



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

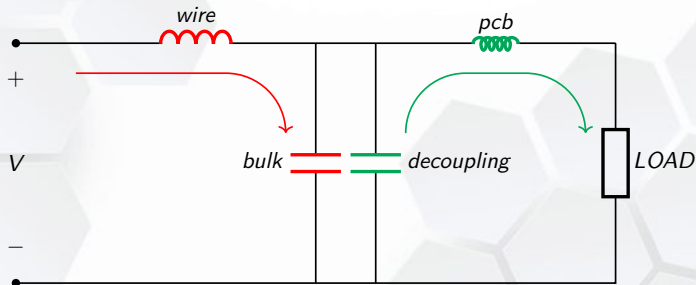
➔ **Demande de courant au travers d'une bobine.**



🔌 **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.

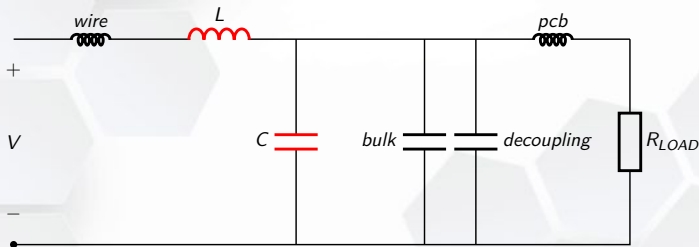
- Rajouter de l'inductance permet de bien contrôler où va le bruit haute-fréquence.
- $X_L = 2\pi fL$
- Si  $X_L > X_C$ , le bruit va passer par  $X_C$ .
- On vient de passer tout ce temps pour compenser l'inductance du fil d'alimentation

- 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

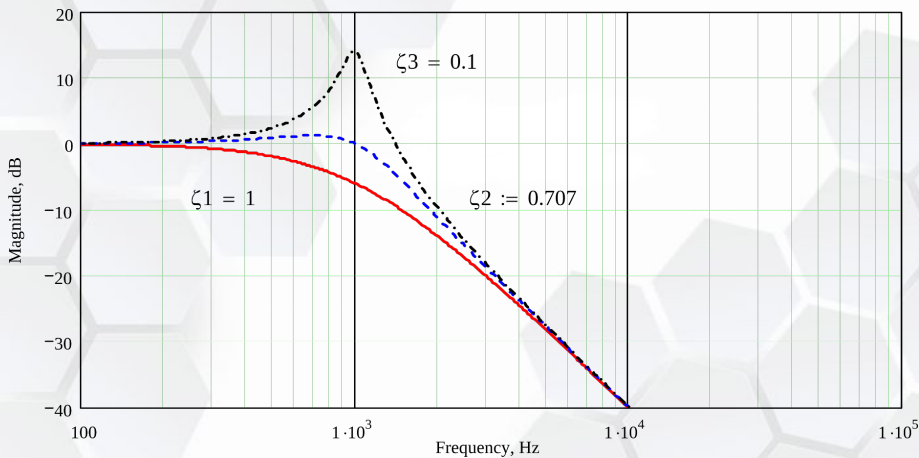
- Rajouter de l'inductance permet de bien contrôler où va le bruit haute-fréquence.
- $X_L = 2\pi fL$
- Si  $X_L > X_C$ , le bruit va passer par  $X_C$ .
- On vient de passer tout ce temps pour compenser l'inductance du fil d'alimentation
- Maintenant, on contrôle l'inductance!
  - Les condensateurs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

