



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 protéger une alimentation?

1 Comment protéger une alimentation?

- Protection antistatique
- Protection de tension inverse
- Protection de court-circuit
- Protection de inrush current
- Undervoltage Lockout
- Protection complète
- 120V

2 Quels sont les types de régulateurs?

3 Comment filtrer une alimentation?

Comment protéger une alimentation?

1 Comment protéger une alimentation?

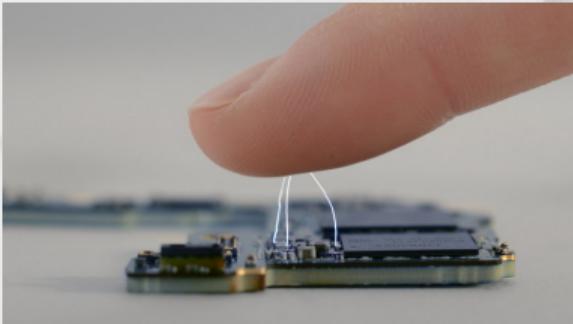
- Protection antistatique
- Protection de tension inverse
- Protection de court-circuit
- Protection de inrush current
- Undervoltage Lockout
- Protection complète
- 120V

2 Quels sont les types de régulateurs?

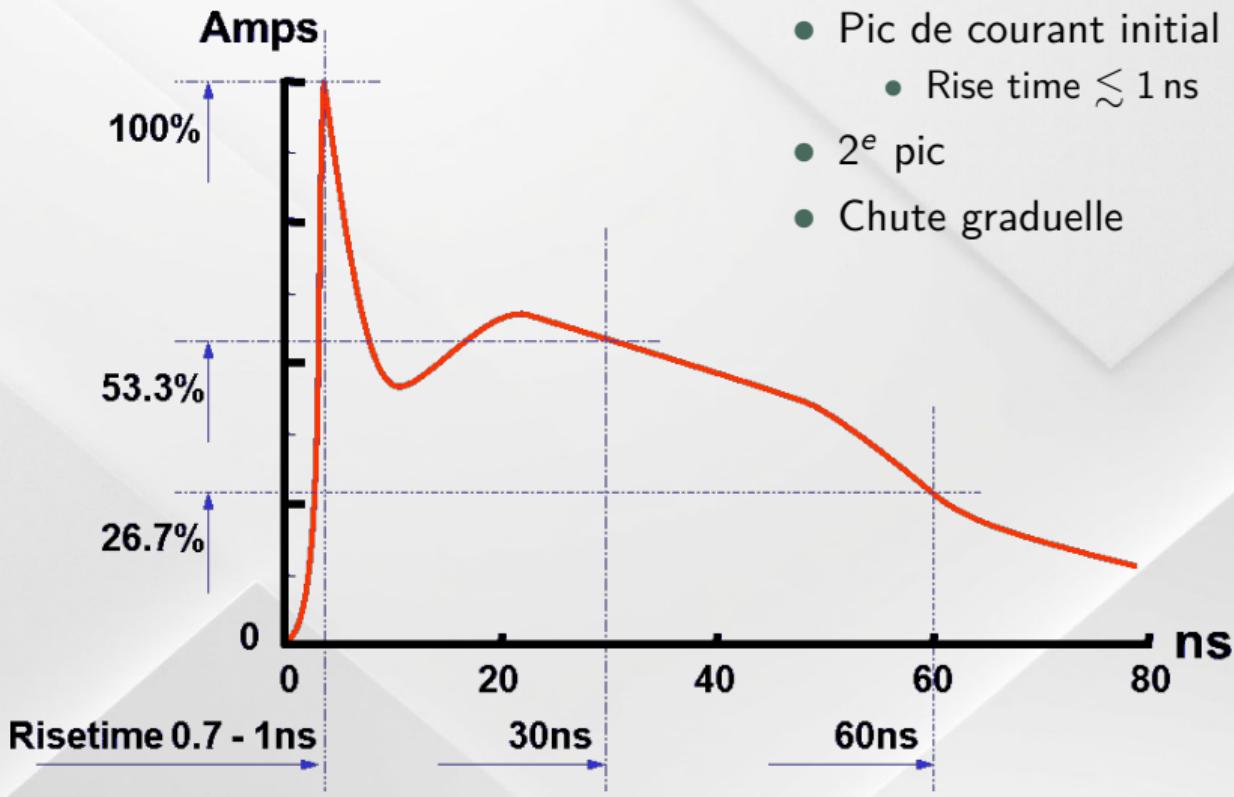
3 Comment filtrer une alimentation?

- Filtration Complète

- Norme IEC-61000-4-2
 - Types de décharges
 - Méthodologies de tests & certification
 - 4 catégories de produits
 - Jusqu'à $\pm 8 \text{ kV}$ / $\pm 15 \text{ kV}$
- Deux types de chocs statiques
 - **Contact Discharge** - Toucher directement chaque pin avec un ESD gun
 - **Air Discharge** - ESD gun proche du DUT jusqu'à décharge



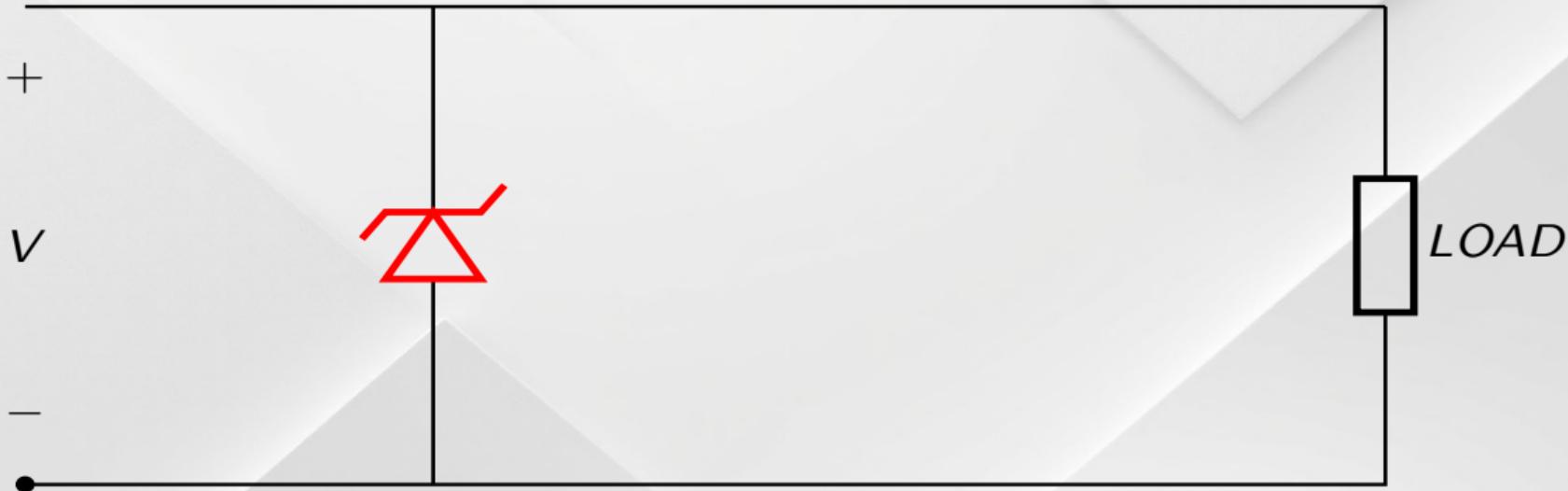
Décharge Électrostatique - Waveform



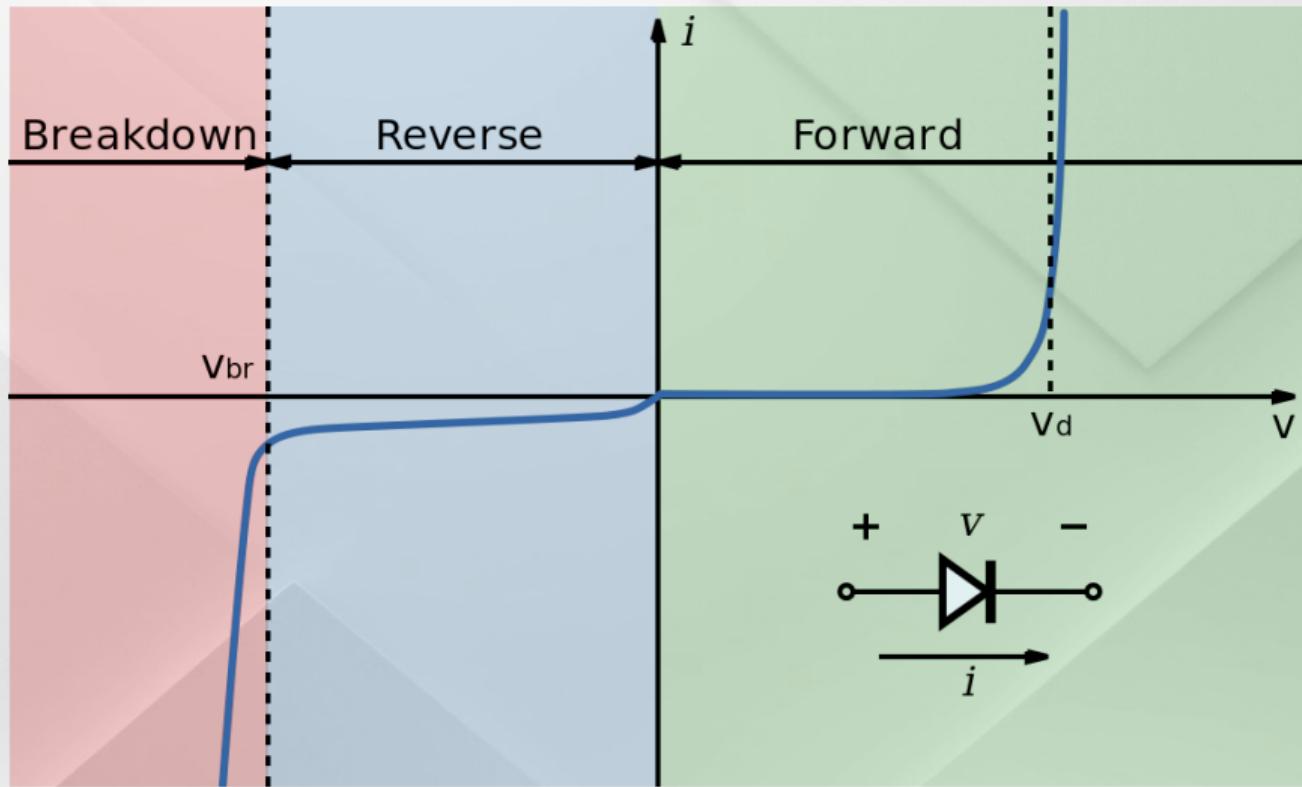
Circuit protégé antistatiquement - Zener



 $i_{\text{ESD}}(t) \rightarrow 8 \text{ kV}$

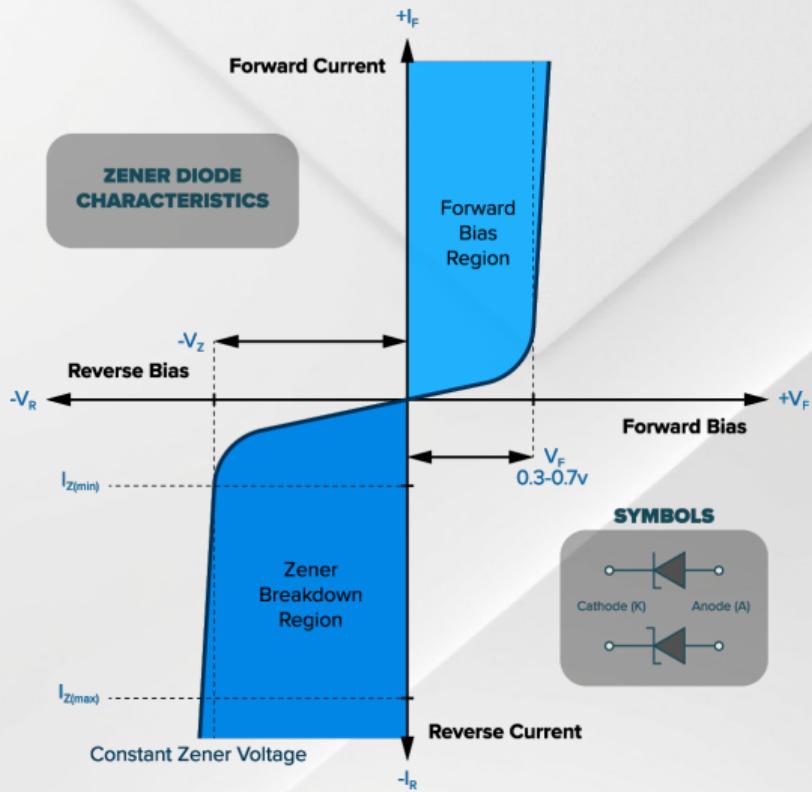


Diode Normale - IV Curve



Diode Zener

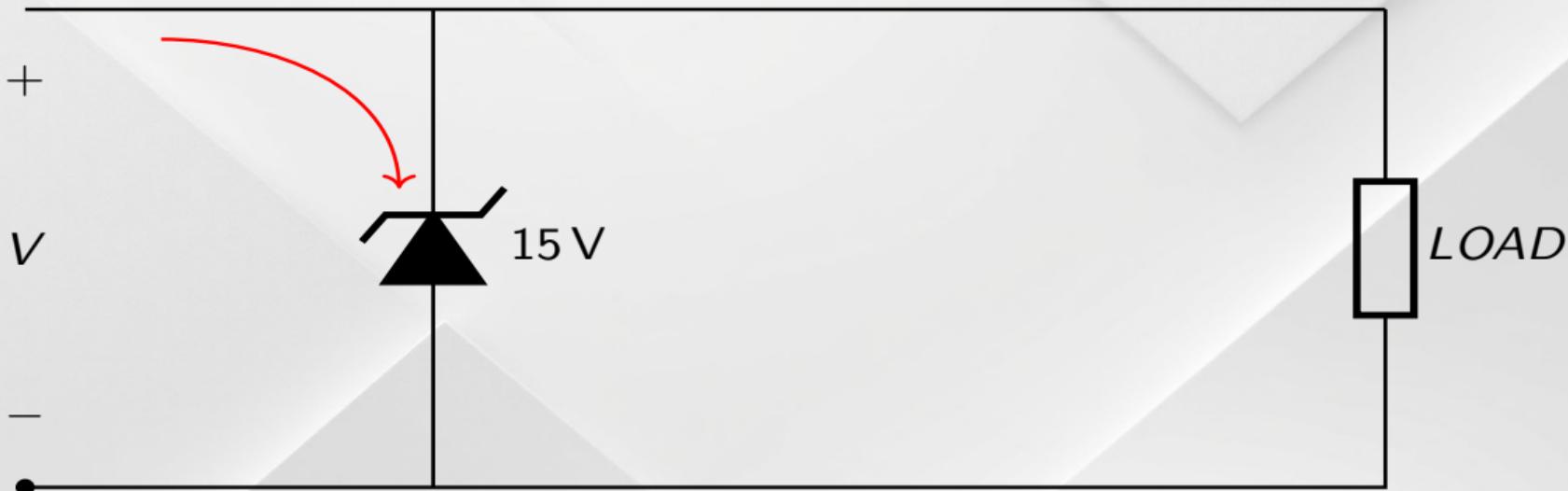
- Faite pour être mise à l'envers!
- V_Z contrôlé
- Beaucoup de courant en avalanche
- N'endommage pas la diode
- Utilisé dans des références de tension
- Utilisé comme protection antistatique



Circuit protégé antistatiquement

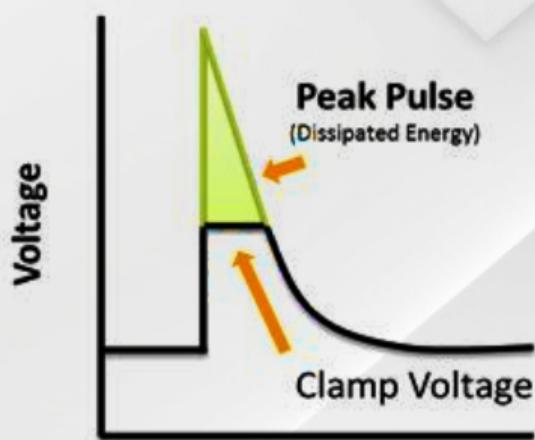
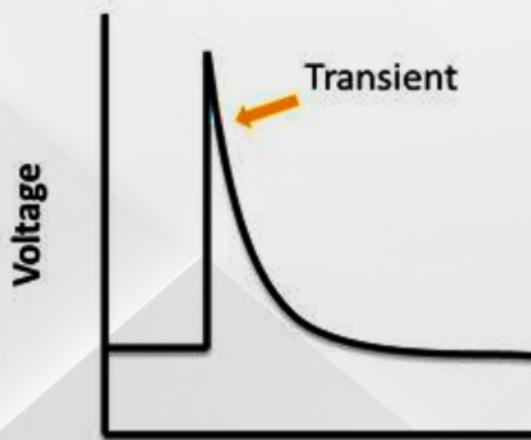


 $i_{\text{ESD}}(t) \rightarrow 8 \text{ kV}$



Protection avec une diode Zener

- Clamp le pulse à V_Z
- Protège les dispositifs par apprès
- Pas l'option la plus rapide
- Ne protège pas contre un pulse négatif



Circuit protégé antistatiquement - TVS



 $i_{\text{ESD}}(t) \rightarrow \pm 8 \text{ kV}$

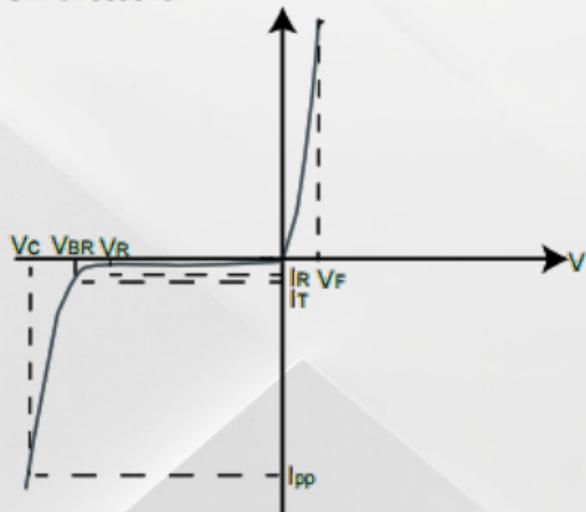


Diode TVS (Transient Voltage Suppression)



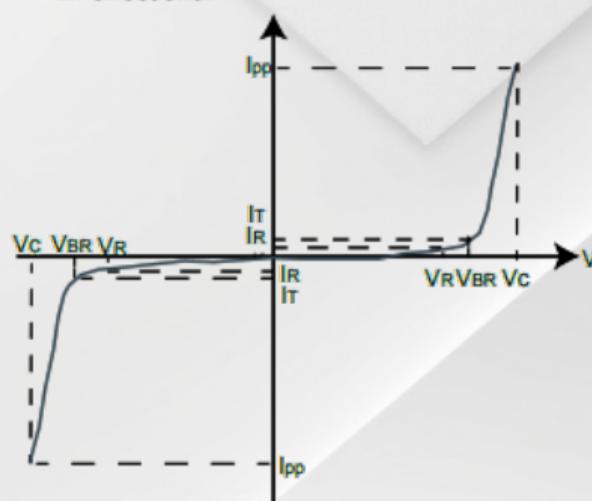
- Faite pour protection antistatique!
- Bidirectionnel!!

Uni-directional



- Deux diodes Zener qui se font face
- iv curve symétrique

Bi-directional



Circuit protégé antistatiquement - Condensateur



 $i_{\text{ESD}}(t) \rightarrow \pm 8 \text{ kV}$



Comment protéger une alimentation?

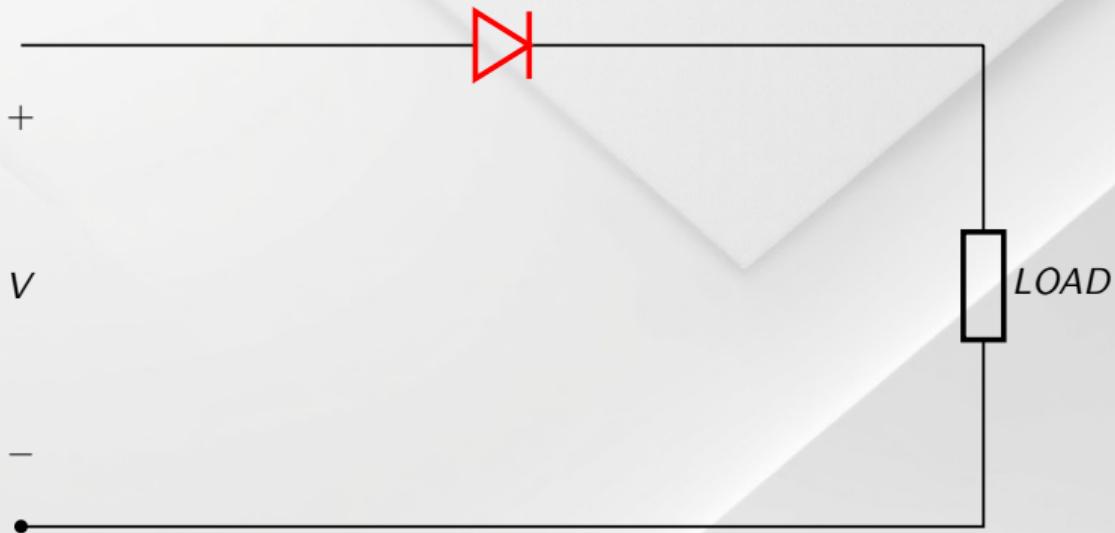
1 Comment protéger une alimentation?

