



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
 - Filtration Complète

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
 - Filtration Complète

Comment filtrer une alimentation?

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

🔌 Long fil qui provient d'une Power Supply

🔄 Inductance Parasite

📡 Pick-Up du bruit extérieur

🌊 Signal potentiellement bruité

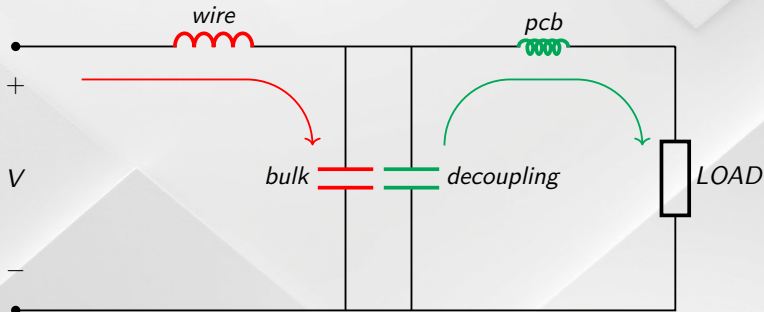
➔ **Demande de courant au travers d'une bobine.**



🔌 **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.

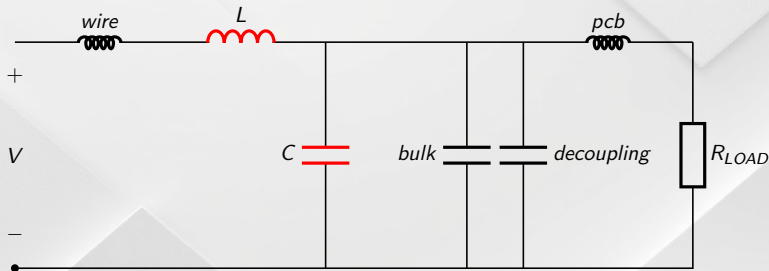
- Rajouter de l'inductance permet de bien contrôler où va le bruit haute-fréquence.
- $X_L = 2\pi fL$
- Si $X_L > X_C$, le bruit va passer par X_C .
- On vient de passer tout ce temps pour compenser l'inductance du fil d'alimentation

- 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

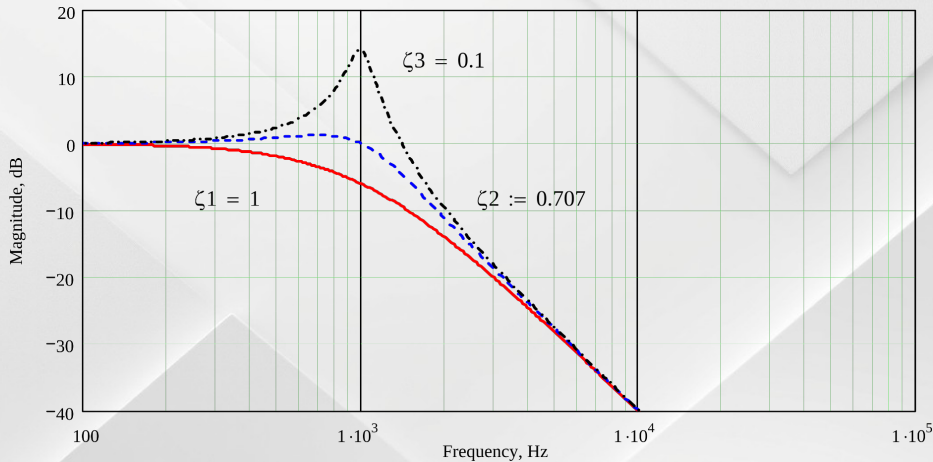
- Rajouter de l'inductance permet de bien contrôler où va le bruit haute-fréquence.
- $X_L = 2\pi fL$
- Si $X_L > X_C$, le bruit va passer par X_C .
- On vient de passer tout ce temps pour compenser l'inductance du fil d'alimentation
- Maintenant, on contrôle l'inductance!
 - Les condensateurs de découplage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

