

# 26 Spice & CEM

## Objectifs :

*A 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
- Grenoble, du 24 au 27 mars 2026
- Vélizy, du 06 au 09 octobre 2026

### Tarif

2 440 € HT

## PROGRAMME

### 1 – CEM : RAPPELS

- Caractérisation CEM des équipements
- Couplages CEM dans les cartes
- Méthode d'analyse de la CEM
- Mode commun / Mode différentiel
- Conversion de modes : MC/MD et MD/MC
- Utilisation des décibels
- Relation temporel / fréquentiel
- Enveloppe spectrale d'impulsions répétitives
- Densité spectrale d'une impulsion
- GIGO

### 2 – LT SPICE : PRINCIPES

- Logiciels de simulation de circuits
- Fichiers SPICE
- Ajout d'un composant dans une bibliothèque
- Pas de calcul : convergence et précision
- Simulations temporelles
- Simulation AC Sweep

### 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
- Inducteur avec saturation et hystérésis : Modèle CHAN
- Modélisation d'un transformateur d'impulsions
- Composants magnétiques et ferrites absorbants
- Modélisation des Varistance/Transzorb/Transil/Eclateur

### 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
- Détection d'enveloppe d'optocoupleur
- Effet de l'impédance de sortie
- Simulation et effet de la distorsion de croisement
- Structure des filtres actifs
- Distorsion de croisement
- Stabilité sur charge capacitive
- Simulation des tensions de déchet
- Simulation de densité spectrale de bruit incohérent

### 5 – FFT

- Création de gabarits normalisés
- Principes temporels et fréquentiels d'une FFT
- Repliement de spectre
- Fuite spectrale
- Fenêtrage avant calcul de FFT
- Ondulation (« ripple ») d'une FFT
- Spectre FFT d'impulsions centrée et décentrées
- Fenêtrage flat top pour mesures d'émission CEM
- Calcul automatique de THD
- Etalement de spectre par modulation triangulaire
- Etalement de spectre par modulation optimale
- Simuler un détecteur quasi-crête, rms ou val. Moyenne

### 6 – CÂBLES BLINDÉS

- Impédance de transfert des câbles
- Principe de l'effet réducteur
- Impédance de transfert et efficacité de blindage
- Terminaison des blindages
- Raccordement des connecteurs blindés

### 7 – LIGNES EN IMPULSION

- Logique rapide et lignes de transmission
- Impédance caractéristique et retard dans les lignes
- Simulation des lignes sur Spice
- Réflexion dans les lignes Spice
- Particularités des lignes de transmission SPICE
- Modélisation de l'effet de Stub d'un via

### 8 – SIMULATION D'UN FIL/ANTENNE PAR LES LIGNES

- Choix des paramètres de ligne pour un fil
- Validation de simulation de l'impédance d'un fil
- Modèle d'un fil chargé
- F. e. m. d'une antenne fouet
- Facteur d'antenne d'une antenne fouet

### 9 – SIMULATION DE CÂBLES BLINDÉS PAR LES LIGNES

- Impédance de transfert d'écran simple tresse
- Modèle simple d'un câble coaxial en MC + MD
- Effet réducteur d'un câble coaxial
- Effet d'une queue-de-cochon
- Réjection du MC par câble coaxial
- Impédance de transfert d'une double-tresse
- Réjection du MC en fréquence par double tresse

### 10 – SIMULATIONS DE DISSYMMÉTRIE ET DE RÉJECTION DES CÂBLES

- Modélisation d'un balun 50  $\Omega$  vers 100  $\Omega$

- Mesure de dissymétrie sur Spice
- Dissymétrie d'une paire bifilaire non blindée isolée
- Dissymétrie localisée sur paire différentielle
- Dissymétrie d'un câble STP / UTP
- Dissymétrie d'impédance / différence de longueur
- Réjection de MC par paire asymétrique
- Réjection de MC par paire torsadée blindée

### 11 – DIAPHONIE

- Diaphonie capacitive et inductive sur CIP
- 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
- Effet d'une petite désadaptation
- Diaphonie sur ligne très désadaptée

### 12 – EMISSION CONDUITE

- Schéma et modélisation d'un RSL
- Modèle de la ligne d'alimentation en MC
- Impédance de filtrage en MC et MD
- Modélisation et perte d'insertion d'un filtre en MD et MC
- Méthode des asymptotes en conversion d'énergie
- Générateur enveloppe en mode commun
- Couplage et modélisation d'un convertisseur en MC
- Simulation d'émission en MC et filtrage
- Générateur enveloppe en mode différentiel
- Couplage et modélisation d'un convertisseur en MD
- Simulation d'émission en MD et filtrage
- Simulation d'émission en MC et MD filtrés
- Simulation de couplage par rayonnement d'un filtre
- Simulations en temporel
- Identification des boucles critiques dans un circuit Buck
- Simulation temporelle des perturbations du Buck
- Effets de l'inductance de la boucle
- Effets du choix du transistor
- Recouvrement des diodes
- Régime transitoire de PFC
- Simulation de redresseurs particuliers

### 13 – EMISSION RAYONNÉE

- Problème de l'émission rayonnée
- Rayonnement en espace libre d'un câble en MC
- Courant de MC sur coaxial induit par signal de MD
- Efficacité d'un tore de ferrite sur câble coaxial
- Simulation MC & MD de paire différentielle parfaite
- Dissymétrie par écart de longueur de 1 mm

### 14 – IMMUNITÉ CONDUITE

- Difficulté de modélisation des tests en mode commun
- Simulation d'une surtension foudre induite
- Immunité BF d'alim selon CS101 / NCS01 / Section 18
- 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
- Générateur d'ondes de choc de la norme 61000-4-5
- Modélisation de pince d'injection BCI

### 15 – IMMUNITÉ RAYONNÉE

- Tension induite par couplage champ à boucle
- Courant induit champ à boucle en fréquentiel
- Couplage temporel/fréquentiel champ à câbles
- Effet temporel d'une queue-de-cochon
- Effets de l'IEMN et réjection par câbles blindés

### 16 – CONCLUSION

- Pièges de la modélisations Spice
- Hybridation SPICE – Modèles ondes (EF, Mom, ...)