

beiden in Nashville, heuerten die 15 besten Nashville-Session-Musiker an und nahmen 14 Lieder auf, die sie über verschiedene Aspekte des Amateurfunks geschrieben hatten: Conteste und der nachfolgende Ärger mit der XYL, wenn wieder einmal übertrieben wurde, über die Freude am Morsen, oder am Antennenbau, bis zum Trip nach Dayton an die Ham Vention. Ab und zu wird uns der Spiegel vorgehalten und wir können uns um ein leises Schmunzeln nicht drücken!



Musikalisch sind diese auf unser Hobby zugeschnittenen Songs in verschiedenen Besetzungen im Country-Stil begleitet. Für Freunde der Country-Musik ein Leckerbissen obendrein. Eine CD, die ich jedem Musikfreund bestens empfehlen kann.

Für die CD bzw. MC mit dem Titel «SEEK YOU, amateur radio songs» habe ich es übernommen, eine Sammelbestellung zu organisieren. CD oder MC können bei mir bestellt werden.

Die Preise (inkl. Porto und Verpackung) sind folgende:

CD Fr. 25.- pro Stück
MC Fr. 20.- pro Stück

Bestellungen bitte bis 30. Oktober 1995 an:
Hans Bertschi (HB9AQF)
Neuberg 15
5016 Obererlinsbach

USKA-Sektion Aargau

Unter dem Patronat der USKA-Sektion Aargau werden an der Gewerblich-Industriellen Berufsschule in Wohlen wiederum die folgenden Kurse für Amateurfunk angeboten:

Technischer Kurs I

Rechnen mit Grössen und Einheiten und das Anwenden von Formeln auf elektrotechnisches Grundrechnen mit Hilfe des Taschenrechners.

Beginn: Montag, 16. Oktober 1995.

Technischer Kurs II

Elektrotechnik/Elektronik und Amateurfunktechnik. Erwerb des PTT-Radiotelefonistenausweises für Funkamateure (UKW-Lizenz).

Beginn: Montag, 20. November 1995.

Morsekurs für Anfänger

Lernen und Senden aller von der GD PTT vorgeschriebenen Zeichen bis Tempo 60 ZpM.

Beginn: Mittwoch, 18. Oktober 1995.

Morsekurs für Fortgeschrittene

Erwerb des PTT-Radiotelegrafistenausweises für Funkamateure (KW-Lizenz).

Beginn: Mittwoch, 3. April 1996.

Jungen Teilnehmern, welche beabsichtigen, ihre Rekrutenschule bei Übermittlungstruppen zu absolvieren, wird für die Aushebung ein Kursausweis ausgestellt.

Anmeldung und Auskunft:

Karl Hodler (HB9LCG), Wannenhügelstr. 12, 5610 Wohlen, Tel. 057 / 22 25 06
Heinz Mutzner (HB9DHC), am Rebebänkli 4, 5610 Wohlen, Tel. 057 / 22 45 84
Sekretariat der GIBW, Bremgartnerstr. 17, 5610 Wohlen, Tel. 057 / 22 15 50



TECHNIK

Redaktion:
Dr. Peter Erni (HB9BWN), Römerstrasse 34, 5400 Baden

Simulation Electronique pour le Radio-Amateur

Olivier Pilloud (HB9CEM), 22 Ch. de Champrent, 1008 Jouxten-Mézery

1 Introduction

Il y a quelques mois une révolution technique s'est déroulée, somme toute assez tranquillement, dans le monde des radio-amateurs: l'ARRL¹ a mis à notre disposition pour un prix modique² un simulateur de circuits électroniques très performant.

2 Simulation

Depuis quelques années, les concepteurs de circuits électroniques ne construisent (presque) plus de prototypes de leurs circuits, mais ils en prédisent les performances au moyen de programmes de simulation.

