



UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE

PPPPP03

Comment concevoir un
Power Delivery Network?

Pascal-Emmanuel Lachance

PPPPP03

Comment concevoir un Power Delivery Network?

Par: Pascal-Emmanuel Lachance



Comment protéger une alimentation?



Quels sont les types de régulateurs?



À quoi sert le découplage?



Comment filtrer une alimentation?



Comment concevoir un arbre d'alimentation?

Comment filtrer une alimentation?

1 Comment filtrer une alimentation?

- Pourquoi filtrer une alimentation?
- Démonstration
- Filtrer l'entrée
- Filtrer un régulateur
- Filtrer au IC

Comment filtrer une alimentation?

1 Comment filtrer une alimentation?

- Pourquoi filtrer une alimentation?
- Démonstration
- Filtrer l'entrée
- Filtrer un régulateur
- Filtrer au IC

Signal Integrity

- Signaux Clean
- Marges d'opérations respectées



Rélections



Crosstalk



Ground Bounce



Filtration de Power

Electromagnetic Interference

- Passer les tests EMC
- Ne pas influencer d'autres circuits

- Émissions

- Immunité au bruit



Layout



Grounding



Shielding



Filtration de Power

- **Le but d'un filtre est de fournir le chemin de plus faible impédance vers le ground aux signaux haute-fréquence.**
- **Le but d'un filtre est de contrôler la propagation du bruit sur l'alimentation.**

- Tout commence avec le power
- Le PDN devrait constituer 25% à 50% de la difficulté d'un projet
- Plein de façon de filtrer
- Réduire le bruit sur l'alimentation
- Avoir une alimentation purement DC

- Tout commence avec le power
- Le PDN devrait constituer 25% à 50% de la difficulté d'un projet
- Plein de façon de filtrer
- Réduire le bruit sur l'alimentation
- Avoir une alimentation purement DC
- Jouer avec les impédances de mon alimentation
 - ▢ Découplage
 - ↻ Rajouter des inductances
 - ⚙ Faire attention à son layout
- Ajouter des composantes actives
 - 🔌 Régulateurs Linéaires



IC qui toggle



Longues lignes de transmission



Crosstalk



Antennes



Mauvais chemins de retour



Crosstalk



Ground Bounce



Antennes

Comment filtrer une alimentation?

1 Comment filtrer une alimentation?

- Pourquoi filtrer une alimentation?
- **Démonstration**
- Filtrer l'entrée
- Filtrer un régulateur
- Filtrer au IC

Comment filtrer une alimentation?

1 Comment filtrer une alimentation?

- Pourquoi filtrer une alimentation?
- Démonstration
- **Filtrer l'entrée**
- Filtrer un régulateur
- Filtrer au IC

🔌 Long fil qui provient d'une Power Supply

↻ Inductance Parasite

📡 Pick-Up du bruit extérieur

📡 Signal potentiellement bruité

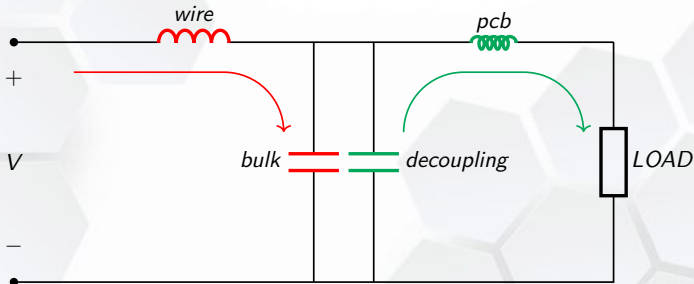
➔ **Demande de courant au travers d'une bobine.**



🔌 **Demande de courant non-constante**





- $X_L \propto -X_C$
- Rajouter de la capacitance pour compenser l'inductance
- Plus ton fil est long, plus tu veux de capacitance
- Le power devrait provenir des condensateurs
- *Couper le chemin d'inductance*

- $X_L \propto -X_C$
- Rajouter de la capacitance pour compenser l'inductance
- Plus ton fil est long, plus tu veux de capacitance
- Le power devrait provenir des condensateurs
- *Couper le chemin d'inductance*



