



Stage 4

Compatibilité Electromagnétique

CONCEPTION CEM DES CARTES ET SYSTEMES COMPATIBLES

But du stage : Acquérir les connaissances pratiques et les connaissances théoriques de base pour résoudre les problèmes de compatibilité électromagnétique, et pour obtenir la compatibilité dès la conception de la carte ou du système.

Personnes concernées : Ingénieurs et techniciens ayant des connaissances en électronique.

Observations : Il s'agit d'une formation de base en compatibilité électromagnétique. Cette formation peut être vue comme une version plus avancée du stage 1, plutôt destinée à des ingénieurs. Des manipulations sont prévues, dont une expérimentation importante par jour.

Durée : 40 heures en cinq journées consécutives.

PROGRAMME DU STAGE

1. Terminologie de la CEM

La CEM en tant que discipline
Quelques définitions générales du vocabulaire de CEM de la CEI
Décibels
Le spectre radio fréquence

2. Champs électrique et magnétique

Courant et densité de courant
Champ électrique et champ magnétique
Courant de déplacement
Tensions et potentiels
Et la loi d'Ohm ?
Unités

3. Propagation et rayonnement des champs

Propagation
Courant de mode commun
Onde rayonnée / Réciprocité
Effet de peau / Effet de proximité

4. Sources de perturbations

Perturbations rayonnées intentionnelles
Perturbations conduites intentionnelles
Perturbations inintentionnelles entretenues
Perturbations inintentionnelles transitoires
Sources naturelles de perturbations
Qualité de l'alimentation électrique BT
Armes électromagnétiques

5. Domaine temporel - Domaine fréquentiel

Mesures dans le domaine temporel
Mesures dans le domaine fréquentiel
Spectre et transformée de Fourier
Quelques signaux remarquables
Signaux bande étroite et large bande

6. Couplage avec les liaisons courtes

Action des champs extérieurs
Emission
Attention au mode commun !
Diaphonie
Câble coaxial / Câbles multifilaires avec écran
Discontinuité des écrans

7. Ecrans électromagnétique et masse

Ecran électromagnétique et masse
Régimes de fonctionnement
Ecran fermé en régime quasi-statique
Ecran plan en régime quasi-optique
Couplage à travers un orifice
Champ au voisinage des objets conducteurs
Masse et terre / Couplage par impédance commune

8. Méthodes de mesure

Emission: grandeurs d'influence
Susceptibilité: grandeurs d'influence
Site de mesure
Couplage avec les liaisons
Antennes de mesure / Les cellules TEM
Instruments de mesure actifs
Exemple : essais d'émission de l'EN55022

9. Mise à la masse des enveloppes

Fonctions des connexions de masse et de terre
Inconvénients des mises à la masse et à la terre
Fonctionnement des connexions de masse et de terre
Techniques de mise à la masse
Règles pour la compatibilité des liaisons de masse
Recommandations et exemples
Utilisation et connexion des dispositifs dissipatifs
Prise de terre

10. Compatibilité des liaisons entre équipements

Action des champs extérieurs et émission
Diaphonie sur les liaisons
Liaisons torsadées / Liaisons équilibrées et flottantes
Ecrantage : respect de la topologie
Réduction des effets du mode commun
Huit principes pour la compatibilité des liaisons
Quelques compromis et astuces

11. Réalisation des écrans et contacts galvaniques

Topologie des écrans
Réalisation des écrans quasi-fermés
Joints conducteurs
Réalisation des contacts de masse
Corrosion des contacts galvaniques
Prises de terre

12. Normes et législations

Législation européenne
La CEM aux U.S.A
Normes internationales
Normes européennes
Normes françaises
Normes militaires françaises
Normes militaires US
Présentation de deux normes génériques

13. Impédances mutuelles

Inductances
Inductances partielles
Calculs d'inductances des lignes
Capacité
Influence de la fréquence
Plan de masse

14. Méthodes de prédiction des couplages avec les liaisons

Couplage diaphonique sur une liaison courte
Ligne à deux conducteurs : étude fréquentielle
Terminaison linéaire d'une ligne
Formulation temporelle de la propagation
Diaphonie sur une liaison sans pertes
Détermination de l'action des champs extérieurs
Conclusion sur la prédiction des couplages

