

ENSEIRB-MATMECA

TECHNIQUES RF

TP / PROJET DE CONCEPTION RF

**PROCEDURES D'UTILISATION DU LOGICIEL
ANSYS / ANSOFT DESIGNER V8**

Francis RODES

Eliane GARNIER

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION, AVANT PROPOS.....	5
2	PROCEDURES D'ACCES ET DE CONFIGURATION D'ANSYS DESIGNER.....	6
2.1	Lancer le logiciel ANSYS DESIGNER :	6
2.2	CHARGEMENT DES LIBRAIRIES DE COMPOSANTS : "Vendors Elements"	6
2.3	Using the Vendor Libraries	6
3	Procédures de placement dans un schéma de composants issus de la librairie : "Vendors Elements".....	10
3.1	Capacitor.....	10
3.2	Transistor.....	11
3.3	Example of using Legacy S Parameter Data	12
3.3.1	Transistor.....	12
3.3.2	Example of using Legacy S Parameter Data.....	14
4	DESSIN D'UN SCHEMA SIMULABLE, SIMULATION LINEAIRE, PROCEDURE D'UTILISATION DE L'OUTIL : SMITH TOOL	17
4.1	Introduction : Présentation des procédures d'utilisation	17
4.2	Procédure d'utilisation de la schématique	18
4.2.1	Introduction	18
4.2.2	Placement des ports d'entrée (1) et de sortie (2).....	18
4.2.3	Paramétrage des ports d'entrée (1) et de sortie (2).....	18
4.2.4	Placement des composants L et C.	18
4.2.5	Placement du symbole de terre (Ground).....	21
4.2.6	Interconnexion des composants sans tenir compte de la longueur des pistes de liaisons. 21	
4.2.7	Interconnexion des composants en tenant compte de la longueur des pistes de liaisons. 21	
4.2.8	Vérification du schéma.....	24
4.2.9	VERIFICATION DE LA "NETLIST" GENEREE	24
4.2.10	Copier / coller du schéma dans le traitement de texte Word.....	24
4.3	CONFIGURATION ET LANCEMENT D'UNE ANALYSE LINEAIRE	25
4.3.1	CONFIGURATION D'UNE ANALYSE LINEAIRE	25
4.3.2	LANCEMENT D'UNE ANALYSE LINEAIRE.....	25
4.4	VISUALISATION DES RESULTATS DE L'ANALYSE LINEAIRE DANS L'ABAQUE DE SMITH.....	26
4.5	UTILISATION DE L'OUTIL SMITH TOOL.....	27
4.5.1	APPEL DE L'OUTIL SMITH TOOL.	27
4.5.2	CONFIGURATION DE L'OUTIL SMITH TOOL.....	27
4.5.3	CONCEPTION DU RESEAU D'ADAPTATION	28
5	CONCEPTION ET SIMULATION LINEAIRE D'UN LNA (Low Noise Amplifier) ...	33
5.1	DESSIN DU SCHEMA ELECTRIQUE	33
5.1.1	Introduction	33
5.2	Placement d'un transistor modélisé par ses paramètres S	33
5.3	CONFIGURATION ET LANCEMENT D'UNE ANALYSE LINEAIRE	34
5.4	VISUALISATION DES RESULTATS DE L'ANALYSE LINEAIRE DANS L'ABAQUE DE SMITH.....	34
5.5	UTILISATION DE L'OUTIL SMITH TOOL.....	34
5.5.1	APPEL DE L'OUTIL SMITH TOOL.	34
5.5.2	CONFIGURATION DE L'OUTIL SMITH TOOL.....	34

5.5.3	Conception du réseau d'adaptation d'entrée	37
5.5.4	Conception du réseau d'adaptation de sortie.....	38
5.6	CONSTRUCTION DE L'AMPLIFICATEUR	40
5.7	SIMULATION DE L'AMPLIFICATEUR	40
6	TRANSFERT DE PARAMETRES Sij MESURES AVEC UN VECTOR NETWORK ANALYZER	42
6.1	INTRODUCTION	42
6.2	PHASE 1 : ENREGISTREMENT DES PARAMETRES Sij MESURES AVEC UN VECTOR NETWORK ANALYZER : Agilent N3382A	42
6.3	PHASE 1 : ENREGISTREMENT DES PARAMETRES Sij MESURES AVEC UN VECTOR NETWORK ANALYZER : HP 8753D	43
6.3.1	INTRODUCTION.....	43
6.3.2	OPERATION 1.1 : ENREGISTREMENT SUR FLOPPY DISK 3.5" DES PARAMETRES Sij MESURES AVEC LE VECTOR NETWORK ANALYZER : HP8753D.....	43
6.3.3	OPERATION 1.2 : LECTURE DES PARAMETRES Sij ENREGISTRES SUR FLOPPY DISK 3.5" MODIFICATION DE L'EXTENSION ET COPIE DANS UN REPERTOIRE.....	44
6.4	Phase 2 : TRANSFERT DES PARAMETRES Sij ENREGISTRES VERS LE LOGICIEL Ansoft Designer	45
6.4.1	Avant propos : présélection composant "N port"	45
6.4.2	Le "N port" a sa référence connectée à la masse	45
6.4.3	Le "N port" a sa référence non connectée à la masse	47
7	TRANSFERT MANUEL DE PARAMETRES Sij PROVENANT D'UNE SPREADSHEET	48
7.1.1	Introduction	48
7.1.2	Le "N port" a sa référence connectée à la masse	48
7.1.3	Le "N port" a sa référence non connectée à la masse	49
8	SIMULATION NON LINEAIRE DE TYPE "HARMONIC BALANCE" : EXEMPLE D'UN AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE.....	50
8.1	Introduction.	50
8.2	Dessin du schéma du circuit	50
8.3	Phase 1 : Vérification de la polarisation.....	51
8.4	Phase 2 : Définition du signal d'entrée pour la simulation non linéaire.....	52
8.4.1	Remarque préliminaire :.....	52
8.4.2	Définition d'une : RF 1 tone Analysis.	52
8.4.3	Définition d'un : Power Sweep	53
8.5	Phase 3 : Lancement de l'analyse : Harmonic Balance Analysis 1Tone.....	54
8.6	Phase 4 : Affichage des résultats de simulation	54
8.6.1	Affichage Pout & Transducer Gain.....	54
8.6.2	Affichage du spectre de Pout.....	55
8.7	Phase 5 : Détermination de l'impédance de charge optimale avec l'outil Load Pull Analysis.....	56
8.7.1	Avant propos	56
8.7.2	Vérification et modification du schéma de l'amplificateur.....	56
8.7.3	Définition d'une puissance d'entrée constante	57
8.7.4	Configuration d'une simulation non linéaire Harmonic Balance pour une puissance d'entrée constante et une fréquence unique.....	58
8.7.5	Lancement de l'analyse : Harmonic Balance : HB1_Loadpull.....	58

8.7.6	VISUALISATION DES RESULTATS DE L'ANALYSE LOAD PULL DANS L'ABAQUE DE SMITH.....	59
8.7.7	Vérification du spectre de la puissance de sortie pour l'impédance de charge optimale	60
4°	Lancement de l'analyse : Harmonic Balance Analysis 1Tone	61
9	SIMULATION D'UN OSCILLATEUR PAR ANALYSE : "HARMONIC BALANCE"	
	Erreur ! Signet non défini.	
9.1	Introduction.	Erreur ! Signet non défini.
9.2	Phase 1 : Dessin du schéma de l'oscillateur	Erreur ! Signet non défini.
9.2.1	Dessin du schéma	Erreur ! Signet non défini.
	Remarque importante relative à ce schéma :.....	Erreur ! Signet non défini.
	Le port 1 doit être configuré avec une impédance de valeur :	Erreur ! Signet non défini.
	Re = 50Ω, Im = 0.....	Erreur ! Signet non défini.
9.2.2	Placement et connexion des sondes de tension	Erreur ! Signet non défini.
9.3	Phase 1: Vérification de la polarisation.....	Erreur ! Signet non défini.
9.4	Phase 2: HB Resonant Frequency Search.....	Erreur ! Signet non défini.
9.4.1	Configuration de "HB Resonant Frequency Search".	Erreur ! Signet non défini.
9.4.2	Lancement et affichage des résultats de "HB Resonant Frequency Search"	Erreur ! Signet non défini.
	Erreur ! Signet non défini.	
9.5	Phase 3 : Harmonic Balance Oscillator	Erreur ! Signet non défini.
9.5.1	Configuration de " Harmonic Balance Oscillator " ...	Erreur ! Signet non défini.
9.5.2	Lancement de l'analyse Harmonic Balance Oscillator	Erreur ! Signet non défini.
	défini.	
9.6	Phase 4 : Affichage des résultats de " Harmonic Balance Oscillator".	Erreur ! Signet non défini.
	non défini.	
9.6.1	Affichage d'un spectre de puissance (sur le port 1)..	Erreur ! Signet non défini.
9.6.2	Affichage de chronogrammes de tensions et de courants (V _{CE} , V _{BE} , I _C).	Erreur !
	Signet non défini.	
9.7	Détermination de l'impédance de charge optimale avec l'outil Load Pull Analysis	
	Erreur ! Signet non défini.	
9.7.1	Avant propos	Erreur ! Signet non défini.
9.7.2	Vérification et modification du schéma de l'oscillateur	Erreur ! Signet non défini.
	défini.	
9.7.3	Lancement d'une simulation non linéaire Harmonic Balance (Oscillator)	
	Erreur ! Signet non défini.	
9.7.4	Configuration du Load Pull Analysis.....	Erreur ! Signet non défini.
9.7.5	Création du Load Pull Analysis	Erreur ! Signet non défini.
9.7.6	LANCEMENT D'UNE ANALYSE LOAD PULL..	Erreur ! Signet non défini.
9.7.7	VISUALISATION DES RESULTATS DE L'ANALYSE LOAD PULL DANS L'ABAQUE DE SMITH.....	Erreur ! Signet non défini.

1 INTRODUCTION, AVANT PROPOS

1°. Les procédures décrites dans ce document ont été établies à partir d'exemples simples avec l'aide de 2 sources d'informations :

- Les "tutorials" réalisés par la société ANSYS / ANSOFT
- L'aide en ligne accessible par le bouton : "Help".

Les procédures décrites dans ce document n'étant pas exhaustives, il est par conséquent recommandé d'utiliser le bouton : "Help" chaque fois qu'une fonctionnalité non décrite dans ce document est recherchée ou de manière plus générale chaque fois qu'une difficulté est rencontrée.

⇒ Pour obtenir des informations avec l'aide en ligne :

1 click (G) sur le bouton : **"Help"** > **Contents**

Ou :

1 click (G) sur le bouton : **"Help"** > **Search**

Puis : Entrez le ou les mots clés à rechercher

2 PROCEDURES D'ACCES ET DE CONFIGURATION D'ANSYS DESIGNER

2.1 Lancer le logiciel ANSYS DESIGNER :

Soit par 2 clicks (G) sur l'icône " Designer 8.0", soit avec le menu : Démarrer > Tous les Programmes > ANSYS Electromagnetics > Designer 8.0=> Ouverture de la fenêtre ANSYS / ANSOFT DESIGNER.

2.2 CHARGEMENT DES LIBRAIRIES DE COMPOSANTS : "Vendors Elements"

A l'initialisation, le logiciel Ansoft Designer ne charge pas toutes les librairies de composants disponibles. Il est donc nécessaire de vérifier quelles sont les librairies chargées par défaut, et éventuellement procéder au chargement d'autres librairies (indispensables pour le projet). La librairie qui est particulièrement intéressante à charger est la librairie : "Vendors Elements".

Pour la charger, il faut effectuer les opérations suivantes :

2.3 Using the Vendor Libraries

1° procédure :

Se connecter sur le site internet de Monsieur David BEDENES:

<http://uuu.enseirb-matmeca.fr/~bedenes/>

Dans la liste : CAO ENSEIRB , sélectionner : ANSOFT

Ouvrir le **fichier de travail** intitulé : **Projet_Anssoft_Designer_Vierge.zip**

Enregistrer ce fichier sur **votre compte**.

- 2 clicks (G) sur le **fichier de travail** intitulé : **Projet_Anssoft_Designer_Vierge.zip**

=> Ouverture d'un projet ANSYS Designer intitulé : **Projet_Anssoft_Designer_Vierge**

Très important :

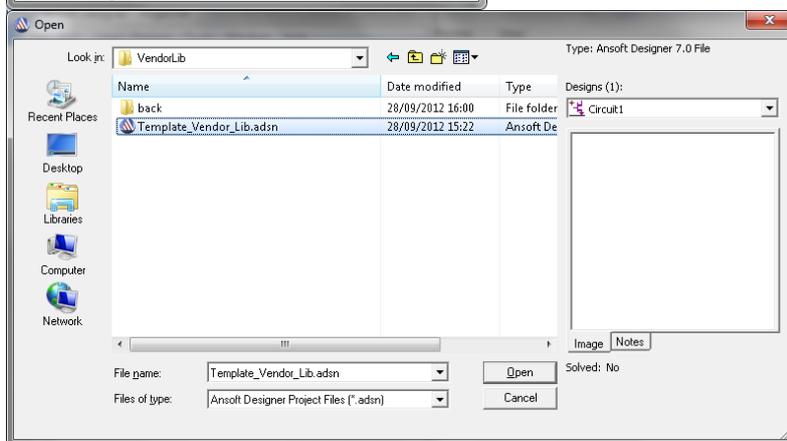
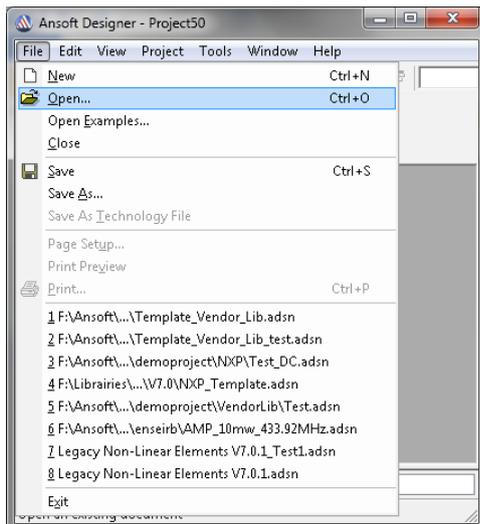
Renommer immédiatement le projet avec le nom de votre choix

2° procédure:

Open the template project *Template_Vendor_Lib*:

Chemin d'accès:

C:\ Programmes \ AnsysEM \ Template project \ Template_Vendor_Lib.adsn

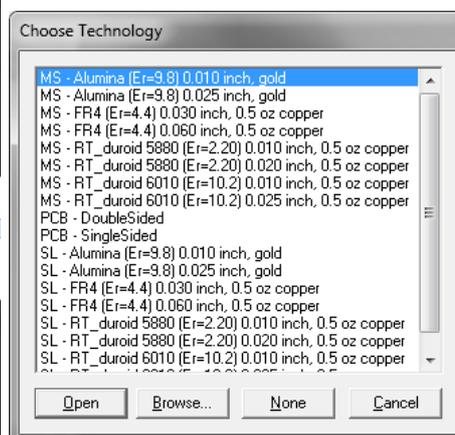
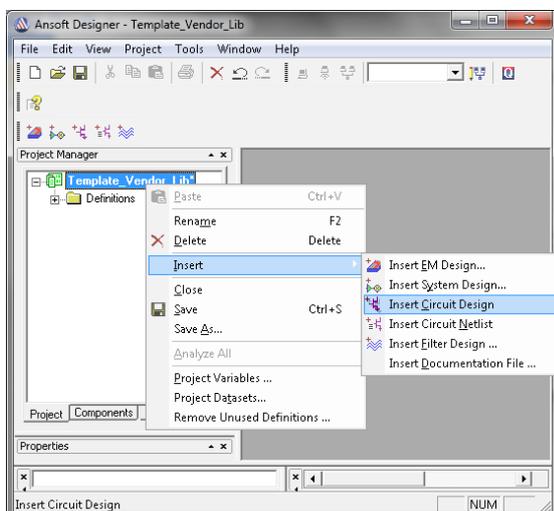


Insert a circuit design and select the technology file of your choice:

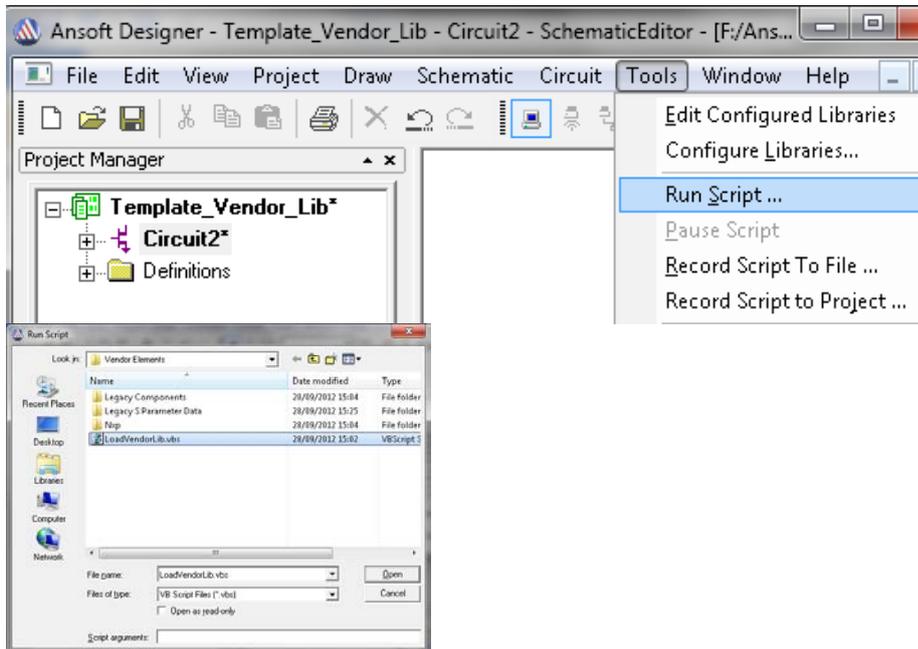
Si le support envisagé est le circuit imprimé standard en verre époxy double face (disponible en stock à l'ENSEIRB), sélectionner :

MS – FR4 (Er=4.4) 0.060 inch, 0.5 oz copper

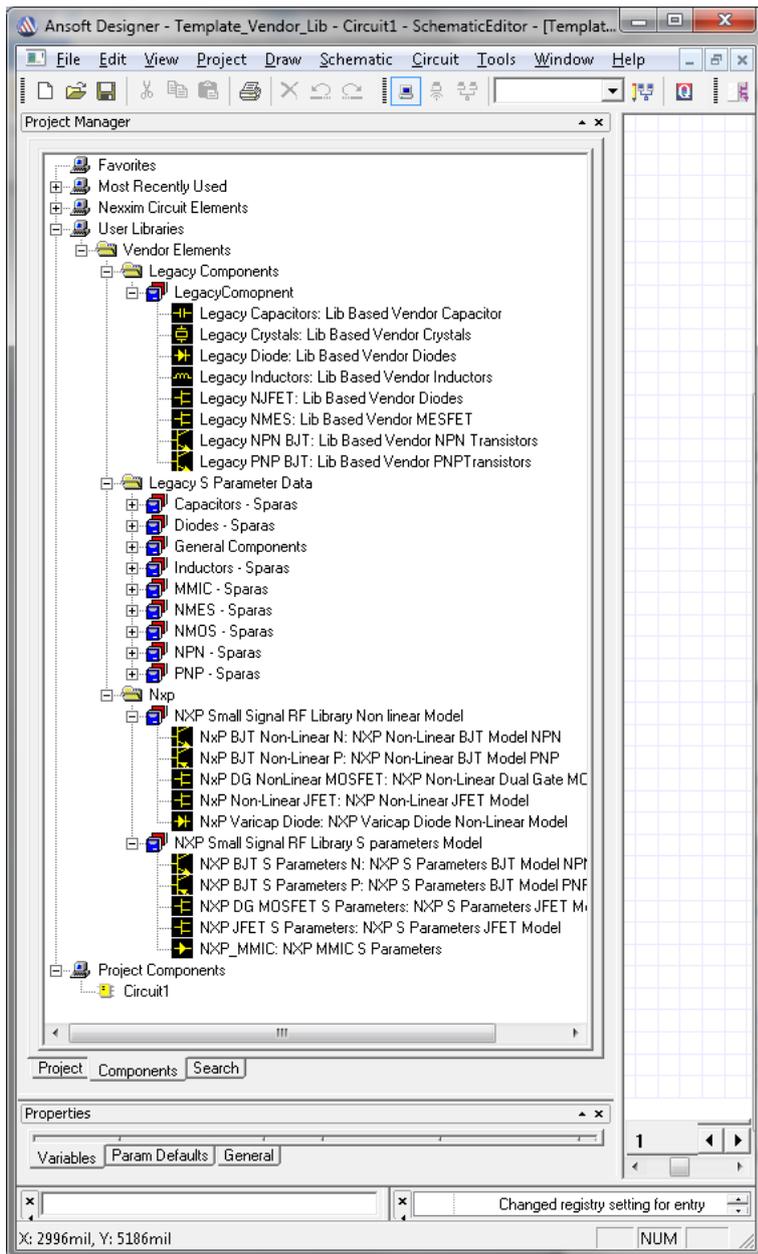
Remarque importante : Pour pouvoir ouvrir la feuille de dessin, on doit obligatoirement préciser la technologie du circuit : Substrat isolant, conducteurs, nombre de couches, etc..



