

Dispositifs à Semiconducteurs

Caractérisation de la capacité d'inversion d'une diode

Travail Pratique 1 - Phase C



Professeur : Dr. Marco Mazza

marco.mazza@hefr.ch

Assistant : Armando Bourgknecht

armando.bourgknecht@hefr.ch

1 Introduction

Cette troisième session de laboratoire vise à mettre en pratique l'ensemble des connaissances acquises lors des deux premières sessions pour caractériser la capacité d'inversion d'une diode.

Maintenant que nous savons automatiser des équipements de mesure et caractériser des filtres à l'aide d'un diagramme de Bode, nous allons appliquer ces techniques pour caractériser un filtre analogique passe-bas du premier ordre, constitué cette fois-ci d'une résistance et d'une diode à capacité variable.

2 Organisation

Ce laboratoire est prévu pour se dérouler sur trois sessions (demi-jours) correspondant à trois phases : phase A, phase B et phase C.

Le matériel pour la phase C reprend ce que nous avons utilisé en phases A et B :

- Oscilloscope Keysight MSOX3034T
- Ordinateur portable personnel
- Environnement Python (version récente recommandée)
- Câble USB
- Câble coaxial RG58
- Platine avec connecteurs pour câbles coaxiaux RG58

Les bibliothèques Python utilisées lors de ce laboratoire sont listées ici :

- `pyvisa`
- `time`
- `matplotlib`
- `numpy`

Pour la phase C, nous aurons encore besoin des outils suivants :

- Logiciel LTSpice
- Résistance dans la gamme $100k\Omega$
- Diode à capacité variable BB112
- Sonde pour oscilloscope, modèle Keysight N2843A

3 Expérimentations

Chacune des expérimentations prévues pour ce laboratoire est listée sous cette section. La session est validée lorsque tous les points sont réalisés.

3.1 Simulation d'un filtre analogique avec diode varicap

Le fichier de simulation LTSpice du filtre à diode varicap est prêt à l'emploi ; il suffit de lancer la simulation et d'analyser le diagramme de Bode affiché.

1. Comprendre la structure des commandes `.ac` et `.step param` listées dans LTSpice
2. Simuler et interpréter les diagrammes de Bode : pourquoi y a-t-il plusieurs courbes ? À quoi correspondent-elles ?
3. Noter la valeur de la fréquence de coupure moyenne (par exemple : prendre la fréquence de coupure de la courbe du milieu)

Pour rappel, la fréquence de coupure d'un filtre analogique RC passe-bas du premier ordre est donnée (à la magnitude de $-3dB$) par la formule suivante :

$$f_{C,-3dB} = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3.1)$$

3.2 Montage du circuit

Une fois le circuit simulé, il est temps de le réaliser et de comparer les résultats empiriques à la simulation.

1. Connecter votre ordinateur à l'oscilloscope par USB
2. Réaliser le circuit montré à la figure suivante **SANS UTILISER LES SONDES DE L'OSCILLOSCOPE** ; utiliser uniquement des câbles coaxiaux

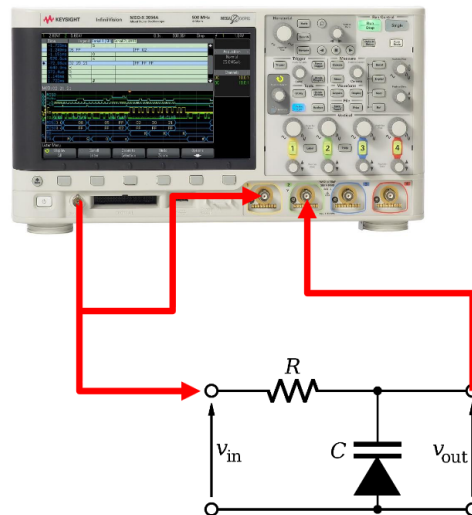


Figure 1 : Schéma de montage pour la caractérisation du filtre passe-bas avec diode varicap. La sortie de l'oscilloscope est connectée sur le canal 1 et à l'entrée du filtre. La sortie du filtre passe-bas est connectée au canal 2.

3.3 Calcul de la capacité à la fréquence de coupure

Lors du précédent laboratoire, nous avons appris que la réponse du filtre en magnitude vaut $-3dB$ lorsque nous sommes à la fréquence de coupure du filtre.

