

Conception CEM Perfectionnement (Module 2)

Objectifs :

À l'issue de cette formation, le stagiaire sera capable de prendre en compte l'ensemble des paramètres clés de la conception d'un équipement utilisant des transitions inférieures à la nanoseconde. Il saura traiter les liaisons différentielles numériques rapides, analogiques à large bande passante ou à faible bruit et traiter conjointement les notions de CEM et de fonctionnalité.

Le but de cette formation est de :

- Maîtriser les choix initiaux de conception
- Maîtriser la CEM des composants
- Appréhender les effets de ligne de transmission et maîtriser leur mise en œuvre
- Comprendre et adapter les solutions de protection BF et HF
- Être capable de comprendre et maîtriser le routage des circuits imprimés

À SAVOIR

Public

- Ingénieurs et techniciens de conception en électronique

Postulats

- Niveau de base en physique de tout technicien supérieur
- Expérience préalable en conception électronique ou avoir suivi le module Conception CEM (module 1)

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, 23 au 26 septembre 2025

Tarif

2 360 € HT

PROGRAMME

1 – INTRODUCTION : RAPPELS

- Maîtrise de la CEM dans l'entreprise
- Suivi CEM de projet (1)
- Mode commun et mode différentiel
- Basse Fréquence / Haute Fréquence
- Enveloppe spectrale d'impulsions répétitives
- Densité spectrale d'une impulsion
- Symboles terre / masse / 0 V
- Couplages CEM
- Couplage par impédance commune sur une carte
- Impédance d'un conducteur
- Réduction de l'inductance des pistes par géométrie
- Couplage capacitif carte à châssis
- Couplages par diaphonie
- Calcul d'une tension de boucle
- Courant collecté par un dipôle
- Circuits résonnants
- Formulaires

2 – CARACTÉRISTIQUES DES COMPOSANTS PASSIFS

- Impédance d'une résistance
- Tenue d'une résistance en impulsion unique
- Immunité des résistances
- Impédance des condensateurs non polarisés
- Condensateurs silicium
- Impédance d'une inductance
- Inductances de puissance
- Perméabilité magnétique réelle et imaginaire
- Ferrites à fort μ
- Choix d'une perle de ferrite
- Mesures ou modélisation ?
- Modélisation d'un filtre de mode commun
- Comparaison mesure / modélisation

3 – FILTRES

- Fonction de transfert et perte d'insertion
- Perte d'insertion d'un filtre d'alimentation en MC
- Perte d'insertion d'un filtre d'alimentation en MD
- Identifications de perturbations (BE ou BL)
- Réponse en fréquence d'un passe-bas d'ordre 2
- Amortissement de la résonance d'un L-C
- Impulsions sinusoïdales amorties
- Impulsions cosinusoïdales amorties
- Filtrage des impulsions
- Réponses impulsionnelles de filtres passe-bas
- Filtrage capacitif des entrées / sorties
- Filtrage passif passe-bas en entrée
- Filtrage d'un signal numérique
- Filtrage des capteurs / alimentations
- Protection des entrées TOR
- Protection des entrées analogiques
- Protection en ondes de chocs
- Immunité aux surtensions de longue durée
- Tension aux bornes d'un Transzorb
- Transzorb : Courbe de Puissance Crête
- Durée du courant dans un transzorb

4 – Câbles et connecteurs

- Réjection du M.C. en BF par isolement
- Réjection du M.C. en BF par liaison symétrique
- Amplitude et phase d'un R - C passe-bas
- Dissymétrie différentielle par déphasage
- Dissymétrie des filtres d'entrée
- UTP : Conversion du MC en MD
- STP : Conversion du MC en MD

- Mesure de la dissymétrie d'une paire
- Dissymétrie d'un balun
- Dissymétrie de transfo ligne Ethernet 100Mbps
- Dissymétrie d'une carte Ethernet 100 BaseTX
- Paires torsadées blindées ou non ?
- UTP ou STP : calcul d'immunité rayonnée et conduite
- Principe de l'effet réducteur
- Mesure simple de l'effet réducteur d'un écran
- Mesures de Zt et d'efficacité de blindage
- Zt des câbles courants
- Relation entre Zt et efficacité de blindage
- Impédance de transfert de connecteurs
- Importance de la mise à la masse des embases
- Effet réducteur d'une paire blindée
- Transmission d'un signal à faible tension
- Transmission d'un signal à faible courant