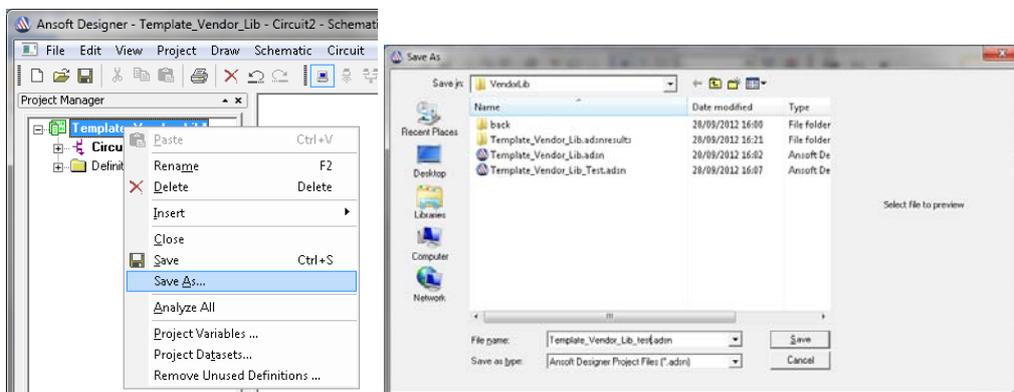
Run script *LoadVendorLib.vbs* to load the libraries, the script is located in Designer installation directory in *C:\Programmes\AnsysEM\Designer8.0\Windows\userlib\Vendor Elements*.



Click Tab Components and verify the libraries are correctly loaded.



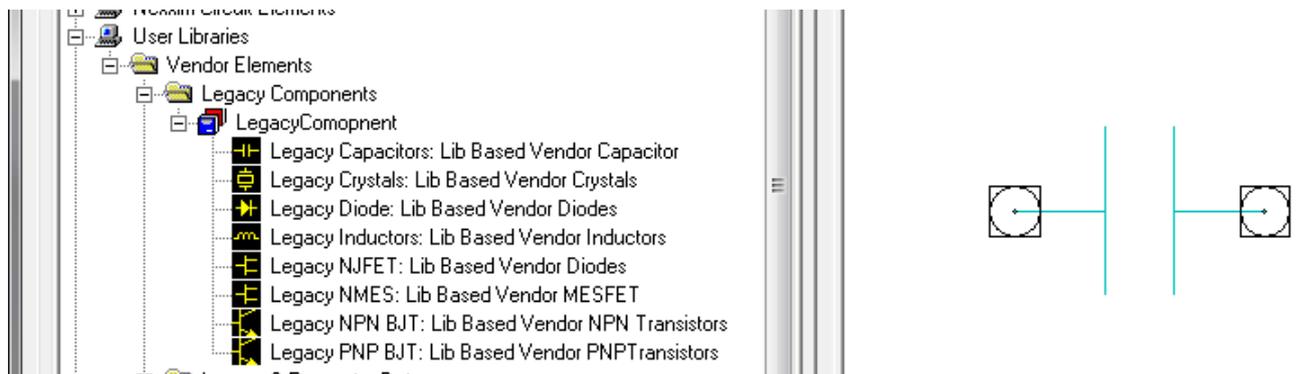
Save as the project *Template_Vendor_Lib* with the name of your choice in the folder of your choice. Here *Template_Vendor_Lib_Test*



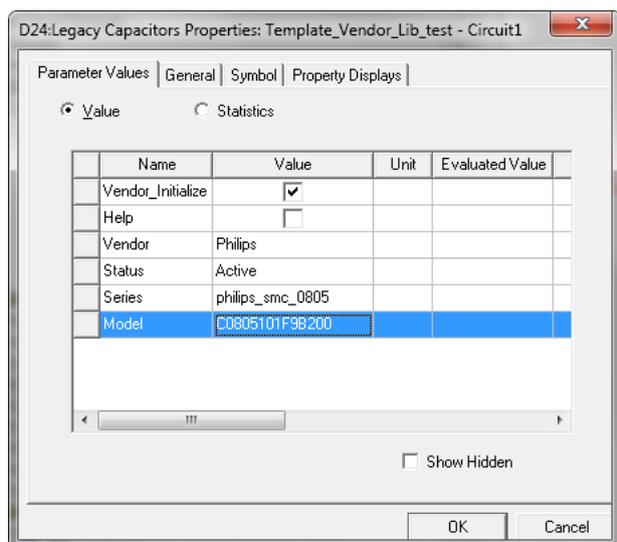
3 Procédures de placement dans un schéma de composants issus de la librairie : "Vendors Elements"

3.1 Capacitor

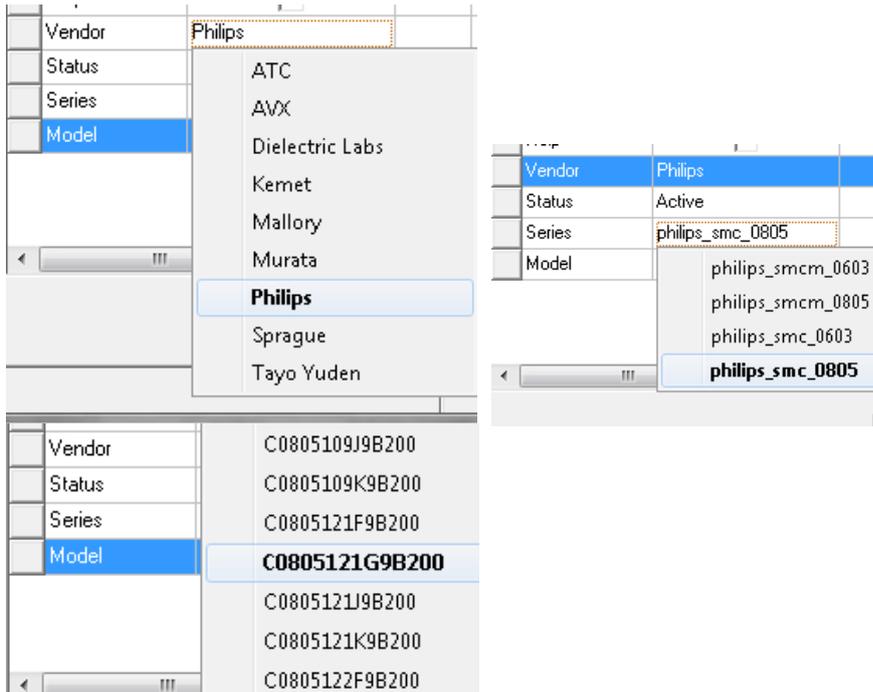
Drag and drop, in the schematic, the component *Legacy Capacitors: Lib Based Vendor Capacitors*



Double-click on the component to open the Properties window

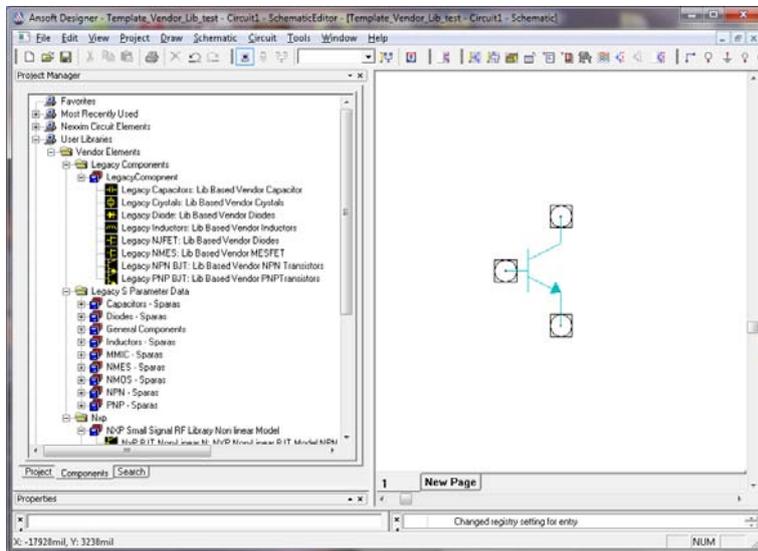


Select Vendor, Series and Model:

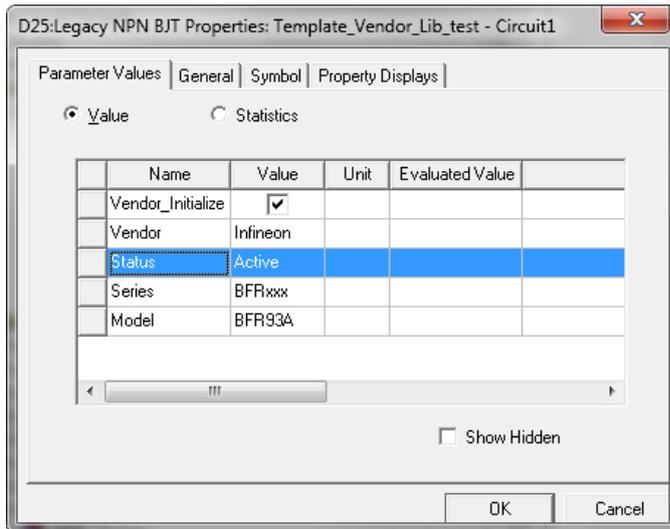


3.2 Transistor

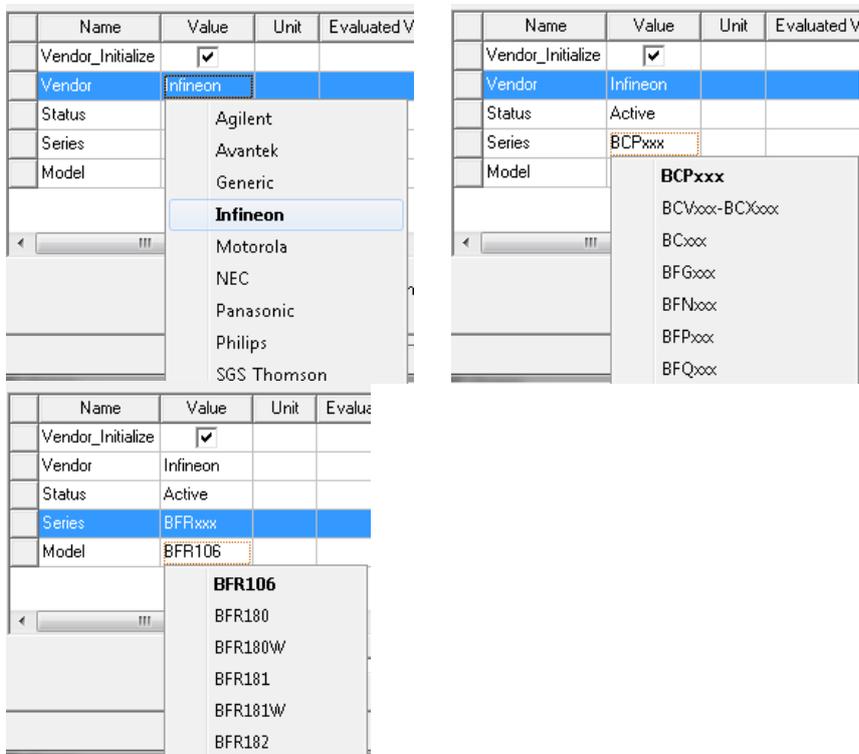
Drag and drop, in the schematic, the component Legacy NPN BJT: Lib Based Vendor NPN Transistors



Double-click on the component to open the Properties window



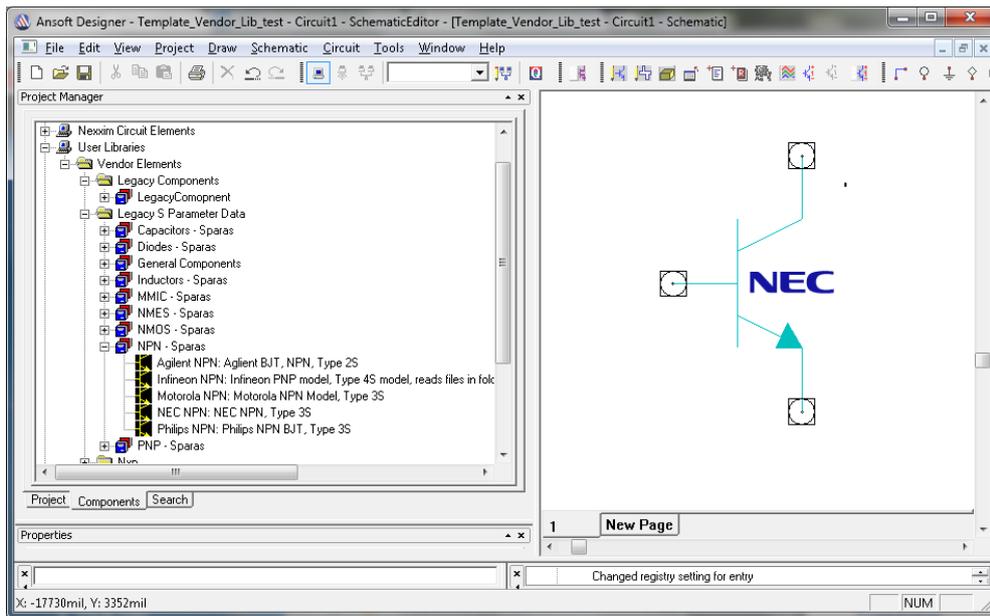
Select Vendor, Series and Model:



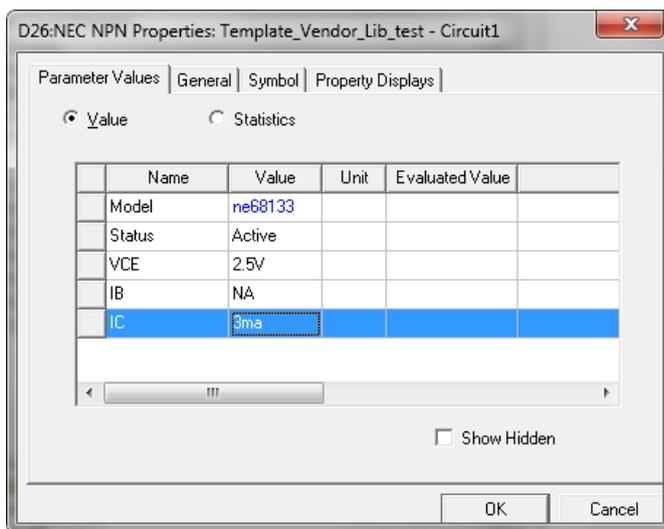
3.3 Example of using Legacy S Parameter Data

3.3.1 Transistor

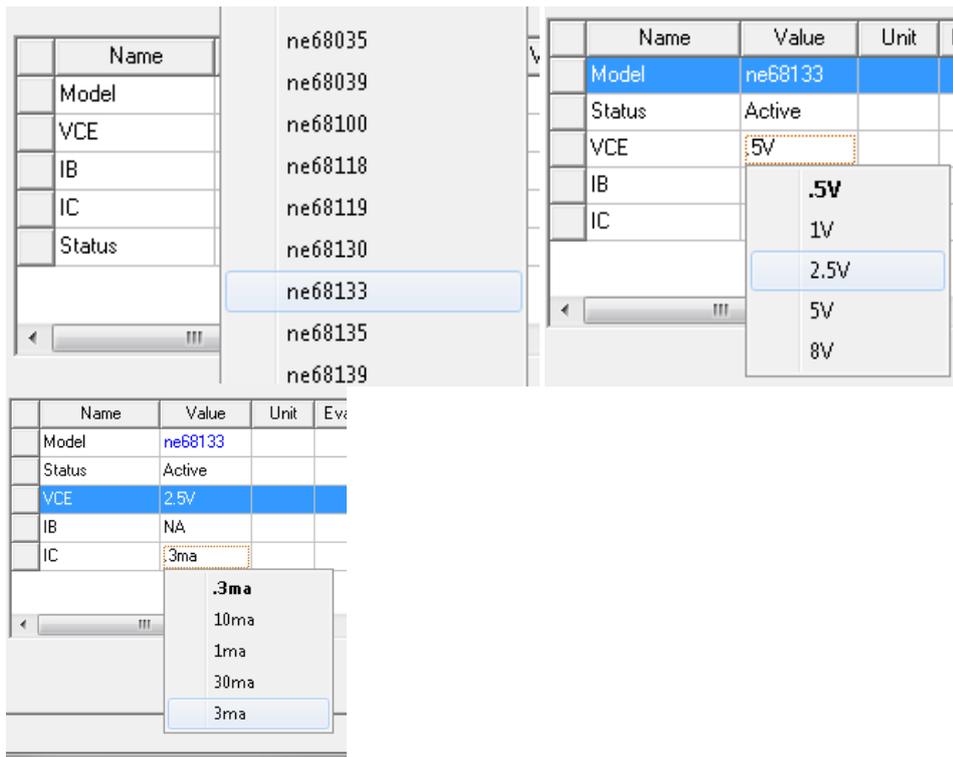
Drag and drop, in the schematic, the component NEC NPN: NEC NPN, Type 3S (Symbol 3 Pin).



Double-click on the component to open the Properties window



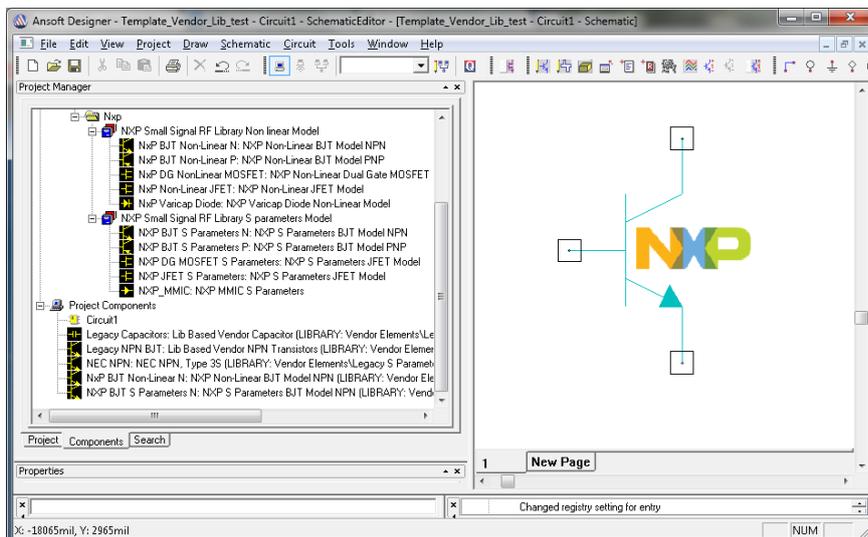
Select Vendor, Series and Model:



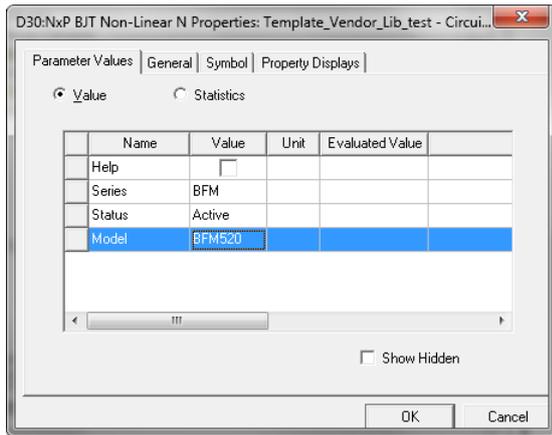
3.3.2 Example of using Legacy S Parameter Data

3.3.2.1 NXP Small Signal RF Library Non-linear Model

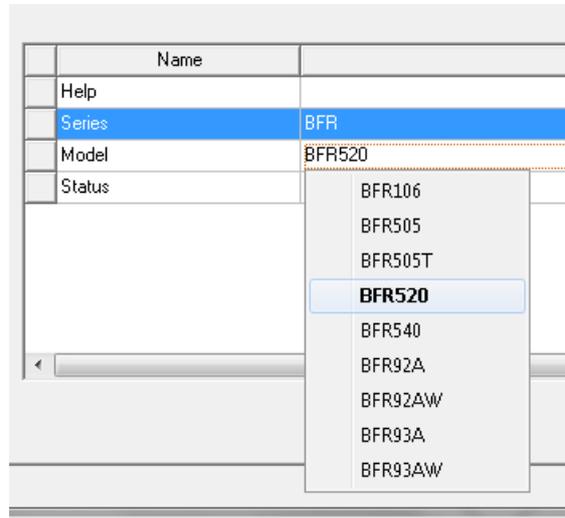
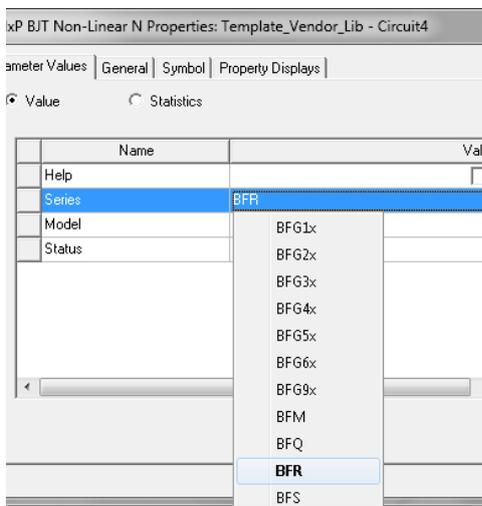
Drag and drop, in the schematic, the component NXP BJT Non-Linear N: Non-Linear BJT Model NPN.



