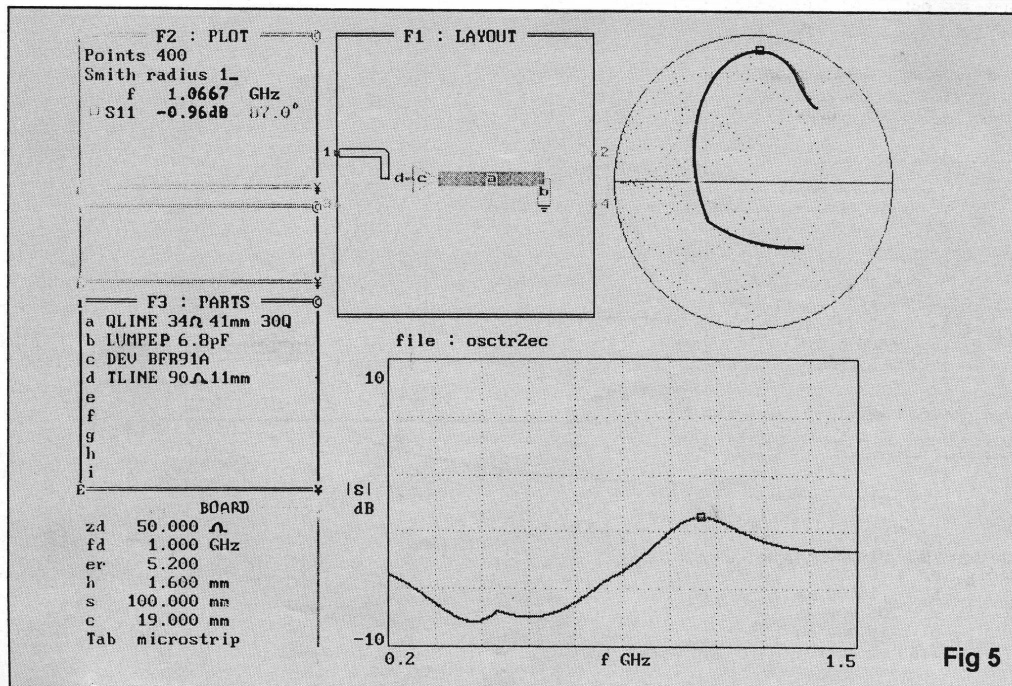


Fig 5

Les élèves peuvent vérifier à l'analyseur de spectre la parfaite stabilité du montage.
L'analyseur de réseaux confirme de très près l'allure de S'11. Fig 6

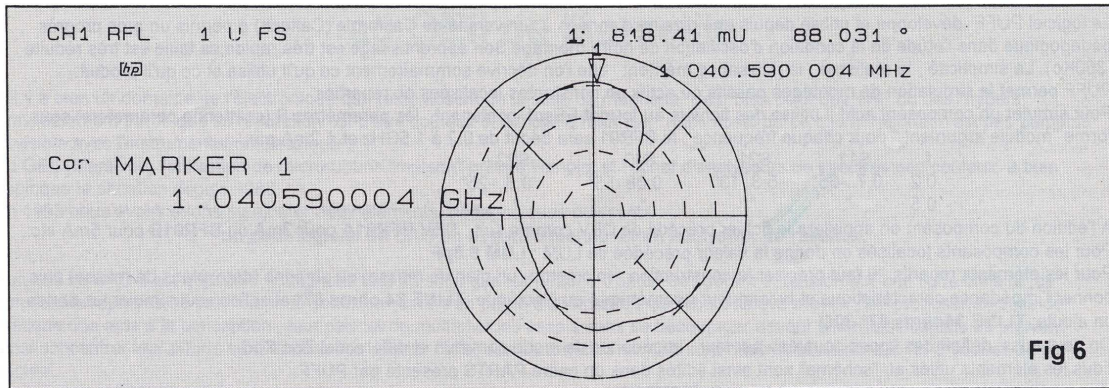


Fig 6

Il ne nous reste plus qu'à rendre instable le montage, la CAO nous y aide grandement, grâce à la fonction INDEF qui appliquée à la matrice S d'un N pôles (quadripôle BFR91 en EC) crée la matrice du N+2 pôles (hexapôle BFR91 non référencé à la masse).

L'édition du transistor se fait par INDEF BFR91A, dans le cadre du schéma apparaît maintenant un symbole à 3 accès : Fig 7. Le nouvel accès est l'émetteur, donc l'entrée où nous définissons S'11. La base est mise à la masse.

PUFF montre maintenant (Fig 8) que le montage modifié est instable entre 1001 et 1067 MHz, puisque nous assistons à une échappée de S'11 entre ces deux fréquences en particulier S'11 est réel et négatif à 1037 MHz

Après câblage les élèves peuvent constater une oscillation stable aux alentours de 1037 MHz. Si la caractérisation préalable est faite avec soin la fréquence est obtenue à 20MHz près.

S'il reste du temps on peut ajouter une ligne couplée au résonateur pour extraire un signal plus pur et plus puissant, toujours grâce à PUFF.

