



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?

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

Comment protéger une alimentation?

1 Comment protéger une alimentation?

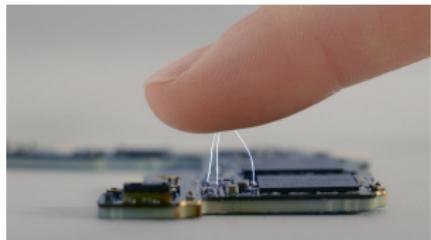
- Protection antistatique
- Protection de tension inverse
- Protection de court-circuit
- Protection de inrush current
- Undervoltage Lockout
- Protection complète
- 120V

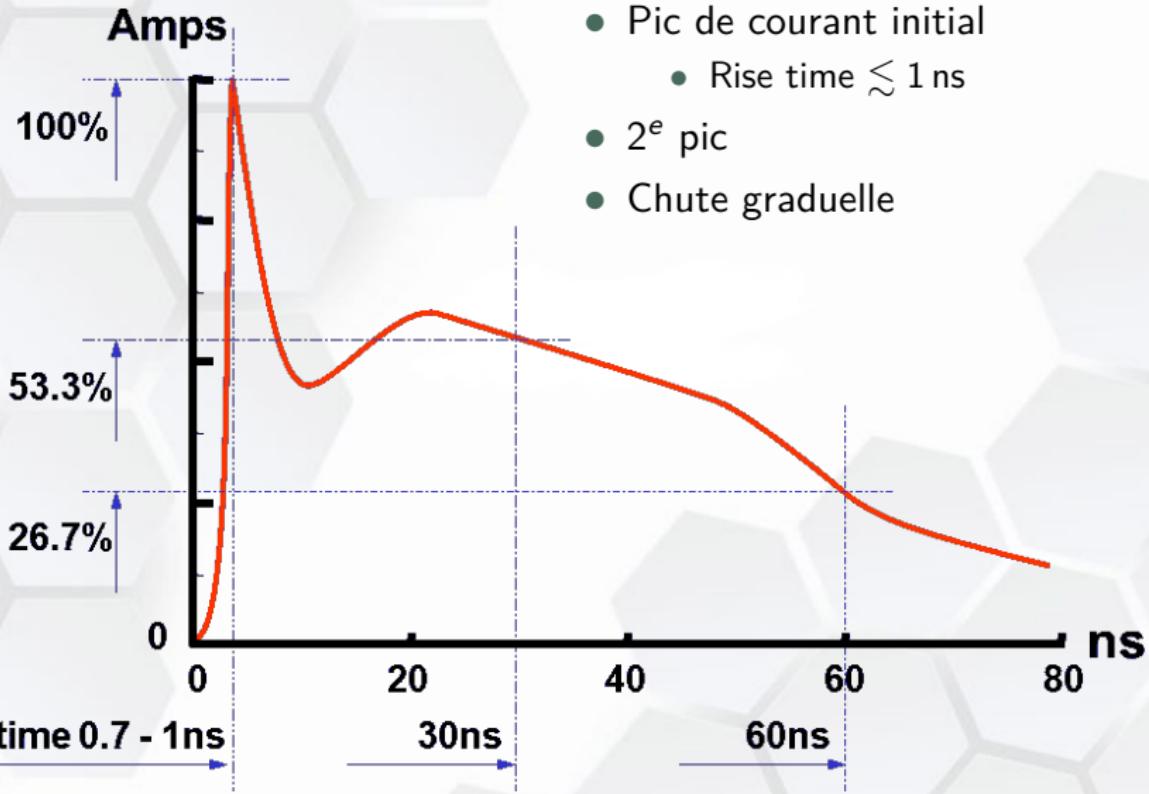
2 Quels sont les types de régulateurs?

3 Comment filtrer une alimentation?

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

- 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





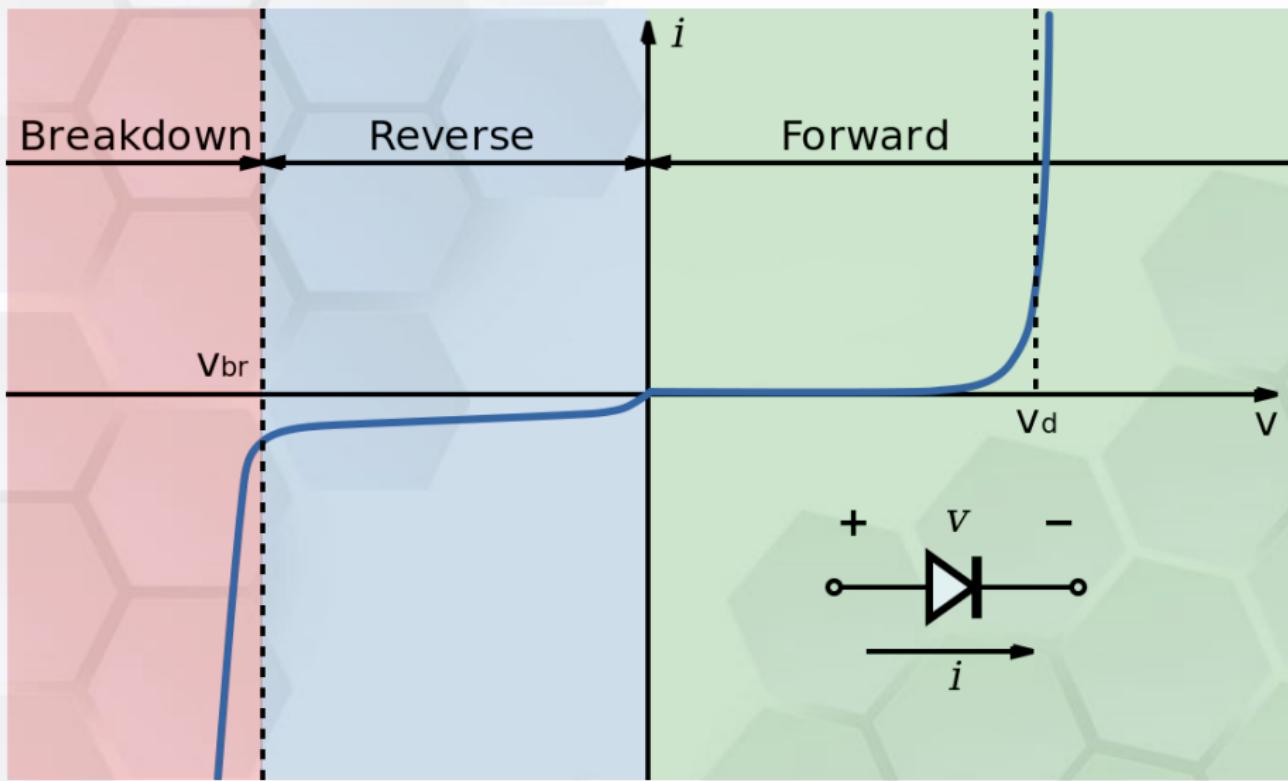
Circuit protégé antistatiquement - Zener



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

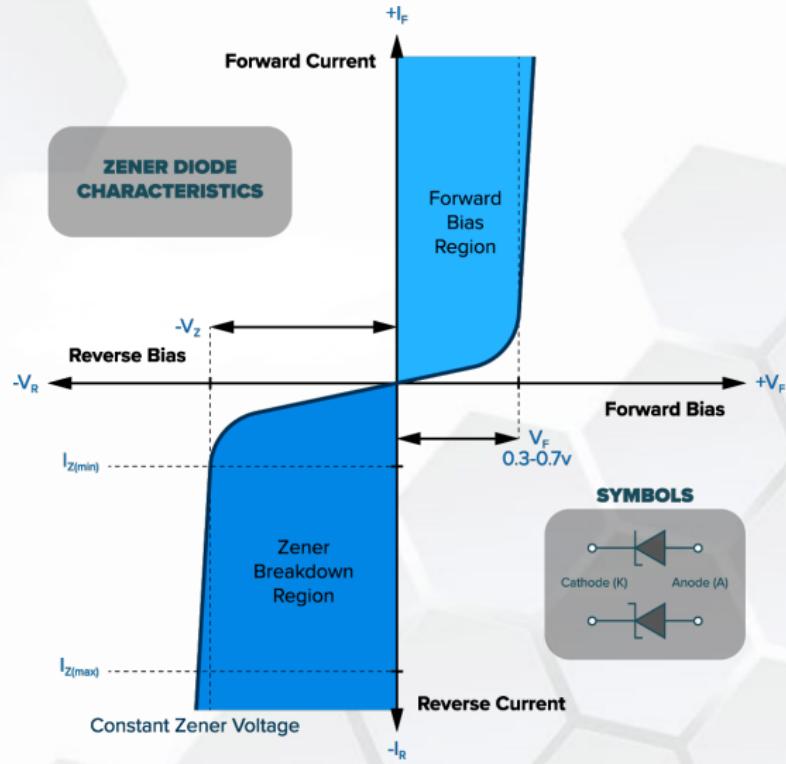


Diode Normale - IV Curve



- Faite pour être mise à l'envers!

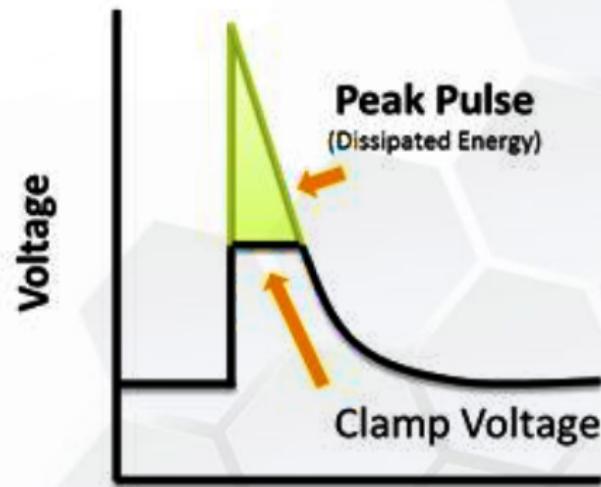
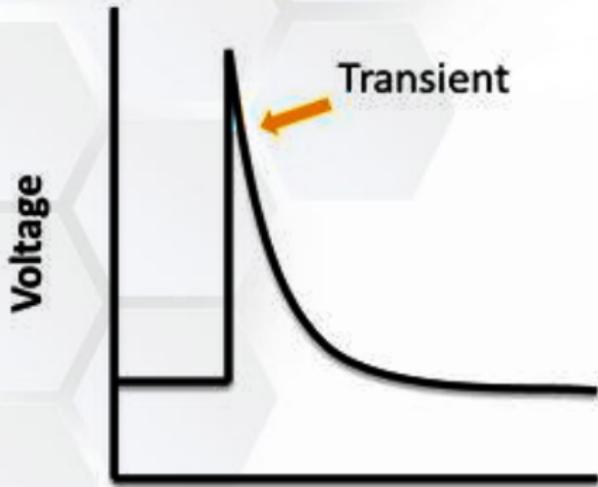
- V_Z contrôlé
- Beaucoup de courant en avalanche
- N'endommage pas la diode
- Utilisé dans des références de tension
- Utilisé comme protection antistatique



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



- 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



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

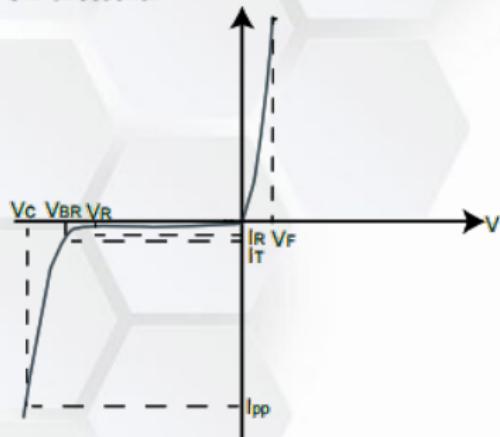


Diode TVS (Transient Voltage Suppression)



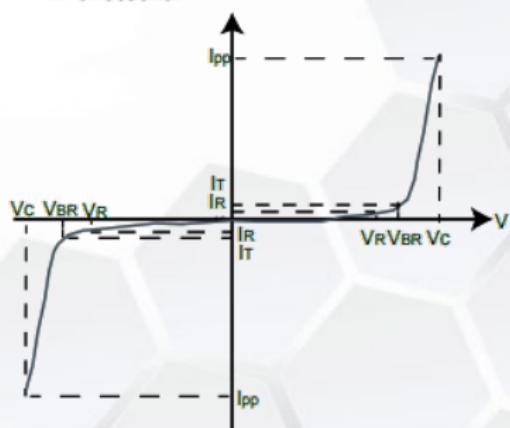
- Faite pour protection antistatique!
- Bidirectionnel!!