- Protection antistatique
- **Protection de tension inverse**
- Protection de court-circuit
- Protection de inrush current
- Undervoltage Lockout
- Protection complète
- 120V

2 Quels sont les types de régulateurs?

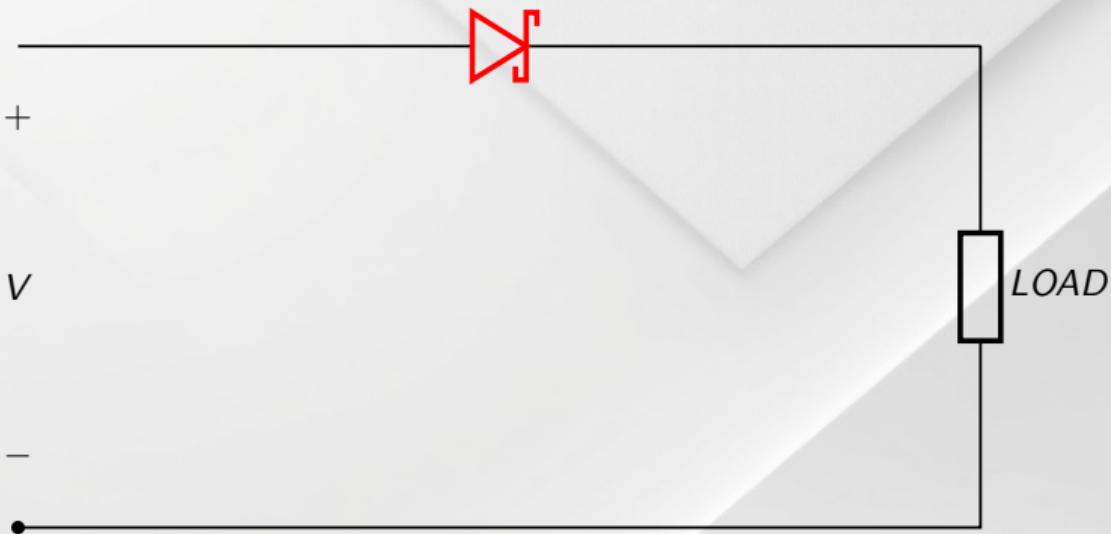
3 Comment filtrer une alimentation?

- Filtration Complète

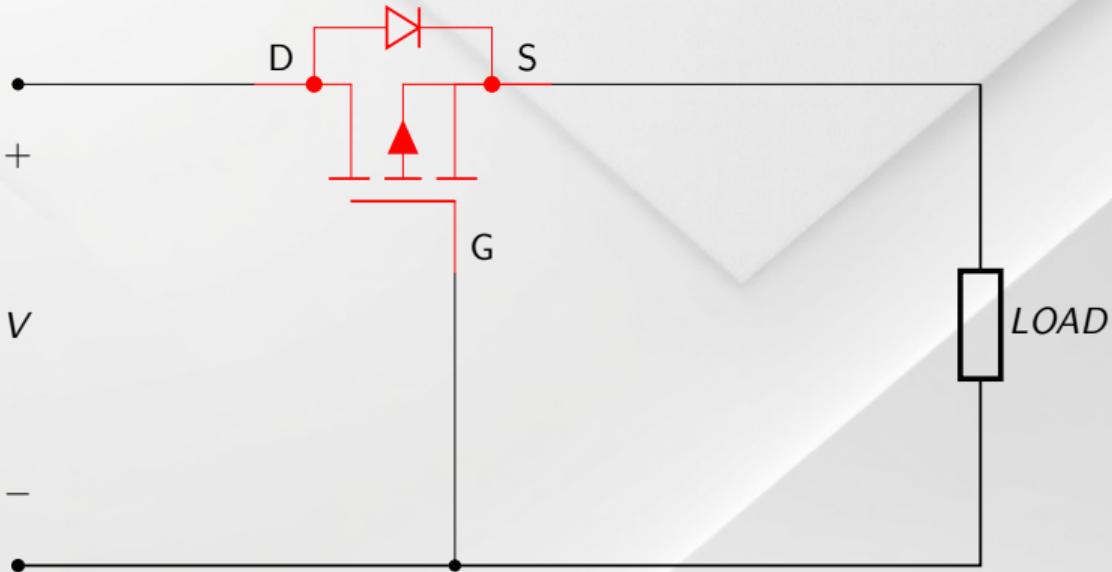


- Ne conduit que dans un sens
- Drop de tension V_f
- $P = I \cdot V_f$

- Ne conduit que dans un sens
- Drop de tension V_f plus petite
- $P = I \cdot V_f$
- Plus cher pour même rating de courant



- Ne conduit que dans un sens
- Drop de tension vraiment plus petite ($R_{ds_{on}} \cdot I$)
- Tension maximale supportée



Transistor MOSFET P-Channel (PMOS)

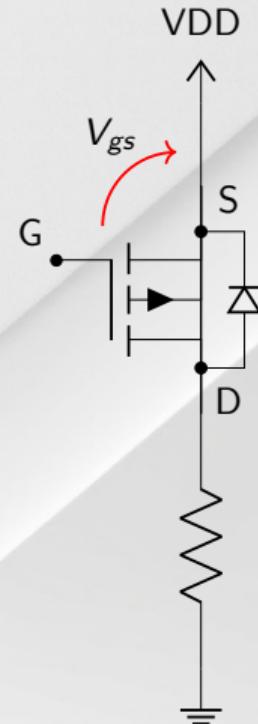


V_{gs} négatif!

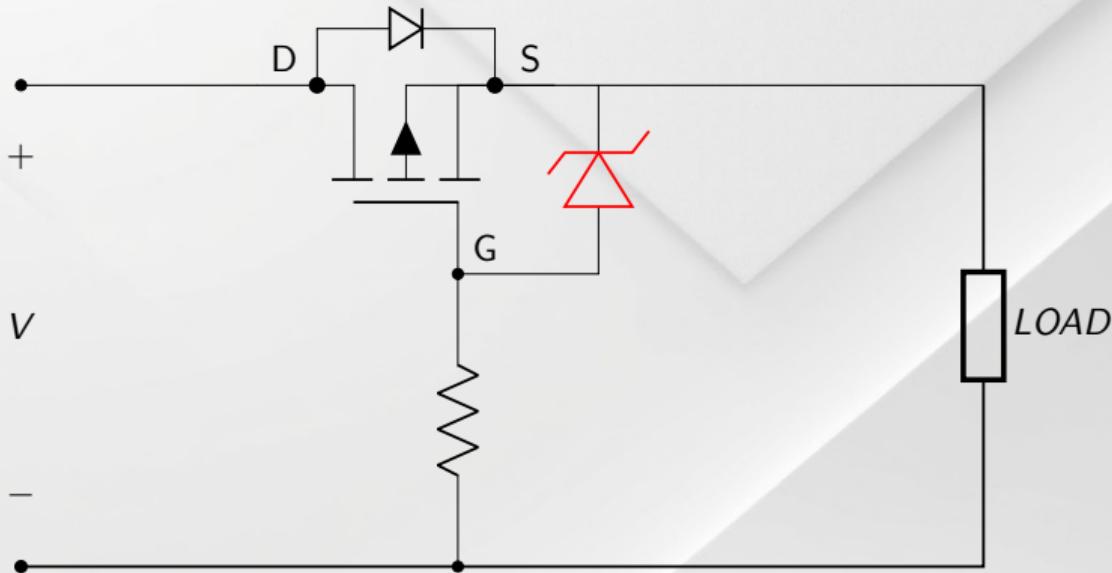
$$V_{gs} < -V_t$$

Faire attention au V_{gsmax}

- $V_G = 0 \text{ V}$
 - $V_{gs} = -VDD$
 - $-VDD < -V_t$
 - Conduit!
- $V_G = VDD$
 - $V_{gs} = 0 \text{ V}$
 - $0 \text{ V} > -V_t$
 - Ne conduit pas



- Ne conduit que dans un sens
- Drop de tension vraiment plus petite ($R_{ds_{on}} \cdot I$)
- Supporte toutes les tensions!



Comment protéger une alimentation?

1 Comment protéger une alimentation?

- Protection antistatique
- Protection de tension inverse
- **Protection de court-circuit**
- Protection de inrush current
- Undervoltage Lockout
- Protection complète
- 120V

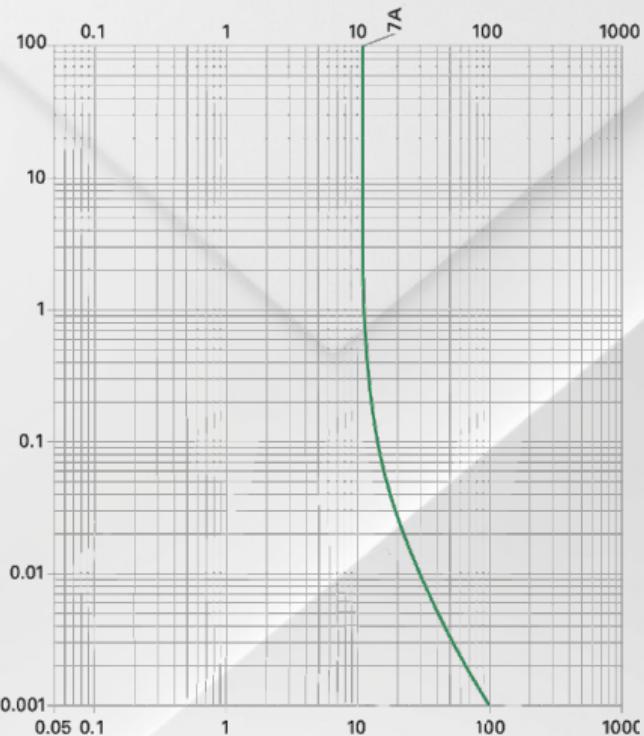
2 Quels sont les types de régulateurs?

3 Comment filtrer une alimentation?

- Filtration Complète

Fusible

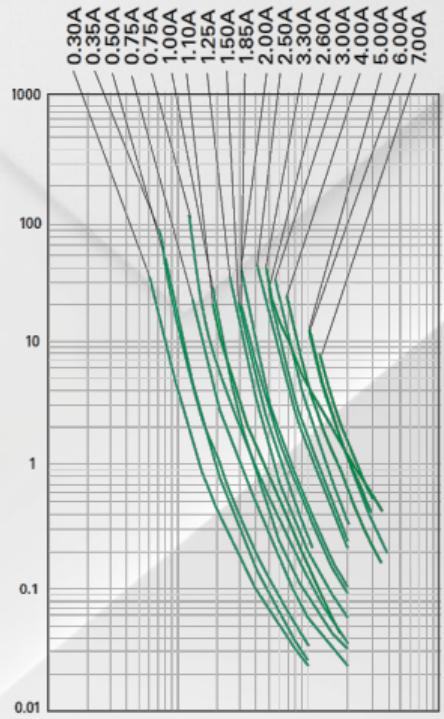
- Chauffage d'un filament central
- Coupe un circuit lorsque trop de courant passe
- Usage unique
- Lent à agir



Polyfuse - Polyswitch - PTC - Resettable Fuse



- *Positive Temperature Coefficient*
- Augmente sa résistance alors qu'il chauffe
- Utilisé comme thermistor
- Usage multiple
- Lent à agir
- Prend du temps à se self-reset



Comment protéger une alimentation?

1 Comment protéger une alimentation?

- Protection antistatique
- Protection de tension inverse
- Protection de court-circuit
- **Protection de inrush current**
- Undervoltage Lockout
- Protection complète
- 120V

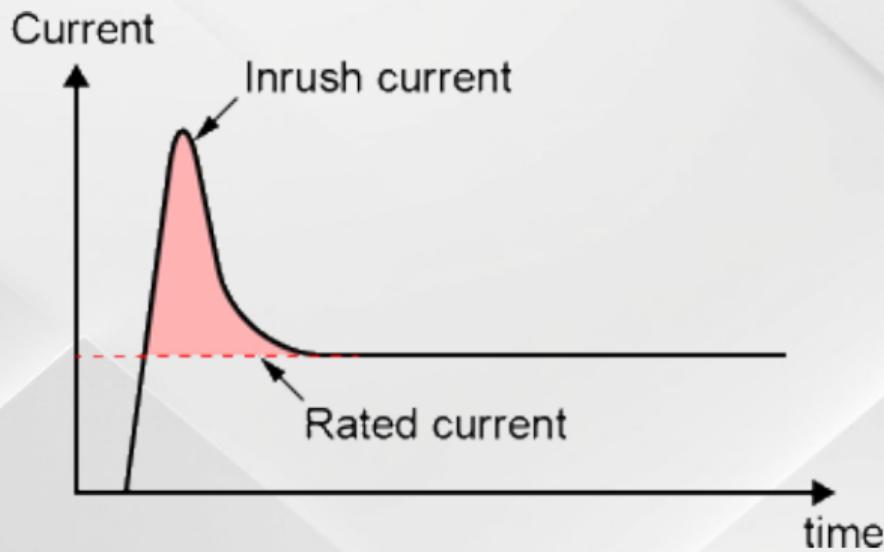
2 Quels sont les types de régulateurs?

3 Comment filtrer une alimentation?

- Filtration Complète

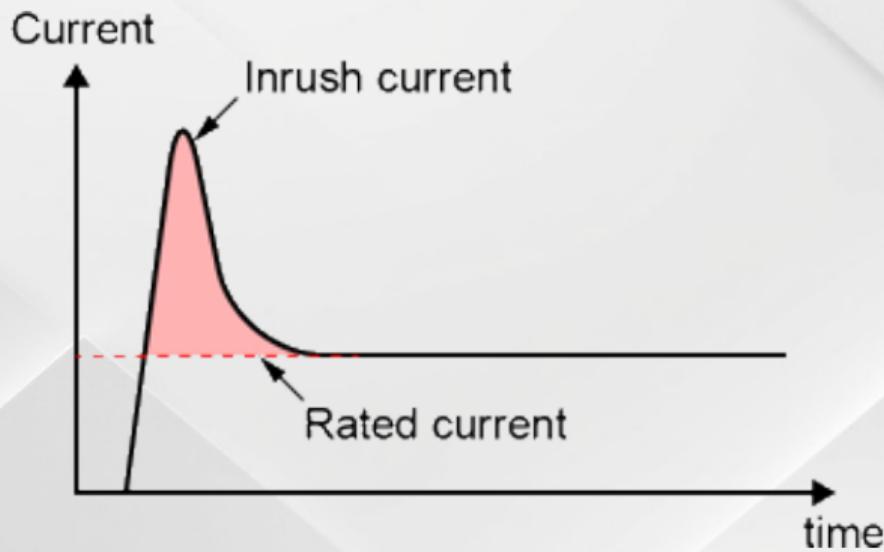
Inrush Current

- Tous les condensateurs d'un circuit sont en court-circuit
- Courant qui dépasse les spécifications pour charger les condensateurs



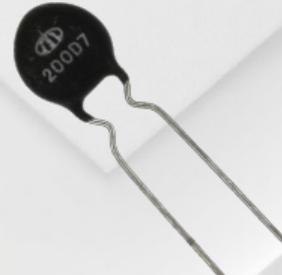
Inrush Current

- Tous les condensateurs d'un circuit sont en court-circuit
- Courant qui dépasse les spécifications pour charger les condensateurs
- Spécification USB 2.0: $10 \mu\text{F}$



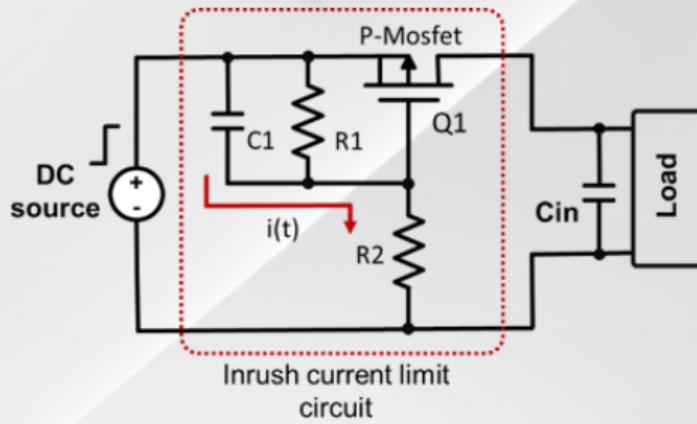
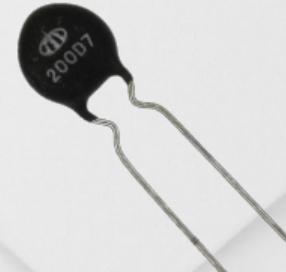
Comment limiter la surge initiale?

- NTP
 - *Negative Temperature Coefficient*
 - Conduit de plus en plus alors qu'il chauffe!



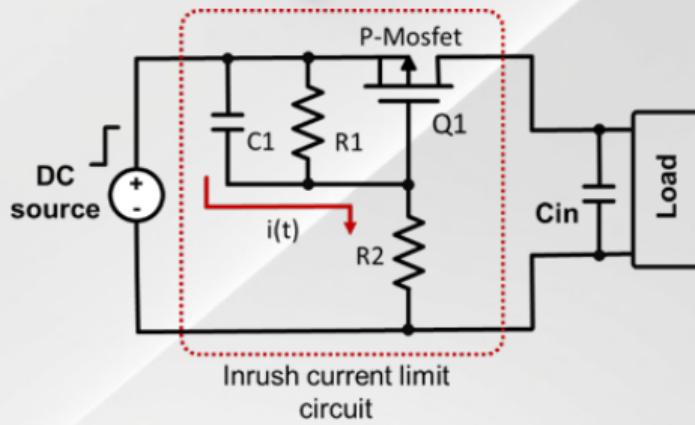
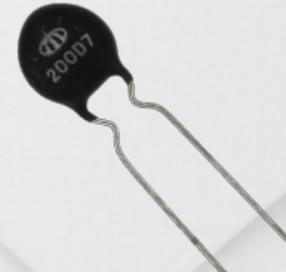
Comment limiter la surge initiale?

- NTP
 - *Negative Temperature Coefficient*
 - Conduit de plus en plus alors qu'il chauffe!
- Circuit de MOSFET
 - Charge d'un condensateur à la gate
 - Laisse passer de plus en plus de courant



Comment limiter la surge initiale?

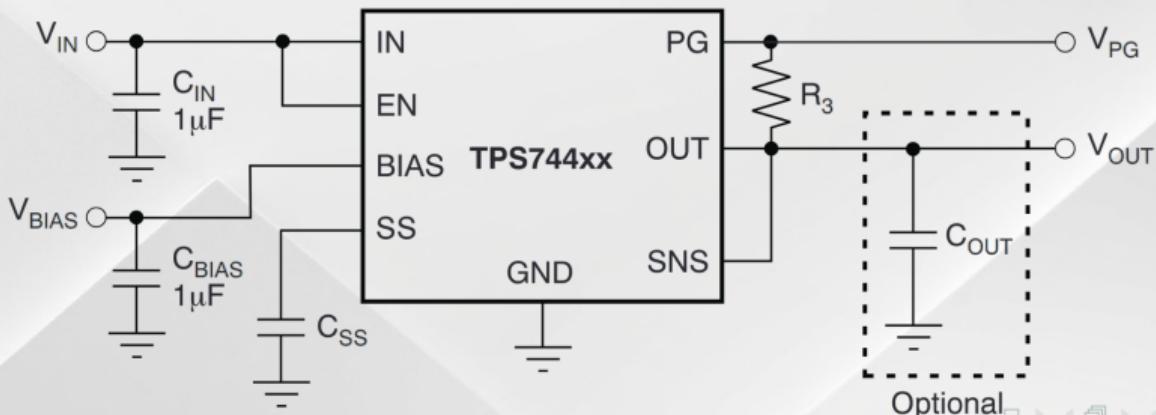
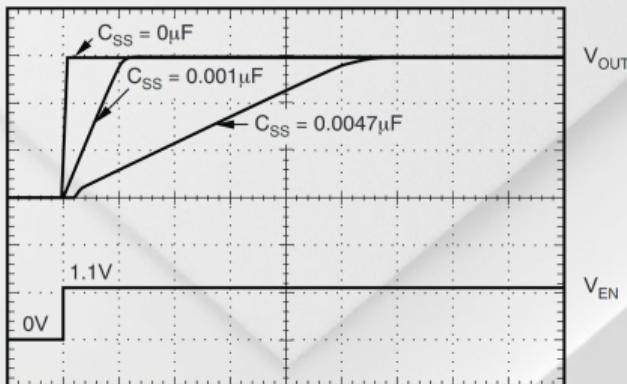
- NTP
 - *Negative Temperature Coefficient*
 - Conduit de plus en plus alors qu'il chauffe!
- Circuit de MOSFET
 - Charge d'un condensateur à la gate
 - Laisse passer de plus en plus de courant
- *Soft-Start*
- *Pre-Charge*



Inrush current limit circuit

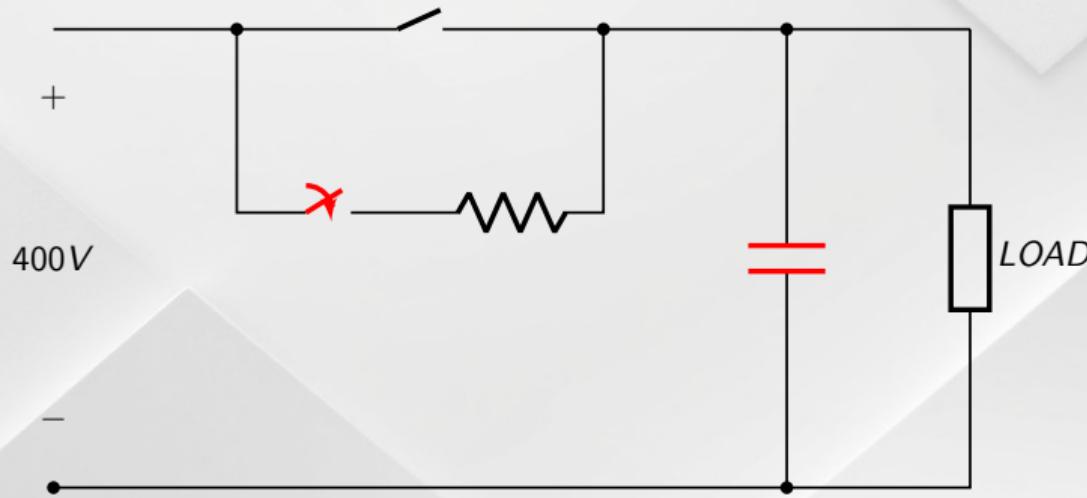
Soft Start

- Fonctionnalité de certains régulateurs de tension
- Pente de la tension de sortie
- Ajustée avec un condensateur C_{SS}



Pre-charge

- Pour les systèmes haut-voltage
- Contacteur avec une limite de courant
- Permet de charger les condensateurs
- Activation du contacteur principal après



Comment protéger une alimentation?

