

PROJET PHYSICIENS – 2ⁱème Semestre
Sujet 2 - Xavier Paillon - DIA005
xavier.paillon@epfl.ch

SYSTEMES CHAOTIQUES

ETUDE DU CIRCUIT DE CHUA **SENSIBILITE DES SYSTEMES CHAOTIQUES**

Directives

L'objectif de ce projet est de vous familiariser avec le chaos, et en particulier les circuits chaotiques.

Vous mettrez en évidence la sensibilité des systèmes chaotiques et vous montrerez en travaux pratiques ainsi qu'en simulation les différents régimes chaotiques du circuits de Chua.

Dans ce projet, il sera essentiel de faire ressortir vos qualités d'observation, de rigueur et de réflexion plus que la théorie des systèmes chaotiques.

Références

- 3 steps to chaos Part I and II , IEEE Transactions on Circuits and Systems, Vol. 40 n°10 1993, M.P. Kennedy
- A universal circuit for studying and generating chaos Part II : Strange Attractors, IEEE Transactions on Circuits and Systems, Vol 40 n°10 1993, L. Chua – Chai Wah Wu – A. Huang – Guo Qun Zhong
- An Exploration of Chaos Vol III, Text on Computational Mechanics, North Holland, J. Argyris – G. Faust – M. Haase

Introduction

La science du 20ⁱème siècle a été marquée par trois découvertes majeures :

- La relativité
- La mécanique quantique
- Le chaos

Henri Poincaré, à la fin du siècle dernier, réussit à mettre en évidence la possibilité de comportements irréguliers dans les systèmes déterministes. C'est Edward Lorentz, un météorologue américain, qui fut le premier à comprendre et à déterminer un modèle mathématique du chaos.

Système déterministe : dans un système déterministe, des conditions initiales identiques conduisent à des évolutions identiques.

Système chaotique: un système chaotique est un système déterministe dynamique qui possède un comportement imprévisible à long terme. Cette imprévisibilité est due à la sensibilité aux conditions initiales, particularité des systèmes chaotiques.

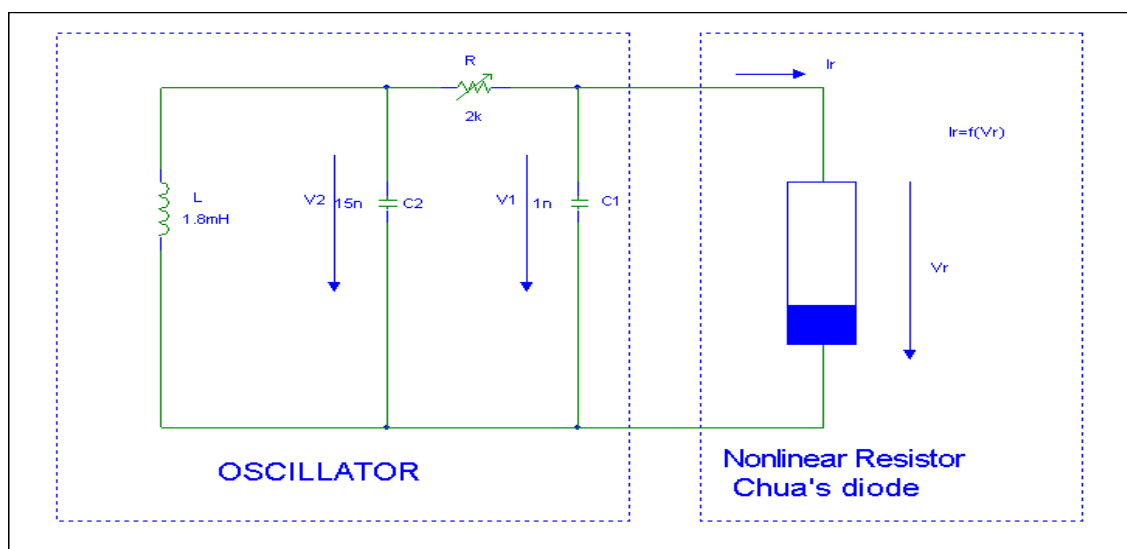
Circuit de Chua

Pour observer des comportements chaotiques à l'aide d'un circuit électrique à boucle continue, ce circuit doit posséder

- Au moins 1 élément non linéaire
- Au moins une résistance active
- Au moins 3 éléments capables de stocker de l'énergie (capacité, inductance)

On obtient alors un système d'équations différentielles d'ordre 3.