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

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

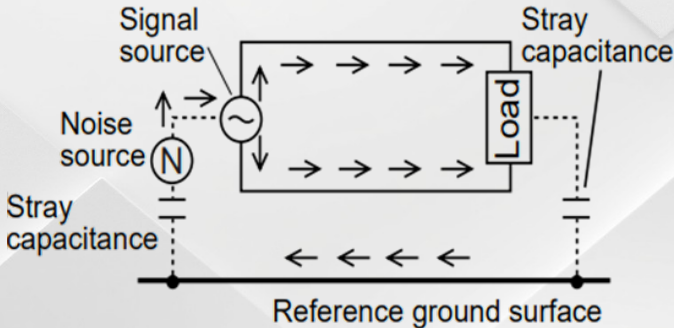


$$\zeta = \frac{1}{2R_{LOAD}\sqrt{LC}}$$

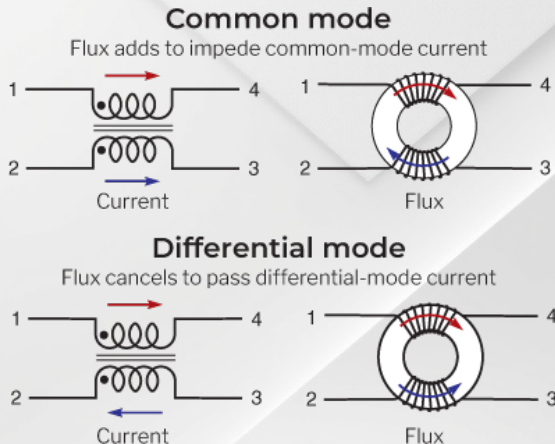


- On veut contrôler les chemins de retour de courant
- **Le retour de courant est aussi important que l'aller**
 - **Tous les grounds ne sont pas égaux!** ←

- 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!

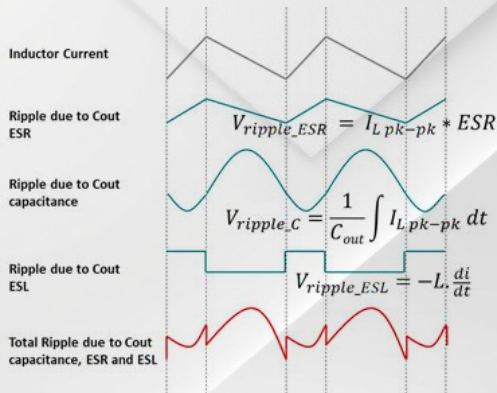


Comment filtrer une alimentation?

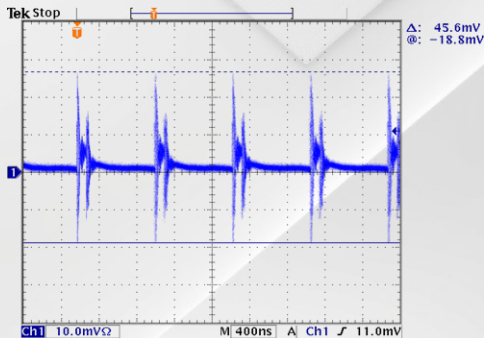
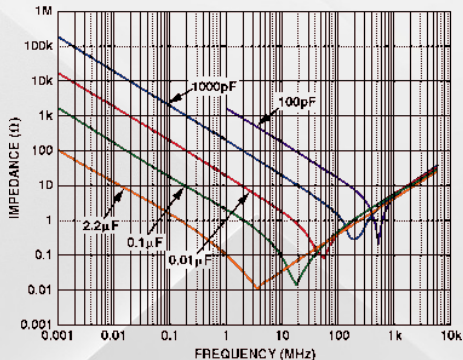
- 1 Comment filtrer une alimentation?
 - Pourquoi filtrer une alimentation?
 - Démonstration
 - Filtrer l'entrée
 - **Filtrer un régulateur**
 - Filtrer au IC
 - Filtration Complète

- 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.



