

9. Initiation à la simulation hyperfréquences : le programme ADS

1. Introduction

Les circuits hyperfréquences sont souvent complexes et coûteux à réaliser. On souhaite donc minimiser le nombre de prototypes à fabriquer lors d'un projet, et surtout lors de développements de nouveaux circuits à éviter le coûteux "cut and try". C'est à ces fins que l'on a vu apparaître dans le commerce depuis quelques années déjà des logiciels de simulation de circuits hyperfréquences ainsi que des logiciels d'aide à la conception. Ces programmes facilitent la tâche du concepteur de circuit en lui permettant de simuler ce dernier, et d'optimiser ses performances avant la fabrication.

Le but de ce laboratoire est de se familiariser avec un de ces logiciels, le programme ADS (Advanced Design System) de chez Agilent (Hewlett Packard), disponible au LEMA, et de l'utiliser pour créer un amplificateur.

Les programmes de simulations sont des programmes d'analyse et non de synthèse. Ceci veut dire que le logiciel ne pourra pas créer la solution d'un problème. Il pourra par contre simuler et optimiser une solution fournie par l'utilisateur. La première étape de l'utilisation d'un logiciel de simulation est donc de trouver une solution initiale du problème à résoudre, puis d'affiner cette dernière à l'aide du programme.

2 . Rappels théoriques sur les amplificateurs hyperfréquences

Lors de la réalisation d'un amplificateur, on souhaite obtenir un maximum de gain, aussi constant que possible sur toute la bande de fréquence. Pour ce faire, il s'agit d'adapter le transistor à l'entrée et à la sortie au sens du maximum de transfert de puissance (c.f. Traité d'Electricité vol. IV). On effectuera cette adaptation pour la fréquence supérieure de la bande à l'aide de l'abaque de Smith, ce qui donnera une bonne première solution au problème.

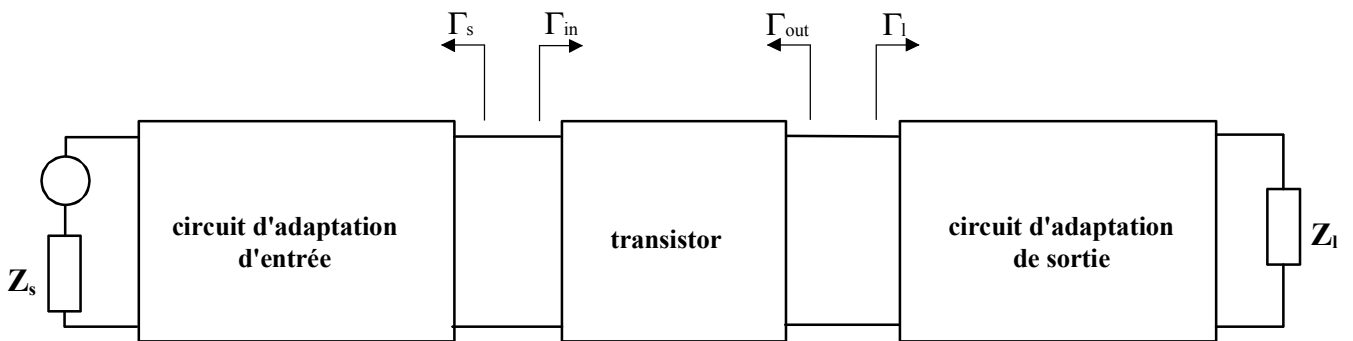


Fig. 9.1: adaptation d'un transistor

L'adaptation est obtenue pour $\Gamma_{in} = \Gamma_s^*$ et $\Gamma_{out} = \Gamma_l^*$ (Fig. 9.1). Les paramètres Γ se calculent à l'aide de la matrice de répartition du transistor (c.f. G.D. Vendelin, *Design of Amplifiers and Oscillators by the S-Parameter Method*, J. Wiley, 1982).

$$\Gamma_{in} = S_{11} + \frac{S_{21}S_{12}\Gamma_l}{1 - S_{22}\Gamma_l}$$

$$\Gamma_{out} = S_{22} + \frac{S_{21}S_{12}\Gamma_s}{1 - S_{11}\Gamma_s}$$

Dans le cas où S_{12} est négligeable, hypothèse que nous allons prendre dans ce laboratoire, nous obtenons:

$$\begin{aligned}\Gamma_{in} &= S_{11} \\ \Gamma_{out} &= S_{22} \\ \Gamma_s &= S_{11}^* \\ \Gamma_l &= S_{22}^*\end{aligned}$$