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

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

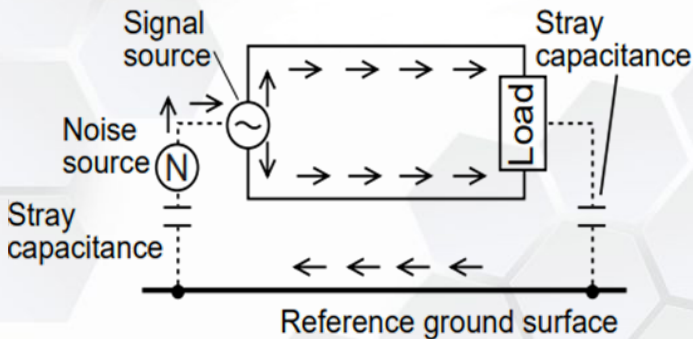


$$\zeta = \frac{1}{2R_{LOAD}\sqrt{LC}}$$



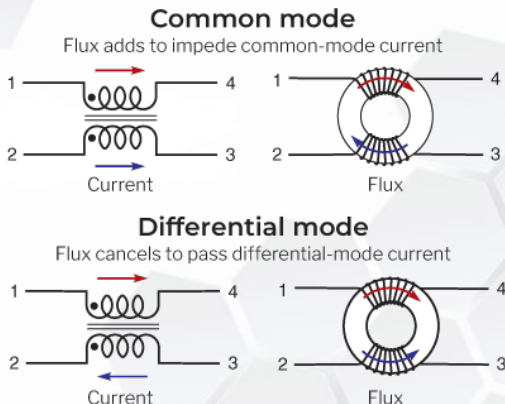
- On veut contrôler les chemins de retour de courant
- **Le retour de courant est aussi important que l'aller**
  - **Tous les grounds ne sont pas égaux!** ←

- 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!



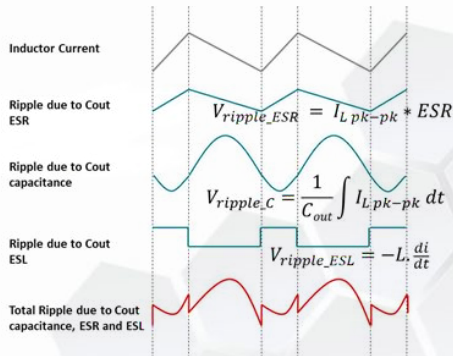
# Comment filtrer une alimentation?

## 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

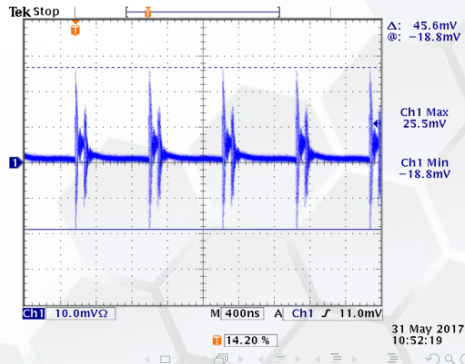
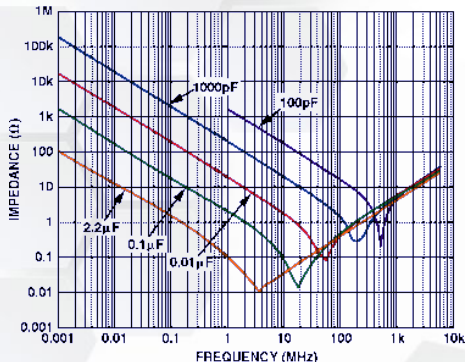
- Un régulateur linéaire n'a pas besoin d'être filtré
- Juste du bulk capacitance
- Un régulateur switching doit avoir du bulk *et* du découplage
- Il faut éliminer le bruit à la fréquence de switching
- Mettre des condensateurs dont la *fréquence de résonance* est celle du switching.



# 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!



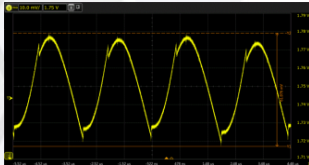
Communication



Clock



Stabilité



## Protéger les autres IC du bruit

- Un IC génère du bruit!