-  Découplage permet de fournir un chemin de faible impédance aux signaux haute-vitesse
-  Bulk permet d'emmagasiner des charges et que le power provienne des condensateurs et non du fil

 Découplage permet de fournir un chemin de faible impédance aux signaux haute-vitesse


 Bulk permet d'emmagasiner des charges et que le power provienne des condensateurs et non du fil


- **Contrôler la propagation du bruit**

- ➔ Limiter le bruit au board

- ➔ Limiter le bruit hors du board

-  Passer EMC

 Découplage permet de fournir un chemin de faible impédance aux signaux haute-vitesse


 Bulk permet d'emmagasiner des charges et que le power provienne des condensateurs et non du fil

- **Contrôler la propagation du bruit**

- ➔ Limiter le bruit au board

- ➔ Limiter le bruit hors du board

-  Passer EMC

-  Principalement lorsque premier régulateur est un switching.

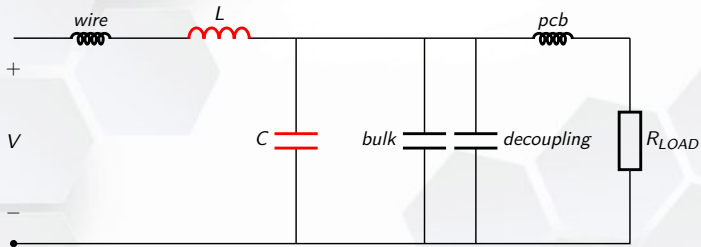
- Rajouter de l'inductance permet de bien contrôler où va le bruit haute-fréquence.
- $X_L = 2\pi fL$
- Si $X_L > X_C$, le bruit va passer par X_C .
- On vient de passer tout ce temps pour compenser l'inductance du fil d'alimentation

- Rajouter de l'inductance permet de bien contrôler où va le bruit haute-fréquence.
- $X_L = 2\pi fL$
- Si $X_L > X_C$, le bruit va passer par X_C .
- On vient de passer tout ce temps pour compenser l'inductance du fil d'alimentation
- Maintenant, on contrôle l'inductance!
 - Les condensateurs de découplage fournissent la puissance haute fréquence
 - Les condensateurs de bulk fournissent la puissance basse fréquence
 - Les condensateurs de bulk rechargent les condensateurs de découplage
 - L'alimentation fournit du power DC pour recharger les condensateurs de bulk

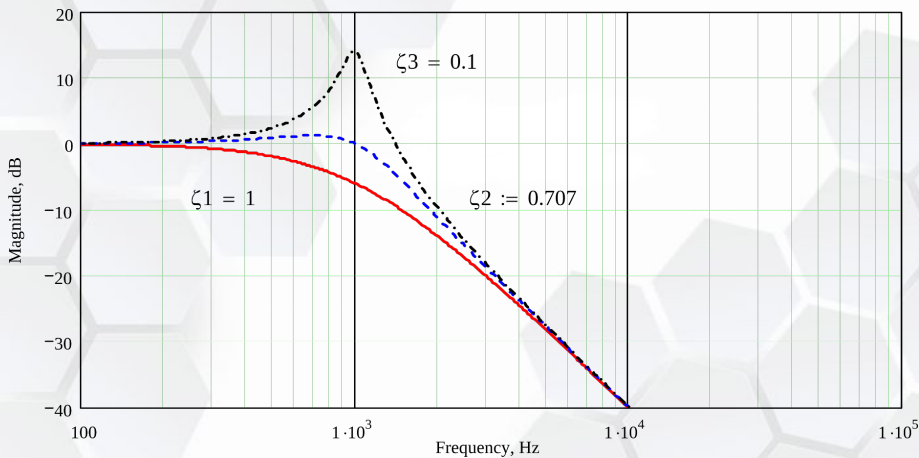
- Rajouter de l'inductance permet de bien contrôler où va le bruit haute-fréquence.
- $X_L = 2\pi fL$
- Si $X_L > X_C$, le bruit va passer par X_C .
- On vient de passer tout ce temps pour compenser l'inductance du fil d'alimentation
- Maintenant, on contrôle l'inductance!
 - Les condensateurs de découplage fournissent la puissance haute fréquence
 - Les condensateurs de bulk fournissent la puissance basse fréquence
 - Les condensateurs de bulk rechargent les condensateurs de découplage
 - L'alimentation fournit du power DC pour recharger les condensateurs de bulk
- ❌ La bobine fait du bruit électromagnétique