- 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 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**
 - Filtration Complète

Protéger le IC du bruit

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



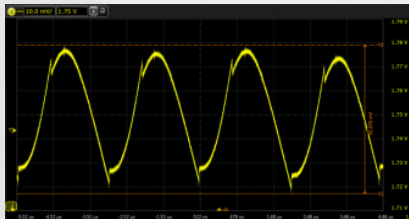
Communication



Clock



Stabilité



Protéger les autres IC du bruit

- Un IC génère du bruit!



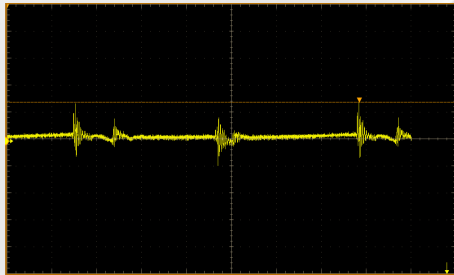
Communication



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



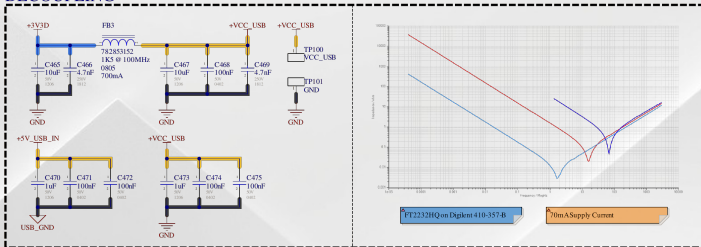
Fréquences de communication



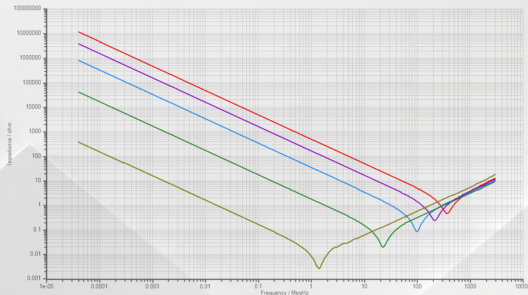
Fréquence d'acquisition de données

- 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**
- Matcher la fréquence de résonance avec la fréquence d'opération

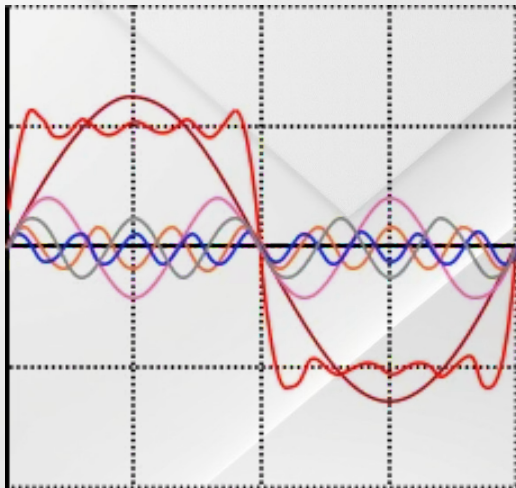
DECOUPLING



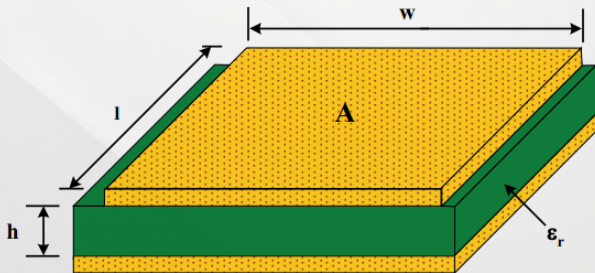
- Chaque condensateur a une fréquence de résonance où son impédance est la plus faible
- On veut offrir l'impédance la plus faible pour les fréquences d'opération
- Il faut donc un condensateur spécifique par fréquence d'opération
- Le conseil habituel de 100 nF fonctionne parce que ça tourne autour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