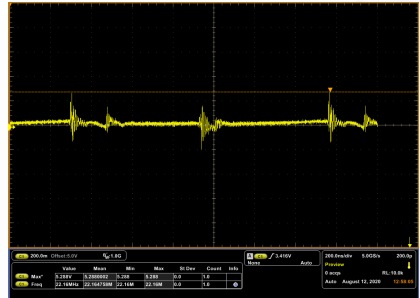
Communication



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



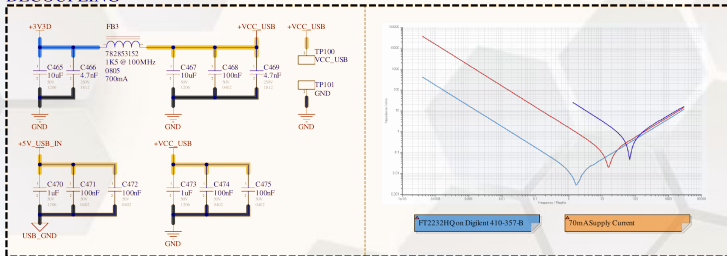
Fréquence d'acquisition de données

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

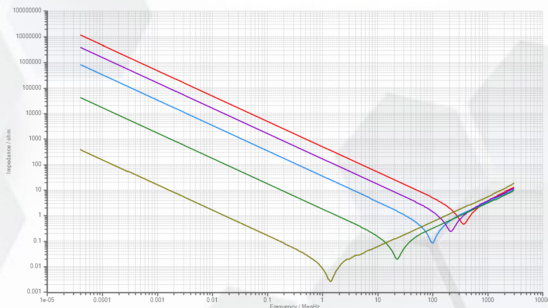
- **Il faut offrir le chemin de plus faible impédance au GND pour ces signaux haute-fréquence**

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

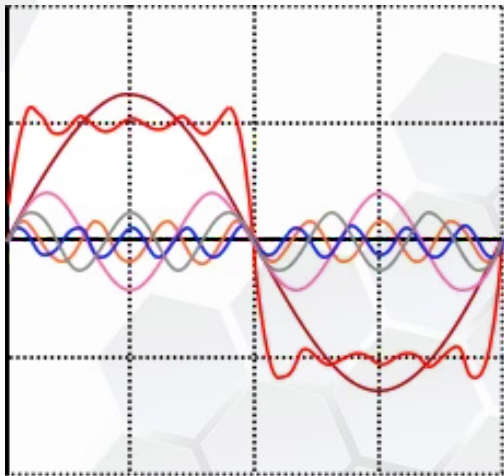
## DECOUPLING



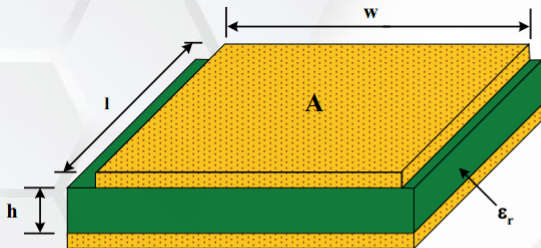
- Chaque condensateur a une fréquence de résonance où son impédance est la plus faible
- On veut offrir l'impédance la plus faible pour les fréquences d'opération
- Il faut donc un condensateur spécifique par fréquence d'opération
- Le conseil habituel de 100 nF fonctionne parce que ça tourne autour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



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

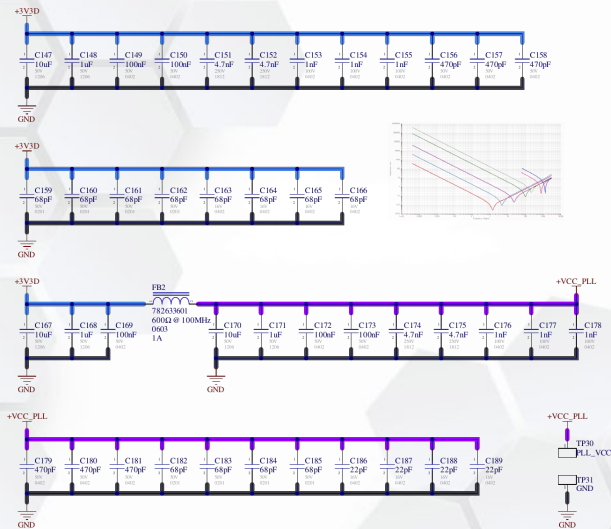
$h$  = separation between planes (cm)  
 $A$  = area of common planes =  $l \cdot w$  (cm<sup>2</sup>)  
 $\epsilon_r$  = PCB Permeability

