

# 26 Spice & CEM

## Objectifs :

*À l'issue de cette formation, le stagiaire sera capable d'adapter l'outil de simulation SPICE à la CEM et d'étendre l'utilisation de cet outil au-delà de la simulation fonctionnelle*

## Le but de cette formation est de :

- Maîtriser l'approche analytique élémentaire pour maîtriser les ordres de grandeur
- Connaître et maîtriser les bons réglages de l'outil pour la CEM
- Comprendre les bibliothèques des composants actifs et passifs
- Être capable de comprendre et modéliser les couplages CEM et les effets non-linéaires
- Appréhender la technique de modélisation de capteurs, coupleurs, générateurs CEM, câbles blindés, filtres, varistances, TVS,...

## À SAVOIR

### Public

- Concepteur et développeur en électronique
- Techniciens d'investigation en CEM
- Techniciens ou ingénieurs en simulation

### Postulats

- Connaître l'utilisation élémentaire de Spice
- Niveau technicien en électronique
- Aucun ordinateur n'est requis, le formateur réalise et présente les simulations

### Méthodes pédagogiques

- Action de formation :
  - Support de cours
  - Exercices pratiques
  - Démonstrations pratiques si possible
- Évaluation des acquis :
  - QCM en fin de session

### Modalités pédagogiques

- Formation d'adaptation et de développement des compétences dispensée en présentiel
- Programme adaptable en durée et contenu en intra entreprise
- Attestation de fin de formation

### Intervenant

- Formateur et consultant terrain de plus de 10 ans d'expérience

### Informations pratiques

- Durée : 4 jours soit 28 h
- Paris, du 08 au 11 octobre 2024

### Tarif

2 360 € HT

## PROGRAMME

### 1 – CEM : RAPPELS

- Caractérisation CEM des équipements
- Méthode d'analyse de la CEM
- Mode commun / Mode différentiel
- Utilisation des décibels
- Relation temporel / fréquentiel
- Densité spectrale d'une impulsion
- Enveloppe spectrale d'impulsions répétitives
- Principe du couplage par impédance commune
- Réciprocité des couplages en conduction
- GIGO

### 2 – LT SPICE : PRINCIPES

- Historique de Spice – LT Spice
- L'interface et fonctions de LT Spice
- Barres d'outils, schéma, bibliothèques, post-traitement
- Pas de calculs
- Ajout d'un composant dans une bibliothèque
- Modélisation par directive
- Simulations temporelles et AC sweep
- Principes temporels et fréquentiels d'une FFT
- Fuite spectrale minimale et maximale
- Ondulation (« Ripple ») d'une FFT
- Effet de la compression sur un spectre calculé
- Spectre FFT d'une impulsion centrée et décentrée
- Fenêtrage de Hann, Nutall, Blackmann – Harris, Tukey
- Filtres flat top avec largeurs de bande normalisées
- Génération de salves centrées dans la fenêtre
- Simulation d'un générateur à bande large
- Correction de bande étroite à bande large
- Simulation d'un générateur d'impulsions asymétriques
- Impulsions en fenêtre temporelle de 111 µs
- Spectres d'impulsions bande large dans 9 kHz
- Effet de la compression sur un spectre calculé
- Calcul automatique de la THD
- Simulation de distorsion par intermodulation
- Création des gabarits normalisés

### 3 – MODÉLISATION DES COMPOSANTS PASSIFS

- Modélisation d'une résistance, condensateur, inductance
- Réseau en échelle
- Modélisation d'un condensateur électrochimique
- Modélisation d'une inductance variable en fréquence
- Comparaison mesure / simulation d'inductance de MC
- Modélisation d'un transformateur d'impulsions
- Composants magnétiques et ferrites absorbants
- Modélisation des Varistances/Transzorb/Transil/Eclateur
- Modèle de quartz (Cristal)

### 4 – MODÉLISATION DES COMPOSANTS ACTIFS

- Modélisation d'un ampli OP
- Slew Rate suivant modèle
- Modélisation PSRR, CMRR
- Simulation de la détection d'enveloppe
- Détection d'un étage d'entrée JFET
- Effet de l'impédance de sortie
- Simulation et effet de la distorsion de croisement
- Attention à la structure des filtres actifs
- Stabilité sur charge capacitive
- Simulation des tensions de déchet
- Simulation de densité spectrale de bruit incohérent

- Modèle IBIS
- Modélisation et recouvrement des diodes
- Simulation paramétrique d'ampli à transconductance

### 5 – INTÉGRITÉ DU SIGNAL

- Paramètres linéiques
- Utilisation de QUCS pour calcul de lignes
- Effet de stub d'un via en fréquence et fréquentiel
- Diagramme de l'œil
- Modélisation des pertes d'une ligne

### 6 – DIAPHONIE

- Diaphonie capacitive et inductive sur CIP
- Définition des impédances caractéristiques
- Extraction capacité/mutuelle des broches de connecteur
- Réduction de l'effet de bord d'un connecteur
- Effets d'une bonne répartition des broches
- Simulation de ligne pour modéliser la diaphonie
- Diaphonie entre lignes naturelles et microstrips adaptées
- Effets de l'augmentation des temps de transition
- Diaphonie fonction de Zc
- Diaphonie résonnante, cumulative

### 7 – ÉMISSION CONDUITE

- Principe et modélisation des perturbations en MD
- Schéma et modélisation d'un RSIL
- Simulation du Mode Différentiel en FFT et AC
- Simulation SPICE d'un convertisseur en MD
- Principe des perturbations en MC
- Modélisation en MC primaire à châssis
- Limitation des modèles de Mode Commun
- Principe de filtrage théorique en MD et MC
- Modélisation et perte d'insertion d'un filtre en MD et MC
- Simulation de couplage par rayonnement d'un filtre
- Etalement de spectre (SCC) : modulation triangulaire
- Synthèse d'un générateur de fonction cuspidé

### 8 – MODÉLISATION DES COUPLAGES

- Problèmes de l'émission rayonnée
- Evaluation des courants de MC sur les câbles
- Conversion de mode (dissymétrie)
- Modèle simple d'un câble coaxial en MC + MD
- Effet réducteur d'un câble coaxial en F et en T
- Effet d'une queue de cochon en F et en T
- Impédance d'un grillage (Fers à béton)
- Calcul et simulation d'une surtension foudre

### 9 – IMMUNITÉ CONDUITE

- Difficulté de modélisation des tests en mode commun
- Générateur WF4 + WF5 selon MIL-STD 461G/DO-160
- Simulation d'injection de WF4/WF5 sur un faisceau
- Générateur d'onde de choc 61000-4-5 en MD et MC
- Modélisation de pince d'injection BCI
- Atténuateur en PI
- Synthèse d'un filtre par QUCS
- Définition des paramètres S d'un filtre
- Mise au point d'un filtre avec les paramètres S