Schéma du circuit :

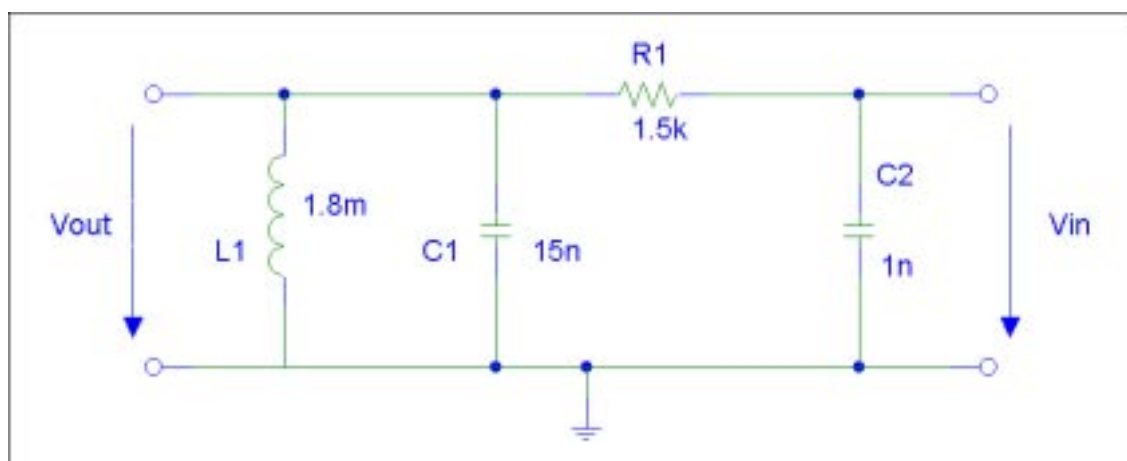


1/ Etude de l'oscillateur

Etudiez de façon théorique et expérimentale le circuit ci-dessous, calculez la fonction de transfert en ayant au préalable étudié le rôle des composants de ce circuit.

A l'aide de PSPICE tracez les diagrammes de Bodes théoriques pour différentes valeurs de composants et comparez vos résultats.

Déterminez les différentes fréquences de coupures suivant les valeurs des composants choisis.