Uni-directional



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

Bi-directional



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



Comment protéger une alimentation?

1 Comment protéger une alimentation?

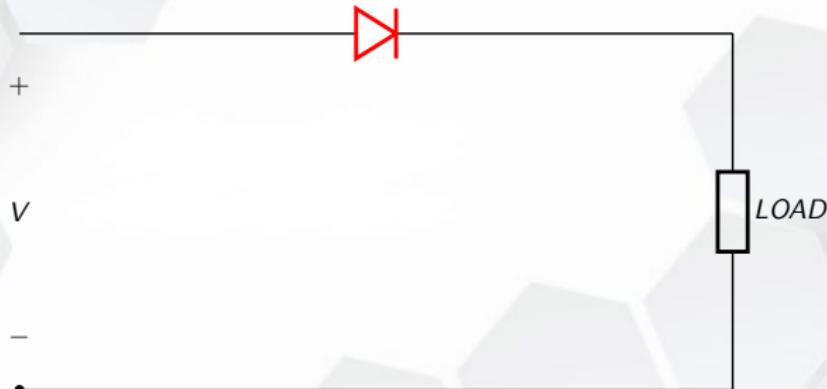
- Protection antistatique
- **Protection de tension inverse**
- Protection de court-circuit
- Protection de inrush current
- Undervoltage Lockout
- Protection complète
- 120V

2 Quels sont les types de régulateurs?

3 Comment filtrer une alimentation?

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

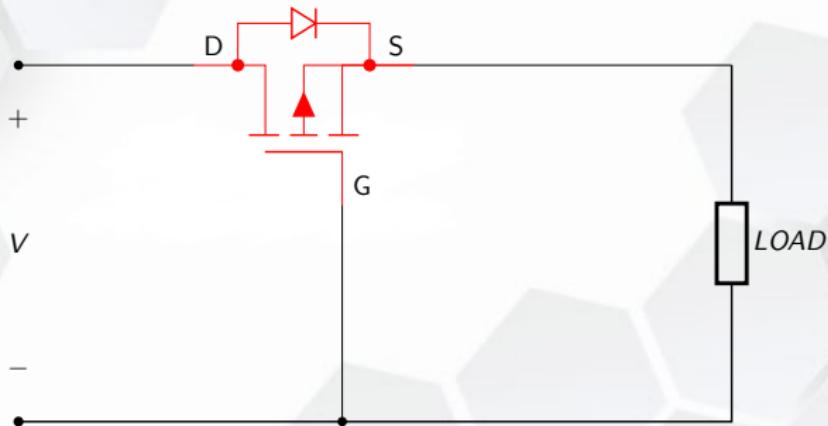
- Ne conduit que dans un sens
- Drop de tension V_f
- $P = I \cdot V_f$



- 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)



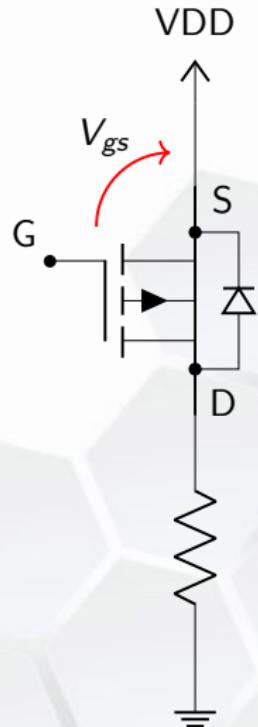
V_{gs} négatif!

$$V_{gs} < -V_t$$

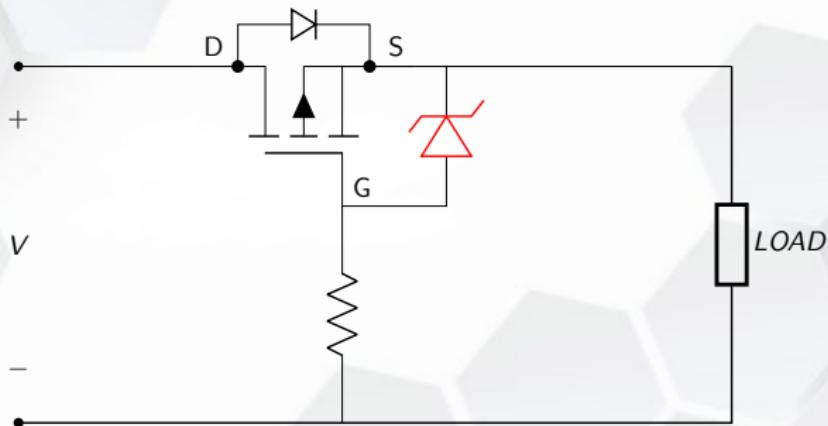
Faire attention au V_{gsmax}

- $V_G = 0 \text{ V}$
- $V_{gs} = -VDD$
- $-VDD < -V_t$
- 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?

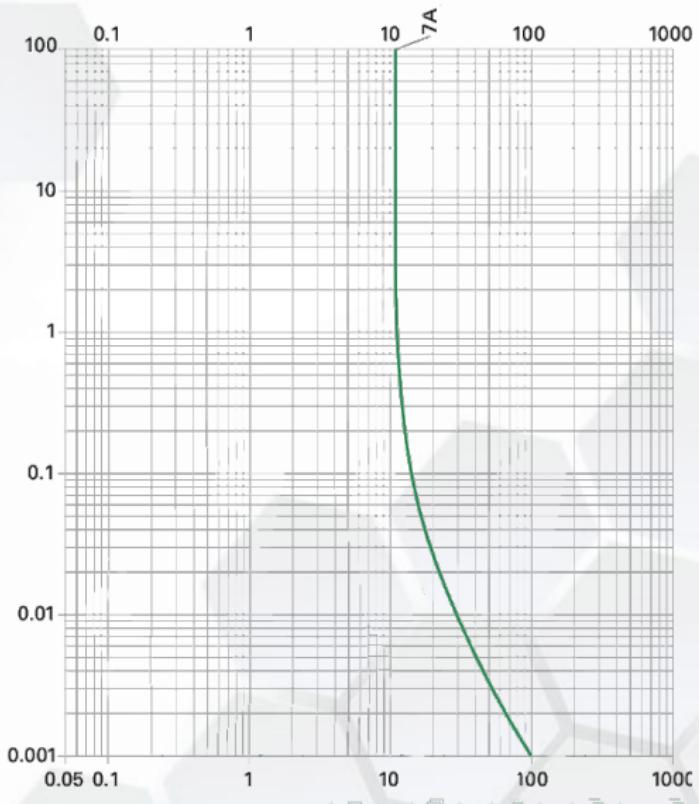
- Protection antistatique
- Protection de tension inverse
- **Protection de court-circuit**
- Protection de inrush current
- Undervoltage Lockout
- Protection complète
- 120V

2 Quels sont les types de régulateurs?

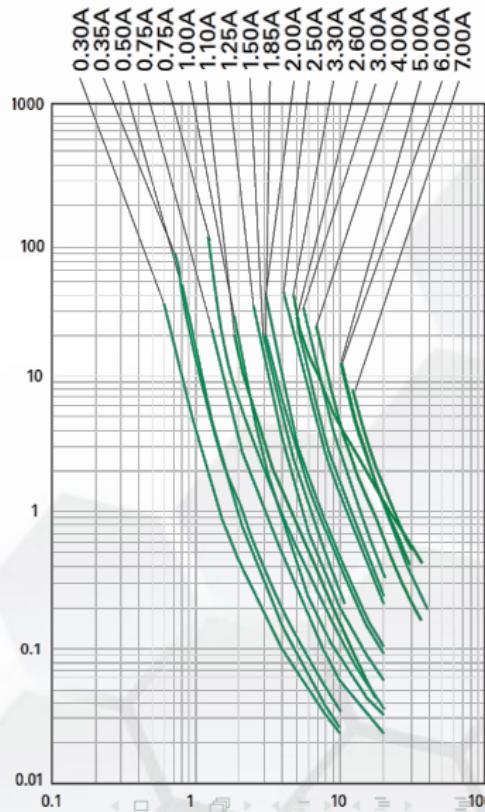
3 Comment filtrer une alimentation?

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

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



- *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

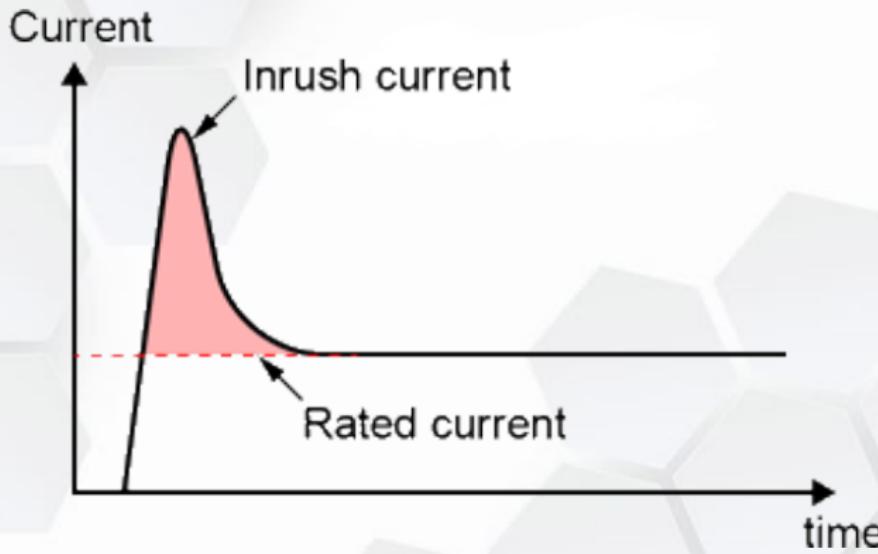
2 Quels sont les types de régulateurs?

3 Comment filtrer une alimentation?

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

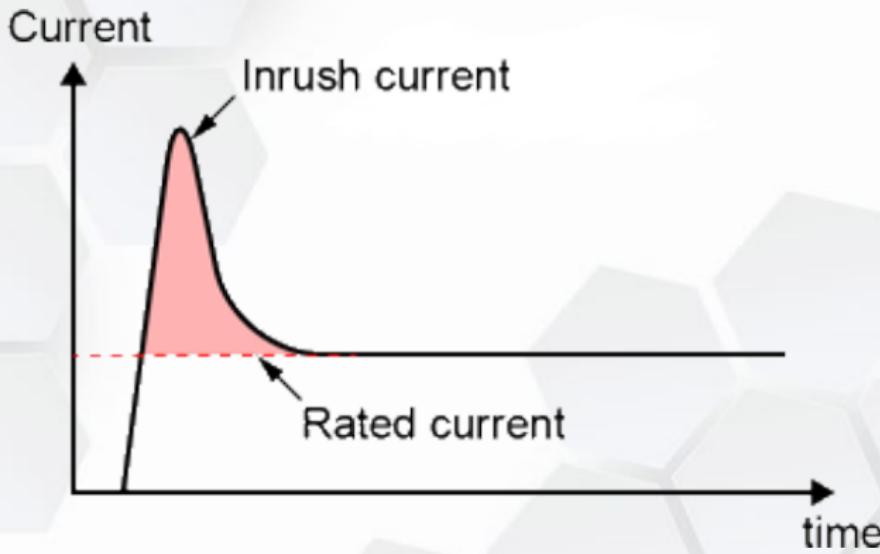
Inrush Current

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



Inrush Current

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



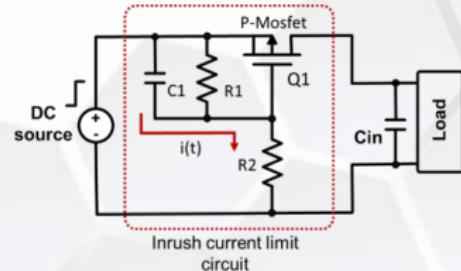
Comment limiter la surge initiale?

