



UNIVERSITÉ DE
SHERBROOKE

PPPPP02

Qu'est-ce qu'une impédance?

Pascal-Emmanuel Lachance

- ① Qu'est-ce qu'une impédance?
- ② Pourquoi une impédance?
- ③ Où une impédance?
- ④ Quand une impédance?
- ⑤ Comment une impédance?
- ⑥ Qui une impédance?



Qu'est-ce qu'une impédance?

1 Qu'est-ce qu'une impédance?

- Réactance
- Réactance Capacitive
- Réactance Inductive
- Filtres
- Ligne de transmission

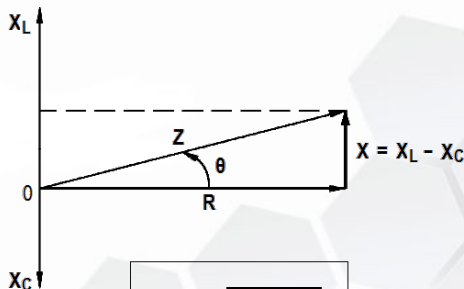
2 Pourquoi une impédance?

3 Comment une impédance?

La section suivante contient des
équations mathématiques

- Dénotté Z , en Ω
- Résistance électrique à une certaine fréquence
- Composé de:
 - Résistance (R)
 - Réactance Inductive (X_L)
 - Réactance Capacitive (X_C)
- Les réactances s'opposent sur l'axe imaginaire!

$$V = ZI$$



$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Qu'est-ce qu'une impédance?

1 Qu'est-ce qu'une impédance?

- Réactance
 - Réactance Capacitive
 - Réactance Inductive
- Filtres
- Ligne de transmission

2 Pourquoi une impédance?

- Réflexions sur un circuit ouvert
- Réflexions sur un circuit ouvert 2
- Que se passe-t'il?
- Donc, pourquoi une impédance?

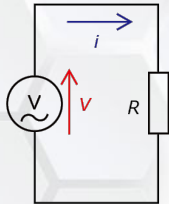
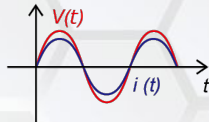
3 Comment une impédance?

- Opposition à un courant alternatif
 - Posé par une bobine (Réactance Inductive X_L)
 - Posé par un condensateur (Réactance Capacitive X_C)
- Pas de dissipation en chaleur!
- Emmagasine l'énergie et la relâche plus tard
 - Champ magnétique (X_L)
 - Champ électrique (X_C)
- Entraîne un changement de phase dans un signal!

Différence de phase entre réactances

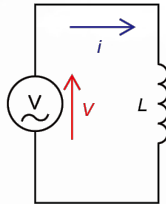
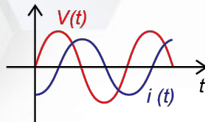


Voltage and current are in phase



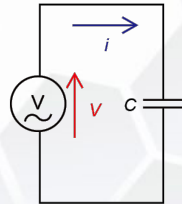
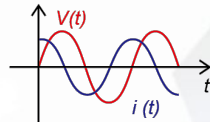
$$i(t) = \frac{V_{max}}{R} \sin \omega t$$

The current lags behind the voltage by a phase of 90°



$$i(t) = \frac{V_{max}}{\omega L} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

The current leads the voltage by a phase of 90°



$$i(t) = \omega C V_{max} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

- S'oppose à tout courant
- Mauvais conducteur d'électricité
- Friction / Restriction
- Dissipe l'énergie en chaleur
- *Fonctionne pareillement à toutes fréquences*

$$V = RI$$



Qu'est-ce qu'une impédance?

1 Qu'est-ce qu'une impédance?

- Réactance
- **Réactance Capacitive**
- Réactance Inductive
- Filtres
- Ligne de transmission

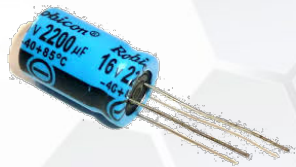
2 Pourquoi une impédance?

- Réflexions sur un circuit ouvert
- Réflexions sur un circuit ouvert 2
- Que se passe-t'il?
- Donc, pourquoi une impédance?

