
Introduction

La compatibilité électromagnétique considère les problèmes de cohabitation entre équipements électroniques et développe des méthodes pour contrôler, prédire et résoudre les effets des différentes perturbations :

- émission de perturbations conduites sur des câbles d'alimentation et de liaison ;
- émissions rayonnées dans le voisinage d'autres équipements ;
- immunité aux perturbations conduites sur des câbles d'alimentation et de liaison ;
- immunité aux perturbations rayonnées ;
- immunité aux décharges électrostatiques.

L'intégrité du signal traite des perturbations au niveau de l'équipement lui-même : distorsion des signaux lors de leur propagation sur les interconnexions, du câble au circuit intégré, en passant par les connecteurs, le circuit imprimé (PCB) et les boîtiers.

Les applications audio-vidéo demandent actuellement un débit de plus en plus élevé aux circuits de transmission et de traitement des signaux et cela conduit à une occupation spectrale de plus en plus grande et ainsi à des fréquences plus élevées à transmettre. En même temps, la présence de plusieurs phénomènes parasites limite de la bande passante du canal de transmission :

- connectiques et liaisons inductives ou capacitives ;
- phénomènes de désadaptation au niveau des lignes de transmission ;
- diaphonie et *cross talk* ;
- bruit lié à la commutation des alimentations et d'autres circuits.

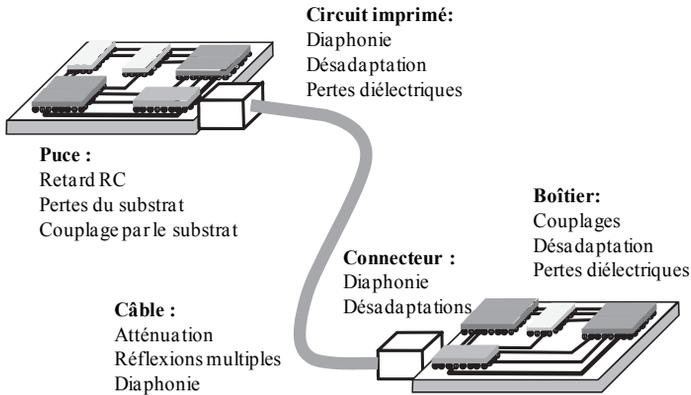


Figure I.1. Phénomènes à traiter dans les interconnexions de transmission haut débit (USBx, HDMI, etc.) entre deux circuits imprimés

Ainsi, la transmission du signal à travers un canal de transmission à bande passante limitée qui est composé de boîtiers, de connecteurs et de lignes, se traduit par des distorsions qui peuvent provoquer des erreurs de transmission, la baisse de débit du signal, et donc la dégradation globale de performances des systèmes.

Pour la maîtrise de l'intégrité du signal, on peut résumer les phénomènes prépondérants à prendre en compte en fonction des niveaux d'interconnexions par le tableau I.1.

	Circuits intégrés	Boîtiers et connecteurs	Circuits imprimés	Câbles et bus de données
Dégradation du temps de montée	***	**	*	
Pertes conducteurs et diélectriques	***	**	**	*
Capacités et inductances	**	***	*	
Interférences et diaphonie	**	**	***	***
Impédance de ligne		*	**	***

Tableau I.1. Phénomènes prépondérants pour l'intégrité du signal dans les interconnexions

Des outils spécifiques d'analyse et de mesure sont utilisés pour comprendre et optimiser les circuits afin de prendre en compte les différents points résumés ci-dessus :

- la technique de réflectométrie temporelle ;
- le concept des paramètres S.

Ces différents points sont traités dans cet ouvrage d'abord en se basant sur des observations pratiques, puis en introduisant les principes de base permettant au lecteur de maîtriser les concepts et d'appréhender les problèmes d'intégrité du signal les plus complexes.

Dans le premier chapitre qui est dédié à la dégradation du temps de montée des signaux numériques, liée à la transmission dans un canal à bande passante limitée et la conséquence des perturbations sur les paramètres du signal numérique. L'influence du débit et du temps de montée du signal sur son occupation spectrale est présentée, illustrée par des exemples tirés des applications haut débit.

Le deuxième chapitre traite de la modélisation des interconnexions. Les modèles ICEM et IBIS utilisés pour la modélisation globale des circuits actifs et des interconnexions sont introduits afin de définir les besoins en modèle à différents niveaux d'un système. Le choix des modèles, composés d'associations de résistances, d'inductances et de capacités en fonction du type d'interconnexions est présenté. La prise en compte des pertes dans les conducteurs et dans les substrats est un point critique dans les modèles des circuits d'interconnexions. La détermination de ces paramètres permet de prédire les performances des circuits. Ce chapitre traite le cas particulier des boîtiers qui implique des matrices d'inductances et de capacités permettant de prendre en compte la proximité des broches.

Le troisième chapitre présente l'impédance contrôlée, la désadaptation et les réflexions multiples associées. Le concept de ligne de transmission et d'adaptation indispensable pour les bus de données est présenté, illustré par des cas typiques de bus ou lignes imprimées. Ce chapitre permet en même temps d'introduire les méthodes d'analyse temporelle et fréquentielle très utilisées en intégrité du signal.

Le quatrième chapitre présente le concept de lignes de transmission, nécessaire pour maîtriser les interconnexions à impédance contrôlée. La propagation dans les lignes et les différents paramètres associés comme l'impédance d'entrée d'une ligne sont présentés afin d'anticiper les techniques de mesure des chapitres 5, 6 et 7.

Le cinquième chapitre présente le concept des paramètres S utilisés pour déterminer les performances des circuits et systèmes dans le domaine fréquentiel.

Les paramètres S permettent d'analyser le comportement spectral des interconnexions, valider leurs performances pour des signaux haut débit dont le spectre va jusqu'aux radiofréquences. En particulier, quelques techniques de caractérisation de matériaux permettant de concevoir des lignes à impédance contrôlée sont présentées.

Le sixième chapitre traite les techniques de mesure temporelle par la réflectométrie temporelle (TDR). Cette méthode permet à la fois de qualifier les performances des interconnexions, et de localiser les défauts, les discontinuités et les sources de désadaptation dans les circuits haut débit.

Le septième chapitre présente les phénomènes de couplage à l'origine des interférences et diaphonies dans les circuits intégrés, les boîtiers et dans les bus de données. Les paramètres critiques pour les performances des câbles et bus de données sont présentés et leur impact expliqué.

Cet ouvrage est basé sur les formations professionnelles réalisées par l'auteur dans le cadre de la formation continue de l'Université de Grenoble. Il pourra servir de base de formation pour les techniciens ou ingénieurs désirant aborder avec sérénité la conception ou la mise en œuvre des circuits haut débit ou des circuits mixtes, numériques et radiofréquences.