5 – CARACTÉRISTIQUES DES COMPOSANTS ACTIFS

- Bruit d'une chaîne linéaire
- Bruit thermique (effet Johnson)
- Bruit en 1 / F (bruit en excès)
- Principe de la détection d'enveloppe
- Réponse en fréquence d'un ampli OP
- Impédance de sortie d'un ampli op.
- Attention à la structure des filtres actifs
- Courant de sortie et distorsion de croisement
- Caractérisation de l'étage de sortie d'un ampli OP
- Immunité d'un isolateur numérique
- Risques d'oscillations de transistors en UHF
- Marges statiques de bruit en tension
- Marge dynamique des logiques
- Risque d'oscillation à l'état haute impédance
- CEM des échantillonneurs – bloqueurs
- Jitter : définitions et mesure
- Effet du jitter d'horloge sur les CANs / CNAs
- Le phénomène du latch-up
- Protections intégrées contre les DES
- Attention aux écarts entre doubles – sources
- Protection typique d'entrées/sorties par diodes

6 – CEM DES CIRCUITS INTÉGRÉS

- « Road Map » des circuits VLSI
- Bruits et couplages des ASICs
- Origines des dl / dt
- Maîtrise des effets des dl / dt
- Effet en mode commun du dl / dt
- Calcul du nombre de paires Vcc / 0 V
- Distribution des horloges
- Dimensionnement des drivers de sortie
- Attention aux boîtiers « compatibles pin à pin »

7 – CIRCUITS IMPRIMÉS

- Budget de bruit
- Répartition optimale des couches de CIP
- Impédance d'une tôle de cuivre
- Impédance d'un plan de 0 V fini / infini
- Courant de retour dans un plan de masse
- Impédance des plans de 0 V finis
- Fente dans un plan de masse
- Bruit d'un plan de 0 V fendu
- Effets des trous dans un plan de masse
- Retour du courant d'une prise changeant de couche
- Mesure d'un bruit de masse : précautions
- Les 3 types d'anneau (ou piste) de garde
- Perturbations rayonnées d'un convertisseur

- Sources de problèmes en émission rayonnée
- Rôle et calcul des « snubbers »
- Mise au point pratique d'un « damper » (R - C)
- Perle en matériau à très forte perméabilité

8 – LIGNES

- Ligne : schéma équivalent
- Caractéristiques de lignes typiques
- Mesure pratique de l'impédance d'une ligne
- Longueur maximale de ligne sans adaptation
- Adaptation série
- Circuits d'adaptation parallèle
- Pertes dans une ligne par effet de peau
- Mesures et câbles coaxiaux
- MC vs MD : vitesses de propagation différentes

9 – DIAPHONIE

- Diaphonie capacitive et inductance sur CIP
- Capacité piste à piste : microstrip
- Diaphonie sur circuits imprimés : NUM → ANA
- Mesure d'une faible capacité
- Mesure d'une diaphonie capacitive
- Directivité de la diaphonie
- Réduction de diaphonie dans un connecteur
- Diaphonie en couplage lâche, lignes adaptées
- Diaphonie progressive et régressive

10 – EMISSION RAYONNÉE

- Mesure d'émission rayonnée
- Emission des horloges
- Harmoniques paires et impairs de l'horloge
- Addition du champ d'horloges multiples
- Réduction de la richesse harmonique
- Boîtiers oscillateurs
- Horloges avec étalement du spectre (SSC)
- Étalement de spectre par modulation optimale
- Etaler un spectre peut être inefficace
- Rayonnement du câble d'alimentation
- Rayonnement des câbles externes
- Emission rayonnée de 2 signaux superposés
- Pré-qualification d'une mesure de rayonnement
- Réalisation d'une pince de courant HF sensible
- Analyse de courant de MC de 30 à 80 MHz
- Excitation des câbles d'E/S par bruit de masse
- Utilisation de sondes de champ proche

11 – BLINDAGE

- Étapes de mise au point d'un blindage
- Circulation des courants
- Criticité des fuites
- Excitation des câbles d'E/S par fuite proche
- Attention au rayonnement en champ proche
- Attention aux « zones chaudes »...
- Réduction due à l'effet de chicane
- Calcul d'atténuation d'une boîte non amortie
- Calcul d'atténuation d'une boîte bien amortie

12 – CONCLUSION

- Acronymes en CEM
- Bibliographie CEM française
- Bibliographie en langue anglaise
- Quelques sites internet intéressants