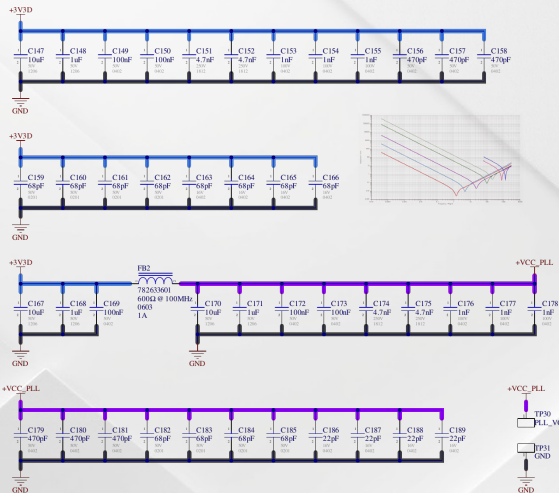
$$C(pF) \approx \frac{0.0886 \epsilon_r A}{h}$$

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

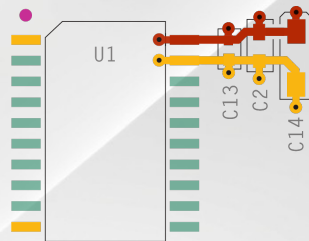
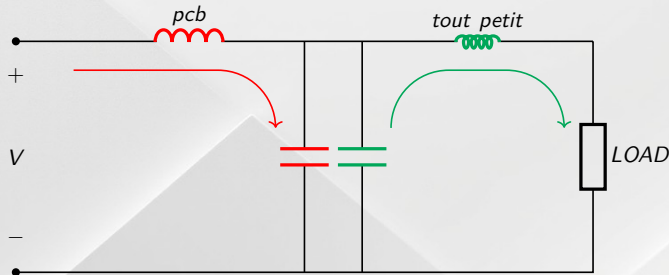
0.8mm (0.031") thick PCB (FR-4) has:

~ 0.5pF per cm²
~ 32.7pF per inch²

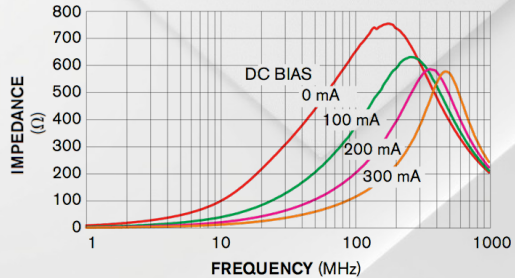
ϵ_r = PCB material
permeability (FR-4 ~ 4.5)



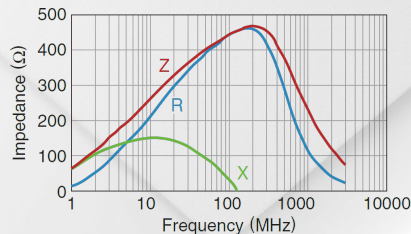
- Le plus proche possible des pins d'alimentation du IC
- Le condensateur pour la fréquence la plus élevée le plus proche
- Briser le chemin d'inductance
- On ne veut pas que les hautes fréquences se propagent
- Faire des polygones - Chaque condensateur a un via
- **Offrir la plus faible impédance vers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



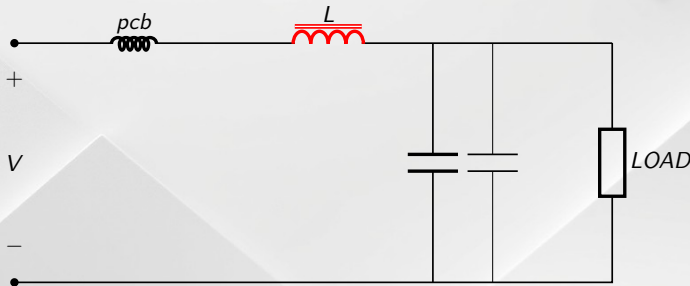
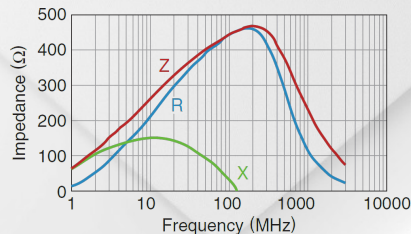
- **Ferrite Bead**
- Propriétés inductives
- Laisse passer le DC, bloque les hautes fréquences
- Contrôler le chemin des signaux haute-fréquence
- Forcer à passer par les condensateurs



