

Du circuit électrique analogique à son modèle numérique

Nous cherchons à conserver un savoir-faire concernant l'étude des circuits électriques dans un monde où l'intelligence artificielle joue un rôle prépondérant dans les processus de développement scientifique. Partant d'un circuit électrique schématisé, créer un modèle simplifiant sa résolution permet de réduire les coûts et le temps de développement.

Il s'agit, à travers ce travail, de transformer les circuits électriques analogiques d'autrefois en leurs modèles numériques, plus adaptés aux outils et aux méthodes de travail d'aujourd'hui. Ce travail sert la transition de l'analogique vers le numérique dans l'industrie de l'électronique.

Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.

Liste des membres du groupe :

- *POUX Romain*

Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :

- *INFORMATIQUE (Informatique pratique)*
- *INFORMATIQUE (Informatique Théorique)*
- *SCIENCES INDUSTRIELLES (Electronique)*

Mots-clés (ÉTAPE 1) :

Mots-clés (en français) Mots-clés (en anglais)

<i>Modélisation</i>	<i>Modeling</i>
<i>Circuits électriques</i>	<i>Electrical circuits</i>
<i>Graphes</i>	<i>Graphs</i>
<i>Analyse syntaxique</i>	<i>Syntax analysis</i>
<i>Simulation</i>	<i>Simulation</i>

Bibliographie commentée

La modélisation numérique des circuits électriques est une discipline essentielle dans le domaine de l'ingénierie électrique et électronique. Elle permet de simuler le comportement des circuits sans avoir besoin de les construire physiquement, ce qui réduit considérablement les coûts et le temps de développement. En utilisant des modèles mathématiques et des algorithmes de simulation, les ingénieurs peuvent analyser et optimiser les performances des circuits avant leur fabrication.

La modélisation numérique repose sur des équations différentielles qui décrivent les relations entre les tensions, les courants et les composants du circuit. Ces équations sont résolues numériquement à l'aide de logiciels spécialisés, tels que *SPICE* (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis), qui permettent de simuler le comportement des circuits. [1]

Cependant, *SPICE* présente certaines limitations, notamment en termes de flexibilité et d'automatisation. Les utilisateurs doivent créer manuellement des fichiers de description de circuits nommés *netlists* [1] et interpréter les résultats de simulation, ce qui peut être fastidieux et sujet à des erreurs.

Une piste intéressante pour surmonter ces limitations serait de développer des méthodes automatisées de modélisation et de simulation des circuits électriques. En utilisant des techniques de modélisation par graphe et par compilateur syntaxique, il est possible de transformer automatiquement une représentation schématique d'un circuit en un modèle numérique.

La première approche consiste à modéliser le circuit comme un graphe dont les arêtes, correspondant aux mailles du circuit, sont étiquetées par des chiffres représentant les dipôles, et les sommets correspondent aux nœuds du circuit. [2]

La représentation graphique des circuits permet une visualisation claire et intuitive des connexions et des composants. Cela facilite la manipulation et l'analyse des données, surtout pour les circuits complexes.

Une des techniques clés dans la modélisation par graphe est l'analyse des courants de boucles. Cette méthode, décrite en détail par Guillemain [2] et dans [3], permet d'obtenir systématiquement les équations nécessaires à la résolution du circuit.

Une implémentation efficace de cette technique est possible en utilisant un algorithme d'énumération de chemins sans cordes dans un graphe. [4]

Bien que la modélisation par graphe soit efficace pour les circuits de taille modérée, elle peut devenir complexe et difficile à gérer pour les très grands circuits.

Une autre approche prometteuse pour la modélisation des circuits électriques simples repose sur l'utilisation de méthodes algébriques, comme l'approche par analyse syntaxique. Cette technique permet d'écrire les équations du circuit sous une forme plus compacte et systématique, facilitant ainsi leur résolution numérique.

Cette méthode consiste à analyser lexicalement et syntaxiquement l'expression du circuit, pour ensuite la représenter sous la forme d'un arbre syntaxique. Chaque nœud de l'arbre correspond à un opérateur ou à un dipôle, et les branches représentent les relations entre ces éléments. [5]

Enfin, certaines études explorent l'application de méthodes symboliques pour générer automatiquement les équations des circuits à partir de leur schéma. Ces techniques, basées sur l'

analyse nodale modifiée (MNA) [6], sont particulièrement utiles pour les circuits contenant des sources dépendantes et des composants non linéaires. Elles offrent une alternative robuste aux méthodes purement numériques, en fournissant des solutions analytiques facilitant l'interprétation des résultats.

Problématique retenue

Comment, à partir d'un graphe ou d'un dessin fourni par l'utilisateur, modéliser un circuit électrique quelconque pour obtenir un système d'équations contenant les informations essentielles du circuit ?

Objectifs du TIPE du candidat

- Comprendre la théorie de l'analyse des circuits en tant que graphe pour décrire une méthode de résolution
- Implémenter en C une bibliothèque de gestion de graphes et des algorithmes pour obtenir des équations
- Vérifier expérimentalement les résultats renvoyés par la simulation
- Créer une interface utilisateur intuitive permettant de fournir un dessin en entrée

Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

- [1] LAURENCE W. NAGEL : SPICE2: A Computer Program to Simulate Semiconductor Circuits : <http://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/1975/ERL-m-520.pdf>
- [2] GUILLEMIN, ERNST A. : Introductory circuit theory : <https://archive.org/details/introductorycirc0000guil/>
- [3] DESOER, C. A., & KUH, E. S. : Basic Circuit Theory : <https://archive.org/details/basiccircuittheo0000deso/>
- [4] TAKEAKI UNO, HIROKO SATOH : An Efficient Algorithm for Enumerating Chordless Cycles and Chordless Paths : <https://arxiv.org/pdf/1404.7610>
- [5] FARAHANI MEHRSHAD : Naive Circuit Simulator : <https://github.com/FarahaniMehrshad/NaiveCircuitSimulator/tree/master?tab=readme-ov-file#the-algorithm>
- [6] HO, C.-W., RUEHLI, A. E., & BRENNAN, P. A. : The Modified Nodal Approach to Network Analysis : <https://cseweb.ucsd.edu/classes/fa04/cse245/Reading/MNA.pdf>