

# CAO en microélectronique à la demande

## Réalisation de PCB

REMACLE Matthieu

5 novembre 2013



# Université de Liège

Remacle Matthieu

Par mail : [mremacle@ulg.ac.be](mailto:mremacle@ulg.ac.be)

Bureau : 1.85a

Téléphone : +32 4 366 2617

Remacle

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Eléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

# Outline I

## Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

## Schématique

## Packaging

Définition

Through holes

SMT

## Environnement

PCB de debug

PCB de production

## Design général du PCB

Couches

Éléments

## Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

## PCB à haute vitesse

Remacle

Rôles et enjeux d'un  
PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

# Outline II

Aperçus

Types de pistes

Solutions

Exemple d'applications

Remacle

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Eléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

## Bibliographie

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Eléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

# Section 1

## Rôles et enjeux d'un PCB

# Définition I

## Définition

Un circuit imprimé (le sigle PCB de l'expression en anglais « *Printed Circuit Board* » est également utilisé) est un support, en général une plaque, permettant de relier électriquement un ensemble de composants électroniques entre eux, dans le but de réaliser un circuit électronique complexe. On le désigne aussi par le terme de carte électronique. [18]

Cette définition réduit le PCB à un ensemble de fils. Est-ce bien tout ?

## Définition II

En plus de permettre de connecter les fils d'un circuit, un PCB doit :

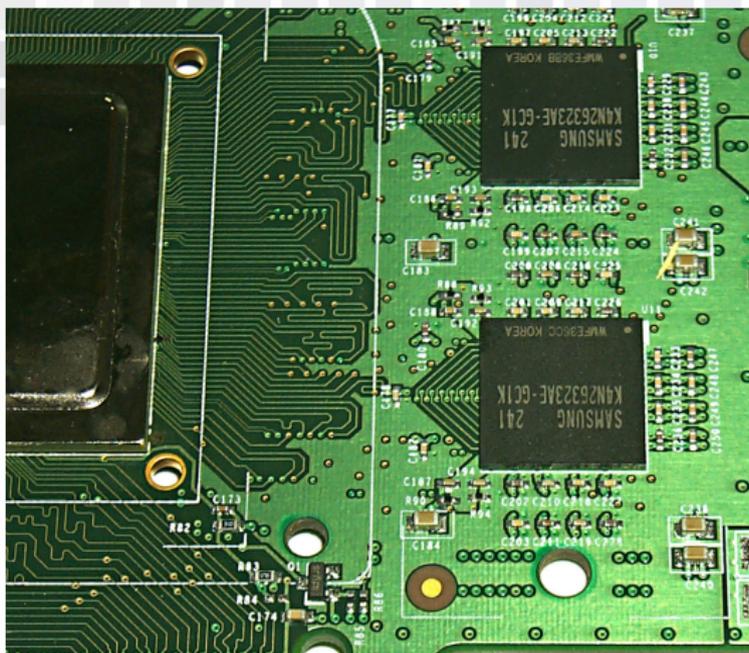
- ▶ Permettre le transport des signaux à haute vitesse,
- ▶ Être capable de supporter les différents niveaux de tension requis,
- ▶ Offrir des performances maximales en terme de bruit et de qualité de signaux,
- ▶ Être ergonomique,
- ▶ Avoir un coût limité,
- ▶ Permettre un debug facile,
- ▶ Être intégré dans son environnement.

# Définition III



- ▶ Forme adaptée
- ▶ Trous de fixation

# Définition IV



- ▶ Adaptation de longueur
- ▶ Plan de masse
- ▶ Résistances de terminaison

Remarque

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de débog

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

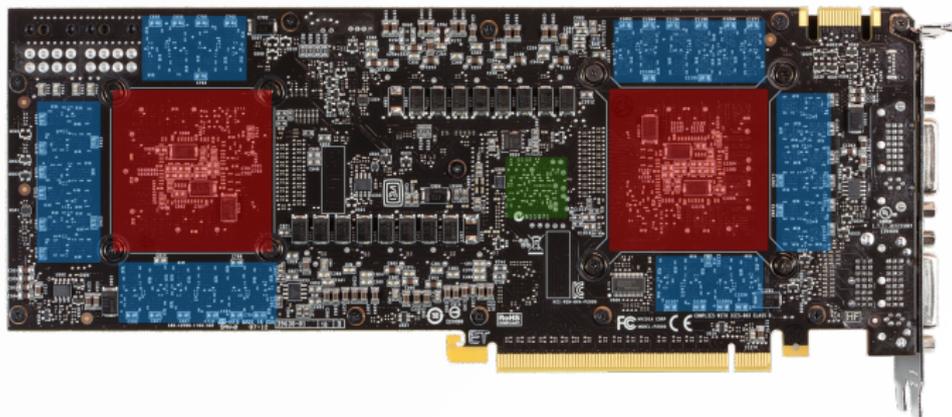
Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes



## ► Capa de découplage

# Constitution d'un PCB I

## Matériaux utilisés

**Base :** Utilisation de FR-4 (Flame Resistant 4) : composé de résine epoxy et fibre de verre. C'est le plus utilisé, mais on en trouve beaucoup d'autres.

Caractéristiques	Valeur
Constante diélectrique	4.35 - 4.7
Facteur de perte	0.01 - 0.2
Résistivité de surface	$2 \times 10^5 [M']$
Résistivité volumique	$8 \times 10^7 [M' \cdot cm]$

**Cuivre :** Utilisé pour les pistes

Caractéristique	Valeur
Conductivité	$59.6 \times 10^6 [S/m]$

**Solder Resist :** Couche empêchant d'appliquer la soudure, protection environnementale

**Silkscreen :** Indications diverses

**Soudure :** Pour recouvrir les parties de cuivre exposées

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

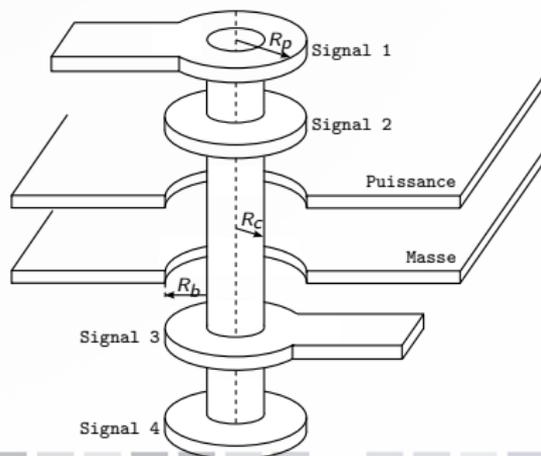
Types de pistes

# Constitution d'un PCB II

## Vias

### Définition

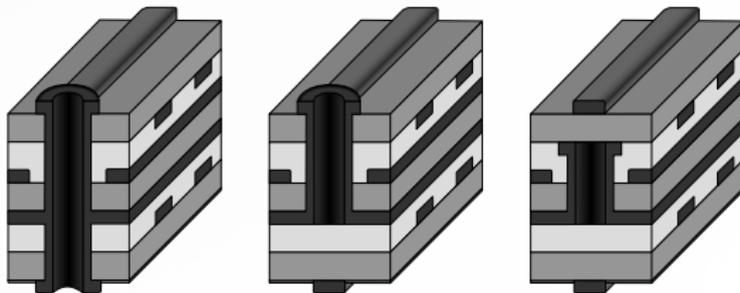
Un via (Vertical Interconnect Access) est une connexion électrique verticale entre différentes couches de conducteurs dans un circuit électronique. [20]



# Constitution d'un PCB III

Il existe 3 types de vias :

- ▶ Through Hole
- ▶ Blind
- ▶ Buried



## Section 2

# Schématique

# Définition I

Remacle

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

**Schématique**

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Eléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

## Première étape

Passage de l'idée papier (éventuellement testée sur breadboard) vers un schéma clair et conçu

Ce schéma contient :

- ▶ Composants nécessaires et valeurs,
- ▶ Connexions,
- ▶ Annotation utiles,

## Définition II

### Seconde étape

Ajout des composants "secondaires" nécessaires pour garantir une qualité de signal optimale

Cela comprends :

- ▶ Capacités de découplage,
- ▶ Résistances tire-haut, bas,
- ▶ Diodes de protection,
- ▶ Filtrés d'alimentation,
- ▶ Pastilles de soudures,
- ▶ etc...

Cette étape est primordiale car c'est elle qui conditionnera en grande partie le fonctionnement ou non de votre circuit final !

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

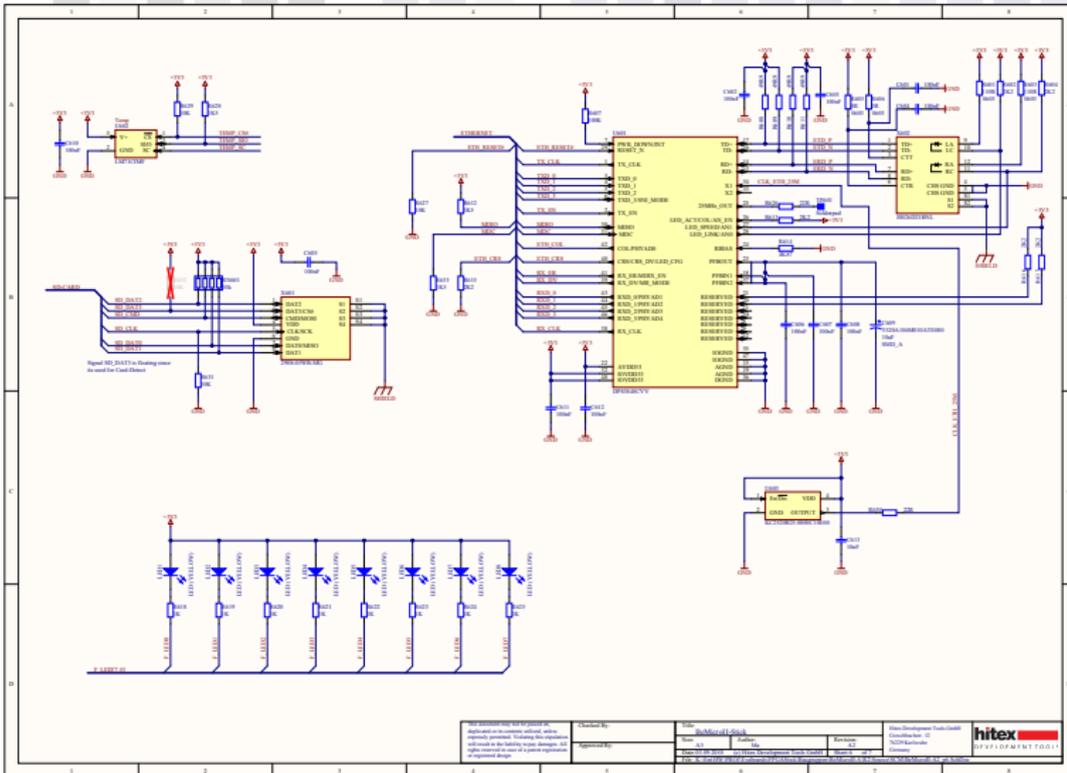
Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes



<p>Das Dokument ist ein Entwurfsskizze. Änderungen sind jederzeit möglich. Die Verantwortung für die Richtigkeit der Daten liegt bei dem Auftraggeber. Änderungen sind jederzeit möglich. Die Verantwortung für die Richtigkeit der Daten liegt bei dem Auftraggeber.</p>	<p>Created By: <b>Reinhold Ziegler</b></p> <p>Approved: <b>Reinhold Ziegler</b></p>	<p>File: <b>Reinhold_Ziegler</b></p> <p>Project: <b>Reinhold_Ziegler</b></p> <p>Revision: <b>1.0</b></p> <p>Date: <b>2010-01-01</b></p>	<p>Elektronik-Entwicklungs-Technik GmbH                  Industriestraße 10                  42699 Solingen                  Telefon: +49 (0)212 649-1000                  Fax: +49 (0)212 649-1001                  E-Mail: <a href="mailto:info@elektrotechnik.de">info@elektrotechnik.de</a></p>	<p><b>hitec</b>                  DIFFERENTIAL TO 11</p>
---	---	---	---	---

# Création d'un schématique I

Il n'y a pas de règle précise. Mais voici quelques astuces pour garder des schémas lisibles :

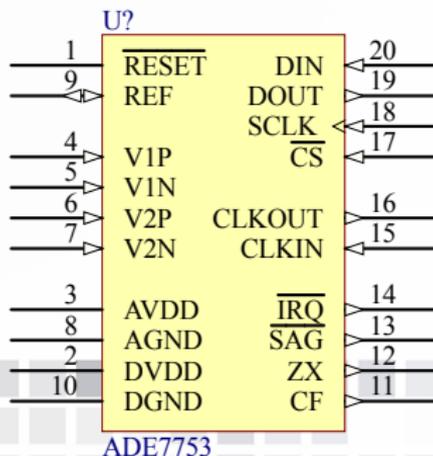
- ▶ Séparer le schéma en blocs fonctionnels, et les relier avec des *ports* ou des *bus*, nommer les fils,
- ▶ Utiliser les lignes dédiées pour la puissance et non des *ports*,
- ▶ Il est souvent possible de laisser les noms avec un "?", puis forcer une annotation automatique des composants,
- ▶ Certains logiciels (comme Altium ou Proteus) permettent de faire des simulations spice. Il convient donc d'indiquer les bons modèles,
- ▶ Toujours utiliser des noms clairs, voir indiquer en annexe une référence pour commander le composant. En outre, utiliser des noms standards : R?, C?, D?, Q?, XTAL?, etc...



## Création d'un schématique III

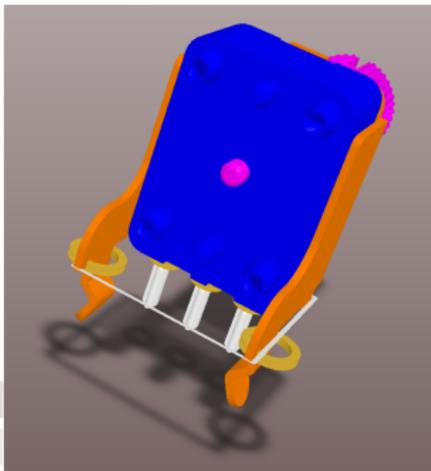
En parallèle avec la création du schématique, vous allez devoir créer des footprints, des symboles, et des bibliothèques.

