

milliards de connexions que constitueront les dispositifs sans fils qui, selon toute vraisemblance, vont proliférer ces prochaines années, tels que même les appareils ménagers. Vinton Cerf travaille au problème d'étendre Internet à d'autres environnements tels que la Lune et la planète Mars, pour lesquels le temps de parcours du signal radio rend le protocole actuel inutilisable.

D'autres améliorations verront le jour: en effet, étant donné qu'Internet utilise le langage des ordinateurs et non pas celui des humains, il est plus facile d'adapter le TCP/IP que ne l'était le morse. Quoiqu'il en soit, malgré l'évolution rapide du monde de l'ordinateur, il est peu probable que le TCP/IP demeure en usage, et de loin, un siècle et demi le temps qu'a dominé le morse son lointain ancêtre.



TECHNIK

Redaktion: Dr. Peter Erni (HB9BWN), Römerstrasse 34, 5400 Baden
Packet: HB9BWN @ hb9aj Compu Serve: 100602, 1507

EMSight: Simulation «pro» de circuits HF, VHF, UHF et Hyperfréquences

Dr. Angel Vilaseca (HB9SLV), Chemin de Reposoir 20, 1255 Veyrier

Simulation informatique de circuits électroniques

Pour les non-initiés, rappelons de quoi il s'agit: Vous voulez par exemple construire un ampli HF, VHF, UHF ou microondes. Vous pouvez bien sûr graver un circuit, y souder les composants et voir si ça marche. En pratique, ça ne marche jamais du premier coup, notre ami Murphy y veille. De plus, surtout en UHF et audessus, il faut faire très attention au placement des composants, aux retours de masse, etc.

Dans les circuits microondes, on fait encore un pas de plus: Si vous avez un jour autopsié un convertisseur TV SAT par exemple, vous aurez certainement remarqué que les selfs et les condensateurs à ces fréquences sont en général remplacés par des traces sur le circuit imprimé.

Cela à l'avantage d'être plus économique (!) mais il faut savoir comment dessiner le circuit imprimé au quart de poil près car c'est encore bien plus critique qu'en UHF.

Plutôt que de graver un circuit, y souder des composants de valeur différente et ainsi de suite jusqu'à ce que cela marche, il est nettement plus productif de calculer avec un ordinateur la forme et les dimensions qu'il faut donner aux traces du circuit, afin qu'il se comporte de la manière désirée.

Les amateurs versés dans le domaine des hyperfréquences connaissent déjà certains programmes de simulation de circuits électroniques. Le plus célèbre est «Puff» qui est actuellement le standard parmi les radio-amateurs. Ce dernier a l'avantage d'être bon mar-

ché: On peut se le procurer pour 15 dollars aux USA.

Récemment, la maison Applied Wave Research Inc de Californie, a mis à disposition sur son site Web, à l'adresse <http://www.appwave.com>, son logiciel EMSight. Il s'agit d'un programme de simulation professionnel, comme le prouve son prix: 12 500.- dollars, actuellement en promotion: 8750.- dollars «seulement»! Mais, et c'est là où je veux en venir, il est possible de télécharger une version dont la durée de vie est 30 jours, GRATUITEMENT. A 28 000 Bd, le temps de téléchargement est de 20 minutes environ.

Il est aussi possible de télécharger en plus le manuel d'utilisation complet, ce qui prend à peu près autant de temps. Si on veut acheter le soft, il faut contacter Applied Wave, qui vous envoie le code nécessaire pour faire fonctionner le soft au-delà des 30 fatidiques.

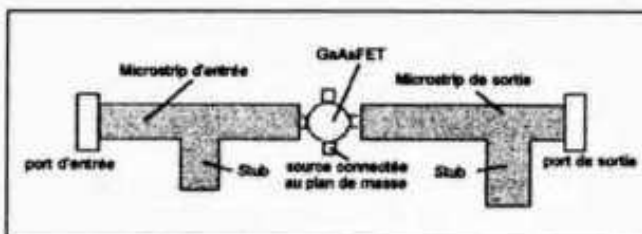


Figure 1: Schéma général d'un ampli hyperfréquences à GaAsFET. L'entrée et la sortie se font via des lignes de type microstrip 50 Ohms. L'accord se fait par les deux «stubs» et dépend de leur longueur ainsi que de l'endroit auquel ils sont rattachés à la ligne microstrip.

