

Amplificateurs à transistors 1

L'objectif principal de ce TP en deux parties est de concevoir des amplificateurs HF à transistors à l'aide d'ADS. Dans cette première partie nous allons aborder la polarisation, le fonctionnement petits signaux, les distorsions et les modèles de simulation utilisés par le logiciel.

1. Analyse en courant continu : polarisation du transistor bipolaire

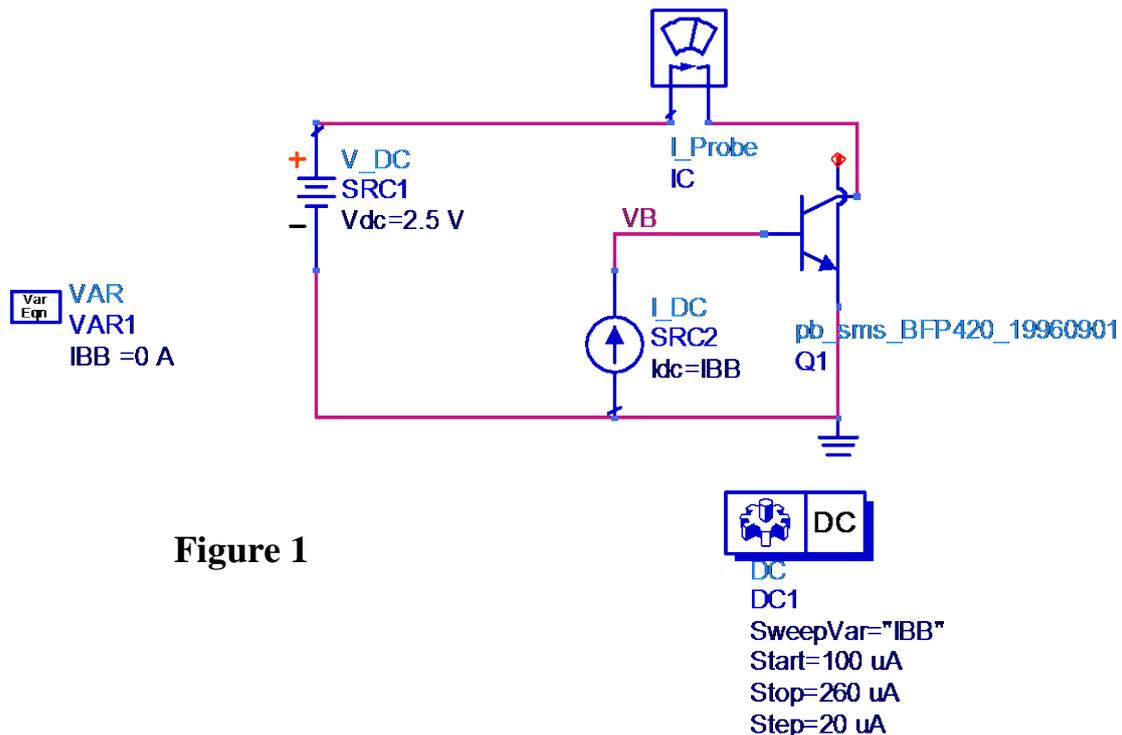
Pour pouvoir fonctionner en amplificateur linéaire, le transistor doit être polarisé. Pour cela, on sélectionne un point de fonctionnement qui correspond à un groupe de 4 valeurs pour I_{B0} , V_{BE0} , V_{CE0} et I_{C0} .

1.1. Tracé des caractéristiques $I_C = f(V_{CE})$ et $I_C = f(I_B)$:

- Créer un nouveau projet ADS
- Dans une fenêtre de schematic insérer le template BJT_Curve_Tracer (Menu Insert/Template)
- Placer le transistor pb_sms_BFP420_19960901. I_{BB} devra varier entre 100uA et 260uA par pas de 20uA. Lancer la simulation. A quoi correspondent les courbes obtenues ?