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



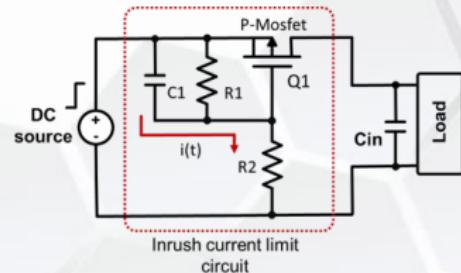
Comment limiter la surge initiale?

- 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

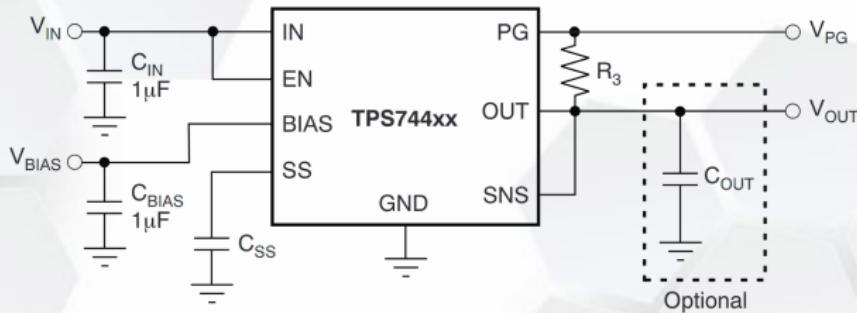
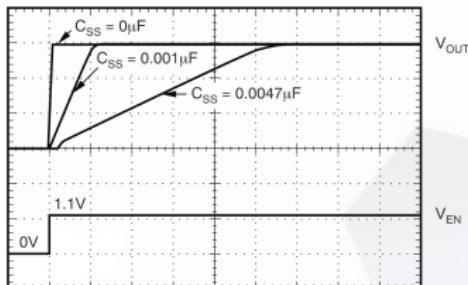


Comment limiter la surge initiale?

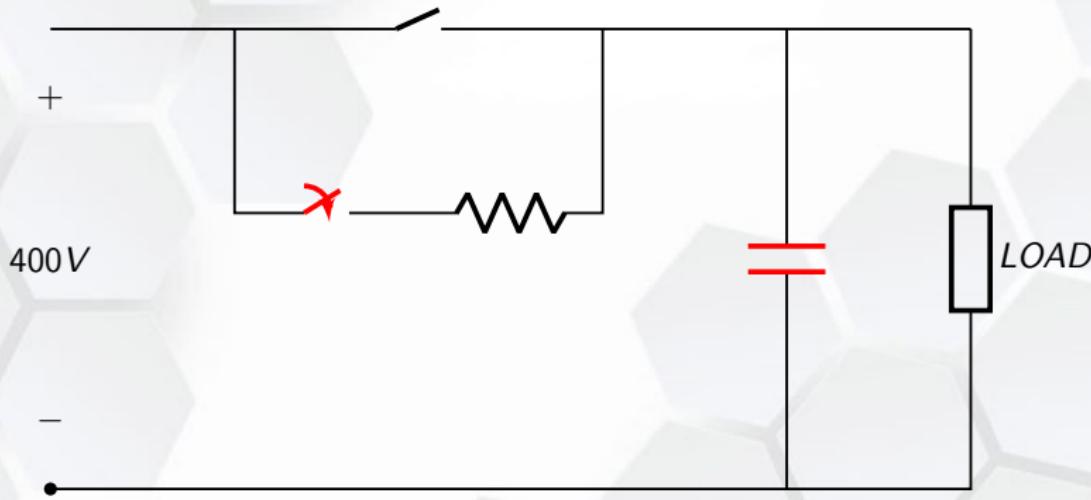
- NTP
 - *Negative Temperature Coefficient*
 - Conduit de plus en plus alors qu'il chauffe!
- Circuit de MOSFET
 - Charge d'un condensateur à la gate
 - Laisse passer de plus en plus de courant
- *Soft-Start*
- *Pre-Charge*



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



- 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?

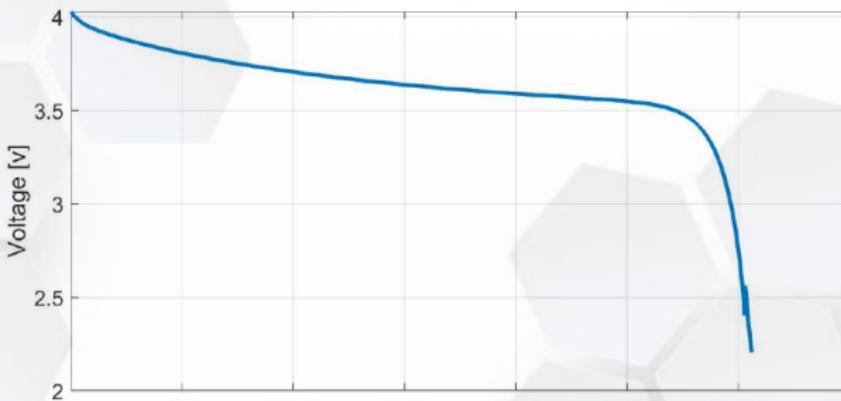
- Protection antistatique
- Protection de tension inverse
- Protection de court-circuit
- Protection de inrush current
- **Undervoltage Lockout**
- Protection complète
- 120V

2 Quels sont les types de régulateurs?

3 Comment filtrer une alimentation?

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

- 💡 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

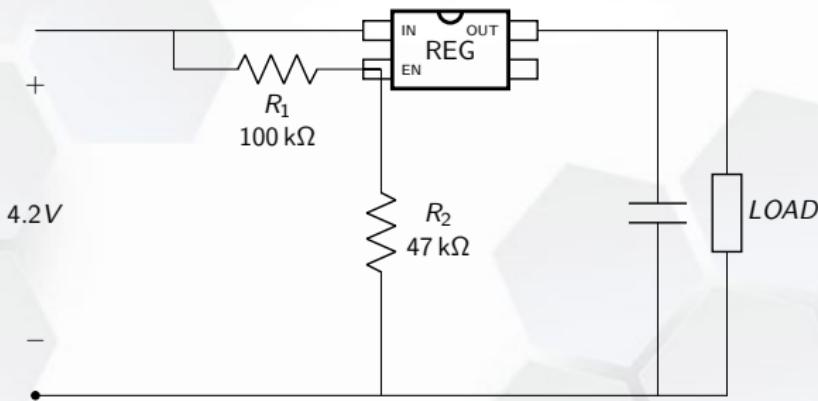


- Batterie $V_{max} = 4.2\text{ V}$
- Batterie $V_{min} = 3.7\text{ V}$
- Tension EN $V_{ref} = 1.2\text{ V}$

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?

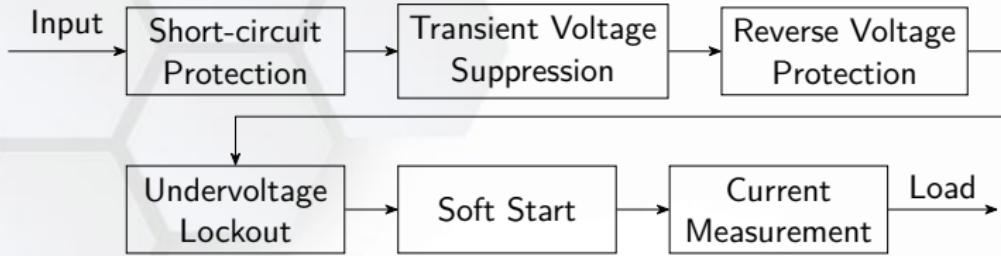
1 Comment protéger une alimentation?

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

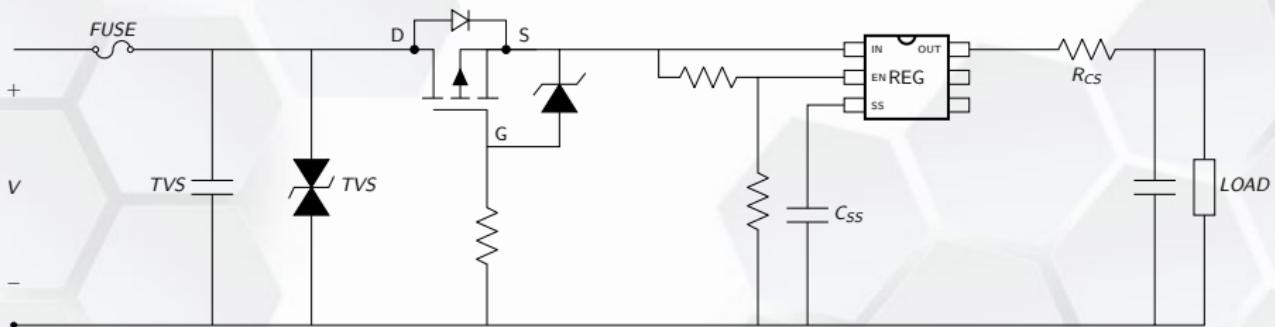
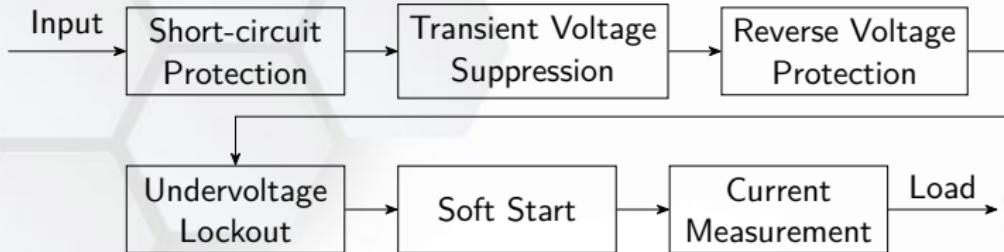
2 Quels sont les types de régulateurs?

3 Comment filtrer une alimentation?

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?



Protection complète - Circuit électrique



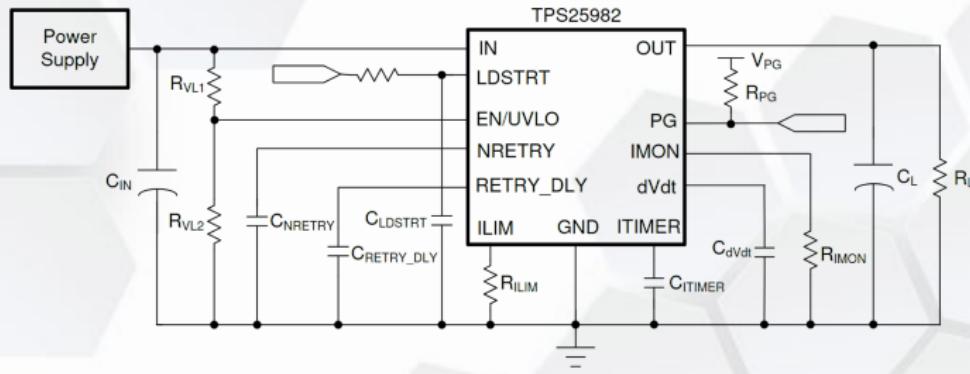
Catégorie de device:

- *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?