3 Comment une impédance?

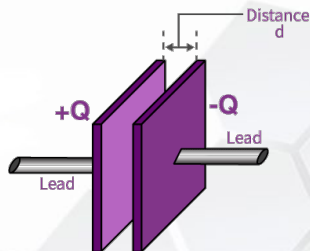
- S'oppose aux changements de tension
- Ne conduit pas en DC
- Emmagasine l'énergie dans les champs électriques
- Charges accumulées sur les plaques du condensateur
- *Conduit plus à des fréquences plus élevées*

$$Q = CV$$



- Deux plaques espacées, avec un matériau entre les plaques
- Des charges s'accumulent entre les plaques
- Différence de potentiel entre les plaques
- Énergie emmagasinée dans les champs électriques

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$



- Quantité de Charge = Capacitance * Tension
- Dérivée selon le temps
- Ampère = Coulomb / Seconde
- Plus de courant passe au travers du cap quand changements de tension
- Plus un changement est rapide ($\frac{dV}{dt}$), plus de courant passe

$$Q = CV$$

$$\frac{dQ}{dt} = C \frac{dV}{dt}$$

$$I = C \frac{dV}{dt}$$

Posons $V = \sin(2\pi t) = e^{j2\pi ft} = e^{j\omega t}$

$$I = C \cdot \frac{de^{j\omega t}}{dt}$$

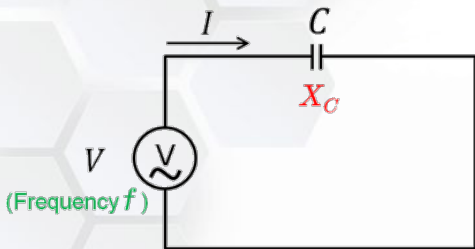
$$I = Cj\omega \cdot e^{j\omega t}$$

$$I = Cj\omega \cdot V$$

$$\frac{V}{I} = \frac{1}{Cj\omega}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

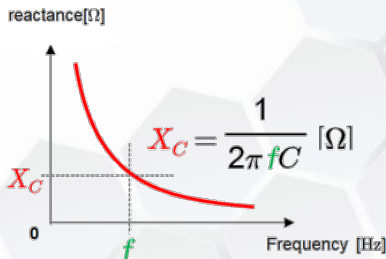
Capacitive reactance : X_C



C [F] : Capacitance

V [V] : Alternating Voltage

I [A] : Alternating Current



$$X_C \propto 1/f$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{V}{I}$$

$$I = \frac{V}{X_C}$$

$$I = V \cdot \omega C = V \cdot 2\pi fC$$

$$I = V \cdot 2\pi fC$$

Qu'est-ce qu'une impédance?

1 Qu'est-ce qu'une impédance?

- Réactance
- Réactance Capacitive
- **Réactance Inductive**
- Filtres
- Ligne de transmission

2 Pourquoi une impédance?

- Réflexions sur un circuit ouvert
- Réflexions sur un circuit ouvert 2
- Que se passe-t'il?
- Donc, pourquoi une impédance?

3 Comment une impédance?

- S'oppose aux changements de courant
- Conduit en DC
- Emmagasine l'énergie dans les champs magnétique
- *Conduit plus à des basses fréquences*

$$L = \frac{V \cdot dt}{I}$$

- Bobine de fil enroulé autour d'un matériau
- Flux magnétique généré par un $\frac{dI}{dt}$ dans le fil
- Flux magnétique fait circuler du courant dans les conducteurs autour
 - *Self-induction*
- Énergie emmagasinée dans les champs magnétiques

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2 A}{l}$$

- Inductance = Tension / taux de change du courant
- Déjà dérivée selon le temps
- Plus de tension aux bornes de l'inductance quand changement de courant
- Plus un changement est rapide ($\frac{dl}{dt}$), plus la tension monte.