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

**~ 0.5pF per cm<sup>2</sup>**  
**~ 32.7pF per inch<sup>2</sup>**

**$\epsilon_r$  = PCB material  
permeability (FR-4 ~ 4.5)**

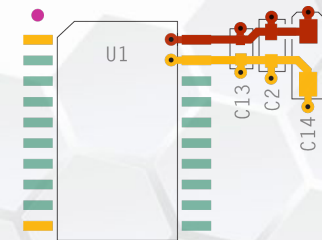
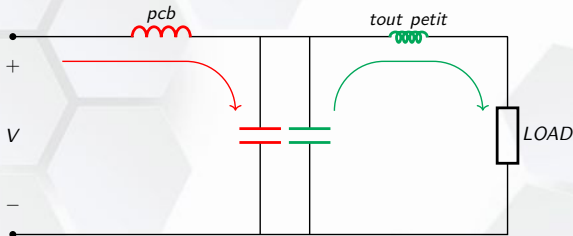
# Découplage - Exemple



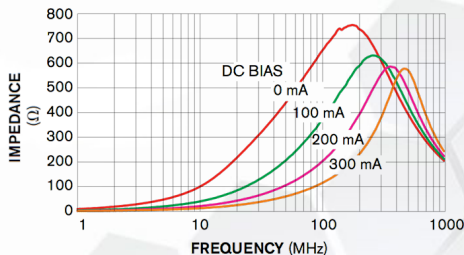
# Où placer le découplage?



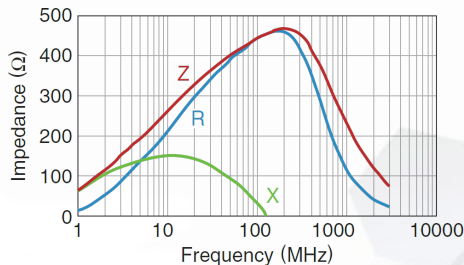
- Le plus proche possible des pins d'alimentation du IC
- Le condensateur pour la fréquence la plus élevée le plus proche
- Briser le chemin d'inductance
- On ne veut pas que les hautes fréquences se propagent
- Faire des polygones - Chaque condensateur a un via
- **Offrir la plus faible impédance vers le GND pour les hautes fréquences**



- **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

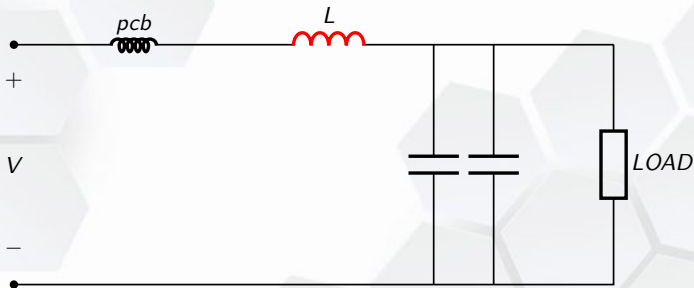
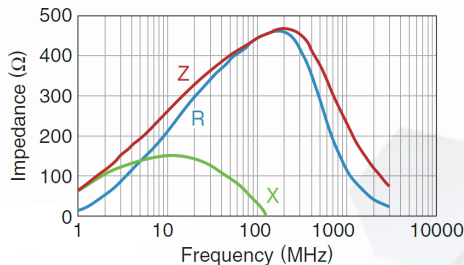


- Agit comme une résistance sur sa plage d'opération
- Utilisé comme une inductance dans un circuit
- Diffère dans sa courbe d'impédance caractéristique

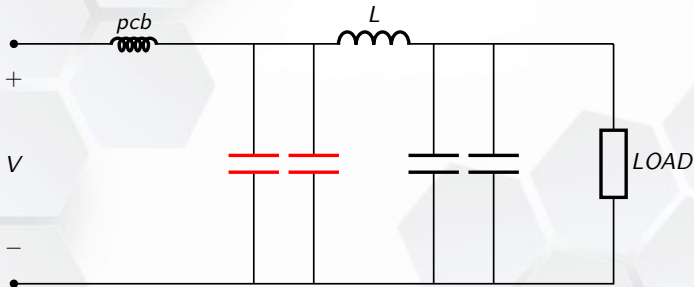




- Agit comme une résistance sur sa plage d'opération
- Utilisé comme une inductance dans un circuit
- Diffère dans sa courbe d'impédance caractéristique