1.2. Tracé de la caractéristique $I_C = f(I_{BB})$:

- Enregistrer le schéma précédent sous un autre nom et modifier le circuit de la manière suivante :



- Lancer la simulation et tracer la courbe $IC = f(IBB)$. A l'aide de deux marqueurs et d'une équation, déterminer la pente de la droite. A quoi correspond cette pente ? Comparer à la valeur de h_{fe} donnée dans le datasheet constructeur (<http://www.infineon.com/cms/en/product/findProductTypeByName.html?q=bf420>).

1.3. Circuits de polarisation et stabilité en température :

- Le circuit de polarisation choisi est conforme au schéma suivant :

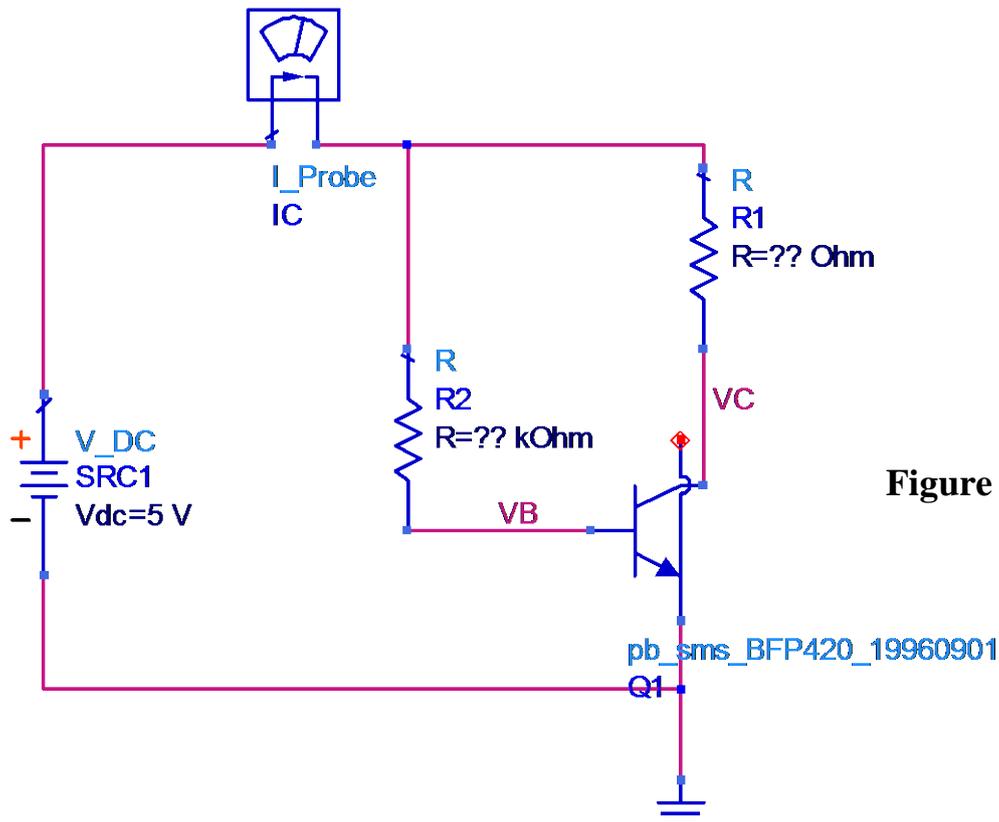


Figure 2

On souhaite calculer à l'aide d'ADS les valeurs de R1 et R2. Le point de repos choisi est le suivant :

IC0	15mA
VCE0	2,5V

La méthode est la suivante :

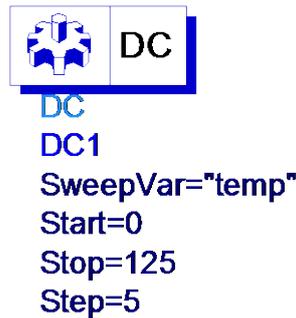
⇒ **A partir du schéma de la Figure 1**, et après avoir lancé la simulation, afficher sous forme de tableau dans la fenêtre des résultats de simulation (fichier .dds), IBB , $IC.i$ et VB . Quelle est la valeur de IBB qui permet d'obtenir $IC0 \approx 15mA$?