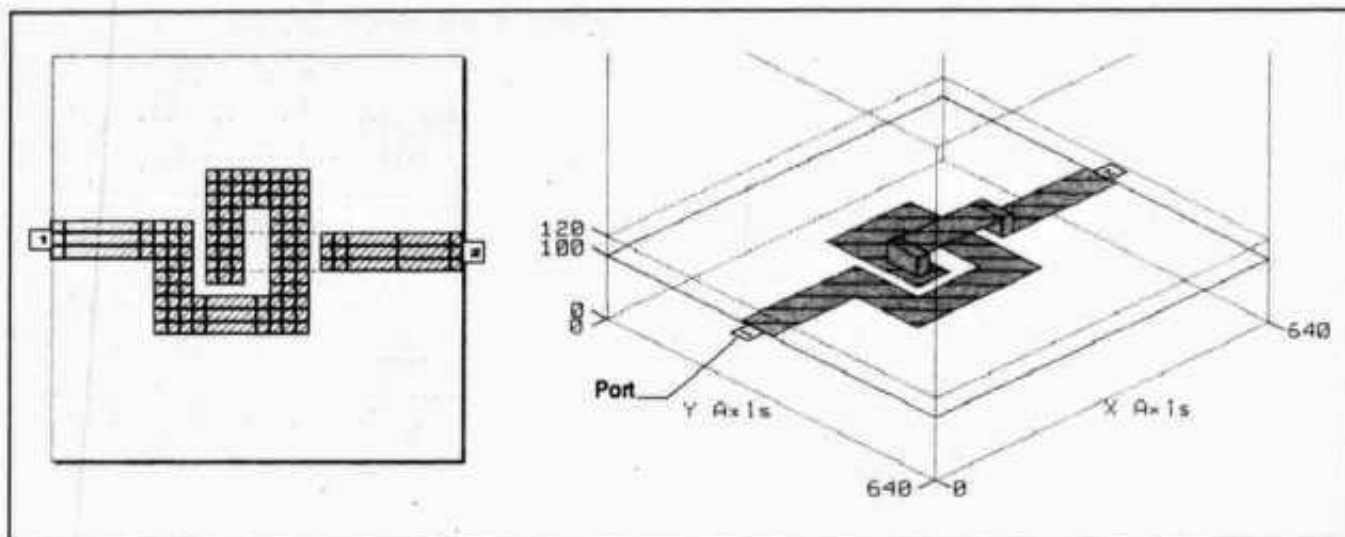


Figure 2: Une self réalisée en circuit imprimé, prête à être analysée. Notez sur la vue de gauche, en deux dimensions, la taille des cellules différente selon leur localisation.

EMSight tourne sous Windows 95/NT et permet de simuler et d'analyser le comportement électronique de circuits et aussi d'antennes depuis la HF jusqu'aux hyperfréquences. Le rêve...

Jusqu'à récemment, de tels programmes de simulation nécessitaient une grosse puissance de calcul et ne pouvaient tourner que sur des stations de travail. Mais d'une part, EMSight utilise quant à lui des algorithmes plus perfectionnés plus rapides, sans perte de précision. Et d'autre part, les PC ont atteint maintenant une vitesse de calcul qui permet de les utiliser pour une application comme celle-ci.

Principes de fonctionnement du soft

Un circuit ou une antenne sont des objets réels, en 3 dimensions. Alors qu'un program-

me simple, comme PUFF, ne traite un circuit que sur un plan, donc en deux dimensions, EMSight subdivise le circuit à analyser en une série de circuits plans, reliés en un nombre arbitraire de points. Le circuit peut être composé d'un nombre de couches illimité. Les couches peuvent à leur tour être interconnectées en un nombre de points quelconque.

Le circuit est analysé en trois dimensions, à l'intérieur d'une boîte en forme de parallélépipède rectangle. Cette boîte virtuelle est à son tour découpée en cellules plus petites en trois dimensions un peu de la même manière qu'une image est découpée en pixels, par exemple. Ceci permet, comme nous allons le voir, une analyse bien plus fine qu'avec PUFF qui se contentait, lui de traiter une ligne microstrip, par exemple, d'un seul tenant, en tant qu'entité globale.

