

UE Consommation

TP suite au seminaire "Récupération d'énergie"

Dimitri Galayko

1 Introduction

Ce TP est consacré à une étude d'un circuit de conditionnement d'un transducteur électrostatique utilisé pour convertir l'énergie de vibration en une énergie électrique. Les deux circuits étudiés sont celui proposé par B. Yen en 2006, et celui proposé par Queiroz en 2007 (le doubleur de Bennet).

Pour chaque circuit étudié, on prendra dans un premier temps une capacité variable selon une loi fixée. Dans un deuxième temps, on testera chaque circuit avec un modèle de transducteur capacitif associé à un résonateur. Le modèle du transducteur/résonateur est issu de l'étude réalisée par P. Basset et. al. en 2012-2013.

Deux articles sont fournis: celui décrivant la modélisation de circuit de Yen à pompe de charge, et celui décrivant le dispositif MEMS modélisé.

2 Introduction : prise en main de l'outil de simulation et premier test

Nous utilisons l'outil de simulation de Mentor AdavncedMS permettant d'effectuer une simulation en langage VHDL-AMS.

Pour installer votre environnement de simulation, effectuer les démarches suivantes :

- Logez vous sur la machine *kerosen* (pour les étudiants à l'ENSEA)
- créer un répertoire de travail (par ex., *TP1*),
- copiez y le contenu de l'archive .zip fourni par l'enseignant,
- dans un terminal, mettez vous dans ce répertoire. Toutes les commandes sont à exectuer à partir du répertoire.

Pour compiler/simuler, vous avez besoin d'executer 4 commandes :

- *valib TP* : crée une bibliothèque nommée TP pour vos modèles,
- *vasetlib TP*: définit TP comme bibliothèque de travail. Par défaut, elle contiendra les nouveaux modèles compilés.

- *vacom modele.hdl* : compile le modele VHDL-AMS contenu dans le fichier modele.hdl. Pour compiler les modèles fourni par l'enseignant, vous devrez lancer *vacom *.hdl*

Chaque fois que vous modifiez le modèle VHDL-AMS, il faudra le recompiler.

- *vasim&* : lancement de l'environnement de simulation.

Votre environnement est prêt. Voici quelques remarques concernant l'utilisation de cet environnement.

- Le modèle du système complet est composé de deux types de fichiers: un fichier Eldo, avec extension .cir, et un ou des fichiers .vhd contenant les modèles VHDL-AMS.

- Les modèles VHDL-AMS doivent être compilés à chaque modification. Les fichiers .cir sont directement interprétés par le logiciel *vasim*.

- Chaque fois que vous modifiez vos modèles, il faut recharger (*reload*) le modèle.
- C’est le fichier eldo (.cir) qui contient la description de plus haut niveau (le niveau *top*).

La documentation. La plate-forme AdvanceMS est abondamment documentée. Toute la documentation se trouve dans le répertoire :

<chemin d’installation du Mentor>/docs/

Dans ce répertoire, il y a des sous-répertoires *htmldocs* et *pdfdocs*, qui contient la même documentation sous forme de .pdf ou une archive .html. Il peut être pratique de naviguer dans une arborescence .html, pour cela, dans le répertoire correspondant, il faut chercher le fichier *index.html* et l’afficher avec le navigateur.

Les fichiers .pdf (ou les répertoires archives html) qui vous seront utiles sont :
eldo_user.pdf - manuel d’utilisateur Eldo, avec beaucoup d’informations sur les bases d’utilisation d’Eldo,

eldo_ref.pdf - manuel de référence sur les commandes Eldo

vhdlams_gr.pdf - référence sur le langage VHDL-AMS

adms_user.pdf - manuel d’utilisateur de l’environnement AdvanceMS

adms_ref.pdf - manuel de référence sur l’environnement AdvanceMS.

3 Test des modèles

Le fichier *capa_variable.vhd* contient le modèle d’une capacité qui varie dans le temps selon une loi sinusoidale. Pour la tester, on va modéliser le circuit composé d’une source DC connectée en parallèle, et on va mesurer le courant qui traverse la source. Ce circuit est modélisé dans le fichier *capa_variable.cir*.

Exercice. Etant donné les paramètres de la capacité variable donnés dans les deux modèles, calculez l’amplitude du courant, et comparez la avec l’amplitude donnée par la simulation.

3.1 Génération d’électricité avec une capacité variable

On va maintenant rendre le circuit autonome: on supprime la source d’alimentation *Vin* et on le remplace par une capacité fixe de valeur 10 μ F, chargée à 10 V. Pour cela dans le fichier *capa_variable.cir* on remplace la ligne correspondante par la ligne:

C N1 0 10u ic=10

Effectuez une série de simulation en faisant varier la résistance R de 1 MOhms à 30 MOhms avec un pas de 5 MOhms. Observez le courant dans la résistance, la tension sur la capacité variable et sur la capacité fixe. Concluez sur l’énergie électrique générée. Estimez (par simulation) la puissance de cette génération.

Affichez l’évolution des états de la capacité variable dans les axes ”tension-charge”.

3.2 Test du modèle de résonateur à interface capacitive

Ouvrez maintenant le fichier *capa_variable_resonator.cir*. Dans ce fichier, un modèle de capacité variable est remplacé par un modèle d’un transducteur capacitif mis en mouvement par un résonateur, soumis à des vibrations. Le modèle de ce dispositif se trouve dans le fichier *transducer_resonator.vhd*.