⇒ Entrer les équations suivantes dans la feuille de résultats :

- $R2 = (5 - VB)/IBB$
- $R1 = 2.5/IC.i$

⇒ Afficher dans un tableau R1 et R2. Encadrer la ligne qui correspond à $I_{BB}=220\mu A$: elle correspond aux valeurs recherchées.

- Créer un nouveau schéma conforme à celui de la Figure 2 dans lequel vous aurez donné à R1 et R2 les valeurs déterminées précédemment. Lancer une simulation et afficher les valeurs du point de repos sur le schéma (Menu Simulate/Annotate DC solution). Vérifier que les valeurs sont correctes.
- Etude de la stabilité du point de repos en fonction de la température :
 - Modifier l'instrument DC de la manière suivante :



- Lancer la simulation et afficher $V_C = f(\text{temp})$. Placer deux marqueurs sur la courbe, l'un à 20° , l'autre à 80° et à l'aide d'une équation calculer la pente de la courbe. Conclusion ?
- Dans le but de diminuer l'influence de la température sur le point de polarisation, on adopte le schéma suivant :

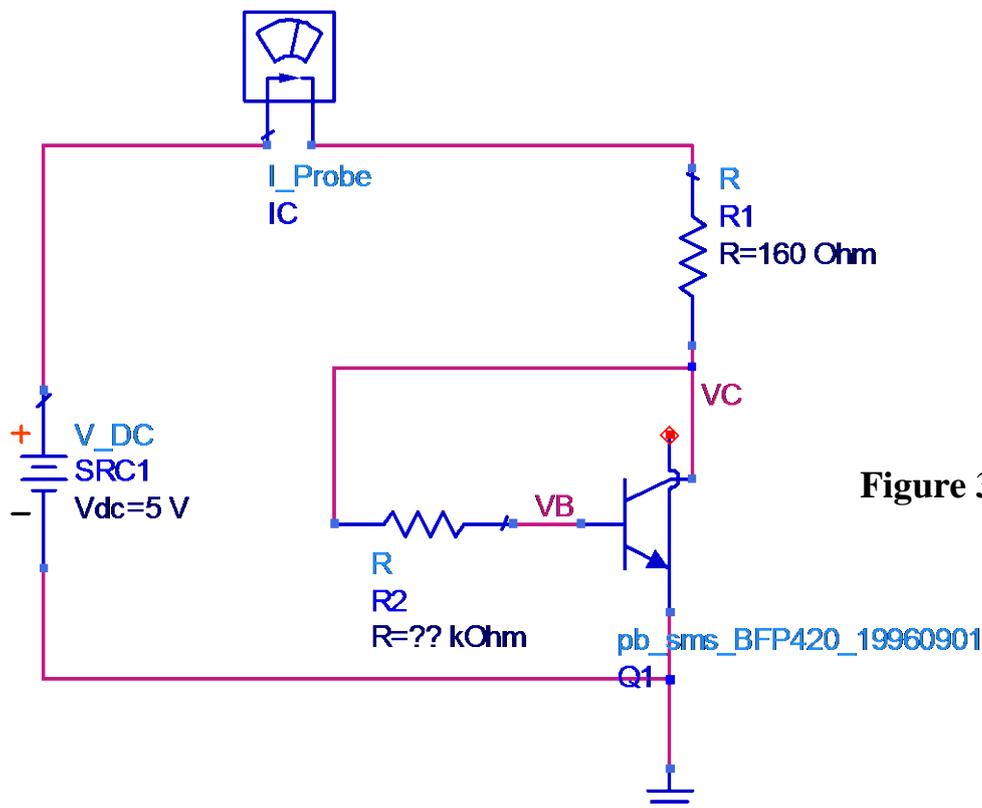
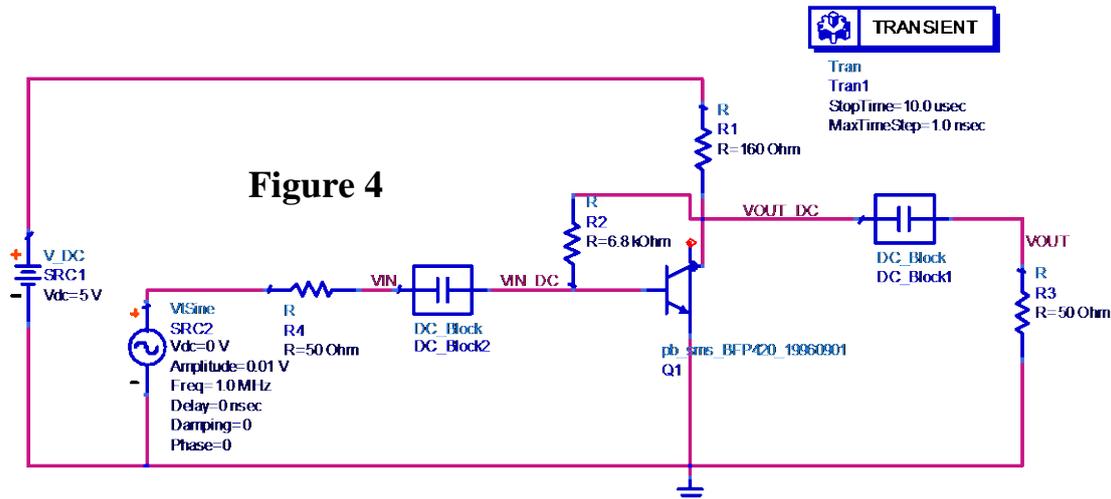