La taille des cellules est automatiquement choisie par le programme de manière à ce que si on se trouve à un endroit du circuit où les paramètres électromagnétiques sont peu variables dans l'espace, on y place des cellules de grandes dimensions pour accélérer le calcul, et vice-versa: Si on se trouve en un point du circuit où l'on a de grandes variations dans les densités de courant:

EMSight découpera le circuit en petites cellules à cet endroit-là. L'utilisateur peut aussi, s'il le désire, modifier à sa convenance la répartition de la taille des cellules.

Le dessin montre un exemple de comment un circuit est préparé pour être analysé par EMSight. Le soft comporte un éditeur de dessin très facile à utiliser. Le dessin des structures se fait à la souris. On peut faire pivoter la structure représentée à l'écran tout en la visualisant en trois dimensions.

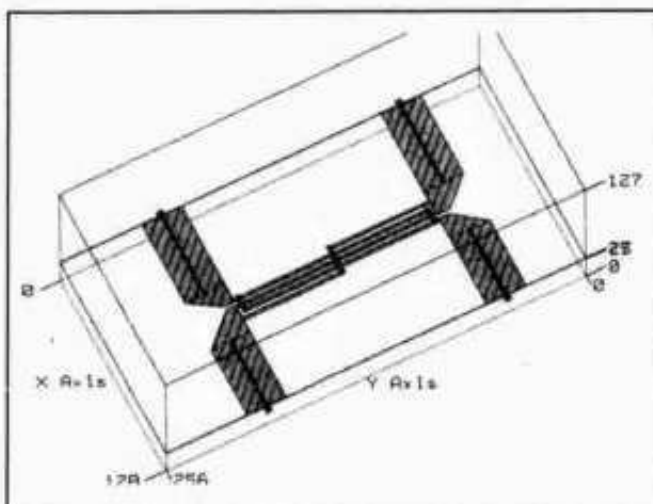


Figure 3: Un coupleur hybride à quatre ports.

Le nombre d'entrées et de sorties du circuit peut être aussi grand qu'on le désire. Par exemple un seul pour une charge, deux pour un ampli ou un filtre, trois pour un coupleur de Wilkinson, quatre pour un coupleur hybride, etc.

L'écran de EMSight comporte deux fenêtres. Celle de gauche montre le projet, avec ses différents paramètres: fréquences auxquelles va être effectuée l'analyse, structures électromagnétiques composant le circuit, matériaux utilisés, options de simulation. Celle de droite est à son tour subdivisée en plusieurs fenêtres qui montrent les différentes caractéristiques du circuit: dessin, graphes.

Lors de la simulation, EMSight détermine les paramètres S (scattering) du circuit, et permet de visualiser au moyen de couleurs et de petites flèches placées sur chaque cellule, la magnitude et la direction dans laquelle circulent les courants dans la structure considérée. L'échelle des couleurs va du noir (là où le courant est le plus faible) au jaune (là où il est le plus fort). Les dessins peuvent combinés de manière à fournir une animation. Il est ainsi possible de voir réellement de manière intuitive sur un dessin en perspective, comment fonctionne un circuit.

Animation en deux ou en trois dimensions

L'animation permet de voir de quelle manière circulent les courants dans le circuit. Il est ainsi possible de voir les effets d'une excitation appliquée à un port d'entrée ou d'une variation de l'impédance qui lui est connectée.

Il est possible de zoomer sur une partie du circuit qui nous intéresse plus particulièrement. On voit ainsi sur la simulation de cette petite self à une spire que le courant n'est pas uniforme sur toute la largeur de la ligne, comme on aurait pu le croire. Il a tendance à prendre le chemin le plus court possible.

Lorsqu'on observe l'animation sur un cycle entier, on constate dans ce cas particulier que le courant le plus fort se trouve au niveau de la traversée entre les deux couches de circuit imprimé. Il faudra donc veiller tout particulièrement à avoir un matériau aussi bon conducteur que possible à ce niveau, si on veut que le facteur de qualité de la self soit bon.

La phase de l'excitation appliquée peut aussi être contrôlée, par exemple pour voir comment fonctionne un coupleur. L'animation peut être effectuée dans le domaine temps ou bien dans le domaine fréquence.