Il y a effectivement deux façons de vérifier le bon

fonctionnement d'un circuit, soit en le construisant (sous forme d'un prototype) soit en simulant son fonctionnement au moyen d'un ordinateur. Même un circuit très simple peut gagner à être simulé, ou optimisé, particulièrement pour ceux d'entre nous pour qui la conception de circuits électroniques n'est qu'un hobby ou pour ceux qui manquent d'expérience dans ce genre d'exercice. La simulation peut aussi être utile pour rapidement essayer une idée, sans même brancher le fer à souder. Dans le cas de circuits complexes, la simulation peut permettre de limiter les problèmes, en simulant certaines parties du circuit, ou même en simulant tout le circuit avant sa construction.

2.1 Qu'est-ce qu'une simulation?

Une simulation de circuit électronique, se fait au moyen d'un programme, tournant sur un ordinateur et permet de prédire avec une certaine fiabilité le fonctionnement d'un circuit. Le circuit est décrit pour le programme au moyen d'un schéma ou d'un fichier texte appelé *netlist*³. Les signaux d'entrée du circuit sont aussi décrits, et finalement le genre de simulation désiré est stipulé en fin du *netlist*.

Le *netlist* est soumis au programme, qui calcule le comportement du circuit en fonction des signaux d'entrée.

Finalement, le programme peut afficher de différentes manières le comportement calculé du circuit. Ceci permet de vérifier que le circuit se comporte bien comme il était prévu; dans le cas contraire, le *netlist* peut être modifié, et la simulation relancée, pour déterminer le comportement de ce nouveau circuit.

Il est même possible, dans certains cas, de demander au simulateur d'optimiser le circuit: pour une topologie donnée, le simulateur peut déterminer les valeurs optimales des composants du circuit pour atteindre le but demandé.

2.2 Processus de simulation

Le circuit à simuler est ainsi décrit soit à l'aide d'un schéma, soit à l'aide d'un *netlist*, en fait, si le circuit est entré sous forme d'un schéma, il doit être ensuite transformé en *netlist* au moyen d'un *netlister* qui est un programme faisant généralement partie du simulateur, capable de produire un fichier texte de bon format à partir d'un schéma entré au moyen d'un éditeur graphique⁴ adéquat.

Le *netlist* décrit le schéma au moyen d'éléments simples (résistances, condensateurs) ou d'éléments plus complexes (transistors) eux-mêmes décrits au moyen d'un modèle.

Dans ce cas, un modèle peut être considéré comme une description unique d'un élément utilisé plusieurs fois (un même type de transistor peut se retrouver plusieurs fois dans un schéma) ou comme une description en terme d'éléments simples (R, L et C) d'une structure complexe (par exemple un connecteur ou un circuit imprimé).

Le travail de simulation demandé doit ensuite être décrit au programme de simulation, générale-

ment sous forme de lignes de commande dans le *netlist*, par exemple:

- Simule le comportement du circuit entre 100 et 200 MHz, tous les 1 MHz, ou
- Simule le comportement du circuit sur 100 ms, par pas de 500 μ s.

Une fois le *netlist* prêt, le simulateur peut être lancé. Selon le travail demandé et la puissance de calcul de l'ordinateur à disposition, la simulation peut prendre quelques secondes à plusieurs minutes, à la suite de quoi, le programme est prêt à afficher les résultats de la simulation.

La plupart des simulateurs font preuve d'une grande souplesse dans l'affichage des résultats. Soit des courbes, soit des listes de valeurs sont disponibles, non seulement pour la sortie du circuit, mais souvent aussi pour les noeuds internes du circuit. Les graphiques de sorties peuvent se faire en fonction du temps, de la fréquence, ou même quelquefois dans le domaine complexe (Abaques de Smith). Les grandeurs représentées peuvent être des tensions, des courants, des impédances ou des paramètres de transmission⁵.

