

## H7 - Intégrité du signal

### Objectifs

- Identifier les sources de dégradation des signaux numériques
- Eviter les pièges de la mesure de signaux haute fréquence
- Exploiter un logiciel de simulation dédié à l'intégrité de signal
- Apprendre à concevoir des cartes rapides
- Apprendre à vérifier l'intégrité des signaux
- Définir les procédés de fabrication à mettre en oeuvre

### Matériel

- Un support de cours

*Exercice: Observations de formes d'onde à l'aide d'un réflectomètre Agilent*

### Pré-requis

- Connaissances de base en électronique numérique et analogique

### Course Environment

- Theoretical course
  - PDF course material (in English) supplemented by a printed version for face-to-face courses.
  - Online courses are dispensed using the Teams video-conferencing system.
  - The trainer answers trainees' questions during the training and provide technical and pedagogical assistance.
- At the start of each session the trainer will interact with the trainees to ensure the course fits their expectations and correct if needed

### Target Audience

- Any embedded systems engineer or technician with the above prerequisites.

### Evaluation modalities

- The prerequisites indicated above are assessed before the training by the technical supervision of the trainee in his company, or by the trainee himself in the exceptional case of an individual trainee.
- Trainee progress is assessed by quizzes offered at the end of various sections to verify that the trainees have assimilated the points presented
- At the end of the training, each trainee receives a certificate attesting that they have successfully completed the course.
  - In the event of a problem, discovered during the course, due to a lack of prerequisites by the trainee a different or additional training is offered to them, generally to reinforce their prerequisites, in agreement with their company manager if applicable.

### Plan

### Introduction

- définition des termes techniques de base : temps de montée, horloge et signal, constante diélectrique, lignes de transmission, impédance et terminaisons
- illustration de ces concepts

- formes d'onde réelle en haute fréquence
- causes d'incompréhension
- familles de problèmes
- les 3 catégories de solution : nouvelle conception, nouveaux composants et nouveaux outils de CAO
- références de sites internet et de livres connexes

## **Les principes fondamentaux**

- mode commun / mode différentiel
- modèles réels des composants électroniques : résistance, condensateur, inductance et circuits intégrés
- rôle critique joué par l'inductance dans la qualité de signal
- chemin de retour de courant
- représentation des signaux dans le domaine fréquentiel, notion de bande passante, importance du temps de montée
- diaphonie [cross-talk] : d'origine inductive et d'origine capacitive
- dépassement de niveau et oscillations [overshoot et ringing]
- rebond de masse [ground bounce]
- effet de peau
- techniques de mesure

## **Les lignes de transmission**

- rappels sur la propagation des ondes
- lignes à impédance contrôlée, adaptation d'impédance, impédance vue par un signal : notion d'impédance caractéristique
- types de lignes : microstrip, strip line, embedded microstrip
- commutation sur onde incidente / commutation sur onde réfléchie
- techniques de terminaison : résistance série, résistance parallèle, réseau RC, réseau de Thévenin, réseau de diodes
- comparatif des différentes méthodes
- modélisation des lignes : modèle analytique, modèle graphique
- application au bus CompactPCI
- calcul d'impédance différentielle : exemple de l'USB
- intérêt des stubs, application au bus IEEE1394
- rupture d'impédance, critères de sélection d'un connecteur
- prise en compte des temps de propagation : génération de retards par serpentins
- intérêt des MCM [Multi Chip Module]

## **Les règles de conception d'un circuit imprimé**

- règles générales de placement / routage : blindage des lignes, importance de la géométrie du circuit imprimé
- utilité du découplage et sélection du type de condensateur en fonction du domaine de fréquence
- circuits monocouche
- circuits multicouches : plans d'alimentation et plans de masse
- principe de conception de carte à cross-talk faible
- cartes mixtes analogique / numérique
- méthodologie de conception
- ajustement et optimisation des caractéristiques physiques de l'interconnexion pour améliorer la qualité de signal

## **Les outils d'aide à la conception**

- impédances caractéristiques simples et différentielles
- effets liés à la température
- simulation des lignes : modèle SPICE et modèle IBIS
- environnement de simulation pré et post routage complet
- prédiction de l'intégrité de signal et conséquences sur les contraintes de routage, la topologie des horloges, la sélection de la vitesse des devices et les réseaux de terminaison
- importation de la topologie physique de la carte et des informations sur l'empilage des couches
- création de modèles IBIS
- prédiction du cross-talk sur les cartes travaillant à fréquence élevée

## **La mesure des signaux**

- théorie de la TDR [Time Domain Reflectometry]

- utilisation d'un réflectomètre Agilent pour observer des formes d'onde sur un PCB volontairement conçu pour causer des problèmes de réflexions et de cross-talk
- mesure de l'impédance caractéristique
- détection de ruptures d'impédance caractéristique
- calcul des temps de propagation

## Renseignements pratiques

**Inquiry : 3 days**