Double-click on the component to open the Properties window

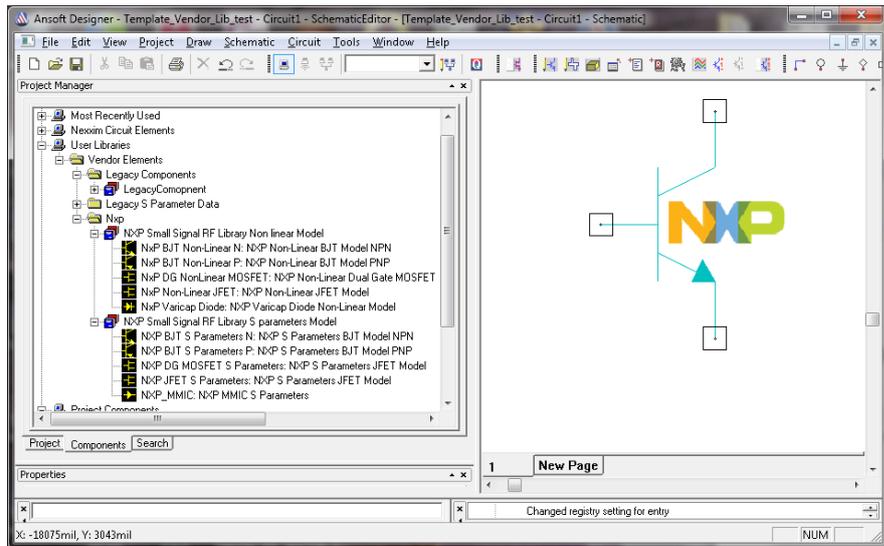


Select Series and Model:



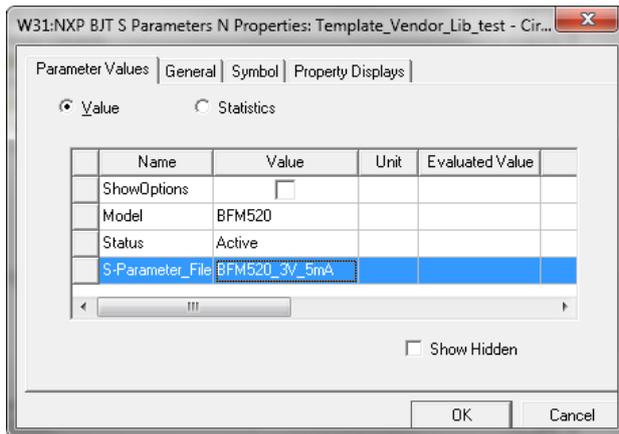
3.3.2.2 NXP Small Signal RF Library Non-linear Model

Drag and drop, in the schematic, the component NxP BJT S Parameters N: NXP S Parameter

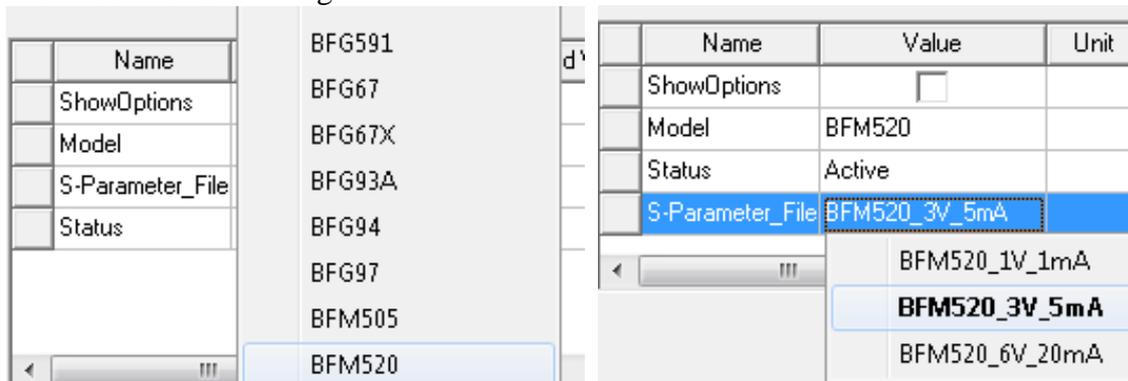


BJT Model NPN

Double-click on the component to open the Properties window



Select Model and biasing:



4 DESSIN D'UN SCHEMA SIMULABLE, SIMULATION LINEAIRE, PROCEDURE D'UTILISATION DE L'OUTIL : SMITH TOOL

4.1 Introduction : Présentation des procédures d'utilisation

Le logiciel ANSYS / ANSOFT DESIGNER ne permet pas un accès direct à l'outil SMITH TOOL:

- Pour accéder à SMITH TOOL, il faut au minimum effectuer les opérations suivantes :
- Création d'un répertoire
 - Création d'un `Projet`
 - Dessin d'un schéma simulable comportant au minimum 2 ports (1 entrée + 1 sortie).
 - Lancement d'une analyse linéaire.
 - Visualisation des résultats de l'analyse dans l'abaque de Smith (ou en coordonnées polaires).

Ce n'est qu'à ce niveau qu'il est possible d'appeler et de configurer l'outil SMITH TOOL, puis de concevoir le réseau d'adaptation d'impédance.

Les opérations à effectuer pour accéder à SMITH TOOL et l'utiliser sont décrites dans les paragraphes suivants. Ces diverses opérations seront illustrées par l'exemple d'adaptation suivant :

Adapter à 100 MHz un générateur d'impédance de sortie $Z_s = 100\Omega + j 126\Omega$ à une charge $Z_L : R_L = 1000\Omega // C_L = 2pF$, au moyen d'un simple réseau en L : L_s / C_p .

Si l'on désire utiliser uniquement SMITH TOOL, il suffit de dessiner puis de simuler en linéaire le schéma simulable le plus simple possible (AVEC AU MINIMUM 2 PORTS) :

- ⇒ La procédure d'accès la plus simple consiste donc à dessiner 2 ports reliés par un simple fil, puis de lancer une analyse linéaire et enfin, de demander un résultat de simulation dans l'abaque de Smith (par exemple le paramètre S11)

A titre d'exemple, on propose dans la procédure qui suit de traiter un circuit un peu plus complexe qu'un simple fil (il s'agit du réseau d'adaptation en L entre 2 ports d'entrée et de sortie, représenté sur la figure 4.1) qui permettra non seulement de montrer la procédure d'accès à SMITH TOOL, mais également de présenter les procédures d'utilisation des fonctions de base du logiciel ANSYS / ANSOFT DESIGNER:

- Dessin d'un schéma électrique (permettant par la suite d'accéder à SMITH TOOL).
- Paramétrage et lancement une analyse linéaire
- Visualisation des résultats de l'analyse dans l'abaque de Smith (ou en coordonnées polaires).

4.2 Procédure d'utilisation de la schématique

4.2.1 Introduction

On propose dans la procédure qui suit de traiter l'exemple du dessin d'un circuit simple : Il s'agit du réseau d'adaptation en L inséré entre 2 ports d'entrée et de sortie, représenté sur la figure 4.1

4.2.2 Placement des ports d'entrée (1) et de sortie (2)

- 4.2.2.1 Avec la souris, amener la flèche sur l'icône intitulé : **"Interface Port"** : 2° Icône en partant de la droite de la barre d'outils supérieure (en forme de losange), puis, 1 click (G).
- 4.2.2.2 Avec la souris, placer le 1° symbole **"Interface Port"** dans la feuille de dessin, puis, 1 click (G) => Le 1° port est positionné dans la feuille de dessin.
- 4.2.2.3 Procéder de même pour le port 2.

4.2.3 Paramétrage des ports d'entrée (1) et de sortie (2)

- 4.2.3.1 2 clicks (G) sur le port à paramétrer => Ouverture de la boîte de dialogue intitulée : **"Port Definition"**

Compléter la boîte de dialogue intitulée : **"Port Definition"** comme suit :

- Dans la case **"Port Name"** modifier éventuellement le nom **"Port1"** ou **"Port2"** attribué par défaut.
 - Dans les cases **"termination"**, laisser la valeur par défaut : **Re : "50"**, **Im : "0"**, et **"Simple Impedance"**, ou éventuellement procéder aux modifications désirées.
 - Le symbole **"Interface Port"** (en forme de losange) ne contenant aucune information, il est recommandé de le rendre plus explicite en sélectionnant : **Microwave Port** dans la case intitulée : **Symbol**. En procédant ainsi, le losange sera remplacé par le schéma électrique du port (résistance de 50Ω dans ce cas)
- 4.2.3.2 - 1 click (G) sur **"OK"** => Placement du port repéré par son nom dans la feuille de dessin.

4.2.4 Placement des composants L et C.

- 4.2.4.1 1 click (G) sur l'onglet : **"Components"**. (A gauche et au milieu de l'écran) => La liste des librairies de composants présélectionnés apparaît au dessus de l'onglet : **"Components"**.

A ce niveau on peut choisir pour les composants L et C, soit des modèles théoriques parfaits dont les pertes sont éventuellement paramétrables par l'utilisateur (Librairie : "Nexxim Circuits Elements"), soit des modèles plus proches de la réalité, modélisés par les fabricants de composants (Librairie : "User Librairies" / "Vendors Elements").

Supposons par exemple que l'on désire faire des simulations les plus proches possibles de la réalité, et que l'on prévoit d'utiliser des condensateurs chips en boîtier 0805 fabriqués par

Philips, et des self inductances chips en boîtier 0805 fabriqués par Coilcraft. Dans ces conditions :

4.2.4.2 Condensateur :

- Ouvrir successivement les dossiers : **“Vendors Elements” / “Legacy Components” / “Legacy Component” / “Legacy Capacitors : Lib Based Vendor Capacitor” /**

Pour placer ce composant, ANSYS propose 2 méthodes :

1° méthode :

- 2 clicks (G) sur le symbole du condensateur: **“Legacy Capacitors : Lib Based Vendor Capacitor”**

- Avec la souris, placer le condensateur dans la feuille de dessin, puis, 1 click (D) et sélectionner : **“Place and Finish”** pour le déposer.

2° méthode :

- Sélectionner le symbole du condensateur: **“Legacy Capacitors : Lib Based Vendor Capacitor”** en appuyant sur la touche (G) de la souris

- Faire glisser le composant dans le dessin en maintenant la touche (G) appuyée, puis déposer le composant en relâchant la touche (G) , terminer par 1 click (D) en sélectionnant : **“Place and Finish”**.

- Pour modifier la valeur de la capacité :

- 2 clicks (G) sur le symbole du condensateur => Ouverture de la boîte de dialogue intitulée : **“Legacy Capacitors Properties”**.

A ce niveau, 2 cas peuvent se présenter:

1°. Le composant est parfait (issu de la librairie: Nexxim Cicuits element).

- Dans ce cas, il suffit d’entrer la valeur désirée dans l’onglet : **Parameter Values**, (Ligne C), puis, 1 click (G) sur **“OK”**

2°. Le composant est imparfait (issu de la librairie “Vendors Elements”) :

- Dans ce cas, **il ne faut surtout pas modifier directement la valeur du composant**, mais la choisir dans liste proposée par le fabricant en suivant la procédure suivante:

Dans l’onglet **“Parameter Values”** :

- Ligne : **“Vendor”** : sélectionner dans la colonne **“Value”** le nom du fabricant (Philips) proposé dans le menu déroulant (accessible par un1 click (G) dans la colonne **“Value”**)

- Ligne : **“Series”** : sélectionner dans la colonne **“Value”** le nom de la série désirée (exemple : philips_smc_0805) parmi toutes les séries proposées dans le menu déroulant (accessible par un1 click (G) dans la colonne **“Value”**)

- Ligne : **“Model”** : sélectionner dans la colonne **“Value”** la capacité désirée (exemple, pour C = 100pF, sélectionner : C0805101J9B200) parmi toutes les séries proposées dans le menu déroulant (accessible par un1 click (G) dans la colonne **“Value”**)

- Refermer la boîte de dialogue intitulée : **“Legacy Capacitors Properties”**, par 1 click (G) sur **“OK”**

4.2.4.3 Self inductance:

- Ouvrir successivement les dossiers : **“Vendors Elements” / “Legacy Components” / “Legacy Component” / “ Legacy Inductors : Lib Based Vendor Inductor” /**

Pour placer ce composant, ANSYS propose 2 méthodes :

1° méthode :

- 2 clicks (G) sur le symbole de la self inductance: **“Legacy Inductors : Lib Based Vendor Inductors”**

- Avec la souris, placer la self inductance dans la feuille de dessin, puis, 1 click (D) et sélectionner : **“Place and Finish”** pour le déposer.

2° méthode :

- Sélectionner le symbole de la self inductance: **“Legacy Inductors : Lib Based Vendor Inductors”** en appuyant sur la touche (G) de la souris

- Faire glisser le composant dans le dessin en maintenant la touche (G) appuyée, puis déposer le composant en relâchant la touche (G) , terminer par 1 click (D) en sélectionnant : **“Place and Finish”**.

- Pour modifier la valeur de la self inductance :

- 2 clicks (G) sur le symbole du condensateur => Ouverture de la boîte de dialogue intitulée : **“Legacy Inductors Properties”**.

A ce niveau, 2 cas peuvent se présenter:

1°. Le composant est parfait (issu de la librairie: Nexxim Cicuits element).

- Dans ce cas, il suffit d’entrer la valeur désirée dans l’onglet : **Parameter Values**, (Ligne C), puis, 1 click (G) sur **“OK”**

2°. Le composant est imparfait (issu de la librairie “Vendors Elements”) :

- Dans ce cas, **il ne faut surtout pas modifier directement la valeur du composant**, mais la choisir dans liste proposée par le fabricant en suivant la procédure suivante:

Dans l’onglet **“Parameter Values”**:

- Ligne : **“Vendor”** : sélectionner dans la colonne **“Value”** le nom du fabricant (Coilcraft) proposé dans le menu déroulant (accessible par un1 click (G) dans la colonne **“Value”**)

- Ligne : **“Series”** : sélectionner dans la colonne **“Value”** le nom de la série désirée (exemple : coilcraft 0805 hs) parmi toutes les séries proposées dans le menu déroulant (accessible par un1 click (G) dans la colonne **“Value”**)

- Ligne : **“Model”** : sélectionner dans la colonne **“Value”** la self inductance désirée (exemple, pour L = 100nH, sélectionner : L0805HS_101TJBC) parmi toutes les séries proposées dans le menu déroulant (accessible par un1 click (G) dans la colonne **“Value”**)

- Refermer la boîte de dialogue intitulée : **“Legacy Inductors Properties”**, par 1 click (G) sur **“OK”**

NOTA : Dès qu’un composant est placé dans la feuille de dessin, on peut, changer sa position, son orientation, le copier, le supprimer, etc.. en procédant comme suit :

1. Il faut tout d’abord sélectionner le composant avec la souris en positionnant la flèche sur son symbole, puis 1 click (G) => Le composant sélectionné doit passer en couleur rouge.

2. Pour accéder aux commandes de déplacement, orientation, etc ...on peut employer l'une des 2 méthodes suivantes :
 1. Positionner la flèche dans la feuille de dessin, puis, 1 click (D) => un menu apparaît, dans lequel il suffit de sélectionner la commande désirée.
 2. Avec la souris, amener la flèche sur le bouton **draw** puis, 1 click (G), => un menu (identique au précédent) apparaît, dans lequel il suffit de sélectionner la commande désirée.

4.2.5 Placement du symbole de terre (Ground)

- Avec la souris, amener la flèche sur l'icône: **Ground** : 3° Icône en partant de la droite de la barre d'outils supérieure, puis, 1 click (G).
- Avec la souris, placer le symbole **Ground** dans la feuille de dessin, puis, 1 click (D) pour sélectionner **Place and Finish** => Le symbole **Ground** est positionné dans la feuille de dessin.

4.2.6 Interconnexion des composants sans tenir compte de la longueur des pistes de liaisons.

- Avec la souris, amener la flèche sur la *pin* du 1° composant à interconnecter => La flèche se transforme en "X".
1 click (G) bref. (Le maintien de la touche Gauche enfoncée, déplace le composant)
- Avec la souris, déplacer la flèche sur la *pin* du 2° composant à interconnecter, puis, 1 click (G) => Création d'une interconnexion entre les 2 composants. (On peut répéter cette opération pour interconnecter d'autres composants sur la même équipotentielle).
- Pour terminer une ou plusieurs interconnexions : 1 click (D).

Remarque très importante :

Avec ce mode d'interconnexion, le simulateur considère que la longueur physique des liaisons est nulle => la longueur des traits de liaisons entre composants dessinés sur le schéma peuvent donc avoir une longueur quelconque.

4.2.7 Interconnexion des composants en tenant compte de la longueur des pistes de liaisons.

4.2.7.1 Introduction

Pour tenir compte de la longueur des pistes de liaisons, les composants doivent être interconnectés par des "microstrip lines et des microstrip tees" dont les largeurs et longueurs doivent être précisées. Les procédures de placement / paramétrage / connexion des "microstrip lines et des microstrip tees" sont détaillées ci-dessous :

4.2.7.2 Placement / paramétrage / connexion des "microstrip lines "

- Dans l'onglet **Components**, ouvrir successivement les dossiers : **Nexxim Circuits Elements** / **Distributed** / **Microstrip** / **Transmission Lines**, puis sélectionner et placer: **MS_TRL : MS Transmission Line, Physical Length** " comme suit :

- Sélectionner: **"MS_TRL : MS Transmission Line, Physical Length"** en appuyant sur la touche (G) de la souris
 - Faire glisser le composant dans le dessin en maintenant la touche (G) appuyée, puis déposer le composant en relâchant la touche (G)
 - Après placement du composant : 1 click (D) pour sélectionner **"Place and Finish"**
- "=> Le "microstrip line" est positionné dans la feuille de dessin.

Remarque importante: En faisant coïncider les extrémités du "microstrip line" avec les extrémités des composants à interconnecter, les liaisons électriques sont automatiquement assurées. Si la coïncidence est difficile voire impossible à obtenir, il suffit de compléter les liaisons avec le mode d'interconnexion à longueur physique nulle présenté au § 1.3.5.

- Pour paramétrer les dimensions du "microstrip line": 2 clicks (G) sur le symbole du "microstrip line" => Ouverture de la boîte de dialogue intitulée : **"MS_TRL Properties"**. Entrer dans l'onglet : **"Parameter Values"**, colonne **"Value"**, les valeurs de la largeur (W), et de la longueur (P) précisées (en mm) sur la figure 4.1, puis, 1 click (G) sur **"OK"**.

4.2.7.3 Placement / paramétrage / connexion des "microstrip tees"

- Dans l'onglet "Components", ouvrir successivement les dossiers : **"Nexxim Circuits Elements" / "Distributed" / "Microstrip" / "General Components"**, puis sélectionner et placer: **"MSTEEE_NX : Tee- Ref. Planes at Edge"** comme suit :
- "comme suit :
- Sélectionner: **"MSTEEE_NX : Tee- Ref. Planes at Edge"** en appuyant sur la touche (G) de la souris
 - Faire glisser le composant dans le dessin en maintenant la touche (G) appuyée, puis déposer le composant en relâchant la touche (G)
 - Après placement du composant : 1 click (D) pour sélectionner **"Place and Finish"**
- "=> Le "microstrip tee" est positionné dans la feuille de dessin.

Remarque importante: En faisant coïncider les extrémités du "microstrip tee" avec les extrémités des composants à interconnecter, les liaisons électriques sont automatiquement assurées. Si la coïncidence est difficile voire impossible à obtenir, il suffit de compléter les liaisons avec le mode d'interconnexion à longueur physique nulle présenté au § 4.2.6.

- Pour paramétrer les dimensions du "microstrip tee": 2 clicks (G) sur le symbole du **"MSTEEE_NX : Tee- Ref. Planes at Edge"** => Ouverture de la boîte de dialogue intitulée : **"MSTEEE_NX Properties"**. Entrer dans l'onglet : **"Parameter Values"**, colonne **"Value"**, les valeurs des 3 largeurs (W1, W2, W3) précisées (en mm) sur la figure 4.1, puis, 1 click (G) sur **"OK"**.

Remarque :

Si le circuit complet est incorrectement positionné, on peut le recentrer et le répartir dans la feuille de dessin en procédant comme suit :

- 1 click (D) dans la feuille de dessin de "Circuit1", puis sélectionner dans le menu déroulant : **"Fit Drawing"**.

=> Affichage du schéma électrique représenté sur la figure 4.1

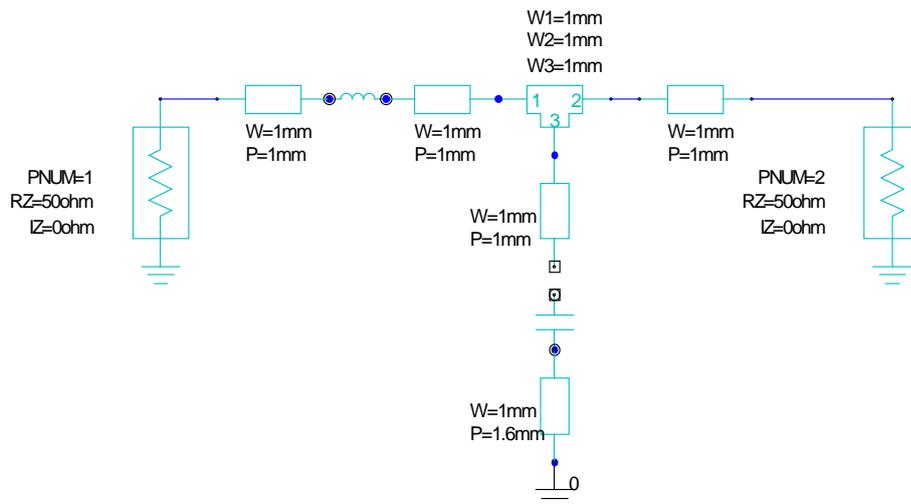


Figure 4.1 : Schéma du réseau d'adaptation en L entre 2 ports d'entrée et de sortie.

Remarque :

Pour une meilleure précision, on peut remplacer le symbole "Ground" par une traversée de masse ou : "Via", qui tient compte de l'épaisseur du substrat, et du diamètre du trou métallisé.

Pour insérer un "Via" : Dans l'onglet "**Components**", ouvrir successivement les dossiers : "**Nexxim Circuits Elements**" / "**Distributed**" / "**Microstrip**" / "**General Components**", puis sélectionner et placer: "**MS_VIAPAD : MS Via Pad**" comme suit :

- Sélectionner: "**MS_VIAPAD : MS Via Pad**" en appuyant sur la touche (G) de la souris
 - Faire glisser le composant dans le dessin en maintenant la touche (G) appuyée, puis déposer le composant en relâchant la touche (G)
 - Après placement du composant : 1 click (D) pour sélectionner "**Place and Finish**"
- "=> Le "MS Via Pad" est positionné dans la feuille de dessin.