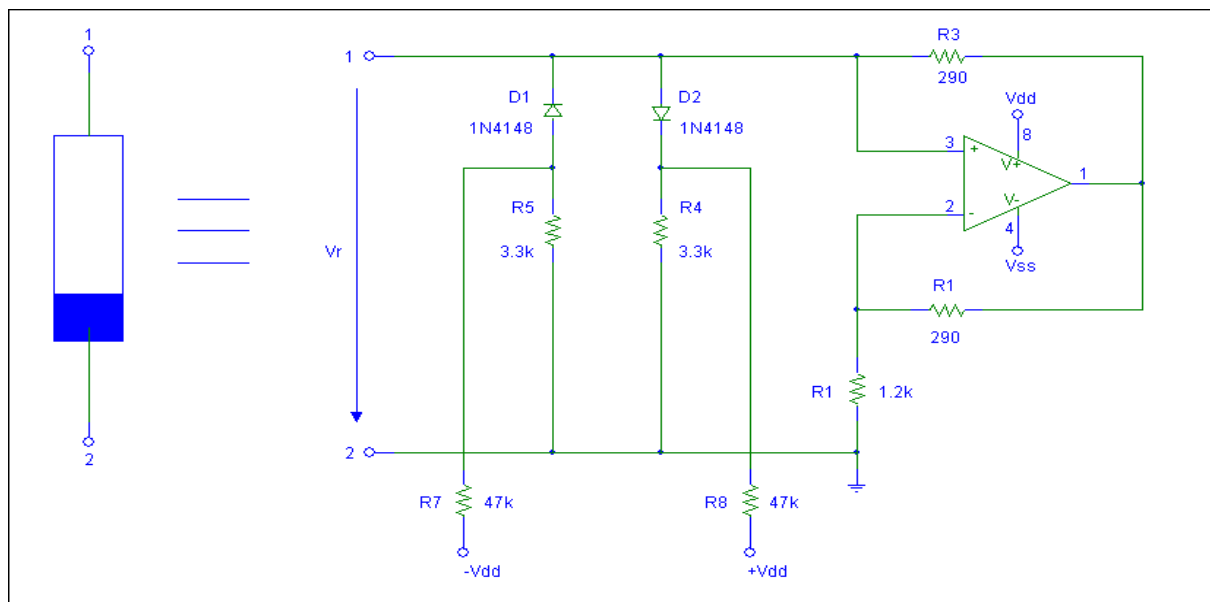


2/ Equations différentielles et attracteur.

Reprendre le circuit de Chua et déterminer le système d'équations différentielles de ce circuit (raisonnez sur les courants) en fonction de L , I_L , V_1 , V_2 , C_1 , C_2 , $f(V_r)$ et $G=1/R$.
Donnez la définition et « l'utilité » de l'attracteur, dessinez quelques exemples.

3/ Etude de la non linéarité (la diode de Chua)

Dans le circuit de Chua, la non linéarité ou diode de Chua peut être représentée par le circuit suivant :



Les caractéristiques théoriques de la diode de Chua vous sont données ci-dessous :

$$f(V_r) = \begin{cases} G_b.V_r + (G_b - G_a).E & V_r < -E \\ G_a.V_r & -E < V_r < +E \\ G_b.V_r + (G_a - G_b).E & V_r > +E \end{cases} \quad (1)$$

$$G_b = -\left[\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_1} \right] = -\frac{R_4 + R_1}{R_4.R_1} \quad (2)$$

$$G_a = -\frac{1}{R_1}$$

3.1/ Simulation

A l'aide PSPICE simulez cette non linéarité et tracez la caractéristique $I_r=f(V_r)$ de la diode de Chua.

Déterminez le type de source à utiliser pour visualiser la caractéristique et expliquez votre schéma électrique.

Expliciter G_a d'après la caractéristique et le schéma électrique de la non linéarité.

Retrouver intuitivement les valeurs de E , G_a , G_b sur la caractéristique.

A partir de vos simulations déterminer le ou les paramètres proportionnels à la valeur E (paramètres qui ont une influence sur E).

Tracez plusieurs caractéristiques en fonction de valeurs différentes pour les composants électriques choisis, conclusions.

3.2/ Travail expérimental

Réalisez le schéma électrique et visualisez à l'oscilloscope plusieurs caractéristiques.

Ou placer les potentiomètres pour observer différentes caractéristiques.