- ▶ Si le logiciel le permet, indiquez le type de pin (Open drain, power, etc...). Le logiciel vous permet ainsi parfois de faire quelques vérifications supplémentaires,
- ▶ N'hésitez pas à faire des symboles un peu plus grand, pour assurer une bonne lisibilité,



## Création d'un schématique IV

- ▶ Les grosses puces (ex : CPU, FPGA) peuvent être scindées en plusieurs blocs,
- ▶ Vérifiez toujours vos footprints grâce à un modèle 3D ou une impression papier en 1 :1,
- ▶ Si le logiciel le permet, indiquez les références farnell, mouser, etc... Cela facilitera la génération de la BOM.



 A screenshot of a software interface. The top part shows a 3D model of a potentiometer with a yellow bounding box. Below it is a table with columns for Supplier, Manufacturer, Description, and Unit Price. The table contains one entry for a potentiometer from Mouser. Below the table is a 'Parameters' section with a small image of the potentiometer and a list of its specifications.
 

Supplier	Manufacturer	Description	Unit Price
Mouser	ALPS	Potentiometers 10 KOhms 30%	0.675 AUI

Parameters	
Name	Value
Category	Potentiometers
Description	Potentiometers 10 KOhms 30%
Manufacturer	ALPS
Manufacturer Manufacturer	ALPS
Manufacturer Part Number	RK09K1110A0J
Minimum Order Quantity	1

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

# Création d'un schématique V

Et la règle la plus importante :

**Attention !**

**Vérifiez le pin-out !**

ELEN0035-1

Remarque

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

**Schématique**

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Eléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

## Attention

Le découplage est absolument *Primordial* ! Il doit faire l'objet d'attention sur le schematic *et* le PCB !

Le but du découplage est double :

- ▶ Bypasser les parasites hautes fréquences,
- ▶ Fournir un réservoir de charge pour les drivers de sortie.

# Découplage II

Point de vue schematique, il convient de choisir le type et le nombre de capacité :

- ▶ Une capacité par pin !
- ▶ Petites puces (PIC, Amplis op basiques, etc...) 100 [nF] est suffisant ;
- ▶ Puces complexe (FPGA, CPU, Ampli Op Haute vitesse...) utilisation de deux, voir trois capacités en parallèles. Par exemple 100 [nF], 10 [nF], 2.7 [nF] ;
- ▶ Puces haute puissance (Drivers, etc...) 10 [uF], 100 [nF] ;
- ▶ Alimentation (Régulateurs linéaires, etc...) : aluminium électrolytique ou tentale ;
- ▶ Pour les petites capacités, utiliser des MLCC (céramique multi couche), de préférence X7R (meilleure tenue en température)

## Bonne pratique

Toujours se référer à la datasheet, et essayer de trouver des applications notes avec des schematiques d'utilisation de la puce en question.

# Découplage III

ELEN0035-1

Remarque

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de débog

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

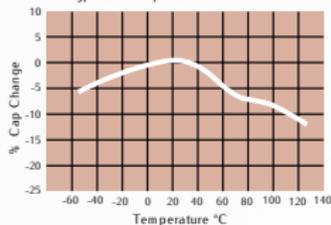
Finalisation

PCB à haute vitesse

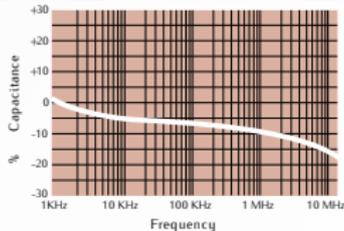
Aperçus

Types de pistes

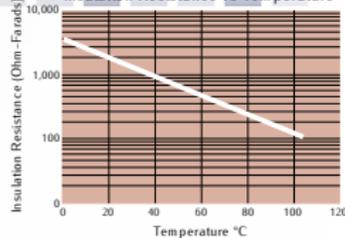
X7R Dielectric  
Typical Temperature Coefficient



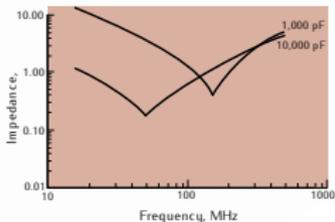
Capacitance vs. Frequency



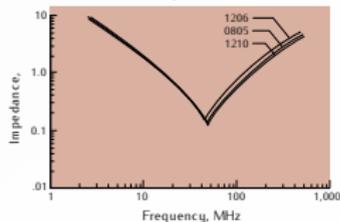
Insulation Resistance vs. Temperature



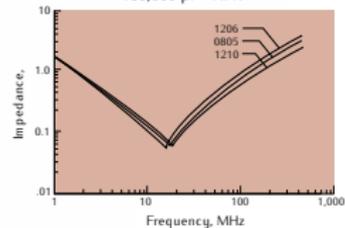
Variation of Impedance with Cap Value  
Impedance vs. Frequency  
1,000 pF vs. 10,000 pF - X7R  
0805



Variation of Impedance with Chip Size  
Impedance vs. Frequency  
10,000 pF - X7R

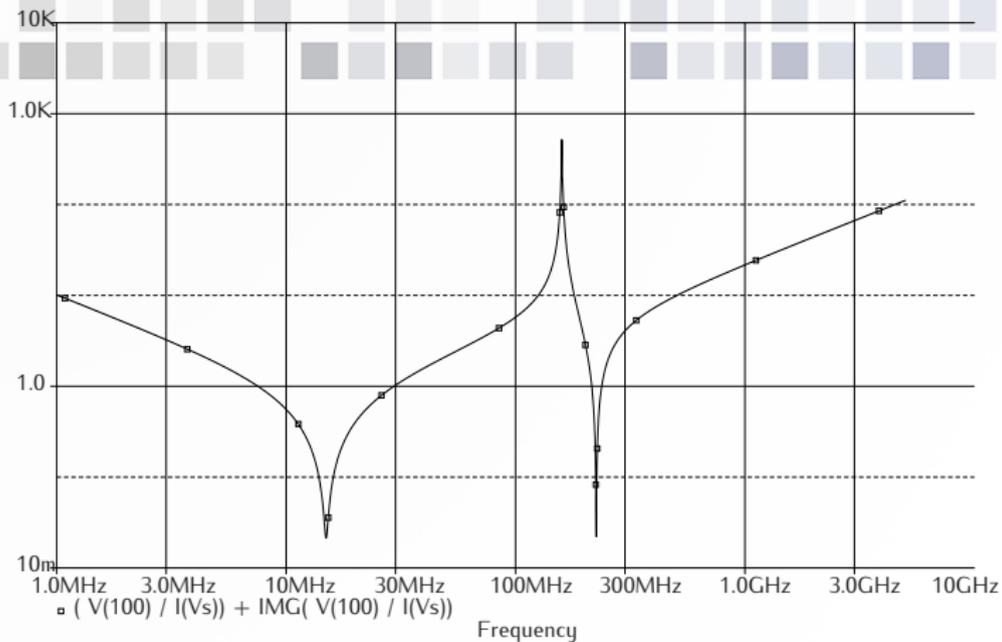


Variation of Impedance with Chip Size  
Impedance vs. Frequency  
100,000 pF - X7R



Capacité au X7R [4]

# Découplage IV



22 [nF] || 100 [pF]

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de débog

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

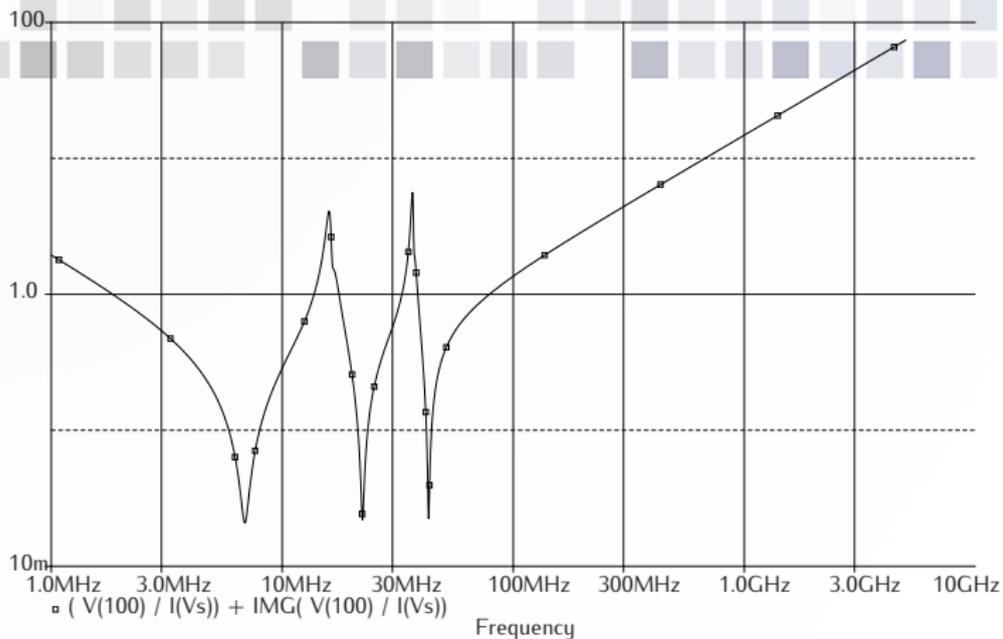
Finalisation

PCB à haute vitesse

Apercus

Types de pistes

# Découplage V



100 [nF] || 10 [nF] || 2.7 [nF]

## Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

## Schématique

### Packaging

Définition

Through holes

SMT

### Environnement

PCB de debug

PCB de production

### Design général du PCB

Couches

Éléments

### Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

### PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

En conclusion :

- ▶ Les valeurs empiriques fonctionneront pour la plupart des systèmes,
- ▶ Pour des systèmes très sensibles, utiliser Spice pour connaître les fréquences de résonance,
- ▶ Attention à la taille des pics de résonance !

Il est intéressant de protéger certaines entrées et sorties du processeur contre les erreurs de manipulations :

- ▶ I/O accessibles à l'utilisateur,
- ▶ I/O placées sur un bus contrôlé à l'aide de buffers,
- ▶ I/O à proximité de tensions élevée,
- ▶ Protection de l'alimentation générale.

La protection suivante peut être recherchée :

- ▶ Décharge électrostatique lors d'un contact humain ou lors du branchage d'un câble,
- ▶ Erreur de code (deux sorties imposent une tension différente...),
- ▶ Erreur de branchement,
- ▶ Etc...

Solutions envisageables :

- ▶ Utilisation de résistances séries sur les lignes (par exemple, 100 [Ω]),
- ▶ Utilisation de *buffer* pour driver les sorties,
- ▶ Utilisation de *tri-state buffer* sur les bus de données,
- ▶ Protection pré-embarquée dans le composant ?

- ▶ Parfois, une protection ESD est présente dans le package de la puce,
- ▶ Dans les autres cas, il convient d'ajouter une diode de *clamp*, ou TVS[2], qui laissera passer toute la sur-tension.

Cette diode doit être choisie avec soin : elle représente ainsi en temps normal un *parasite*. Il existe tout un tas de package contenant des diodes utiles pour tel ou tel protocole [8].

# Protection contre les ESD II

Remacle

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Eléments

Routage du PCB

DRC

Routage

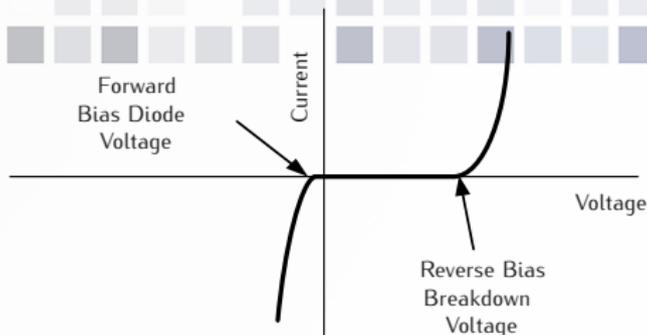
Considérations thermiques

Finalisation

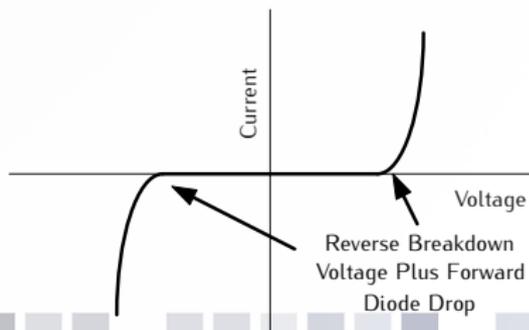
PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes



or



# Protection contre les ESD III

ELEN0035-1

Remarque

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

**Schématique**

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

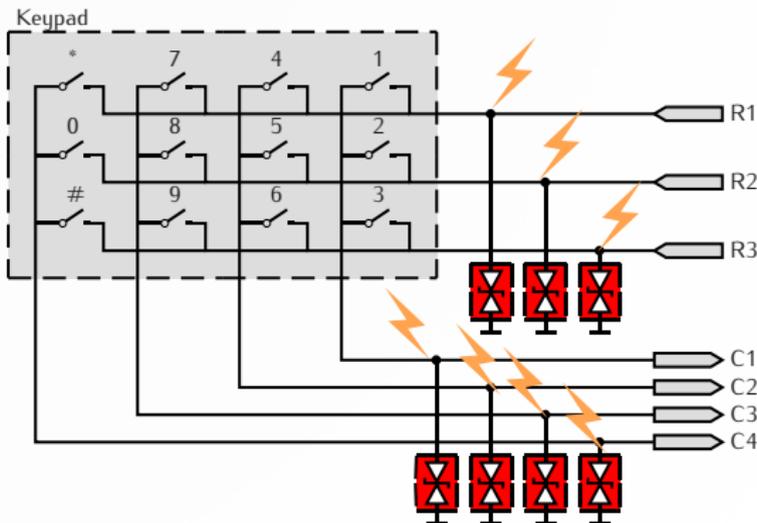
Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

