

# Conception CEM des équipements électroniques

## Objectifs :

A l'issue de cette formation, le stagiaire sera capable de prendre en compte l'ensemble des paramètres clefs CEM lors de la conception d'une carte électronique.

Le but de cette formation est de :

- Apprendre à identifier et solutionner les problèmes potentiels en analogique, numérique et circuits de commutation
- Etre capable d'analyser et de maîtriser les mécanismes de couplages
- Pouvoir concevoir et mettre en œuvre les remèdes en conduction et rayonnement
- Savoir analyser et mettre en oeuvre les lignes de transmission pour les liaisons rapides

## Contenu :

### Durée

2 jours

### Publi

> Techniciens et ingénieurs en électronique

### Pré-requis

> Niveau technicien en électronique  
> Niveau bac en mathématique

### Méthodes pédagogiques

> Vérification des pré-requis  
> Action de formation

- Support de cours
- Exercices pratiques
- Démonstrations pratiques si possible

> Evaluation 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

#### 1 – Définitions

Un peu d'histoire...  
Caractérisation CEM des équipements  
La CEM est un objectif fonctionnel  
Méthode d'analyse de la CEM  
Mode commun / Mode différentiel  
Table de conversion en décibels  
Pourquoi la représentation fréquentielle ?  
Conversion temps – fréquence  
Propagation des champs électromagnétiques  
Champ proche / champ lointain  
Densité spectrale d'une impulsion  
Enveloppe spectrale d'impulsions répétitives

#### 2 – CEM des Composants

Détection d'enveloppe  
Caractérisation de l'étage d'entrée d'un ampli OP  
Détection d'enveloppe des amplificateurs  
Détection d'enveloppe par diodes de protection  
Comment réduire la détection d'enveloppe ?  
Impédance de sortie d'ampli op.  
Effet de l'impédance de sortie  
Courant de sortie  
Caractérisation de l'étage de sortie d'un ampli OP  
Marge de bruit en tension  
Marges de bruit dynamiques vs. statiques  
Forme d'onde des logiques courantes  
Surconsommation de transition

#### 3 – Circuits de commutation

Convertisseurs statiques  
Mode commun d'une alimentation à découpage  
Filtrage du mode commun  
Mode commun d'entrée à sortie  
Les 3 cas de mode commun entrée à sortie  
Réduction du Mode Commun Entrée à Sortie  
Mode différentiel d'alimentation à découpage  
Impédance d'un condensateur chimique  
Filtrage du mode différentiel  
Recouvrement des diodes de redressement

#### 4 – Impédance Commune

Couplage par impédance commune sur une carte  
Impédance d'un plan de masse  
Calcul de l'impédance par maille  
Impédance d'un plan de cuivre  
Fente dans un plan de masse  
Impédance des pistes et conducteurs en HF  
Intérêt et risques du câblage en étoile  
Chaînage des masses en analogique  
Comparaison analogique / numérique  
Impédance des condensateurs non polarisés  
Principe de découplage  
Cartes mixtes analogiques / numériques  
Carte mixte : placement et alimentations  
Répartition optimale des couches de CIP  
Impédances « cachées » d'un connecteur

#### 5 – Couplage Carte à Châssis

Couplage capacitif carte à châssis  
Capacité totale entre carte et plan de masse  
Effet de masque par proximité  
Capacité d'une piste isolée  
Exemple de couplage piste à châssis  
Masse mécanique / masse électrique  
Raccordement du 0V au châssis  
Utilisation d'écrans électrostatiques

#### 6 – Diaphonie

Diaphonie capacitive et inductive sur CIP  
Diaphonie entre deux circuits  
Réduction de la diaphonie sur circuit imprimé  
Diaphonie capacitive piste à piste  
Diaphonie inductive piste à piste

#### 7 – Couplage par champ

Calcul de la tension de boucle  
Cas particulier du champ magnétique i

#### 8 – Rayonnement des cartes

Spectre d'un train trapézoïdal  
Rayonnement d'une petite boucle  
Spectre rayonné en mode différentiel  
Pourquoi se méfier des horloges ?  
Réduction du rayonnement à la source  
Rayonnement d'un petit fouet  
Origines du courant de mode commun  
Spectre rayonné en mode commun  
Rayonnement de MD / MC  
Rayonnement carte / Fond de panier  
Techniques de réduction du rayonnement M.C.

#### 9 – Protection en conduction

Protection BF par liaison différentielle  
Détection d'enveloppe des optocoupleurs  
Dimensionnement d'une varistance  
Dimensionnement d'un Transzorb  
Les 3 méthodes de protection en MC HF  
Filtrage du mode commun au châssis  
Implantation et routage des filtres

#### 10 – Lignes de transmission

Qu'est-ce qu'une ligne de transmission ?  
Paramètres linéiques  
Propagation dans une ligne sans perte  
Lignes en impulsion : réflexion des fronts  
Désadaptation de la charge - Adaptation du générateur  
Topologies des lignes  
Quand doit-on adapter une ligne ?  
Techniques d'adaptation  
Désadaptation d'une ligne