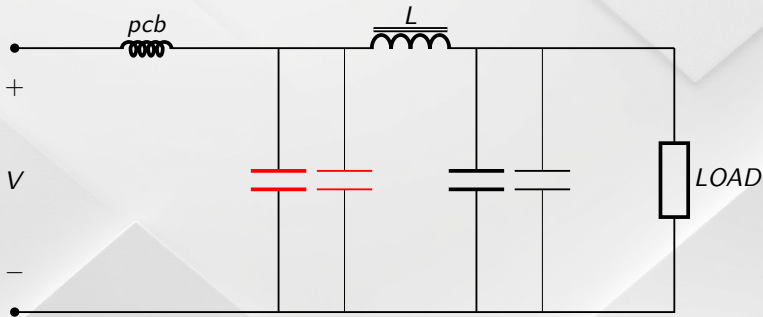
- Agit comme une résistance sur sa plage d'opération
- Utilisé comme une inductance dans un circuit
- Diffère dans sa courbe d'impédance caractéristique



- 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
 - Chauffe
- Saturation de l'inductance

Limite de courant

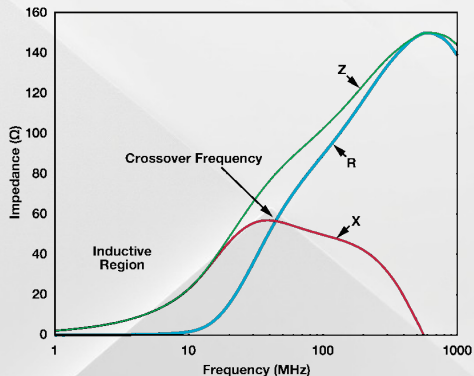
- Résistance $\neq 0 \Omega$
 - DC bias
 - Chauffe
- Saturation de l'inductance

Impédance

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

Limite de courant

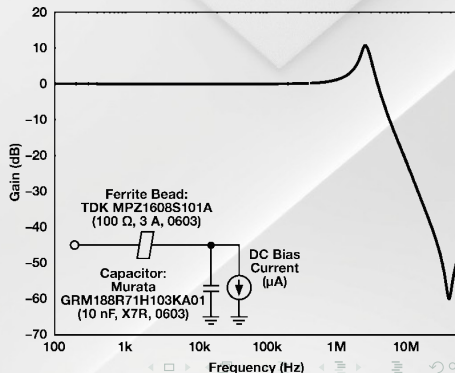
- Résistance $\neq 0 \Omega$
 - DC bias
 - Chauffage
- Saturation de l'inductance

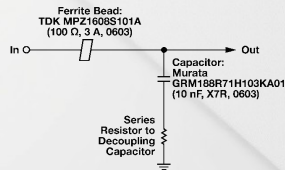
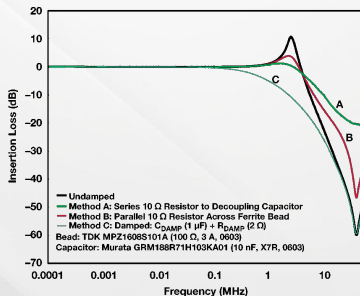


Impédance

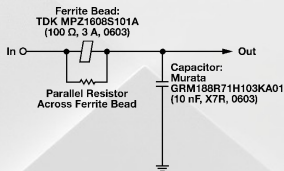
- Affecte les courbes d'impédance
- Peut introduire du ringing