En remplaçant le symbole "Ground" précédemment utilisé par un "MS Via Pad" et en recentrant le dessin avec la commande : "Fit Drawing", on obtient le schéma du circuit représenté sur la figure 4.2 :

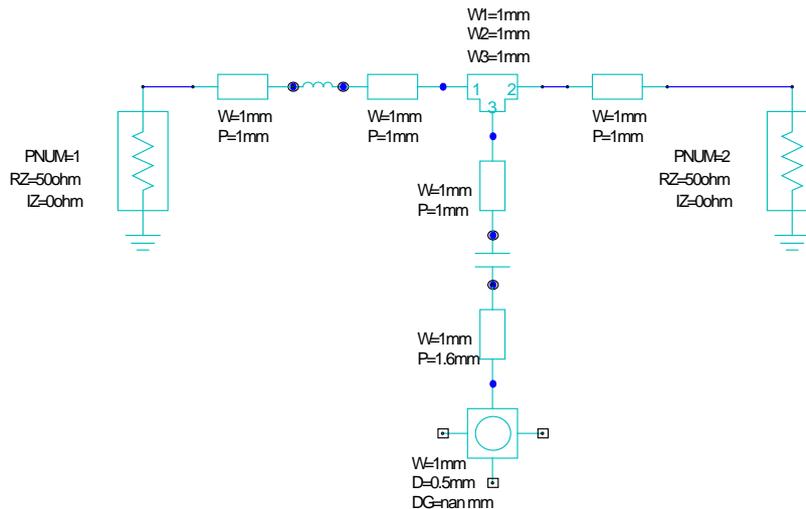


Figure 4.2 : Schéma du réseau d'adaptation en L entre 2 ports d'entrée et de sortie avec connexion au plan de masse par un "MS Via Pad"

4.2.8 Vérification du schéma.

Une fois le schéma terminé, il faut le vérifier en effectuant les opérations suivantes :

- 4.2.8.1 Avec la souris, amener la flèche sur le bouton **"Schematic"**, appuyer sur la touche de gauche, et la relâcher sur : **"Electric Rule check"** => ouverture de la fenêtre intitulée : **"Electric Rule Check"**.
- 4.2.8.2 1 click (G) sur le bouton **"Run ERC"**
- 4.2.8.3 Vérifier l'absence de message d'erreur dans la fenêtre intitulée : **"Results"**.
- 4.2.8.4 1 click (G) sur le bouton **"Close"** => Fermeture de la fenêtre intitulée: **"Electric Rule Check"**.

4.2.9 VERIFICATION DE LA "NETLIST" GENEREE

Avec la souris, amener la flèche sur l'icône du dossier **"Circuit1"**, (Symbole de transistor MOSFET situé dans l'onglet **"Project"**) puis 1 click (D) → Sélectionner : **"Browse Netlist"** par 1 click (D) ou (G) ⇒ Affichage de la "Netlist" du circuit.

4.2.10 Copier / coller du schéma dans le traitement de texte Word.

Sous ANSYS / Ansoft Designer :

- Positionner la flèche dans la feuille de dessin, puis, 1 click (D) => un menu apparaît,
- 1 click (G) sur **"Copy to Clipboard"**

Sous Word:

- Positionner le curseur à l'emplacement désiré, puis, 1 click (D) : **"Coller"**.

4.3 CONFIGURATION ET LANCEMENT D'UNE ANALYSE LINEAIRE

4.3.1 CONFIGURATION D'UNE ANALYSE LINEAIRE

4.3.1.1 Avec la souris, amener la flèche sur l'icône du dossier du projet", (Situé dans l'onglet "Project" à gauche de l'écran) puis :

4.3.1.2 1 click (G) sur la croix (+) d'ouverture du dossier du projet ⇒ apparition d'un symbole de transistor (MOSFET) intitulé "Circuit 1"

4.3.1.3 1 click (G) sur la croix (+) d'ouverture du dossier "Circuit 1" ⇒ apparition des sous-dossiers intitulés : "Data", "Excitations", "Ports", "Analysis", "Optimetrics", "Results".

4.3.1.4 1 click (D) sur le dossier: **Analysis > Add Nexxim Solution Set Up > Linear Network Analysis**

⇒ Ouverture de la boîte de dialogue intitulée : "Linear Network Analysis, Frequency Domain"

4.3.1.5 1 click (G) sur le bouton: **Add** ⇒ Ouverture de la boîte de dialogue intitulée : "Add/Edit Sweep"

REMARQUE PRELIMINAIRE TRES IMPORTANTE : La plage de fréquence à analyser doit comprendre la ou les fréquences pour lesquelles il est prévu d'effectuer une adaptation d'impédance au moyen de SMITH TOOL : Par exemple, si l'on doit effectuer une adaptation d'impédance à 100Mhz, compléter cette boîte de dialogue comme suit :

- **Variable : F**
- Sélectionner : "Linear step"
- **Start** : 50 MHz
- **Stop** : 150 MHz
- **Step** : 1 MHz
- 1 click (G) sur le bouton : **Add >>** => Transfert dans la case intitulée "Sweep Values", de: "LIN 50 MHz 150 MHz 1 MHz"
- 1 click (G) sur **OK** => Fermeture de la fenêtre intitulée : "Add/Edit Sweep".

4.3.1.6 1 click (G) sur **OK** => Fermeture de la fenêtre intitulée : "Linear Network Analysis, Frequency Domain".

4.3.2 LANCEMENT D'UNE ANALYSE LINEAIRE

4.3.2.1 Avec la souris, amener la flèche sur l'icône du dossier "Analysis", (Situé dans l'onglet "Project" à gauche de l'écran) puis :

1 click (G) sur la croix (+) d'ouverture du dossier "Analysis" ⇒ apparition du sous dossier intitulé "Linear Frequency"

4.3.2.2 Avec la souris, amener la flèche sur l'icône du dossier "**Linear Frequency**", puis 1 click (D) ⇒ ouverture d'un menu de sélection: 1 click (G) ou (D) sur : "**Analyze NWA1**" ⇒ Lancement de l'analyse linéaire.

Vérifier l'absence de message d'erreur en bas de l'écran.

4.4 VISUALISATION DES RESULTATS DE L'ANALYSE LINEAIRE DANS L'ABAQUE DE SMITH

Pour afficher le paramètre S11 dans l'abaque de Smith, procéder comme suit:

- Avec la souris, amener la flèche sur l'icône du dossier "**Results**", (Situé dans l'onglet "**Project**" à gauche de l'écran) puis 1 click (D) ⇒ Sélectionner dans les menus déroulants : > "**Create Standard Report**" > "**Smith Chart**"

REMARQUE TRES IMPORTANTE : La sélection de "**Smith Chart**" ou "**Polar Plot**" est indispensable pour accéder à SMITH TOOL.

⇒ Ouverture de la boîte de dialogue intitulée : "**Report**"
Compléter cette boîte de dialogue comme suit :

- Dans l'onglet "**Trace**" :

- **Category** : S parameter
- **Quantity** : S(Port1,Port1)
- **Function** : <none>

- 1 click (G) sur le bouton : "**New Report**"

⇒ Affichage de S11 dans l'abaque de SMITH intitulé : "**Smith Chart 1**"

- 1 click (G) sur le bouton "**Close**" => Fermeture de la fenêtre intitulée: "**Report**".

4.5 UTILISATION DE L'OUTIL SMITH TOOL

4.5.1 APPEL DE L'OUTIL SMITH TOOL.

1 click (G) sur le bouton "**Report 2D**" (5° bouton en partant de la gauche en haut de l'écran)
⇒ Sélectionner "**Smith Tool**" par 1 click (G) ⇒ Ouverture de la fenêtre intitulée : "**Smith Tool**".

4.5.2 CONFIGURATION DE L'OUTIL SMITH TOOL.

4.5.2.1 Dans l'onglet "**display**" :

- Remplir obligatoirement la case "**Freq**". Par exemple, si l'adaptation est prévue à 100 MHz, c'est à ce niveau qu'il faut sélectionner 100 MHz dans la case "**Freq**".
- On peut aussi demander l'affichage de cercles ISOQ.

Deux méthodes peuvent être employées pour afficher les cercles ISOQ :

1° Manuellement avec la souris :

- 1 click (G) sur le bouton "**Q**"
- Avec la souris, déplacer la flèche dans l'abaque de Smith jusqu'à obtenir la valeur de Q désirée (par exemple $Q = 5$), puis 1 click (G), => Affichage des cercles ISOQ = 5 dans l'abaque de SMITH.

2° Numériquement avec le clavier:

- Avec la souris, amener le curseur dans la case intitulée "**Start**"
 - Avec le clavier, entrer la valeur désirée : 5
 - 1 click (G) sur le bouton "**Q**"
- ⇒ Affichage des cercles ISOQ = 5 dans l'abaque de SMITH.

4.5.2.2 Dans l'onglet "**Matching**" :

Entrée du point de départ

- Avec la souris, amener la flèche sur le bouton "**New Match**", puis 1 click (G) :

C'est à ce niveau que l'on doit rentrer l'impédance de la charge à adapter :
(par exemple : $Z_L : RL = 1000\Omega // C_L = 2pF$), puis concevoir le réseau pour une adaptation au complexe conjugué de l'impédance de sortie d'un générateur (par exemple : $Z_s^* = 100\Omega - j 126\Omega$).

Dans le cas particulier de l'exemple que nous avons choisi, il est préférable pour des raisons de rapidité et de précision de rentrer l'admittance réduite de la charge, soit : $y_L = 0,05 + j0,0628$).

De même que pour l'affichage de cercles ISOQ précédemment décrit, on peut rentrer le point de départ soit manuellement avec la souris, soit numériquement avec le clavier :

1° Entrée manuelle du point de départ avec la souris :

Avec la souris, déplacer la flèche dans l'abaque de Smith jusqu'à obtenir la valeur désirée de l'admittance réduite de la charge : $y_L = 0,05 + j0,0628$, puis 1 click (G), => Affichage du point de départ dans l'abaque de Smith.

2° Entrée numérique du point de départ avec le clavier:

La méthode numérique est plus précise, elle consiste à rentrer Z_L ou Y_L au moyen du clavier. On peut alors soit rentrer la valeur nominale de l'impédance Z_L , dans la case "Nominal Value" ; soit rentrer la valeur réduite de l'impédance z_L dans la case "Normalized impedance"; soit encore, rentrer la valeur réduite de l'admittance y_L dans la case "Normalized admittance"

Remarque : Depuis la version 2 d'Ansoft Designer, on ne peut plus rentrer directement une valeur numérique de point de départ avec le clavier, il faut obligatoirement passer par l'intermédiaire de la phase précédente (entrée manuelle avec la souris). Dans le cas particulier de l'exemple choisi, il s'agit de rentrer une admittance réduite. La procédure à suivre est alors la suivante :

- Avec la souris, déplacer la flèche dans une zone quelconque de l'abaque de Smith puis 1 click (G), => Affichage du point de départ correspondant dans l'abaque de SMITH.
- Avec la souris, amener le curseur dans la case intitulée "**Normalized Admittance**", qui contient la valeur du point de départ sélectionné manuellement.
- Avec le clavier, remplacer cette valeur initiale arbitraire, par la valeur désirée de l'admittance réduite de la charge : $y_L = 0,05 + 0,0628j$, placer le curseur à droite de la valeur complexe $0,05 + 0,0628j$, puis appuyer sur la touche "**Enter**" du clavier =>

Affichage du point de départ dans l'abaque de Smith.

4.5.3 CONCEPTION DU RESEAU D'ADAPTATION

La conception du réseau d'adaptation comprend 3 phases :

4.5.3.1 Construction du réseau d'adaptation.

Cette phase consiste à sélectionner successivement (et dans l'ordre d'apparition dans le schéma), les éléments constituant le réseau d'adaptation. La palette de choix de SMITH TOOL permet de sélectionner aussi bien des éléments localisés (L, C) que des éléments répartis (lignes, stubs).

Dans le cas particulier de l'exemple du réseau en L : (L_s / C_p), cette construction peut s'effectuer dans une même phase de la manière suivante :

- Sélection d'un condensateur parallèle (C_p) : par 1 click (G) sur le bouton comportant le symbole d'un condensateur connecté à la masse.
- Sélection d'une self inductance série (L_s) : par 1 click (G) sur le bouton comportant le symbole d'une self inductance non connectée à la masse.

Chaque sélection d'un élément doit se traduire dans l'abaque de SMITH par l'apparition d'un arc de cercle supplémentaire.

REMARQUES :

1. L'abaque de SMITH est paramétré en IMMITANCE.
2. SMITH TOOL ne prend en compte que l'une des impédances à adapter, (définie par le "Start Point") et ignore la valeur de la 2^o impédance terminale (point d'arrivée) que seul l'utilisateur connaît. C'est la raison pour laquelle SMITH TOOL propose par défaut une longueur d'arc (correspondant à une valeur initiale du composant sélectionné) que l'utilisateur doit modifier manuellement dans une 2^o phase (décrite ci-dessous) pour atteindre le point d'arrivée.

4.5.3.2 Réglage manuel des valeurs des composants du réseau d'adaptation.

Chaque composant du réseau d'adaptation doit être réglé "manuellement" dans l'abaque de SMITH par la méthode graphique suivante :

- Avec la souris, amener la croix sur le point d'arrivée de l'arc de cercle relatif au composant à régler.
- Appuyer sur la touche de gauche => Affichage du cercle complet représentant toutes les possibilités de réglages offertes par le composant sélectionné.
- Déplacer le point d'arrivée en déplaçant la souris (et en maintenant la touche de gauche appuyée) jusqu'à atteindre le point désiré, puis relâcher la touche de gauche => Le point d'arrivée de l'arc de cercle considéré atteint le point désiré.
- Après plusieurs réglages successifs de chaque composant du réseau d'adaptation, on peut atteindre le point correspondant à l'impédance terminale désirée :

Dans l'exemple choisi, il s'agit du complexe conjugué de l'impédance de sortie du générateur ($Z_s^* = 100\Omega - j 126\Omega$, ou $z_s^* = 2 - j 2,52$).

On obtient alors dans le cas de cet exemple les transformations d'impédances dans l'abaque de SMITH, représentées sur la figure 1.3.

1°. A partir du quadripôle inséré dans le dessin :

- Avec la souris, amener la flèche sur le symbole du quadripôle "**U1Circuit2**" situé dans la feuille de dessin, puis 1 click (D) ⇒ Le symbole devient rouge, et un menu de sélection s'ouvre:

- 1 click (G) ou (D) sur: "**Push Down**" ⇒

Affichage du schéma complet du réseau d'adaptation représenté sur la figure 4.4 A

2°. A partir du "**SubCircuit : U1Circuit2**" inséré dans le "**project tree**" (onglet "project") :

- Avec la souris, amener la flèche sur l'icône du dossier "**U1Circuit2**", (Symbole de transistor (MOSFET) situé dans l'onglet "**Project**" à gauche de l'écran) puis 2 clics (G)

⇒ Affichage du schéma complet du réseau d'adaptation représenté sur la figure 4.4 A

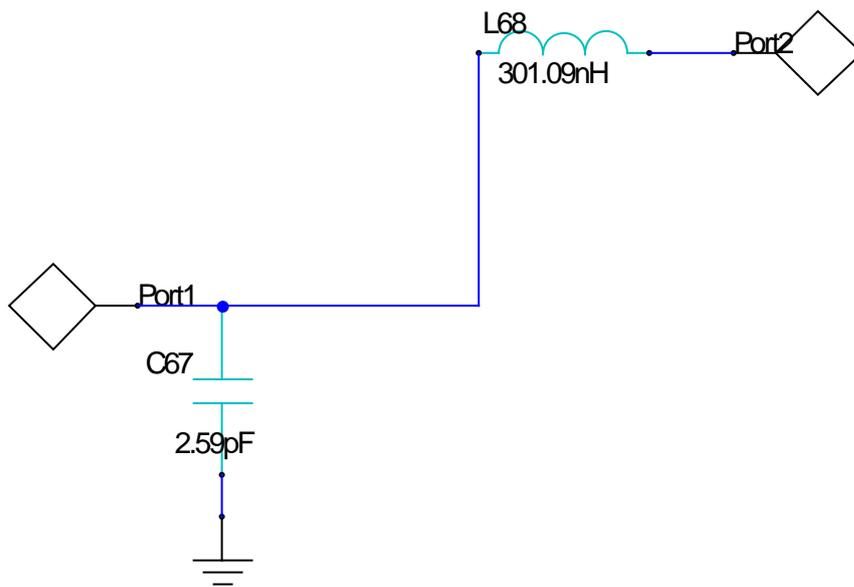
Remarque :

Si le circuit "**U1Circuit2**" généré automatiquement est incorrectement positionné, on peut le recentrer et le répartir dans la feuille de dessin en procédant comme suit :

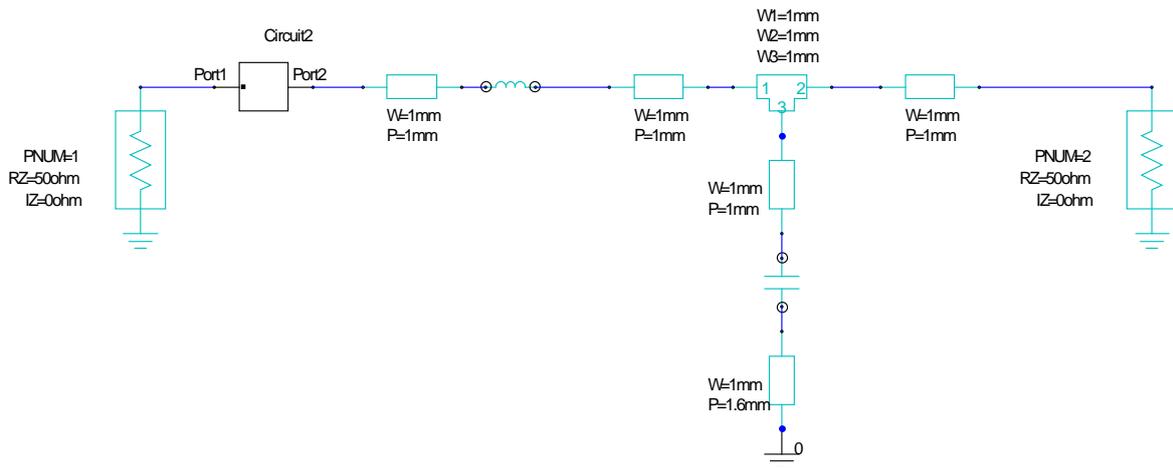
- 1 click (D) dans la feuille de dessin de "**U1Circuit2**", puis sélectionner dans le menu déroulant : "**Fit Drawing**"

⇒ Affichage du schéma électrique du réseau d'adaptation représenté sur la figure 4.4 A

Après insertion du réseau d'adaptation "**U1Circuit2**" à l'entrée du circuit principal ("**U1Circuit1**"), et recentrage du dessin avec la commande : "**Fit Drawing**", on obtient le schéma du circuit complet (**Circuit1**) représenté sur la figure 4.4 B



A



B

Figure 4 .4 : Schémas des circuits après adaptation.

A : Réseau d'adaptation en L seul ("U1Circuit2")

B : Schéma du circuit complet (Circuit1) avec réseau d'adaptation ("U1Circuit2") inséré à l'entrée

5 CONCEPTION ET SIMULATION LINEAIRE D'UN LNA (Low Noise Amplifier)

5.1 DESSIN DU SCHEMA ELECTRIQUE

5.1.1 Introduction

On propose de réaliser l'amplificateur au moyen du transistor BFR93AW, (Philips) modélisé par ses paramètres S au point de polarisation : $V_{CE} = 5V$, $I_C = 5mA$.

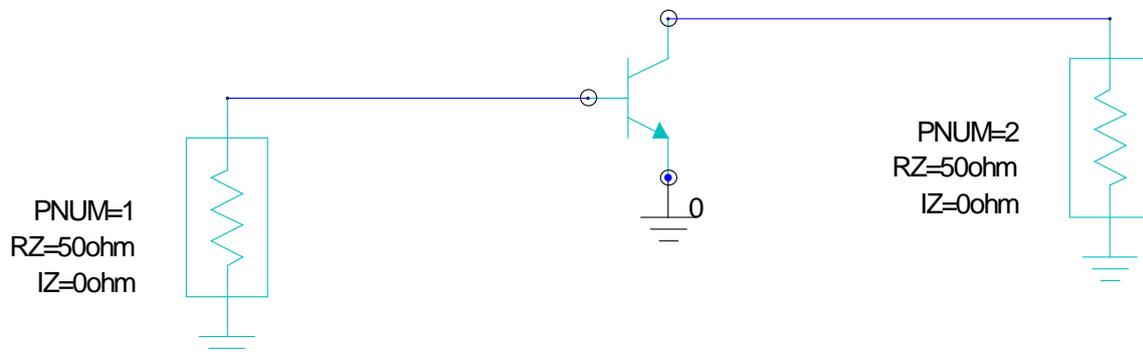


Figure 5.1 : Schéma du LNA avec transistor BFR93AW

5.2 Placement d'un transistor modélisé par ses paramètres S

- Dans l'onglet **Component**, rechercher le transistor **bfr93awa.s2p**, dans : "User libraries" / "Vendors elements" / "Legacy S Parameter Data" / "NPN – Sparas / Philips – NPN : Philips NPN BJT, Type 3S"
- "Drag & drop" dans le schéma, le symbole du transistor "Philips – NPN : Philips NPN BJT, Type 3S"
- 2 clicks (G) sur le symbole du transistor
- Ouverture de la boîte de dialogue intitulée: "PD24 : Philips NPN Properties"

Compléter cette boîte de dialogue comme suit :

- 1 click (G) dans la case située: ligne "Model", colonne "Value" :
- Dans le menu déroulant sélectionner : **BFR93AW**
- \Rightarrow Transfert de la référence : **BFR93AW** dans la située: ligne "Model", colonne "Value".

- 1 click (G) dans la case située: ligne "VCE", colonne "Value" :
- Dans le menu déroulant sélectionner : **5V**
- ⇒ Transfert de la valeur : **5V** dans la située: ligne "VCE", colonne "Value".

- 1 click (G) dans la case située: ligne "IC", colonne "Value" :
- Dans le menu déroulant sélectionner : **5mA**
- ⇒ Transfert de la valeur : **5mA** dans la située: ligne "IC", colonne "Value".