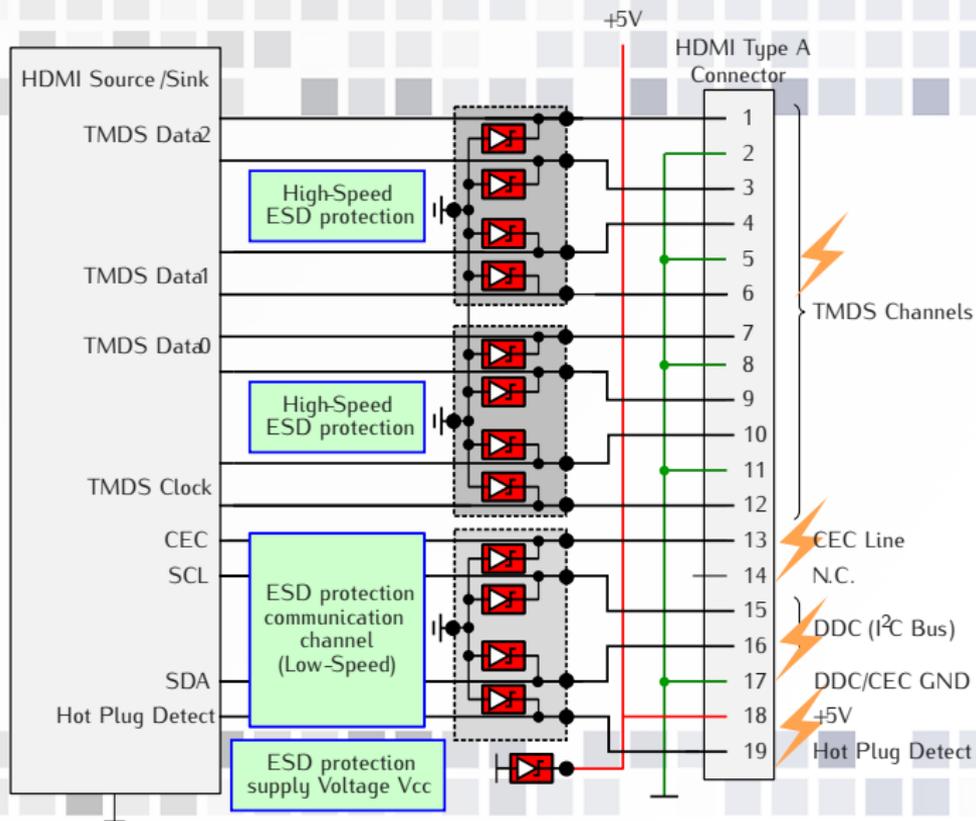
Aperçus

Types de pistes



# Protection contre les ESD IV

Remarque



Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

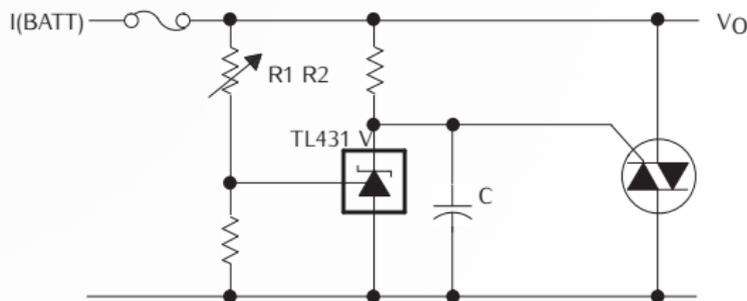
Aperçus

Types de pistes

- ▶ La plupart des alimentations vendues disposent de protections contre les sur-tensions.
- ▶ Les régulateurs linéaires peuvent ne pas aimer une sur-alimentation pour des questions de dissipation !

## Protection de l'alimentation II

Une solution possible consiste à utiliser un *Crowbar* :

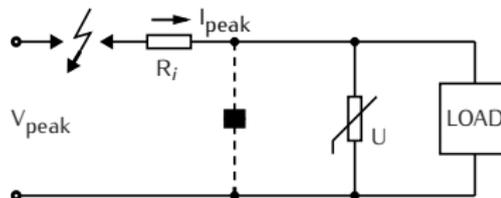
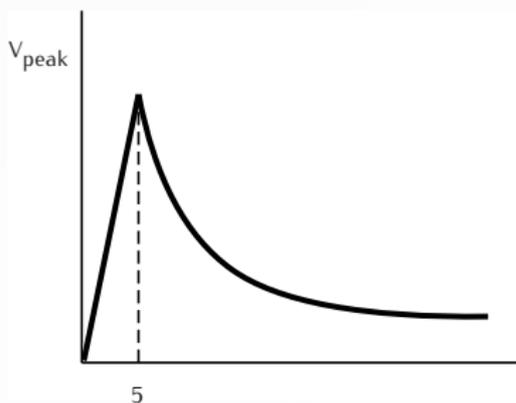


En cas de sur-tension :

- ▶ En utilisation normale, le TL431 consomme un faible courant, et la tension en  $V$  est proche de  $V_O$
- ▶ En sur-tension, le TL431 tire plus de courant, la tension en  $V$  chute, et le triac s'ouvre,
- ▶ Un court-circuit est formé sur l'alimentation et le fusible saute.

# Protection de l'alimentation III

Pour de l'AC, il est possible d'utiliser un fusible resettable et un para-surtenseur (varistor)



Un circuit dispose souvent de plusieurs zones :

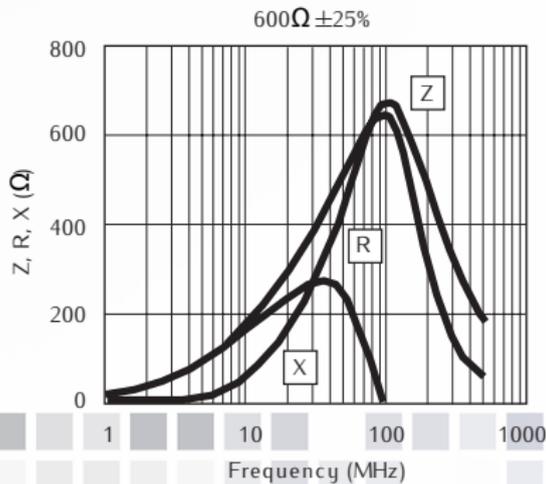
- ▶ Analogique,
- ▶ Digitale,
- ▶ Haute tension,
- ▶ Forte puissance

Chaque zone a ses propres caractéristiques et doit être la plus isolée du reste

## Domaines II

- ▶ Les zones analogiques nécessite un environnement peu bruité,
- ▶ Les zones digitales émettent beaucoup de bruit suite au switching,
- ▶ Les zones de fortes puissances également.

Pour séparer une zone analogique, il convient de la relier avec un ferrite bead, qui va bloquer les hautes fréquences :



### Remarque

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

### Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

## Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

## Schématique

## Packaging

Définition

Through holes

SMT

## Environnement

PCB de debug

PCB de production

## Design général du PCB

Couches

Éléments

## Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

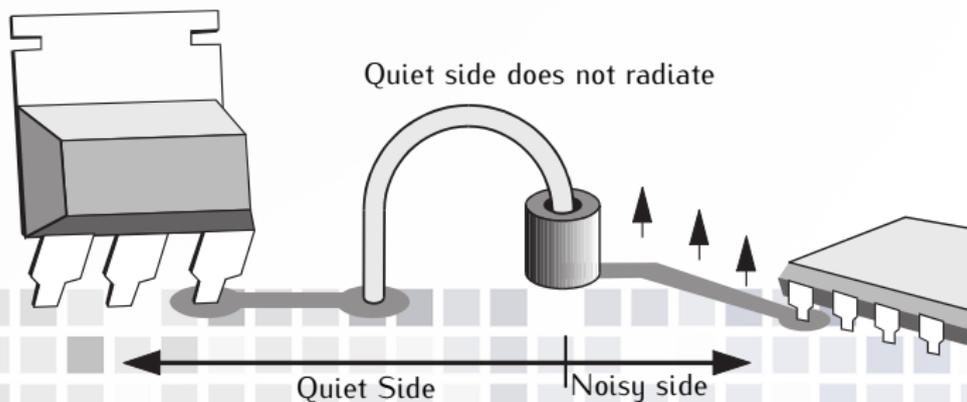
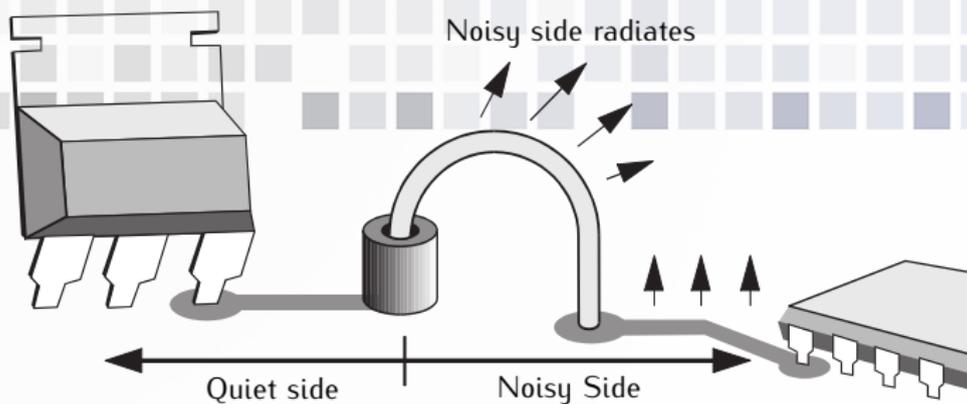
Finalisation

## PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

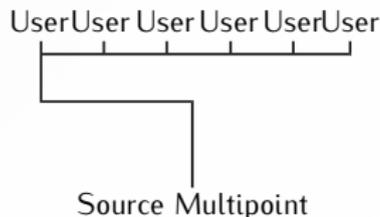
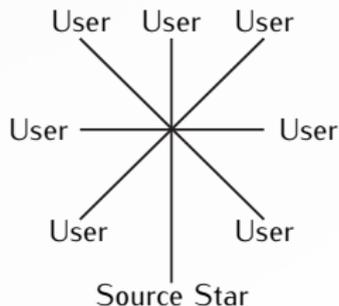
## Domaines III



La connection des puissance doit se faire de manière correcte :

Star : idéal,

Source Multipoint : A proscrire



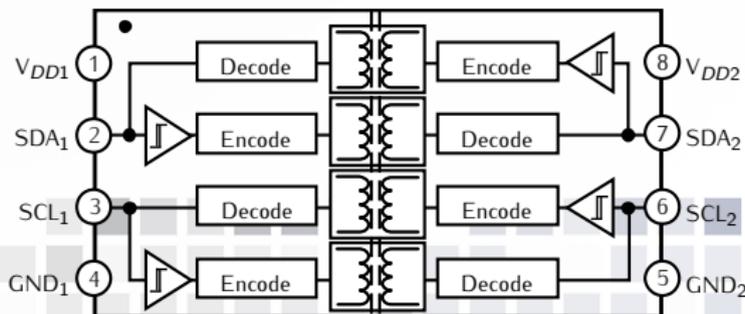
# Domaines V

## Attention !

- ▶ Les zones haute tension doivent être séparées physiquement des autres zones sous peine d'un claquage du PCB. Il convient donc de les marquer sur les schémas.
- ▶ Attention lors de la manipulation, danger de jutage !

De plus, pour les interfacer avec les zones basse tension, il faut utiliser des isolateurs :

- ▶ Traco TME
- ▶ Analog Devices ADUM



Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

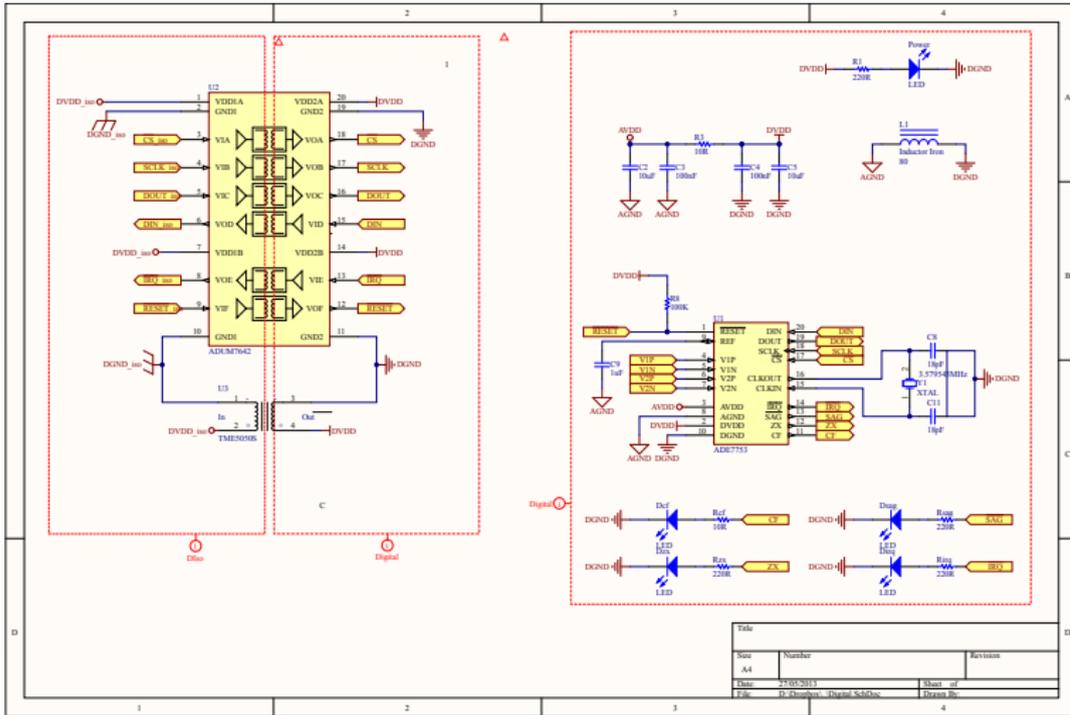
Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes



Title		
Size	Number	Revision
A4		
Date	19.05.2013	Sheet of
Drawn	D. François - Digital SubSys	Drawn By

Certains fabricants, comme par exemple ALTERA, fournissent des listes (sous forme de check-list) reprenant tous les points qui doivent être respectés :

- ▶ Connexions pour le câble de programmation,
- ▶ Alimentation,
- ▶ Pins particulières, etc...