1 Comment protéger une alimentation?

- Protection antistatique
- Protection de tension inverse
- Protection de court-circuit
- Protection de inrush current
- **Undervoltage Lockout**
- Protection complète
- 120V

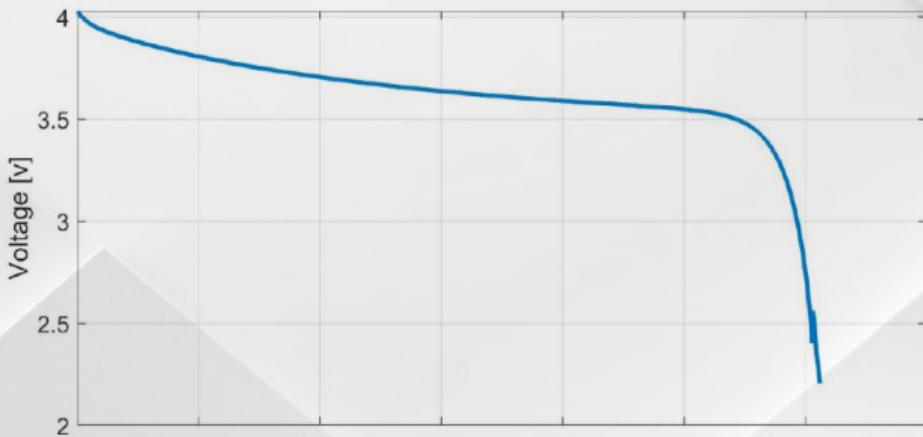
2 Quels sont les types de régulateurs?

3 Comment filtrer une alimentation?

- Filtration Complète

Undervoltage Lockout (UVLO)

-  Couper l'alimentation si entrée trop faible
-  Protection de batterie
-  Efficacité
-  Garantie de fonctionnement
-  Du OVP (*Overvoltage Protection*) ça existe aussi



Undervoltage Lockout (UVLO) - Enable

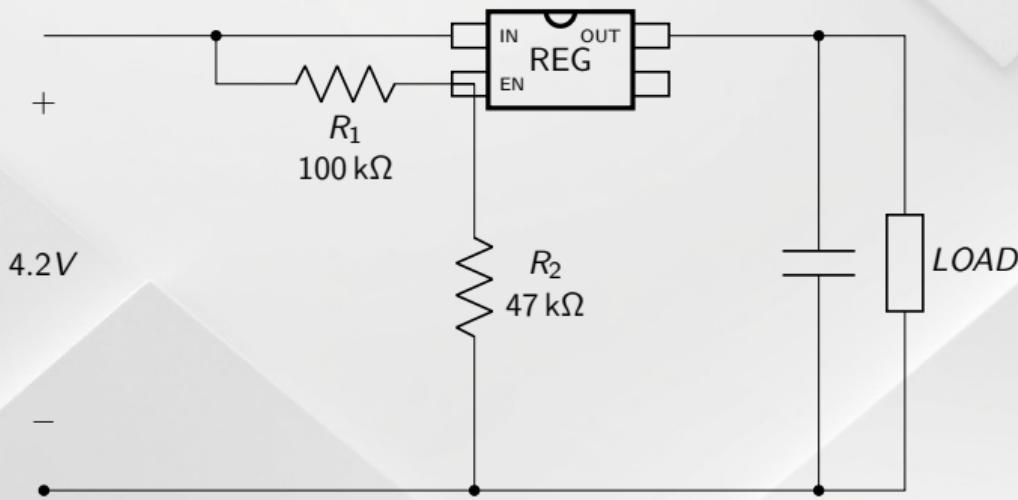


- Batterie $V_{max} = 4.2\text{ V}$
- Batterie $V_{min} = 3.7\text{ V}$
- Tension EN $V_{ref} = 1.2\text{ V}$

Poser $R_2 = 47\text{ k}\Omega$

$$V_{ref} = V_{min} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$R_1 = 100\text{ k}\Omega$



Comment protéger une alimentation?

1 Comment protéger une alimentation?

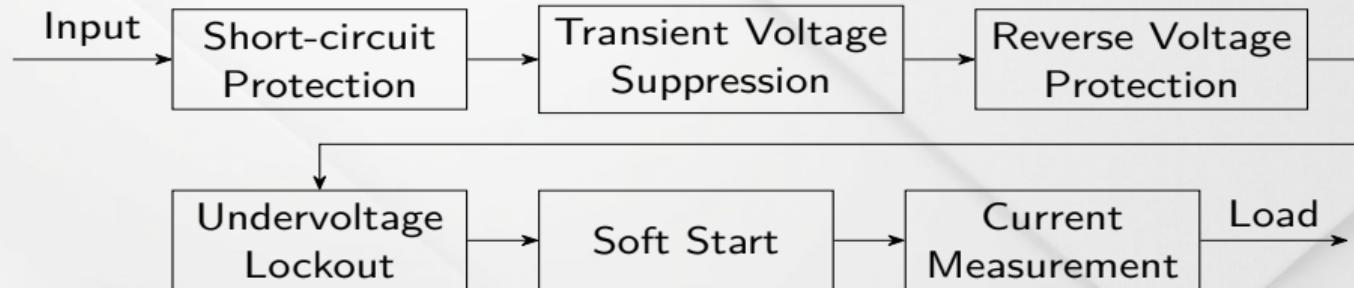
- Protection antistatique
- Protection de tension inverse
- Protection de court-circuit
- Protection de inrush current
- Undervoltage Lockout
- Protection complète
- 120V

2 Quels sont les types de régulateurs?

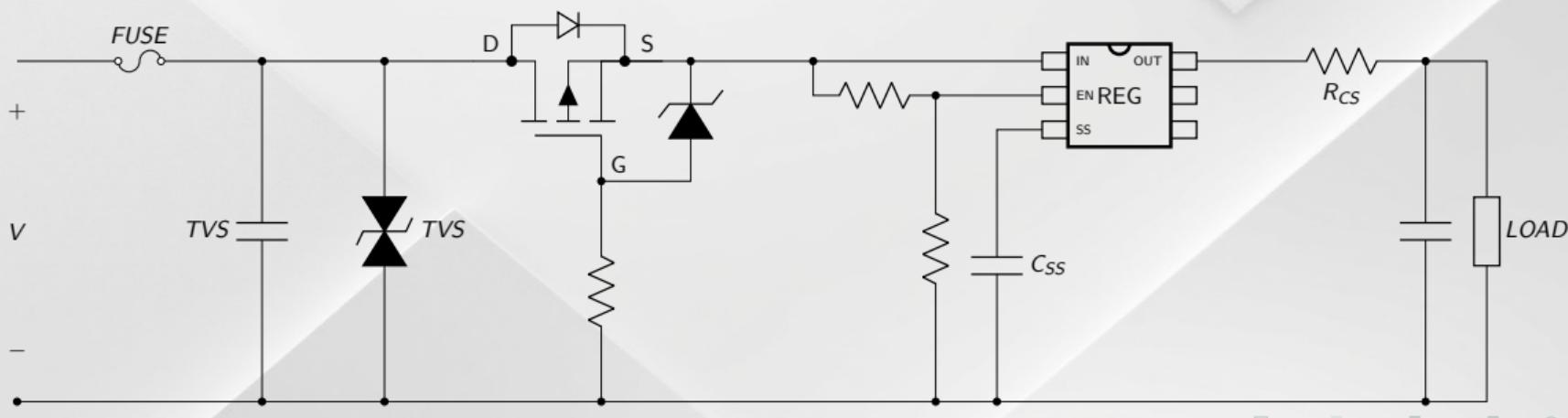
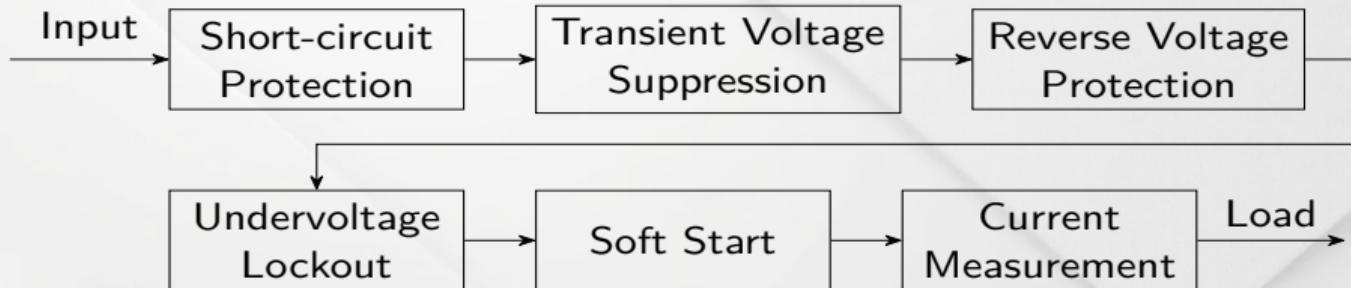
3 Comment filtrer une alimentation?

- Filtration Complète

Protection complète - Circuit électrique



Protection complète - Circuit électrique



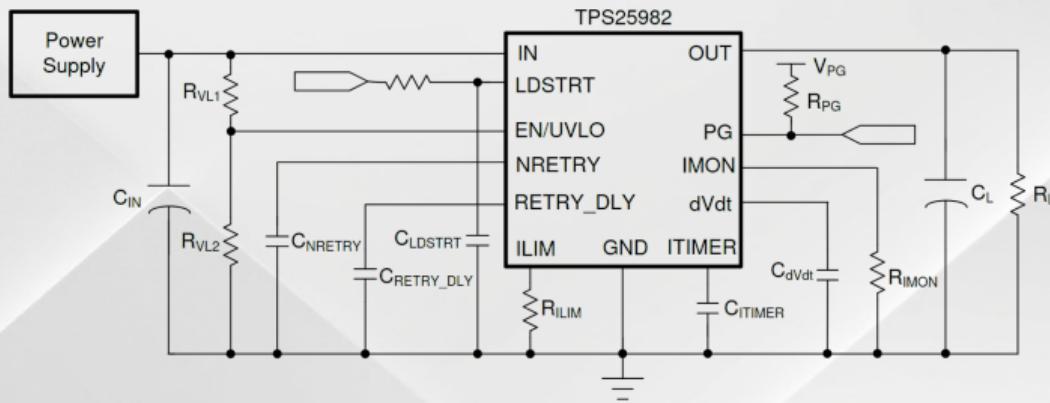
Catégorie de device:

- *eFuse*
- *Load Switch*
- *Ideal Diode*

Une seule chip qui:

Catégorie de device:

- eFuse
- Load Switch
- Ideal Diode
- RVP
- TVS
- Short-Circuit
- Current Limit
- Current Monitoring
- Soft-Start
- UVLO / OVP
- Très faibles pertes
- Température



Comment protéger une alimentation?

1 Comment protéger une alimentation?

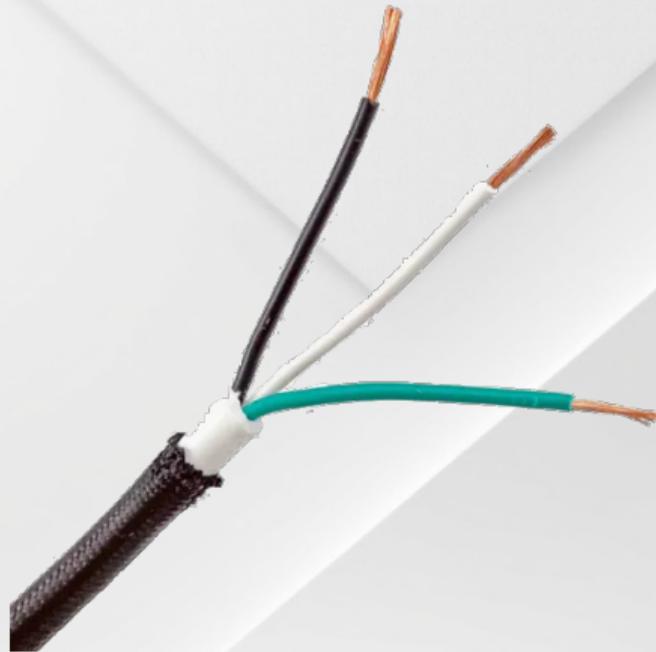
- Protection antistatique
- Protection de tension inverse
- Protection de court-circuit
- Protection de inrush current
- Undervoltage Lockout
- Protection complète
- 120V

2 Quels sont les types de régulateurs?

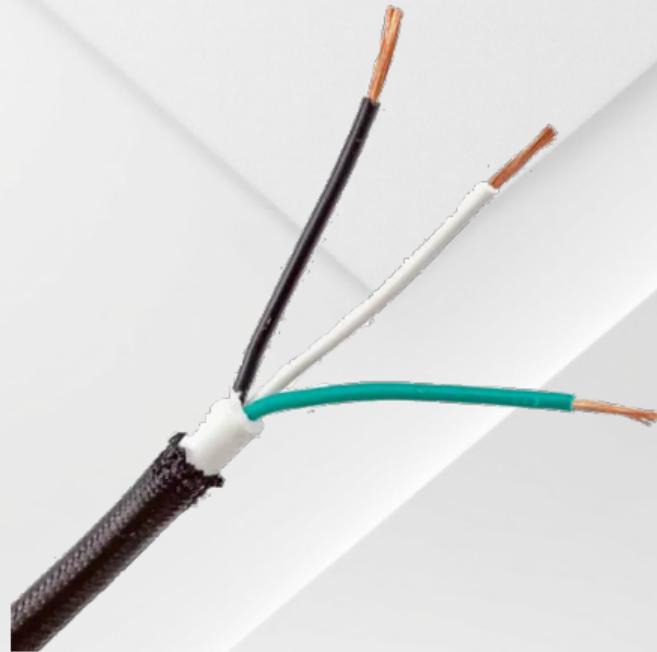
3 Comment filtrer une alimentation?

- Filtration Complète

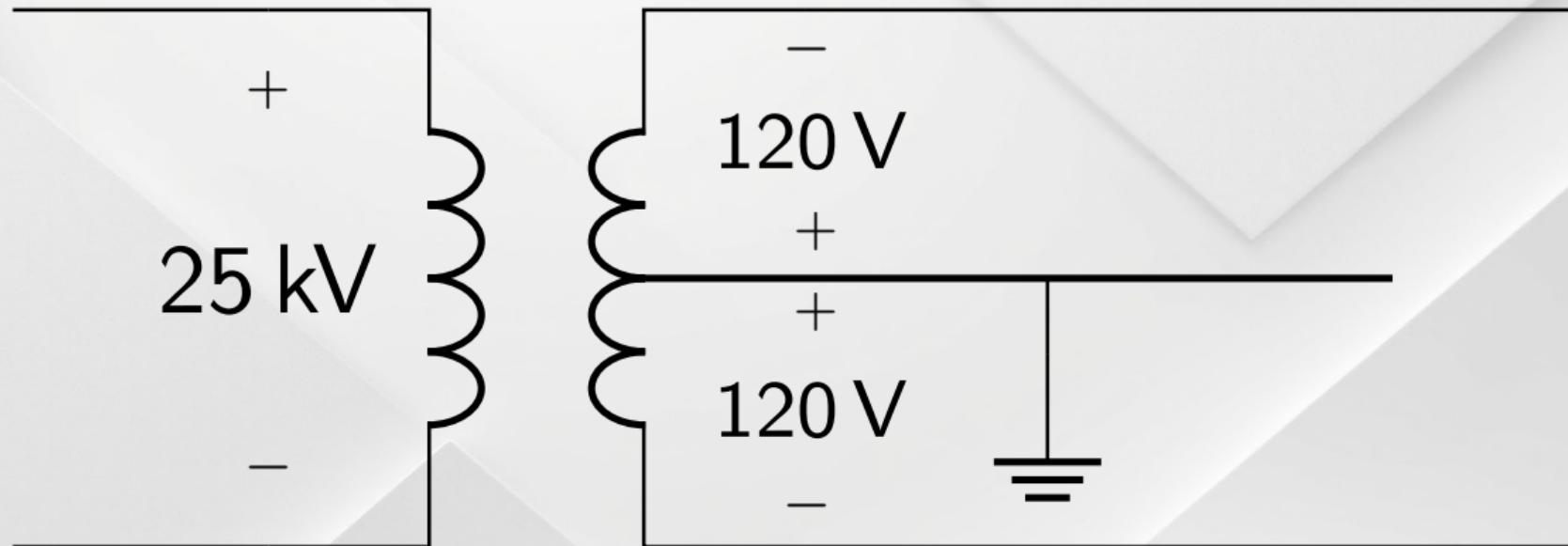
- Vivant (*Live*)
- Neutre (*Neutral*)
- Masse (*Ground*)



- Vivant (*Live*)
 - Neutre (*Neutral*)
 - Masse (*Ground*)
-
- Pas le même GND que dans ton circuit
 - GND du circuit provient du Neutre!
 - NE PAS CONNECTER ENSEMBLE**

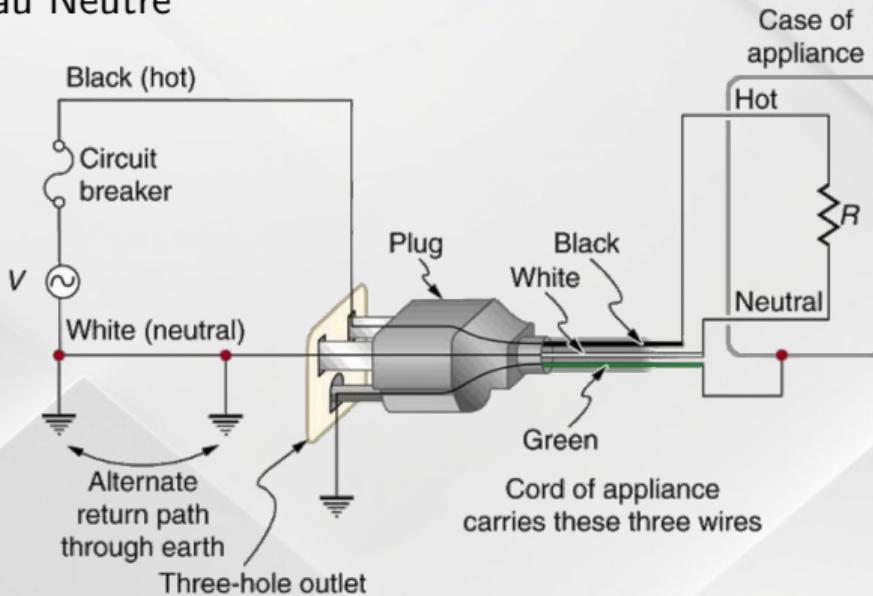


Connection 120V

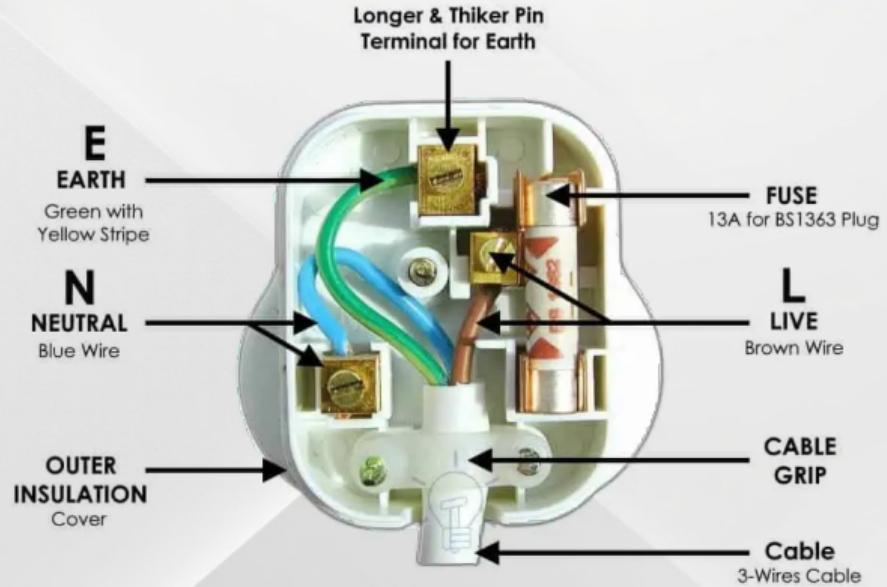


Grounding

- Grounder les chassis des appareils
- Permet d'éviter d'avoir un chassis connecté au Live
- Retourne se connecter au panneau électrique
- Wiré séparément au Neutre



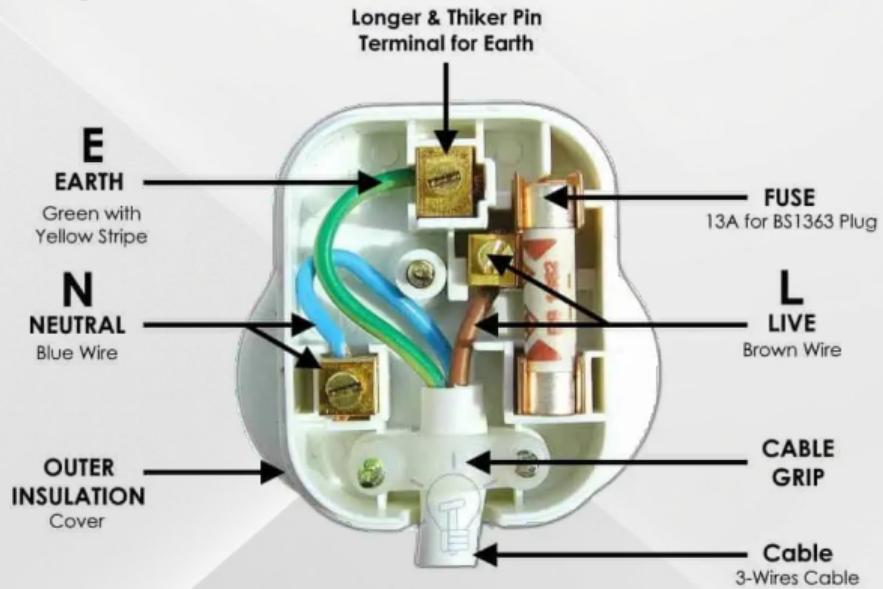
- Garder le fil de GND plus long que les autres
- Mettre le LIVE plus court que les autres
- Toujours mettre du strain relief sur un câble



Grounding - Bonnes pratiques



- Garder le fil de GND plus long que les autres
- Mettre le LIVE plus court que les autres
- Toujours mettre du strain relief sur un câble



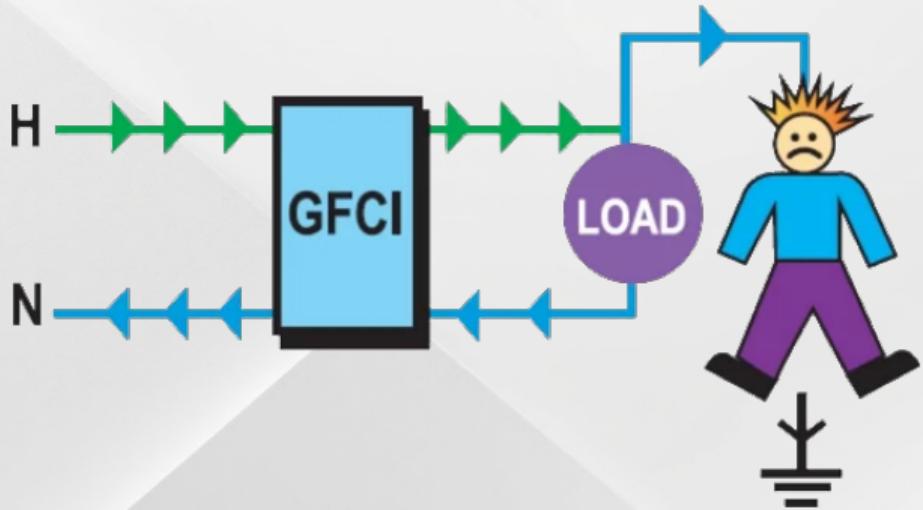
- Grounder toutes les parties d'un boîtier
- Busbar de GND



Ground Fault Circuit Interrupter



- Mesure le courant qui passe par Live & Neutral
- Coupe dès que $I_{in} \neq I_{out}$



Quels sont les types de régulateurs?