Figure 3

- Calculer la nouvelle valeur de R2 par la méthode expliquée précédemment, refaire une simulation en température et constater l'amélioration qu'apporte ce montage.

2. Analyse temporelle

- Enregistrer le schéma précédent sous un autre nom et le modifier de la manière suivante :



- Lancer la simulation et afficher en corrélation VIN, VIN_DC, VOUT et VOUT_DC. Quel est le gain en tension de ce montage (utiliser une équation) ? Quel est le déphasage entre le signal VOUT et le signal VIN ? Quelle est l'utilité des composants DC_Block ?

3. Comportement fréquentiel

- Afficher le spectre de VOUT en dBm dans un graphe (dBm(fs(VOUT))). Constater la présence des harmoniques 2 et 3. En recherchant sur Internet des informations sur le fonctionnement d'un transistor, expliquer la raison de ces non linéarités. On pourra s'arrêter en particulier sur les modèles de Ebers-Moll et Gummel-Poon. Un petit détour mathématique vers le développement limité de la fonction exponentielle sera bien utile...
- Fixer l'amplitude de la source VtSine à 0,1V et relancer la simulation. Que se passe-t-il ? Conclure quant à la zone de linéarité du montage.
- On peut réaliser une étude plus précise des non linéarités d'un amplificateur à transistor grâce à une simulation de type HARMONIC BALANCE. Ce type de simulation utilise le modèle non linéaire du transistor dit de Gummel-Poon et est donc parfaitement adapté à l'étude des phénomènes de distorsion introduits par un montage à transistor.

Commençons par l'un des indicateurs de distorsion que l'on appelle le point de compression à 1dB. Il s'agit du point pour lequel la courbe de $POUT = f(PIN)$ du transistor s'écarte de 1dB par rapport à la courbe d'amplification théorique. La Figure 5 illustre ce concept.