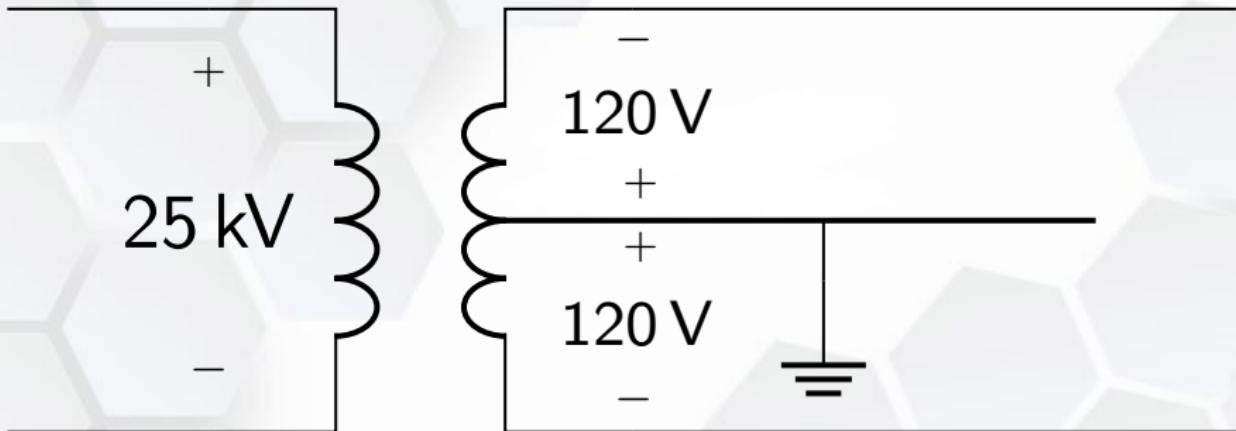
4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

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

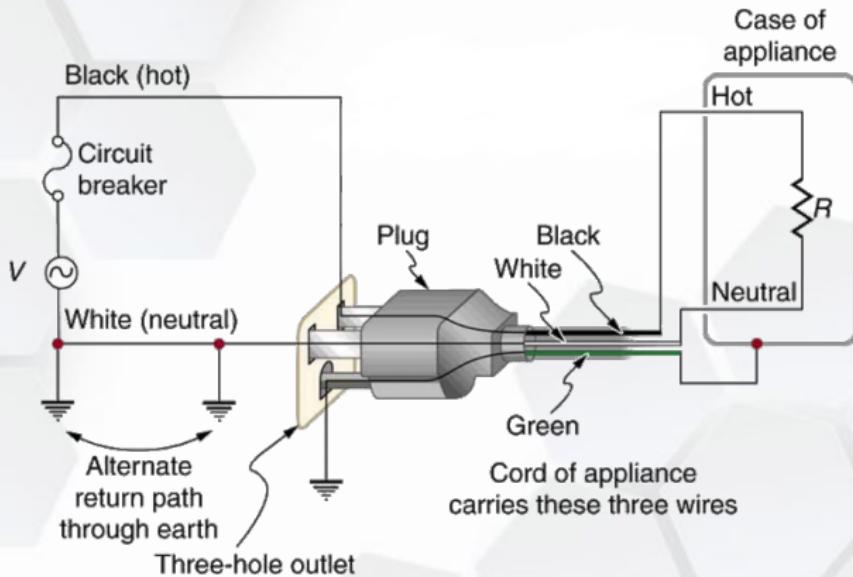


- Vivant (*Live*)
 - Neutre (*Neutral*)
 - Masse (*Ground*)
-
- Pas le même GND que dans ton circuit
 - GND du circuit provient du Neutre!
 - **NE PAS CONNECTER ENSEMBLE**

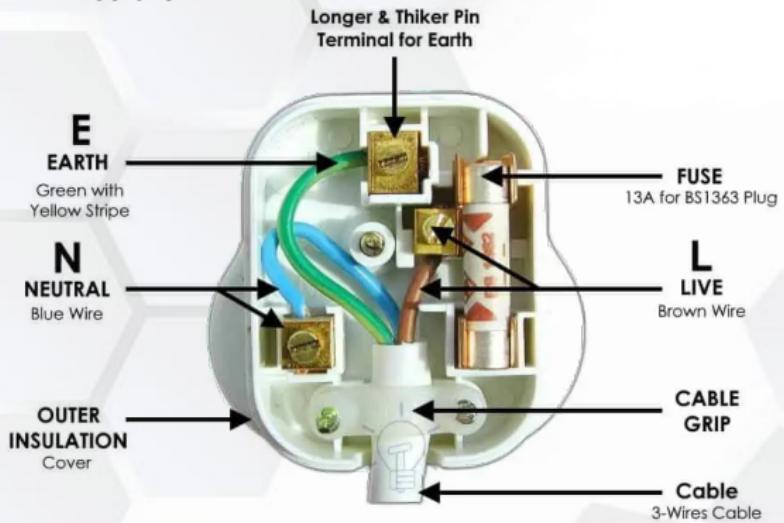




- Grounder les châssis des appareils
- Permet d'éviter d'avoir un châssis connecté au Live
- Retourne se connecter au panneau électrique
- Wiré séparément au Neutre

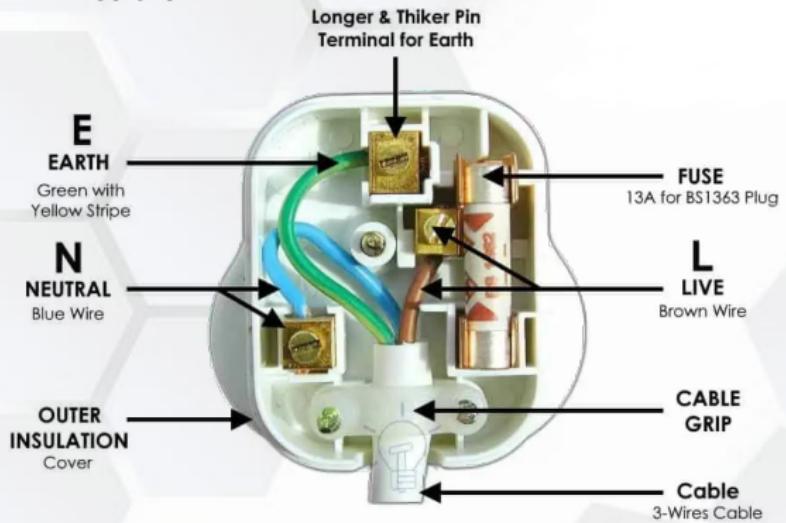


- Garder le fil de GND plus long que les autres
- Mettre le LIVE plus court que les autres
- Toujours mettre du strain relief sur un câble



- 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

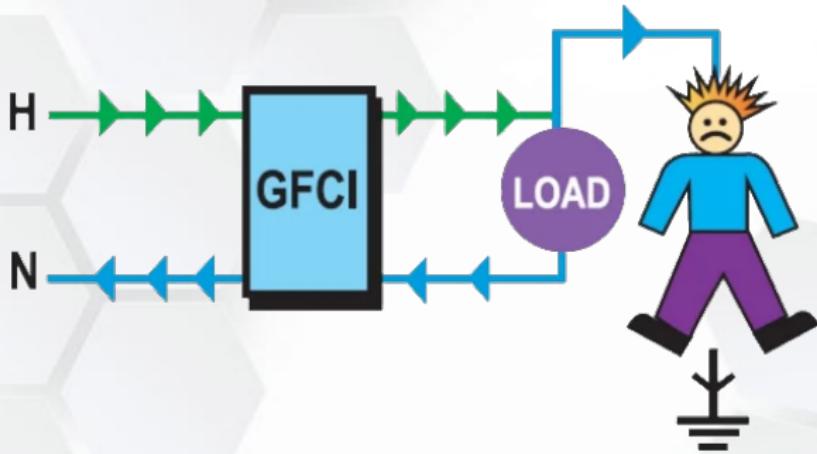
- Grounder toutes les parties d'un boîtier
- Busbar de GND



Ground Fault Circuit Interrupter



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



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?

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

☰	Critère	Régulateur Linéaire	Régulateur Switching
\$	Coût	Faible ✓	Moyen à Élevé ✗
🧩	Complexité	Faible ✓	Moyen à Élevé ✗
〽️	Bruit	Faible ✓	Moyen à Élevé ✗
%	Efficacité	Faible ✗	Très Efficace ✓
☒	V_{out}	$V_{out} < V_{in}$ ✗	$V_{out} \subseteq \mathbb{R}$ ✓
🔗	Isolation	Non ✗	Possible ✓
🌡️	Température	Élevée ✗	Faible à Moyenne ✓
⚡	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?

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

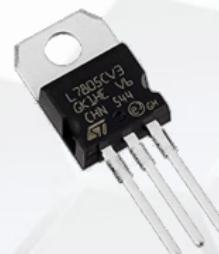
- Régulateur très simple
 - IC
 - Pièces autours

☰	Régulateur Linéaire
\$	Faible ✓
igsaw	Faible ✓



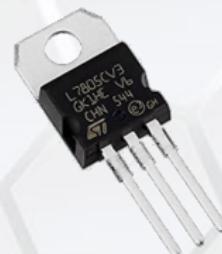
- Régulateur très simple
 - IC
 - Pièces autours
- Output très stable
 - PSRR

	Régulateur Linéaire
\$	Faible ✓
	Faible ✓
	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 ✗



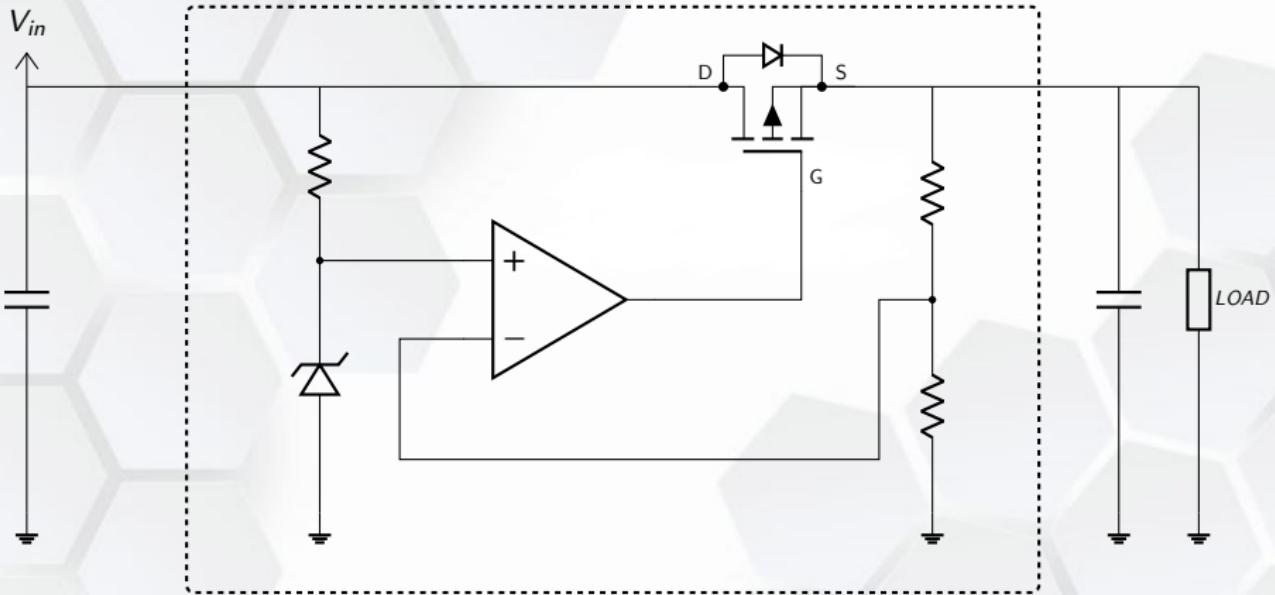
- Régulateur très simple
 - IC
 - Pièces autours
- Output très stable
 - PSRR
- $V_{in} - 0.3\text{ V} > V_{out}$
- Isolation impossible
- Très peu efficace
 - $I_{in} = I_{out}$
 - $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$

	Régulateur Linéaire
\$	Faible ✓
榫	Faible ✓
〽	Faible ✓
☒	$V_{out} < V_{in}$ ✗
✖	Non ✗
%	Faible ✗