1 Comment protéger une alimentation?

2 Quels sont les types de régulateurs?

- Régulateurs Linéaires
- Régulateurs *Switching*

3 Comment filtrer une alimentation?

Critère	Régulateur Linéaire	Régulateur Switching
\$ Coût	Faible ✓	Moyen à Élevé ✗
igsaw Complexité	Faible ✓	Moyen à Élevé ✗
waveform Bruit	Faible ✓	Moyen à Élevé ✗
% Efficacité	Faible ✗	Très Efficace ✓
voltmeter V_{out}	$V_{out} < V_{in}$ ✗	$V_{out} \subseteq \mathbb{R}$ ✓
shield Isolation	Non ✗	Possible ✓
thermometer Température	Élevée ✗	Faible à Moyenne ✓
lightning bolt Courant	Faible à Moyen ✗	Moyen à Élevé ✓

Quels sont les types de régulateurs?

1 Comment protéger une alimentation?

2 Quels sont les types de régulateurs?

- Régulateurs Linéaires
- Régulateurs *Switching*

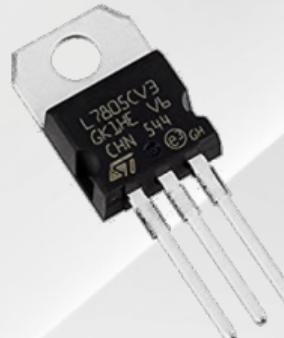
3 Comment filtrer une alimentation?

- Filtration Complète

Régulateur Linéaire (LDO) - Résumé

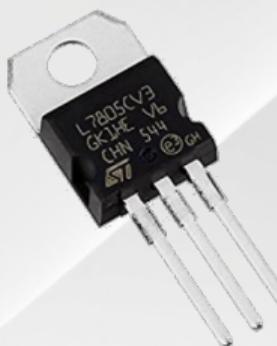
- Régulateur très simple
 - IC
 - Pièces autours

☰	Régulateur Linéaire
\$	Faible ✓
igsaw	Faible ✓



- Régulateur très simple
 - IC
 - Pièces autours
- Output très stable
 - PSRR

☰	Régulateur Linéaire
\$	Faible ✓
igsaw	Faible ✓
wavy line	Faible ✓



- Régulateur très simple
 - IC
 - Pièces autours
- Output très stable
 - PSRR
- $V_{in} - 0.3\text{ V} > V_{out}$
- Isolation impossible

	Régulateur Linéaire
	Faible ✓
	Faible ✓
	Faible ✓
	$V_{out} < V_{in}$ ✗
	Non ✗

- Régulateur très simple
 - IC
 - Pièces autours
- Output très stable
 - PSRR
- $V_{in} - 0.3\text{ V} > V_{out}$
- Isolation impossible
- Très peu efficace
 - $I_{in} = I_{out}$
 - $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$

☰	Régulateur Linéaire
\$	Faible ✓
igsaw	Faible ✓
graph	Faible ✓
times	$V_{out} < V_{in}$ ✗
cross	Non ✗
%	Faible ✗

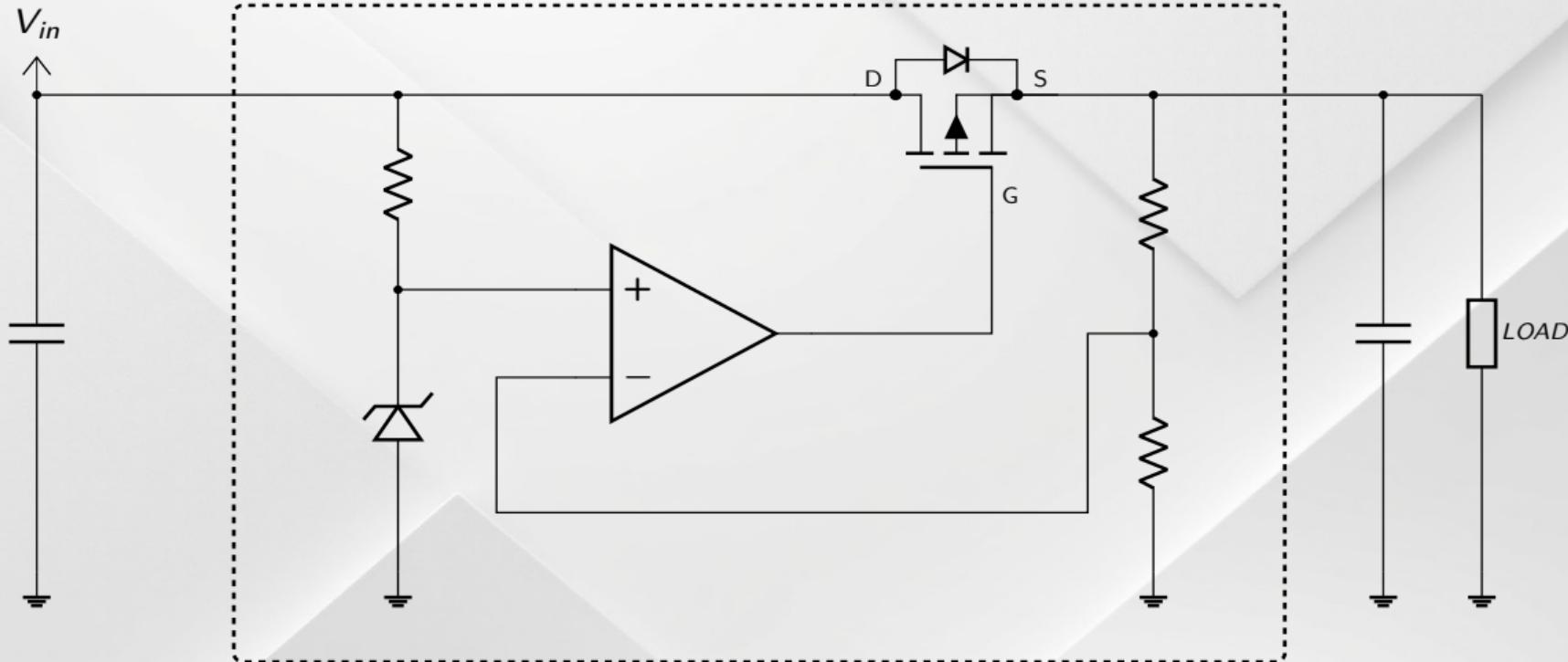
Régulateur Linéaire (LDO) - Résumé



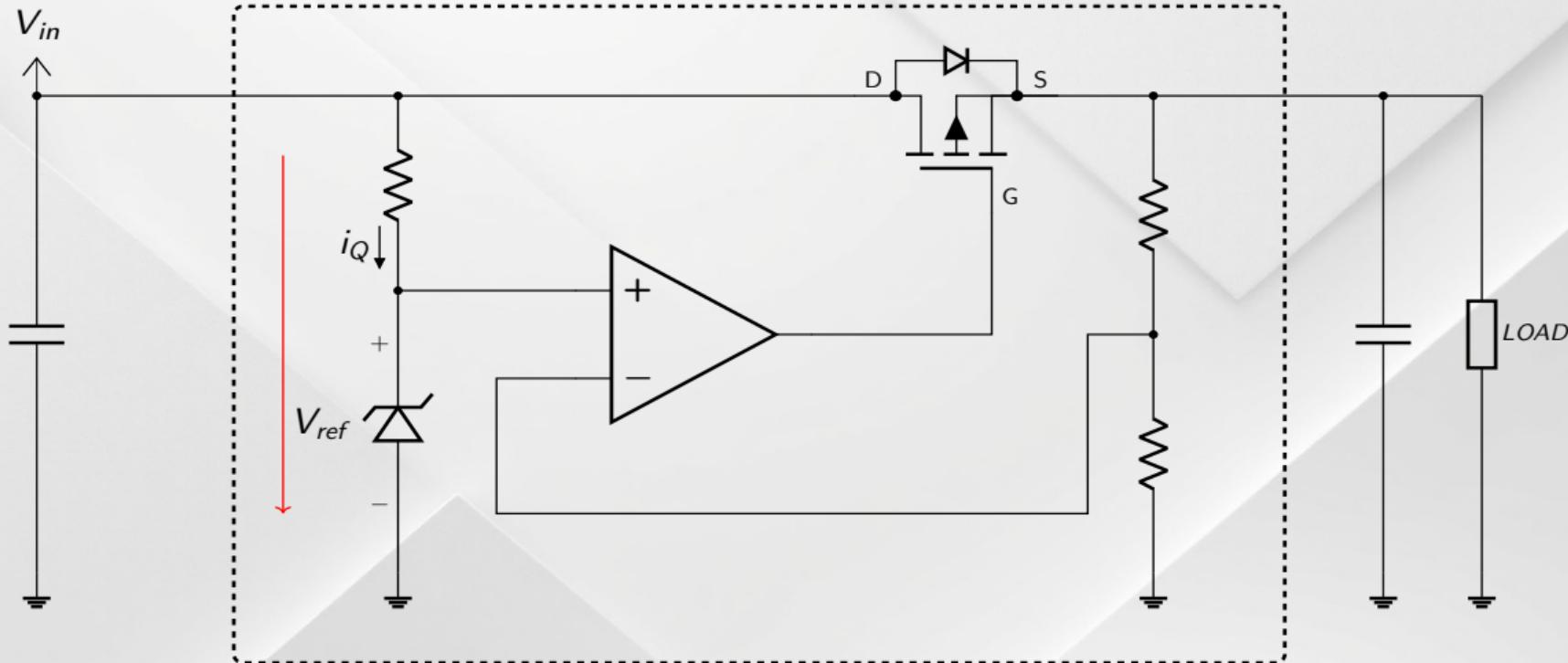
- Régulateur très simple
 - IC
 - Pièces autours
- Output très stable
 - PSRR
- $V_{in} - 0.3\text{ V} > V_{out}$
- Isolation impossible
- Très peu efficace
 - $I_{in} = I_{out}$
 - $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$
- Power dissipée en chaleur!
- Limite le courant

Régulateur Linéaire	
\$	Faible ✓
igsaw	Faible ✓
graph	Faible ✓
x	$V_{out} < V_{in}$ ✗
🔗	Non ✗
%	Faible ✗
🌡	Élevée ✗
⚡	Faible à Moyen ✗

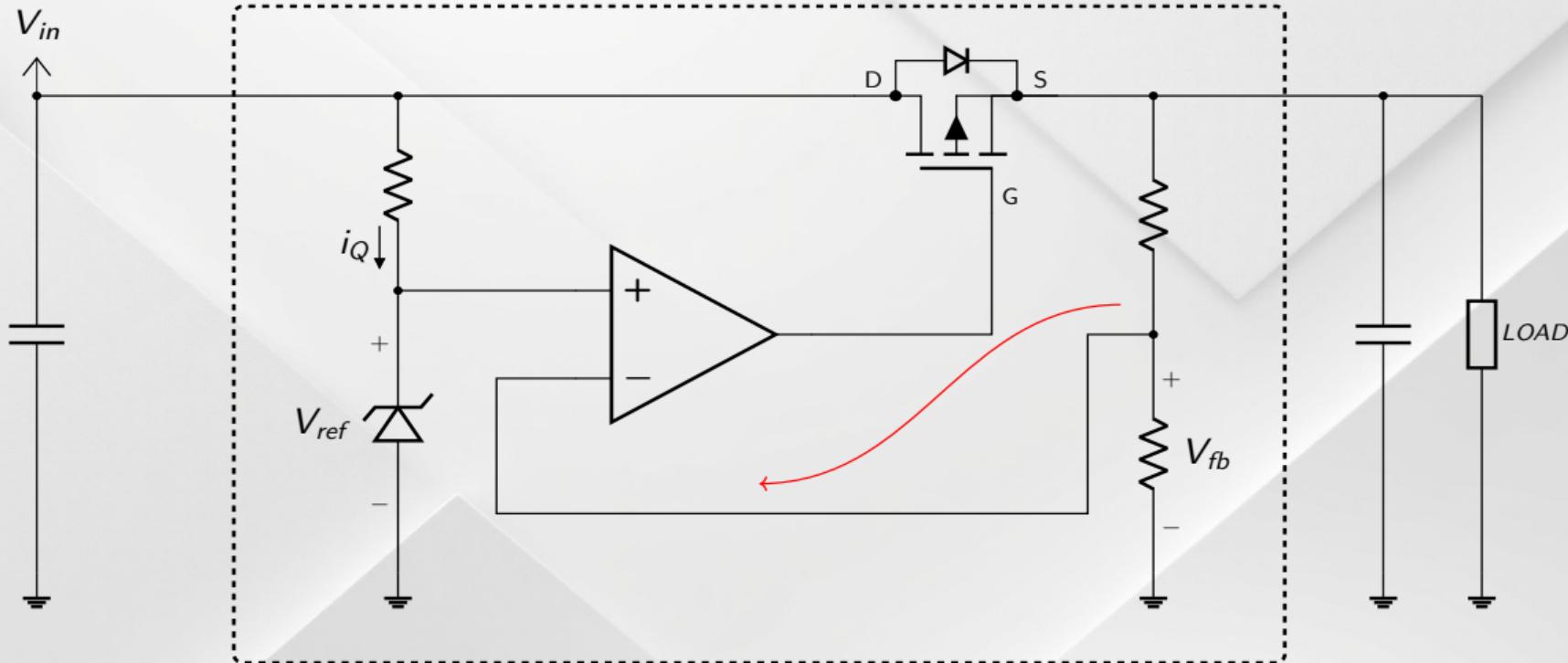
Régulateur Linéaire - Fonctionnement



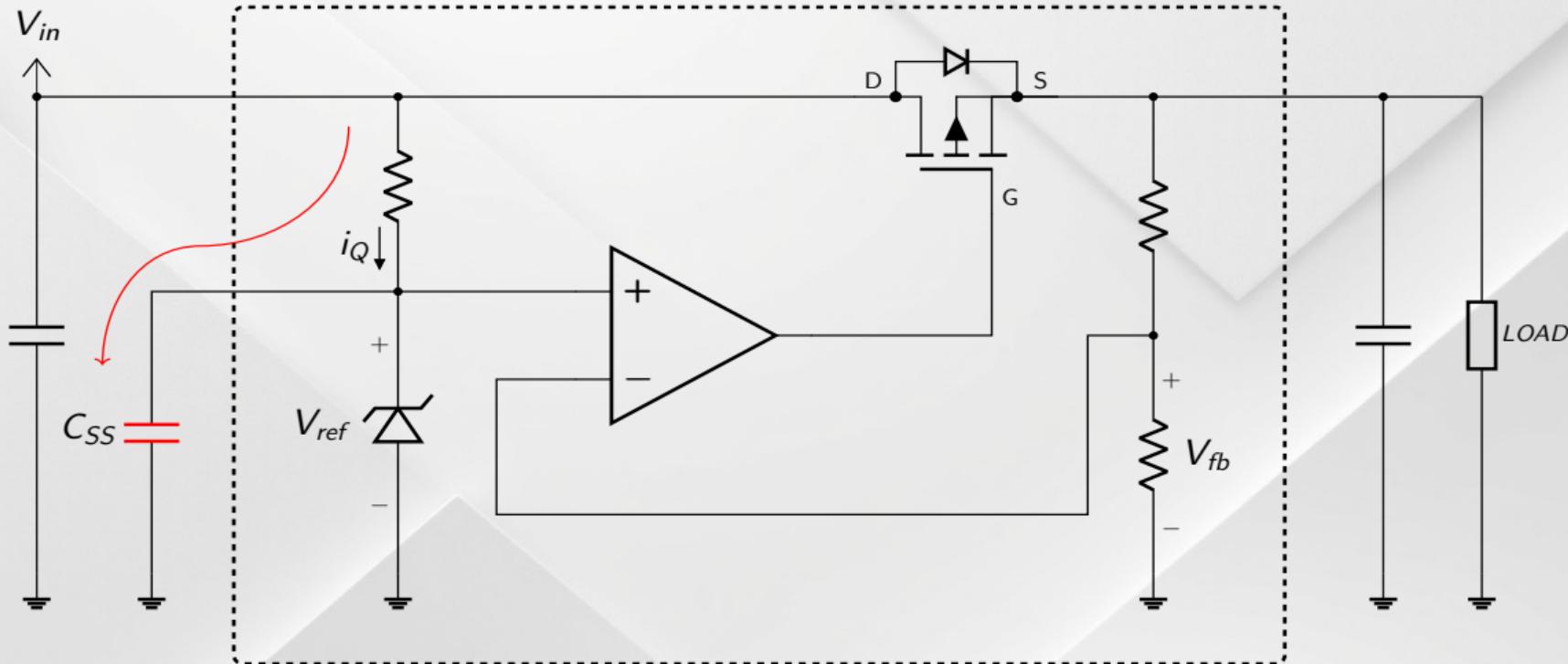
Régulateur Linéaire - Fonctionnement



Régulateur Linéaire - Fonctionnement



Régulateur Linéaire - Fonctionnement



$$PSRR = \frac{\Delta V_{in}}{\Delta V_{out}}$$

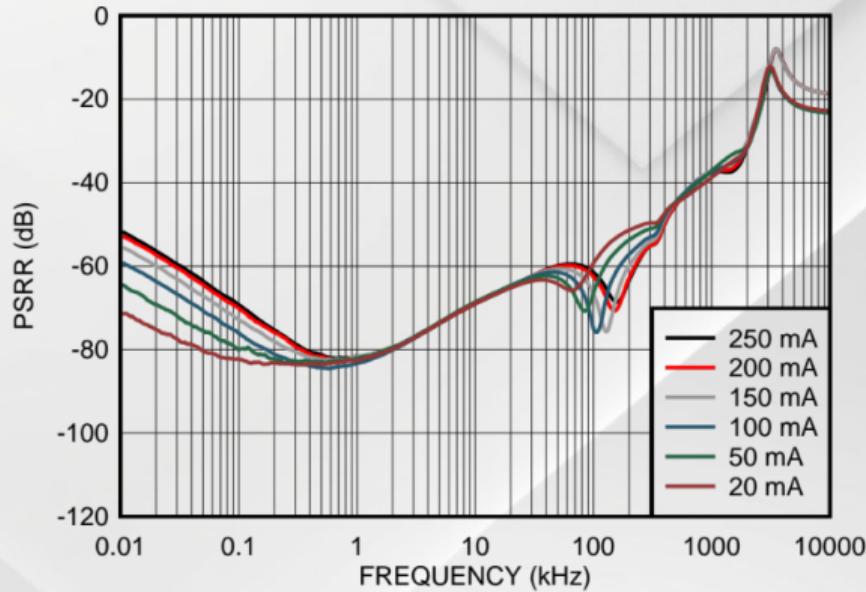
$$PSRR(dB) = -20 \log \left(\frac{\Delta V_{in}}{\Delta V_{out}} \right)$$

- Réduction du bruit
- À une fréquence

$$PSRR = \frac{\Delta V_{in}}{\Delta V_{out}}$$

$$PSRR(dB) = -20 \log \left(\frac{\Delta V_{in}}{\Delta V_{out}} \right)$$

- Réduction du bruit
- À une fréquence
- Graphique PSRR
- Dépend du courant



- \$ Low-Cost
- ⚡ Peu de courant
- #+#+ Peu d'espace
- ⚡ Bruit très important
- % Efficacité peu importante
- 💡 Utiliser avec des régulateurs switching!

Quels sont les types de régulateurs?

