

Simulation d'un amplificateur à 2 GHz

On désire réaliser un amplificateur à gain transductique G_T maximal à la fréquence de 2 GHz à partir d'un transistor bipolaire monté en émetteur commun. Dans cette configuration et pour une polarisation à $V_{CE} = 8$ V et à $I_C = 10$ mA, le transistor présente les paramètres S suivants :

$$S_{11} = 0,65 \angle 163^\circ \quad S_{21} = 3,06 \angle 60^\circ \quad S_{12} = 0,054 \angle 51^\circ \quad S_{22} = 0,42 \angle -41^\circ$$

Pour cela, on considère le montage de la figure 1 dans lequel les quadripôles Q_1 et Q_2 sont destinés à adapter l'entrée et la sortie du transistor (représenté par le quadripôle Q) à une fréquence donnée, c'est-à-dire à rendre le gain transductique maximal à cette fréquence. Q_1 et Q_2 sont des quadripôles passifs, ils réaliseront une adaptation simple stub.

Connaissant les paramètres S du transistor, on se propose de calculer les éléments de Q_1 et Q_2 qui réalisent l'adaptation.

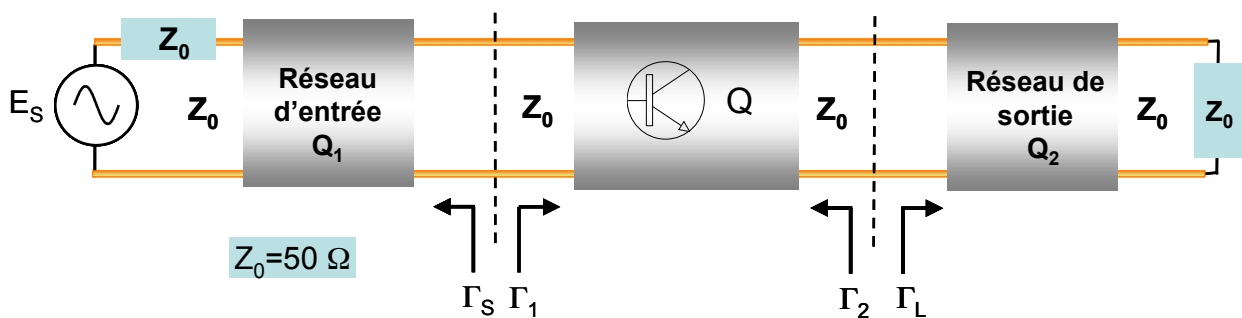


Figure 1 : Schéma du montage amplificateur

PARTIE THEORIQUE

I. CALCULS PRELEMINAIRES

1. Comme tout système physique présentant du gain, un amplificateur peut être à l'origine d'une instabilité et se comporter ainsi comme un oscillateur. Il convient donc de s'assurer de la stabilité de l'amplificateur. Typiquement, on calcule pour cela le déterminant D de sa matrice S. Si le module de D est inférieur à 1, l'amplificateur est inconditionnellement stable, c'est-à-dire que quelle que soit l'adaptation réalisée en entrée et en sortie de l'amplificateur, ce dernier ne rentrera pas en oscillation.

Calculer D, le déterminant de la matrice S, et s'assurer que l'amplificateur est inconditionnellement stable.

2. Afin d'obtenir le gain transducique G_T (gain de transfert en puissance ou *Transducer Power Gain* en anglais), défini comme le rapport entre la puissance délivrée à la charge et la puissance disponible à la source, le plus élevé possible, il faut réaliser une adaptation d'impédance conjuguée, simultanément en entrée et en sortie de l'amplificateur, soit :

$$\begin{aligned} \Gamma_S = \Gamma_1^* & \quad \text{ou} \quad Z_S = Z_1^* \\ \Gamma_L = \Gamma_2^* & \quad Z_L = Z_2^* \end{aligned}$$

Or, l'impédance d'entrée Z_1 de l'amplificateur dépend des propriétés de celui-ci (données par sa matrice S), ainsi que de l'impédance de charge Z_L vue en sortie. Ainsi, l'adaptation en entrée dépend de l'adaptation en sortie, et vice-versa. Il n'est donc pas toujours possible de réaliser une adaptation conjuguée parfaite simultanément en entrée et en sortie.