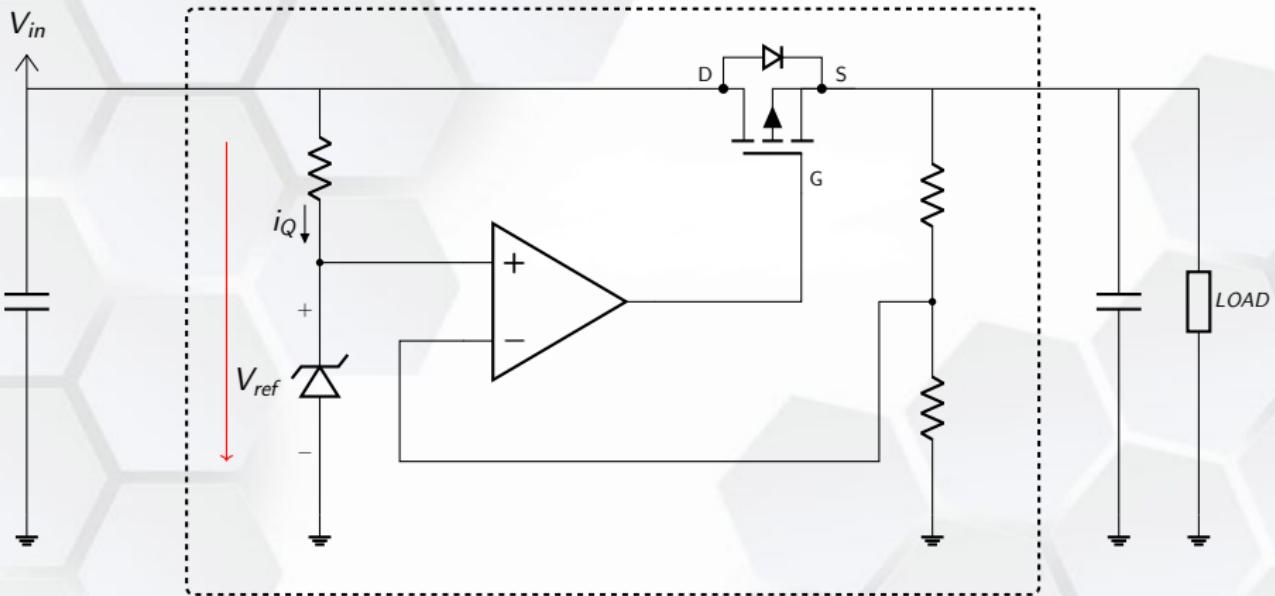
- Régulateur très simple
 - IC
 - Pièces autours
- Output très stable
 - PSRR
- $V_{in} - 0.3\text{ V} > V_{out}$
- Isolation impossible
- Très peu efficace
 - $I_{in} = I_{out}$
 - $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$
- Power dissipée en chaleur!
- Limite le courant

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

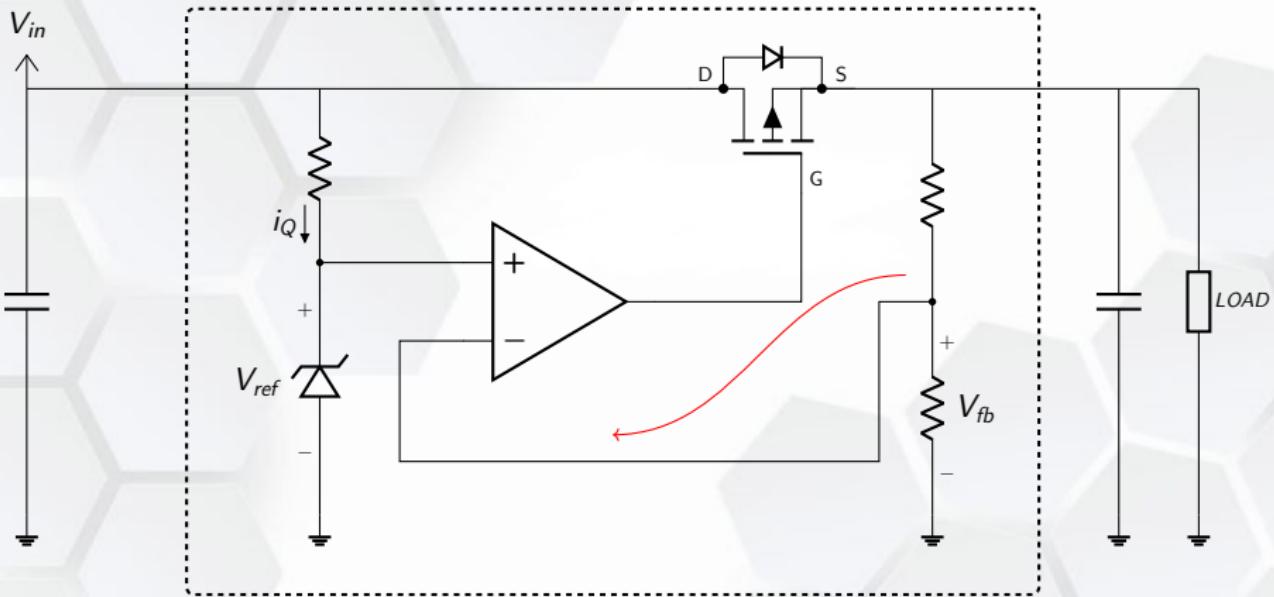
Régulateur Linéaire - Fonctionnement



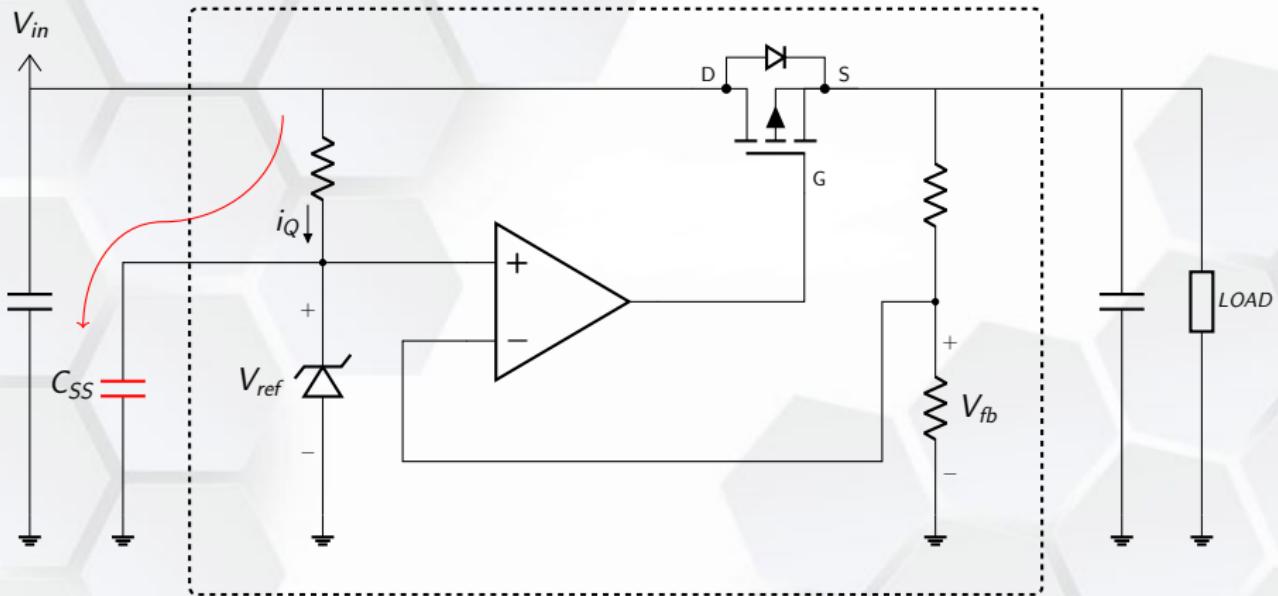
Régulateur Linéaire - Fonctionnement



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

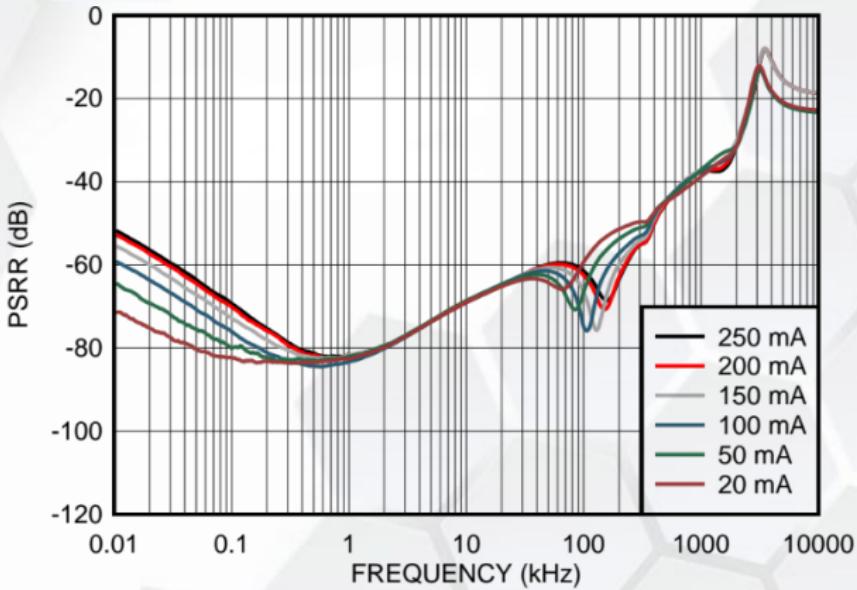
Power Supply Ripple Reduction



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

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

- 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?

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

- Régulateur plus complexe
 - IC
 - Condensateurs & bobines
 - Transistors et diodes
- Topologies

	Régulateur Linéaire
\$	Moyen à Élevé ✕
	Moyen à Élevé ✕



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

Régulateur Linéaire	
\$	Moyen à Élevé X
+	Moyen à Élevé X
L	Moyen à Élevé X



- Régulateur plus complexe
 - IC
 - Condensateurs & bobines
 - Transistors et diodes
- Topologies
- Rajoute du bruit au circuit
 - Fréquence de *switching*
- Output très grande selon topologie
 - $V_{out} > V_{in}$
 - $V_{out} < 0V$
 - *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
- Topologies
- Rajoute du bruit au circuit
 - Fréquence de *switching*
- Output très grande selon topologie
 - $V_{out} > V_{in}$
 - $V_{out} < 0V$
- Extrêmement efficace
 - 80% - 90%
 - *Courant & Tension scale selon demande*

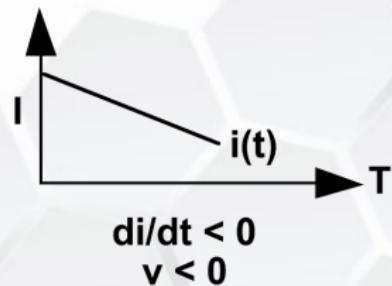
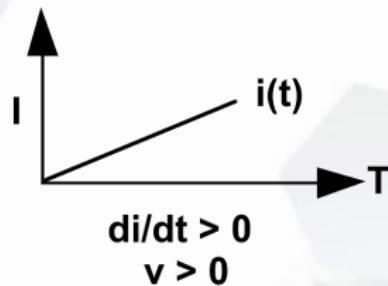
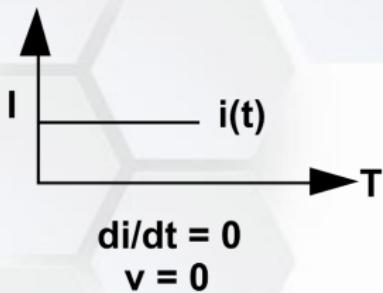
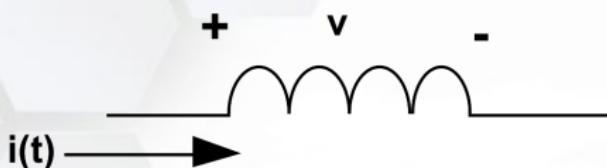
Régulateur Linéaire	
\$	Moyen à Élevé ✗
?	Moyen à Élevé ✗
?	Moyen à Élevé ✗
☒	$V_{out} \subseteq \mathbb{R}$ ✓
☒	Possible ✓
%	Très Efficace ✓