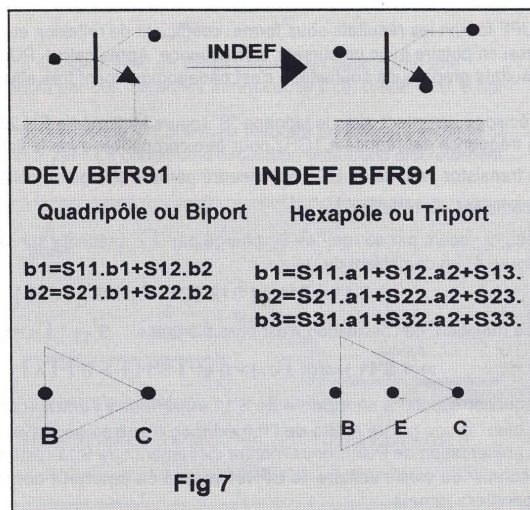


Fig 7

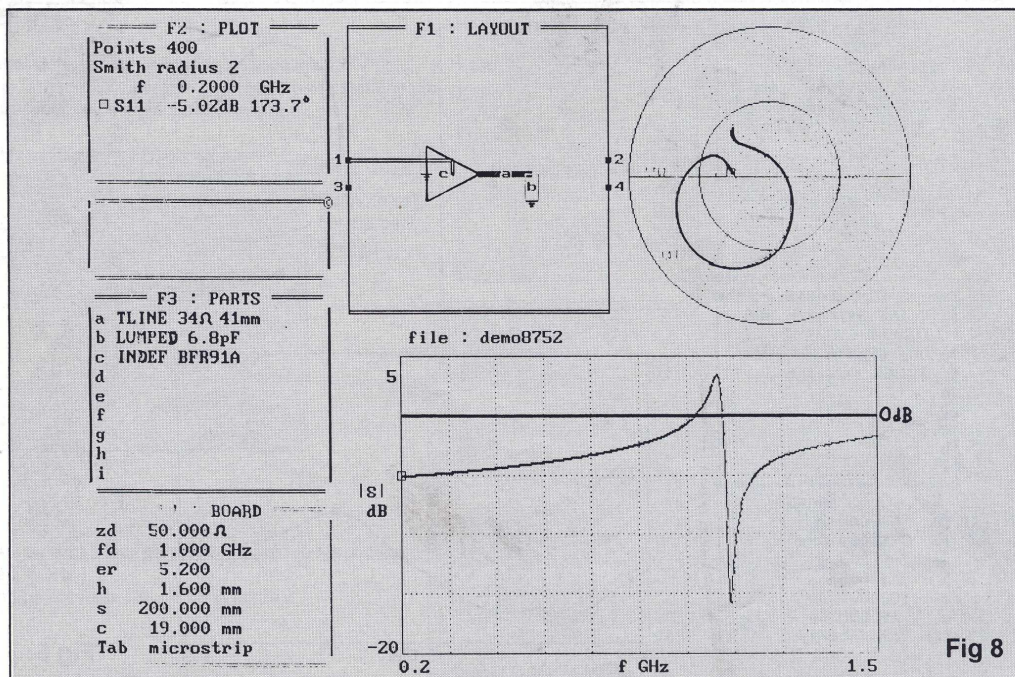


Fig 8

Conclusion :

Ce sujet n'est qu'un exemple de ce que l'on peut expérimenter en associant la CAO et le fer à souder dans le domaine des THF, le câblage suivant dans l'heure, grâce aux microrubans autocollants .

Ce logiciel permet également l'édition du masque à l'échelle un sur papier, il ne reste plus qu'à photocopier sur transparent et insoler pour une version définitive .

On peut varier à l'infini : filtre, coupleur , amplificateur, résonateur diélectrique etc.....sans effaroucher les élèves par des calculs numériques inextricables .

S'il y a une montée rapide des produits de CAO dans le monde industriel il est urgent de préparer nos étudiants à cette façon d'aborder une réalisation .

Certains reprochent à la CAO son côté facile (même ludique.....!!!!) qui permet de "bidouiller" un montage avant de le réaliser, mais c'est à nous, enseignants,

de rapprocher en permanence les concepts théoriques des résultats numériques obtenus sans effort.

En supprimant la lourdeur ou l'infaisabilité des calculs, l'aide à la conception permet de concentrer l'effort des élèves sur la compréhension et le sens des expressions littérales que le cours leur présente.

La salle de pratique idéale devrait comporter un tableau noir, de la documentation technique abondante, l'instrumentation adéquate, un outil de CAO et surtout un chef d'orchestre pour lier ces moyens .

En particulier lier le cours, les applications numériques (CAO) au moment où l'élève en éprouve le besoin et illustrer par une réalisation .

L' étudiant ou le futur professionnel doit rester un concepteur aidé par ordinateur .

Bibliographie:

Cours Multimédia EN 25 (IUT de LILLE)
Matrice S par RIVIER et SARDOS (Masson)
Oscillateurs micro-ondes par GENTILI (Masson)
Microwaves and RF nov 1985
Notice de l'analyseur de réseaux HP 8752 .

Renseignements J.M. MATHIEU ou M.DEVAUD
Tel 91 28 93 60 Fax 91 28 94 03
GELL de MARSEILLE service TR2.

par
J.M. MATHIEU
M. DEVAUD
GE II Marseille