Pour cela, on calcule classiquement le facteur de Rollet K. Si K est supérieur à 1, alors l'adaptation parfaite en entrée et en sortie est possible. On donne :

$$K = \frac{1 + |D|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2|S_{12}||S_{21}|}$$

Calculer K, le facteur de Rollet, et s'assurer que l'adaptation simultanée entrée-sortie de l'amplificateur est possible.

3. Si l'amplificateur est inconditionnellement stable et adaptable, le gain transducique GT sera maximale, noté MAG (Maximum Available Gain), et donné par :

$$G_{T_{MAX}} = MAG = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|} \left(K - \sqrt{K^2 - 1} \right)$$

Calculer le MAG, et exprimer le en dB.

4. Afin de réaliser une adaptation conjuguée simultanée en entrée et sortie, il faut que les réseaux d'adaptation soient dimensionnés de sorte à vérifier les équations du second degrés suivantes :

Pour l'entrée :

$$C_1 \Gamma_S^2 - B_1 \Gamma_S + C_1^* = 0$$

$$\begin{aligned} C_1 &= S_{11} - D S_{22}^* \\ \text{avec} \quad B_1 &= 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |D|^2 \end{aligned}$$

Pour la sortie :

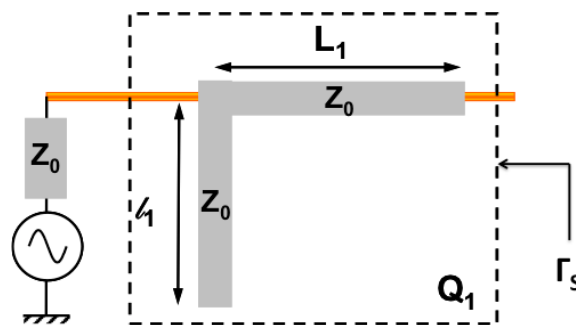
$$C_2 \Gamma_L^2 - B_2 \Gamma_L + C_2^* = 0$$

$$\begin{aligned} C_2 &= S_{22} - D S_{11}^* \\ \text{avec} \quad B_2 &= 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |D|^2 \end{aligned}$$

Calculer les coefficients de réflexion Γ_S et Γ_L (ne retenir que les solutions physiques).

II. DIMENSIONNEMENT DU RESEAU D'ENTREE Q_1

Le quadripôle Q_1 réalise une adaptation simple stub comme présentée dans la figure ci-dessous :

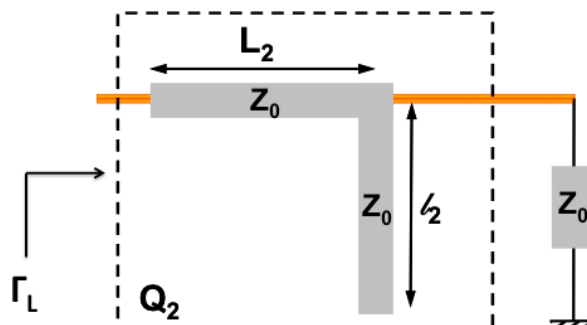


Le but est de dimensionner l'adaptation simple stub de façon à respecter la valeur de Γ_S trouvée dans la partie I.

1. Placer $\Gamma_1 = \Gamma_S^*$ sur l'abaque de Smith et relever l'impédance normalisée $z_1 = z_S^*$ correspondante. Déterminer ensuite l'impédance $Z_1 = Z_S^*$.
2. Trouver les dimensions L_1 et l_1 de façon à réaliser l'adaptation d'impédance entre Z_1 et Z_0 grâce à l'abaque de Smith (donner les résultats en termes de longueurs d'onde).

III. DIMENSIONNEMENT DU RESEAU DE SORTIE Q_2

Le quadripôle Q_2 réalise une adaptation simple stub comme présentée dans la figure ci-dessous :



Le but est de dimensionner l'adaptation simple stub de façon à respecter la valeur de Γ_L trouvée dans la partie I.

1. Placer $\Gamma_2 = \Gamma_L^*$ sur l'abaque de Smith et relever l'impédance normalisée $z_2 = z_L^*$ correspondante. Déterminer ensuite l'impédance $Z_2 = Z_L^*$.
2. Trouver les dimensions L_2 et l_2 de façon à réaliser l'adaptation d'impédance entre Z_2 et Z_L grâce à l'abaque de Smith.