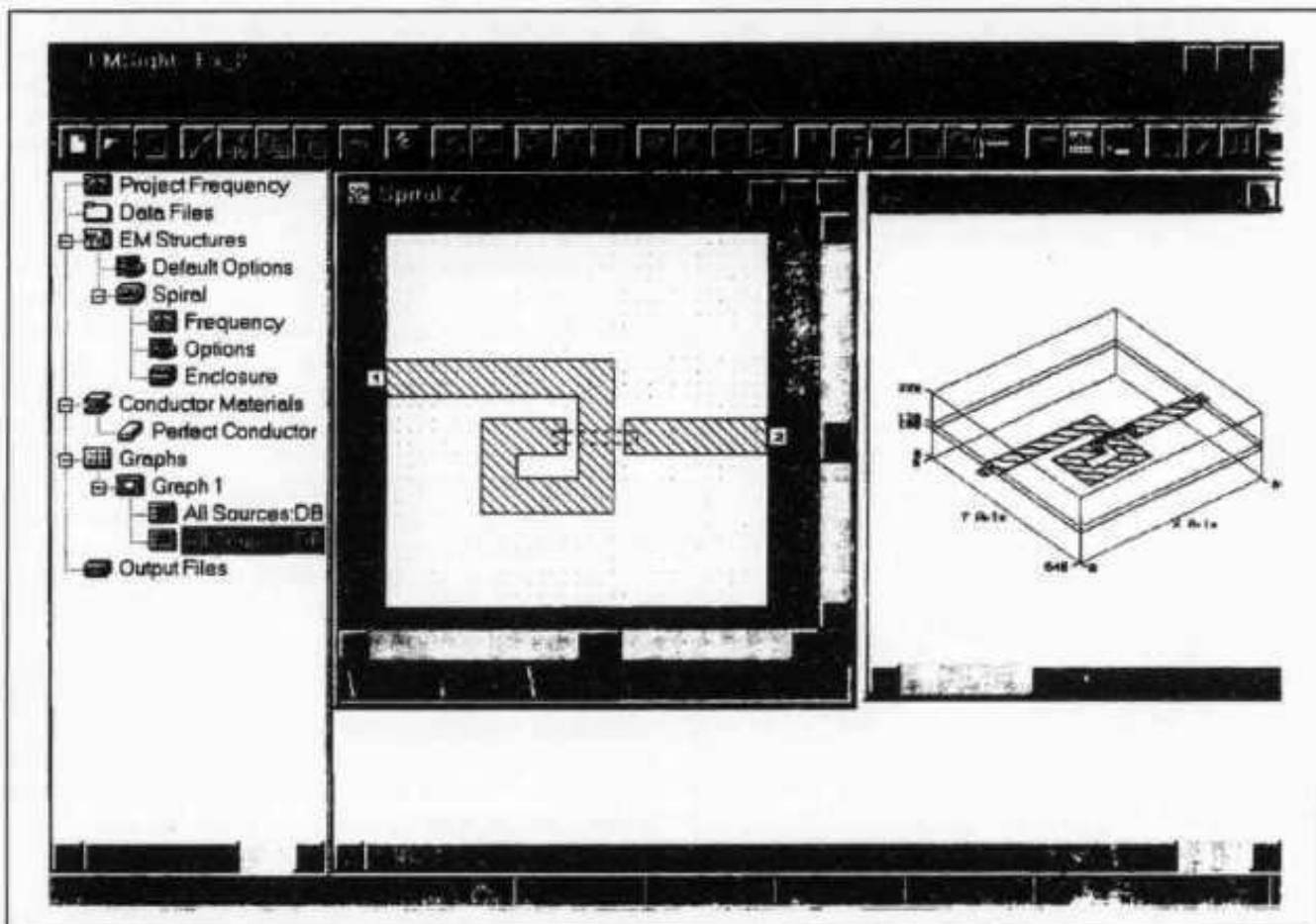


Figure 4: L'écran de EMSight.

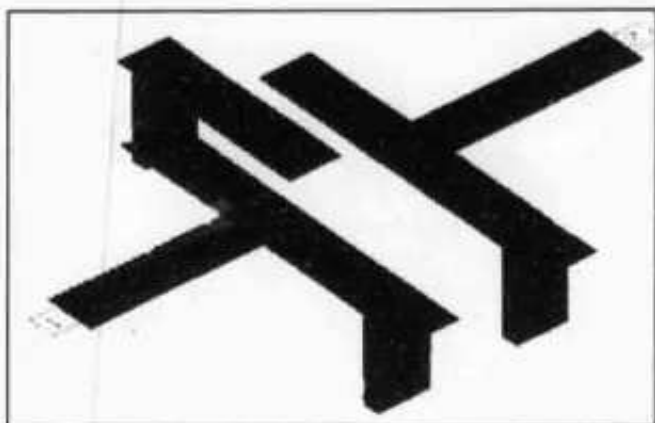


Figure 5: Un filtre interdigital à trois pôles, saisi en pleine action.

