



# FORMATION : CEM - CONCEPTION DES EQUIPEMENTS

Du 14 au 16 juin à Gardanne (13)

**Durée : 3 jours (21h)**

**Prix : 1 350 € HT (1 050 € HT pour les adhérents Cap'Tronic)**

## PUBLIC

Ce stage intensif s'adresse à tous les ingénieurs et techniciens qui conçoivent interconnectent ou intègrent des cartes ou modules électroniques.

## PREREQUIS

Les méthodes de calculs, illustrées par de nombreux exemples tirés de la pratique, n'exigent pas de connaissance mathématique supérieure.

## OBJECTIFS

Ce stage traite de toutes les perturbations des électroniques analogiques, numériques (dont les logiques rapides) et à découpage.

Les règles de bonne conception sont méthodiquement étudiées. Ce stage permettra d'optimiser l'implantation et le tracé des cartes. Enfin, les règles de blindage, de filtrage, de câblage, d'interconnexion et de mise à la masse sont clairement exposées.

## LIEU

13120 GARDANNE

## INTERVENANT

Philippe DUNAND - AEMC

## PROGRAMME

### ► DEFINITIONS

- ❖ Un peu d'histoire...
- ❖ Caractérisation CEM des équipements
- ❖ La CEM est un objectif fonctionnel
- ❖ Méthode d'analyse de la CEM
- ❖ Mode commun / Mode différentiel
- ❖ Les 2 modes communs
- ❖ Pourquoi les décibels ?
- ❖ Table de conversion en décibels
- ❖ Pourquoi la représentation fréquentielle ?
- ❖ Conversion temps - fréquence
- ❖ Rayonnement du doublet de Hertz
- ❖ Rayonnement d'un doublet magnétique
- ❖ Champ proche / champ lointain
- ❖ Densité spectrale d'une impulsion
- ❖ Enveloppe spectrale d'impulsions répétitives
- ❖ Réciprocité des couplages

### ► COMPOSANTS ACTIFS

- ❖ Détection d'enveloppe
- ❖ Caractérisation de l'étage d'entrée d'un ampli OP
- ❖ Détection d'enveloppe des amplificateurs
- ❖ Détection d'enveloppe en fonction de la fréquence
- ❖ Détection d'enveloppe des diodes de protection
- ❖ 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
- ❖ Montage de test des circuits numériques
- ❖ Résumé des problèmes numériques

#### ► **CIRCUIT 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
- ❖ Filtre de mode commun + différentiel
- ❖ Recouvrement des diodes de redressement
- ❖ Réduction de la surface des boucles

#### ► **IMPEDANCE COMMUNE**

- ❖ Couplage par impédance commune sur une carte
- ❖ Couplage par impédance commune dans un câble
- ❖ 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 conducteurs
- ❖ Impédance des pistes et conducteurs en HF
- ❖ Intérêt et risques du câblage en étoile
- ❖ Chaînage des masses en analogique
- ❖ Comparaison analogique / numérique
- ❖ Calcul du bruit d'alimentation
- ❖ Impédance des condensateurs non polarisés
- ❖ Principe de découplages
- ❖ Cartes mixtes analogiques / numériques
- ❖ Carte mixte : placement et alimentations
- ❖ Répartition optimale des couches de CIP
- ❖ Impédances « cachées » d'un connecteur
- ❖ Résumé des problèmes d'impédance commune

#### ► **COUPLAGE CARTE A CHASSIS**

- ❖ Couplage capacitif carte à châssis
- ❖ Capacité totale entre carte et plan de masse
- ❖ Effet de masque par proximité
- ❖ Capacité d'une piste isolée
- ❖ 0V flottant : dispositions mécaniques
- ❖ Masse mécanique / masse électrique
- ❖ Raccordement du 0V au châssis
- ❖ Utilisation d'écrans électrostatiques
- ❖ Améliorons le tracé
- ❖ Résumé des problèmes « d'effets de main »