PARTIE PRATIQUE

Dans cette partie pratique, on se propose de simuler, à l'aide du logiciel ADS, l'amplificateur avec ses réseaux d'adaptation en entrée et sortie à la fréquence de 2 GHz en technologie microruban sur un substrat de verre époxy dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Epaisseur du substrat : $h = 0.8 \text{ mm}$
- Constante diélectrique : $\epsilon_r = 4.3$
- Epaisseur de métallisation : $t = 35 \text{ }\mu\text{m}$
- Conductivité : $\sigma = 5.8 \times 10^7 \text{ }\Omega^{-1}.\text{m}^{-1}$
- Tangente de l'angle de pertes : $\tan\delta = 0.026$

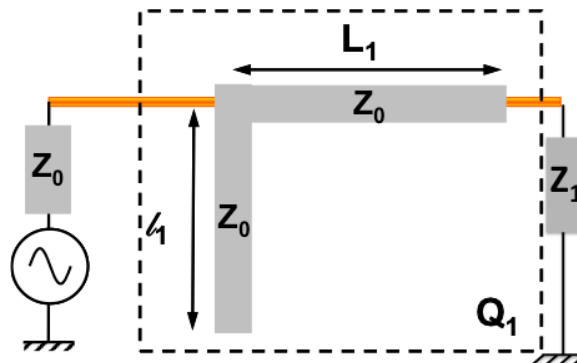
I. SIMULATION DE L'AMPLIFICATEUR SEUL

Dans le menu *Data Items*, sélectionner le composant *2-Port S-parameter File*. Ce composant est une boîte noire, comportant 2 ports et une référence (à mettre à la masse), dont les propriétés doivent être renseignées par une matrice S. L'amplificateur utilisé pour ce TP a été mesuré au VNA, et ses paramètres S en fonction de la fréquence sont donnés dans le fichier *AT42085.s2p*. Il convient donc d'importer ce fichier au sein du composant créé.

1. Simuler une telle structure avec des ports $50 \text{ }\Omega$ et vérifier la conformité des paramètres S obtenus par simulation avec ceux donnés préalablement.

II. ADAPTATION EN ENTREE

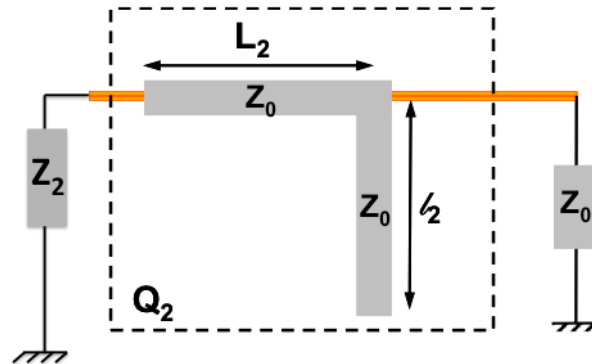
Le problème de l'adaptation d'entrée peut donc être modélisé comme suit :



1. Simuler une telle structure sur ADS (on utilisera des ports *Term* aussi bien en entrée qu'en sortie).
2. Tracer les paramètres S et commenter les résultats obtenus. Quelles sont les raisons qui font que la transmission n'est pas égale à 0 dB à 2 GHz ?
3. Tracer le S_{11} sur l'abaque de Smith et relever l'impédance à 2 GHz. Commenter.
4. Conclure

III. ADAPTATION EN SORTIE

Le problème de l'adaptation de sortie peut donc être modélisé comme suit :