- Régulateur plus complexe
 - IC
 - Condensateurs & bobines
 - Transistors et diodes
- Topologies
- Rajoute du bruit au circuit
 - Fréquence de *switching*
- Output très grande selon topologie
 - $V_{out} > V_{in}$
 - $V_{out} < 0V$
- Extrêmement efficace
 - 80% - 90%
- Bonne gestion thermique
 - Selon topologie
- Gros courants

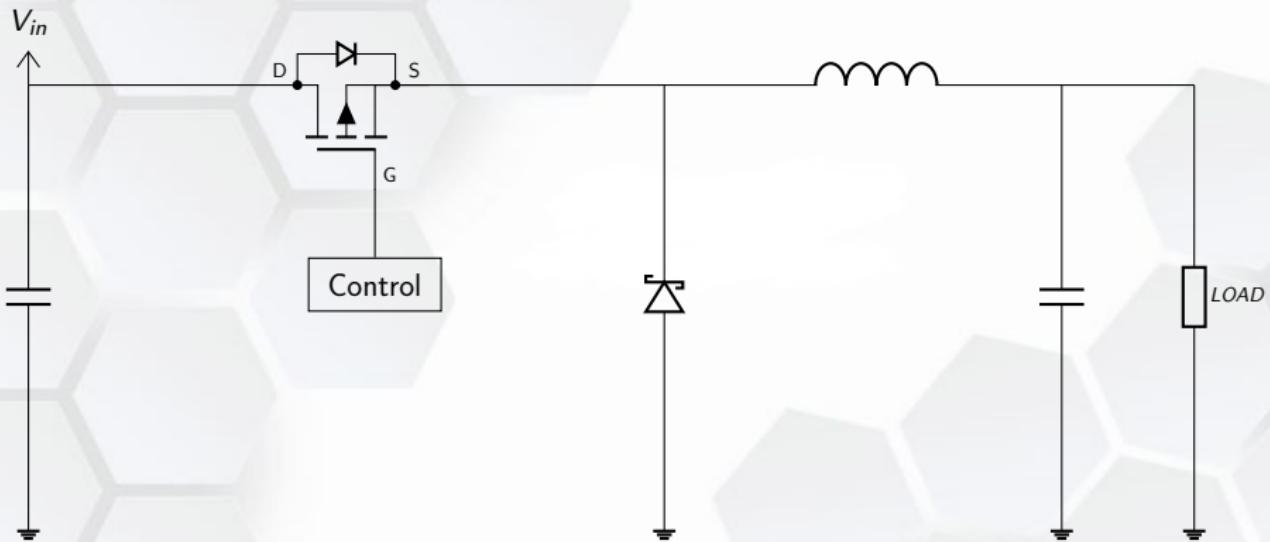
	Régulateur Linéaire
\$	Moyen à Élevé ✗
⤙	Moyen à Élevé ✗
⤙⤙	Moyen à Élevé ✗
⤙⤙⤙	$V_{out} \subseteq \mathbb{R}$ ✓
⤙⤙⤙⤙	Possible ✓
%	Très Efficace ✓
🌡	Faible à Moyenne ✓
⚡	Moyen à Élevé ✓

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

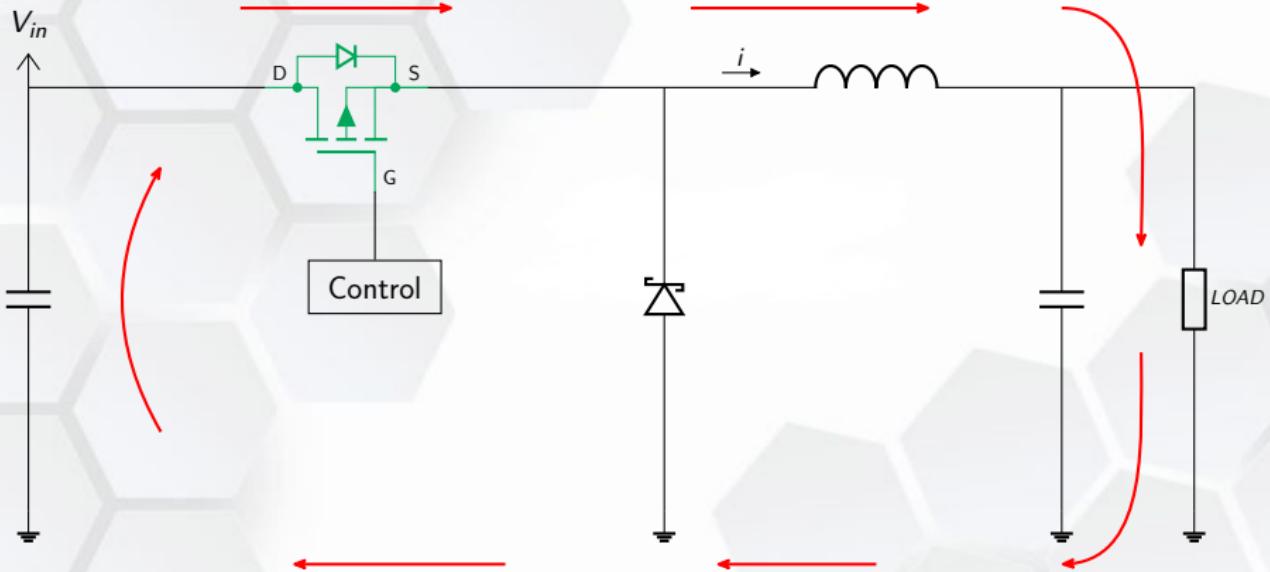
- Une bobine s'oppose aux changements de courant



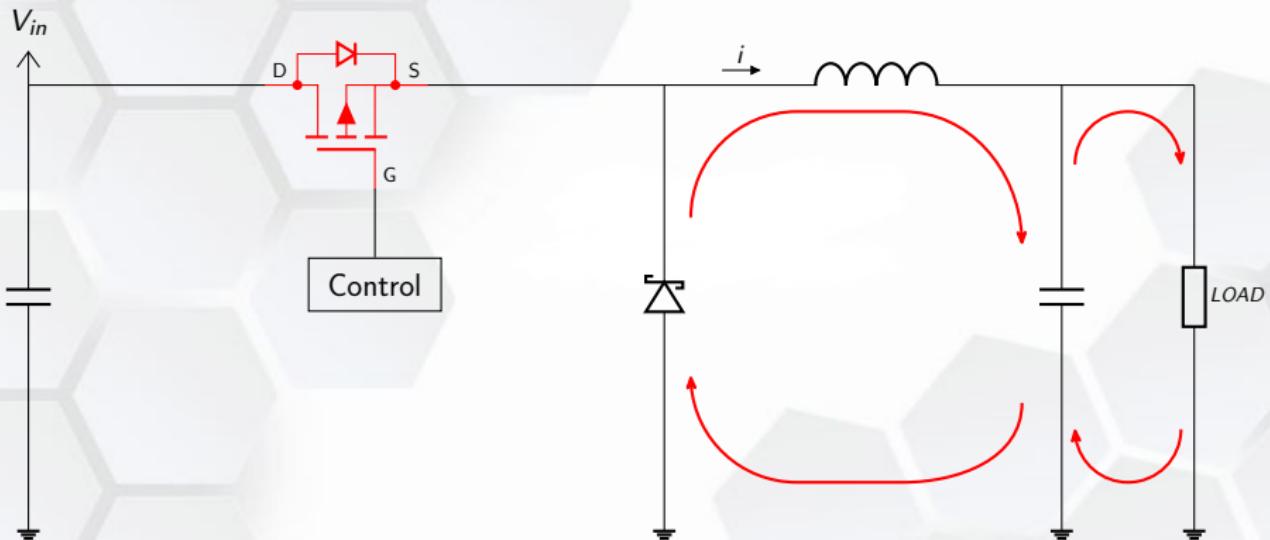
Régulateur Switching - Buck - Fonctionnement



Régulateur Switching - Buck - Fonctionnement



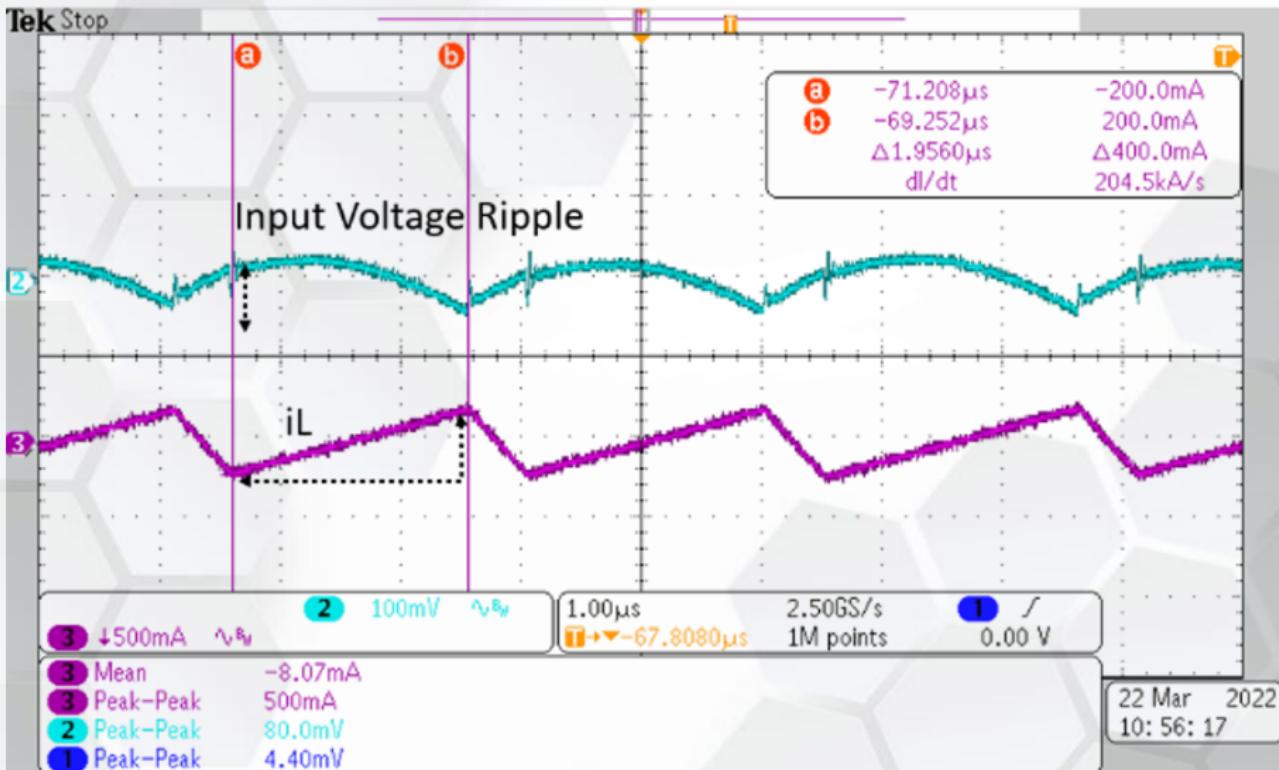
Régulateur Switching - Buck - Fonctionnement