Simulation rapide

Il est possible d'effectuer un balayage en fréquence d'un circuit en continu. Sur le dessin, on voit la réponse en fréquence de la self entre 0,5 et 91 Gpahertz (I). Les triangles montrent les résultats des simulations aux différentes fréquences.

L'algorithme utilisé s'appelle FFS, ce qui veut dire Fast Frequency Sweep. Il est capable de trouver automatiquement les points de résonance. Si au lieu de balayer en continu, on devait faire une analyse point par point sur 91 GHz, cette même recherche serait très difficile à faire pour un circuit dont on ne connaît pas à priori le comportement.

Post-processing

Une fois que la simulation d'un circuit a été calculée, il est possible de faire tout une série de choses avec les données obtenues:

- On peut les exporter très facilement par exemple sous forme de paramètres S.
- On peut aussi importer des circuits définis dans d'autres softs selon les formats habituels.

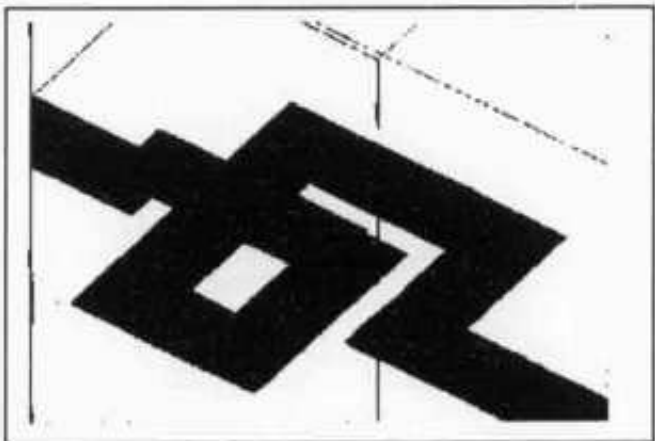


Figure 6: Résultat de la simulation de notre petite self en circuit imprimé.

Par exemple Touchstone pour les circuits hyperfréquences.

- Il est également possible de voir si le circuit est bien stable (s'il n'accroche pas), quel est son gain, son ROS, etc. mais sans avoir à refaire tous les calculs de simulation.
- On peut faire dessiner à l'ordinateur toute une série de graphes: nolaies, cartésiens, diagrammes de Smith afin d'y incorporer les données.

Quelques exemples

On cherche à savoir comment circulent les courants dans un condensateur chip au cas où il nous viendrait l'idée saugrenue de le monter «debout» au lieu d'à plat. On commence par dessiner le condensateur ainsi que les pistes auxquelles il est soudé. Notez qu'il faut savoir exactement comment est construit le condensateur. Il n'est bien sûr pas possible de le traiter comme une «boîte noire».

Une fois cela fait, on lance la simulation et on voit que le courant maximum se trouve bien aux endroits où il est le plus à l'étroit pour passer. Cela ne serait pas le cas si on l'avait soudé normalement, à plat sur le circuit.

Une fois que la simulation a été calculée, on peut faire le «post-processing», par exemple afficher les résultats en fonction de la fréquence. Ici, en l'occurrence S21. Il s'agit du paramètre S qui exprime la quantité de HF qui traverse le condensateur. On voit que malgré le montage inhabituel du condensateur, il se comporte fort bien. On ne trouve que 0.3 dB de pertes à 18 GHz.

Il est aussi possible de reporter les résultats sur un diagramme de Smith.

Un filtre à cinq pôles

On part du dessin en deux dimensions que voici:

On lance la simulation. Sur mon Pentium 133 MHz, les calculs durent longtemps: une dizaine de minutes pour ce circuit, car il a été décidé de le subdiviser en de très nombreuses cellules afin d'améliorer la précision. Mais en échange, on a une analyse très fine.

En fait, en examinant l'animation sur la totalité d'un cycle, on voit qu'il n'y a de discontinuités que sur la première ligne, celle de gauche, qui est connectée à l'entrée. On va donc zoomer dessus.

Même en voyant les choses de plus près, on voit que les discontinuités concernent surtout la ligne d'adaptation, celle qui est plus étroite. Il faudrait essayer de la modifier. Mais de toutes façons, à section plus étroite, courant plus élevé...