Cherchez ces documents, et vérifiez que vous avez parcourus l'intégralité de la liste ! Même si le pdf fait 50 pages !!

## Section 3

# Packaging

# Définition I

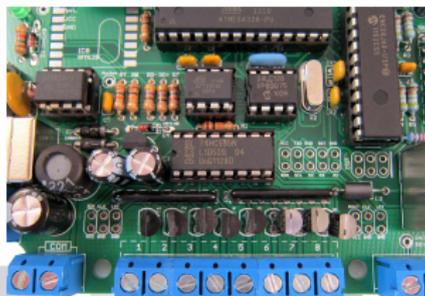
## Seconde étape

### Choix du package de chaque composants

Deux technologies possibles :

**Through holes :** composants classiques qui s'enfichent dans des trous perçant le PCB de part en part,

**Surface mount :** composants qui se soudent directement sur la surface du PCB



## Définition II

### Attention

Chaque technologie répond à des besoins particuliers, mais les composants ne sont pas toujours disponibles dans les deux.

Il faut donc penser PCB avant même de choisir ses composants électroniques !

# Définition III

## Référence

Littérature abondante sur le net, comme [17] ou [19]

ELEN0035-1

Remacle

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

**Définition**

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Eléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

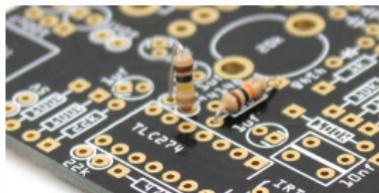
# Through holes I

## Composants à deux terminaisons :

Résistances, capacités, diodes, etc... A vérifier :

- ▶ Emplacement entre les deux patés.
- ▶ Diamètre du trou.

Bien souvent, il faut se plonger dans les datasheet pour trouver les dimensions, mais on peut découper les composants en fonction de leur wattage. Les footprint proposés par les logiciels sont souvent standards



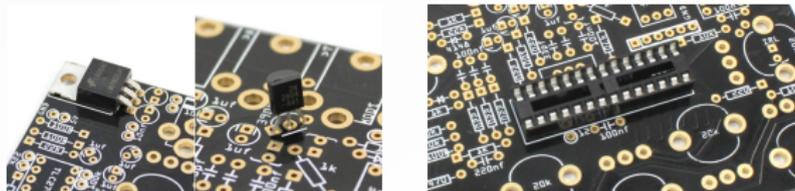
## Through holes II

### Composants à trois ou plus terminaisons :

Transistors, régulateurs, etc... A vérifier

- ▶ Le type de boîtier

Ici, un boîtier est souvent précisé, il convient donc de prendre le footprint adéquat. Très courant : TO-220 et TO-92, TO-18 pour les transistors et régulateurs, DIP presque exclusivement pour les puces.



### Attention

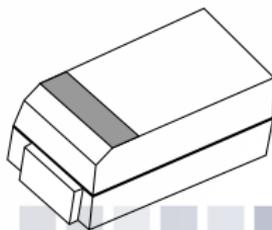
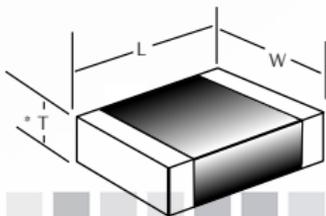
Certaines puces (par exemple : LM1117 en TO-220) ont une partie métallique extérieure. Il est *Impératif* de vérifier le raccordement de celle-ci ! (Principalement dangereux lors de l'utilisation de radiateurs communs)

## Composants à deux terminaisons :

Résistance, capacités, diodes, etc... A vérifier :

- ▶ Chaque chip dispose d'un numéro indiquant sa taille. Ces numéros existent en unités métriques et impériales ! *Une résistance 0402 en [mm] équivaut à une 01005 [mils].*
- ▶ La soudure se fait par le dessus. Donc il devient délicat avec des éléments trop élevés et dense de souder le PCB.
- ▶ Soudable à la main : 0402 ou plus.

Ces éléments sont souvent vendus en bobines

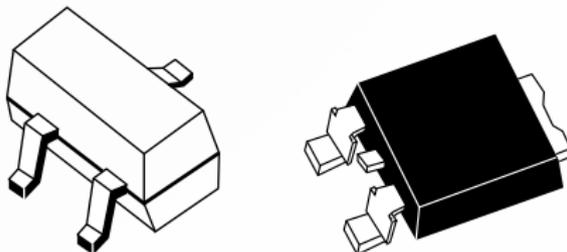


## Composants à trois terminaisons :

Transistors, régulateurs, etc... A vérifier :

- ▶ Le type de boîtier

Toujours précisés. Courants : DPACK et SOT pour les éléments à faible nombre de broches



## SMT III

### Composants intégrés :

Processeurs, fpga, etc... A vérifier :

- ▶ Le type de boîtier
- ▶ Le pitch
- ▶ La forme des connexions

Plusieurs types de connexions :



Plusieurs familles de package :

- ▶ SOIC (Small Outline) : existe en pitch de 100 [mils] et 50 [mils]. Il y a par ailleurs une quantité énorme de package différents
- ▶ Quad Flat Packs : pour les composants avec un grand nombre de pins.

### Attention

- ▶ Les BGA (*Ball Grid Array*) sont insoudables à la main !
- ▶ Attention aux package propriétaires et/ou exotiques...

## ► Quad Flat Pack



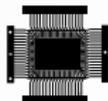
PQFP



MQFP



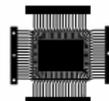
CQFP QFP



CERQUAD



MQQUAD



TAPEPAK



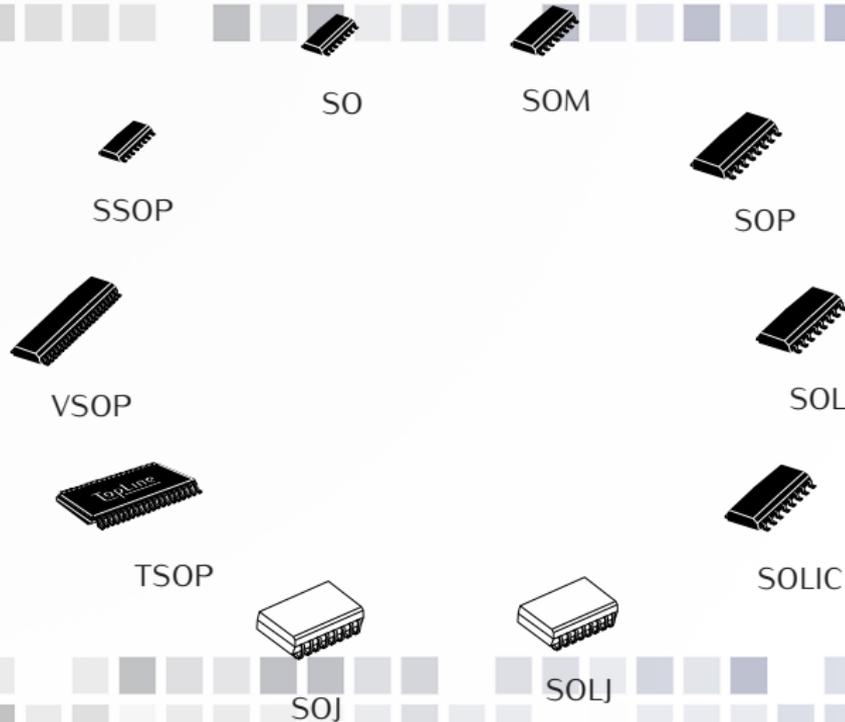
BQFP



LQFP



TQFP

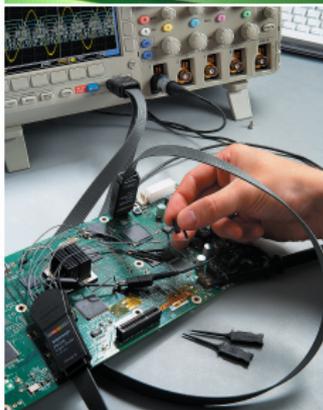
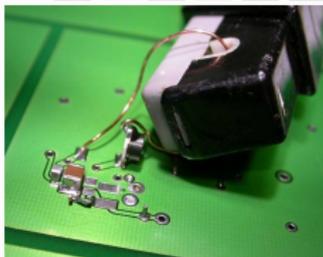


## Section 4

# Environnement

Un PCB évolue toujours dans un "environnement", qui va fixer certaines contraintes :

- ▶ Coque en matériau conducteur ou non,
- ▶ Position donnée d'un bouton, led, récepteur, etc...
- ▶ Éléments de fixation
- ▶ Contraintes de taille, hauteur...



Il s'agit de prototype, conçus avant la version finale d'un produit. Ils doivent donc permettre d'effectuer une série de mesure :

- ▶ Qualité de signal
- ▶ Valeur de signaux digitaux
- ▶ Valeur de tensions analogiques
- ▶ Valeur de courant
- ▶ etc...

# PCB de debug II

Pour permettre ces mesures, il convient d'ajouter certains éléments au PCB :

- ▶ Header de debug, permettant de connecter facilement des signaux digitaux à un microprocesseur, oscillo, etc...
- ▶ Ajout de via (attention à ne pas les recouvrir de vernis !) sur les éléments ne pouvant pas être déportés vers des header
- ▶ Accès facile aux tensions d'alimentation et ground
- ▶ Points de mesure de tension
- ▶ Points de mesure de courant
- ▶ Pin critiques (par exemple `reset`) reliées à des switch ou boutons
- ▶ Trous pour le placement d'entretoises, afin que le circuit ne touche pas la table
- ▶ Leds de debug



Remacle

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

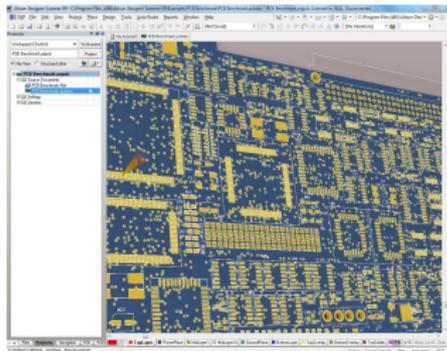
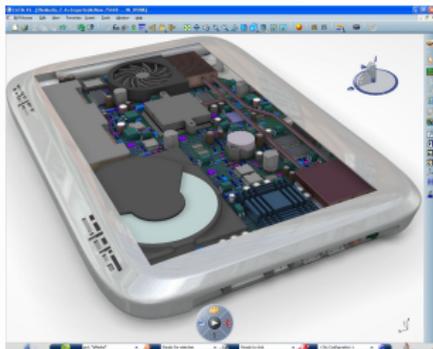
Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

Les PCB finaux doivent pouvoir s'inscrire dans leur environnement. Pour cela, on peut par exemple faire des modélisations 3D.



Posez vous les questions suivantes :

- ▶ Comment vais-je fixer mon PCB ?
- ▶ Comment vais-je l'encapsuler ?
- ▶ Quels connecteurs utiliser ? Détrompeurs ?
- ▶ Plusieurs versions d'un produit sur un même PCB (différents boîtiers, différentes options...)
- ▶ Dissipation thermique compatible avec l'encapsulation ?

# PCB de production III

Les PCB de production sont destinés à être produits en masse. Ainsi, chaque opération inclut un coût supplémentaire !

## PCB en grande production idéal

On clips le PCB, on visse, et c'est fini...

ELEN0035-1

Remacle

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

**PCB de production**

Design général du PCB

Couches

Eléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

# Lien entre production et debug

Une technique de plus en plus utilisée est de concevoir le PCB de production, puis de séparer les blocs et insérer les éléments de debug. Ainsi, une fois le PCB de debug débogué, le PCB de production est déjà terminé !

ELEN0035-1

Remacle

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

**PCB de production**

Design général du PCB

Couches

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

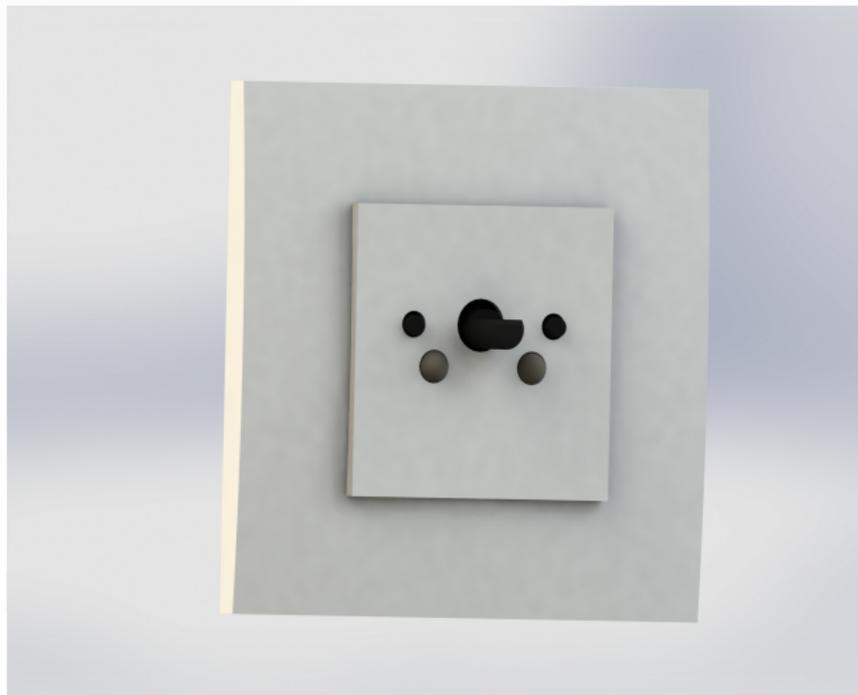
PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

## Points d'attention

- ▶ Taille des vis (pas, diamètre),
- ▶ Taille des têtes de vis, des supports, etc...
- ▶ Placement des trous de fixation pour assurer une bonne stabilité,
- ▶ Techniques de manufacturing (soudure à la vague, au fer à souder, etc...)
- ▶ Marges !!