1 Comment protéger une alimentation?

2 Quels sont les types de régulateurs?

- Régulateurs Linéaires
- Régulateurs *Switching*

3 Comment filtrer une alimentation?

- Filtration Complète

- Régulateur plus complexe
 - IC
 - Condensateurs & bobines
 - Transistors et diodes
- Plusieurs topologies

	Régulateur Linéaire
	Moyen à Élevé X
	Moyen à Élevé X



- Régulateur plus complexe
 - IC
 - Condensateurs & bobines
 - Transistors et diodes
- Plusieurs topologies
- Rajoute du bruit au circuit
 - Fréquence de *switching*

	Régulateur Linéaire
	Moyen à Élevé X
	Moyen à Élevé X
	Moyen à Élevé X



- Régulateur plus complexe
 - IC
 - Condensateurs & bobines
 - Transistors et diodes
- Plusieurs topologies
- Rajoute du bruit au circuit
 - Fréquence de *switching*
- Output très grande selon topologie
 - $V_{out} > V_{in}$
 - $V_{out} < 0 \text{ V}$
 - *Sortie isolée possible*

	Régulateur Linéaire
	Moyen à Élevé ✗
	Moyen à Élevé ✗
	Moyen à Élevé ✗
	$V_{out} \subseteq \mathbb{R}$ ✓
	Possible ✓



- Régulateur plus complexe
 - IC
 - Condensateurs & bobines
 - Transistors et diodes
- Plusieurs topologies
- Rajoute du bruit au circuit
 - Fréquence de *switching*
- Output très grande selon topologie
- Extrêmement efficace
 - 80% - 90%
 - *Courant & Tension scale selon demande*

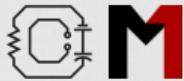
Régulateur Linéaire	
\$	Moyen à Élevé ✗
⤙	Moyen à Élevé ✗
⤠	Moyen à Élevé ✗
⤢	$V_{out} \subseteq \mathbb{R}$ ✓
⤣	Possible ✓
%	Très Efficace ✓

- Régulateur plus complexe
 - IC
 - Condensateurs & bobines
 - Transistors et diodes
- Plusieurs topologies
- Rajoute du bruit au circuit
 - Fréquence de *switching*
- Output très grande selon topologie
- Extrêmement efficace
 - 80% - 90%
- Bonne gestion thermique
 - Selon topologie
- Gros courants

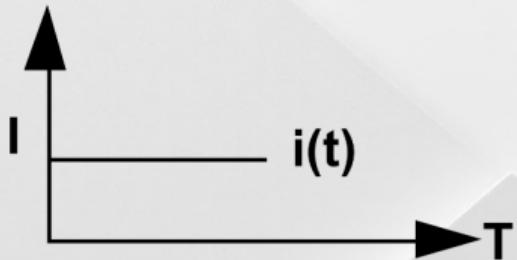
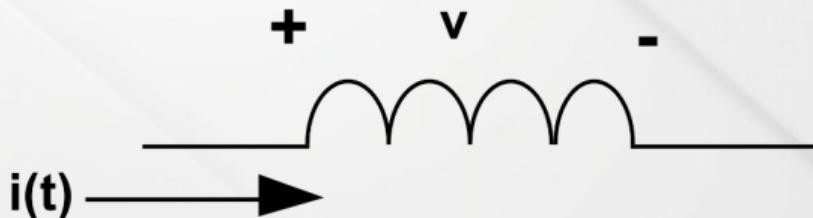
	Régulateur Linéaire
\$	Moyen à Élevé ✗
igsaw puzzle piece	Moyen à Élevé ✗
L-shaped bracket	Moyen à Élevé ✗
zigzag	$V_{out} \subseteq \mathbb{R}$ ✓
infinity symbol	Possible ✓
%	Très Efficace ✓
thermometer	Faible à Moyenne ✓
lightning bolt	Moyen à Élevé ✓

Topologie	V_{out}	Isolation
Buck	$V_{out} < V_{in}$	
Boost	$V_{out} > V_{in}$	
Buck-Boost	$V_{out} \subseteq \mathbb{R}$	
SEPIC	$V_{out} \geq 0 \text{ V}$	
Flyback	$V_{out} \subseteq \mathbb{R}$	

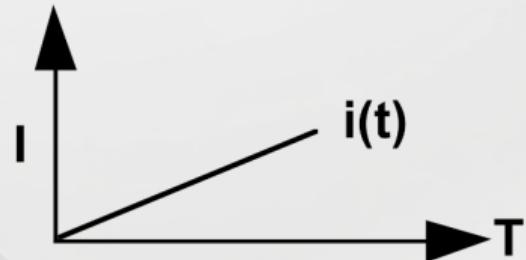
Régulateur Switching - Principe principal



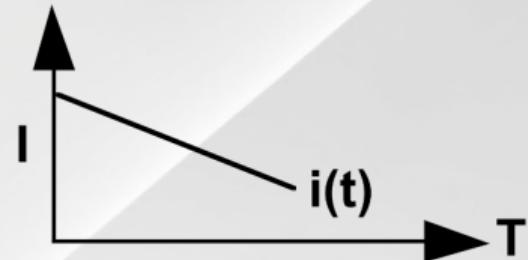
- Une bobine s'oppose aux changements de courant



$$\frac{di}{dt} = 0 \\ v = 0$$

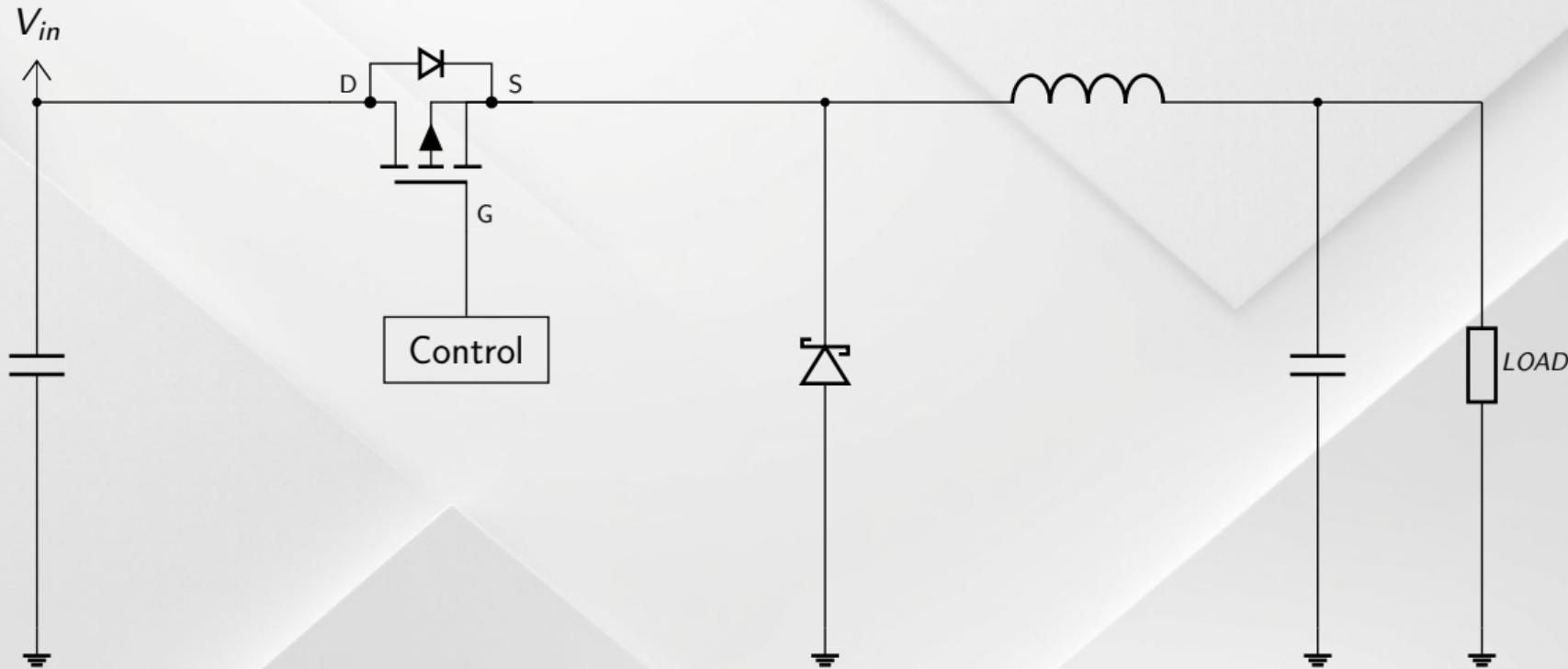


$$\frac{di}{dt} > 0 \\ v > 0$$

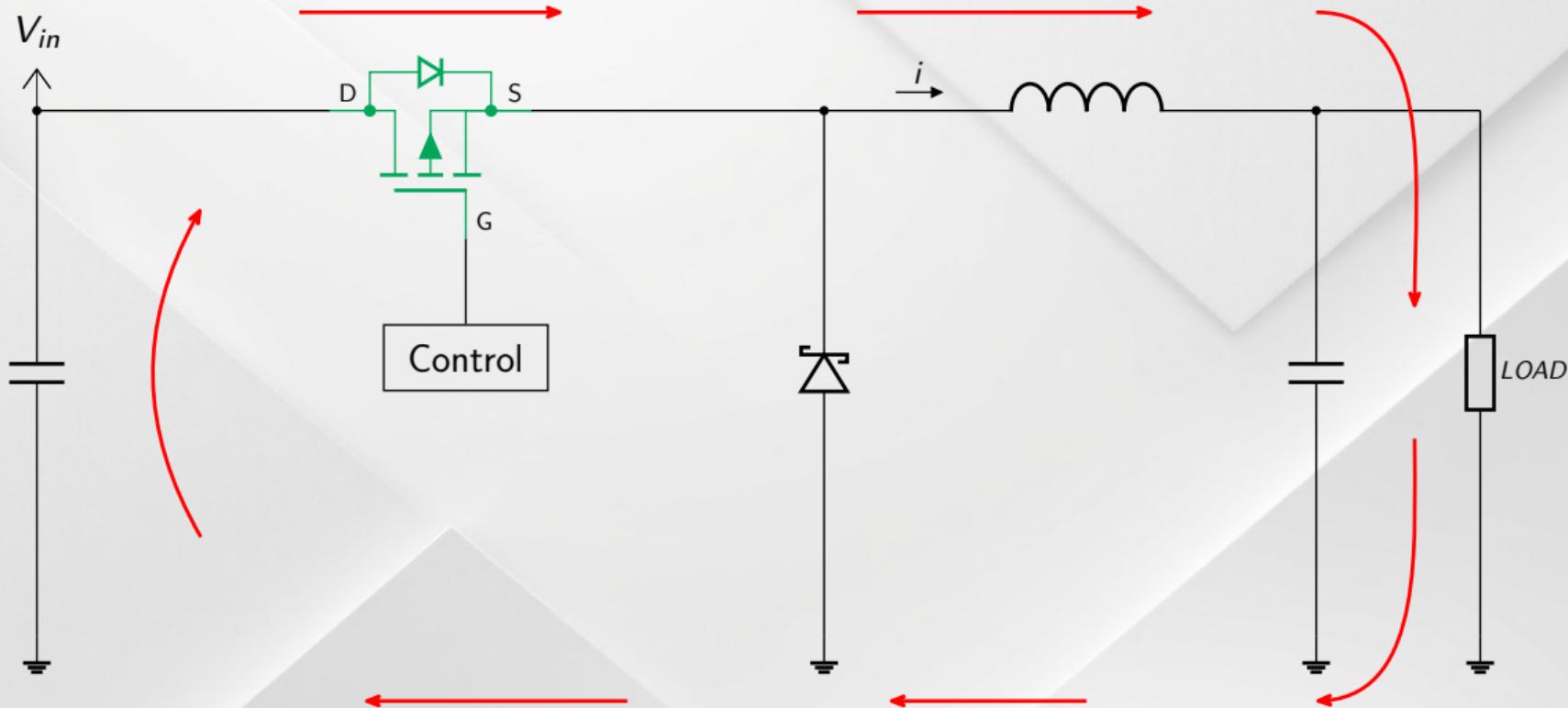


$$\frac{di}{dt} < 0 \\ v < 0$$

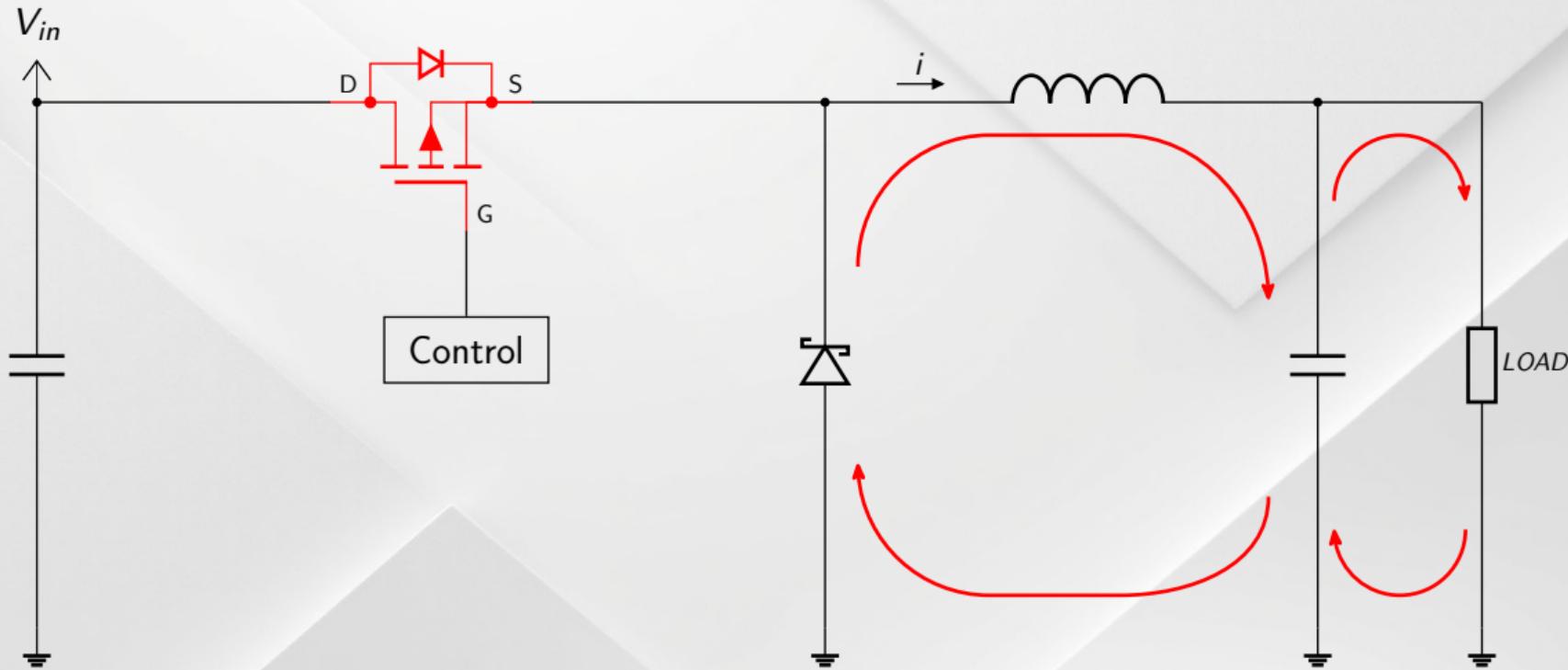
Régulateur Switching - Buck - Fonctionnement



Régulateur Switching - Buck - Fonctionnement



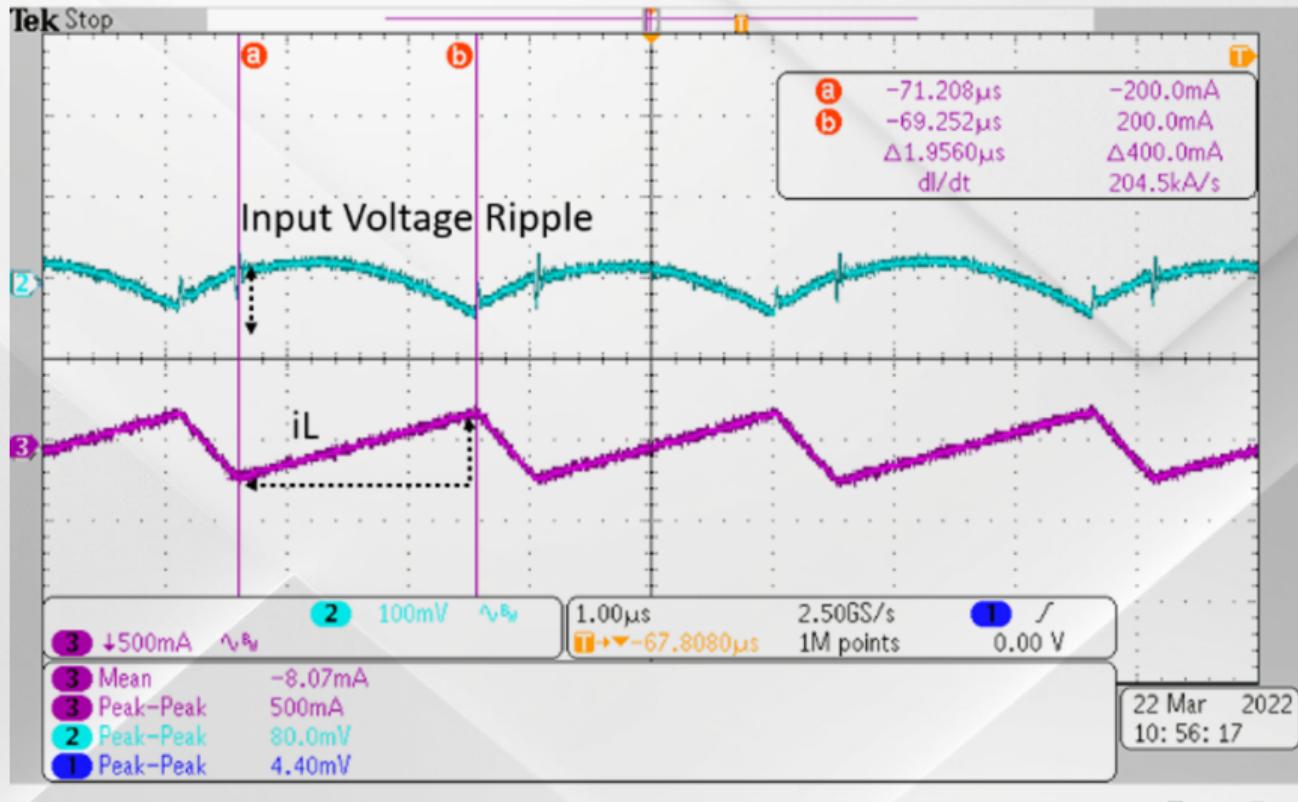
Régulateur Switching - Buck - Fonctionnement



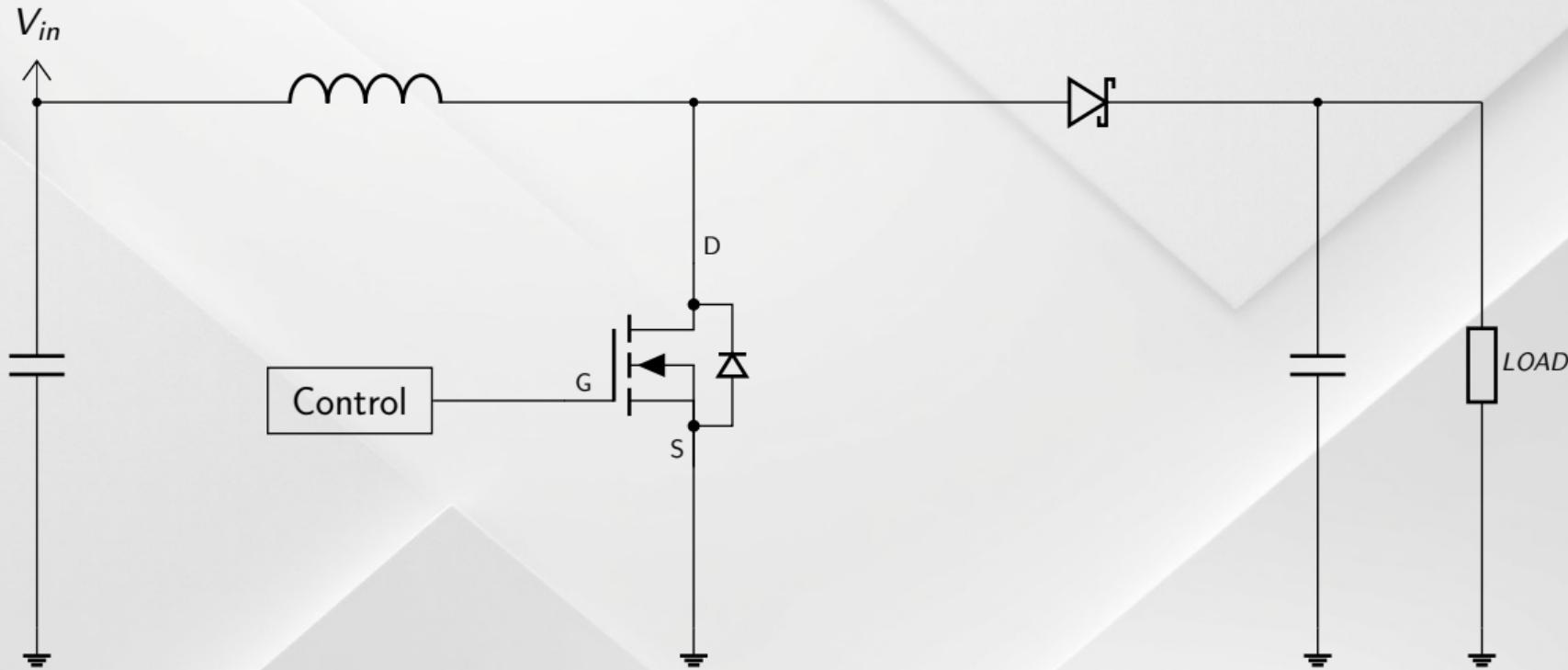
- Le courant augmente tranquillement
- Le courant descend
- ➡ Il y a toujours du courant qui s'en va vers la load
- 🚫 Il n'y a pas toujours du courant qui sort de la source
- 📈 $I_{out} > I_{in}$