#### ► **COUPLAGE PISTE A PISTE**

- ❖ Diaphonie capacitive et Diaphonie inductive sur CIP



- ❖ Diaphonie entre deux circuits
- ❖ Diaphonie capacitive piste à piste
- ❖ Réduction de la diaphonie sur circuit imprimé
- ❖ Capacité totale C12 entre paires
- ❖ Inductance mutuelle totale M12 entre paires
- ❖ Diaphonie inductive piste à piste
- ❖ Réduction de la diaphonie par plan de masse
- ❖ Résumé des problèmes de diaphonie

#### ► COUPLAGE CHAMP A BOUCLE

- ❖ Tension de boucle
- ❖ Calcul de la tension de boucle
- ❖ Cas particulier du champ magnétique impulsionnel
- ❖ Torsade des conducteurs
- ❖ Résumé des problèmes champ à boucle

#### ► COUPLAGE CHAMP A FIL

- ❖ Champ rayonné par un émetteur
- ❖ Propagation des champs
- ❖ Courant d'antenne
- ❖ Réduction du champ par plan de masse
- ❖ Résumé des problèmes champ à fil

#### ► RAYONNEMENT DE M.D.

- ❖ Spectre d'un train trapézoïdal
- ❖ Rayonnement d'une petite boucle
- ❖ Spectre rayonné en mode différentiel
- ❖ Pourquoi se méfier des horloges ?
- ❖ Surfaces rayonnantes
- ❖ Réduction du rayonnement à la source
- ❖ Techniques de réduction du rayonnement M.D.
- ❖ Résumé des problèmes de rayonnement de M.D.

#### ► RAYONNEMENT DE M.C.

- ❖ Rayonnement d'un petit fouet
- ❖ Origines du courant de mode commun
- ❖ Spectre rayonné en mode commun
- ❖ Rayonnement carte / Fond de panier
- ❖ TRP - Regroupement des entrées sorties
- ❖ Techniques de réduction rayonnement M.C.
- ❖ Rayonnement de Mode Différentiel / Mode Commun
- ❖ Alerte avant la mesure de rayonnement
- ❖ Réalisation d'une pince de courant HF sensible
- ❖ Résumé des problèmes de rayonnement de M.C.

#### ► CABLES BLINDÉS

- ❖ Câbles blindés et coaxiaux
- ❖ Impédance de transfert : définition
- ❖ Zt des câbles courants
- ❖ Calcul de la tension induite
- ❖ Terminaison des blindages
- ❖ Raccordement des connecteurs blindés
- ❖ Effet réducteur d'une paire blindée
- ❖ Raccordement des écrans de câbles blindés
- ❖ Résumé des problèmes de câbles blindés



## ► PROTECTION EN CONDUCTION

- ❖ Parasurtensions
- ❖ Dimensionnement d'une varistance
- ❖ Dimensionnement d'un Transzorb
- ❖ Où installer une varistance en M.D. ?
- ❖ Composants d'isolement anti-mode commun BF
- ❖ Protection BF par liaison différentielle
- ❖ Transformateurs à écrans
- ❖ Différentes structures de filtres
- ❖ Les 3 règles de montage des filtres secteur
- ❖ Selfs de mode commun
- ❖ Impédance de tores de ferrite
- ❖ Impédance en fonction du nombre de spires
- ❖ Intérêt d'un plan de masse local
- ❖ Résumé des problèmes de filtrage / isolement

## ► LIGNES EN IMPULSION

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

## ► CONCLUSION

- ❖ Accompagnement CEM d'un projet
- ❖ Conception CEM des cartes
- ❖ Résumé des problèmes de CEM
- ❖ Acronymes en CEM
- ❖ Bibliographie CEM française
- ❖ Bibliographie CEM en langue anglaise
- ❖ Quelques sites Internet intéressants

**Moyens pédagogiques :** Pédagogie active et participative - Exposé de l'animateur - Démonstrations pratiques  
- Analyse de cas pratiques suite aux questions des stagiaires

**Moyens permettant d'apprécier les résultats de l'action :** Evaluation de l'action de formation par la remise d'un questionnaire de fin de stage.

**Moyen permettant de suivre l'exécution de l'action :** Feuilles de présence signées par chaque stagiaire et le formateur par journée de formation.

**Sanction de la formation :** Attestation de présence