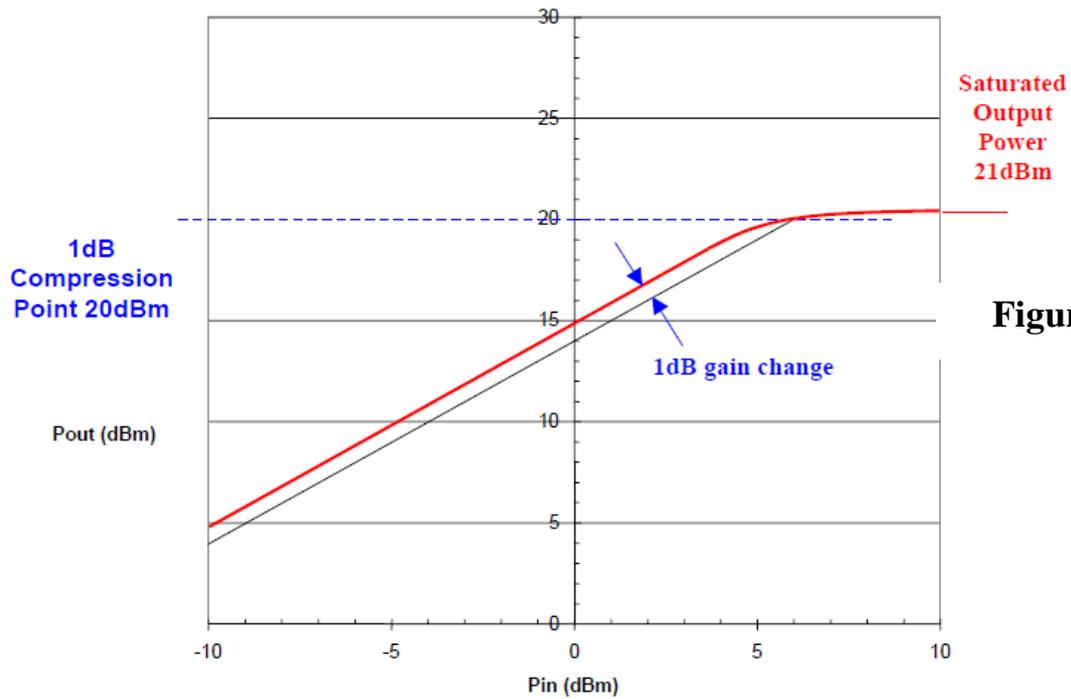


Figure 5

- Sauvegarder le schéma précédent sous un autre nom et le modifier pour obtenir celui-ci :

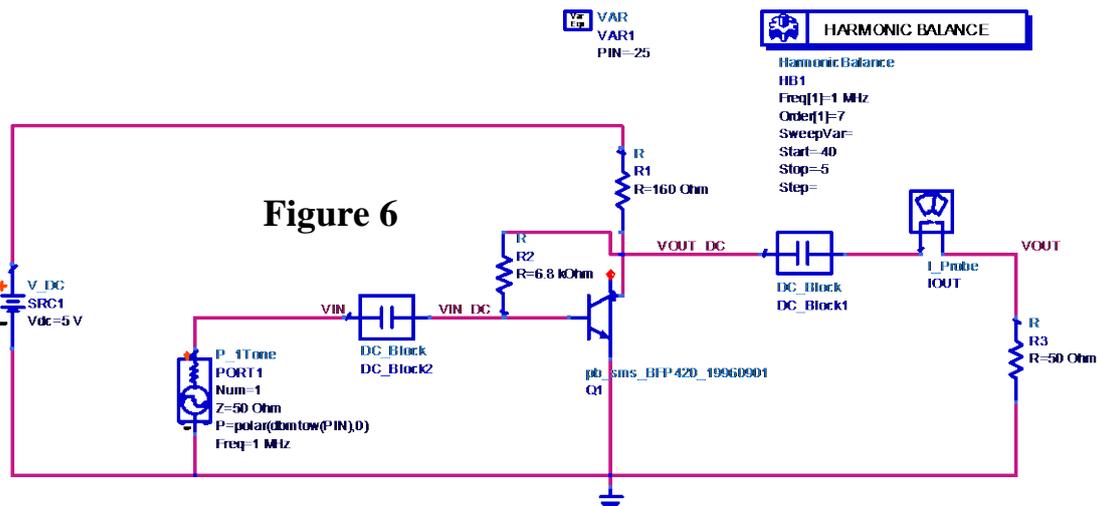
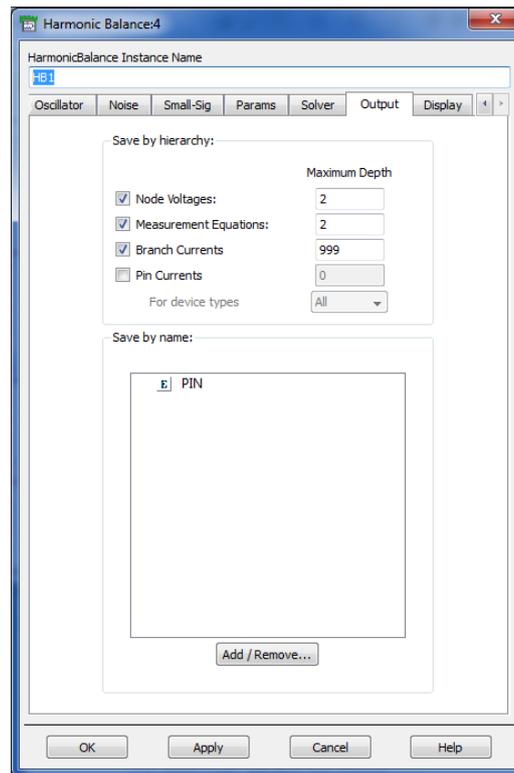