- 1 click (G) sur **"OK"** dans la boîte de dialogue intitulée: "PD24 : Philips NPN Properties"

5.3 CONFIGURATION ET LANCEMENT D'UNE ANALYSE LINEAIRE

Reprendre la procédure décrite au § 4.3, en configurant la boîte de dialogue intitulée : "Add/Edit Sweep " comme suit :

- **Variable** : F
- Sélectionner : **Linear step**
- **Start** : 400 MHz
- **Stop** : 800 MHz
- **Step** : 1 MHz

- Dans le champ "Noise", cocher : "Enable Noise Calculation"

5.4 VISUALISATION DES RESULTATS DE L'ANALYSE LINEAIRE DANS L'ABAQUE DE SMITH

Demander l'affichage de S11 dans l'abaque de SMITH, en reprenant la procédure décrite au § 4.4.

5.5 UTILISATION DE L'OUTIL SMITH TOOL

5.5.1 APPEL DE L'OUTIL SMITH TOOL.

Voir procédure détaillée décrite au § 4.5.1 =>

1 click (G) sur le bouton **"Report 2D"** (5° bouton en partant de la gauche en haut de l'écran)
 ⇒ Sélectionner "Smith Tool" par 1 click (G) ⇒ Ouverture de la fenêtre intitulée : "Smith Tool".

5.5.2 CONFIGURATION DE L'OUTIL SMITH TOOL.

Voir procédure détaillée décrite au § 4.5.2 =>

On désire concevoir un amplificateur de gain 16 dB, pour une fréquence de 600 MHz, avec un facteur de bruit de 1,5 à 3dB ⇒

5.5.2.1 Sélection de la fréquence

Dans l'onglet "display" :

- Dans la case "Freq", sélectionner **600 MHz**.

5.5.2.2 Sélection d'un cercle de gain constant de Source (S):

Dans l'onglet "display" :

- Dans la zone "Circles", sélectionner: "Available Gain Ga (S-Plane)".
- Dans la case "Start", entrer : **16**
- 1 click (G) sur le bouton "Apply"

⇒ Apparition d'un cercle de gain constant de Source (S) de 16 dB. (voir figure 5.2)

5.5.2.3 Sélection d'un cercle de bruit constant:

Dans l'onglet "display" :

- Dans la zone "Circles", sélectionner: "Noise".
- Dans la case "Start", entrer : **3**
- 1 click (G) sur le bouton "Apply"

⇒ Apparition d'un cercle de bruit constant de Source (S) de 3 dB. (voir figure 5.2)

5.5.2.4 Tracé des cercles de stabilité de source et de charge:

Dans l'onglet "display" :

- Dans la zone "Circles", sélectionner: "Stability K (S Plane)".
- 1 click (G) sur le bouton "Apply"

⇒ Apparition du cercle de stabilité dans le plan de Source (S) (voir figure 5.2)

- Dans la zone "Circles", sélectionner: "Stability K (L Plane)".
- 1 click (G) sur le bouton "Apply"

⇒ Apparition du cercle de stabilité dans le plan de Charge (Load = L) (voir figure 5.2)

Nota : Les petits traits perpendiculaires au cercle indiquent le coté stable du cercle.

5.5.2.5 Tracé du cercle de VSWR constant de source:

Dans l'onglet "display" :

- Dans la zone "Grids", entrer : **2** dans la case "Start".
- 1 click (G) sur le bouton "VSWR"

⇒ Apparition du cercle de VSWR = 2 dans le plan de Source (S) (voir figure 5.2)

On obtient ainsi l'impédance optimale à ramener dans le plan de source : Il s'agit de l'impédance au point d'intersection P des 3 cercles :

- Gain constant de Source (S) : Cercle rouge.
- Bruit constant : Cercle vert
- VSWR constant de source : Cercle bleu.

Il reste maintenant à déterminer l'impédance optimale à ramener dans le plan de charge permettant d'obtenir le gain de 16 dB désiré. Cette opération est réalisée automatiquement par

Smith Tool au moyen de l'outil Source/Load Mapping qu'il suffit de configurer comme indiqué dans le § 5.6.2.6 ci-dessous.

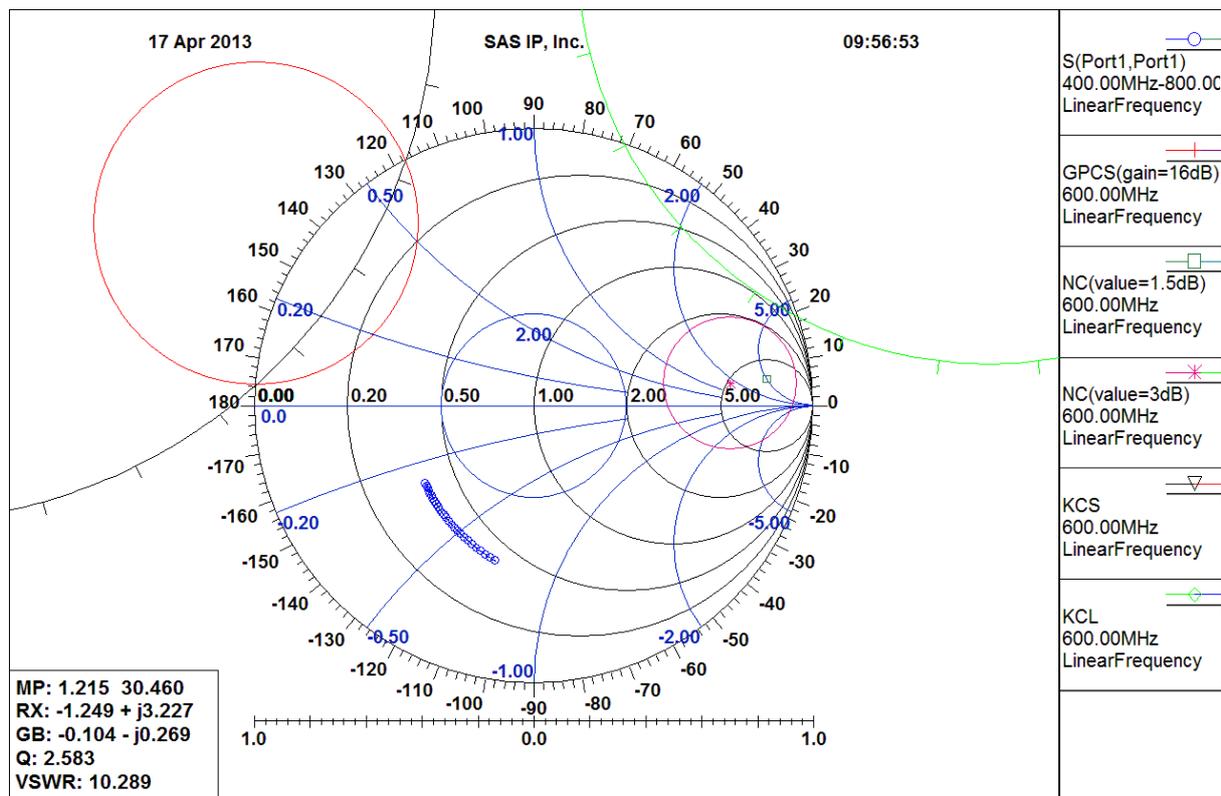


Figure 5.2 : Tracés des cercles du transistor BFR93AW :

- Gain constant de Source (S)
- Bruit constant
- Stabilité de source et de charge
- VSWR constant de source

5.5.2.6 Détermination de l'impédance dans le plan de charge au moyen de l'outil Source/Load Mapping

Dans l'onglet "display" :

- Dans la zone "Mapping", sélectionner : "Available Gain $G_{a S \rightarrow L}$ "
- Dans la case "Gain (dB)", entrer : 16
- 1 click (G) sur le bouton "Apply"

⇒ Apparition d'un 2^o cercle référencé dans le plan de charge (voir figure 5.3)

- Avec la souris, déplacer la croix au point P, puis 1 click (G)

⇒ Affichage du point correspondant (Q) dans le 2^o cercle référencé dans le plan de charge (voir figure 2.3).

Transformer le point correspondant (Q) en son complexe conjugué (Q*) =>

- 1 click (G) sur le bouton "Conjugate"
- 1 click (G) sur le point (Q)
⇒ Affichage du point conjugué (Q*) (voir figure 5.3).

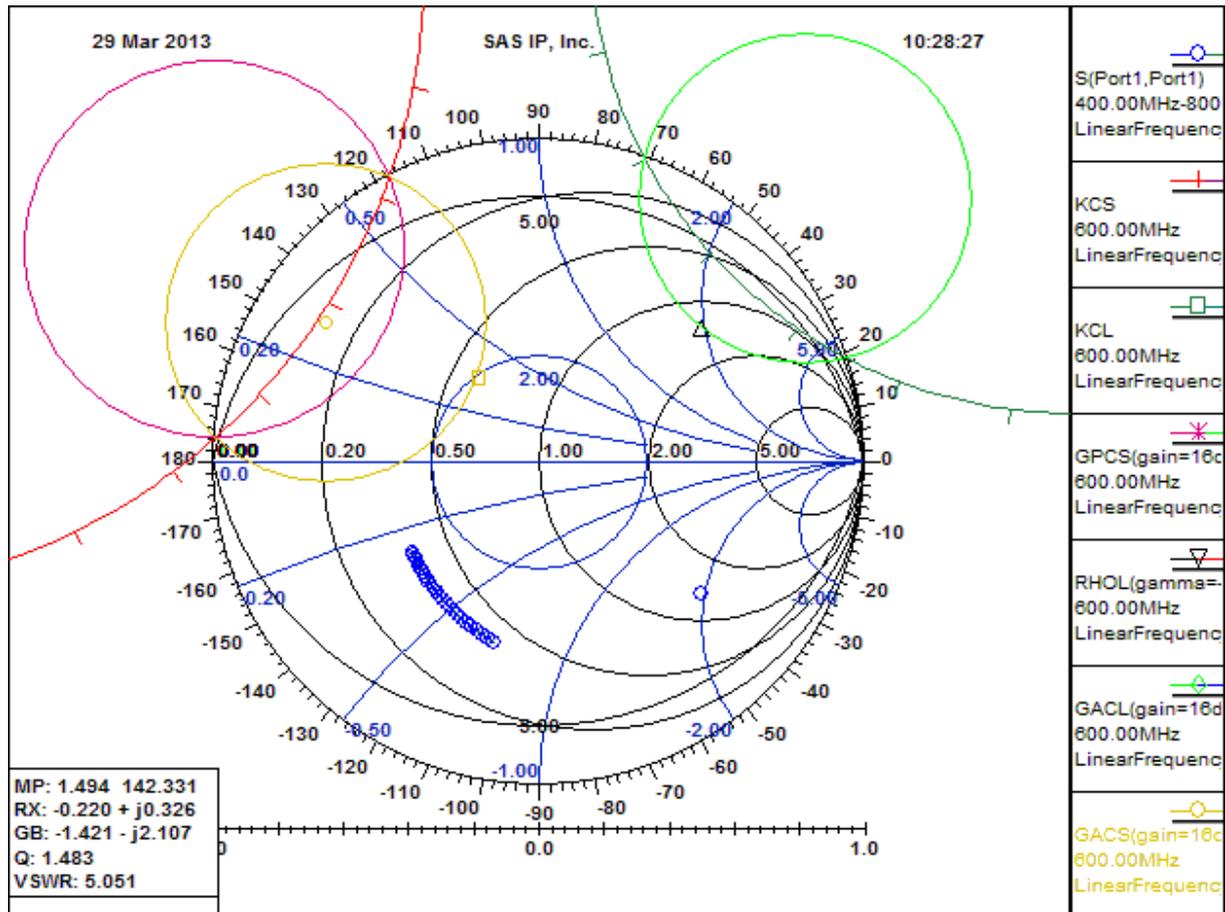


Figure 5.3 : Mapping du cercle de gain de Source dans le plan de Charge, et tracé du point conjugué (Q^*)

5.5.3 Conception du réseau d'adaptation d'entrée

Voir procédure détaillée décrite au § 4.5.3 =>

5.5.3.1 Entrée du point de départ

Dans l'onglet "Matching"

- Avec la souris, amener la flèche sur le bouton "New Match", puis 1 click (G) :

Dans l'abaque de Smith :

- Avec la souris, déplacer la croix au centre de l'abaque de Smith (50Ω) puis 1 click (G),
=> Affichage du point de départ dans l'abaque de Smith.

5.5.3.2 Conception du réseau d'adaptation

- Sélection d'une self inductance shunt: par 1 click (G) sur le bouton comportant le symbole d'une self inductance connectée à la masse.
- Avec la souris, régler le trajet correspondant dans l'abaque de Smith.

- Sélection d'un condensateur série : par 1 click (G) sur le bouton comportant le symbole d'un condensateur non connecté à la masse.
- Avec la souris, régler le trajet correspondant dans l'abaque de Smith, jusqu'à atteindre le point P (intersection des cercles de Gain, de bruit, et de VSWR. (voir figure 5.4)

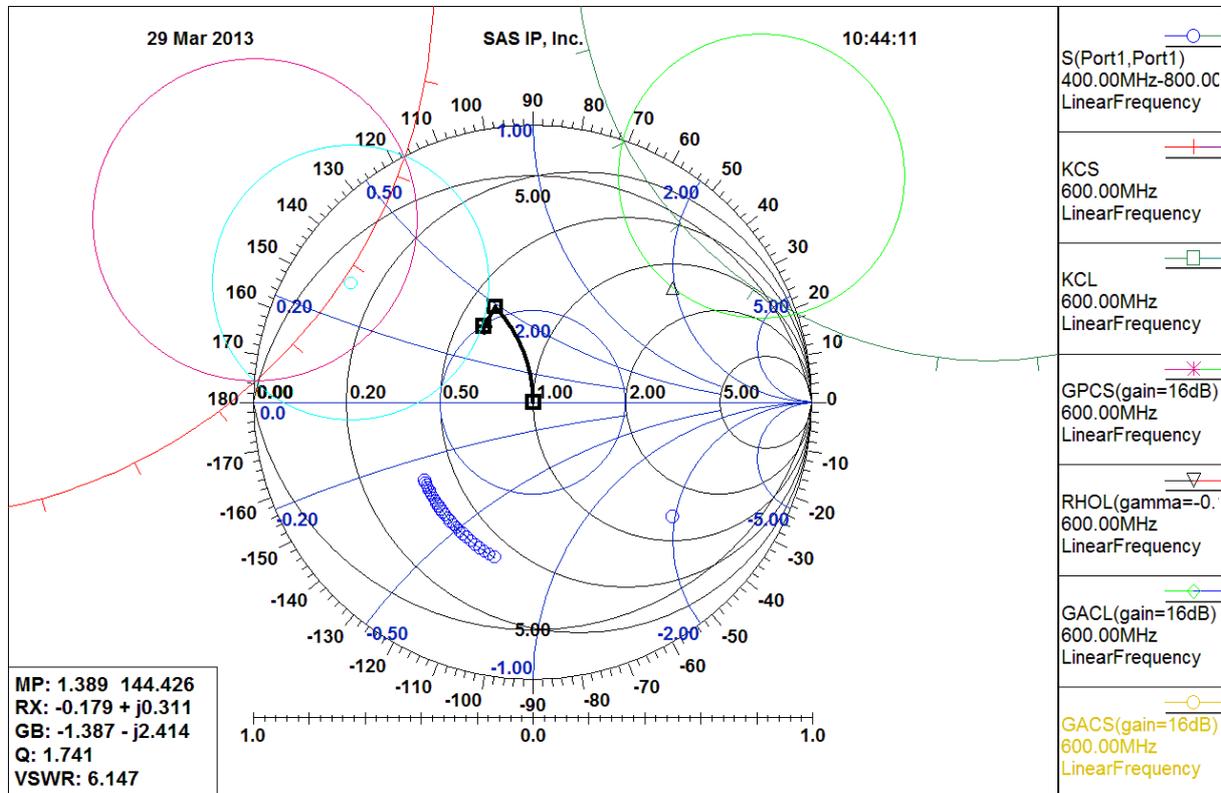


Figure 5.4 : Trajets dans l'abaque de Smith du réseau d'adaptation d'entrée

L'affichage du schéma complet du réseau d'adaptation s'effectue au moyen d'un transfert (Export) dans la feuille de dessin initiale.

- Dans l'onglet "**Matching**", 1 click (G) sur le bouton "**Export**" ⇒ Affichage du message Ansoft Designer: "**U1 : Circuit2 : SubCircuit has been inserted in the project tree**".

A ce stade, on peut vérifier que le "**SubCircuit : "U1Circuit2"** a été inséré dans le "project tree" (onglet "project"), ainsi que dans la feuille de dessin initiale sous la forme d'un quadripôle.

5.5.4 Conception du réseau d'adaptation de sortie

Voir procédure détaillée décrite au § 4.5.3 =>

5.5.4.1 Entrée du point de départ

Dans l'onglet "**Matching**" :

- Avec la souris, amener la flèche sur le bouton "**New Match**", puis 1 click (G) :

Dans l'abaque de Smith :

Avec la souris, déplacer la croix sur le point conjugué (Q^*) puis 1 click (G), => Affichage du point de départ dans l'abaque de Smith.

5.5.4.2 Conception du réseau d'adaptation

- Sélection d'une self inductance shunt: par 1 click (G) sur le bouton comportant le symbole d'une self inductance connectée à la masse.
- Avec la souris, régler le trajet correspondant dans l'abaque de Smith, jusqu'à atteindre le cercle $R = 1$.
- Sélection d'un condensateur série : par 1 click (G) sur le bouton comportant le symbole d'un condensateur non connecté à la masse.
- Avec la souris, régler le trajet correspondant dans l'abaque de Smith, jusqu'à atteindre le centre de l'abaque de Smith (50Ω). (voir figure 4.5)

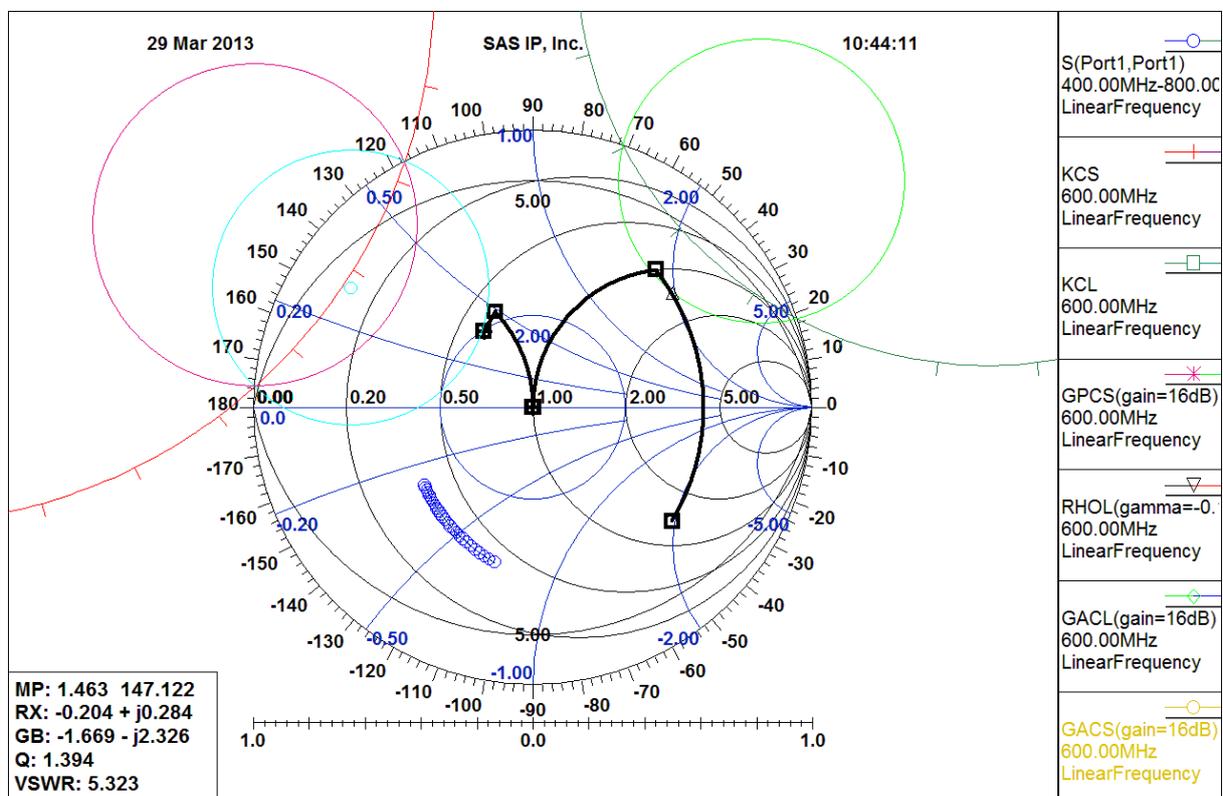


Figure 4.5 : Trajets dans l'abaque de Smith des réseaux d'adaptation d'entrée et de sortie

L'affichage du schéma complet du réseau d'adaptation s'effectue au moyen d'un transfert (Export) dans la feuille de dessin initiale.

- Dans l'onglet "Matching", 1 click (G) sur le bouton "Export" => Affichage du message Ansoft Designer: "U2 : Circuit2 : SubCircuit has been inserted in the project tree".

A ce stade, on peut vérifier que le "SubCircuit : "U2Circuit2" a été inséré dans le "project tree" (onglet "project"), ainsi que dans la feuille de dessin initiale sous la forme d'un quadripôle.

5.6 CONSTRUCTION DE L'AMPLIFICATEUR

Pour la clarté du schéma, il est conseillé de renommer les "SubCircuits" en procédant comme suit :

Dans l'onglet "Project" :

- Avec la souris, amener la flèche sur le symbole du réseau d'adaptation d'entrée :
"SubCircuit : "U1 : Circuit2"
- 1 click (D) → "Rename"
- Renommer le "SubCircuit : **InputMatch** (par exemple)

Répéter les 3 opérations ci-dessus pour le réseau d'adaptation de sortie, et le renommer : **OutputMatch** (par exemple)

Connecter les réseaux d'adaptation d'entrée et de sortie selon le schéma représenté sur la figure 5.6.