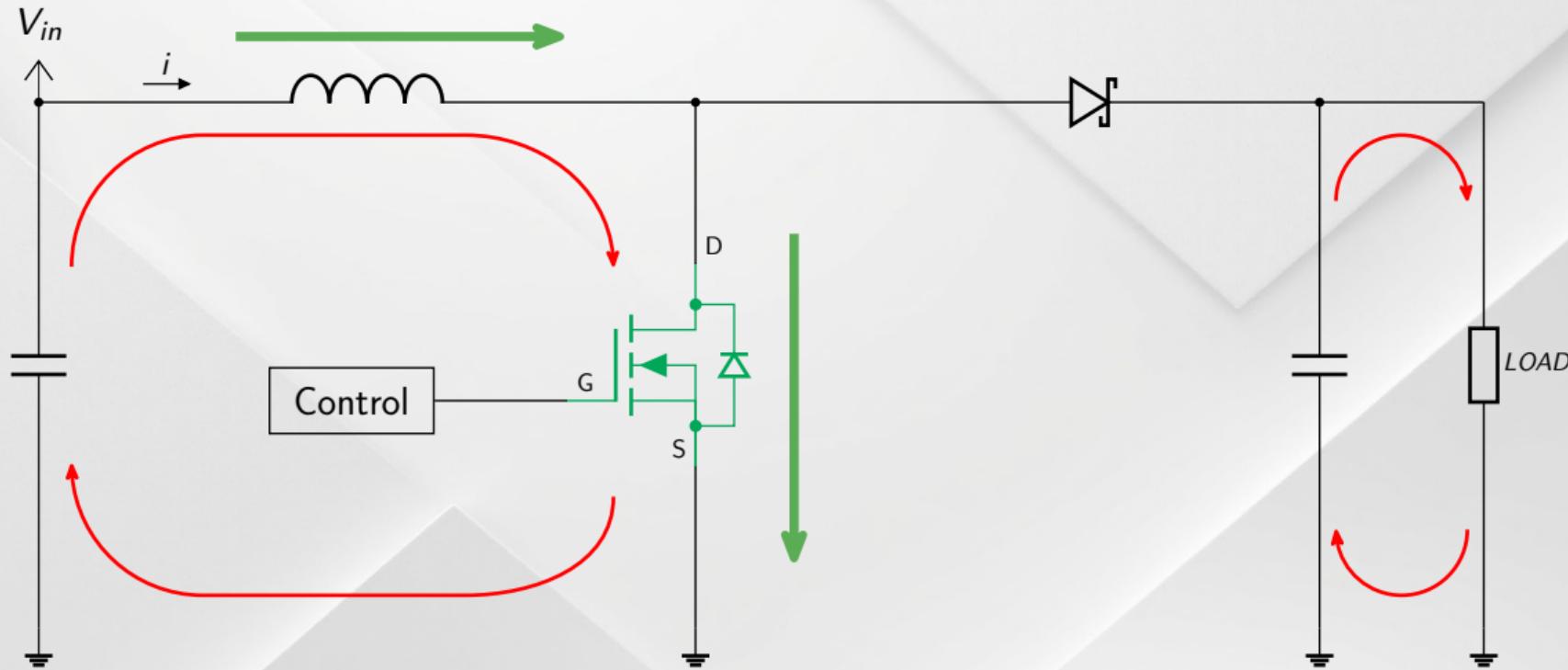
Régulateur Switching - Buck - Waveform



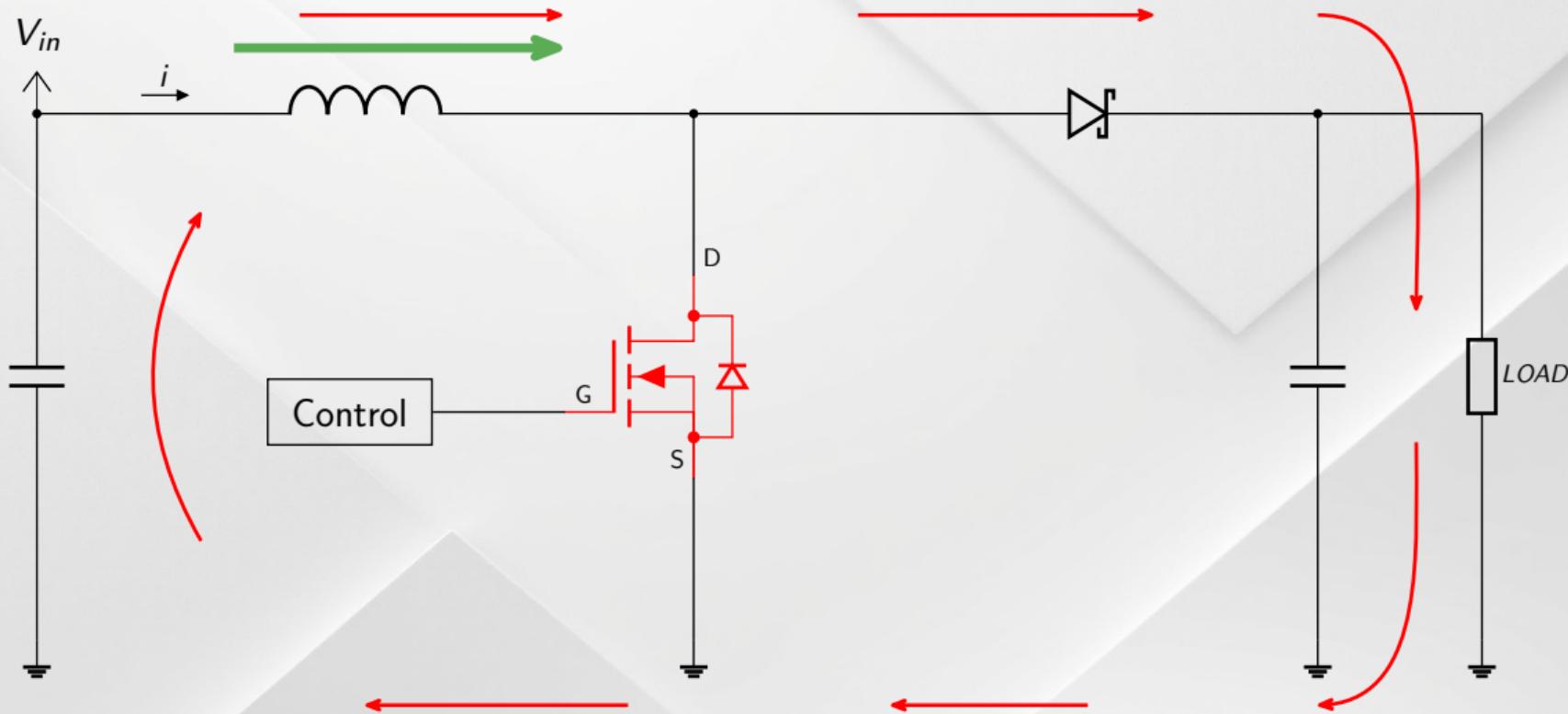
Régulateur Switching - Boost - Fonctionnement



Régulateur Switching - Boost - Fonctionnement



Régulateur Switching - Boost - Fonctionnement



Comment filtrer une alimentation?

1 Comment protéger une alimentation?

2 Quels sont les types de régulateurs?

3 Comment filtrer une alimentation?

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

Comment filtrer une alimentation?

1 Comment protéger une alimentation?

2 Quels sont les types de régulateurs?

3 Comment filtrer une alimentation?

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

Pourquoi Filtrer?

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

But d'un filtre sur l'alimentation

- **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 protéger une alimentation?

2 Quels sont les types de régulateurs?

3 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 protéger une alimentation?

2 Quels sont les types de régulateurs?

3 Comment filtrer une alimentation?

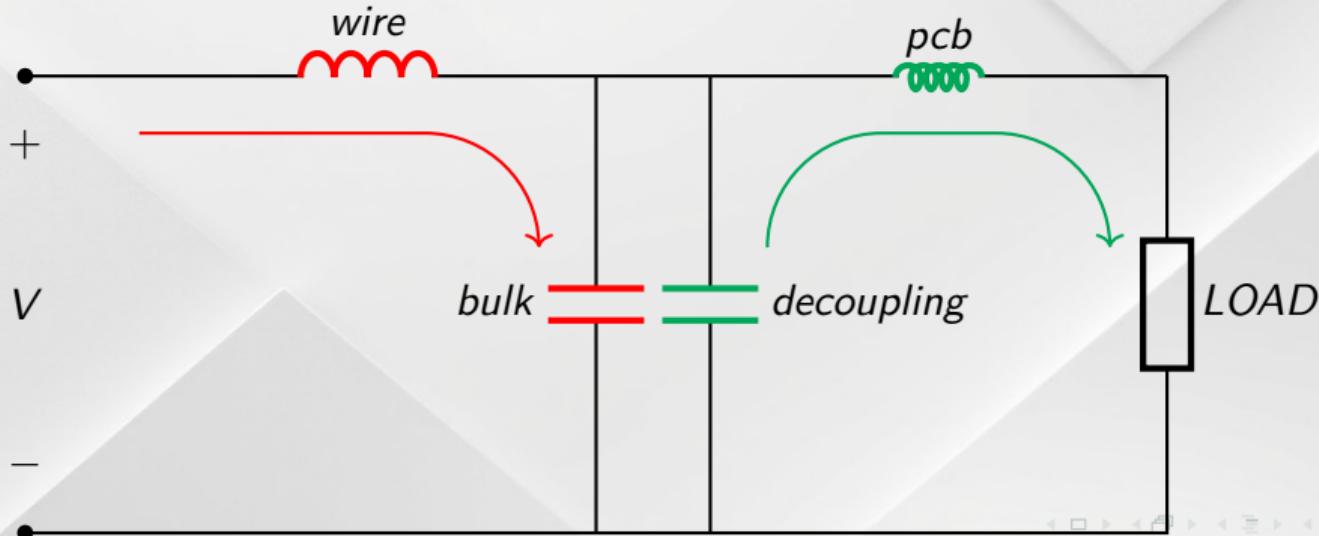
- Pourquoi filtrer une alimentation?
- Démonstration
- **Filtrer l'entrée**
- Filtrer un régulateur
- Filtrer au IC
- Filtration Complète

- ➡ 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 des inductances

- 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 des inductances

- 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

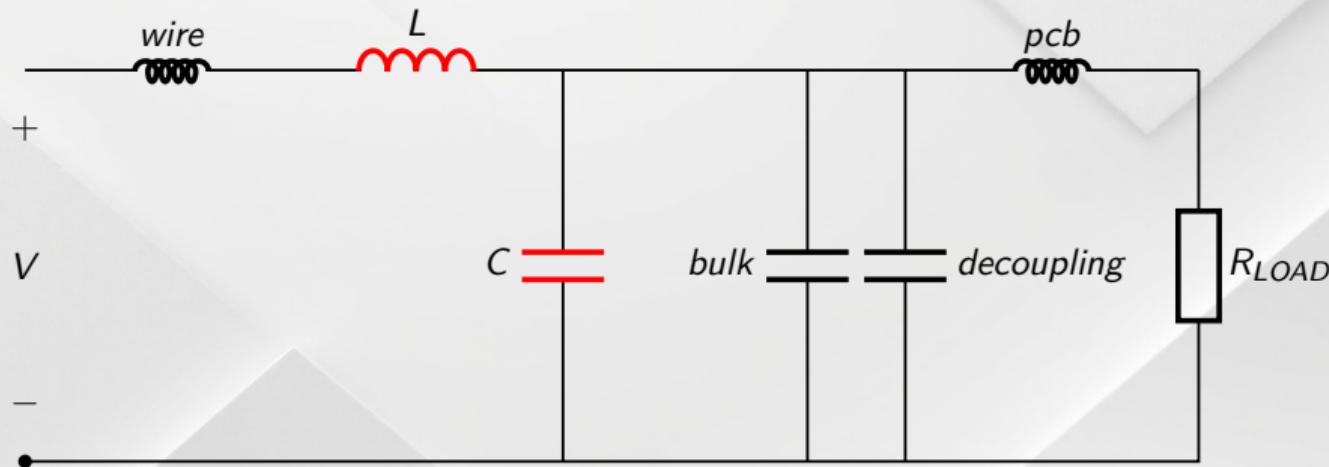
Rajouter des inductances

- 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

Filtre de 2e ordre contrôlé

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

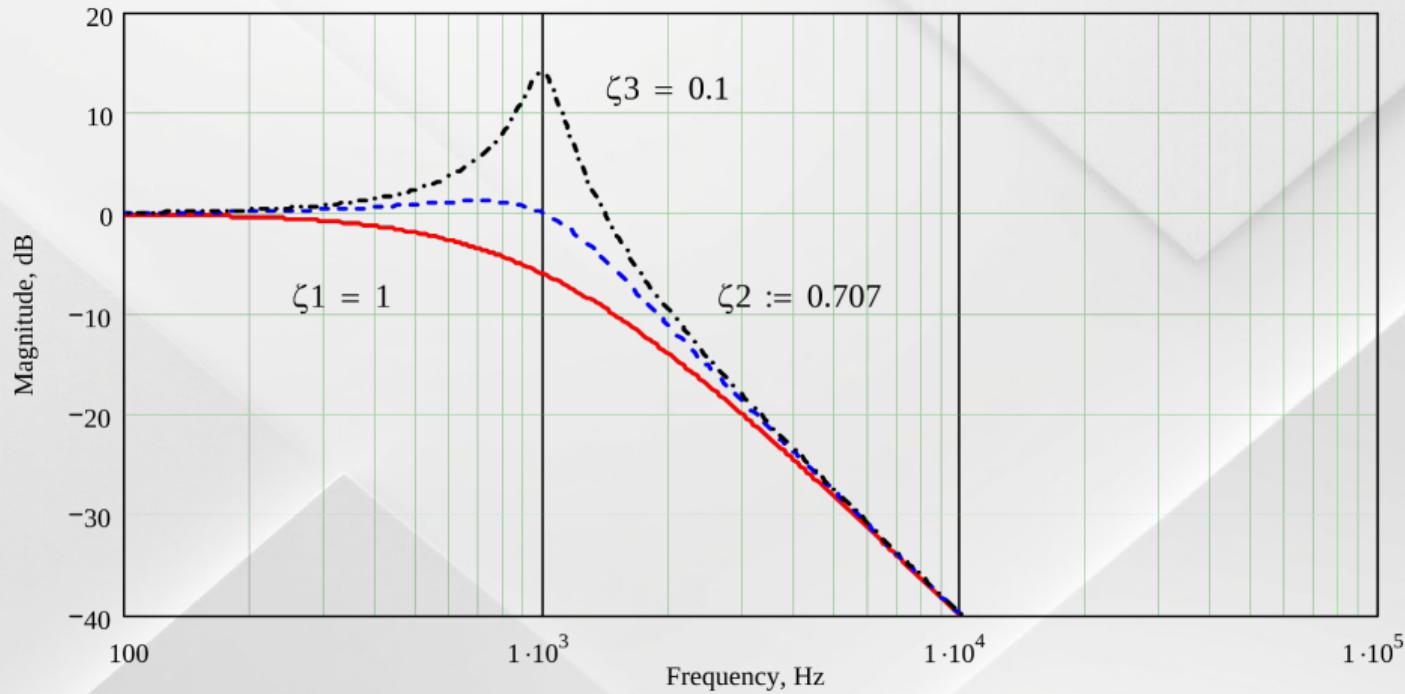
$$\zeta = \frac{1}{2R_{LOAD}\sqrt{LC}}$$



Damping factor



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



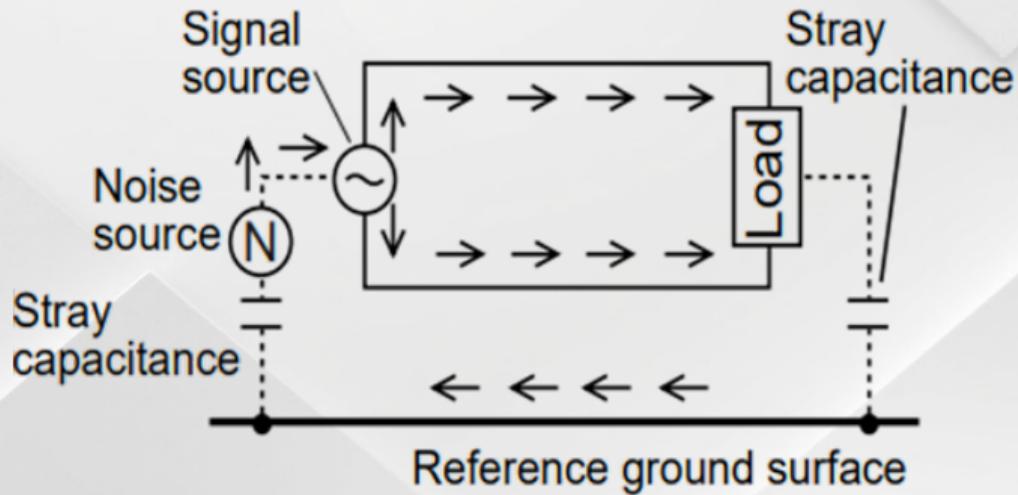


Common-Mode Noise

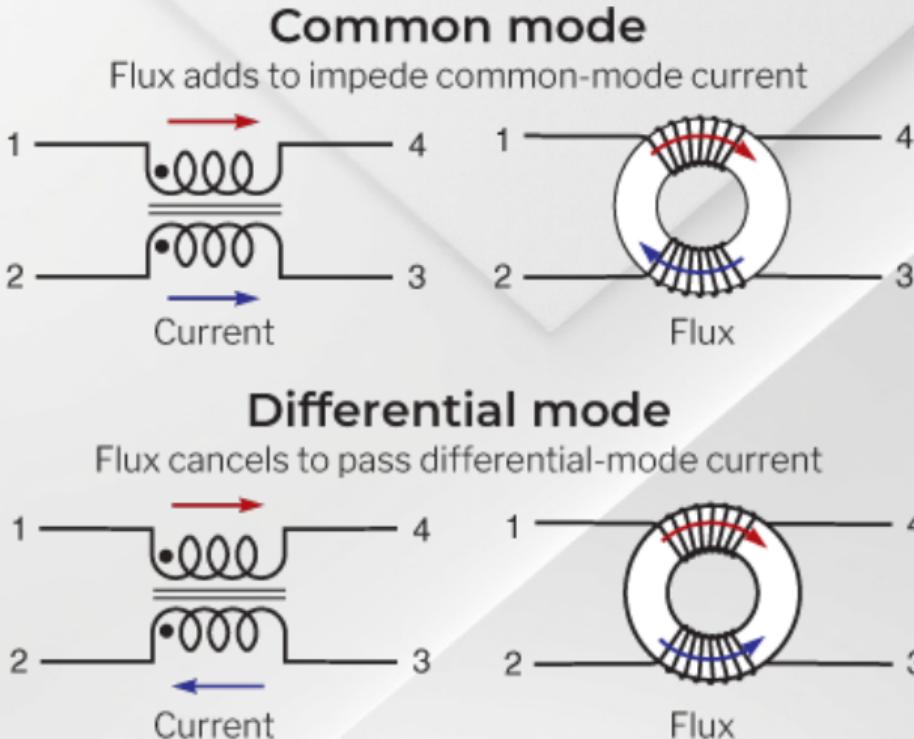
- On veut contrôler les chemins de retour de courant
- **Le retour de courant est aussi important que l'aller**
→ Tous les grounds ne sont pas égaux! ←

Common-Mode Noise

- 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'égaler 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 protéger une alimentation?

2 Quels sont les types de régulateurs?

3 Comment filtrer une alimentation?

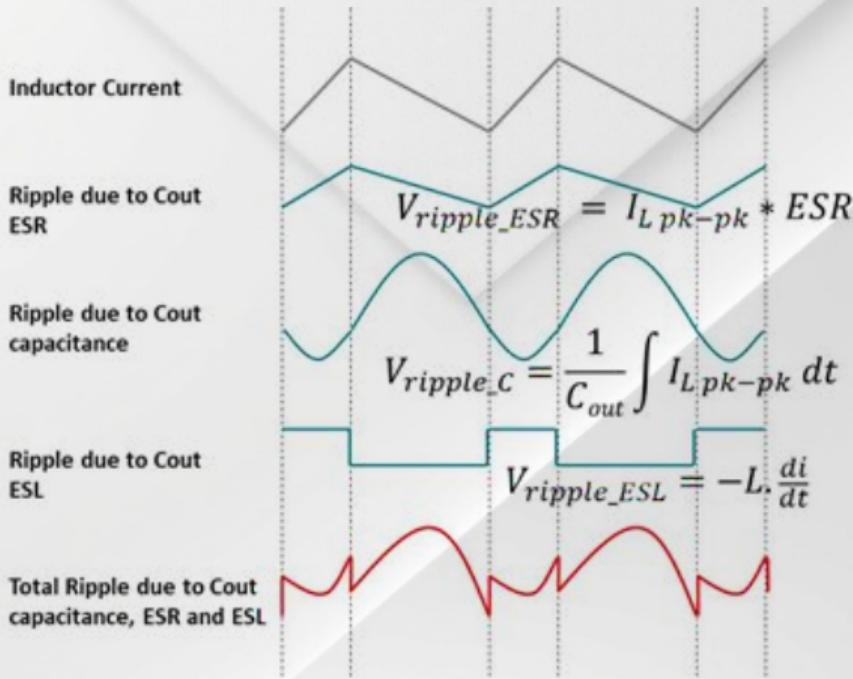
- Pourquoi filtrer une alimentation?
- Démonstration
- Filtrer l'entrée
- **Filtrer un régulateur**
- Filtrer au IC
 - Filtration Complète

Pourquoi filtrer les régulateurs?

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

Pourquoi filtrer les régulateurs?