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$\zeta = \frac{1}{2R_{LOAD}\sqrt{LC}}$$

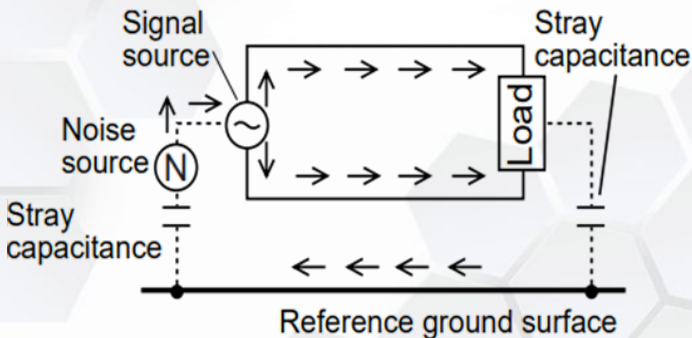


$$\zeta = \frac{1}{2R_{LOAD}\sqrt{LC}}$$

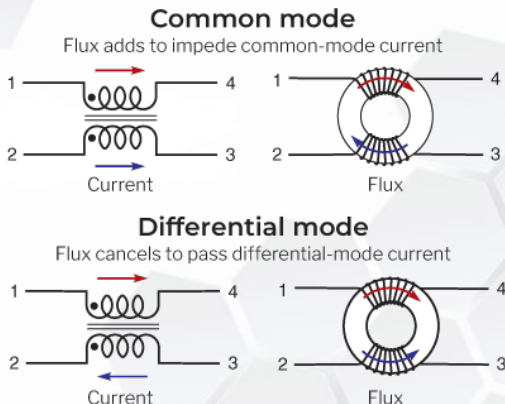


- On veut contrôler les chemins de retour de courant
- **Le retour de courant est aussi important que l'aller**
 - **Tous les grounds ne sont pas égaux!** ←

- On veut contrôler les chemins de retour de courant
- **Le retour de courant est aussi important que l'aller**
 - **Tous les grounds ne sont pas égaux!** ←
- *Common-mode Noise*: Une partie du retour qui revient par ailleurs
- Donc pas autant de courant qui rentre que qui sort



- ✂ Essentiellement un transformateur
- ↻ Permet d'égaliser le flux qui passe à un point
- ↔ Du courant est forcé par la bonne place si les courants ne sont pas égaux
- ➔ Fournit un chemin de plus faible impédance vers là où on veut aller!



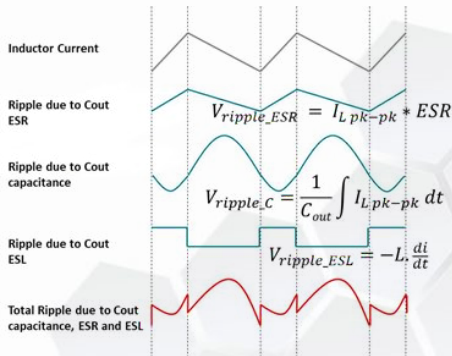
Comment filtrer une alimentation?

1 Comment filtrer une alimentation?

- Pourquoi filtrer une alimentation?
- Démonstration
- Filtrer l'entrée
- **Filtrer un régulateur**
- Filtrer au IC

- Un régulateur linéaire n'a pas besoin d'être filtré
- Juste du bulk capacitance