## Section 5

# Design général du PCB

## Troisième étape

Déterminer la structure du PCB sur papier.

Une fois que les schématiques sont conçus, il est temps d'attaquer la réalisation du PCB. Pour ce faire, il s'agit de déterminer :

- ▶ Le nombre de couches et leur utilité
- ▶ L'emplacement approximatif des composants
- ▶ L'emplacement approximatif des bus de données

## Référence

Un document relativement bien conçu est disponible en [15].

# Choix du nombre de couches I

Il y a deux types de couches :

- ▶ Plan de puissance / masse
- ▶ Couches de signaux

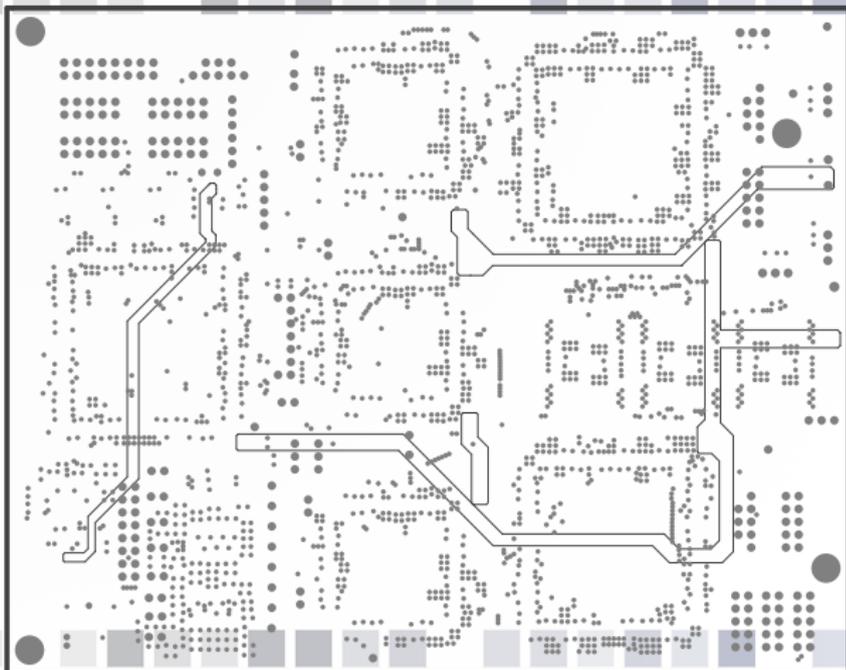
Si il y a plusieurs tensions, il est possible de créer des îlots avec ces différentes tensions, et les relier par des énormes pistes.

## Remarque

L'intérêt des plans de puissance est une résistance bien moins élevée de ceux-ci comparativement à une simple piste, même épaisse. Des phénomènes tels que le *Ground Bounce* sont alors atténués.

# Choix du nombre de couches II

## ► Plan de masse



Remacle

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

**Couches**

Eléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

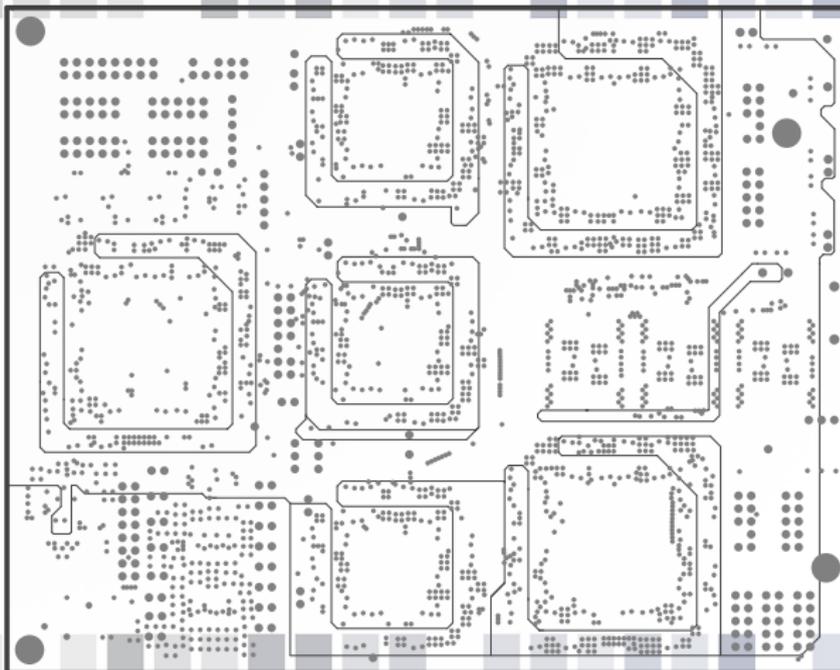
PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

# Choix du nombre de couches III

## ► Plan de puissance



Remacle

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

**Couches**

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

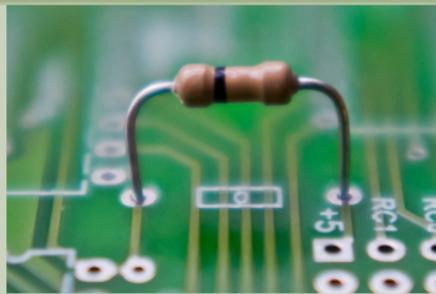
Aperçus

Types de pistes

## Choix du nombre de couches IV

Le choix du nombre de couches total dépendra donc de la présence ou non de plans, mais aussi de la quantité de signaux à faire passer, et de la façon dont ceux-ci peuvent être traduits en pistes, d'où la nécessité de réfléchir à l'organisation générale du PCB d'abord.

### Remarque



Si il y a assez peu de croisements entre pistes, il peut être possible d'utiliser un PCB simple couche et des straps ou des résistances de 0 [']

Remacle

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

**Couches**

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

# Choix de l'emplacement des éléments I

Remacle

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

Il s'agit de l'étape la plus importante. En effet, un placement judicieux permet :

- ▶ Economiser de la place
- ▶ Eviter des croisements de pistes, et donc des vias, superflus
- ▶ Diminuer la longueur des pistes
- ▶ Faciliter le travail de routage

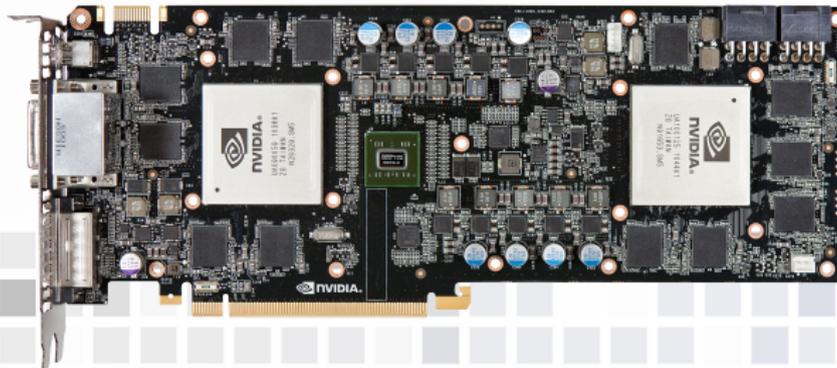
## Attention

Le placement est important, mais l'orientation des puces l'est tout autant ! A noter qu'on peut placer le composant en miroir si on le place sur l'autre côté du PCB

## Choix de l'emplacement des éléments II

Il n'y a pas de règles précises. Toutefois, voici quelques points qui vont pouvoir vous aider :

- ▶ Séparer les blocs fonctionnels (par exemple : la puissance, un convertisseur, la partie calcul, etc...)
- ▶ Toujours essayer de diminuer le nombre de croisement de pistes
- ▶ Placer les blocs de manière à ce que les données ne doivent pas voyager dans la carte  
*(Placer les périphériques d'un processeur en étoile autour de celui-ci, placer les entrées d'un côté et les sorties de l'autre, etc...)*
- ▶ Aligner au maximum les composants



# Choix de l'emplacement des éléments III

Il y a toutefois certaines contraintes à respecter :

- ▶ Placer les capacités de découplage le plus près possible des composants à découpler,
- ▶ Placer les connecteurs de manière à ce que le câble puisse être branché facilement,
- ▶ Respecter les agencements proposés dans les datasheet, si indiqué (PCB Layout).

## Section 6

# Routage du PCB

# Design Rules Check I

## Quatrième étape

### Paramétrage du *Design Rules Check*

Les DRC sont un ensemble de règles qu'un PCB doit respecter afin de pouvoir être réalisé physiquement. On retrouve ainsi, par exemple :

- ▶ Taille minimale des pistes
- ▶ Taille minimale des vias
- ▶ Espacement minimal entre pistes
- ▶ etc...

Chaque logiciel permet de fixer ces règles et avertira lorsque, pendant le routage, elles sont violées. Les règles se trouvent chez le fabricant, et correspondent généralement à une catégorie bien définie, comme par exemple la CAT6.

# Design Rules Check II



## "STANDARD pool" – the best pooling performance of Eurocircuits

### "STANDARD pool" – your default choice for your PCB

Eurocircuits "STANDARD pool" service aims at covering most of your needs for standard PCB production. With a service up to 8-layers and many technological options (peelable mask, via-filling, specific finishes, different soldermask colours, etc.), it is one of the best performing pooling services in the market. Order-pooling means that you get attractive prices, fast deliveries and no tooling charges, and with "STANDARD pool" also the widest range of options of any pooling service.

### What do you get?

- A one page menu for fast ordering of standard PCBs
- Up to 8 layers, from 1 piece onwards
- 150µm - 6mil technology boards at pooling prices
- Fully-finished with 2 solder-masks and 1 silk-screen
- Many technical options available
- Three lead-free finishes: immersion silver, electroless nickel immersion gold or lead-free hot-air levelling
- FR-4 - ROHS compliant material optimised for lead-free soldering with standard build-up
- No tooling charges
- No minimum order charge
- 100% manufacturability check prior to production
- Direct online calculation

### How to get prices and place orders?

Log In and go to [Place order](#). Enter number of layers, dimensions and delivery term and that's it - nothing more. You see the price at once. Attach files and the order is placed. To choose options open the technical specifications and select what you need.

### New user?

Not yet signed up to **Eurocircuits** and our other low-cost online services? Just go to [Sign up](#) and fill in the short form.

### How do we keep "STANDARD pool" prices down?

Eurocircuits are specialist manufacturers of prototype and small batch PCBs. We are experts in order-pooling. Placing different orders on a standard production pooling panel minimizes set-up and production costs so you get good prices and no tooling charges. Because of the large numbers of orders we receive daily, we can offer a large number of technological options in our pooling services. We do a 100% check on your data before manufacture to make sure that you get the boards you want.

Number of layers	1, 2, 4, 6, 8
Maximum PCB dimension	425mm x 425mm
Minimum PCB dimension	5mm x 5mm
Base material	FR-4, Td=>325°C, T260=>60°, T288=>5°, CTEz=<3.7%, Tg=>135°C
Base material thickness	1.35mm for 1L/2L only: 1mm & 2.4mm
Base copper foil – outer layers	1L: 35µm/1oz, 2L: 18-35-70µm, 4-6-8L: 18µm/1oz,
Base copper foil – inner layers	35µm/1oz
Surface finish	Lead-free for best price, ENIG, IM Ag, LF HAL
Soldermask type/color	Liquid Photo Imageable: Green, black, blue
Extra options	Gold fingers, carbon pads, peelable mask, via filling
Legend colour	White one or both sides
Minimum width/spacing	0.150mm
Min. finished hole size	0.25mm. Press fit holes
Minimum outer layer pad diameter = finished hole size + listed value	Hole ≤ 0.45: 0.350mm Hole ≥ 0.50: 0.400mm
Minimum inner layer pad diameter = finished hole size + listed value	Hole ≤ 0.45: 0.450mm Hole ≥ 0.50: 0.500mm
Minimum copper to board-edge clearance – outer layers	0.250mm (routed), 0.450mm (V-cut), Copper up to edge. Plated holes on edge
Minimum copper to board-edge – inner layers	0.400mm (routed), 0.450mm (V-cut), Copper up to edge. Plated holes on edge
Slots and cut-outs	0.5, 0.8, 1.0, 1.2, 1.6, >= 2.0mm tool
Delivery panels	2.0mm break-routed + V-cut
Multilayer-build	Standard
Electrical test	Standard for ML, option for 1-2L
UL marking	Available
Stencil material	130µm stainless steel
Maximum stencil size	600 x 600mm

Remacle

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de débog

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

# Design Rules Check III

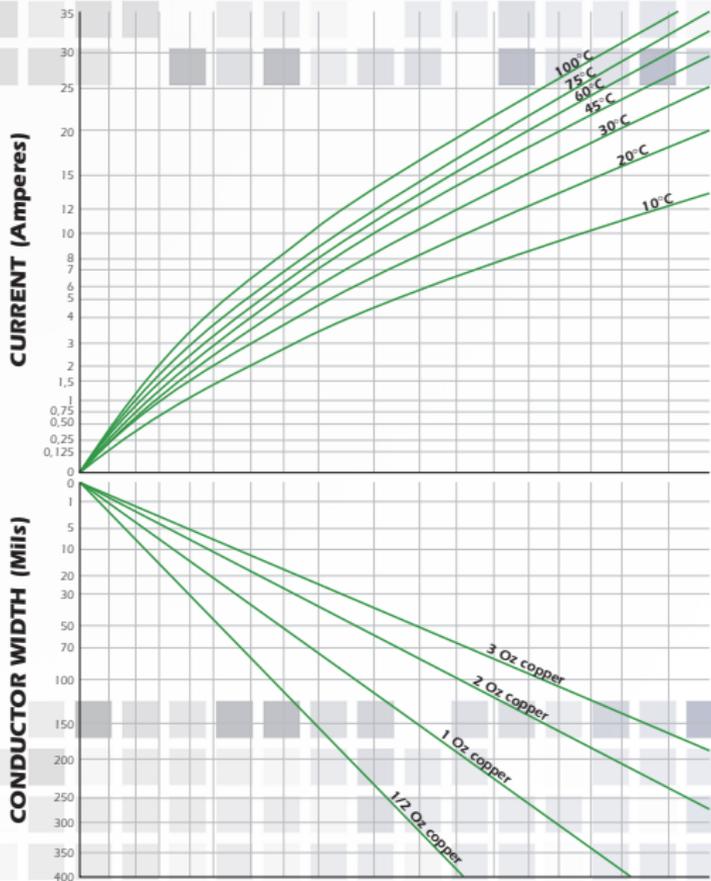
Vous devez en outre imposer des conditions supplémentaires sur certaines pistes :

- ▶ Pistes à fort courant : plus épaisses,
- ▶ Pistes à haute DDP : plus espacées,
- ▶ Pistes à haute vitesse : impédance contrôlées,

## Attention

Vérifiez toujours l'épaisseur de cuivre au niveau du fabriquant. Certain mettent les couches les plus épaisses en surface, d'autre à l'intérieur, et l'épaisseur peut varier d'un fabriquant à l'autre !