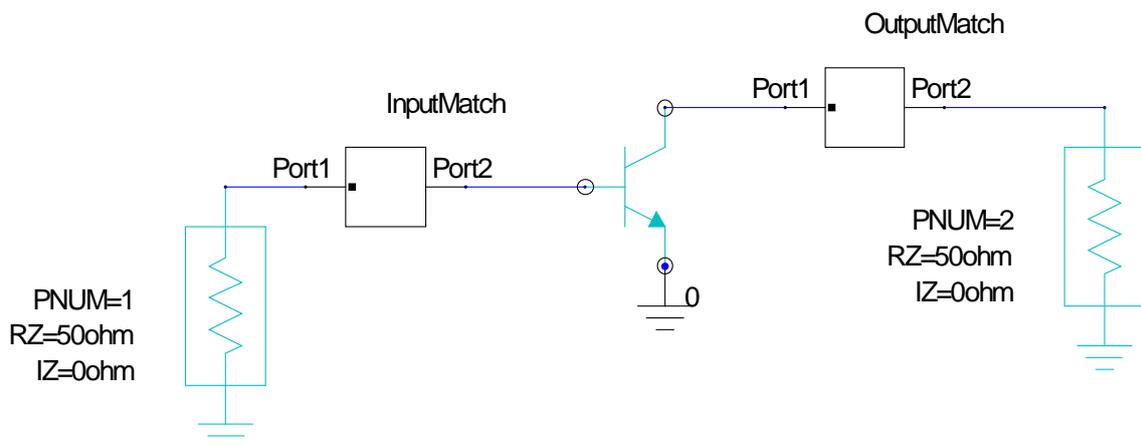


Figure 5.6 : Schéma complet du LNA

5.7 SIMULATION DE L'AMPLIFICATEUR

Lancer une simulation linéaire, en reprenant la procédure décrite au § 4.3, et en configurant la boîte de dialogue intitulée : "Add/Edit Sweep" comme suit :

- **Variable : F**
- Sélectionner : **Linear step**
- **Start : 400 MHz**
- **Stop : 800 MHz**
- **Step : 1 MHz**

Demander l'affichage dans un graphe rectangulaire (**rectangular plot**) des courbes suivantes :

- **dB(S11)**
- **dB(S22)**
- **dB(S21)**
- **dB(NF)**

On obtient les courbes représentées sur la figure 5.7.

Addition de marqueurs :

On peut rajouter un marqueur à 600 MHz sur chaque courbe en procédant comme suit :

- 1 click (D) → Graphe
- Sélectionner : **Data Marker**
- Ajouter un marqueur à 600 MHz sur chaque courbe après les avoir sélectionnées

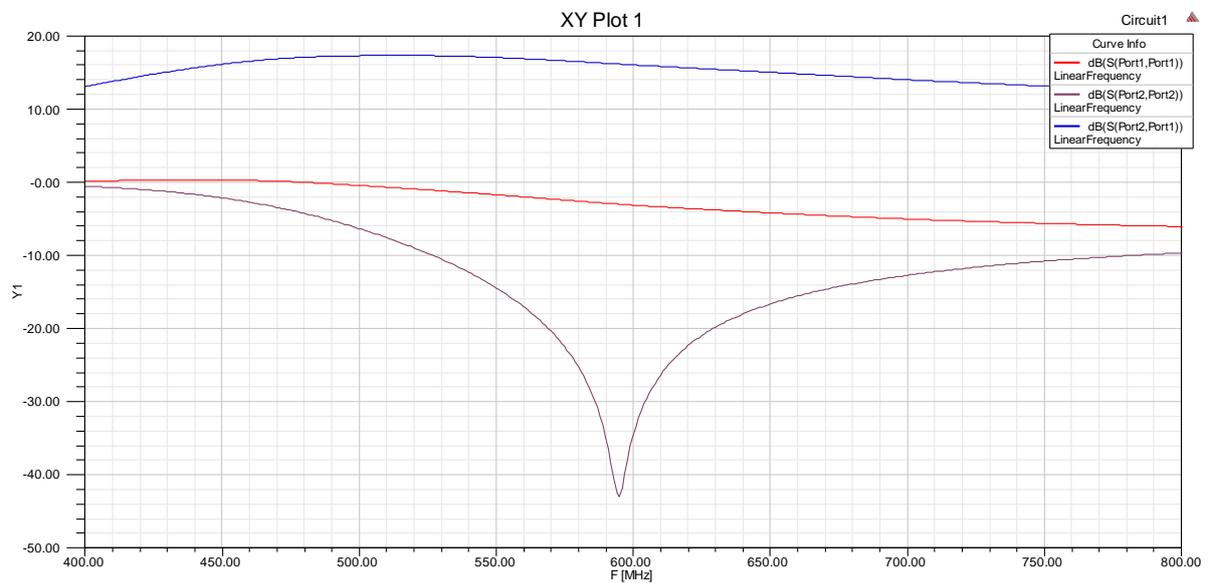


Figure 5.7 : Courbes du S11, S22, S21, NF, du LNA obtenues par simulation

6 TRANSFERT DE PARAMETRES Sij MESURES AVEC UN VECTOR NETWORK ANALYZER

6.1 INTRODUCTION

La procédure de transfert des paramètres Sij mesurés sur un Vector Network Analyzer vers le logiciel ANSYS Ansoft Designer comporte 2 phases principales:

Phase 1 : Au niveau du Vector Network Analyzer: Enregistrement du fichier des paramètres Sij mesurés.

L'ENSEIRB étant équipée de 2 Vector Network Analyzers de génération et d'ergonomie différentes (HP8753D et Agilent N3382A), en conséquence cette 1^o phase sera détaillée dans 2 procédures distinctes spécifiques à chaque appareil.

Phase 2 : Au niveau du logiciel ANSYS Ansoft Designer: Transfert du fichier des paramètres Sij vers le logiciel ANSYS Ansoft Designer.

Pour illustrer cette procédure nous prendrons l'exemple de l'enregistrement de paramètres Sij mesurés sur un condensateur chip de 220pF, et du transfert du fichier correspondant vers le logiciel Ansoft Designer. L'objectif étant de remplacer au niveau de la schématique le modèle théorique du condensateur par un fichier de paramètres Sij provenant d'une mesure sur un condensateur réel.

6.2 PHASE 1 : ENREGISTREMENT DES PARAMETRES Sij MESURES AVEC UN VECTOR NETWORK ANALYZER : Agilent N3382A

Le Vector Network Analyzer Agilent N3382A présente l'avantage de permettre l'enregistrement des fichiers des paramètres Sij dans le format "Touchstone" qui est directement compatible avec le logiciel Ansoft Designer.

La procédure d'enregistrement des fichiers des paramètres Sij dans le format "Touchstone" est particulièrement simple, elle est détaillée ci-dessous :

1 click (G) sur File > Save As => Ouverture de la boîte de dialogue intitulée: Save As

Compléter cette boîte de dialogue comme suit :

- Save in : Sélectionner mémoire désirée : 3 ½ Floppy [A :], Memory Stick, compte personnel sur le réseau ENSEIRB.
- File name : entrer nom du fichier (Exemple : c220pf)
- Save as type : Sélectionner l'un des 3 types suivants selon la matrice de paramètres S à sauvegarder :
 - o 1^o. Mesure sur 1 seul port => 1 seul paramètres S => Sélectionner :
Trace [* .s1p]

- 2°. Mesure sur 2 ports => Matrice de 4 paramètres S => Sélectionner :
Trace [*s2p]
- 2°. Mesure sur 3 ports => Matrice de 9 paramètres S => Sélectionner :
Trace [*s3p]
- 1 click (G) sur : Save

6.3 PHASE 1 : ENREGISTREMENT DES PARAMETRES Sij MESURES AVEC UN VECTOR NETWORK ANALYZER : HP 8753D

6.3.1 INTRODUCTION

Le Vector Network Analyzer 8753D étant relativement ancien, il présente l'inconvénient de sauvegarder les fichiers de paramètres Sij dans un format (citifile) qui n'est plus directement compatible avec les logiciels actuels tels qu'Ansoft Designer. Par conséquent la procédure de transfert des paramètres Sij mesurés sur le Network Analyzer 8753D vers le logiciel de simulation Ansoft Designer est maintenant plus complexe car elle nécessite une opération supplémentaire (opération 1.2) destinée à assurer la compatibilité des fichiers. Sachant en outre que le Vector Network Analyzer 8753D ne peut enregistrer les fichiers de paramètres Sij que sur Floppy disk, la phase 1 de transfert de fichiers nécessite d'effectuer les 2 opérations décrites ci-dessous :

- Opération 1.1 : (Au niveau du Network Analyzer 8753D) : Enregistrement des paramètres Sij mesurés sur un Floppy Disk (dans un format citifile).
- Opération 1.2 : (Au niveau du gestionnaire de fichiers du PC) : Lecture des paramètres Sij enregistrés sur le Floppy Disk, modification de l'extension du fichier et copie du fichier avec l'extension modifiée dans un répertoire.

Pour illustrer cette procédure nous prendrons l'exemple de l'enregistrement de paramètres Sij mesurés sur un condensateur chip de 220pF, et du transfert du fichier correspondant vers le logiciel Ansoft Designer. L'objectif étant de remplacer au niveau de la schématique le modèle théorique du condensateur par un fichier de paramètres Sij provenant d'une mesure sur un condensateur réel.

6.3.2 OPERATION 1.1 : ENREGISTREMENT SUR FLOPPY DISK 3.5'' DES PARAMETRES Sij MESURES AVEC LE VECTOR NETWORK ANALYZER : HP8753D

6.3.2.1 Intitulation de la mesure (Optionnel) :

- 1.1. Appuyer sur la "Hard Key "DISPLAY" puis successivement sur les "Soft Keys" :
MORE → TITLE.
- 2.1.2. Appuyer sur la "Soft Key" : **ERASE TITLE.**
- 1.3. Utiliser le bouton rotatif pour déplacer le pointeur sur le caractère désiré, puis appuyer sur la "softkey" : **SELECT LETTER.**

Répéter l'opération 1.3. pour tous les caractères du titre désiré. Exemple : c220pf.
(Pour corriger une erreur : Appuyer sur la "Soft Key" : **BACK SPACE**)

1.4. Appuyer sur la "softkey" : **DONE** pour enregistrer le titre.

6.3.2.2 Enregistrement de la mesure :

2.1. Insérer le Floppy Disk dans le lecteur du Network Analyzer HP8753D.

2.2. Appuyer sur la "Hard Key "SAVE/RECALL " puis successivement sur les "Soft Keys" : **SELECT DISK → INTERNAL DISK**

2.3. Appuyer sur la "Hard Key "SAVE/RECALL " puis successivement sur les "Soft Keys" : **DEFINE DISK SAVE → DATA ARRAY ON.**

2.4. Sélectionner le type de format en appuyant sur la "softkey" : **SAVE USING : ASCII.**
Appuyer successivement sur les "Soft Keys" : **RETURN → SAVE STATE.**

6.3.2.3 Intitulation du fichier enregistré :

3.1. Appuyer sur la "Hard Key "SAVE/RECALL " puis successivement sur les "Soft Keys" : **SELECT DISK → INTERNAL DISK**

3.2. Sélectionner le fichier à intituler (Intitulé par défaut FILE00) en appuyant successivement sur la "Hard Key" ↓ jusqu'à mettre en surbrillance le fichier désiré.

3.3. Appuyer successivement sur les "Soft Keys" : **RETURN → FILE UTILITIES → RENAME FILE → ERASE TITLE.**

3.4. Utiliser le bouton rotatif pour déplacer le pointeur sur le caractère désiré, puis appuyer sur la "softkey" : **SELECT LETTER.**

Répéter l'opération 3.4. pour tous les caractères du titre désiré. Exemple : c220pf.

(Pour corriger une erreur : Appuyer sur la "Soft Key" : **BACK SPACE**)

1.4. Appuyer sur la "softkey" : **DONE** pour enregistrer le titre.

6.3.3 OPERATION 1.2 : LECTURE DES PARAMETRES Sij ENREGISTRES SUR FLOPPY DISK 3.5" MODIFICATION DE L'EXTENSION ET COPIE DANS UN REPERTOIRE

1. Insérer le Floppy Disk dans le lecteur du PC.

2. Ouvrir le Poste de travail, et sélectionner sur la Disquette 3 1/2 (A :) le fichier désiré (citifile) repéré par l'extension : **.D1:**

Exemple : Si le fichier désiré a été intitulé dans la phase I : **c220pf**, il faut alors rechercher et sélectionner le fichier intitulé : **c220pf.D1**

3. Modifier l'extension de fichier : **.D1** en : **.cit**

Exemple : Si le fichier citifile d'origine est : **c220pf.D1**, après modification de son extension il devient : **c220pf.cit**

4. Copier le fichier avec son extension modifiée (**c220pf.cit**) de préférence dans le même répertoire que les fichiers de sauvegarde du "project" d'Ansoft Designer pour lequel est destiné le fichier de paramètres Sij.

Le fichier de paramètres Sij : **c220pf.cit** peut alors être utilisé par le logiciel d'Ansoft Designer en effectuant les opérations décrites dans la phase 2 :

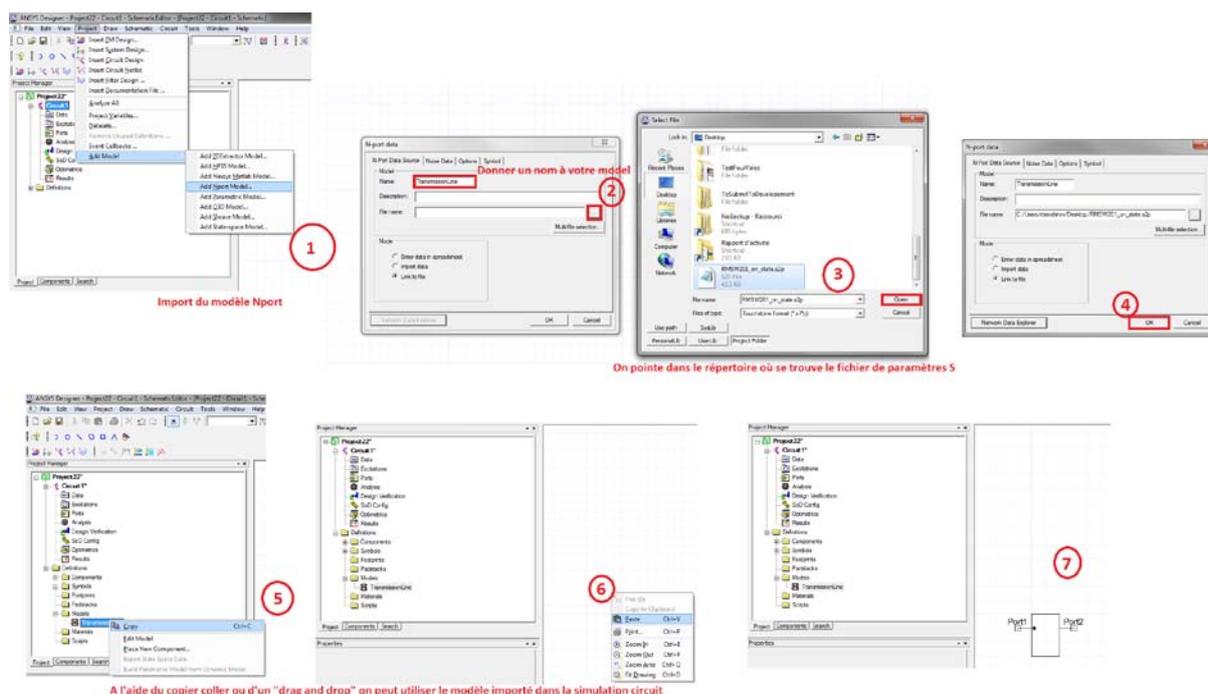
6.4 Phase 2 : TRANSFERT DES PARAMETRES Sij ENREGISTRES VERS LE LOGICIEL Ansoft Designer

6.4.1 Avant propos : présélection composant "N port"

Pour que le fichier de paramètres Sij enregistré soit pris en compte par le logiciel Ansoft Designer, il faut le transférer sous la schématique dans un composant spécifique appelé : "N port". Un "N port" peut comporter 1, 2, ou N ports selon que le fichier de paramètres Sij représente respectivement un dipôle, un quadripôle, ou un multipôle.

Au niveau du schéma électrique, 2 cas peuvent se présenter :

- Soit le "N port" a sa référence connectée à la masse.
Dans ce cas il faut suivre la procédure 6.4.2 ci-dessous.
- Soit le "N port" a sa référence non connectée à la masse.
Dans ce cas il faut suivre la procédure 6.4.3 ci-dessous.



6.4.2 Le "N port" a sa référence connectée à la masse

Eventuellement, effacer le composant parfait à remplacer.

6.4.2.1 1 click D sur le bouton "Project" > Add Model > Add Nport Model

Ouverture de la boîte de dialogue intitulée : "N port data".

Compléter l'onglet "N port data Source" comme suit :

- Dans la case "Name", entrer le nom désiré du fichier (Exemple : Capacitor_220pF).
- Dans le champ "Mode", sélectionner : "Link to file"

- Dans la case "**File Name**" :
 - o Sélectionner avec le Browser [...] le fichier de paramètres Sij avec l'extension correcte. 2 cas peuvent alors se présenter selon le Vector Network Analyzer employé pour mesurer les paramètres Sij:
 - 1°. Si les paramètres Sij mesurés proviennent du Vector Network Analyzer : Agilent N3382A, il faut sélectionner un fichier au format touchstone repéré par l'une des extensions suivantes : **.s1p** ou **.s2p** ou **.s3p** (exemple : C220pF.s1p).
 - ⇒ Dans la case : "**Types de fichiers**", sélectionner : **Touchstone Format (*.s ?*p)**
 - 2°. Si les paramètres Sij mesurés proviennent du Vector Network Analyzer : HP8753D, il faut sélectionner un fichier au format citifile repéré par l'extension : **.cit** (exemple : c220pf.cit).
 - ⇒ Dans la case : "**Types de fichiers**", sélectionner : **Citifile (*.cit)**
- 1 click (G) sur "**Ouvrir**".

Compléter l'onglet "**Symbol**" comme suit :

- Dans la case "**Preview for**", sélectionner : "**Implied reference to ground**"
- 1 click (G) sur "**OK**" dans la boîte de dialogue: "**N port data**".

6.4.2.2 Vérifier le transfert du fichier de paramètres Sij désiré dans le dossier : "**Models**"

- ⇒ Dans l'onglet "**Project**", ouvrir successivement (par 1 click G) les dossiers "**Definitions**", puis "**Models**" et y vérifier la présence du fichier de paramètres Sij désiré (exemple : Capacitor_220pF).

6.4.2.3 Placer le symbole du fichier de paramètres Sij dans la feuille de dessin.

- Transférer par "drag & drop" (glisser déposer) le symbole du fichier de paramètres Sij désiré (exemple : Capacitor_220pF), depuis le dossier "**Models**" (situé dans l'onglet "**Project**"), vers la feuille de dessin.
- ⇒ Ouverture de la boîte de dialogue intitulée : "**Reference Port Option**". Vérifier dans la boîte de dialogue "**Reference Port Option**" la sélection de : "**Implied reference to ground**"
- 1 click (G) sur "**OK**" dans la boîte de dialogue: "**Reference Port Option**".

6.4.2.4 Connecter le symbole du "N port" au circuit.

- ⇒ Pour un circuit à 1 port avec référence connectée à la masse, on obtient le schéma représenté sur la figure 6.1 :

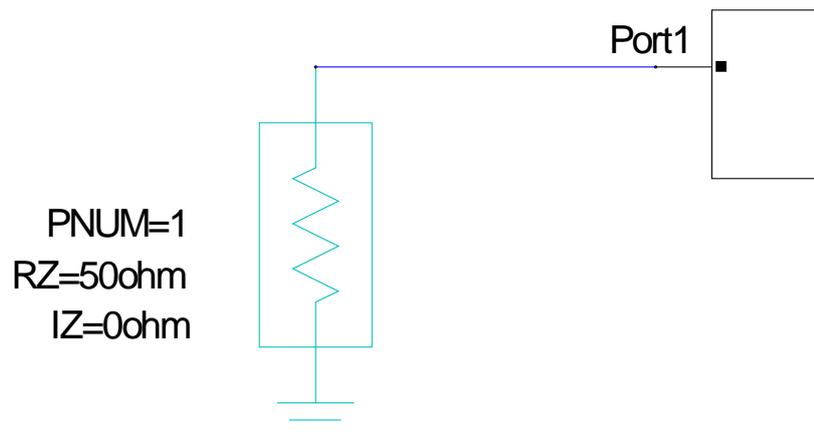


Figure 6.1 : Schéma d'un "N port" avec N =1 et référence connectée à la masse

6.4.3 Le "N port" a sa référence non connectée à la masse

La procédure de transfert / placement est quasiment identique à la précédente décrite au § 6.4.2. La seule différence se situe au niveau du paramétrage de l'onglet: "Symbol" décrite dans les opérations : 6.4.2.1 & 6.4.2.2:

Il suffit de compléter dans la boîte de dialogue intitulée: " N port data" l'onglet "Symbol" comme suit :

- Dans la case " **Preview for**", sélectionner : "**Show common reference port**"
- 1 click (G) sur "**OK**" dans la boîte de dialogue intitulée : " N port data"..

6.4.3.1 Vérifier le transfert du fichier de paramètres Sij désiré dans le dossier : "Models"
=> Dans l'onglet "Project", ouvrir successivement (par 1 click G) les dossiers "Definitions", puis "Models" et y vérifier la présence du fichier de paramètres Sij désiré (exemple : Capacitor_220pF).

6.4.3.2 Placer le symbole du fichier de paramètres Sij dans la feuille de dessin.

- Transférer par "drag & drop" (glisser déposer) le symbole du fichier de paramètres Sij désiré (exemple : Capacitor_220pF), depuis le dossier "Models" (situé dans l'onglet "Project"), vers la feuille de dessin.
- ⇒ Ouverture de la boîte de dialogue intitulée : " **Reference Port Option**". Sélectionner dans la boîte de dialogue " **Reference Port Option**": " **Show common reference port** "
- 1 click (G) sur "**OK**" dans la boîte de dialogue: " **Reference Port Option** "..