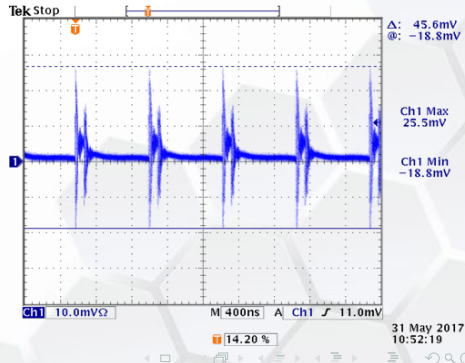
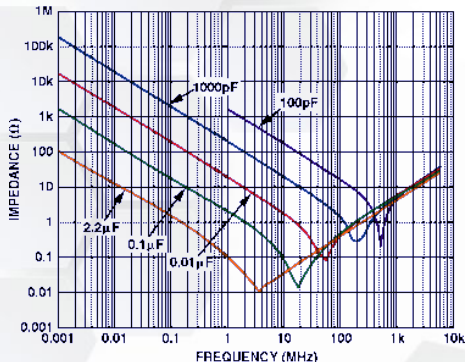
- Un régulateur linéaire n'a pas besoin d'être filtré
- Juste du bulk capacitance
- Un régulateur switching doit avoir du bulk *et* du découplage
- Il faut éliminer le bruit à la fréquence de switching
- Mettre des condensateurs dont la *fréquence de résonance* est celle du switching.



Fréquence de résonance d'un condensateur



- Chaque condensateur a sa fréquence de résonance
- Choisir le bon condensateur de découplage selon fréquence de résonance du condensateur
- **Il faut offrir la plus faible impédance vers le ground pour la fréquence visée**



Comment filtrer une alimentation?

1 Comment filtrer une alimentation?

- Pourquoi filtrer une alimentation?
- Démonstration
- Filtrer l'entrée
- Filtrer un régulateur
- Filtrer au IC

Protéger le IC du bruit

- Un IC analogique est sensible au bruit
- Un IC digital est affecté aussi!



Communication



Clock



Stabilité



Protéger les autres IC du bruit

- Un IC génère du bruit!



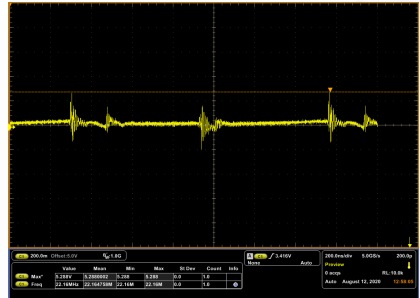
Communication



Clock



Mesures



- Chaque IC a plusieurs fréquences d'opération



Fréquence des clocks



Fréquences de communication



Fréquence d'acquisition de données

- Chaque fréquence d'opération fait du bruit sur le power!
- **Il faut offrir le chemin de plus faible impédance au GND pour ces signaux haute-fréquence**

- Chaque IC a plusieurs fréquences d'opération



Fréquence des clocks



Fréquences de communication



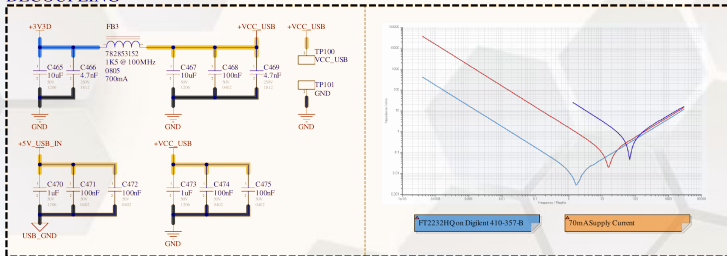
Fréquence d'acquisition de données

- Chaque fréquence d'opération fait du bruit sur le power!

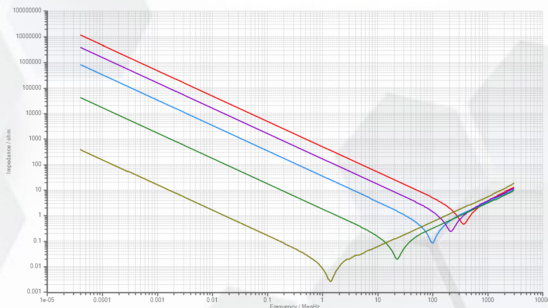
- **Il faut offrir le chemin de plus faible impédance au GND pour ces signaux haute-fréquence**

- Condensateurs dont la fréquence de résonance match avec la fréquence d'opération