Nous allons effectuer un balayage en fréquence à l'aide de la recherche dichotomique pour trouver rapidement la fréquence de coupure, sans tracer le diagramme de Bode.

La caractérisation est pratiquement identique, mais il faut encore régler la plage de fréquence à balayer.

1. Régler le balayage en fréquence à deux décades autour de la fréquence de coupure. Se référer à la fréquence de coupure observée dans la simulation LTSpice.

Pour rappel, une **décade** correspond à un multiple de **dix** : avec un balayage de deux décades autour de la fréquence de coupure, nous balayons de $0.1f_c$ à $10f_c$.

2. Reprendre les commandes du programme Python élaboré lors du TP1 :B pour mesurer la fréquence et calculer la magnitude à $-3dB$

3. Effectuer la mesure de la fréquence de coupure pour cinq tensions de polarisation différentes

La génération du signal par l'oscilloscope est presque complète. Il reste à ajouter :

- Période du signal (commande :`WGEN:PER`)

Pour l'affichage des signaux sur l'oscilloscope, il reste à ajouter :

- Affichage du signal sur deux périodes (commande :`TIM:RANG`)

Pour la mesure des signaux sur l'oscilloscope, il reste à ajouter :

- Mesure de la fréquence (commande :MEAS:FREQ)
- Mesure des amplitude d'entrée et de sortie (commande :MEAS:VAMP)

3.4 Caractérisation de la capacité d'inversion de la diode

La capacité de la diode varicap varie et prend une valeur différente pour chaque tension de polarisation. Pour comprendre comment la valeur de la capacité varie en fonction de la tension de polarisation, nous allons établir un graphe pour tracer $C_{varicap}(V_{pol})$, en prenant à chaque fois la valeur de la capacité à la fréquence de coupure.

Pour chaque tension de polarisation, la valeur de la capacité du filtre à la fréquence de coupure est déterminée automatiquement à l'aide de l'algorithme de recherche dichotomique (code déjà prêt).

1. Comprendre le principe de recherche dichotomique
2. Établir le graphe de $C_{varicap}(V_{pol})$ et l'interpréter : comment la capacité varie-t-elle avec la tension de polarisation ? **Enregistrer le graphe**
3. Comparer le graphe établi à la fiche technique (*datasheet*) de la diode BB112
4. Refaire les mesures **EN UTILISANT LA SONDE DE L'OSCILLOSCOPE** ; le graphe $C_{varicap}(V_{pol})$ est-il différent ? Pourquoi ?

4 Synthèse et conclusion

Au terme de cette session l'étudiant doit pouvoir :

- Simuler un circuit à l'aide de LTSpice
- Établir une analyse en fréquence (commande .ac) selon un paramètre (commande .step) avec LTSpice
- Comprendre le comportement de la diode varicap comme une capacité variable
- Comprendre comment la capacité de la diode varicap varie en fonction de sa tension de polarisation
- Être capable de comparer des résultats théoriques, simulés et empiriques
- Comprendre comment le câblage du circuit affecte la mesure
- Comprendre (dans les grandes lignes) le principe de l'algorithme de recherche dichotomique

Références

- [Ana22] Anaconda. "Environnement de développement Anaconda", Accédé le 23 février 2022. <https://www.anaconda.com/>.
- [Bou22a] Armando Bourgknecht. "Annexe du TP1 phase B version corrigée 1.1". 2022. Haute École d'Ingénierie et d'Architecture de Fribourg.
- [Bou22b] Armando Bourgknecht. "Installation of a development environment for Python". 2022. Haute École d'Ingénierie et d'Architecture de Fribourg.
- [Pyt22a] Python. Documentation du gestionnaire de packet Python `pip`, Accédé le 23 février 2022. <https://pypi.org/project/pip/>.
- [Pyt22b] Python. Environnement de développement IDLE, Accédé le 23 février 2022. <https://docs.python.org/3/library/idle.html>.
- [Pyt22c] Real Python. Série d'articles et tutoriels pour Python, Accédé le 23 février 2022. <https://realpython.com/>.
- [Sie] Siemens. "Fiche technique de la diode varicap modèle BB112".
- [Tec] Keysight Technologies. "Manuel de programmation Keysight InfiniiVision 3000 X-Series Oscilloscopes".