

14 Conception CEM Perfectionnement (Module 2)

CONCEPTION

Objectifs :

A l'issue de cette formation, le stagiaire aura approfondi des solutions concrètes de protections CEM et d'intégrité de signal des entrées/sorties avec les câbles associés et de certaines fonctions internes au niveau des cartes et systèmes électroniques. Le stage permettra d'enrichir la connaissance du comportement CEM des composants et des recommandations des routages associés.

À SAVOIR

Public

- Ingénieurs et techniciens de conception en électronique confirmés avec une expérience CEM (réalisations de designs avec participation aux essais CEM).
- Merci de nous signaler toute situation de handicap avant la formation pour que nous étudions au cas par cas une adaptation adéquate avec notre référent handicap APAVE.

Postulats

- Niveau de base en physique et électronique de tout technicien supérieur
- Expérience préalable en conception électronique et avoir suivi un stage de Conception CEM

Méthodes pédagogiques

- Action de formation :
 - Support de cours
 - Exercices pratiques
 - Démonstrations pratiques si possible et effectuées par l'instructeur
- 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 31 mars au 03 avril 2026
- Vélizy, du 22 au 25 septembre 2026

Tarif

2 440 € HT

Le but de cette formation est de :

- Maîtriser les choix initiaux de conception
- Maîtriser la CEM des composants
- Appréhender les effets des lignes de transmission
- Maîtriser la mise en œuvre des liaisons rapides
- Comprendre et adapter les solutions de protection BF et HF
- Maîtriser le choix des liaisons blindées et leur mise en œuvre
- Optimiser les solutions de blindage...

PROGRAMME

1 – INTRODUCTION : RAPPELS

- Maîtrise de la CEM dans l'entreprise
- Suivi CEM de projet (1)
- Méthode d'analyse de la CEM
- Suivi CEM de projet
- Tests d'émission : récapitulatif
- Ordres de grandeur en immunité
- Mode commun et mode différentiel
- Transformation du Mode Commun en Mode différentiel
- Enveloppe spectrale d'impulsions répétitives
- Densité spectrale d'une impulsion
- Environnements isolants ou conducteurs
- Couplages CEM dans les cartes
- Impédance d'un conducteur
- Réduction de l'inductance des pistes par géométrie
- Résistance et réactance d'une paire courte
- Calcul d'une tension de boucle
- Courant collecté par un dipôle
- Circuits résonants
- Formulaire CEM
- Acronymes en CEM

2 – CARACTÉRISTIQUES DES COMPOSANTS PASSIFS

- Impédance d'une résistance
- Tenue d'une résistance en impulsion unique
- Impédance des condensateurs non polarisés
- Extraction des valeurs d'un condensateur
- Mesure de l'absorption diélectrique
- Diverses causes de changement de capacité
- Impédance d'une inductance
- Extraction des valeurs d'une inductance
- Perméabilité magnétique réelle et imaginaire
- Attention aux ferrites à fort μ
- Choix d'une perle de ferrite
- Mesures ou modélisation ?

3 – CARACTÉRISTIQUES DES COMPOSANTS ACTIFS

- Bruit des composants
- Principe de la détection d'enveloppe
- Réponse en fréquence d'un ampli OP
- Détection d'un étage d'entrée JFET
- Détection d'enveloppe d'ampli OP : évaluation
- Impédance de sortie d'un ampli OP
- Attention à la structure des filtres actifs
- Effet de l'impédance de sortie
- Attention aux contre-réactions capacitatives exposées
- Immunité d'un isolateur numérique
- Risques d'oscillations de transistors en UHF
- Marges statiques de bruit en tension
- Marge dynamique des logiques
- Oscillations d'une porte MOS
- Le phénomène du latch-up
- CEM des échantillonneurs - bloqueurs
- Protections intégrées contre les DES

4 – CEM DES CIRCUITS À DÉCOUPAGE

- Les 5 perturbations d'un convertisseur
- Identification des boucles critiques dans le Buck
- Simulations temporelles du Buck
- Recouvrement des diodes
- Réduction des perturbations
- Composants Émergents
- Effets Miller de MOSFETs de puissance à SJ
- Mise en parallèle de transistors
- Distorsion du signal PWM en entrée du Driver

- Sources des problèmes en émission rayonnée
- Rôle et calcul des « snubbers »
- Assurer l'immunité d'un convertisseur

5 – LIGNES DE TRANSMISSION

- Ligne : schéma équivalent
- Caractéristiques de lignes typiques
- Mesure pratique de l'impédance d'une ligne
- Forme des signaux : désadaptation totale
- Forme des signaux : Générateur adapté
- Adaptation série ou parallèle
- Pertes dans une ligne
- Mesures et câbles coaxiaux
- Terminaison des lignes rapides