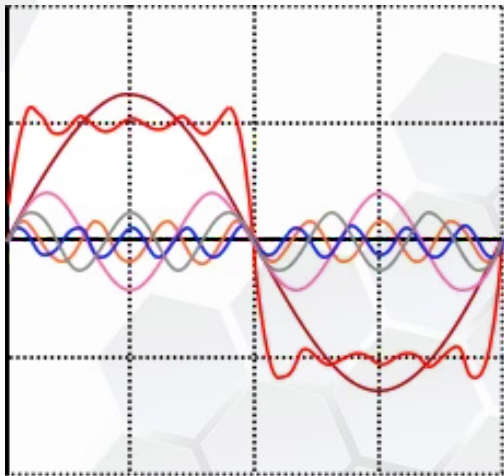
DECOUPLING



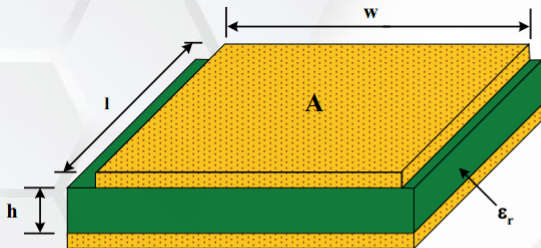
- Chaque condensateur a une fréquence de résonance où son impédance est la plus faible
- On veut offrir l'impédance la plus faible pour les fréquences d'opération
- Il faut donc un condensateur spécifique par fréquence d'opération
- Le conseil habituel de 100 nF fonctionne parce que ça tourne autour des fréquences habituelles, mais c'est overall un mauvais conseil!



- Un onde carrée n'opère pas qu'à une seule fréquence
- Décomposer une onde dans toutes ses harmoniques
- Les harmoniques font partie du signal
- Il faut rajouter des condensateurs pour les premières harmoniques!



- Les fréquences les plus élevées (> 1 GHz) sont couvertes
- Le PCB lui-même agit comme un condensateur
- Il faut un power plane et un ground plane adjacents!



$$C(pF) \approx \frac{0.0886 \epsilon_r A}{h}$$

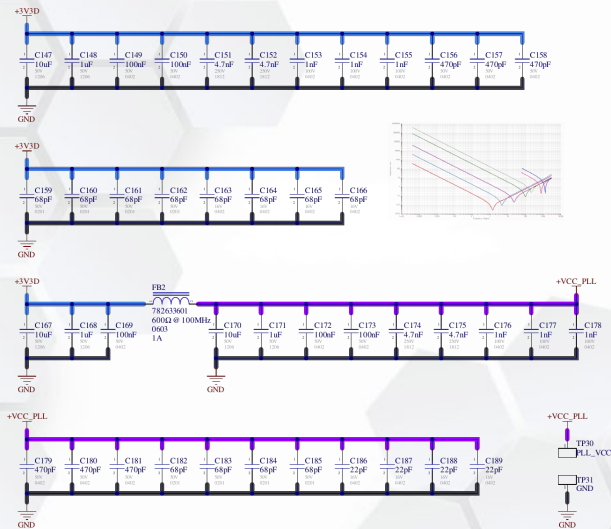
h = separation between planes (cm)
 A = area of common planes = $l \cdot w$ (cm²)
 ϵ_r = PCB Permeability

0.8mm (0.031") thick PCB (FR-4) has:

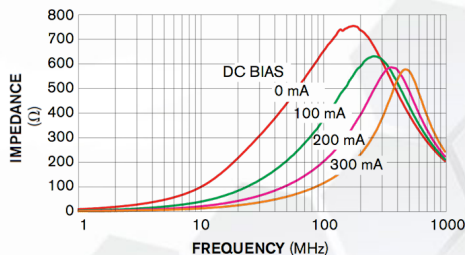
~ 0.5pF per cm²
~ 32.7pF per inch²

**ϵ_r = PCB material
permeability (FR-4 ~ 4.5)**

Découplage - Exemple



- **Ferrite Bead**
- Propriétés inductives
- Laisse passer le DC, bloque les hautes fréquences
- Contrôler le chemin des signaux haute-fréquence
- Forcer à passer par les condensateurs





Merci!