Nous avons maintenant le choix entre deux stratégies d'adaptation :

- 1) Adapter le générateur et la charge à Γ_{in}^* respectivement Γ_{out}^* . Il faudra donc partir des points S_{11}^* et S_{22}^* sur l'abaque de Smith, tourner dans le sens de la charge et soustraire les éléments obtenus jusqu'à se ramener au centre.
- 2) Adapter le composant à Γ_s respectivement Γ_l . Il faudra dans ce cas partir des points S_{11} et S_{22} sur l'abaque de Smith, tourner dans le sens du générateur et additionner les éléments obtenus jusqu'à se ramener au centre.

Il va de soi que les solutions obtenues par les deux méthodes seront identiques.

3. Travail préparatoire à domicile

Le transistor que nous allons utiliser pour la réalisation de notre amplificateur est un transistor bipolaire HP AT-00535_1, polarisé avec 8 V, 5 mA (Fig. 9.2).

En effectuant l'hypothèse d'unilatéralité, trouver un circuit d'adaptation à l'entrée et à la sortie de ce transistor en utilisant deux élément (tronçons de lignes, transformateurs quart d'onde, stubs réactifs, capacité ou inductance en parallèle) pour chaque circuit d'adaptation. Travailler à 2,2 GHz, fréquence supérieure de la bande (on veut travailler dans la bande de 1,8 à 2,2 GHz)

