



## Stage 3

Compatibilité Electromagnétique

### LIAISONS, INTERCONNEXIONS ET CIRCUITS A GRANDE VITESSE

**But du stage :** Etudier les couplages indésirables sur les liaisons : émission, captation de champs extérieurs, diaphonie.

**Personnes concernées :** Ingénieurs et techniciens ayant suivi le stage 1 ou le stage 4, ou des formations équivalentes.

**Observations :** Il s'agit d'un stage d'approfondissement, utilisant des outils de simulation électronique Spice et présentant des explications mathématiques faisant appel au calcul matriciel.

**Durée :** 32 heures en quatre journées consécutives.

### PROGRAMME DU STAGE

#### Rappel sur les champs, tensions et courants

- courant et densité de courant
- champ électrique et champ magnétique
- courant de déplacement
- tensions et potentiels
- lois de Kirchhoff pour la CEM
- courant de mode commun
- ondes rayonnées
- réciprocité
- effets de peau et de proximité

#### Effet d'antennes

- caractéristiques des antennes
- dipôle et monopôle linéaire court
- dipôle magnétique court
- antenne doublet
- antenne à ondes stationnaires
- antennes à ondes progressives
- différent types d'antennes intentionnelles
- antennes inintentionnelles

#### Impédances mutuelles

- inductance
- inductances partielles
- calculs d'inductance des lignes
- capacité
- influence de la fréquence
- plan de masse

#### Approximation quasi-statique dans les liaisons

- diaphonie
- action des champs extérieurs
- émission
- étude de la liaison à deux conducteurs
- liaisons à plus de deux conducteurs
- exemple de calcul de diaphonie
- exemple de calculs de transfert MC/MD
- liaisons torsadée
- domaine temporel

#### Propagation le long d'une ligne bifilaire

- rappels sur les ondes guidées
- lignes
- lignes à deux conducteurs : étude fréquentielle
- termination linéaire d'une ligne bifilaire
- propagation de la puissance
- ligne à deux conducteurs : étude temporelle
  - cas sans pertes
  - cas avec pertes
- résolution dans le domaine temporel

#### Câbles avec écrans

- efficacité d'écran
- câble coaxial
- câble bifilaire et multiconducteur avec écran
- écrans multiples
- comportement UHF/SHF des écrans
- discontinuité des écrans

#### Propagation le long d'une ligne multifilaire

- ligne à  $n + 1$  conducteurs : étude fréquentielle
- résolution fréquentielle dans le domaine des modes
- ligne sans perte dans un milieu homogène
- deux exemples fondamentaux
- termination linéaire
- étude temporelle
- résolution temporelle dans le domaine des modes

#### Théorie de la compatibilité des liaisons

- couplage faible entres lignes
- diaphonie entre liaisons réelles
- action des champs extérieurs : modèle fréquentiel des lignes
- action des champs extérieurs : modèle temporel des lignes
- action des champs extérieurs : modèle des antennes
- action des champs extérieurs sur les liaisons réelles
- émission des liaisons

#### Ecrans de câbles et connecteurs: performances

- mesures de  $Z_T$  et de  $Y_T$  : principe
- techniques de mesure
- câbles coaxiaux
- câbles multiconducteurs
- connecteurs

#### Techniques avancées pour la CEM des liaisons

- liaisons équilibrées et flottantes
- écranage : respect de la topologie
- maîtrise du mode commun, les huit principes
- comparaison des mécanismes de transfert MC/MD
- discussion des mises à la masse uniques
- reprises de masse
- absorption par le sol

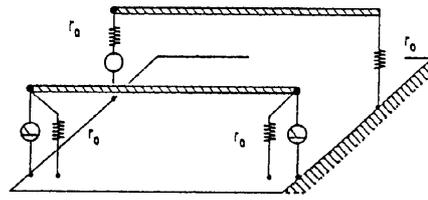
#### Application aux circuits à grande vitesse

- problèmes de CEM sur les circuits à grande vitesse
  - cas des circuits analogiques
  - cas de circuits logiques rapides
- paramètres de couplage sur les circuits imprimés
- réduction des couplages
- méthode de prédiction des couplages sur les cartes
- modélisation et simulation de couplage diaphonique
- modélisation et simulation d'action d'une source éloignée

Deux feuilles  
extraites du support  
du stage 03



Adaptation sur l'impédance  $\begin{pmatrix} r_0 & 0 \\ 0 & r_0 \end{pmatrix}$



$$v_+(0) \approx \frac{e_s}{2} \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{(K+1)k}{4} \end{pmatrix} \text{ comme précédemment}$$

par contre il se produit une réflexion en  $x = L$

$$v_-(L) = \left(1 + \frac{1}{r_0} Z_0\right)^{-1} \left(1 - \frac{1}{r_0} Z_0\right) v_+(L)$$

avec les approximations précédentes

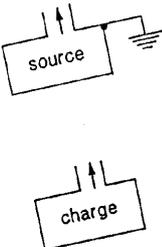
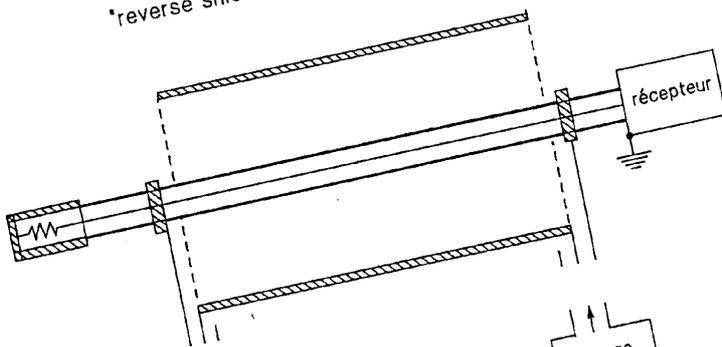
$$\left(1 + \frac{1}{Z_0} Z_0\right)^{-1} \left(1 - \frac{1}{Z_0} Z_0\right) \approx \begin{pmatrix} 0 & -\frac{(K+1)k}{4} \\ -\frac{(K+1)k}{4} & 0 \end{pmatrix}$$

$$\gamma_0 = \frac{j\omega}{c}$$

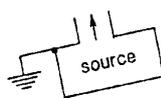
$$\left. \begin{aligned} &k [e^{-\gamma_0 x} - e^{\gamma_0 (x-2l)}] \\ &-\frac{(K-1)k}{2} \frac{x}{c} j\omega e^{-\gamma_0 x} \end{aligned} \right\}$$

NOTES :

Banc triaxial inversé à injection dans l'écran  
\*reverse shield injection triaxial\*



puis / ou



avantages

- permet la mesure de  $Z_T$  et  $Y_T$

inconvénients

- deux mesures sont nécessaires
- des calculs sont obligatoires pour obtenir  $Z_T$  et  $Y_T$
- coût matériel considérable