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

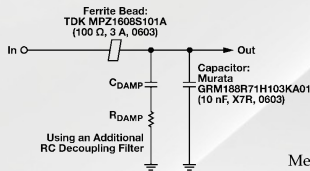




Method A

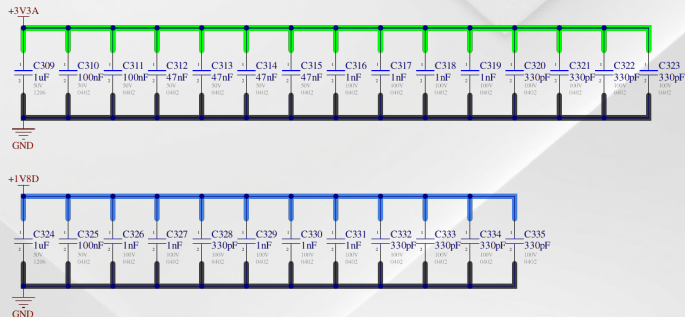
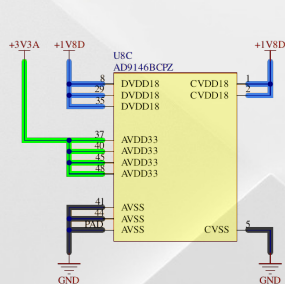


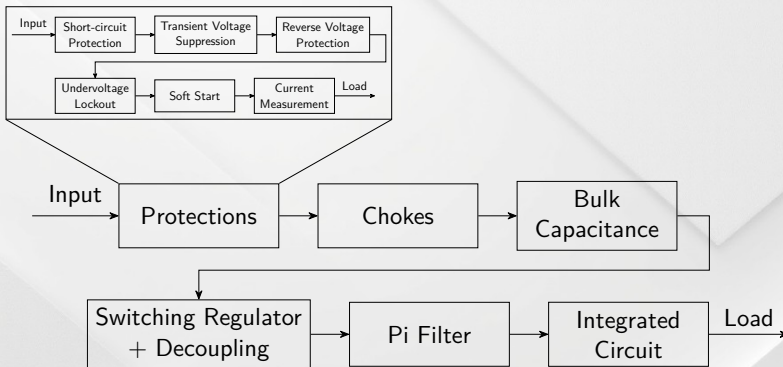
Method B

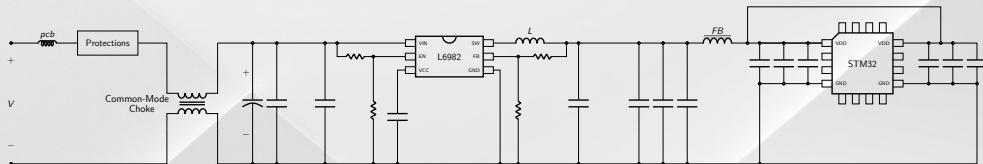
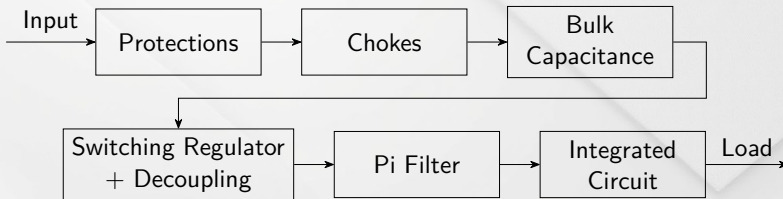


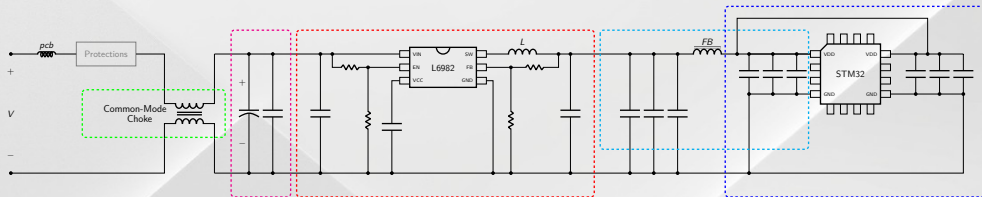
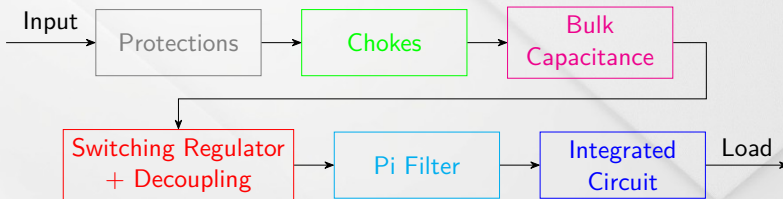
Method C

- 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!