$$L = \frac{V \cdot s}{I}$$

$$V = L \frac{dl}{dt}$$

Posons $I = \sin(2\pi t) = e^{j2\pi ft} = e^{j\omega t}$

$$V = L \cdot \frac{de^{j\omega t}}{dt}$$

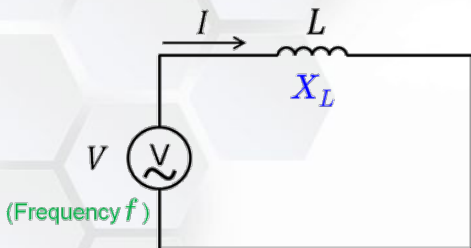
$$V = Lj\omega \cdot e^{j\omega t}$$

$$V = Lj\omega \cdot I$$

$$\frac{V}{I} = Lj\omega$$

$$X_L = 2\pi fL$$

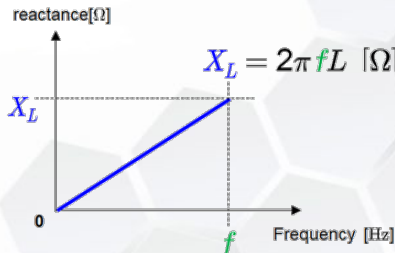
Inductive reactance : X_L



L [H] : Inductance

V [V] : Alternating Voltage

I [A] : Alternating Current

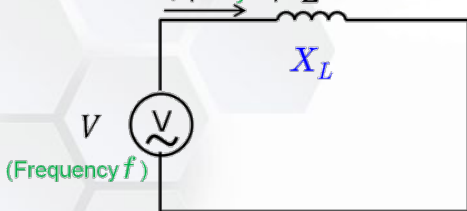


$$X_L \propto f$$

$$V = I \cdot 2\pi fL$$

Inductive circuit current

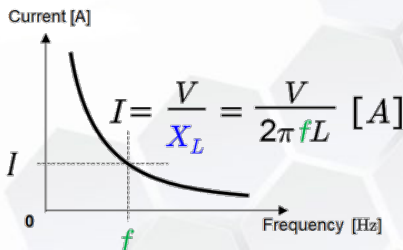
$$I = V / (2\pi fL)$$



L [H] : Inductance

V [V] : Alternating Voltage

I [A] : Alternating Current



$$I \propto 1/f$$

Qu'est-ce qu'une impédance?

1 Qu'est-ce qu'une impédance?

- Réactance
- Réactance Capacitive
- Réactance Inductive
- **Filtres**
- Ligne de transmission

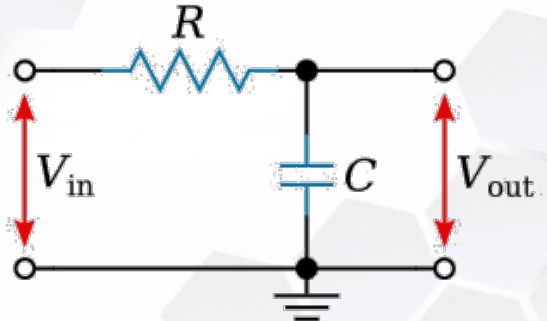
2 Pourquoi une impédance?

- Réflexions sur un circuit ouvert
- Réflexions sur un circuit ouvert 2
- Que se passe-t'il?
- Donc, pourquoi une impédance?

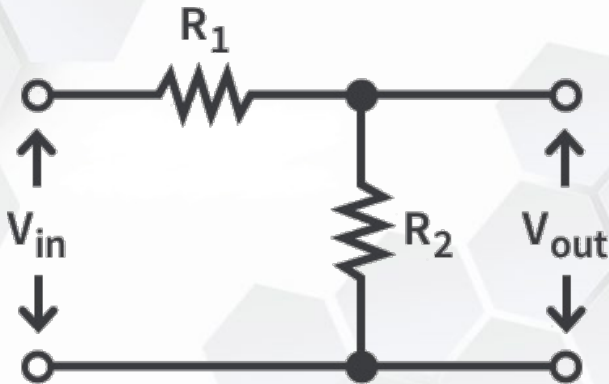
3 Comment une impédance?