2.3 Domaines Temporel et Fréquentiel

Il existe deux domaines principaux de simulation:

- Le *domaine temporel* où l'on analyse le comportement dans le temps d'un circuit, en réponse à une sinusoïde, une impulsion ou un signal défini par l'utilisateur. Les simulateurs dérivés de SPICE (voir paragraphe 7) offrent les meilleures performances dans ce domaine, mais aussi des possibilités (limitées) d'analyse fréquentielles. Cependant ces simulateurs fournissent de meilleures performances en dessous de 300 à 1000 MHz, et ne conviennent donc pas pour les UHF et au-dessus.
- Le *domaine fréquentiel* où l'on analyse le comportement d'un circuit en fonction de la fréquence. Le signal d'entrée dans ce cas est généralement une sinusoïde, de fréquence variable. Le simulateur décrit ci-dessous est de ce type, mais il offre aussi des possibilités d'analyses temporelles, cependant plus limitées que SPICE. L'analyse dans le domaine fréquentiel est le plus souvent l'apanage des simulateurs spécialisés pour la haute fréquence (jusqu'à plusieurs dizaines de GHz, mais la difficulté est alors d'obtenir des modèles pour les structures à simuler - lignes, striplines, et structures parasites par exemple).

2.4 Simulations Linéaire et Non-Linéaire

Peu de phénomènes électroniques sont linéaires, cependant tant que l'on reste dans le domaine des petits signaux (signaux de faibles amplitudes), la plupart des circuits peuvent être considérés comme linéaires; alors que l'analyse en grands signaux nécessite des simulateurs spéciaux adaptés à la simulation non-linéaire.

- Des exemples de circuits non-linéaires qui ne peuvent pas directement être analysés par un simulateur tel que celui décrit ci-dessous sont: les oscillateurs, les mélangeurs et changeurs de fréquence, et les redresseurs.

- Les cas de circuits linéaires sont nombreux, citons les amplificateurs (petits signaux) et les circuits passifs (ne comportants pas des semi-conducteurs).

Cependant l'absence de simulation non-linéaire n'est pas nécessairement un grand obstacle, d'abord ces éléments de circuit peuvent être simulés par l'une des versions de SPICE, ou ils peuvent être «linéarisés» en étant conscient de limitations que cela impose (voir QST mars 1995 pp 76-78)⁶.

3 ARRL Radio Designer

3.1 Présentation

Dérivé d'un produit commercial (Super-Compact) vendu plus de US\$ 6000.-, *ARRL Radio Designer* ou ARD a été présenté pour la première fois dans QST⁷ d'octobre 1994. ARD a été introduit dans le but de stimuler l'expérimentation par les radio-amateurs, mais aussi parce que l'usage des ordinateurs dans tous les domaines du radio-amateurisme se confirme à chaque occasion; et comme de plus en plus de Radio-Amateurs possèdent un ordinateur personnel, et que les performances de ces derniers ont souvent peu à envier à ceux utilisés par les professionnels, il y a fort à parier que ARD va trouver un certain succès auprès des Radio-Amateurs.

3.2. ARD: Principales fonctions

- Analyse (prédiction des performances d'un circuit).
- Optimisation (ajustement des valeurs d'un circuit pour un fonctionnement donné).
- Mesure de tension (Voltage Probe – simulation des tensions aux noeuds internes d'un circuit).
- Analyse statistique (simule les effets sur un circuit des tolérances des composants et des effets de température).
- Analyse dans le domaine temporel (voir paragraphe 2.3)
- Synthèse de circuits d'adaptation d'impédances (Abaques de Smith).
- Banque de données (paramètres-S et de bruit pour transistors haute fréquence – tels que fournis par les fabricants).

3.3 Limitations

ARD ne comporte pas d'éditeur de schéma, cela implique que le circuit à analyser doit être décrit pour ARD à l'aide d'un fichier texte. Ceci est en fait une limitation mineure, sauf pour les schémas les plus complexes, car l'utilisation d'un éditeur de schéma n'est pas toujours aisée, et son adjonction dans ARD aurait singulièrement augmenté la taille, la complexité et le coût du programme.

ARD est limité à des simulations linéaires; cela implique qu'il ne peut pas analyser des circuits en grands signaux, tels les étages de sorties d'un émetteur, ou un changeur de fréquence par exemple.