Observez le déplacement de la masse mobile, la variation de la capacité. Modifiez le fichier pour que la source de tension de polarisation génère une rampe lente, allant de 0 à 30 V en un temps égal à 1 seconde. Mettez en évidence la variation de l’amplitude de déplacement de la masse mobile, et faites une conclusion quant à la présence d’un couplage électromécanique.

4 Pompe de charge

On utilise maintenant ce modèle de capacité variable pour étudier la pompe de charge. La pompe de charge est modélisée dans le fichier *chargepump.cir*. Ce fichier permet de faire une simulation temporelle d'une pompe de charge, depuis le démarrage ($U_{var} = U_{res} = U_{store}$) jusqu'à la saturation. Dans ce modèle, la capacité variable varie selon une loi fixée.

Modélisez le circuit décrit dans *chargepump.cir*. Ce script fait afficher les tensions sur les trois noeuds, mais aussi les énergies instantanées des condensateurs et l'énergie totale du circuit. On constate que l'énergie du circuit évolue d'une manière complexe avec le temps, et qu'il existe une zone où la production de l'énergie est maximale.

4.1 Cycle Q-V

Affichez la quantité "charge" du modèle de condensateur, et grâce à la fonction "graphique en mode XY" de Ezwave, tracer le trajectoire de la capacité variable dans les axes Q-V.

4.2 Energie estimée

Estimez la puissance maximale que la capacité variable insanciée dans le circuit *chargepump.cir* peut produire pour la valeur de U_{res} et la fréquence données dans ce circuit. Comparez avec la puissance maximale de génération de l'énergie par la capacité variable dans la question 3.1.

4.3 Augmentez la capacité variable

Augmentez les valeurs de C_{max} et C_{min} par un facteur de deux, refaites la simulation et mesurez la nouvelle valeur de la puissance maximale générée par la pompe de charge.

Ensuite, mettez C_{max} et C_{min} à leurs anciennes valeurs et augmentez la tension initiale du circuit par un facteur de deux. Resimulez et mesurez la nouvelle puissance maximale. Qu'est-ce qui est plus avantageux : augmenter la tension ou augmentez les capacités ?

4.4 Test du circuit avec un résonateur à interface capacitif

Pour tester ce modèle avec un résonateur, lancer la simulation avec le modèle défini dans le fichier *chargepump_resonator.cir*.

5 Circuit de retour

Pour introduire le circuit de retour, nous fournissons un modèle de switch dont l'ouverture et la fermeture sont commandées par une tension: le switch devient passant lorsque la tension de contrôle dépasse un seuil haut (V2), et redevient bloqué lorsque la tension dépasse un seuil basse (V1). Pour plus d'information, cf. le modèle "switch.vhd" et l'article joints.

Ce switch est commandé par la tension U_{store} . On règle la valeur du seuil haut (V2) à une valeur de tension plus faible que la tension de saturation de U_{store} . Lorsque U_{store} atteint cette valeur, le switch devient passant, le circuit de retour est activé, et la tension U_{store} baisse jusqu'à V1, le switch se bloque.

Ce modèle est réalisé dans le fichier *chargepump_flyback.cir*. Par défaut, les valeurs des tensions de seuil sont 0 et 1000 pour V1 et V2: cela veut dire que le

switch est toujours bloqué et le circuit fonctionne en régime d'une pompe de charge (testez le).

5.1 Choix de V1 et de V2

D'après les résultats de simulation de la pompe de charge, choisissez pour V1 et V2 les valeurs appropriées, modifiez le fichier et lancez la simulation de 20 secondes de fonctionnement.

Observez maintenant l'évolution de l'énergie totale du circuit. Si les valeurs de V1 et V2 sont bien choisies, vous devez avoir (en moyenne) une ligne droite à pente positive, ce qui voudrait dire que l'énergie du système croît en permanence. D'après la pente de cette droite, estimez la puissance produite par le système.

6 Modélisation de circuit de Bennet

6.1 Modélisation avec une capacité qui varie selon une loi fixe

Dans un premier temps, on va considérer un doubleur de Bennet fonctionnant avec une capacité variable définie par une loi fixe. Pour cela, on considère le fichier *bennet_classique.cir*.

Observez l'évolution de la tension sur les capacités Cres et Cstore. Visualisez les courants dans les diodes D1-D3. Comparez ces courants, et faites une conclusion quant au rôle de la diode Db2.

6.2 Modélisation avec un résonateur et transducteur

On considère maintenant un circuit de Bennet interfacé avec un résonateur par un transducteur capacitif. On prend le fichier *bennet_classique_avec_resonator.cir*.

Visualisez la tension sur Cres, le déplacement de la masse mobile, et variation de la capacité du transducteur. Expliquez la différence avec le comportement obtenu pour une capacité variable "idéale" dans la question précédente.

Modifiez la valeur de l'accélération entre 1 et 2 g, avec pas de 0.1g. Commentez l'évolution de la tension sur Cres.

Mesurez la puissance maximale que ce circuit est capable de générer avec une accélération de 1.3g.

7 Bibliographie

D. Galayko et al., AMS modeling of controlled switch for design optimization of capacitive vibration energy harvester, BMAS2007 international conference, 2007, San José, CA

B. C. Yen, J. H. Lang, "A variable-capacitance vibration-to-electric energy harvester", IEEE transactions on Circuits and Systems – I: Regular Papers, vol. 53, pp. 288-295, February 2006

Basset, P., Galayko, D., Cottone, F., Guillemet, R., Blokhina, E., Marty, F. and Bourouina, T. (2014). Electrostatic vibration energy harvester with combined effect of electrical nonlinearities and mechanical impact. Journal of Micromechanics and Microengineering, 24(3), 035001.