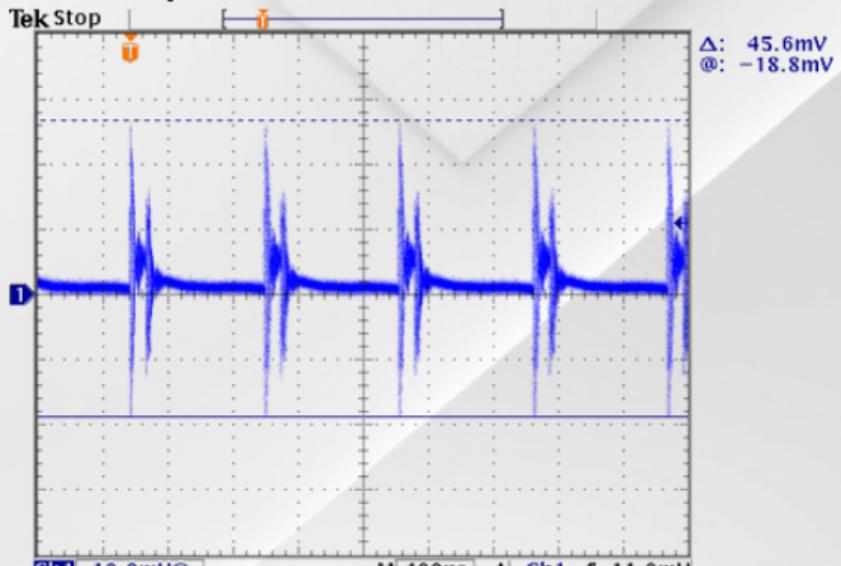
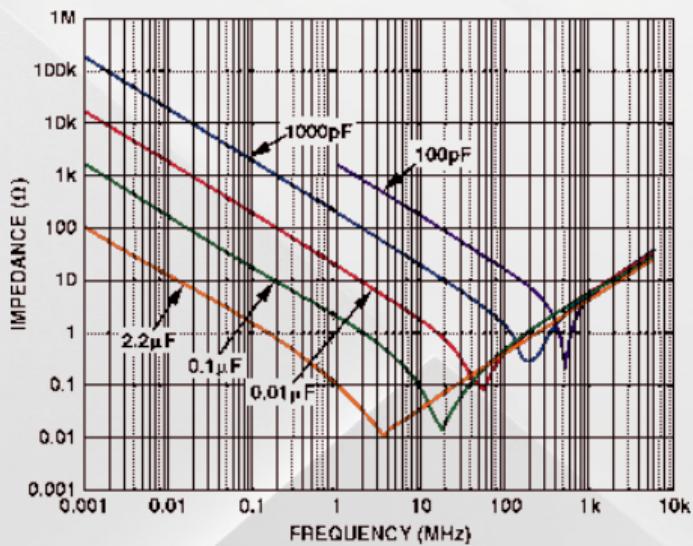
- Un régulateur linéaire n'a pas besoin d'être filtré
- Juste du bulk capacitance
- Un régulateur switching doit avoir du bulk et du découplage
- Il faut éliminer le bruit à la fréquence de switching
- Mettre des condensateurs dont la *fréquence de résonnance* est celle du switching.



Fréquence de résonnance d'un condensateur



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



Comment filtrer une alimentation?

1 Comment protéger une alimentation?

2 Quels sont les types de régulateurs?

3 Comment filtrer une alimentation?

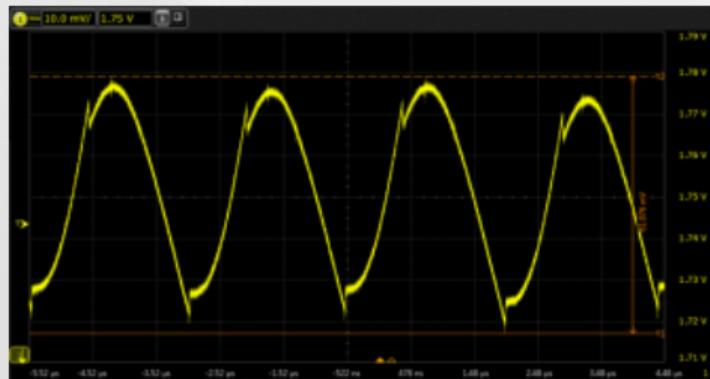
- Pourquoi filtrer une alimentation?
- Démonstration
- Filtrer l'entrée
- Filtrer un régulateur
- **Filtrer au IC**
 - Filtration Complète

Pourquoi filtrer au IC?

Protéger le IC du bruit

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

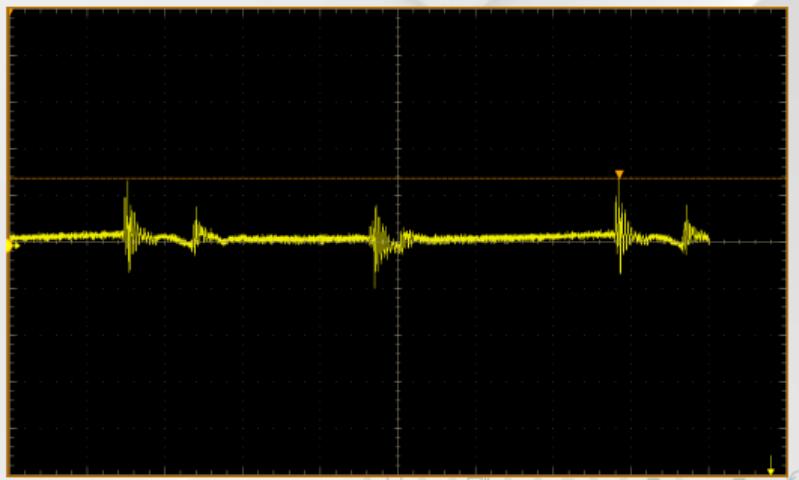
-  Communication
-  Clock
-  Stabilité



Protéger les autres IC du bruit

- Un IC génère du bruit!

-  Communication
-  Clock
-  Mesures



Fréquences d'opération

- 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

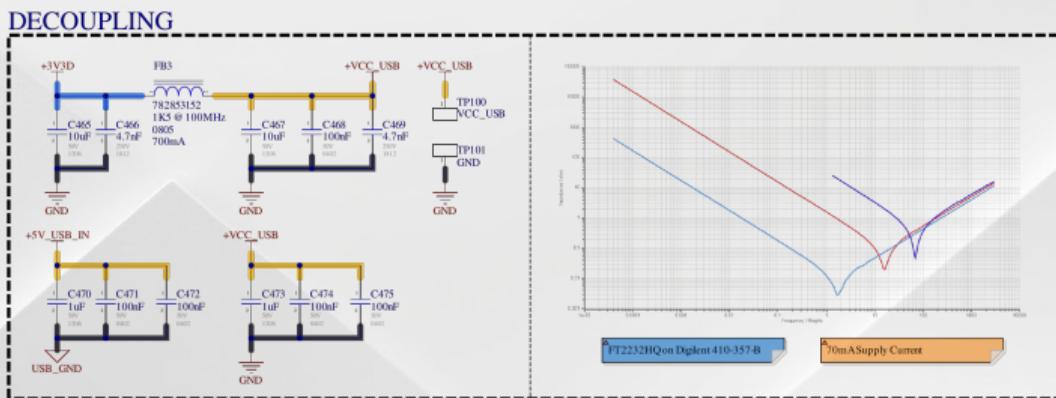
Fréquence des clocks

Fréquences de communication

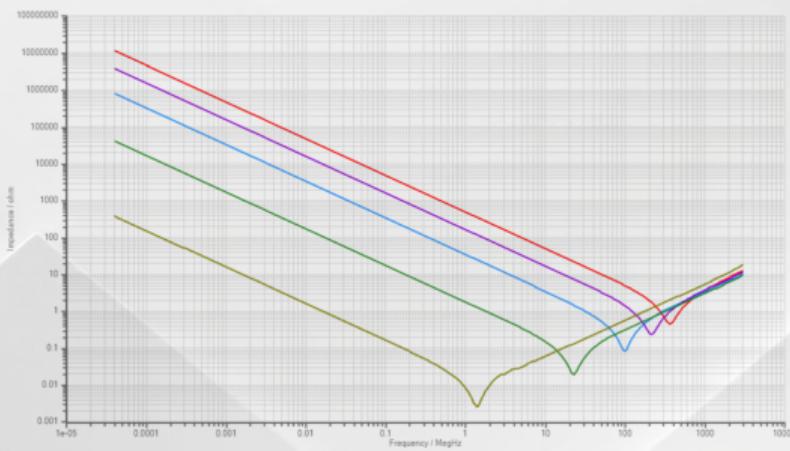
Fréquence d'acquisition de données

- Matcher la fréquence de résonnance avec la fréquence d'opération

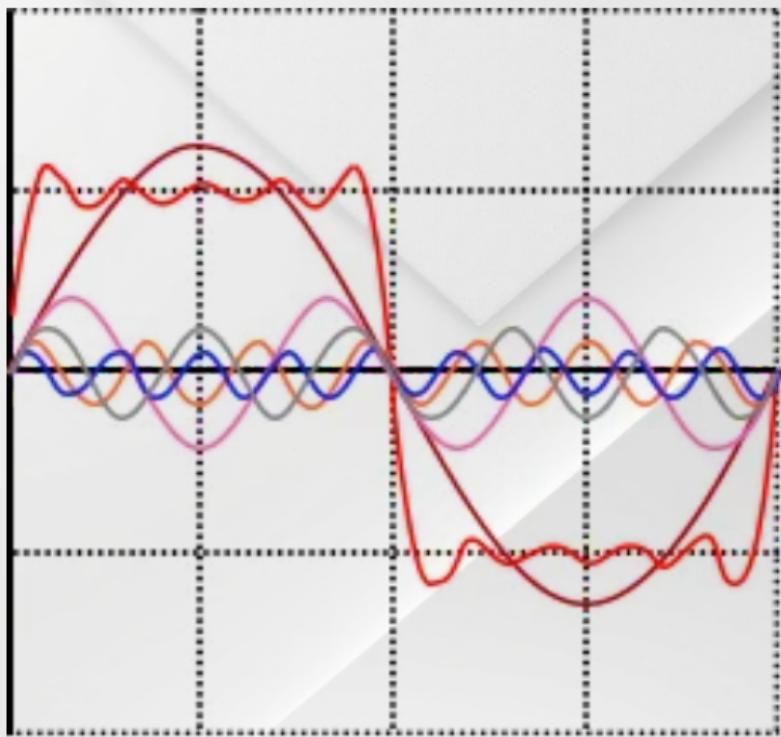
- Chaque fréquence d'opération fait du bruit sur le power!
- Il faut offrir le chemin de plus faible impédance au GND pour ces signaux haute-fréquence**



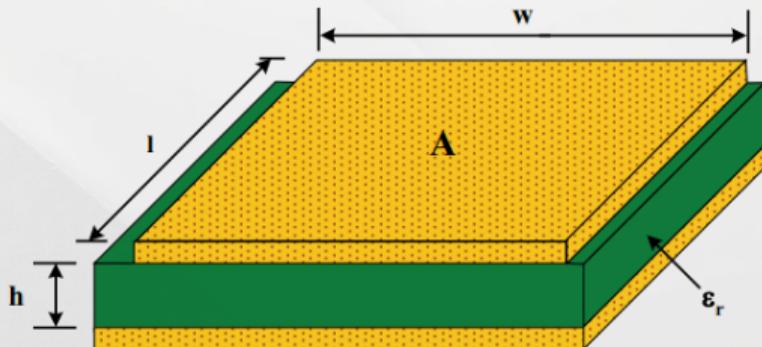
- Chaque condensateur a une fréquence de résonnance où son impédance est la plus faible
- On veut offrir l'impédance la plus faible pour les fréquences d'opération
- Il faut donc un condensateur spécifique par fréquence d'opération
- Le conseil habituel de 100 nF fonctionne parce que ça tourne autours 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 ($> 1 \text{ GHz}$) sont couvertes
- Le PCB lui-même agit comme un condensateur
- Il faut un power plane et un ground plane adjacents!



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

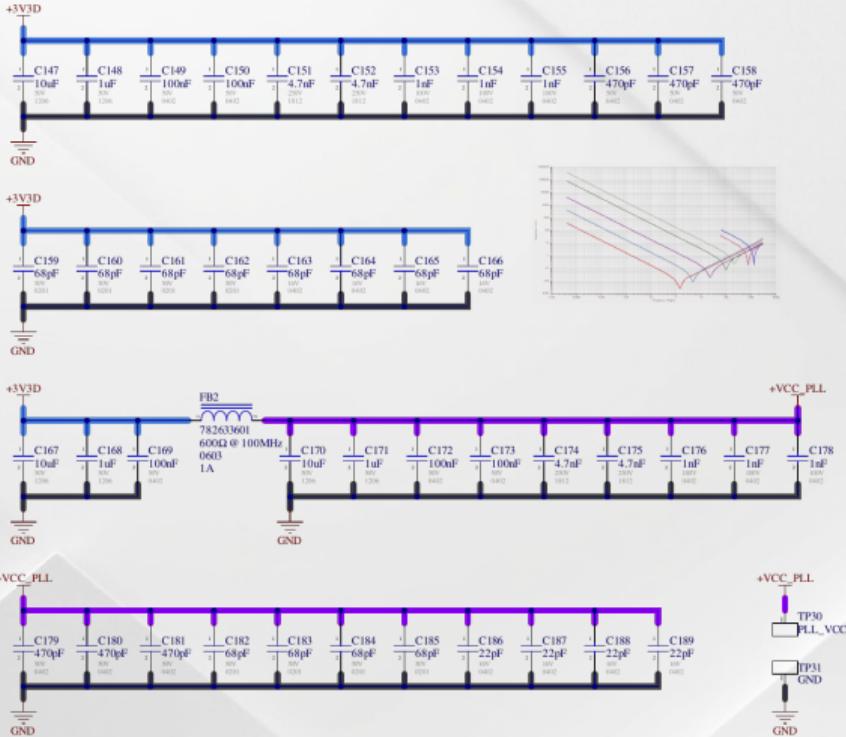
h = separation between planes (cm)
 A = area of common planes = $l \cdot w$ (cm^2)
 ϵ_r = PCB Permeability

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

~ 0.5pF per cm^2
~ 32.7pF per inch²

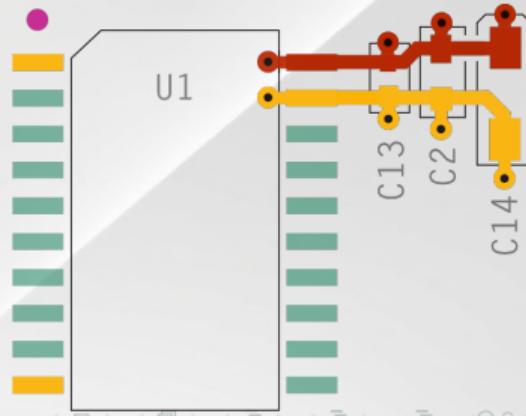
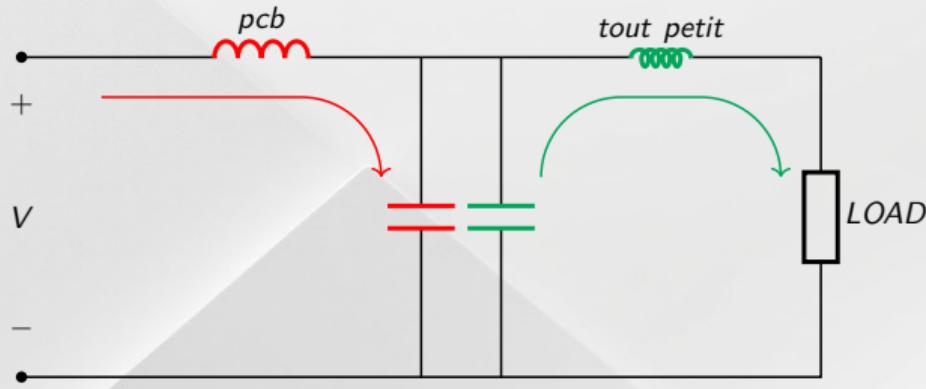
ϵ_r = PCB material
permeability (FR-4 ~ 4.5)

Découplage - Exemple



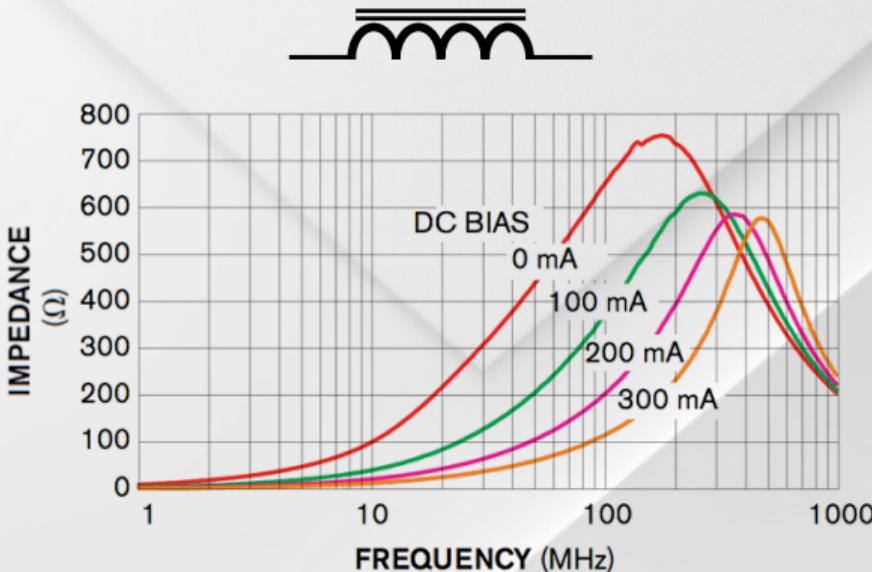
Où placer le découplage?

- 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**

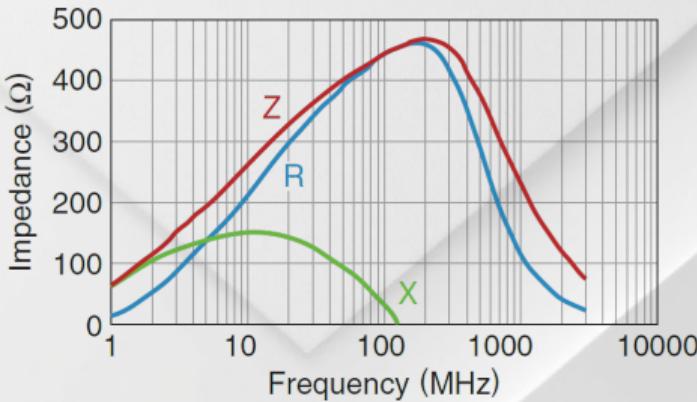


Ferrite Beads

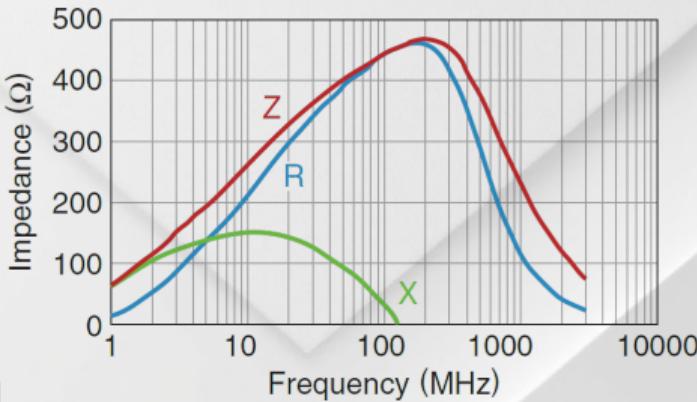
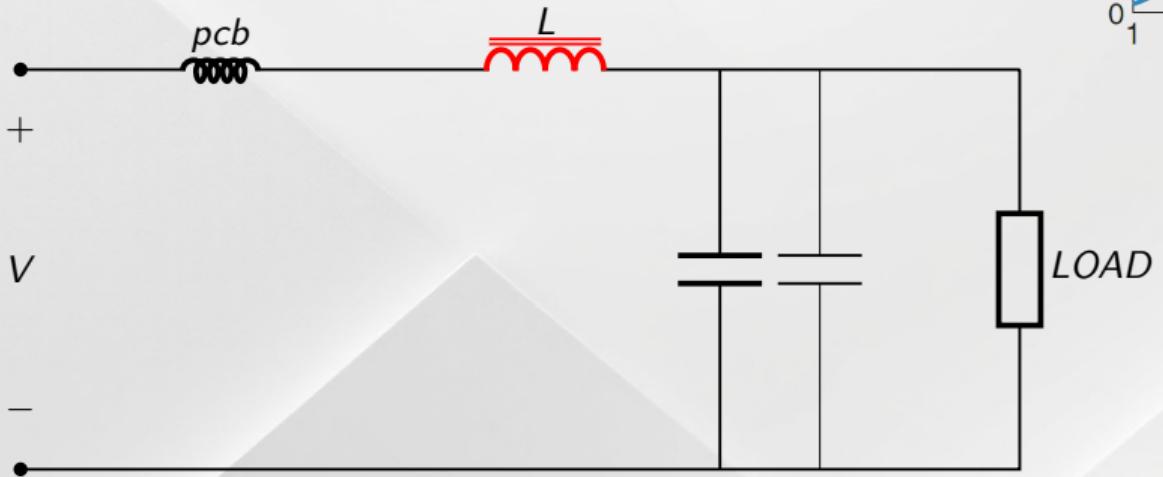
- **Ferrite Bead**
- Propriétés inductives
- Laisse passer le DC, bloque les hautes fréquences
- Contrôler le chemin des signaux haute-fréquence
- Forcer à passer par les condensateurs



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

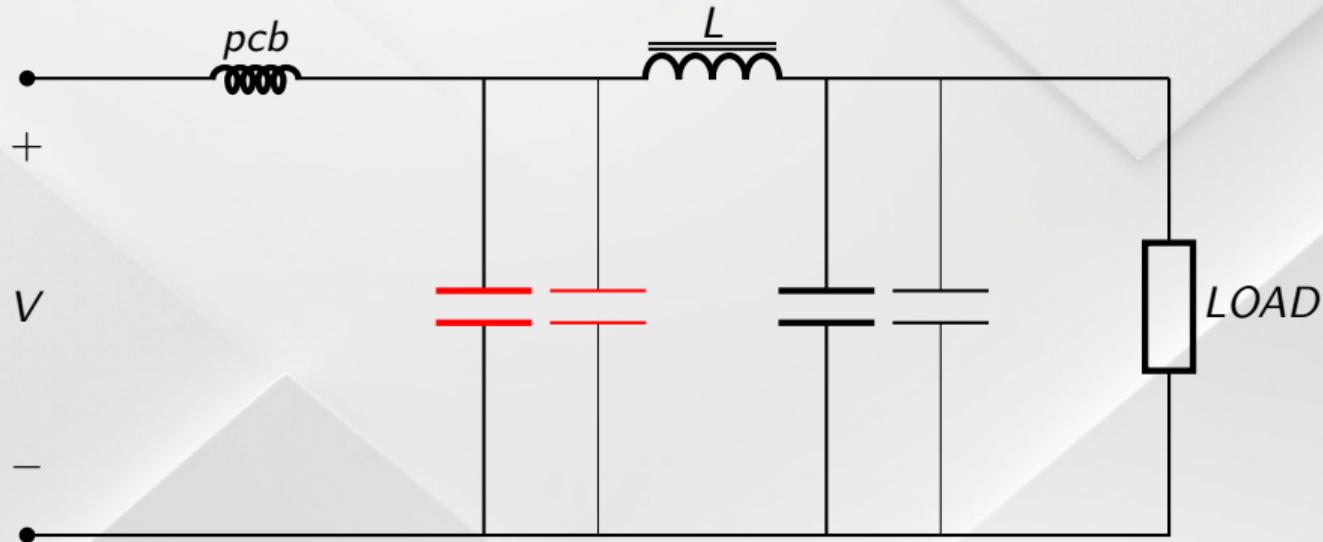


- Agit comme une résistance sur sa plage d'opération
- Utilisé comme une inductance dans un circuit
- Diffère dans sa courbe d'impédance caractéristique