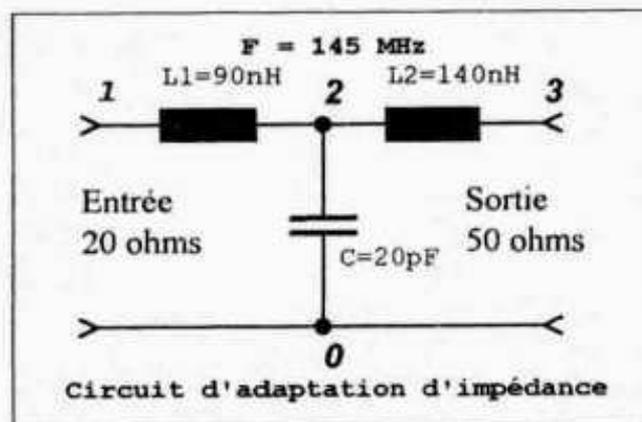
ARD étant essentiellement un simulateur dans le domaine fréquentiel, il est quelque peu limité pour les analyses dans le temps.

La dernière limitation de ARD, en contradiction

avec ce qui a été dit plus haut sur les simulateurs fréquentiels, est son incapacité à simuler des circuits en très haute fréquence. En effet, au delà du GHz, approximativement, les éléments à modéliser (résistances, condensateurs, etc.) ne se comportent plus du tout comme tels, et il faut tenir compte de phénomènes parasites, il en va de même pour toute structure métallique (telle une simple piste de circuit imprimé) qui se transforme par exemple en circuit résonnant ou tout au moins en ligne de transmission. ARD n'étant pas à même de modéliser⁸ ces éléments en très haute fréquence, ils ne peuvent pas être simulés avec précision.

3.4 Format et entrée du *netlist*

Puisque ARD ne comporte pas d'éditeur de schéma, le *netlist* doit être entré au moyen d'un éditeur de texte; il en existe de nombreux, par exemple *Notepad* fourni avec Windows. Plusieurs rubriques sont à placer dans le *netlist*, entre autre le titre, la description du circuit, et une commande déterminant le genre de simulation à effectuer. La description du circuit consiste en deux opérations simples, la numérotation des noeuds du circuit, comme ci-contre, et la description des éléments entre ces noeuds:



```
IND 1 2 L= 90nH
CAP 2 0 C= 20pF
IND 2 3 L= 140nH
```

Où CAP indique un condensateur et IND une inductance. Après l'adjonction de quelques lignes de commande, le *netlist* est prêt. Voir le paragraphe 5 pour un exemple de simulation de ce circuit.

3.5 Formats de sortie

ARD peut fournir des résultats sous formes de tableaux, et de graphiques (rectangulaires et polaires) pour:

- Paramètres S, Y et Z, retard de groupe et tension (amplitude et phase) pour des réseaux ayant un nombre quelconque de ports⁹.
- Paramètres A, H et G, gain en puissance et en tension (amplitude et phase), et facteur de stabilité pour réseaux à deux ports (quadripôles).
- Amplitude et phase des coefficients de réflexion, TOS et *return loss*¹⁰ pour réseaux à un port.

3.6 Optimisation

ARD renferme plusieurs fonctions intéressantes, mais l'une des plus utiles, est peut-être la fonction d'optimisation. En partant de valeurs approximatives, ARD est capable de déterminer la valeur exacte des composants d'un circuit pour obtenir les performances demandées. En fait, les valeurs des inductances de l'exemple ci-dessus ont été déterminées par ARD lors de la préparation de l'exemple du paragraphe 5 ci-dessous.