Il est bien dommage que l'on ne puisse pas montrer dans la revue l'animation que génère EMSight. Il est saisissant de voir le champ de

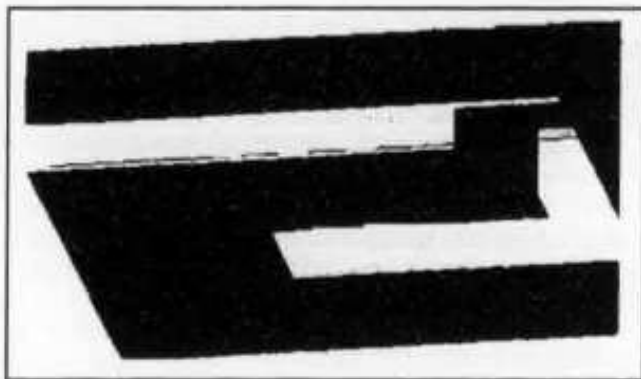


Figure 7: Gros plan sur l'endroit où le courant atteint les valeurs les plus importantes.

vecteurs (les flèches en vert) changer d'orientation et de magnitude au rythme des variations de phase.

Il est possible aussi de regarder sous le circuit en le faisant pivoter avec la souris.

On a zoomé une nouvelle fois pour voir comment se comporte la connexion avec le plan de masse. Ce n'est pas une très bonne idée de la réaliser de section carrée, car le courant ne se répartit que le long des arêtes ce qui accroît la résistance ohmique et réduit le facteur de qualité.

Regardons pour terminer ce que cela donne sur les graphes: Tout d'abord S11 et S12 en fonction de la fréquence:

Un bien joli petit filtre, donc. Je vous laisse imaginer le travail que cela représenterait si l'on devait réaliser le circuit imprimé, le tester, le modifier et toute recommencer le nombre de fois nécessaire jusqu'à obtenir une courbe comme celle de la figure 17!

Pour les puristes, voici le diagramme de Smith:

Ce programme est donc un must pour tous les amateurs actifs depuis la HF jusqu'aux micro-ondes. Son seul inconvénient est le prix, mais que serait le radioamateurisme sans un brin de système D?

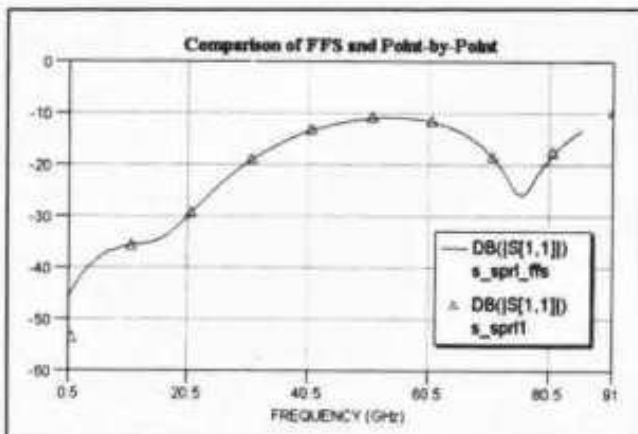


Figure 8: Répons+2mm de la self en fréquence, de 0,5 à 91 GHz.

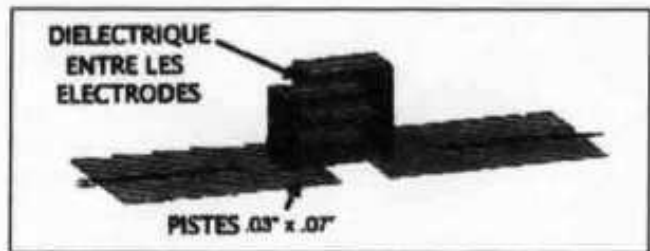


Figure 9: Préparation du montage pour la simulation.

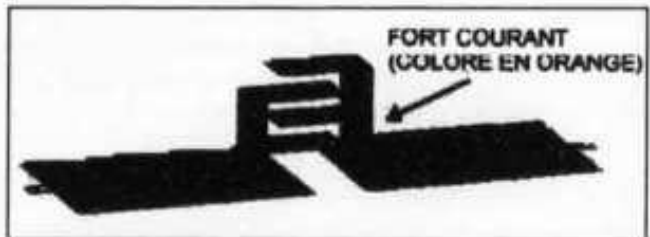


Figure 10: Résultat de la simulation.