# Design Rules Check IV



ELEN0035-1

Remacle

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de débog

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Eléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

Ensemble de normes concernant la création d'électronique. Documents très utiles !

IPC-7351 : Montages des SMT (soudage, placement, etc...) [13],

IPC-2615 : Tailles de PCB standard [11],

IPC-2221a : Règles générales [12]

# Routage I

## Cinquième étape

### Routage à proprement parlé

Le routage en soit peut débuter, il consiste simplement à relier les différentes pistes entre elles. Quelques règles de bonnes pratique :

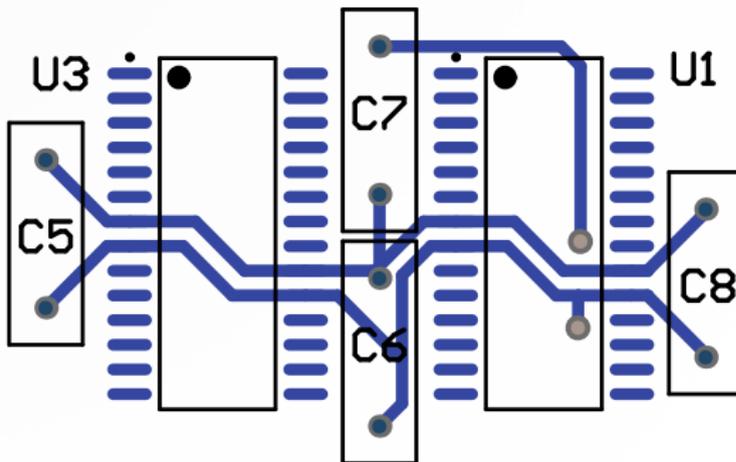
- ▶ Router d'abord les gros bus de données, puis les pistes plus isolées
- ▶ Toujours démarrer une piste d'un centre de pad, vers un autre centre
- ▶ Toujours utiliser les pistes les plus grosses possibles, pareil pour l'espacement
- ▶ Utiliser des angles de 45 degrés
- ▶ Utiliser des pistes les plus courtes possibles
- ▶ Utiliser une seule piste, et non plusieurs pistes l'unes sur l'autre (plus simple à éditer)

### La plus importante :

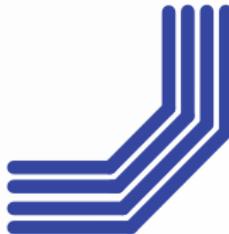
Ne jamais penser qu'il y a de la place. C'est le meilleur moyen pour arriver à la dernière piste et se rendre compte qu'elle n'est pas placable...

Il convient aussi de respecter une série de contraintes

- ▶ Router le plus symétrique et parallèle possible
- ▶ Router les clock et puissances au plus droit, et au plus gros



- ▶ Faire des angles de 45 degrés



- ▶ Eviter les vias dans les pads, écarter les vias au maximum
- ▶ Eviter les T, plus fragiles
- ▶ Eviter les pistes "hachées"

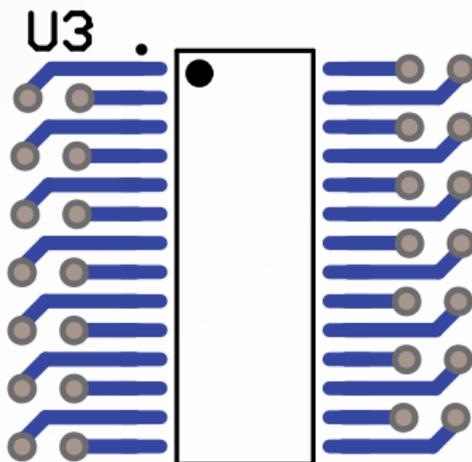


Enfin, voici une série d'astuces utiles :

- ▶ Réduction momentanée de la taille d'une piste



► Fan-out des composants



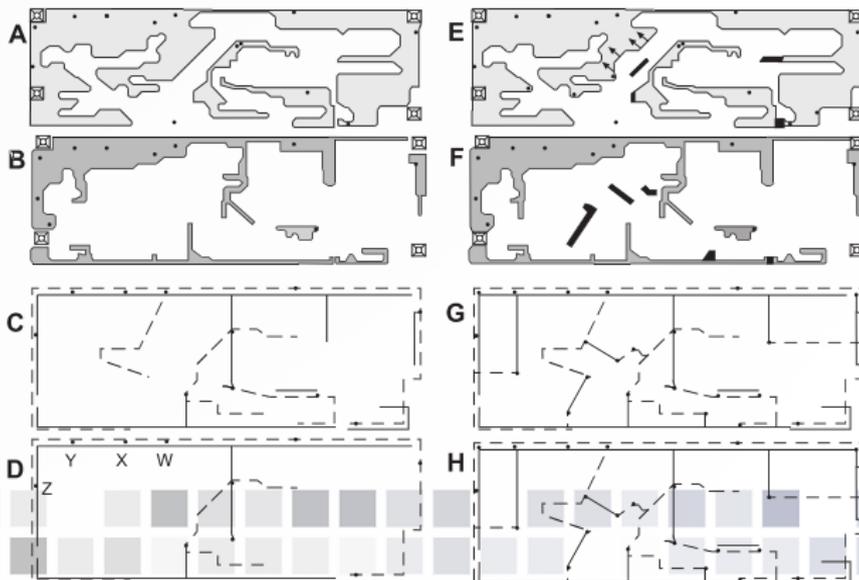
- Utiliser plusieurs vias pour la puissance



# Routage VIII

Attention aux plans de masse !

- ▶ Limiter les vias,
- ▶ Éviter les *dead end*, en faisant en sorte que le courant puisse arriver de deux côtés



Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

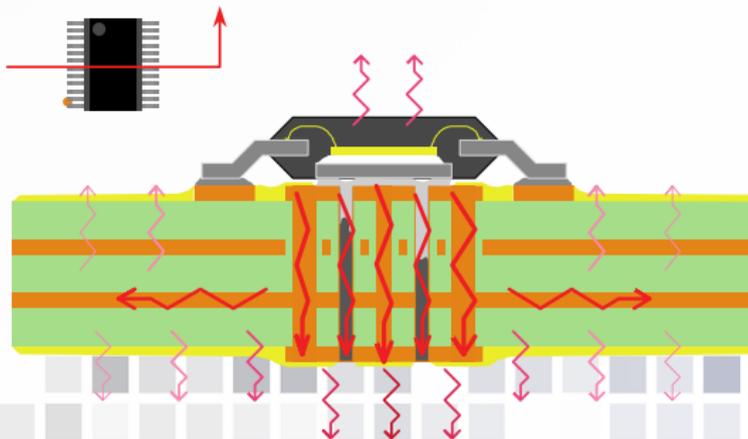
Aperçus

Types de pistes

# Aspect thermique I

Un PCB, tout comme un composant, chauffe.

- ▶ En automotive, ne pas dépasser une élévation de température d'une dizaine de degrés
- ▶ En consumer, on peut monter jusqu'à 30 degrés,
- ▶ Utiliser les plans pour dissiper la chaleur,
- ▶ Relier les pads thermiques sur les différents plans ;



Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

# Touche finale I

Votre PCB est maintenant terminé. Il y a toutefois quelques points à vérifier :

- ▶ Vérifier une dernière fois les footprints
- ▶ Vérifier que les pistes sont bien nettes
- ▶ Vérifier que tous les vias sont le plus éloignés les uns des autres, et pas trop proches de pistes
- ▶ Essayer d'"adoucir" les connections
- ▶ Ajouter des *teardrop* aux vias si le logiciel le permet
- ▶ Vérifier que si un via est créé, il est accessible avec une sonde d'oscillo, ça peut toujours servir
- ▶ Essayer de créer un beau *silkscreen* (ou *Component overlay*, *Component layer*)

## Touche finale II

Une fois votre PCB routé, il n'y a plus qu'à l'exporter, grâce à un fichier gerber. Il s'agit d'un format standard pour la production, et contient :

**Front** : données pour les traces de cuivre (couche frontale)

**Frontmask** : données pour créer les pads (couche frontale)

**Frontsilk** : données pour les écritures (couche frontale)

**Outline** : Limites du PCB

**Drill** : Perçage

**Pick & Place** : Placement automatique (gcode)

## Section 7

# PCB à haute vitesse

# Aperçus des problèmes I

Remacle

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Eléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

## Définition

Par PCB à haute vitesse on entend des PCB dont les signaux ont des fréquences de l'ordre de quelques [MHz]

A de telles fréquences, des phénomènes électromagnétiques commencent à apparaître :

- ▶ Les composants ne peuvent plus être considérés comme idéaux
- ▶ Les traces de PCB deviennent des lignes de transmission
- ▶ Crosstalk

## Littérature

Littérature abondante sur le sujet, dont [3], ou [6]

# Aperçus des problèmes II

Remarque

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

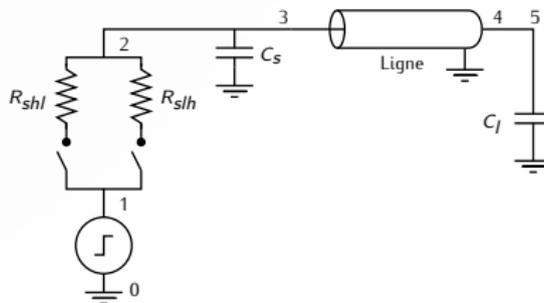
PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

Phénomènes de réflexion : les pistes étant des lignes de transmissions, elles sont soumises aux problèmes de réflexion. Soit  $R_g$  l'impédance du générateur,  $Z_0$  l'impédance de ligne et  $R_L$  la charge :

$$\Gamma_1 = \frac{R_L - Z_0}{R_L + Z_0} \quad \Gamma_2 = \frac{R_g - Z_0}{R_g + Z_0}$$



## Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

## Schématique

## Packaging

Définition

Through holes

SMT

## Environnement

PCB de débog

PCB de production

## Design général du PCB

Couches

Eléments

## Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

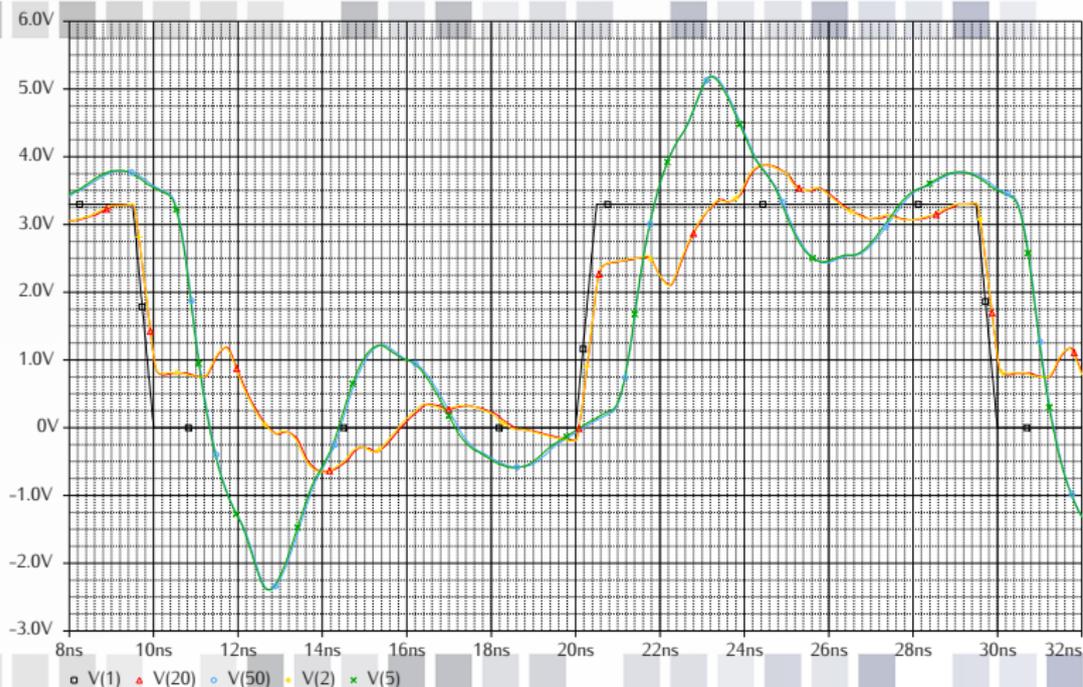
Finalisation

## PCB à haute vitesse

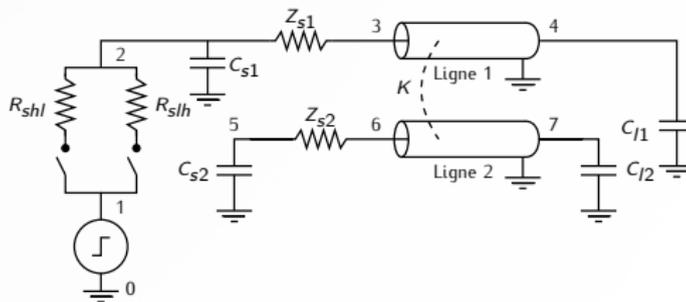
Aperçus

Types de pistes

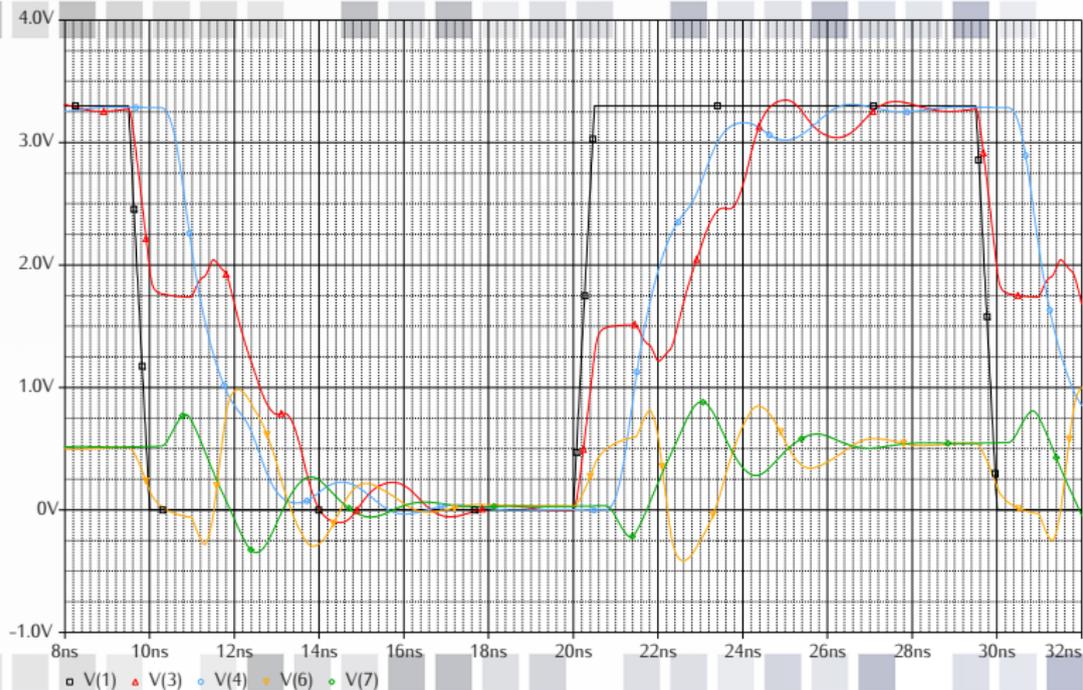
## Aperçus des problèmes III



Phénomènes de crosstalk : les pistes sont couplées entre elle par des liens capacitifs et inductifs.

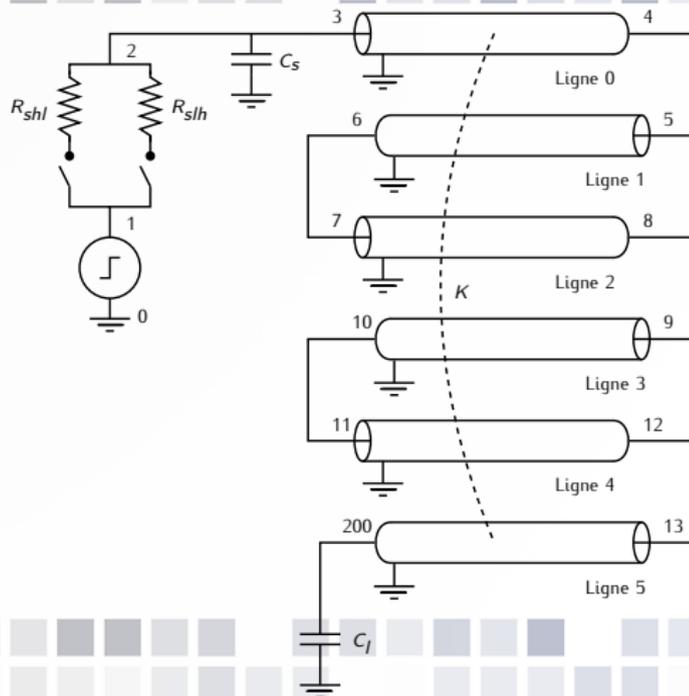


# Aperçus des problèmes V



# Aperçus des problèmes VI

Utilisation de serpentins : Les serpentins sont couplés entre eux, ajoutant ainsi des capacités et selfs parasites



Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Eléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Eléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

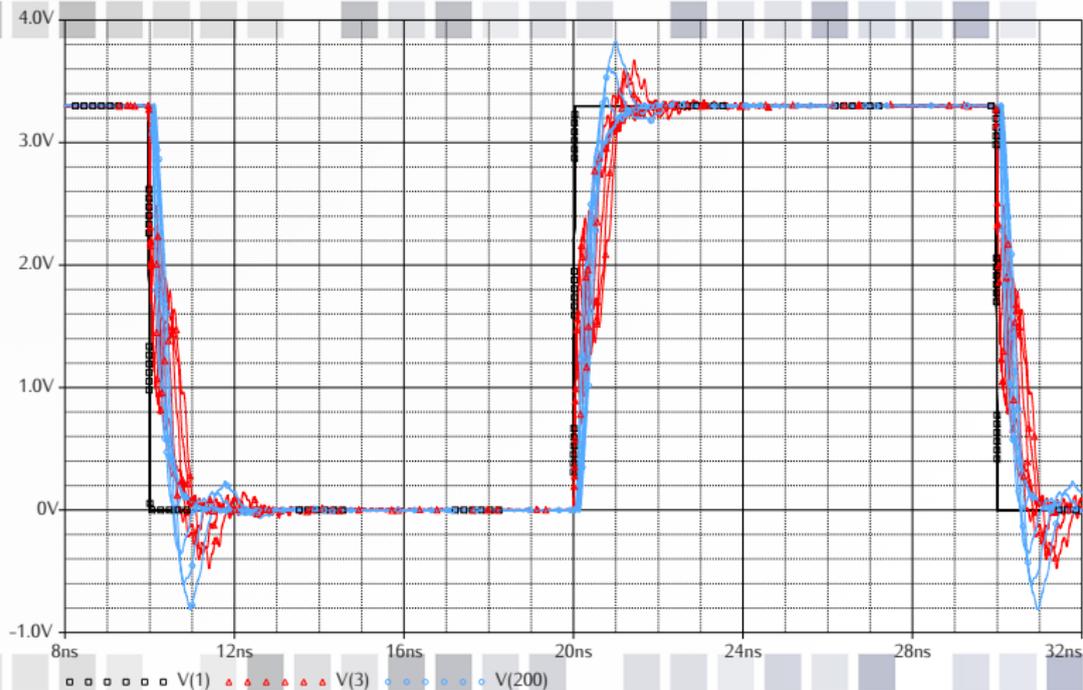
Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

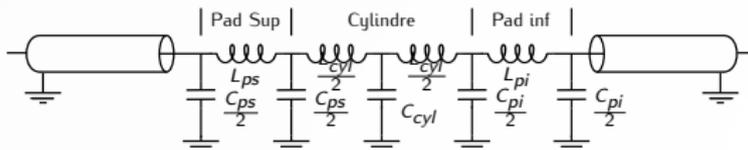
Types de pistes

## Aperçus des problèmes VII

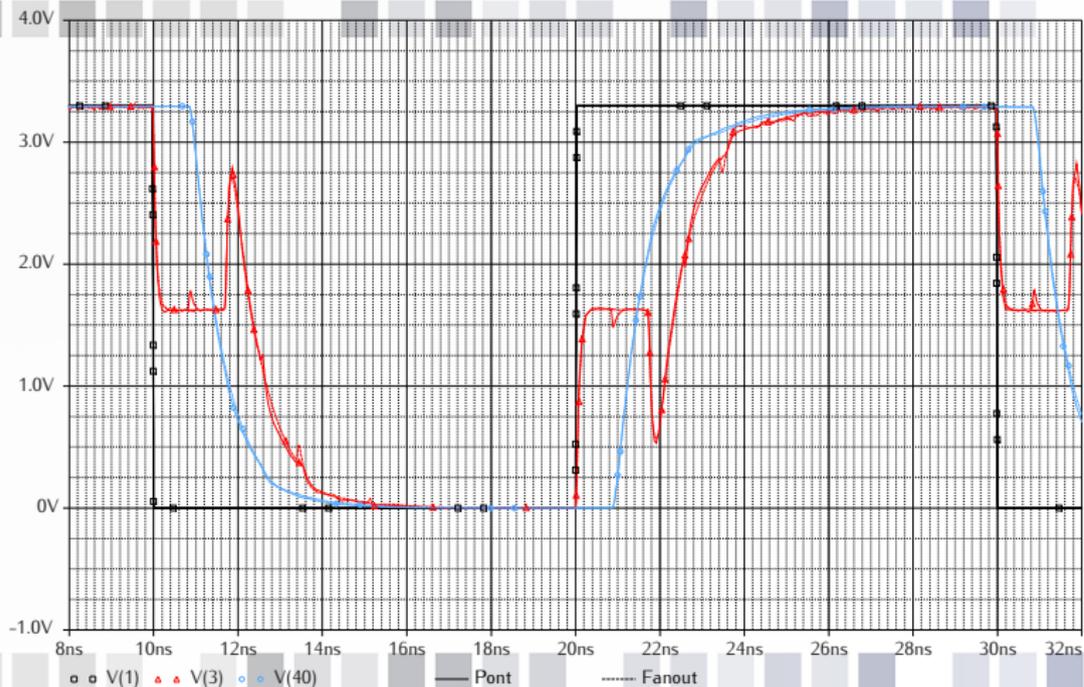


# Aperçus des problèmes VIII

Utilisations de vias : Les vias constituent un obstacle entraînant une réflexion, mais sont également des capacités et selfs parasites



## Aperçus des problèmes IX



Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de débog

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Eléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

# Aperçus des problèmes X

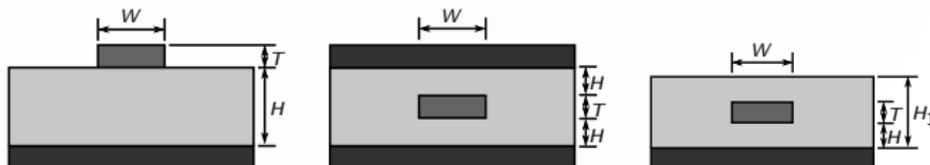
Il y a encore tout une série d'autres soucis :

- ▶ *Ground Bounce*
- ▶ Vitesse de propagation finie
- ▶ Interférences électromagnétiques
- ▶ *Name it!*

# Influence des types de pistes I

Plusieurs types de piste :

- ▶ Microstrip
- ▶ Embedded Microstrip
- ▶ Stripline

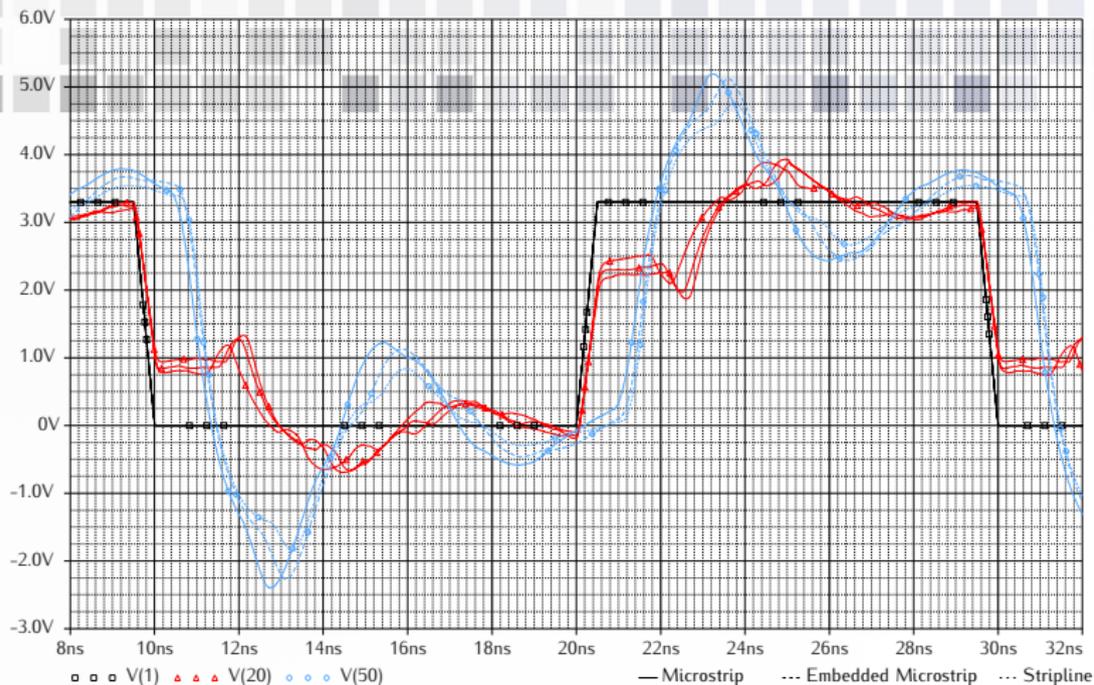


## Influence des types de pistes II

	<i>Microstrip</i>	<i>Embedded Microstrip</i>	<i>Stripline</i>
$Z_0$ [Ohm]	$\frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1.41}} \ln \left( \frac{5.98H}{0.8W + T} \right)$	$\frac{60}{\sqrt{\epsilon'_r}} \ln \left( \frac{1.9(2H + T)}{0.8W + T} \right)$	$\frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \left( \frac{5.98H}{0.8W + T} \right)$
$C_0$ [F/m]	$\frac{2.64 \times 10^{-11} (\epsilon_r + 1.41)}{\ln \left( \frac{5.98H}{0.8W + T} \right)}$	$\frac{5.55 \times 10^{-11} \epsilon'_r}{\ln \left( \frac{5.98H}{0.8W + T} \right)}$	$\frac{5.55 \times 10^{-11} \epsilon_r}{\ln \left( \frac{3.81H}{0.8W + T} \right)}$
$L_0$ [H/m]	$C_0 Z_0^2$	$C_0 Z_0^2$	$C_0 Z_0^2$
$t_p$ [s/m]	$3.34 \times 10^{-9} \sqrt{0.475\epsilon_r + 0.67}$	$2.78 \times 10^{-9} \sqrt{\epsilon'_r}$	$3.34 \times 10^{-9} \sqrt{\epsilon_r}$
Validité	$0.1 < \frac{W}{H} < 3$	$\epsilon'_r = \epsilon_r \left[ 1 - \exp \left( -\frac{1.55H_1}{H} \right) \right]$ $H_1 > 1.2H$	$0.1 < \frac{W}{H} < 2, \frac{T}{H} < 0.25$

Donc, les dimensions de la piste ont une certaine influence aussi !