3.7 Support

Le programme ARD comprend plusieurs exemples, qui servent de tutorial pour l'apprentissage de son utilisation. De plus les derniers numéros de QST présentent quelques exemples de simulation et d'optimisation, et l'ARRL a promis que

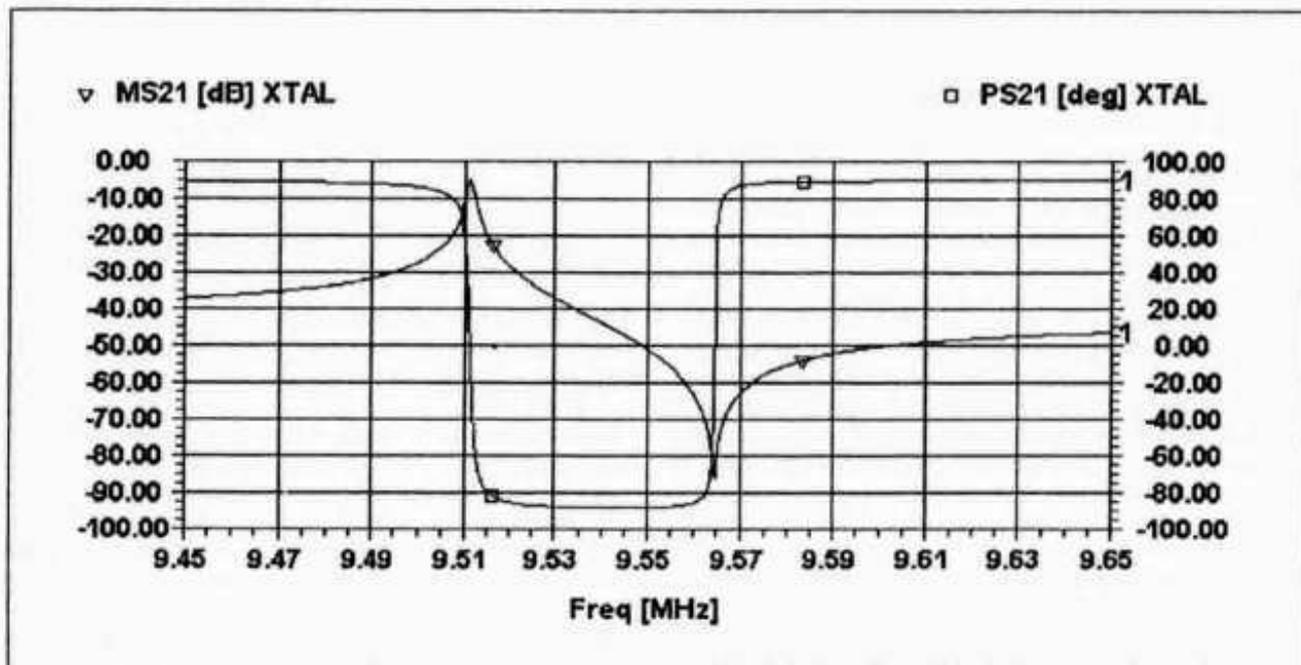
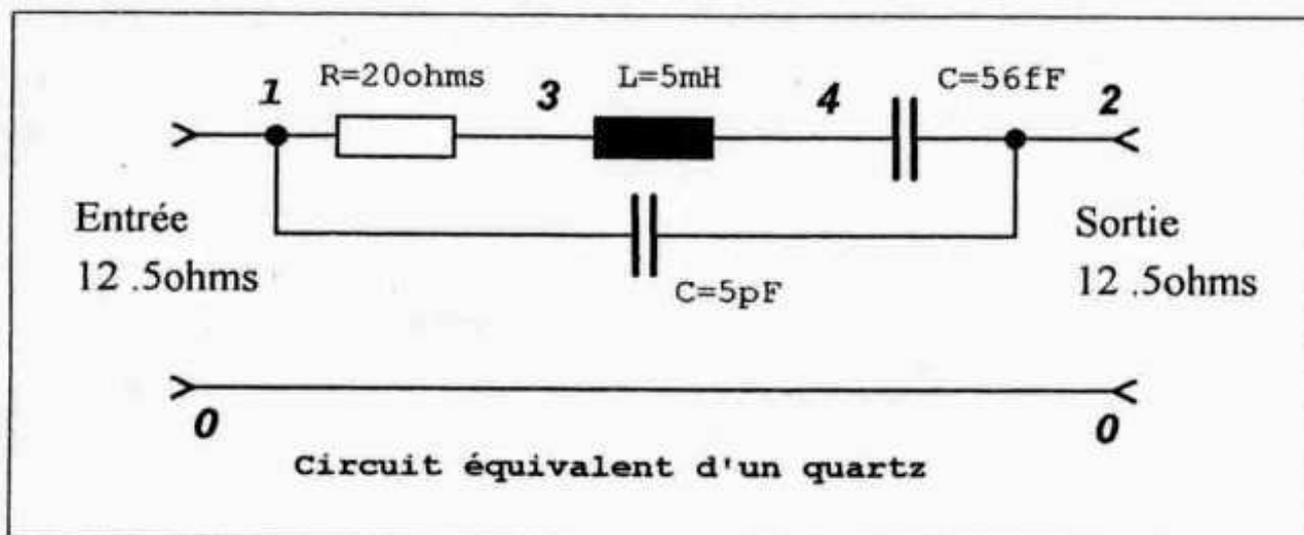
d'autres exemples et articles suivront, qui utilisent ARD.