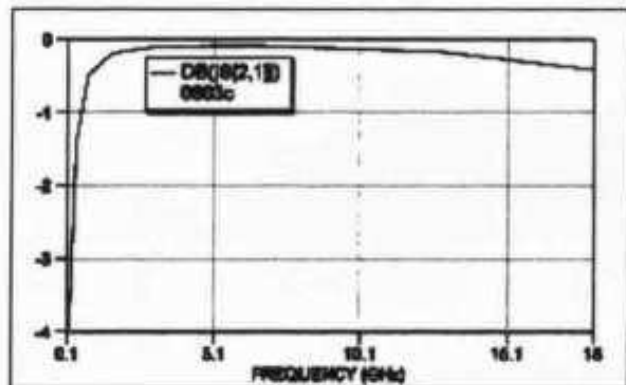


Figure 11: Atténuation causée par le condensateur, de 0,1 à 18 GHz.

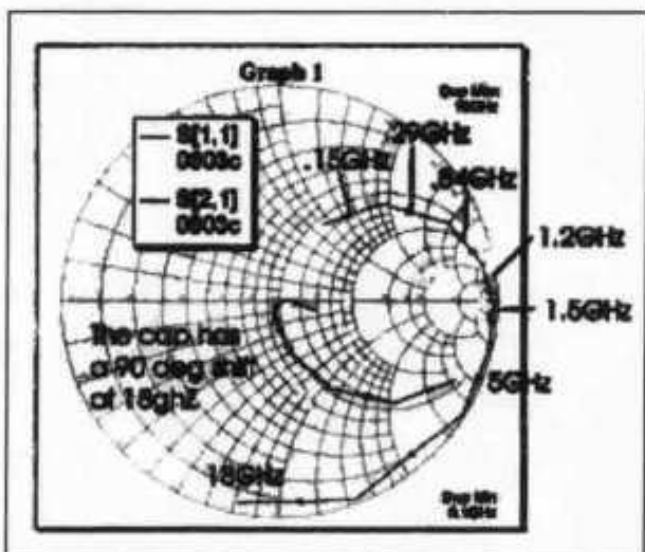


Figure 12: Les données sont les mêmes que sur la figure 11, mais mises en forme selon le diagramme de Smith.

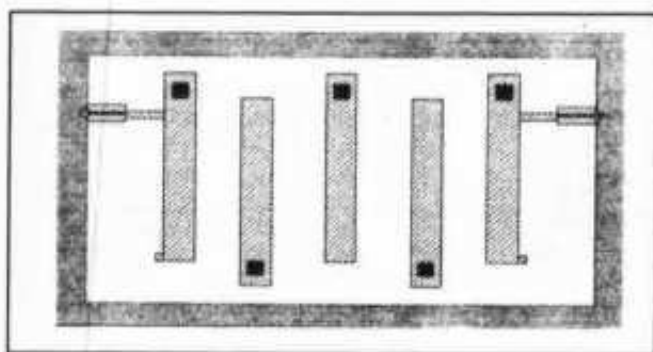


Figure 13: Dessin en deux dimensions du filtre interdigital à cinq pôles.

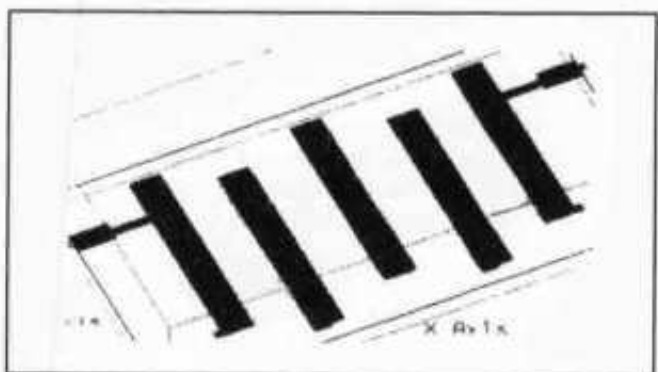


Figure 14: Résultat de la simulation, au moment où l'angle de phase est tel que les courants maximum apparaissent.