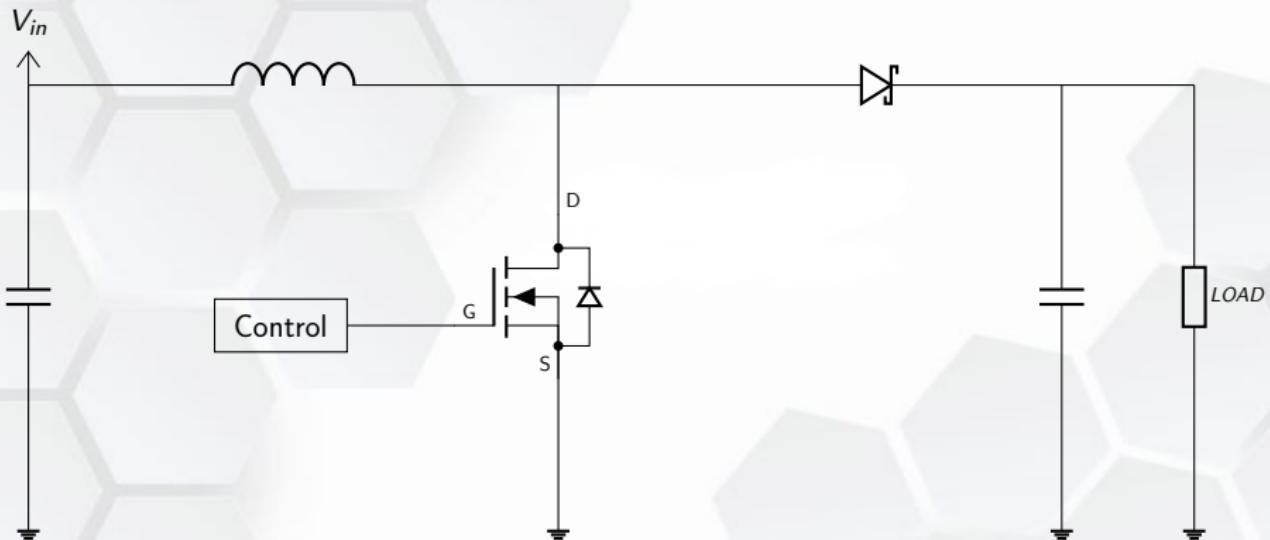
- Le courant augmente tranquillement
- Le courant descend
- ↔ Il y a toujours du courant qui s'en va vers la load
- 🚫 Il n'y a pas toujours du courant qui sort de la source
- 📈 $I_{out} > I_{in}$



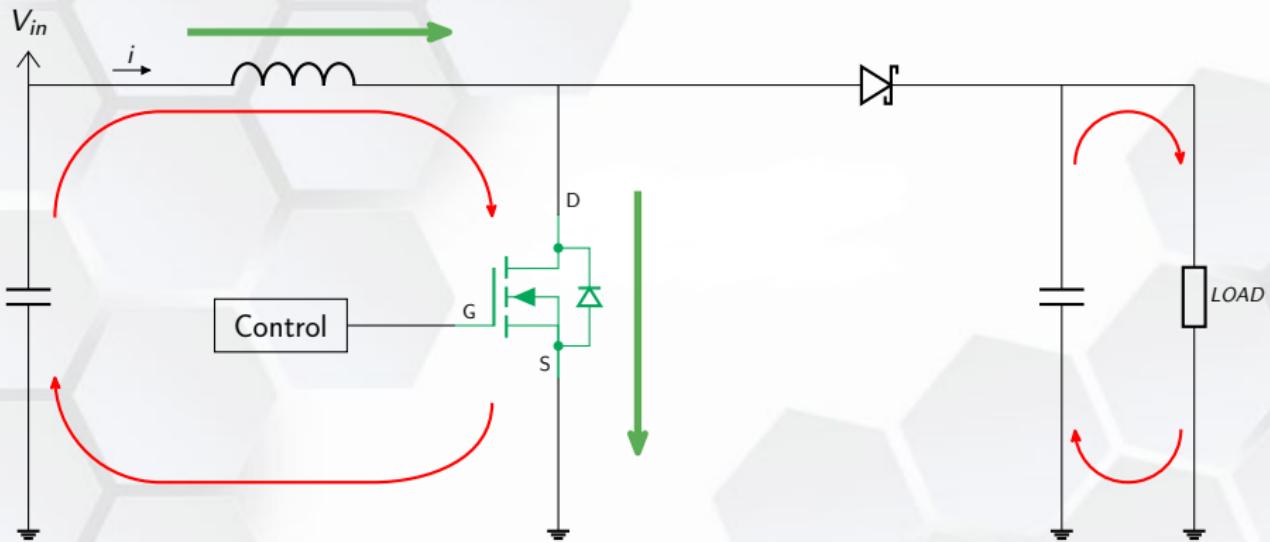
Régulateur Switching - Buck - Waveform



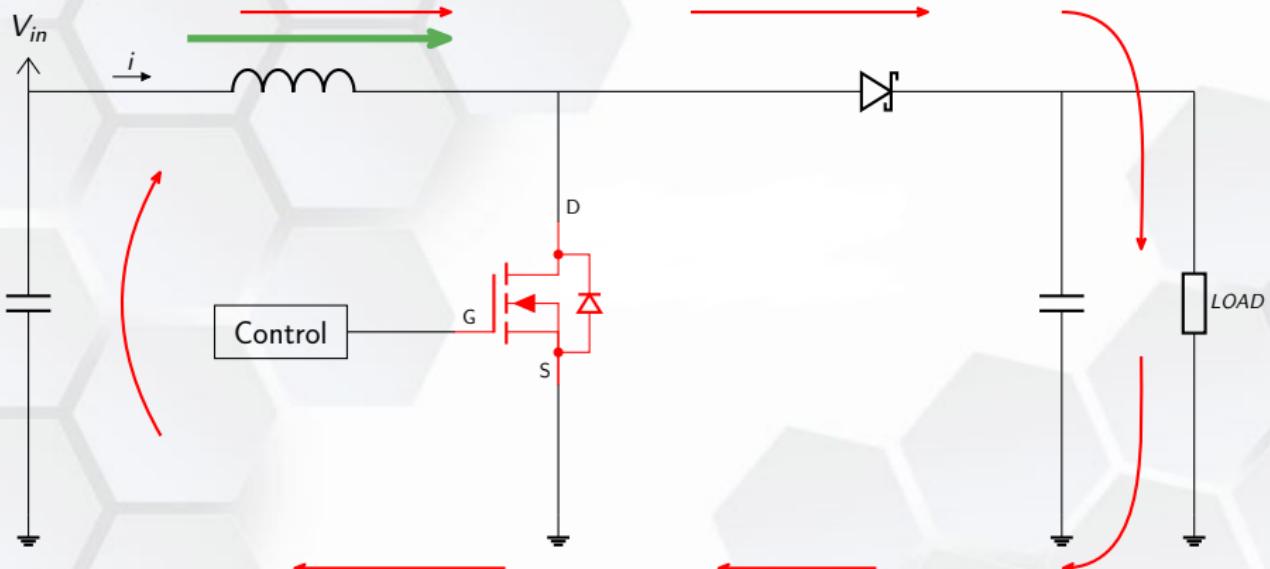
Régulateur Switching - Boost - Fonctionnement



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

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

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

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

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 façons 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 façons 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

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

Comment filtrer une alimentation?

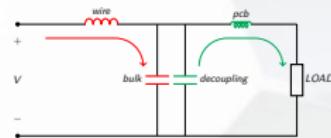
1 Comment protéger une alimentation?

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

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?



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

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

- ➡ Long fil qui provient d'une Power Supply
- ➡ Inductance Parasite

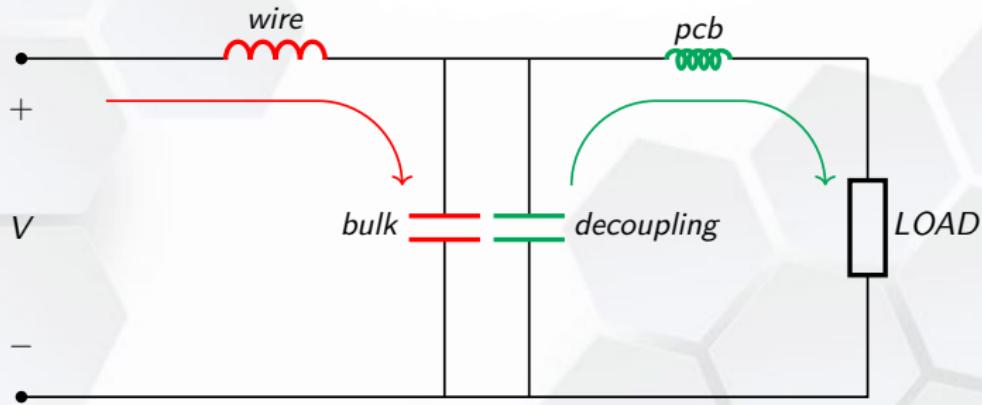
- ➡ Pick-Up du bruit extérieur
- ➡ Signal potentiellement bruité

- ➡ 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*



- ➊ Découplage permet de fournir un chemin de faible impédance aux signaux haute-vitesse
- ➋ Bulk permet d'emmageriser 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.

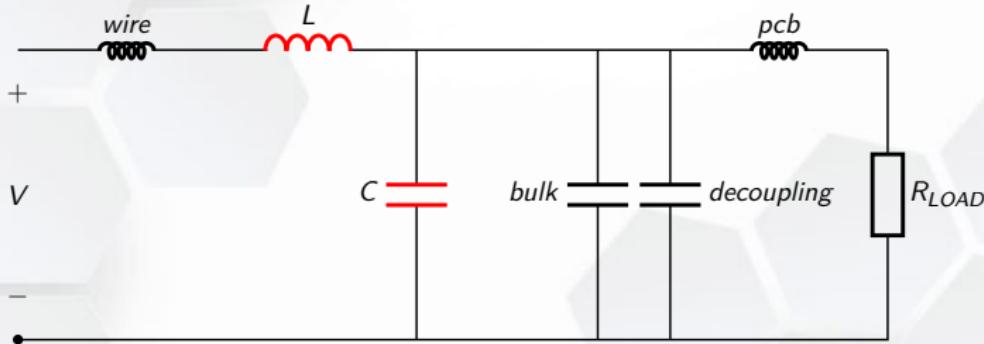
- Rajouter de l'inductance permet de bien contrôler où va le bruit haute-fréquence.
- $X_L = 2\pi fL$
- Si $X_L > X_C$, le bruit va passer par X_C .
- On vient de passer tout ce temps pour compenser l'inductance du fil d'alimentation

- 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

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

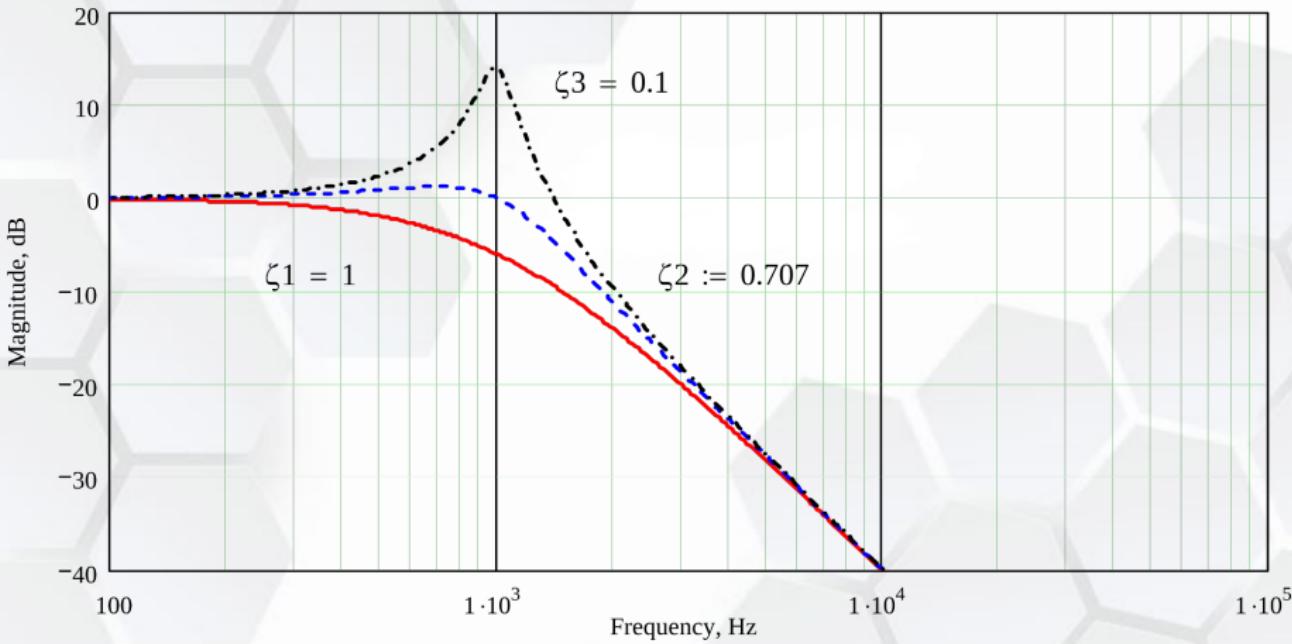
$$\zeta = \frac{1}{2R_{LOAD}\sqrt{LC}}$$