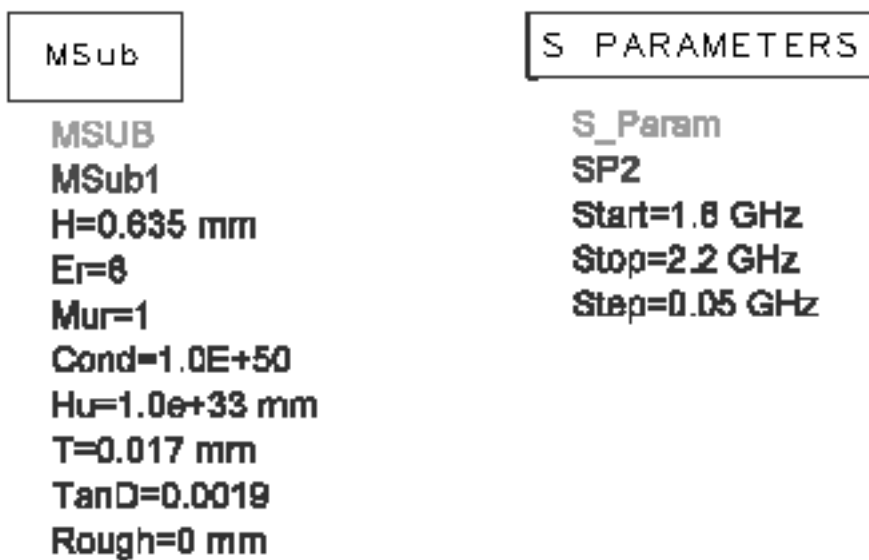
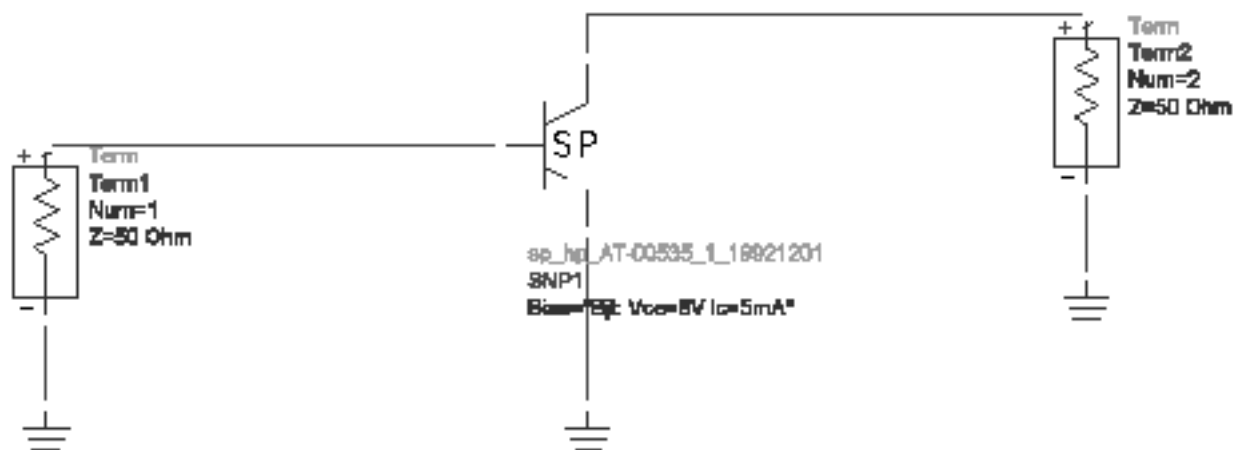
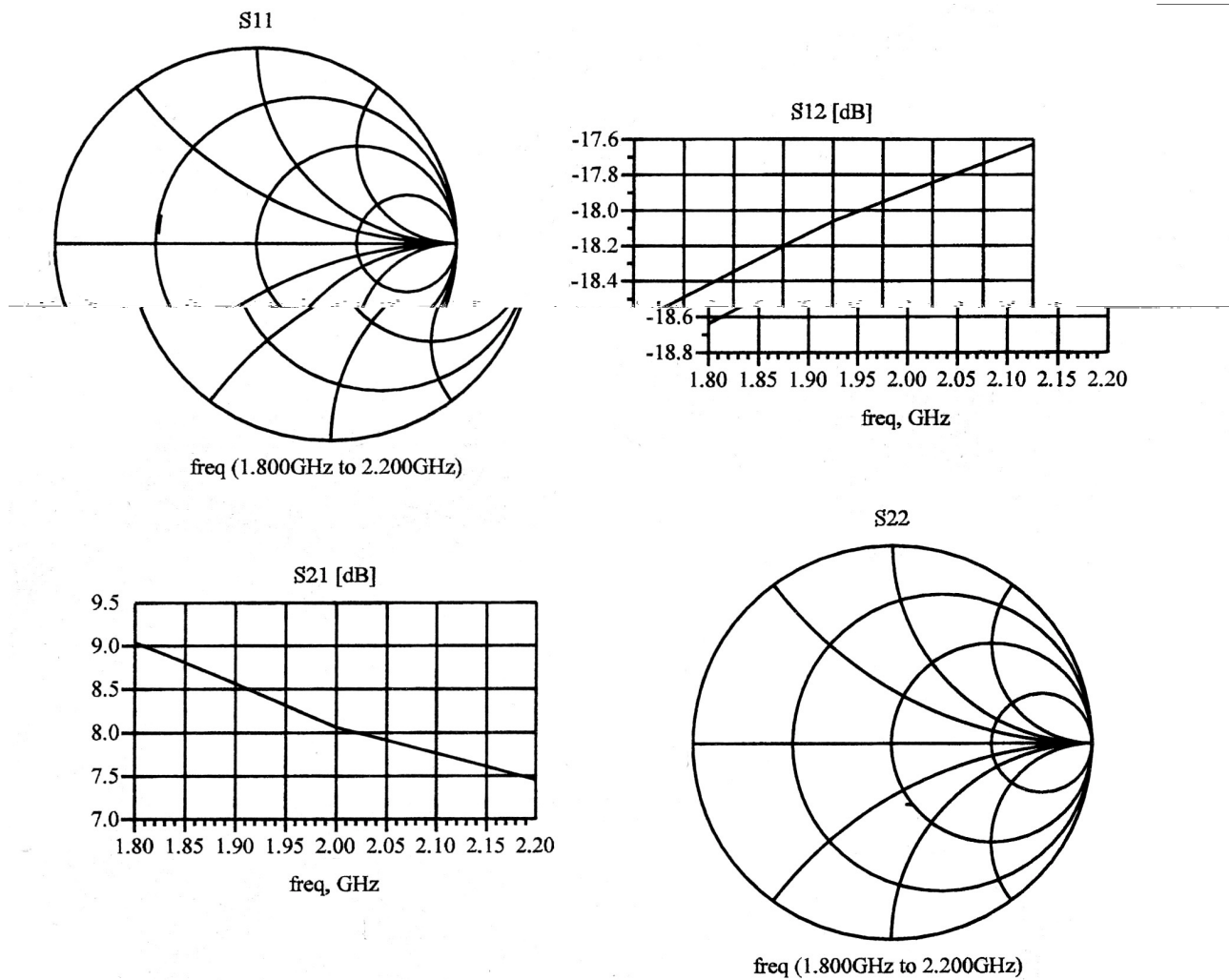