⇒ Après avoir effectué cette sélection, avec l'exemple d'un circuit à 1 port avec référence connectée à une résistance, on obtient le schéma représenté sur la figure 6.2 :

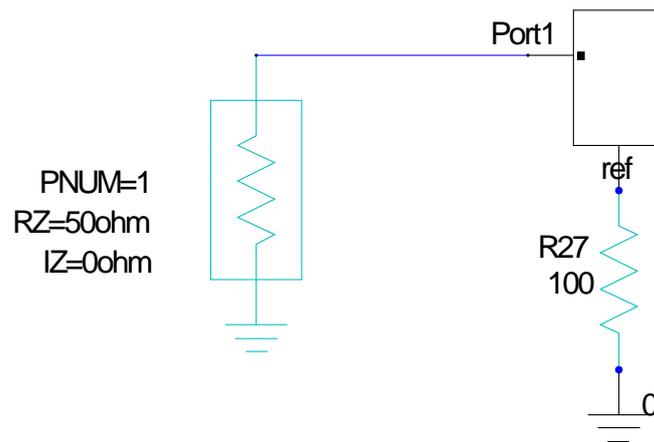


Figure 6.2 : Schéma d'un "N port" avec N =1 et référence non connectée à la masse

7 TRANSFERT MANUEL DE PARAMETRES S_{ij} PROVENANT D'UNE SPREADSHEET

7.1.1 Introduction

Pour que le fichier de paramètres S_{ij} enregistré soit pris en compte par le logiciel Ansoft Designer, il faut le transférer sous la schématique dans un composant spécifique appelé : "N port". Un "N port" peut comporter 1, 2, ou N ports selon que le fichier de paramètres S_{ij} représente respectivement un dipôle, un quadripôle, ou un multipôle.

Au niveau du schéma électrique, 2 cas peuvent se présenter :

- Soit le "N port" a sa référence connectée à la masse.
Dans ce cas il faut suivre la procédure 4.1.2 ci-dessous.
- Soit le "N port" a sa référence non connectée à la masse.
Dans ce cas il faut suivre la procédure 4.1.3 ci-dessous.

7.1.2 Le "N port" a sa référence connectée à la masse

7.1.2.1 Eventuellement, effacer le composant parfait à remplacer.

7.1.2.2 1 click G sur l'icône "N port"

(Il s'agit de l'icône situé sur la barre d'outils supérieure, immédiatement à gauche du symbole de masse. Cet icône représente une boîte à 6 ports et comporte la lettre N)

=>

Ouverture de la boîte de dialogue intitulée : "N port data".

Compléter l'onglet "N port data" comme suit :

- Dans la case "Component Name", entrer le nom désiré du fichier (Exemple : C).
- Dans la case "Data Source", sélectionner : **Enter data in spreadsheet**
- Dans la case "File" :

- Sélectionner : **Use path**
- Sélectionner avec le Browser [...] le fichier de paramètres Sij avec l'extension correcte : .s1p ou .s2p ou .s3p (Exemple : S11_C220pF.s1p)

Compléter l'onglet "**Network data**" comme suit :

- Dans la case "**Domain**", sélectionner **Frequency**
- Dans la case "**Units**", sélectionner : **MHz** (par exemple)
- Sélectionner : **Smatrix**
- Sélectionner la forme de représentation désirée: **Magnitude/Phase**, etc ...
- Dans la case "**Ports**" : Sélectionner le nombre de ports.
- Entre manuellement dans le tableau inférieur :
 - Les fréquences dans la colonne : **Frequency**
 - Les paramètres Sij dans la colonne : **S :Port1**

1 click (G) sur "OK".

7.1.2.3 Placer le symbole de "N port" dans la feuille de dessin.

7.1.2.4 Connecter le symbole de "N port" au circuit.

- ⇒ Pour un circuit à 1 port avec référence connectée à la masse, on obtient un schéma identique à celui représenté figure 3.1.

7.1.3 Le "N port" a sa référence non connectée à la masse

La procédure de transfert / placement est quasiment identique à la précédente décrite au § 4.1.2. La seule différence se situe au niveau du paramétrage de l'onglet: "**N port data**" décrite dans l'opération : 3.3.1.2 :

Il suffit de cocher la case : **Show common reference node.**

- ⇒ Après avoir coché cette case, avec l'exemple d'un circuit à 1 port avec référence connectée à une résistance, on obtient un schéma identique à celui représenté figure 3.2.

8 SIMULATION NON LINEAIRE DE TYPE "HARMONIC BALANCE" : EXEMPLE D'UN AMPLIFICATEUR DE PUISSANCE

8.1 Introduction.

Avant de lancer une simulation non linéaire, il faut vérifier au niveau de la schématique, les 2 points suivants :

1. Le ou les générateurs de tensions d'alimentation ainsi que les circuits de polarisation sont connectés.

Si cela n'a pas été fait, la procédure pour rajouter un générateur de tension continue est la suivante:

- 1 click G sur l'onglet du dossier : "**Components**"
- Ouvrir le dossier : "**Independant Sources**"
- Sélectionner le symbole : "**V_DC : DC Voltage Source**", et le placer dans le schéma.
- 2 clicks G sur le symbole : "**DC Voltage Source**".
- ⇒ Ouverture de la fenêtre intitulée: "**V_DC Properties**"
- Compléter la fenêtre: "**V_DC Properties**" comme suit:
Dans l'onglet: "**Parameters Values**", rentrer dans la case située:
Ligne : "**DC**", colonne: "**Value**" :
la valeur de la tension désirée (3V dans le cas de cet exemple)
1 click G / **OK** dans la fenêtre: "**V_DC Properties**"

2. Les éléments non linéaires décrits par des fichiers de paramètres S linéaires doivent être remplacés par des modèles non linéaires.

Si ce remplacement n'a pas été fait, suivre la procédure détaillée au §3.2 pour rajouter un modèle d'élément non linéaire disponible dans la librairie: "**Vendor Elements**"

Dans le cas particulier de cet exemple, sélectionner successivement :

- Le type d'élément : "**Legacy NPN BJT : Lib Based Vendor NPN Transistors**"
- Le fabriquant : **Philips**
- Le nom de l'élément : **BFR93A**

Puis placer l'élément choisi dans le schéma.

Avec le transistor BFR93A, on obtient le schéma représenté sur la figure 8.1.

8.2 Dessin du schéma du circuit

Pour illustrer la méthode de simulation Harmonic Balance, on propose de traiter l'exemple de l'amplificateur de puissance représenté figure 8.1.

Les valeurs des éléments de cet amplificateur ont été calculées pour obtenir une consommation totale de 3,1mA sous une tension d'alimentation de 3V. L'objectif est d'atteindre une puissance de sortie maximale à la fréquence de 403MHz. D'après l'étude théorique préliminaire, cette puissance de sortie maximale est obtenue pour une impédance de charge optimale : $R_L = 920\Omega$.

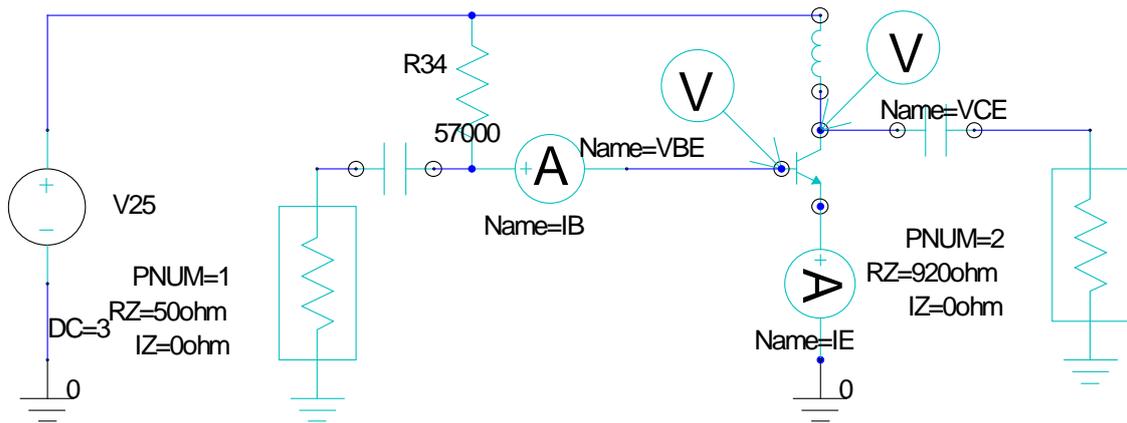


Figure 8.1 : Schéma électrique de l'amplificateur de puissance

Notes: Ref. Composants passifs / Vendors Elements:

Ref. choke coil L = 220 nH :

- Vendor: Coilcraft
- Series: coilcraft 0805 hs
- Model: L0805HS_221TJBC

Ref. C Coupling / decoupling C = 220pF

- Vendor: Philips
- Series: philips_smc_0805
- Model: C0805221J9B200

La procédure de simulation non linéaire peut alors être lancée sous ANSYS DESIGNER. Pour un amplificateur de puissance, une procédure simplifiée comporte typiquement les 5 phases suivantes:

- Phase 1 : Vérification de la polarisation
- Phase 2 : Définition du signal d'entrée pour la simulation non linéaire.
- Phase 3 : Lancement de l'analyse : Harmonic Balance Analysis.
- Phase 4 : Affichage des résultats de la simulation : Détermination de P_{out} et de $P_{in(opt)}$
- Phase 5 : Détermination de l'impédance de charge optimale avec l'outil Load Pull Analysis

8.3 Phase 1 : Vérification de la polarisation.

1. Dans l'onglet "Project": 1 click D / Circuit → View DC Bias Values → Show DC Bias
⇒ Affichage sur le schéma des tensions et courants de polarisation.

Si les tensions et courants de polarisation sont conformes aux prévisions théoriques (voir figure 8.2), la phase 2, de simulation non linéaire peut être entreprise.

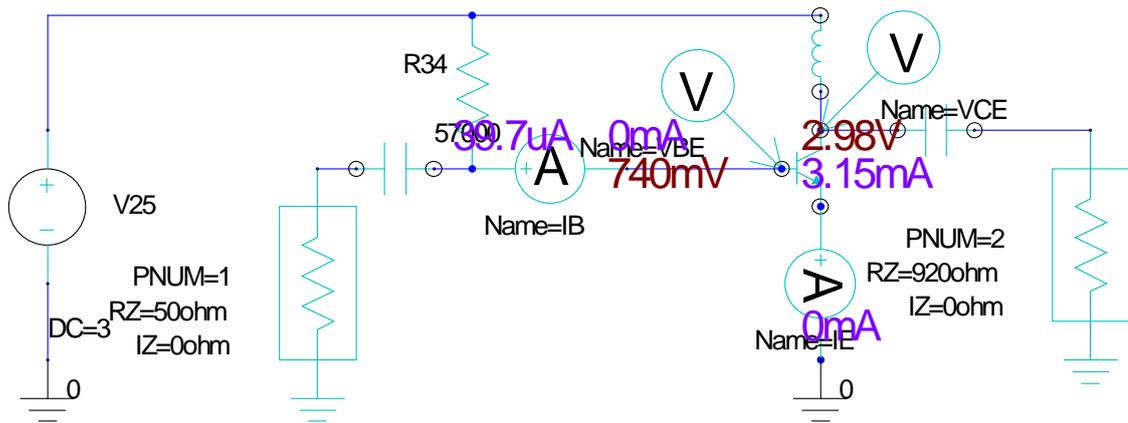


Figure 8.2 : Tensions et courants de polarisation de l'amplificateur de puissance

8.4 Phase 2 : Définition du signal d'entrée pour la simulation non linéaire.

8.4.1 Remarque préliminaire :

Pour effectuer cette simulation non linéaire, l'impédance du Port 2 doit être égale à l'impédance optimale théorique de charge dont la valeur calculée est $R_L = 920\Omega \Rightarrow$ Dans la boîte de dialogue "Port Definition" du port 2, entrer : $Re = 920$, $Im = 0$ dans la section : "Termination".

8.4.2 Définition d'une : RF 1 tone Analysis.

8.4.2.1 2 clicks G sur le symbole du port d'entrée.

⇒ Ouverture de la boîte de dialogue intitulée: "Port Definition"

Compléter la boîte de dialogue: "Port Definition" comme suit:

1 click G sur le bouton: "Edit Sources"

⇒ Ouverture de la boîte de dialogue intitulée: "Configure Ports and Sources"

Compléter la boîte de dialogue: "Configure Ports and Sources" comme suit:

Vérifier dans la section : "Name" que le Port 1 est bien sélectionné (surbrillance)

Vérifier dans la section : "Add New Source" que "Power" et "Sinusoidal" sont bien sélectionnés

1 click G sur le bouton : "Add to selected port"

⇒ Ouverture de la boîte de dialogue intitulée: "Properties"

Compléter la boîte de dialogue "Properties" : comme suit:

Dans l'onglet: "Parameter Values", entrer:

- Ligne "Name", entrer dans la colonne "Value" un nom de votre choix, ex: **RF_IN**
- Ligne "POWER", entrer dans les colonnes :
 - o Colonne "Value" : Pin
 - o Colonne "Evaluated Value" : -10dBm

- Ligne "**FREQ**", entrer dans les colonnes :
 - o Colonne "**Value**" : F_IN
 - o Colonne "**Evaluated Value**" : 403MHz

1 click G / **OK** dans la boîte de dialogue "**Properties**"

⇒ Ouverture de la boîte de dialogue intitulée: "**Select Analysis**"

1 click G / **OK** dans la boîte de dialogue : "**Select Analysis**"

1 click G / **OK** dans la boîte de dialogue : "**Configure Ports and Sources**"

1 click G / **OK** dans la boîte de dialogue: **Port Definition**

8.4.2.2 Vérifier :

- Dans l'onglet "**Project**" que la source : **RF_IN** a été ajoutée dans le dossier :

Excitations.

- Dans le schéma électrique, qu'un symbole de générateur sinusoïdal a été ajouté dans le port d'entrée (Port 1) : Voir figure 8.3.

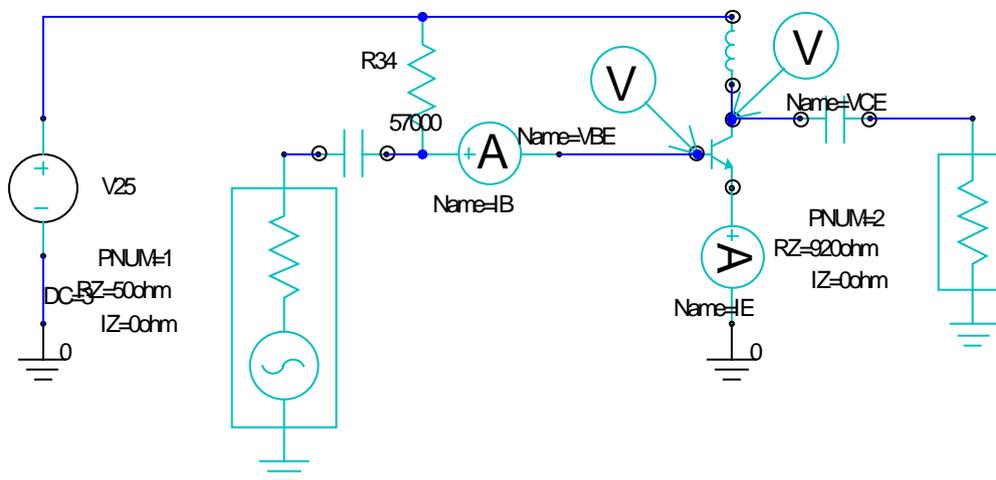


Figure 8.3 : Schéma de l'amplificateur de puissance après configuration du port d'entrée

8.4.3 Définition d'un : Power Sweep

- Dans l'onglet "**Project**": 1 click D / **Analysis** → **Add Nexxim Solution Setup** → **Harmonic Balance (1-Tone)**

⇒ Ouverture de la boîte de dialogue intitulée: **Harmonic Balance Analysis, 1 Tone.**

Compléter la boîte de dialogue : **Harmonic Balance Analysis, 1 Tone** comme suit:

- Dans la case "**Name**", entrer : **Psweep**

- Dans la case "**Max. Harmonic Number**", sélectionner: **7**

- Dans la case "**F1 value**", entrer : **F_IN**

- Dans le champ : "**Sweep Variables**": 1 click G sur le bouton "**Add**"

⇒ Ouverture de la boîte de dialogue intitulée: **Add/Edit Sweep.**

Compléter la fenêtre: **Add/Edit Sweep** comme suit:

- Dans la case : "**Variable**", sélectionner : **Pin**

- Sélectionner : "**Linear step**"
 - Entrer les valeurs désirées dans les cases : **Start, Stop, et, Step** .
- Par exemple : **Start** = - 40dBm, **Stop** = 10dBm, **Step** = 1dBm.
- 1 click G / **Add**
- => Vérifier transcription dans la case "**Sweep Values**" de : **LIN -40dBm 10dBm 1dB**
- 1 click G / **OK** dans la boîte de dialogue: "**Add/Edit Sweep**"
 - 1 click G / **OK** dans la boîte de dialogue: "**Harmonic Balance Analysis, 1 Tone**"

8.5 Phase 3 : Lancement de l'analyse : Harmonic Balance Analysis 1Tone

1. Dans l'onglet "**Project**": 1 click D / "**Analysis**"
 - ⇒ Affichage du fichier de définition : **PswEEP**
2. 1 click D / **PswEEP** > Sélectionner: "**Analyz**"
 - ⇒ Lancement de l'analyse : **Harmonic Balance 1Tone**.

8.6 Phase 4 : Affichage des résultats de simulation

8.6.1 Affichage Pout & Transducer Gain

1. Dans l'onglet "**Project**": 1 click D / "**Results**" → "**Create Standard Report**" → "**Rectangular Plot**"
 - => Ouverture de la boîte de dialogue intitulée: "**Report**":
 - 2. Compléter la boîte de dialogue: "**Report**" comme suit :
 - 2.1. Dans la case : "**Solution**", sélectionner: **PswEEP**
 - 2.2. Dans la case : "**Domain**", sélectionner : **Sweep**
 - 2.3. Pour Afficher la puissance du fondamental en sortie sur le port 2, sélectionner:
 - "**Category**" : "**Power**"
 - "**Quantity**" : "**P(Port2)<F1>**"
 - "**Function**" : "**dBm**".
 - 1 click G sur le bouton: "**New Report**":
 - => Affichage de la courbe : "**dBmP(Port2)<F1>**" en fonction de la puissance du fondamental en entrée sur le port 1 : **Pin[dBm]**
 - 2.4. Pour ajouter l'affichage du "**Transducer Gain**" entre la puissance du fondamental en sortie sur le port 2, et la puissance du fondamental en entrée sur le port 1, sélectionner:
 - "**Category**" : "**Transducer Gain**"
 - "**Quantity**" : "**TG(Port2,Port1)<F1,F1>**"
 - "**Function**" : "**dB**"
 - 1 click G sur le bouton: "**Add Trace**"
 - 1 click G sur le bouton: "**Close**"

2.5. Pour créer 2 graduations distinctes (dBm / dB) sur 2 axes verticaux séparés:

- Dans l'onglet "**Project**":
 - Ouvrir le dossier: "**Results**"
 - 1 click D sur le fichier de la courbe intitulée: "**TG(Port2,Port1)<F1,F1>**"
- => Affichage dans la fenêtre: "**Properties**" des propriétés de la courbe: "**TG(Port2,Port1)<F1,F1>**"
- Dans la fenêtre "**Properties**", changer la valeur par défaut de la ligne "**Y Axis**" (**Value = Y1** par défaut), par :
 - 1 click G sur **Y1** (dans la colonne "**Value**"), puis sélectionner : **Y2**

=> Affichage des courbes représentées figure 8.4: **PO2<F1>** et **TG21<F1,F1>** en fonction de la puissance du fondamental en entrée sur le port 1 : Pin.

=> Sur ces courbes, on peut constater qu'un optimum correspondant sensiblement à 1dB de compression est obtenu pour Pin = -4dBm.

⇒ Les simulations suivantes seront effectuées pour Pin = -4dBm.