Figure 6

- Lancer la simulation et tracer le graphe de VOUT en dBm. Tracer également en corrélation les graphes temporels de VIN et de VOUT (ts(VIN) et ts(VOUT)).
- Modifier le champ SweepVar de l'instrument HARMONIC BALANCE de la manière suivante :

SweepVar= "PIN"

La variable PIN du schéma doit être rendue accessible à la feuille de résultats. Pour cela éditer l'instrument HARMONIC BALANCE (double-clic) et le modifier de la manière suivante en cliquant sur le bouton Add/Remove :



Ces modifications vont permettre de tracer la courbe $POUT = f(PIN)$. Lancer la simulation.

- Taper les équations suivantes :

$$\text{Eqn } POUT = 0.5 * \text{real}(VOUT * \text{conj}(IOUT.i))$$

$$\text{Eqn } POUT_dBm = 10 * \log(POUT) + 30$$

$$\text{Eqn } \text{grad1} = (POUT_dBm[2][1] - POUT_dBm[0][1]) / (PIN[2] - PIN[0])$$

$$\text{Eqn } CPL1 = POUT_dBm[0][1]$$

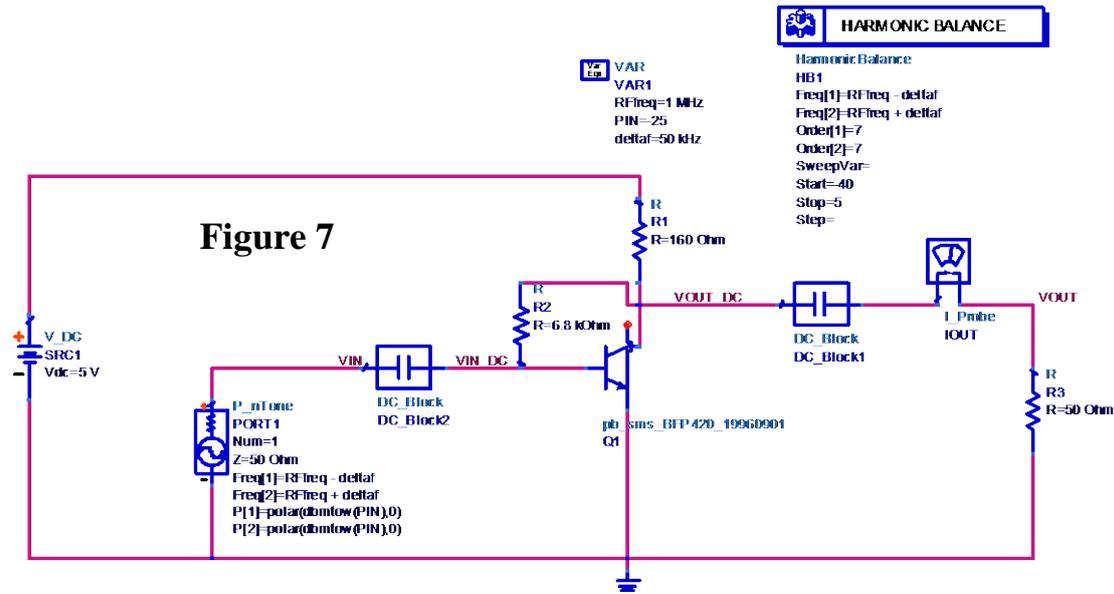
$$\text{Eqn } Pideal = \text{grad1} * (PIN - PIN[0]) + CPL1$$