Fig. 9.2: schéma ADS pour la visualisation des paramètre S du transistor utilisé

Les paramètres S de ce transistor sont donnés à la Fig. 9.3., qui correspond à la simulation effectuée pour le schéma de la Fig. 9.2. (balayage de 1,8 à 2,2 GHz, transistor seul entre deux ports 50 Ω).



freq	S(1,1)	S(2,1)	S(1,2)	S(2,2)	freq
1.800GHz	0.486 / 174.200	2.830 / 57.600	0.117 / 37.800	0.332 / -70.000	1.800GHz
1.850GHz	0.487 / 172.400	2.755 / 56.200	0.119 / 37.600	0.329 / -71.000	1.850GHz
1.900GHz	0.488 / 170.600	2.680 / 54.800	0.121 / 37.400	0.326 / -72.000	1.900GHz
1.950GHz	0.489 / 168.800	2.605 / 53.400	0.123 / 37.200	0.323 / -73.000	1.950GHz
2.000GHz	0.490 / 167.000	2.530 / 52.000	0.125 / 37.000	0.320 / -74.000	2.000GHz
2.050GHz	0.491 / 165.900	2.487 / 51.100	0.127 / 37.400	0.319 / -74.800	2.050GHz
2.100GHz	0.492 / 164.800	2.444 / 50.200	0.128 / 37.800	0.318 / -75.600	2.100GHz
2.150GHz	0.493 / 163.700	2.401 / 49.300	0.130 / 38.200	0.317 / -76.400	2.150GHz
2.200GHz	0.494 / 162.600	2.358 / 48.400	0.131 / 38.600	0.316 / -77.200	2.200GHz

Fig. 9.3: paramètres S du transistor HP AT-00535_1

4. Simulation sur ADS

4.1 Simulation du transistor seul

Simuler le transistor pour obtenir ses paramètres S (identiques à la donnée)

4.2 Simulation du transistor et des circuits d'adaptation

Simuler le circuit transistor + adaptation calculée au préalable, en utilisant des éléments idéaux. Expliquer les divergences éventuelles avec les prévisions théoriques.

4.3 Passage à des éléments de ligne

Dans les cas où les circuits d'adaptation comprennent des éléments discrets (capacités ou inductances en parallèle), remplacer ces derniers par des tronçons de lignes de transmissions idéales d'impédance caractéristique 50Ω et de longueur adéquate. Re-simuler le circuit.

Attention: éviter les lignes de transmission trop courtes (< 10 mm) aux accès du transistor, sinon on arrivera à des impossibilités de réalisation lors du passage au circuit microruban.

4.4 Optimisation du circuit

Optimiser le circuit obtenu en 4.3. Comment choisir judicieusement des critères d'optimisation ?

4.5 Passage à un circuit microruban

Remplacer les lignes de transmissions idéales par des lignes microruban. On considérera un substrat de permittivité relative $\epsilon_r = 6$ et d'épaisseur $h = 0,635$ mm. Simuler ce circuit. Le résultat diffère-t-il beaucoup du cas du circuit idéal ?

Optimiser ce circuit sur toute la bande de fréquence. Que peut on dire ?

5. Conclusions

Quels sont les avantages et les limitations d'un tel logiciel ? Quels sont les dangers à éviter ?

Documents utiles:

[1] "Notes sur l'adaptation et la stabilité d'un amplificateur à transistors":
http://lemawww.epfl.ch/enseignement/labos7e_donnees/notes_adapt.pdf

[2] abaque de Smith (meilleure qualité graphique que celle annexée à ce document):
http://lemawww.epfl.ch/enseignement/documents_divers/abaque_de_smith.pdf



IMPEDANCE OR ADMITTANCE COORDINATES