Damping factor



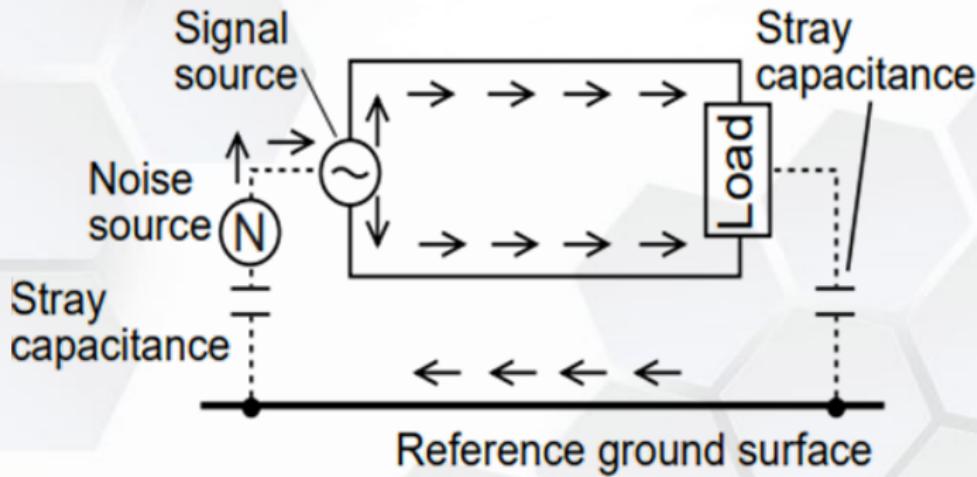
$$\zeta = \frac{1}{2R_{LOAD}\sqrt{LC}}$$



- 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

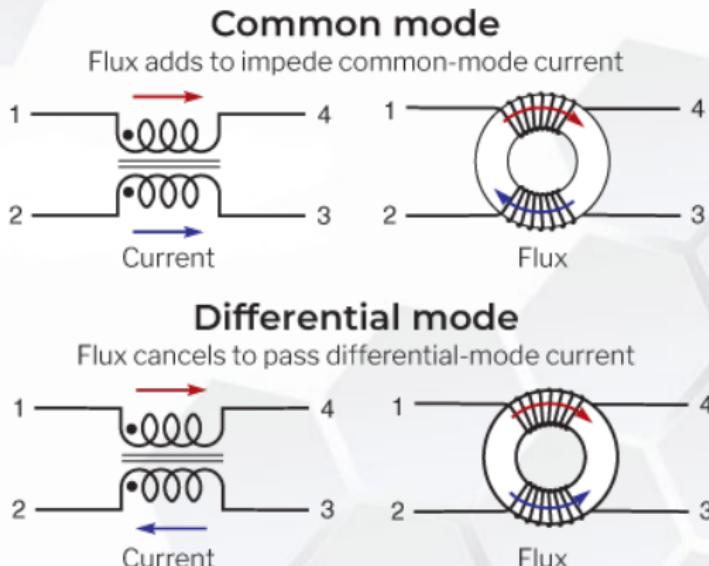


Essentiellement un transformateur

Permet d'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

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

Pourquoi filtrer les régulateurs?

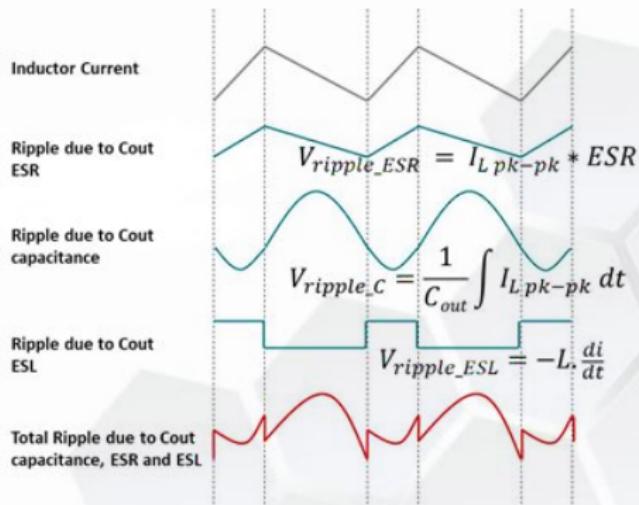


- Un régulateur linéaire n'a pas besoin d'être filtré
- Juste du bulk capacitance

Pourquoi filtrer les régulateurs?



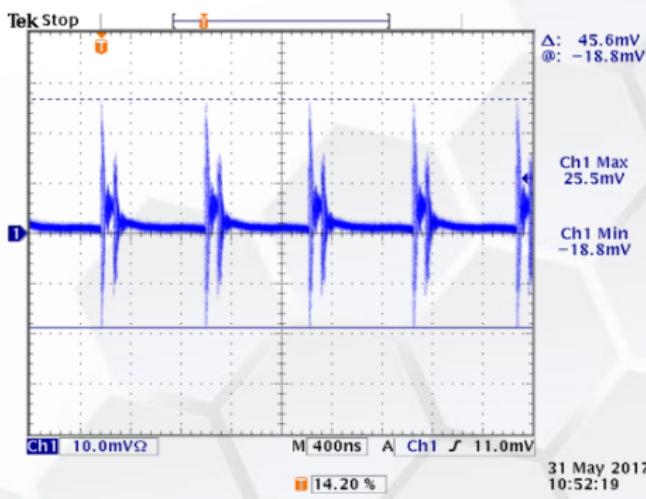
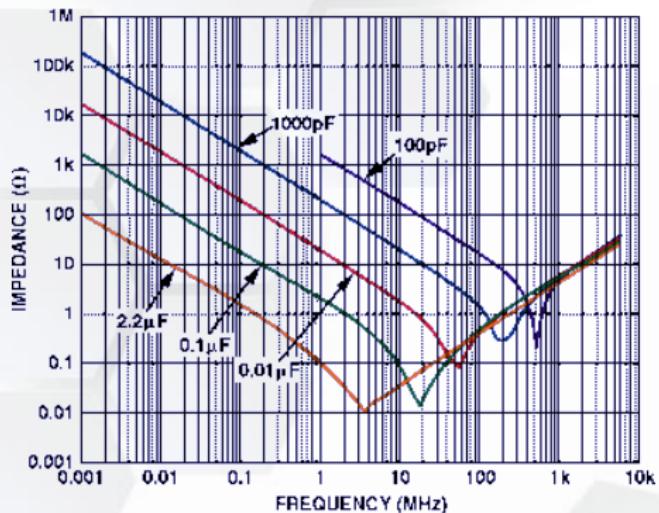
- Un régulateur linéaire n'a pas besoin d'être filtré
- Juste du bulk capacitance
- Un régulateur switching doit avoir du bulk et du découplage
- Il faut éliminer le bruit à la fréquence de switching
- Mettre des condensateurs dont la *fréquence de résonnance* est celle du switching.



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 vers le ground 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**

4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?

Comment concevoir un arbre d'alimentation?

- 1 Comment protéger une alimentation?
- 2 Quels sont les types de régulateurs?
- 3 Comment filtrer une alimentation?
- 4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?
 - Prise en compte de tous les consommateurs
 - Efficacité
 - Séquençage

Comment concevoir un arbre d'alimentation?

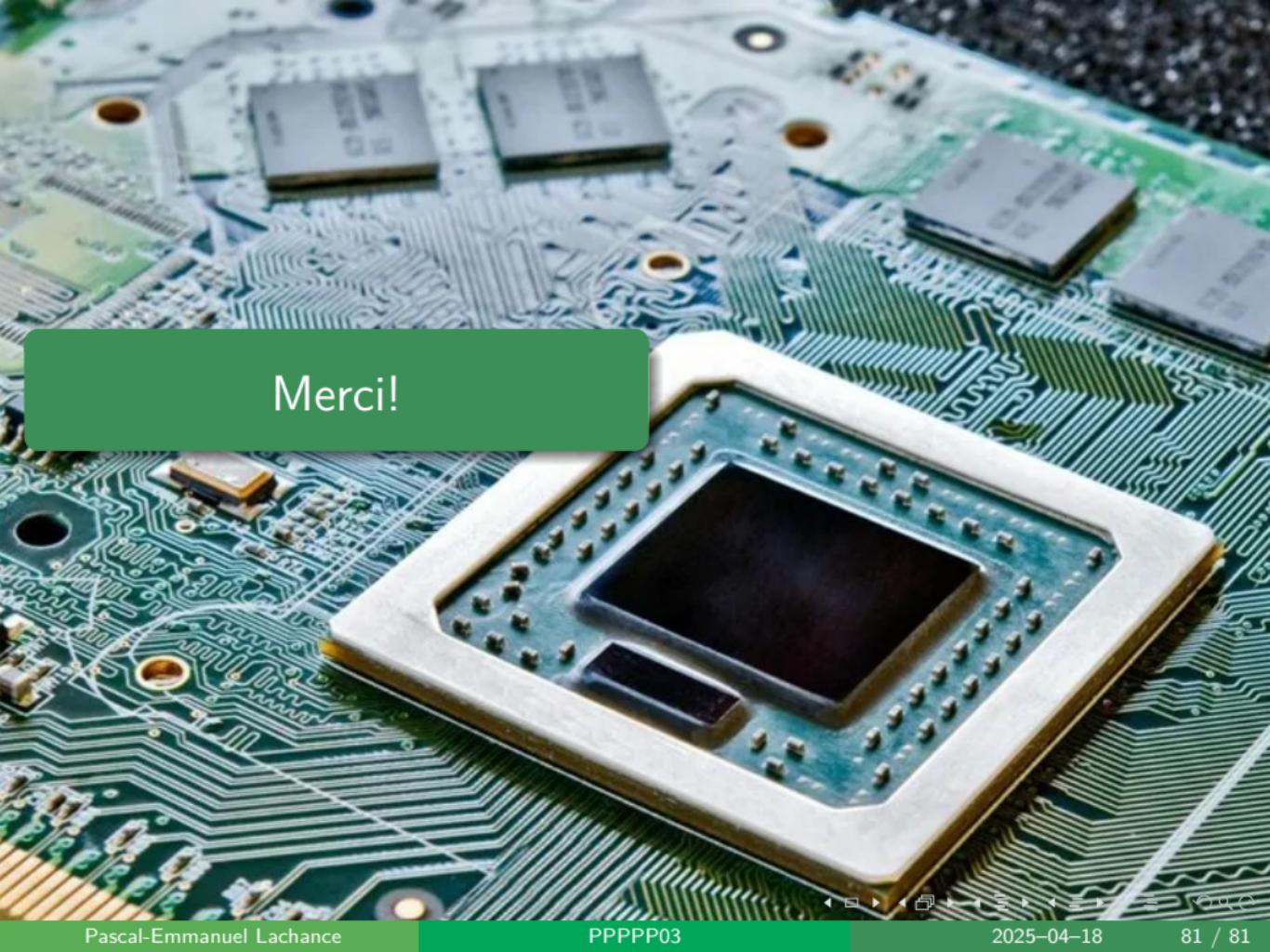
- 1 Comment protéger une alimentation?
- 2 Quels sont les types de régulateurs?
- 3 Comment filtrer une alimentation?
- 4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?
 - Prise en compte de tous les consommateurs
 - Efficacité
 - Séquençage

Comment concevoir un arbre d'alimentation?

- ① Comment protéger une alimentation?
- ② Quels sont les types de régulateurs?
- ③ Comment filtrer une alimentation?
- ④ Comment concevoir un arbre d'alimentation?
 - Prise en compte de tous les consommateurs
 - **Efficacité**
 - Séquençage

Comment concevoir un arbre d'alimentation?

- 1 Comment protéger une alimentation?
- 2 Quels sont les types de régulateurs?
- 3 Comment filtrer une alimentation?
- 4 Comment concevoir un arbre d'alimentation?
 - Prise en compte de tous les consommateurs
 - Efficacité
 - Séquençage



Merci!