$$\text{Eqn } \text{Gain} = POUT_dBm[1] - PIN$$

- Tracer les courbes de $POUT_dBm = f(PIN)$ et $Pideal = f(PIN)$ sur le même graphe. Sur un autre graphe tracer la courbe de $\text{Gain} = f(PIN)$. Ces courbes doivent, à l'aide d'un curseur, vous permettre de déterminer le point de compression à 1dB.

Expliquer le rôle et le fonctionnement des équations ci-dessus. Comment retrouver la valeur maximale de la sinusoïde d'entrée (en volts) à partir de la puissance en dBm ?

- Nous allons maintenant mettre en évidence la notion de produit d'intermodulation. Sauvegarder le schéma précédent sous un autre nom et le modifier pour obtenir celui-ci :



- La source d'entrée est maintenant constituée d'une somme de deux sinusoïdes l'une à $RFfreq + \delta f$ l'autre à $RFfreq - \delta f$. Tracer la courbe de $POUT_{dBm} = f(PIN)$. Expliquer les différentes raies obtenues. On pourra considérer que :

$$V_{OUT} = a_0.V_{IN} + a_1.V_{IN}^2 + a_2.V_{IN}^3$$

avec $V_{IN} = \cos(2\pi(RFfreq + \delta f)t) + \cos(2\pi(RFfreq - \delta f)t)$. Il faudra se rappeler de quelques vieilles formules de trigonométrie ☺ Cela permettra de constater mathématiquement que ce sont les produits d'ordre 3 qui sont le plus préoccupants pour un ampli. Saurez-vous expliquer pourquoi ?

- Pour les plus courageux : faire un sweep sur PIN et déterminer le point d'interception d'ordre 3 en sortie (Third Order Interception Point ou TOIP).

4. Modèles de simulation pour la HF et les Hyperfréquences

Le modèle du transistor que nous avons utilisé jusqu'à présent est un modèle non-linéaire de type Gummel-Poon. Son schéma électrique est le suivant :

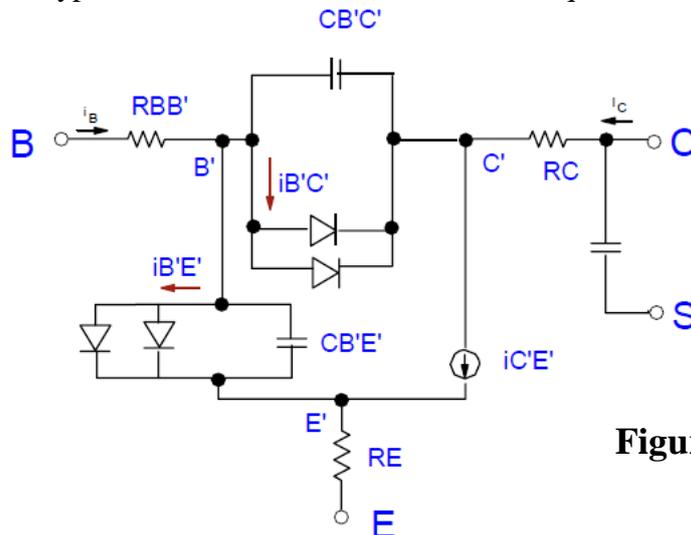


Figure 8

Pour pouvoir l'utiliser dans une simulation en paramètres S qui va nous permettre d'utiliser les méthodes de conception vues en TD (adaptation pour le MAG ou pour une valeur de gain déterminée etc.), ADS linéarise ce modèle autour du point de fonctionnement. Le modèle de simulation est alors conforme au schéma ci-dessous :