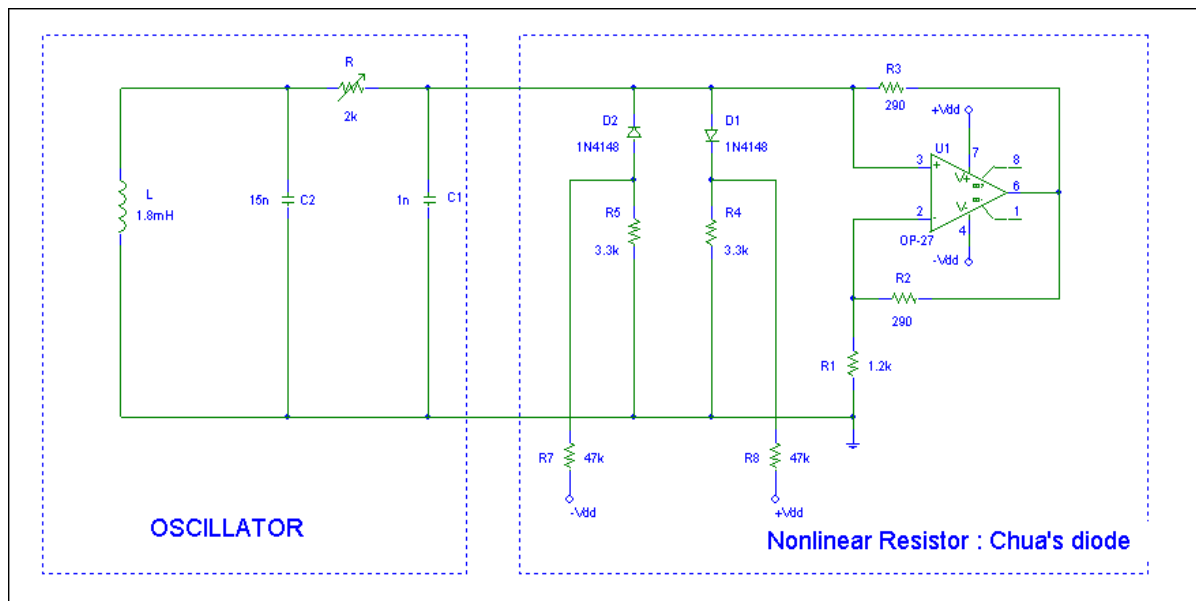
Commentez vos résultats et vos différences avec la simulation PSPICE.

Déterminez la bande passante de la diode de Chua, conclusions.

Expliquez les imperfections observées.

4./ Etude du circuit de Chua

Pour cette partie du projet vous utiliserez le schéma donné ci dessous :



Dans la partie expérimentale vous utiliserez des valeurs normalisées pour les composants électriques.

Le but ici est de vous familiariser avec la sensibilité des circuits chaotiques et l'observation des différents attracteurs étranges accessibles avec le circuit de Chua.

4.1/ Simulation

Dans cette partie du projet, vous allez :

- Mettre en évidence l'importance de la précision des calculs dans PSPICE
- Etudier la sensibilité du circuit
- Visualiser différents régimes chaotiques
- Préparer votre partie expérimentale

Comme dans la partie expérimentale vous visualiserez les tensions aux bornes des capacités C1 et C2.

- a. Fixez tous les paramètres constants et faites varier R entre 1.4k et 2k Ohms environs. Notez les différents régimes observés. Modifiez la sensibilité des calculs dans les zones importantes, conclusions sur cette sensibilité.
En déduire les zones (plages de variations de R) où on peut observer des signaux chaotiques, conclusions.
- b. Dans une représentation XY tracez les attracteurs observés : régimes périodiques, quasi-périodiques, chaotiques, transitions)
- c. Réalisez une étude sur la sensibilité du circuit de Chua à la température, dans une région chaotique puis dans une région périodique, conclusions.
- d. Deux circuits identiques et dans le même Schematic PSPICE donnent-ils le même résultat ? si non, pourquoi ?
- e. Refaites des simulations en changeant le modèle de l'amplificateur opérationnel (uA741, TL082...), conclusions.

4.2/ Travail expérimental

- a. Réalisez le circuit le plus « proprement » possible afin d'éviter tout les effets parasites.
- b. Essayez de retrouver les différents régimes de fonctionnement du circuit (Chaotiques, périodiques,...). Donnez la plage expérimentale de variation de R pour visualiser du chaos.
- c. Quelle est l'influence de la tension d'alimentation des amplificateurs opérationnels sur les régimes observés ?
- d. Faites vos remarques sur les difficultés rencontrées et déterminez des conclusions précises et rigoureuses sur la sensibilité du circuit.
- e. Refaites des simulations PSPICE avec les valeurs normalisées des composants que vous avez utilisé, en tenant compte du schéma expérimental et des « subtilités » des composants.
- f. Comparaisons PSPICE/Expérimentation, conclusions...

5/Conclusion

Etablir une conclusion détaillée sur le mini-projet, le circuit de Chua et sa sensibilité. Etc...