Les articles suivants ont déjà été publiés:

- QST octobre 1994 – Introducing ARRL Radio Designer: New Software for RF Circuit Simulation and Analysis. (pp 21-26).
- QST janvier 1995 – Exploring RF (pp 80-82).
- QST mars 1995 – Modeling a Direct-Conversion Receiver's Audio Response and Gain with ARD (pp 76-78).

4 Exemple No 1: Quartz

Voici deux petits exemples de simulation, le premier pour montrer la réponse d'un quartz, et le second démontrant les possibilités d'optimisation de ARD.



4.1 Netlist

Voici avec quelques commentaires le netlist qui a permis de produire le graphique ci-dessous qui représente le schéma suivant:

Quartz 10 MHz Zin et Zout 12,5 ohms

```

BLK
RES 1 3 R=200H ;Résistance de perte
CAP 1 2 C=5PF ;Capacité parallèle
IND 3 4 L=5mH ;Inductance équivalente
CAP 4 2 C=56fF ;Capacité série (56 femto-farad)
XTAL: 2POR 1 2 ;bornes du quartz
END
FREQ                                      ;fréquences de simulation
ESTP 9.45MHZ 9.65MHZ 511
END
    
```

4.2 Simulation et résultats

En quelques dizaines de secondes, ARD est prêt à afficher les résultats. Voici le graphique de l'amplitude et de la phase du paramètre S21 qui représente la sortie du circuit en fonction de son entrée. On note la première pointe dans la réponse vers 9.51 MHz, avec un déphasage de 0 degrés qui correspond à la résonance série du quartz; vient ensuite le creux vers 9.56 MHz aussi associé à un déphasage de 0 degrés, qui correspond à la réponse parallèle du quartz.

5 Exemple No 2: optimization d'un circuit d'adaptation d'impédance

5.1 Netlist

Ici le schéma est celui du paragraphe 3.4 ci-dessus, mais la valeur des deux inductances n'est pas connue; ainsi dans le *netlist* ci dessous, on constate que leur valeur est désirée entre 20 nH et 1 µH, en commençant par une valeur de 200 nH.

T network antenna tuner
Optimisation pour une entrée de /20,0) ohms

```

BLK
IND 1 2 L=?20NH 200NH 1000NH? ;à optimiser
CAP 2 0 C=20PF ;capa fixe
IND 2 3 L=?20NH 200NH 1000NH? ;à optimiser
RES 3 0 R=50 ;Ceci est la charge
ONEPORT: 1POR 1
END
*
FREQ                                      ;fréquences pour graphique
STEP 100MHz 200MHz 1MHz
END
*
OPT
ONEPORT
F=145MHz ;optimisation à 145 MHz
RZ11=20 ;pour une source de 20 ohms
IZ11=0
TERM=1E-4 ;erreur résiduelle acceptable
END
    
```