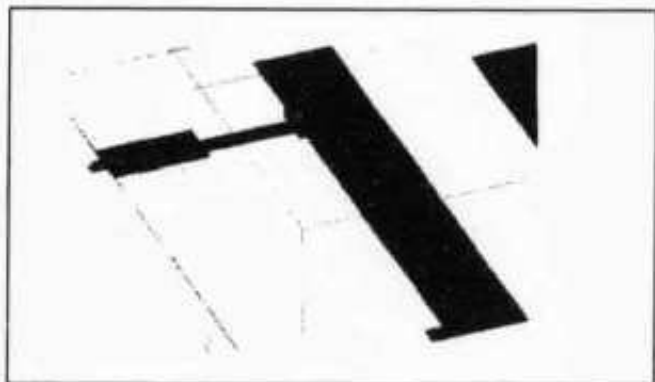


Figure 15: Zoom sur l'endroit critique.

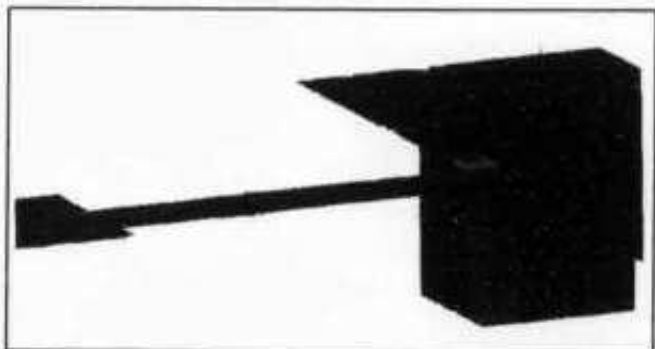


Figure 16: Où l'on voit que les connexions avec le plan de masse sont toujours à prendre au sérieux!

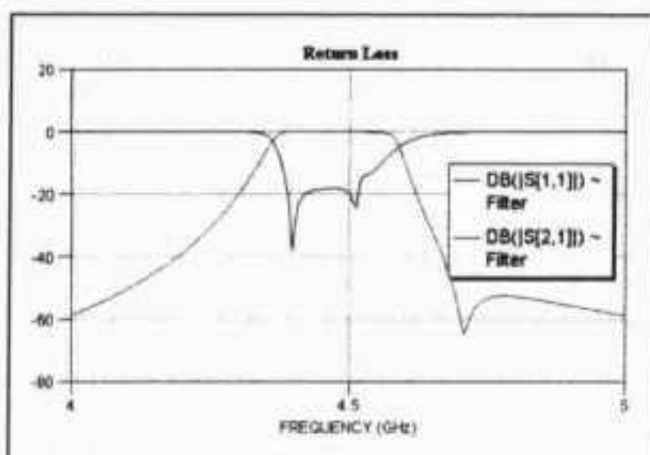


Figure 17: La bande passante du filtre.

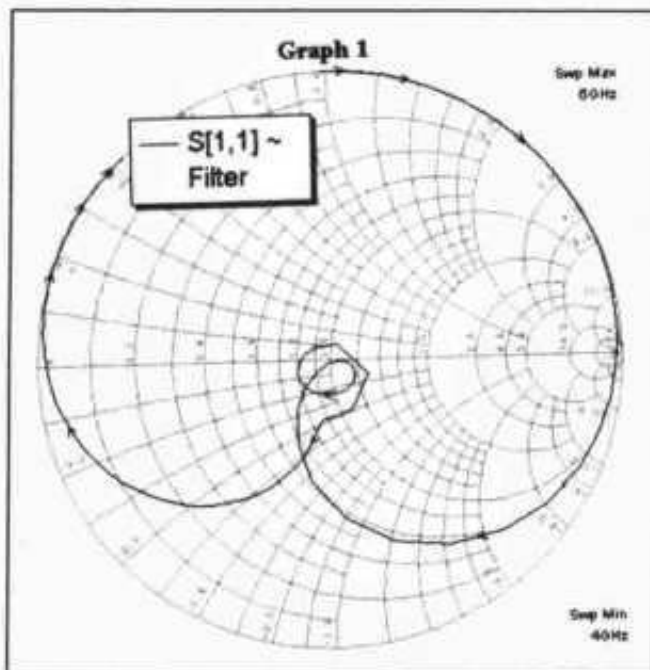


Figure 18: Diagramme de Smith du filtre interdigital à cinq pôles.

Die deutsche Übersetzung dieses Artikels ist unter dem Titel «EMSight: Computer-Simulation von HF bis Mikrowelle» in den UKW-Berichten, Heft 3/1998 erschienen. Eine Kopie kann bei der technischen Redaktion bestellt werden (wenn möglich mit SASE, Couvertgröße B5).