# Influence des types de pistes III



## Conclusion

Les pistes stripline sont les meilleures. On peut aussi montrer qu'il convient d'utiliser les pistes les plus larges possibles.

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de débog

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Eléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

La plupart des soucis peuvent être résolus grâce à l'utilisation de terminaisons. Il existe différents types :

- ▶ Schéma série
- ▶ Schéma parallèle  $R - V_{CC}$
- ▶ Schéma parallèle  $R - GND$
- ▶ Schéma parallèle Thévenin
- ▶ Schéma parallèle  $C - GND$
- ▶ Schéma parallèle  $RC - GND$
- ▶ Schéma parallèle Schottky

Le schéma série est le plus utilisé car le plus simple à mettre en place, mais le schéma Schottky est aussi très intéressant.

## Attention

Le choix de la résistance est très important, puisqu'il faut qu'elle adapte la ligne : elle doit avoir la même impédance. En pratique ce n'est pas toujours faisable, il faut donc faire un compromis :

- ▶ Valeur élevée : signal ralentit (délais RC)
- ▶ Valeur basse : overshoot trop importants (réflexions)

# Solutions - Schéma de terminaison III

ELEN0035-1

Remarque

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de débog

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

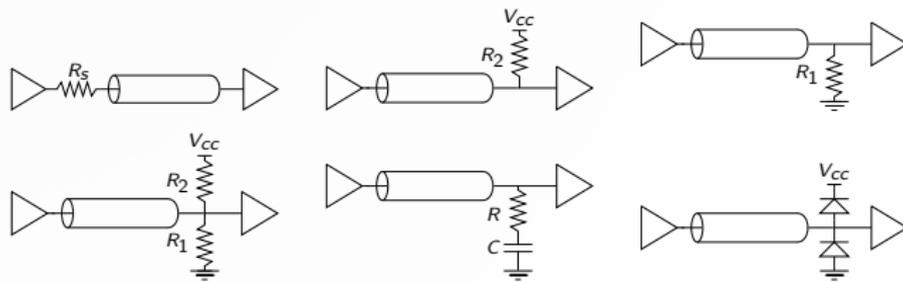
Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes



# Solutions - Capacités de découplage I

Dans les PCB à haute vitesse, les capacités de découplages doivent faire l'objet d'une attention toute particulière, afin que celles-ci *couvrent* toute la plage de fréquence employées. En effet, un *driver* envoyant un signal dans une piste de RAM va pomper du courant sur les pins d'alimentation du processeur à la fréquence d'envoi des données.

- ▶ Utilisation de capa au tentacle (par exemple) pour les basses fréquences, au niveau alimentation
- ▶ Utilisation de céramiques multicouches
- ▶ Prendre plusieurs capacités en parallèle de valeurs différentes pour couvrir plus de fréquences
- ▶ etc...

## Référence

Grosse littérature sur le sujet, comme par exemple [5], [10], [7] ou [1]

# Solutions - Capacités de découplage II

Le routage doit aussi faire l'objet d'attentions :

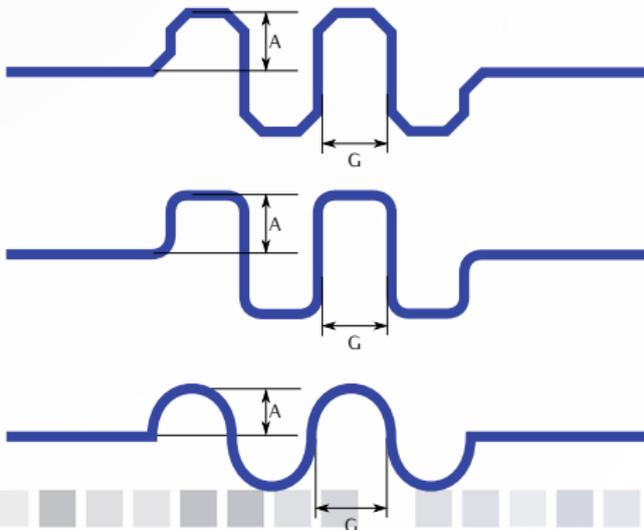
- ▶ Pas de via dans le chemin,
- ▶ Traces les plus larges possibles,
- ▶ Composant le plus proche possible,
- ▶ Idéalement sur la même face que le composant,
- ▶ Le plus de vias de retour vers la masse possible



# Solutions - Techniques de routage I

Le routage des pistes doit faire l'objet d'un soin tout particulier :

Bus de données : utilisation de serpentins pour adapter la longueur, afin que toutes les pistes aient la même longueur :



Remacle

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Eléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

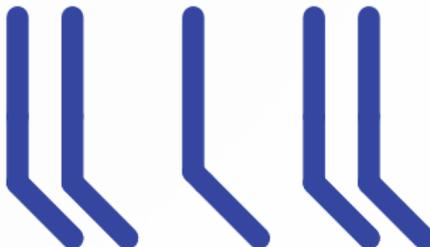
Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

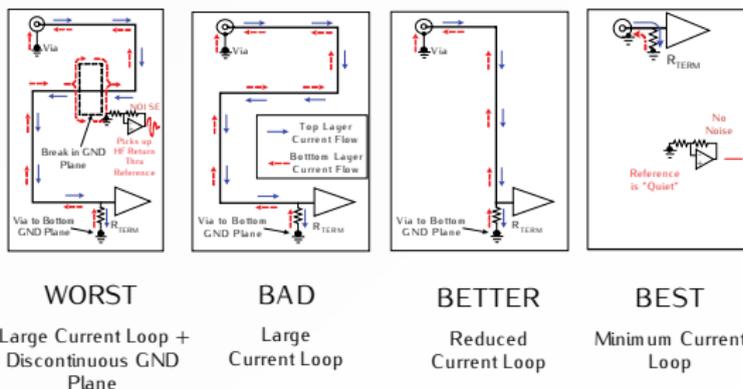
Types de pistes

Signaux d'horloge : Signaux de très fortes activité, il convient de les séparer de 3x la largeur de piste du reste. De plus, pas de serpentins ici !  
[16]



## Solutions - Techniques de routage III

**Chemin de retour** : Même en utilisant un plan de masse, le courant de retour va avoir tendance à se concentrer juste en dessous de la trace du courant retour. Il convient donc de minimiser au maximum les tailles de pistes ! [9]

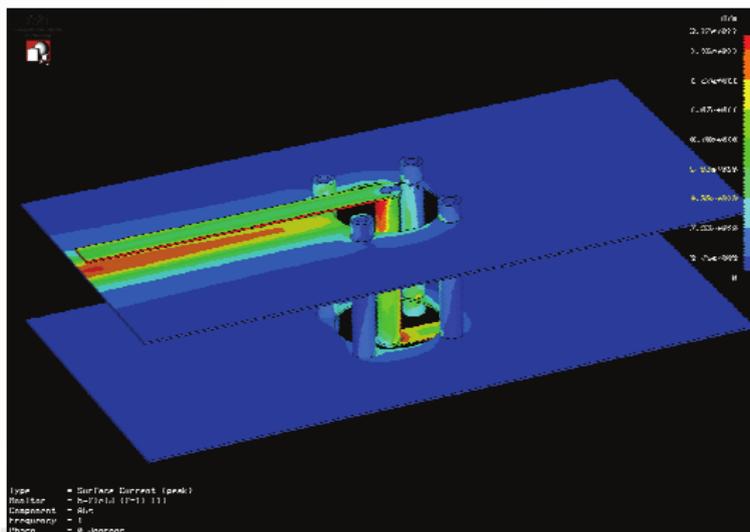


### Astuce

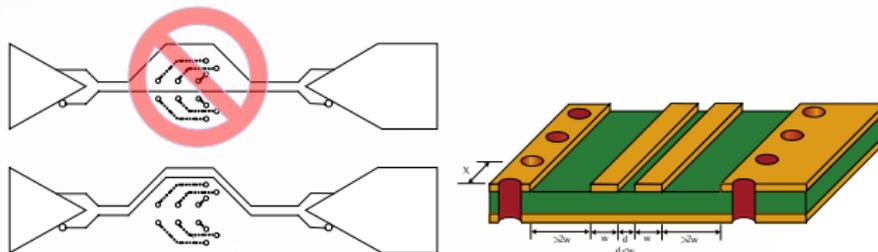
Toujours se mettre à la place du signal : par où retourne le courant ? Trace ? Plan ? Capacité de découplage ? Essayez de minimiser son trajet, de minimiser ses obstacles !

# Solutions - Techniques de routage IV

Via de retour : Même pour les vias, le courant de retour doit passer quelque part. Mais par où? Une solution pour contrôler le problème est d'ajouter des vias entre plans de masse, pour le chemin de retour :



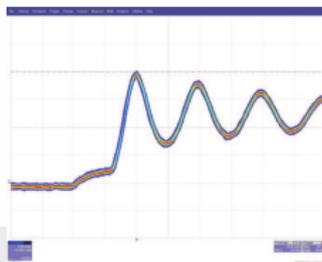
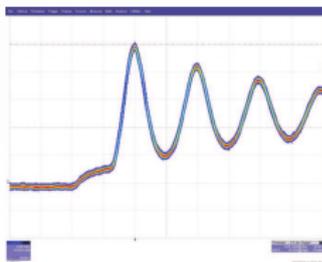
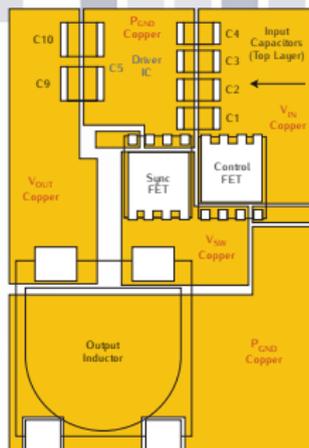
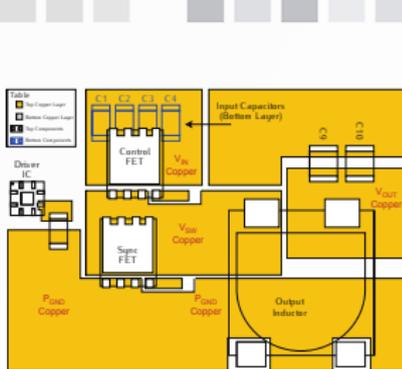
**Paires différentielles :** Utilisées pour les signaux haute fréquence (par exemple : HF, SATA, USB, etc...). Toujours routées l'une à côté de l'autre ! En outre, pour diminuer le rayonnement électromagnétique, placer un autre plan sur la même face, avec des vias séparés de moins de 0.25 [cm]



Impédance contrôlée : Utiliser les logiciels de CAO moderne pour adapter l'impédance depuis la sortie du driver jusqu'à l'entrée du composant (terminaison série, impédance de piste, entrée)

## Exemple 1

## Position des FET dans une alimentation à découpage [14]



Remarque

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de débog

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Éléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

# Bibliographie I

-  J. Ardizzoni.  
*A practical guide to high-speed printed-circuit-board layout*, 2005.
-  Robert Ashton.  
*Unidirectional versus Bidirectional Protection, AND8424/D*, 2009.
-  Atmel.  
*EMC Improvement Guidelines*, 2003.
-  AVX.  
*X7R Dielectric General Specification*.
-  Altera Corporation.  
*High-Speed Board Designs*, 2001.
-  Altera Corporation.  
*Guidelines for Designing High Speed FPGA PCBs*, 2004.
-  Cypress Semiconductor Corporation.  
*Using Decoupling Capacitor*, 1999.
-  Infineon.  
*ESD/Surge Protection Diodes, Quick Start Guide*, May 2012.
-  Texas Instrument.  
*High Speed Analog Design and Application Seminar*, 2004.

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Eléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes

# Bibliographie II

-  Texas Instruments.  
*The Bypass Capacitor in High-Speed Environments*, 1996.
-  IPC.  
*printed Board Dimensions and Tolerances*, 2000.
-  IPC.  
*Generic Standard on Printed Board Design*, 2003.
-  IPC.  
*Generic Requirements for Surface Mount Design and Land Pattern Standard*, 2005.
-  David Jauregui.  
*Reducing Ringing Through PCB Layout Techniques*, 2009.
-  David L. Jones.  
*PCB Design Tutorial*, 2004.
-  Feng Liu.  
*S25FL-P SPI Flash Family PCB Layout Guide*, 2009.
-  Topline.  
*Surface mount nomenclature and packaging*, 1998.

Rôles et enjeux d'un PCB

Définition

Construction

Schématique

Packaging

Définition

Through holes

SMT

Environnement

PCB de debug

PCB de production

Design général du PCB

Couches

Eléments

Routage du PCB

DRC

Routage

Considérations thermiques

Finalisation

PCB à haute vitesse

Aperçus

Types de pistes



Wikipedia.

Circuit imprimé, consulté le 23/10/2012.

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Circuit\\_imprim%C3%A9](http://fr.wikipedia.org/wiki/Circuit_imprim%C3%A9).



Wikipedia.

Surface-mount technology, consulté le 23/10/2012.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Surface-mount\\_technology](http://en.wikipedia.org/wiki/Surface-mount_technology).



Wikipedia.

Via, consulté le 23/10/2012.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Via\\_%28electronics%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Via_%28electronics%29).