5.2 Simulation et résultats

Après quelques secondes seulement, le résultat est disponible, ARD fournit les valeurs suivantes:

```

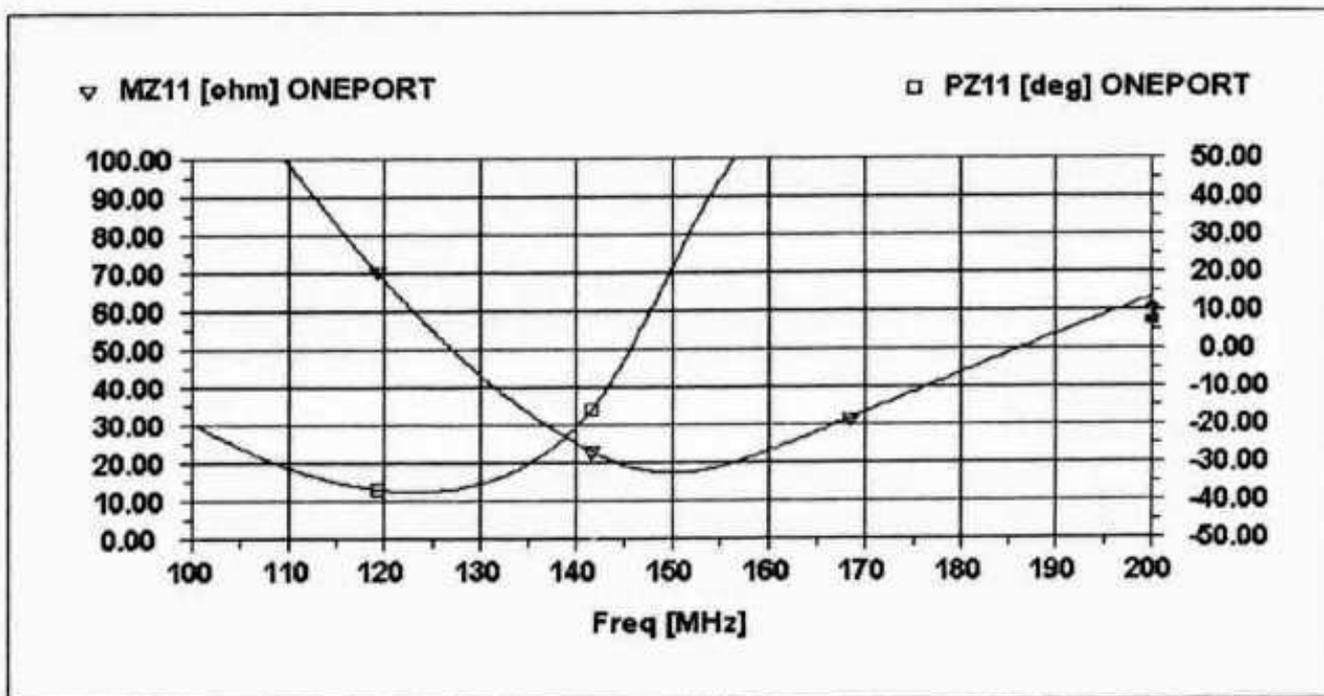
IND 1 2 L=91.3346NH
IND 2 3 L=138.051NH
    
```

Afin de vérifier ce résultat, voici le graphique du paramètre Z11 qui représente l'impédance (complexe) d'entrée du réseau. On constate qu'à 145 MHz, l'impédance est bien de 20 ohms résistifs.

6 ARD information

6.1 Manuel

Le manuel fourni avec ARD est un livre de 400 pages, dont à peu près la moitié consiste en un manuel de référence, alors que la première partie, contient le tutorial, ainsi que des indications



sur l'emploi du programme avec l'interface Windows.

Seul réel inconvénient, mais probablement de taille pour certains, est la langue anglaise, dans laquelle sont écrits le livre et les interfaces utilisateur du programme.

6.2 Capacité du système ordinateur

ARD est un programme conséquent et de ce fait requiert au minimum:

- Un PC compatible 386 ou mieux, si possible avec coprocesseur mathématique,
- 8 Mb de RAM
- Un lecteur de disquettes 3.5"
- Un disque dur avec au moins 5 Mb de libre
- Une souris
- Microsoft Windows 3.1 ou mieux.