6 – DIAPHONIE

- Diaphonie capacitive et inductance sur CIP
- Capacité piste à piste : microstrip
- Diaphonie sur circuits imprimés : NUM → ANA
- Mesure d'une diaphonie capacitive
- Mesure de diaphonie dans un connecteur
- Modèle SPICE de connecteur rectiligne
- Effets d'une bonne répartition des broches
- Diaphonie en couplage lâche, lignes adaptées
- Diaphonie progressive et régressive

7 – CEM INTERNE DES CIRCUITS INTÉGRÉS (ASICs)

- Evolution de la taille de gravure des semiconducteurs
- Bruits et couplages des ASICs
- Budget de bruit
- Origines et effets des dl/dt
- Calcul du nombre de paires $V_{cc}/0V$
- Distribution des horloges
- Dimensionnement des drivers de sortie
- Attention aux boîtiers « compatibles pin à pin »

8 – FILTRES

- Fonction de transfert et perte d'insertion
- Perte d'insertion d'un filtre d'alimentation en MC et en MD
- Réponse en fréquence d'un passe-bas d'ordre 2
- Amortissement de la résonance d'un L-C
- Impulsions résonnantes amorties
- Filtrage des impulsions
- Réponses de divers filtres passe - bas
- Réponses impulsionnelles de filtres passe-bas
- Attention au filtrage d'un signal numérique
- Filtrage des capteurs / alimentations

9 – CEM DES INTERFACES

- Transzorb : Courbe de Puissance Crête
- Tension et courant du Transzorb
- Protection des surtensions par varistance
- Protection active en entrée d'alimentation
- Immunité d'un régulateur secteur non isolé
- Schémas et niveaux de protection des communications série
- Capacité de fuite maximale des protections ESD
- Sélection des protections ESD
- Protection des E/S analogiques
- Protection des E/S types TOR, Transistor, Relais
- Protections des USB, CAN et du I2C
- Protection des liaisons Ethernet
- Recommandations pour Ethernet

- Protection des Audios/vidéos
- Protection des interfaces LCD
- Protection des alimentations de puissance
- Protection des interfaces de stockage
- Protection intégrée dans le connecteur
- Disposition des zones A/N et plans de masse
- Masse des connecteurs externes
- Filtrage des Entrées / Sorties

10 – CIRCUITS IMPRIMÉS

- Impédance d'une tôle de cuivre
- Répartition optimale des couches de CIP
- Courant de retour dans un plan de masse
- Impédance des plans de 0V
- Effets des fentes dans un plan de masse
- Impédances « cachées » d'un connecteur
- Les 3 types d'anneau (ou piste) de garde
- Attention au rayonnement en champ proche
- Symétrie du schéma, implantation et routage
- Tracé des signaux rapides
- Tracés pour mémoires DDR
- Intégrité des signaux dans le PCB
- Recommandations des Entrées/Sorties
- Agencement de couches de PCB

11 – CÂBLES ET CONNECTEURS

- Réjection du M.C. en BF par isolement
- Réjection du M.C. BF une entrée différentielle
- Dissymétrie différentielle par déphasage
- Dissymétrie des filtres d'entrée
- Types de câbles blindés
- Paramètres de symétrie d'une ligne différentielle
- Perte de conversion longitudinale (LCL)
- UTP/STP: Conversion du MC en MD
- Attention à la dissymétrie des paires
- Mesure de la dissymétrie d'une paire
- Dissymétrie typique d'une paire
- Dissymétrie d'un balun
- Dissymétrie en liaison Ethernet 100Mbps
- UTP ou STP : calcul d'immunité
- Principe de l'effet réducteur
- Mesure simple de l'effet réducteur, de Zt et d'efficacité de blindage
- Impédance de transfert de connecteurs
- Importance de la mise à la masse des embases
- Effet réducteur d'une paire blindée
- Transmission de faibles signaux

12 – EMISSION RAYONNÉE

- Emission des horloges
- Addition du champ d'horloges multiples
- Réduction de la richesse harmonique
- Horloges avec étalement du spectre (SSC)
- Rayonnement du câble d'alimentation
- Rayonnement des câbles externes
- Emission rayonnée de 2 signaux superposés
- Pré-qualification d'une mesure de rayonnement
- Analyse de courant de MC de 30 à 80 MHz
- Utilisation de sondes de champ proche

13 – BLINDAGE

- Étapes de mise au point d'un blindage
- Circulation des courants
- Criticité des fuites
- Excitation des câbles d'E/S par fuite proche
- Atténuation de blindage d'une fente
- Calcul d'atténuation d'une boîte non amortie
- Calcul d'atténuation d'une boîte bien amortie