15. Performances des écrans des câbles et connecteurs

Mesures de ZT et de YT : principe
Quelques techniques de mesure
Câbles coaxiaux
Câbles multiconducteurs
Connecteurs

16. Filtrés linéaires passifs

- Définitions et cellules élémentaires
- Complexités et performances d'un passe-bas
- Notations
- Affaiblissement d'insertion
- Atténuation totale
- Atténuation de tension
- Pire cas
- Domaine d'impédance d'entrée
- Filtrés réactifs
- Filtrés dissipatifs

17. Conception interne

- La CEM dans une enveloppe d'équipement
- Spécifications des écrans
- Connexions internes de masse
- Distribution de l'alimentation
- Conception des cartes
- Précautions pour les circuits analogiques
- Précautions pour les circuits digitaux
- Optocoupleurs
- Alimentations électroniques
- Transitoires dans les circuits de commutation
- Interconnexions des cartes et modules

18. Méthodes de travail en CEM

- Les trois approches de la CEM
- Organisation du projet
- Schéma topologique des écrans
- Schéma des connexions de masse
- Etapes du travail de l'IRC

19. Protection des lignes d'alimentation et de signal

- Structure des condensateurs pour filtre
- Choix des technologies de condensateurs
- Classes d'isolement
- Courants de fuite
- Filtrés à 3 bornes
- Filtrés multilignes
- Exemples de schémas de filtrés utiles
- Inductances absorbantes
- Filtrés à éléments répartis
- Eclateurs
- Diodes à avalanche de puissance
- Varistors
- Diodes Shockley
- Utilisation des parasurtenseurs
- Mode commun sur les lignes d'alimentation

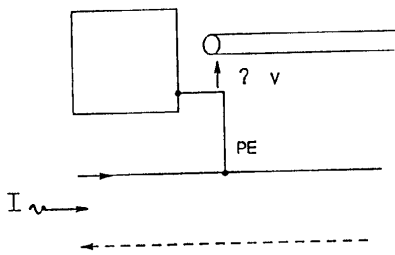
Etudes de cas



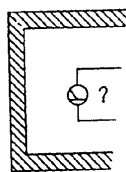
8 - Couplage par impédance commune

Deux feuilles
extraites du support
du stage 04

→ Dans un réseau de masse



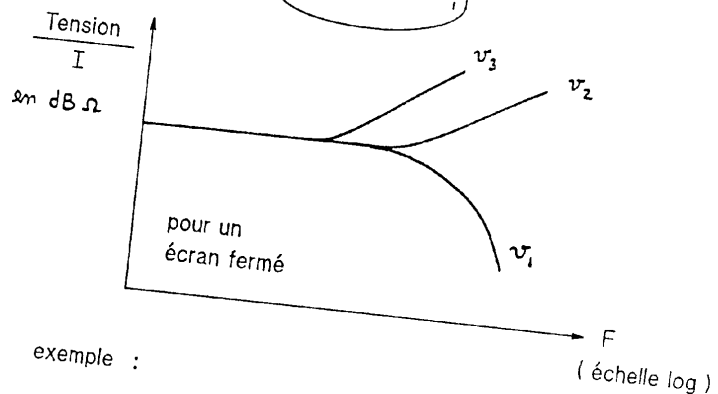
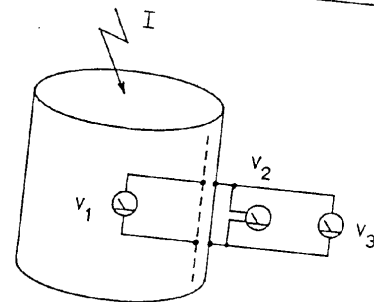
→ Dans un écran



→ I peut être dû à

- un champ élect
- un champ magn
- une injection de

Page G - 30



exemple :

Décharge électrostatique "lente" $t_m \approx 10 \text{ ns}$ 10 A
Ecran fermé aluminium 0,2 mm

diamètre écran : 20 cm

$\delta = 14 \mu\text{m}$ à 35 MHz

$$j_0 = \frac{I}{2\pi \frac{D}{2} \delta} \approx 1,1 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$$

$$H = \frac{I}{2\pi \frac{D}{2}} \approx 16 \text{ A/m}$$

espacement des points 10 cm :