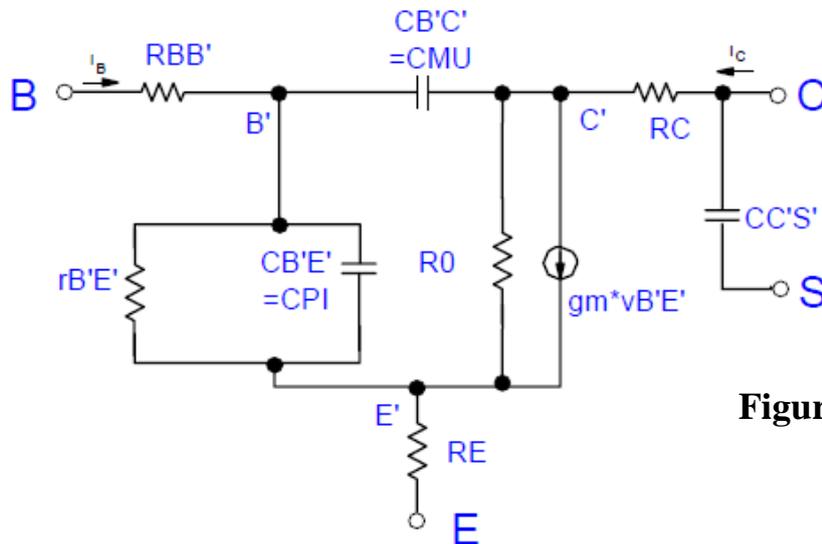


Figure 9

Nous souhaitons comparer ce modèle à un fichier de paramètres S donné par le constructeur du transistor. Ce fichier est le modèle de référence puisque les paramètres S ont été obtenus par la mesure.

- Saisir le schéma suivant :

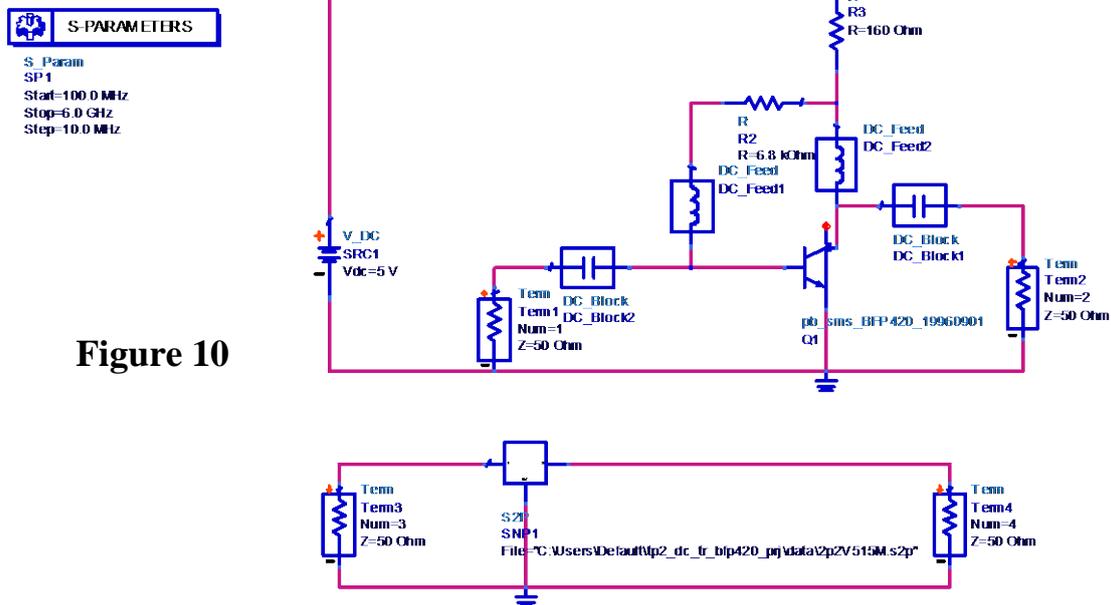


Figure 10

- Il vous faudra créer un fichier .s2p contenant les paramètres S. Vous trouverez ce fichier sur le site du constructeur. ATTENTION : choisir le fichier qui correspond au point de polarisation ($V_{CE} = 2.5V$ et $I_C = 15mA$).
- Lancer la simulation et afficher les paramètres S des deux montages sur les mêmes graphes. Conclure.