

REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEINEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE DE BATNA  
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR

MEMOIRE

*Présenté au*

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

*Pour l'obtention du diplôme de*

MAGISTER EN MICROELECTRONIQUE

Option : IC Design

*Par*

Souhil KOUDA

Ingénieur, Département d'Electronique-Université de Batna

*Intitulé*

---

# *Conception D'un Capteur D'Humidité Intelligent*

---

*Devant le jury constitué de :*

|                        |               |            |
|------------------------|---------------|------------|
| Dr. BENHAYA Abdelhamid | M.C. U. Batna | Président  |
| Dr. DIBI Zohir         | M.C. U. Batna | Rapporteur |
| Dr. AYAD Fayçal        | M.C. U. Jijel | Examineur  |
| Dr. OUNISSI Abdelhamid | M.C. U. Batna | Examineur  |
| Dr. MAHAMDI Ramdan     | M.C. U. Batna | Examineur  |

# Sommaire

|  |    |
|--|----|
| <b>Introduction générale</b> .....   | 5  |
| <b>Chapitre I : Capteur d'humidité</b> .....                                   | 8  |
| Introduction .....   | 9  |
| I.1. Capteur d'humidité.....   | 9  |
| I.1.1. Capteur d'humidité capacitif.....                                       | 10 |
| I.1.2. La détermination de l'humidité.....                                     | 10 |
| I.1.3. Capacité pour la diffusion dans un corps rectangulaire.....             | 11 |
| I.2. Capteur d'humidité MEMS .....   | 16 |
| I.3. Sensibilité à l'humidité .....  | 17 |
| I.4. Effet thermique sur la sensibilité à l'humidité .....                     | 18 |
| I.5. Etude du modèle analytique .....  | 19 |
| I.6. La non linéarité.....   | 20 |
| <b>Conclusion</b> .....  | 21 |
| <b>Chapitre II : Réseaux de neurones et linéarisation</b> .....                | 22 |
| Introduction .....   | 23 |
| II.1.1. Modèle d'un neurone.....   | 23 |
| II.1.2. Fonctions de transfert .....   | 26 |
| II.1.3. Architecture de réseau .....   | 29 |
| II.1.4. Le perceptron multicouches .....                                       | 33 |
| II.1.5. L'apprentissage (supervisé) .....                                      | 33 |
| II.1.6. La rétro-propagation.....  | 34 |
| II.2.1. Erreurs dans la courbe de transfert de capteur.....                    | 35 |
| II.2.2. Fonction de transfert de capteurs.....                                 | 36 |
| II.2.3. Linéarisation .....  | 38 |
| II.2.4. Linéarisation de caractéristique de capteur .....                      | 38 |
| II.2.5. Linéarisation basée sur l'ajustement de courbe « Curve-fitting » ..... | 40 |
| Conclusion .....   | 41 |
| <b>Chapitre III : Modélisation du capteur d'humidité par les ANNs</b> .....    | 42 |
| Introduction .....   | 43 |
| III.1. Modélisation du CHS .....   | 43 |
| III.1.1. Choix de la base de données.....                                      | 43 |
| III.1.2. Création d'une base de validation .....                               | 44 |
| III.1.3. L'apprentissage du réseau de neurone.....                             | 45 |
| III.1.4. Mesure de la performance du modèle obtenu.....                        | 49 |
| III.2. Modèle ANN du CHS sur PSPICE .....                                      | 51 |
| III.3. Confirmation du comportement capacitif du modèle CHS .....              | 54 |
| III.4. Convertisseur Capacité / Tension (CVC).....                             | 55 |

|   |    |
|---|----|
| Conclusion.....   | 56 |
| <b>Chapitre IV : Modèle intelligent (INV-ANN)</b> ..... | 57 |
| Introduction .....                                      | 58 |
| IV.1. Modélisation du INV-ANN.....                      | 58 |
| IV.1.1. Linéarisation de la sortie du modèle CHS .....  | 58 |
| IV.1.2. Création des bases de données et de tests.....  | 59 |
| IV.1.3. L'apprentissage du réseau de neurone.....       | 60 |
| IV.1.4. Mesure de la performance du modèle obtenu.....  | 61 |
| IV.2. Modèle INV-ANN du CHS sur Pspice.....             | 63 |
| IV.3. Modélisation du capteur intelligent.....          | 64 |
| IV.4. Test du capteur intelligent .....                 | 64 |
| IV.5. Test pour un cycle d'humidité.....                | 65 |
| IV.6. Test pour un cycle de température.....            | 67 |
| Conclusion.....   | 67 |
| <b>Conclusion générale</b> .....                        | 68 |
| <b>Bibliographie</b> .....                              | 70 |

## Résumé

Ce travail vise à concevoir un capteur d'humidité intelligent, dont l'objectif est d'éliminer, la non linéarité et la sensibilité multiple, de la sortie du capteur utilisé. Ce capteur d'humidité est de type MEMS capacitif. A l'aide des réseaux de neurone et l'environnement Matlab on est passé par la phase d'apprentissage pour concevoir un modèle ANN. Un modèle de ce composant a été inséré à la bibliothèque du simulateur PSPICE, dont la sortie reproduit fidèlement le comportement du capteur d'humidité MEMS utilisée. Du fait que notre capteur est de type capacitif, le modèle obtenu sur PSPICE traduit la variation de l'humidité par une variation d'une capacité. Cette dernière est une grandeur passive qui nécessite une conversion en une grandeur active. A cet égard nous avons réalisé un circuit de conversion capacité/tension. Une linéarisation, par un programme Matlab, est appliquée à la réponse de l'ANN dont le but est de créer une base de donnée d'un élément de correction permettant de corriger sa réponse non linéaire. L'apprentissage pour cette nouvelle base de donnée nous donne le modèle inverse INV-ANN. Les trois blocs, modèle ANN, modèle inverse INV-ANN et le convertisseur capacité tension, constituent le capteur intelligent.

### Mots clés :

Capteur d'humidité, Modèle direct, Modèle inverse, Réseaux de neurones, MLP, MEMS.

### Abstract

This work aims to achieve a design of a smart humidity sensor, the goal of this study is to eliminate the non-linearity and the cross sensitivity of the output sensor used. The humidity sensor is a MEMS Capacitive kind. Using neuronal networks and Matlab environment we have done the training to design an analytical model ANN and create a model for this component in the PSPICE simulator library, where the output of this model is identical to the output of the MEMS humidity sensor used. Because our sensor is a capacitive type, the obtained model on PSPICE reflects the humidity variation by a capacity variation, which is a passive magnitude; it requires a conversion to an active magnitude, why we realize a conversion capacity/voltage circuit. A linearization, by a Matlab program, is applied to ANN response whose goal is to create a database for an element of correction, can correct its nonlinear response. The training for the new database provides us with the inverse model INV-ANN. The three blocks; ANN model, model reverse INV-ANN and the capacity/ voltage converter, represent the smart sensor.

### Keys words:

Humidity Sensor, Direct Model, Inverse Model, Neuronal Network, MLP, MEMS.