- Ajouter les mêmes condensateurs de chaque côté de la ferrite
- Plus de filtration



## Limite de courant

- Résistance  $\neq 0 \Omega$ 
  - DC bias
  - Chauffage
- Saturation de l'inductance

## Limite de courant

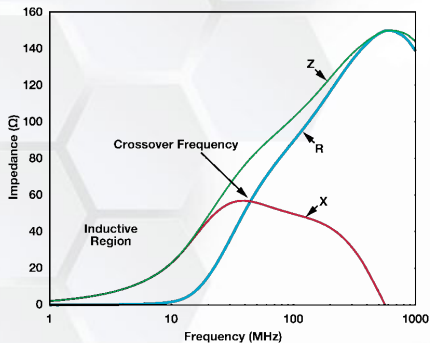
- Résistance  $\neq 0 \Omega$ 
  - DC bias
  - Chauffage
- Saturation de l'inductance

## Impédance

- Affecte les courbes d'impédance
- Peut introduire du ringing

## Limite de courant

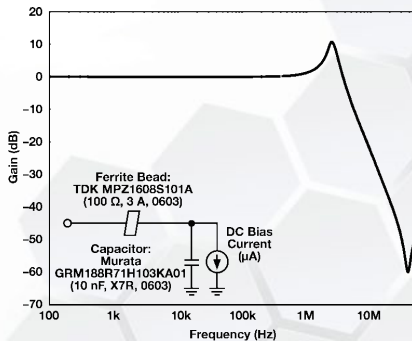
- Résistance  $\neq 0 \Omega$ 
  - DC bias
  - Chauffage
- Saturation de l'inductance



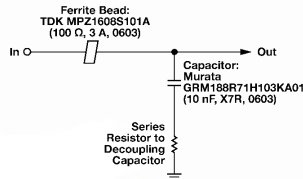
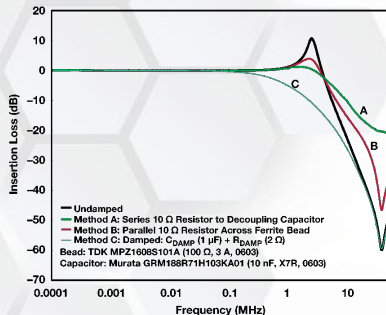
## Impédance

- Affecte les courbes d'impédance
- Peut introduire du ringing

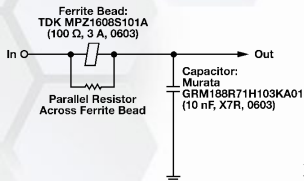
$$\zeta = \frac{1}{2R_{LOAD}\sqrt{LC}}$$



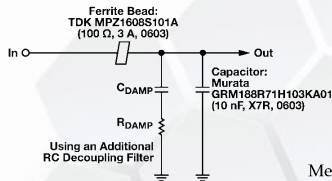
# Ferrite Bead - Damping



Method A



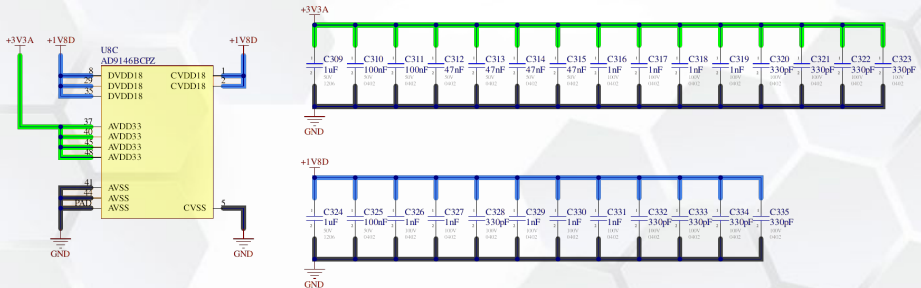
Method B



Method C

## Analog Devices - Ferrite Beads Demystified

- Souvent plusieurs pins de power par IC
- Chaque pin a besoin de tous les condensateurs pour supporter toutes les fréquences
- Exception: Gros condensateurs ( $\geq 1 \mu\text{F}$ )
- Besoin d'une seule ferrite bead





Merci!