

## Objectifs :

*A l'issue de cette formation, le stagiaire sera capable de maîtriser les points CEM critiques lors de la conception et la mise au point d'un convertisseur.*

## Le but de cette formation est de :

- Comprendre comment les perturbations conduites et rayonnées sont émises par les convertisseurs
- Comprendre, concevoir et optimiser les différentes topologies de filtrage
- Identifier et faire les meilleurs choix de topologies et de composants
- Diagnostiquer les limites et «défauts» des composants critiques
- Appliquer des astuces de conception visant à réduire les problèmes en CEM

## À SAVOIR

### Public

- Ingénieurs et techniciens concepteurs de convertisseurs d'énergie

### Postulats

- Bac +2 en électronique ou électrotechnique  
- Avoir déjà été impliqué dans la conception d'un convertisseur

### Méthodes pédagogiques

- Action de formation :  
• Support de cours  
• Exercices pratiques  
• Démonstrations pratiques ou retours d'expérience  
- 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 29 novembre au 2 décembre 2022

### Tarif

1 970 € HT

## PROGRAMME

### 1 – INTRODUCTION

- L'échelle des décibels
- Modes commun et différentiel
- Spectre fréquentiel bande étroite
- Densité spectrale d'une impulsion
- Modes de détection et CISPR
- Réseaux fictifs (RSIL), pince de courant
- Limites civiles, militaires et DO-160
- Spécificités en aéronautique
- Les 5 types de perturbations
- Charte de réactance BF
- Le plan U.I.

### 2 – IMMUNITÉ DES CONVERTISSEURS

- PSurtension à l'enclenchement
- Protection en entrée
- Normes d'immunité aux surtensions
- Varistances et leur mise en œuvre
- Protection d'un PFC ou d'un boost
- Modélisation d'une onde de choc
- Risques liés aux optocoupleurs
- Routage d'un circuit de commande
- Conduction continue / discontinue

### 3 – CONVERTISSEURS DE PUISSANCE

- MC et MD d'un pont de Graetz
- Distorsion de l'onde d'alimentation
- Facteurs de puissance et de forme
- Distorsiomètre et mesure de THD
- Effets d'un PFC sur la CEM
- Pont dodécaphasé à autotransfo
- Recouvrement des diodes
- Rôles et calcul de snubber / damper
- Pertes de commutation et SOA
- Convertisseurs multi-niveaux

### 4 – PERTURBATIONS DE MODE COMMUN

- Calcul d'une perturbation en MC
- Réduction des capacités « chaudes »
- Courants de MC sur câble interne
- Mode commun entrée à sortie
- Faut-il faire flotter les sorties ?
- Les 3 cas de MC entrée à sortie
- Transformateurs à écran
- Conception d'un écran bobiné
- Alimentation sans inductance de MC
- Séparateur monophasé MC / MD
- Spectre émis avant filtrage
- Perte d'insertion en MC
- Choix de filtre simple / double cellule
- MC d'un pont en H / conversion de mode
- Saturation d'une inductance de MC
- Méthodes de mesure et d'analyse
- Clés de la CEM d'un gros convertisseur
- Pièges des filtres d'alim en MC
- Câblage et optimisation en MC

### 5 – PERTURBATIONS DE MODE DIFFÉRENTIEL

- Impédance d'un condensateur
- Calcul d'une perturbation en MD
- Impédance d'inductance / condensateur
- Câblage et erreurs d'un filtre de CEM
- Spectre en MD avant filtrage
- Perte d'insertion et résonance en MD
- Choix de simple / double cellule
- Amortissement d'un L-C en MD
- Filtrage d'un bus continu
- MD induit par champ magnétique
- Effets des RSIL 5 µH / 50 µH
- Pièges des filtres d'alim en MD
- Réduction de bruit par multiphases
- Filtre définitif MC + MD
- Analyse d'un spectre mesuré
- Filtrage optimal d'une petite alim

### 6 – RAYONNEMENT DES CONVERTISSEURS

- Rayonnement en champ E et H
- Petite boucle / petit fouet
- Rayonnement du câble d'alimentation
- Pot magnétique et rayonnement BF
- Risque d'oscillation d'un pont en H
- Sources de rayonnement HF
- Réduction du bruit à la source
- Drivers d'IGBT ou super-jonctions
- Pièges en émission rayonnée
- Réalisation d'une pince sensible
- Évaluation de l'émission rayonnée
- Analyse et réduction de l'émission

### 7 – COMPOSANTS ET STRUCTURES

- Effet de peau d'un fil en alternatif
- Champ et induction magnétiques
- Perméabilités magnétiques  $\mu'$  et  $\mu''$
- Épaisseur de peau dans le ferrite
- Mesure des perméabilités  $\mu'$  et  $\mu''$
- Ferrites à fort  $\mu_r$  et nanocristallin
- Saturation d'un tore magnétique
- Capacité selon méthode de bobinage
- Inductance à flux compensé (PFC)
- Haute tension / Courbe de Paschen
- Rôles d'un entrefer et  $\mu$  apparent
- Mesure d'inductance selon le courant
- Matériaux à entrefer répartis
- Matériau amorphe / « mag amp »
- Mesures scalaires d'un transfo
- Champ magnétique dans un transfo
- Inductance de fuite / entrelacement
- Pertes cuivre supplémentaires
- Circuits magnétiques planar
- Couplages entre secondaires
- Mise de condensateurs en parallèle
- Circuits sur SMI
- Réduction des pertes / abaisseur
- Alimentations capacitatives
- Choix d'une sonde différentielle
- Résonance série / parallèle
- Simulation SPICE en MD et en MC