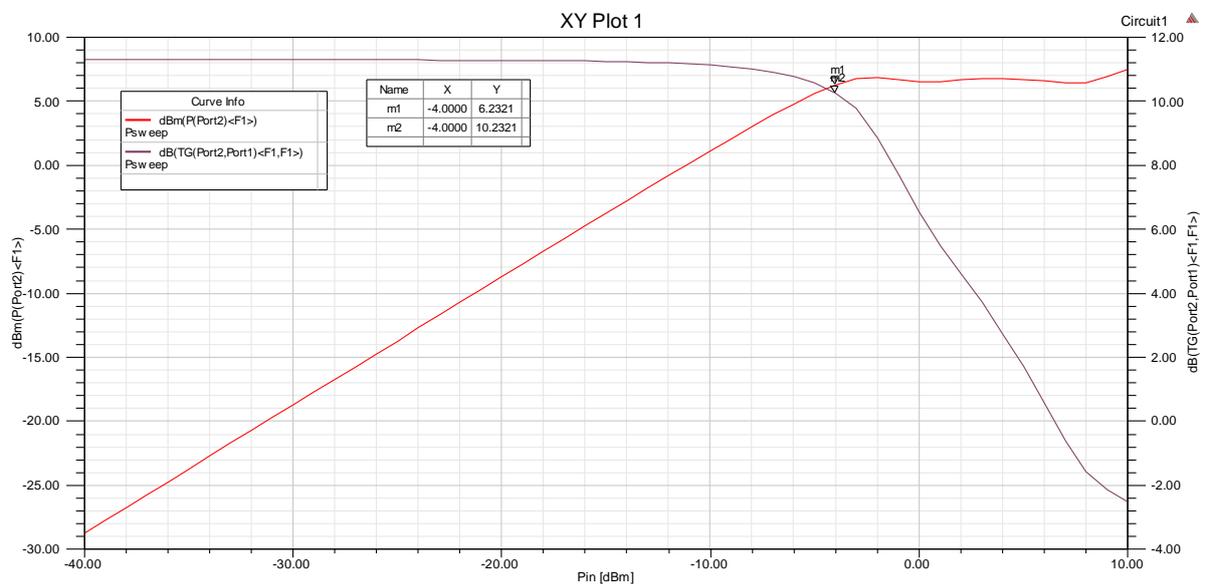


Figure 8.4 : Courbes de la puissance du fondamental généré sur la sortie et du "Transducer Gain" en fonction de la puissance d'entrée

8.6.2 Affichage du spectre de Pout

1. Dans l'onglet "**Project**": 1 click D / **Results** → **Create Standard Report** → **Rectangular Plot**
- => Ouverture de la boîte de dialogue intitulée: "**Report**":
2. Compléter la boîte de dialogue: "**Report**" comme suit :

2.1. Dans l'onglet: "**Trace**":

2.1.1 Dans la case : "**Solution**", sélectionner: "**Psweep**"

2.1.2. Dans la case: "**Domain**", sélectionner: "**Spectral**"

2.1. Dans l'onglet: "**Families**":

2.1.1 1 click G sur le bouton de la colonne: "**Edit**"

2.1.2 Sélectionner la puissance optimale (précédemment déterminée): **-4dBm**

2.1.3 1 click G sur le bouton : "New Report":

2.1.4 1 click G sur le bouton: "Close"

⇒ Affichage du spectre en puissance généré en sortie sur le port 2, représenté figure 8.5:

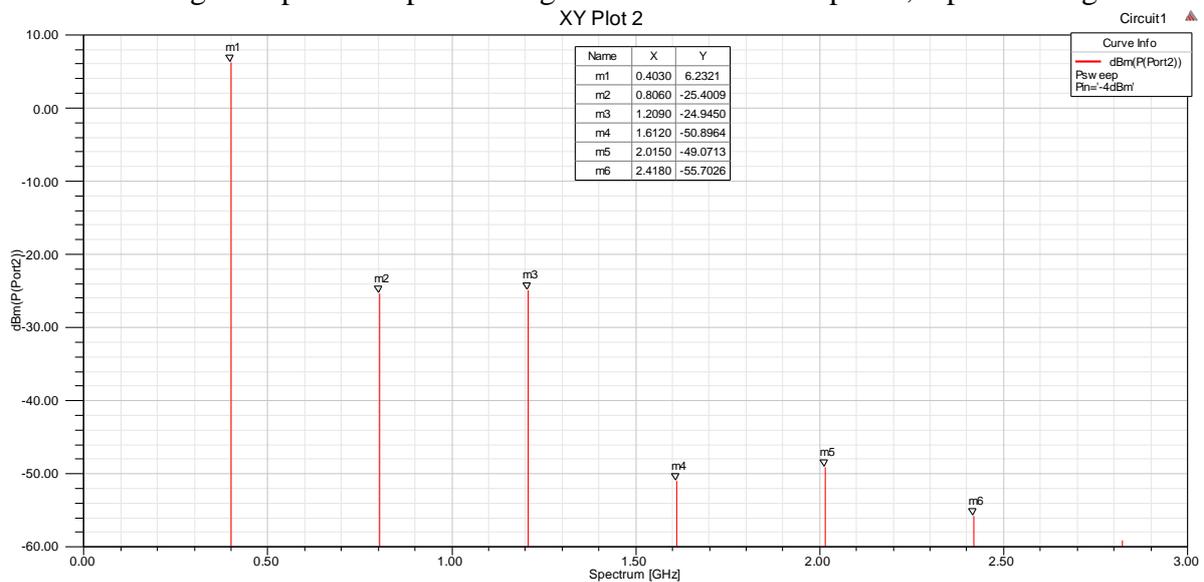


Figure 8.5 : Spectre en puissance généré sur la sortie de l'amplificateur

8.7 Phase 5 : Détermination de l'impédance de charge optimale avec l'outil Load Pull Analysis

8.7.1 Avant propos

Pour un amplificateur de puissance, une analyse Load Pull est un calcul itératif qui consiste à faire varier par incréments les valeurs de la partie réelle et la partie imaginaire de la charge puis à calculer pour chacun de ces couples de valeurs la puissance de sortie obtenue. Ce calcul itératif est répété jusqu'à obtenir les données nécessaires pour tracer tous les lieux de parties réelles et imaginaires qui produisent une puissance de sortie constante et en particulier le lieu (ou le point) correspondant à une puissance de sortie maximale (ces lieux sont appelés : Load Pull Contours). Par conséquent le temps de calcul est particulièrement long et il y a intérêt à ne pas rajouter de variables supplémentaires.

L'application de cette remarque à l'amplificateur de puissance pris en exemple va se traduire par le remplacement du balayage de la puissance (P_{in}) appliquée sur le port d'entrée par une puissance d'entrée constante.

Sachant que les simulations précédentes ont montré qu'une puissance d'entrée $P_{in} = -4\text{dBm}$ constitue un optimum, la 1^o modification à effectuer sur le schéma consiste à configurer le port d'entrée pour une puissance disponible constante de -4dBm .

8.7.2 Vérification et modification du schéma de l'amplificateur

Avant d'appliquer l'analyse Load Pull à l'amplificateur représenté figure 8.3, il faut effectuer les 2 opérations préliminaires suivantes :

- Vérifier que le schéma de l'amplificateur représenté figure 8.3 se prête bien à une analyse Load Pull ; en particulier, l'impédance du port de sortie (port 2) doit être égale à la valeur par défaut : $50\Omega + j0\Omega$ et si ce n'est pas le cas, effectuer la modification.
- ⇒ On obtient le schéma représenté sur la figure 8.6.
- Lancer une simulation non linéaire Harmonic Balance

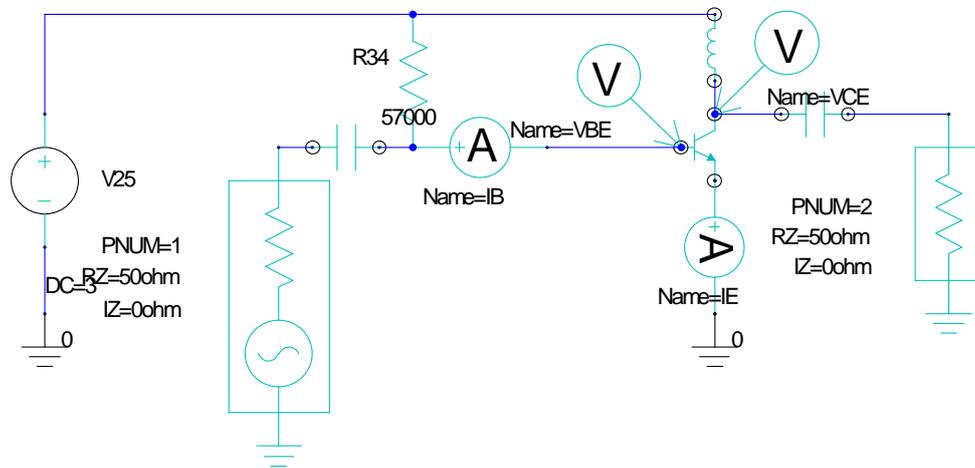


Figure 8.6 : Schéma de l'amplificateur de puissance après configuration du port de sortie @ $50\Omega + j0\Omega$

8.7.3 Définition d'une puissance d'entrée constante

L'objectif est de reconfigurer le port d'entrée (P1) pour la puissance d'entrée optimale de : $P_{in} = -4\text{dBm}$ précédemment déterminée =>

8.7.3.1 2 clicks G sur le symbole du port d'entrée.

⇒ Ouverture de la boîte de dialogue intitulée: "**Port Definition**"

- Compléter la fenêtre: "**Port Definition**" comme suit:

a. 1 click G sur le bouton: "**Edit Sources**"

⇒ Ouverture de la boîte de dialogue intitulée: "**Configure Ports and Sources**"

b. Compléter la boîte de dialogue: "**Configure Ports and Sources**" comme suit:

○ Vérifier dans la section : "**Name**" que le **Port 1** est bien sélectionné (surbrillance)

○ Vérifier dans la section : "**Add New Source**" que "**Power**" et "**Sinusoidal**" sont bien sélectionnés

○ 1 click G sur le bouton: "**Add to selected port**"

⇒ Ouverture de la boîte de dialogue intitulée: "**Properties**"

- Compléter la boîte de dialogue "**Properties**" : comme suit:

Dans l'onglet: "**Parameter Values**", entrer:

- Ligne "**Name**", entrer dans la colonne "**Value**" un nom de votre choix, ex: **RF_IN**

- Ligne "**POWER**", entrer dans les colonnes :

○ Colonne "**Value**" : **-4dBm**

- Ligne "**FREQ**", entrer dans les colonnes :

○ Colonne "**Value**" : **F_IN**

○ Colonne "**Evaluated Value**" : **403MHz**

1 click G / **OK** dans la boîte de dialogue "**Properties**"

- ⇒ Ouverture de la boîte de dialogue intitulée: "**Select Analysis**"
- 1 click G / **OK** dans la boîte de dialogue : "**Select Analysis**"
- 1 click G / **OK** dans la boîte de dialogue : "**Configure Ports and Sources**"
- 1 click G / **OK** dans la boîte de dialogue: "**Port Definition**"

8.7.3.2 Vérifier :

- Dans l'onglet "**Project**" que la source : **RF_IN** a été ajoutée dans le dossier : **Excitations**.
- Dans le schéma électrique, qu'un symbole de générateur sinusoïdal a été ajouté dans le port d'entrée (Port 1) : Voir figure 8.6.

8.7.4 Configuration d'une simulation non linéaire Harmonic Balance pour une puissance d'entrée constante et une fréquence unique

- Dans l'onglet "**Project**": 1 click D / "**Analysis**" → "**Add Nexxim Solution Setup**" → "**Harmonic Balance (1-Tone)**"
- ⇒ Ouverture de la boîte de dialogue intitulée: **Harmonic Balance Analysis, 1 Tone**.

Compléter la boîte de dialogue : **Harmonic Balance Analysis, 1 Tone** comme suit:

- Dans la case "**Name**", entrer : **HB1_Loadpull**
- Dans la case "**Max. Harmonic Number**", sélectionner: **7**
- Dans la case "**F1 value**", entrer : **403MHz**
- Vérifier que :
 - "**Method**" : "**HB**"
 - "**Auto Refine Solution**" : "**No**"

- Cocher: "**Enable Load Pull**"

⇒ Ouverture de la boîte de dialogue intitulée: "**Load Pull Settings**"

Compléter la boîte de dialogue: "**Load Pull Settings**" comme suit:

- Case: "**Port Name**", Sélectionner: **Port 2**
- Case: "**Tuner Frequencies**", entrer: **403MHz**

Vérifier:

- "**Termination Impedance at Tuner Frequencies**" : "**50Ω + j0Ω**"
- "**Termination Impedance at other Frequencies**" : "**50Ω + j0Ω**"
- La sélection de : "**sweep gamma in mag/ang**"

- 1 click G / **OK** dans la boîte de dialogue: "**Load Pull Settings**"
- 1 click G / **OK** dans la boîte de dialogue: "**Harmonic Balance Analysis, 1 Tone**"

Vérifier:

- Dans l'onglet : "**Project**": ouvrir le dossier : "**Analysis**" et vérifier la présence du fichier de simulation Harmonic Balance intitulé : **HB1_Loadpull**

8.7.5 Lancement de l'analyse : Harmonic Balance : HB1_Loadpull

- Dans l'onglet: "**Project**": ouvrir le dossier : "**Analysis**", puis sélectionner le fichier de simulation Harmonic Balance intitulé : **HB1_Loadpull** → **Analyze**

⇒ Lancement de l'analyse Harmonic Balance : **HB1_Loadpull**.

Vérifier l'absence de message d'erreur en bas de l'écran.

8.7.6 VISUALISATION DES RESULTATS DE L'ANALYSE LOAD PULL DANS L'ABAQUE DE SMITH

- Dans l'onglet: "**Project**": 1 click (D) sur l'icône du dossier "**Results**" → "**Create Load Pull Report**" → **Smith Contour Plot**

⇒ Ouverture de la boîte de dialogue intitulée : "**Report**"

Compléter la boîte de dialogue "**Report**" comme suit :

- Dans la case "**Solution**" : Sélectionner: **HB1_Load Pull**
- Dans la case "**Domain**" : Sélectionner: "**Loadpull Contour**"
- Dans la case "**Category**" : Sélectionner: "**Power**"
- Dans la case "**Quantity**" : Sélectionner: "**P(Port2)<F1>**"
- Dans la case "**Function**" : Sélectionner: <none>

1 click (G) sur le bouton: "**New Report**"

⇒ Affichage des résultats de l'analyse : **HB1_Load Pull** dans l'abaque de SMITH (voir figure 8.7) :

Exploitation des résultats de l'analyse: **HB1_Loadpull** dans l'abaque de SMITH:

La puissance maximale que peut produire l'amplificateur est donnée par la 1^o puissance apparaissant dans la liste du code de couleur des courbes située dans le rectangle de légende intitulé : "**P(Port2)<F1>**", soit la courbe de couleur rouge correspondant à la puissance:

⇒ $P_{\text{out (max)}} = 4,2529 \cdot 10^6 \text{ nW} = 4,253 \text{ mW}$

⇒ Soit: $P_{\text{out (max dBm)}} = 6,287 \text{ dBm}$

L'impédance de charge optimale Z_{Lopt} est donnée par les marqueurs m1 & m2 positionnés sur la courbe rouge donnant le contour de puissance maximale:

⇒ $(7,2 + j0,2) \cdot 50\Omega < Z_{\text{Lopt}} < (13 + j0,2) \cdot 50\Omega$

Soit, en négligeant les parties imaginaires :

⇒ $360\Omega < Z_{\text{Lopt}} < 650\Omega$

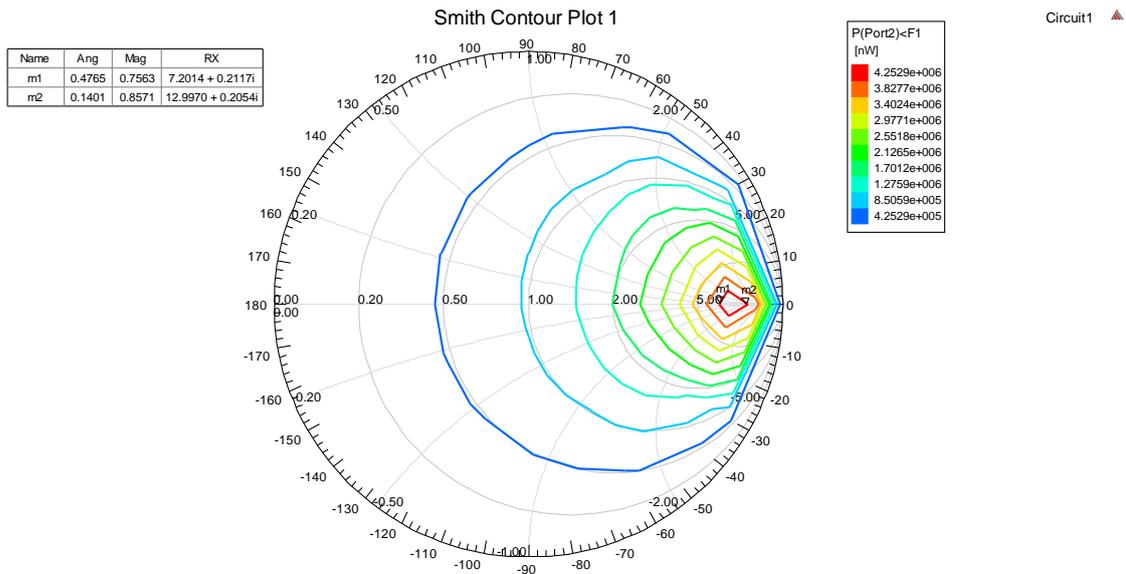


Figure 8.7 : Résultats de l'analyse: **Load Pull 1** dans l'abaque de **SMITH**

8.7.7 Vérification du spectre de la puissance de sortie pour l'impédance de charge optimale

L'analyse **Load Pull 1** effectuée dans le § précédent, ayant montré que l'amplificateur pouvait générer une puissance de $P_{out(max\ dBm)} = 6,287\text{dBm}$, pour une impédance de charge optimale se situant dans l'intervalle : $360\Omega < Z_{Lopt} < 650\Omega$, on se propose de vérifier ces performances par une simulation du spectre de puissance obtenu avec une impédance de charge optimale se situant dans l'intervalle optimum, soit par exemple :

$$Z_{Lopt} \approx 400\Omega.$$

1°. Configuration du port de sortie pour une impédance constante: $Z_{Lopt} \approx 400\Omega$.

2°. Configuration du port d'entrée pour la puissance optimale constante : $P_{in} = -4\text{dBm}$ et une fréquence constante de **403MHz**.

⇒ Le schéma de l'amplificateur devient :

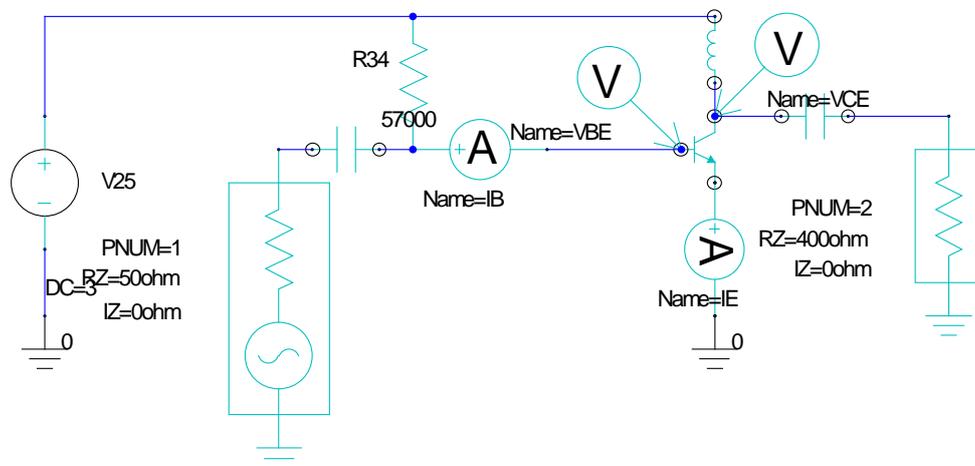


Figure 8.8 : Schéma de l'amplificateur de puissance après configuration du port de sortie avec l'impédance de charge optimale : $Z_{Lopt} \approx 400\Omega$.

- 3°. Configuration d'une analyse Harmonic Balance simple **Harmonic Balance (1-Tone)**=>
- Dans l'onglet "Project": 1 click D / "Analysis" → "Add Nexxim Solution Setup" → "Harmonic Balance (1-Tone)"
 - => Ouverture de la boîte de dialogue intitulée: "Harmonic Balance Analysis, 1 Tone"

Compléter la boîte de dialogue: "Harmonic Balance Analysis, 1 Tone" comme suit:

- Dans la case "Name", entrer : **HB1_test**
- Dans la case "Max. Harmonic Number", sélectionner: **7**
- Dans la case "F1 value", entrer : **403MHz**
- 1 click G / **OK** dans la boîte de dialogue: **Add/Edit Sweep**
- 1 click G / **OK** dans la boîte de dialogue: **Harmonic Balance Analysis, 1 Tone**

4°. Lancement de l'analyse : Harmonic Balance Analysis 1Tone

3. Dans l'onglet "Project": 1 click D / **Analysis**
 4. 1 click D / **HB1_test** > Sélectionner: **Analyze**
- ⇒ Lancement de l'analyse : Harmonic Balance 1Tone.

5°. Affichage des résultats: Spectre de Pout

Voir procédure détaillée au § 8.6.2.

⇒ Affichage du spectre en puissance généré en sortie sur le port 2, représenté figure 8.9:

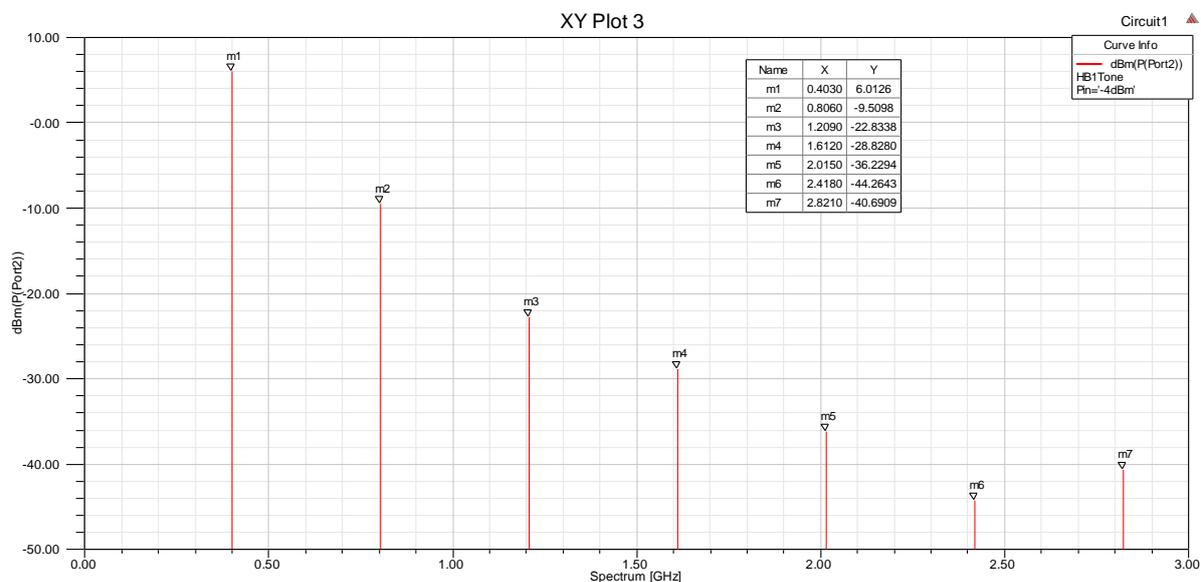


Figure 8.9 : Spectre en puissance généré sur la sortie de l'amplificateur

⇒ Le marqueur m1 permet de confirmer le résultat prévu par l'analyse Load Pull, puisque la puissance du fondamental (403MHz) est bien de $P_{out(dBm)} = +6dBm$.