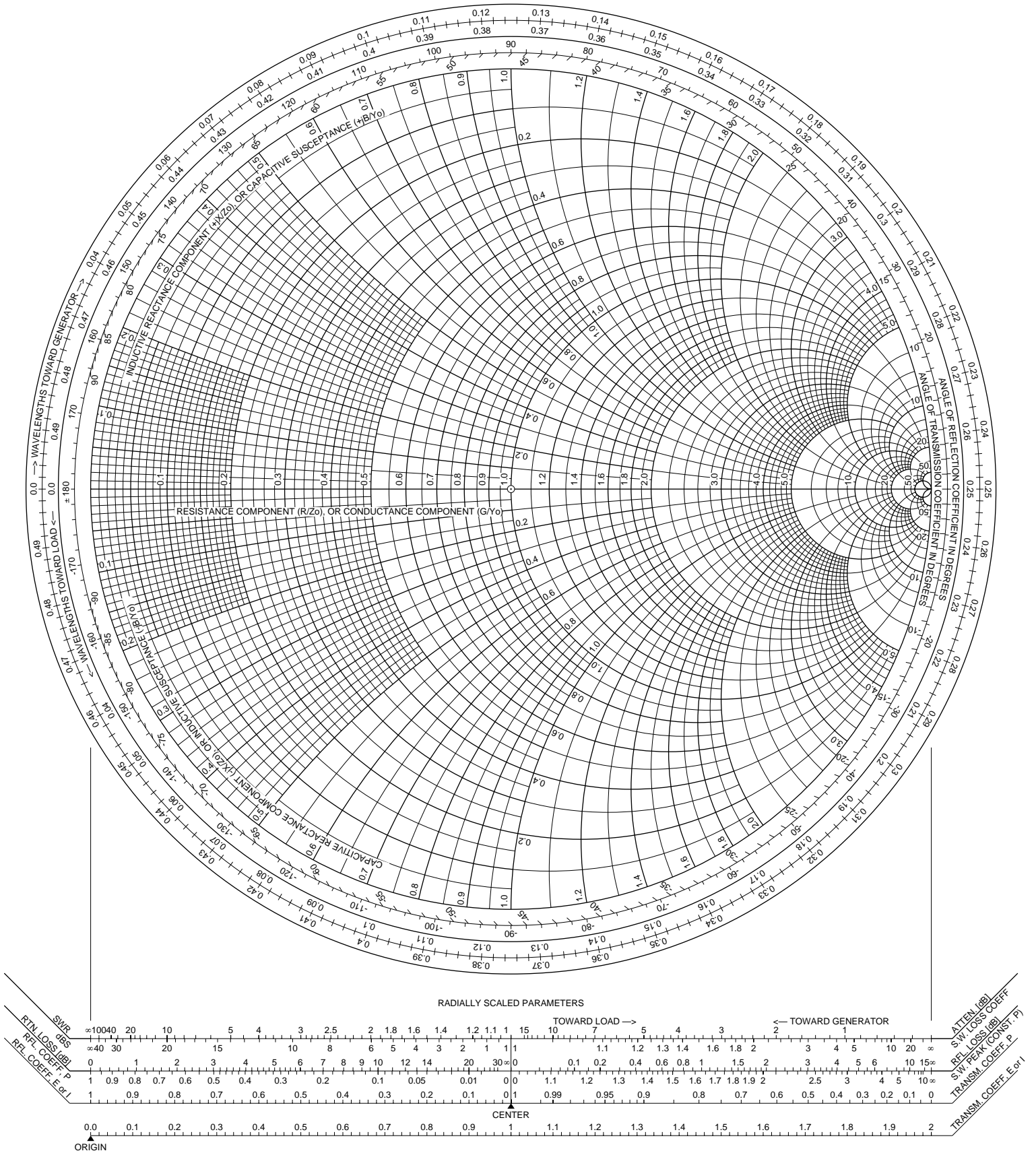


1. Simuler une telle structure sur ADS (on utilisera des ports *Term* aussi bien en entrée qu'en sortie).
2. Comme pour le réseau d'adaptation en entrée, commenter les résultats obtenus à partir des paramètres S et de l'abaque de Smith.
3. Conclure

IV. SIMULATION DE L'AMPLI ADAPTE EN ENTREE ET EN SORTIE

1. Simuler à présent l'amplificateur avec ses réseaux d'adaptation en entrée en sortie. Tracer les paramètres S et commenter. Quel est le gain de transmission obtenu à 2 GHz ? Le comparer avec le gain théorique attendu et justifier la différence.
2. Optimiser les longueurs de stubs ainsi que leur position afin de maximiser le MAG. On s'autorise une variation de 10% sur les variables en jeu.
3. Conclure

Smith Chart



Smith Chart