Pi Filter

- 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

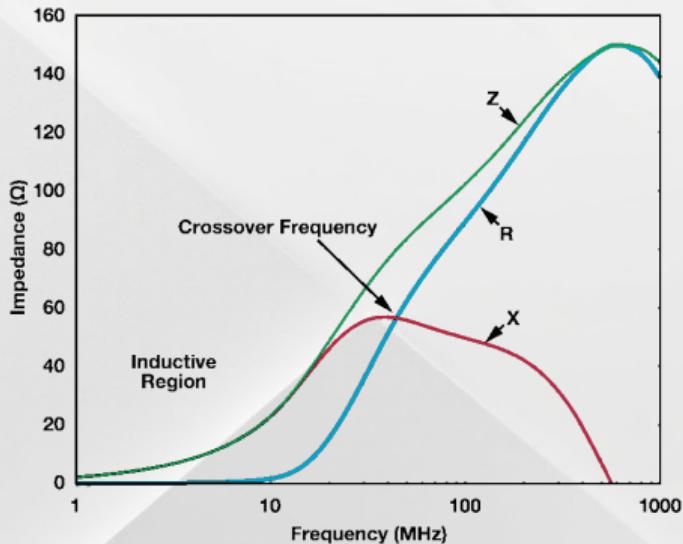
- Résistance $\neq 0 \Omega$
 - DC bias
 - Chauffe
- Saturation de l'inductance

Impédance

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

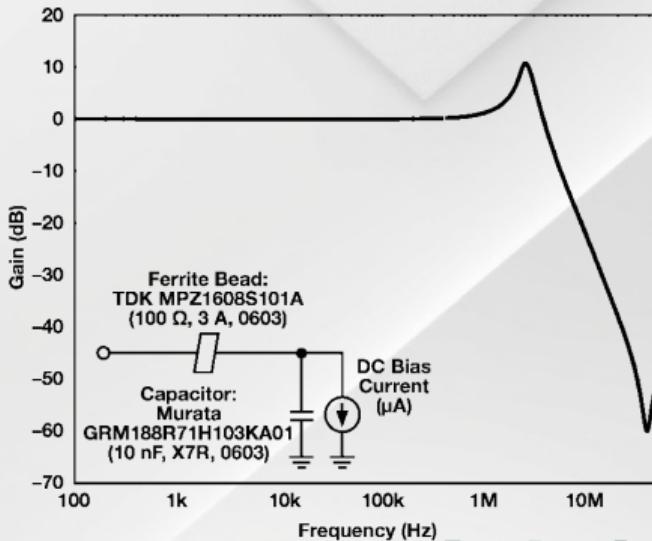
Limite de courant

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

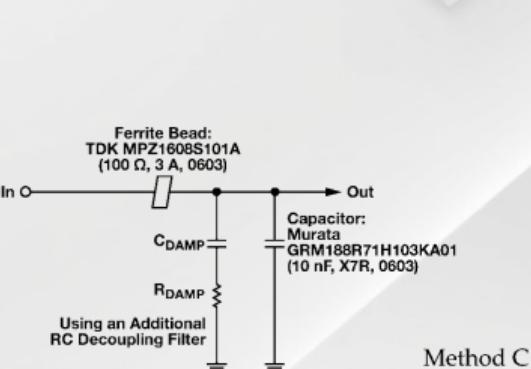
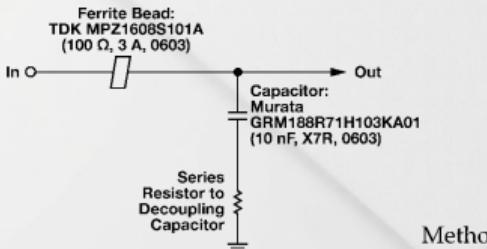
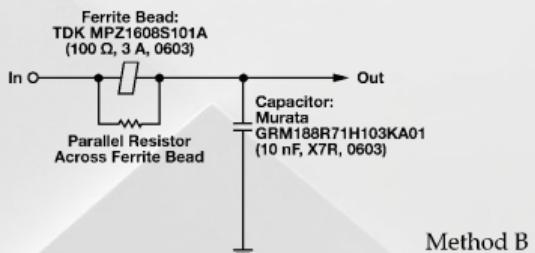
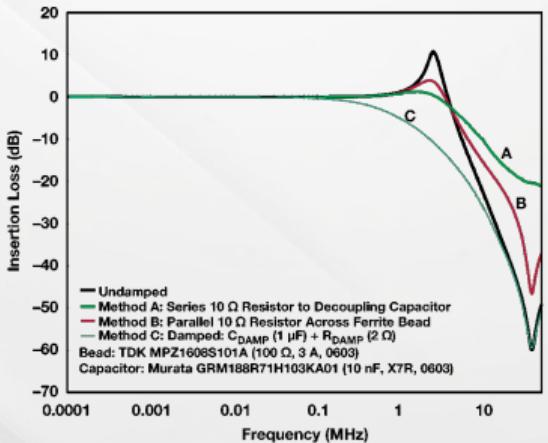


Impédance

- Affecte les courbes d'impédance
- Peut introduire du ringing
 - $\zeta = \frac{1}{2R_{LOAD}\sqrt{LC}}$



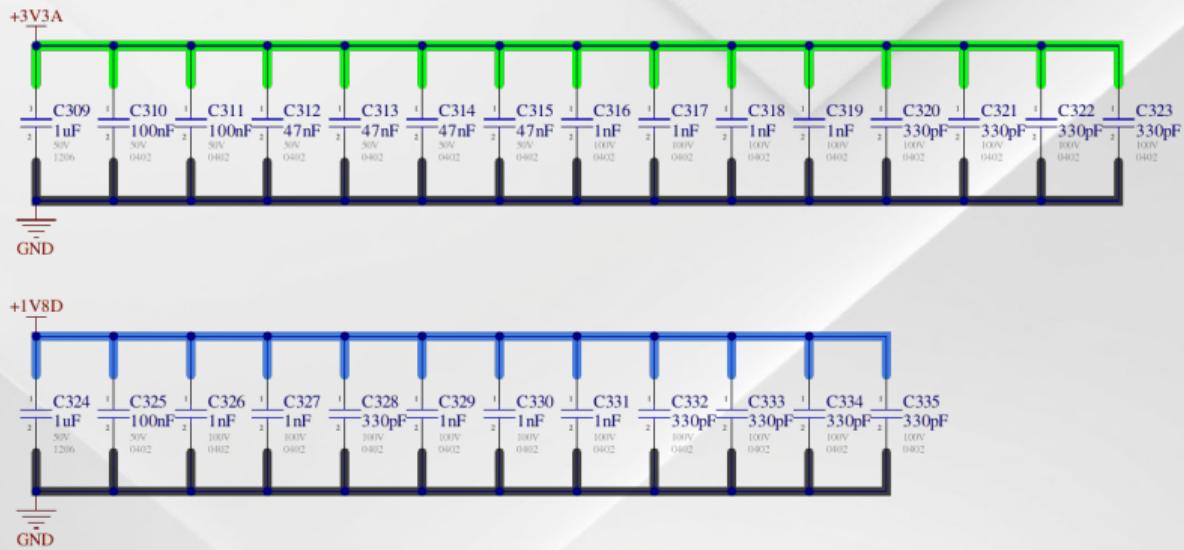
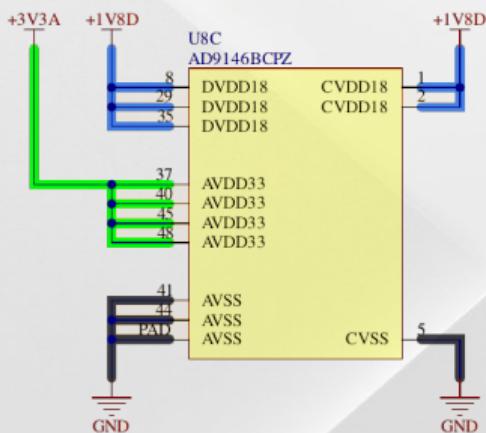
Ferrite Bead - Damping



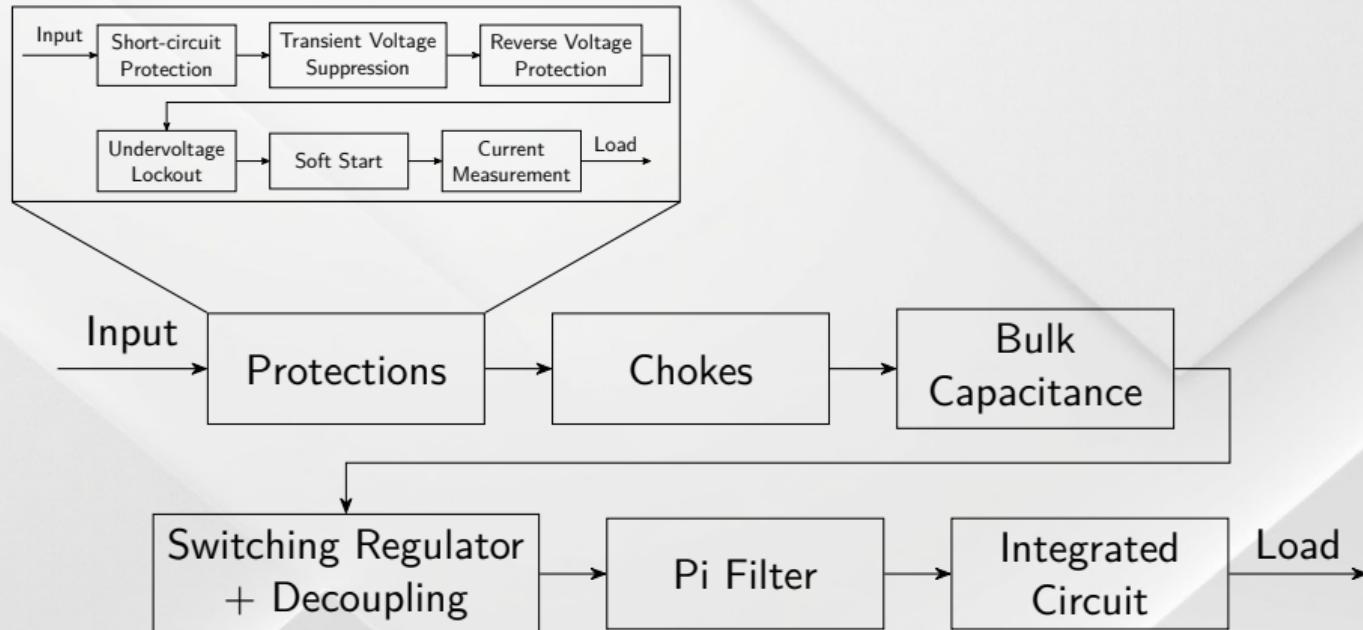
Analog Devices - Ferrite Beads Demystified

Plusieurs pins de power

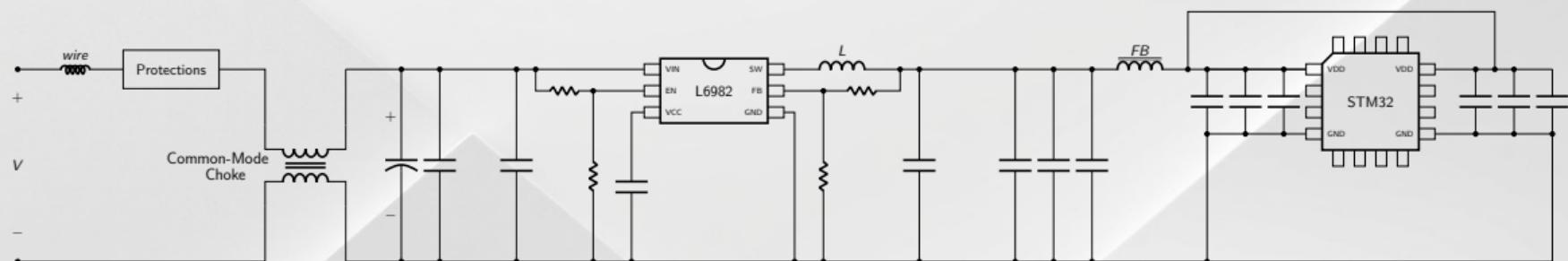
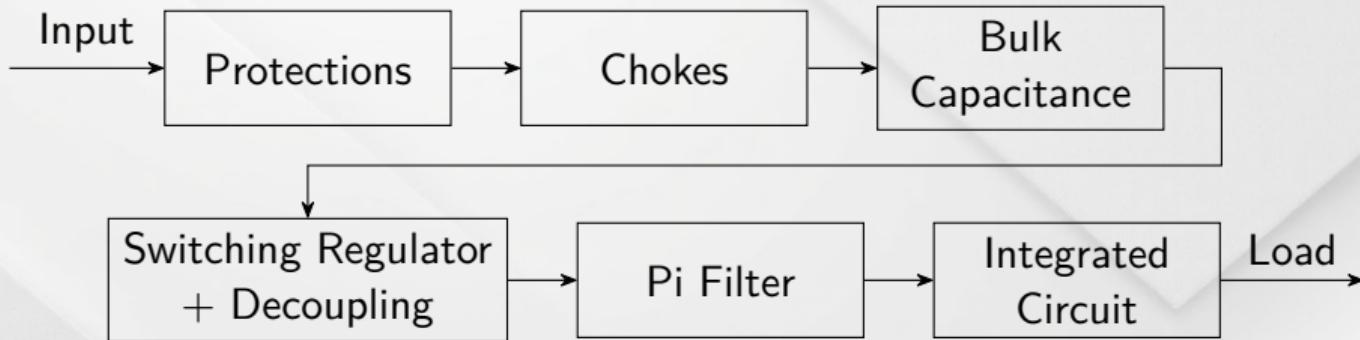
- Souvent plusieurs pins de power par IC
- Chaque pin a besoin de tous les condensateurs pour supporter toutes les fréquences
- Exception: Gros condensateurs ($\geq 1 \mu\text{F}$)
- Besoin d'une seule ferrite bead



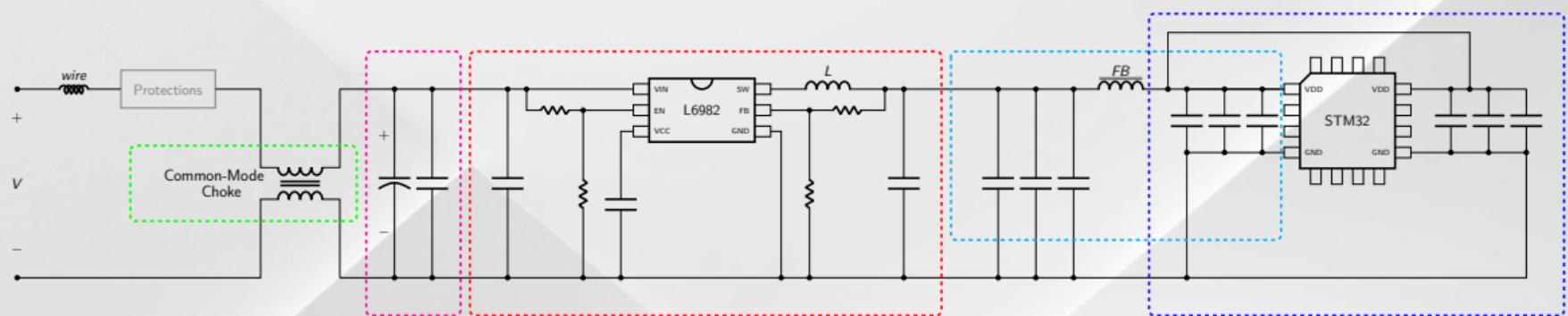
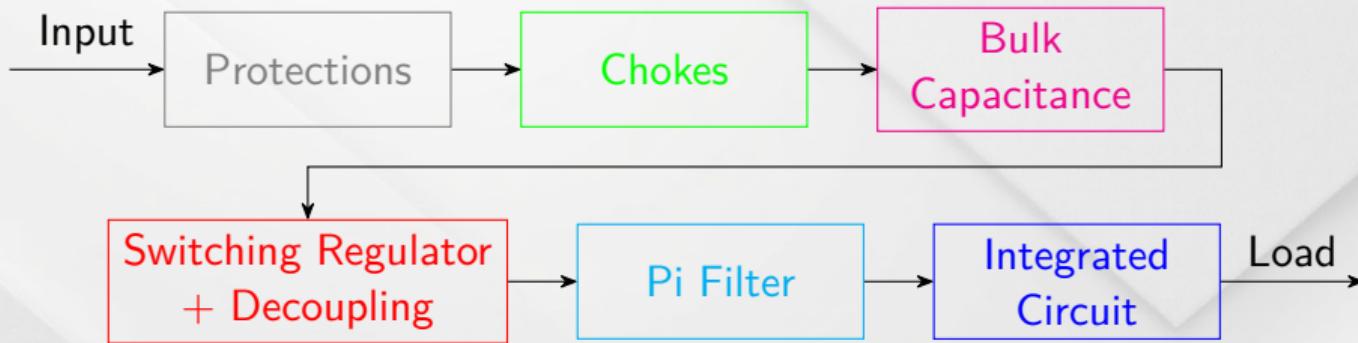
Filtration complète - Circuit électrique

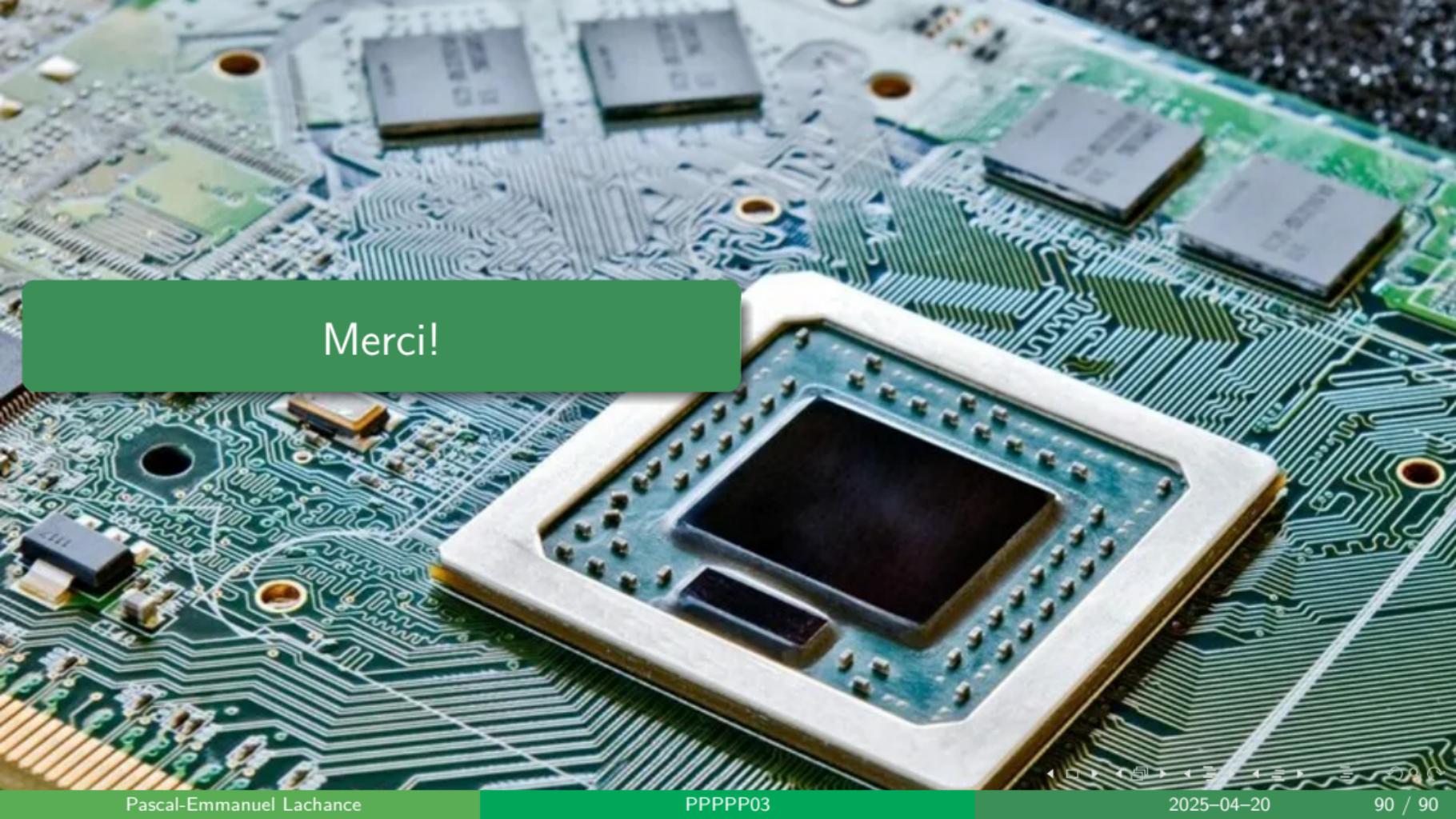


Filtration complète - Circuit électrique



Filtration complète - Circuit électrique





Merci!