6.3 Commande

ARRL Radio Designer peut être commandé¹¹ auprès de l'ARRL pour US\$ 150.- (plus frais d'envois et de TVA à l'arrivée en Suisse)¹²:

Il n'est bien entendu pas nécessaire d'être membre de l'ARRL, ni d'ailleurs Radio-Amateur, pour commander ARD.

7 Autres simulateurs

7.1 Berkeley SPICE

SPICE¹³ est un programme de simulation temporelle (avec possibilités limitées de simulations fréquentielles) écrit par l'Université californienne de Berkeley, mis dans le domaine public, et par conséquent gratuit.

SPICE requiert un *netlist* comme fichier d'entrée, et fournit des courbes sous forme d'un fichier ASCII¹⁴. Il ne contient par conséquent aucun moyen sophistiqué d'entrée des données ou d'affichage des résultats. C'est cependant le simulateur le plus utilisé, car il sert de «coeur» à plusieurs ensembles commerciaux, certains très chers, pour la simulation dans le domaine temporel.

7.2 MicroSim PSPICE

MicroSim PSPICE est l'un de ces ensembles commerciaux, dont le principal attrait est de fournir un éditeur graphique pour l'entrée des schéma, un *netlister* pour la traduction du schéma, et surtout une interface de sortie appelée **probe** qui permet d'afficher les tensions et courants dans le circuit sous formes de très beaux graphiques.

Il existe une version de démonstration de ce programme, gratuite, qui contient presque tous les

avantages de la version commerciale, si ce n'est que le circuit est limité à un faible nombre d'éléments dans un même schéma. Ceci est une limitation sévère, mais permet toutefois de simuler des circuits très intéressants.

8 Conclusion

Le monde des Radio-Amateurs dispose maintenant avec ARD, d'un outil de simulation fréquentiel performant, et il a fort à parier que ce n'est que le premier. D'autres simulateurs existent déjà, tels SPICE et ses dérivés, dans le domaine temporel, qui permettent de compléter la panoplie de simulation disponible. Avec l'engouement actuel pour les ordinateurs, peut-on espérer par ce biais une relance du *homemade* par les OM?

¹ Amateur Radio Relay League: Association américaine des Radio-Amateurs.

² Voir paragraphe 6.3.

³ De l'anglais: net = réseau (ici réseau d'un circuit électronique) et liste.

⁴ Editeur graphique: programme de dessin assisté par ordinateur.

⁵ TOS ou paramètres-S par exemple.

⁶ Modeling a Direct-Conversion Receiver's Audio Response and Gain with ARD.

⁷ QST: Mensuel de l'ARRL.

⁸ d'obtenir ou de créer un modèle basé sur des éléments simples (R, L et C ou ligne de transmission) pour la simulation.

⁹ port: entrée ou sortie d'un circuit.

¹⁰ return loss = $20 \cdot \log$ (coefficient de réflexion).

¹¹ Bien que membre de l'ARRL, je n'ai aucun intérêt à la vente de ce programme, je suis simplement un utilisateur satisfait, qui désire partager son enthousiasme.

¹² Voir le catalogue des publications de l'ARRL dans chaque QST-Numéro de commande #4882. La méthode de paiement la plus simple est par carte de crédit. ARRL, 226 Main Street, Newington, CT 06111, USA - Tel. 203-666-1541.

¹³ Simulation Programm with Integrated Circuit Emphasis

¹⁴ American Standard Code for Information Exchange (base des fichiers textes standards sur PC)

Récit des premiers temps de la radio

Préambule de Werner Tobler (HB9AKN)

Comment ne pas être ému par la lecture de ces récits qui nous rappellent une fois de plus, que les sciences et les techniques ont progressées pas à pas, souvent d'une façon presque invisible et peu spectaculaire, dans l'ombre d'un atelier ou d'un laboratoire, quand ce n'était pas modestement dans un recoin de l'appartement. Combien d'artisans et de savants aux noms ignorés à jamais ont persévéré pour faire progresser l'état des connaissances. J'ai conservé devant moi l'image d'Edison ac-