$$-3\text{dB} = \frac{1}{2} \text{ puissance}$$

$$R = \frac{1}{2\pi fC}$$



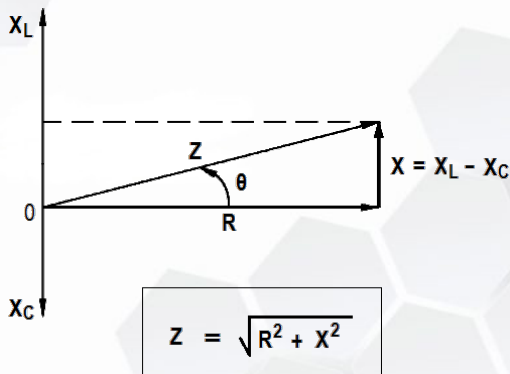
$$R = \frac{1}{2\pi fC}$$
$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$



- Amplitude défini la "résistance" réelle du circuit
- Phase défini le décalage du courant par rapport à la tension
- Power Factor

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$X_L = 2\pi fL$$



Qu'est-ce qu'une impédance?

1 Qu'est-ce qu'une impédance?

- Réactance
- Réactance Capacitive
- Réactance Inductive
- Filtres
- Ligne de transmission

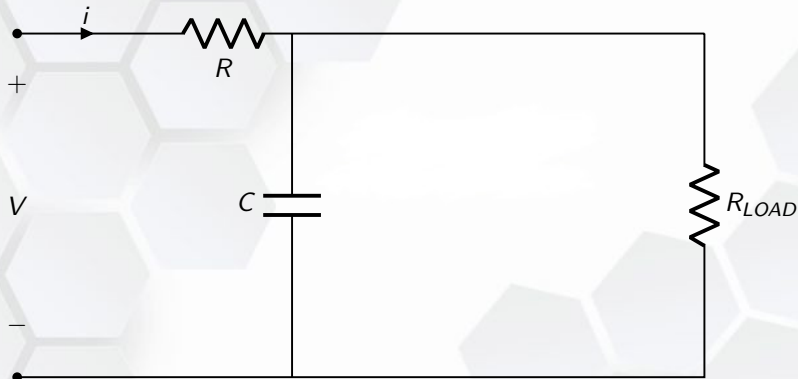
2 Pourquoi une impédance?

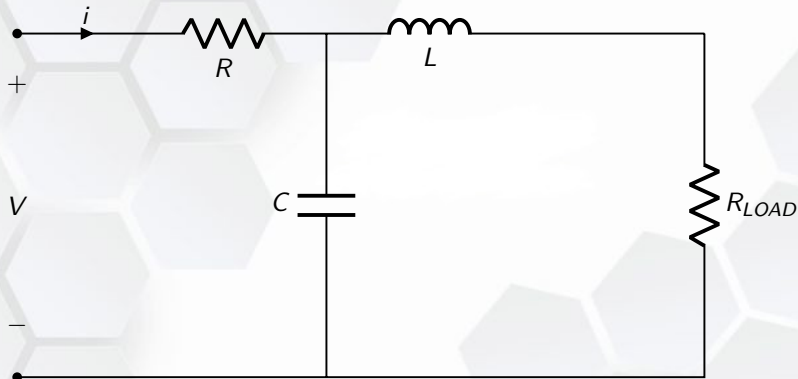
- Réflexions sur un circuit ouvert
- Réflexions sur un circuit ouvert 2
- Que se passe-t'il?
- Donc, pourquoi une impédance?

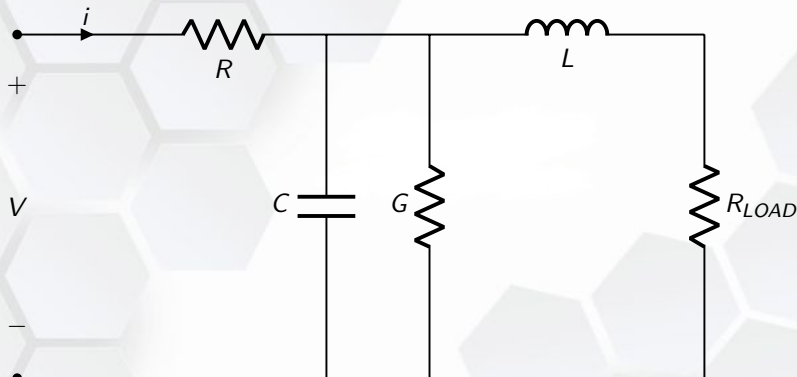
3 Comment une impédance?

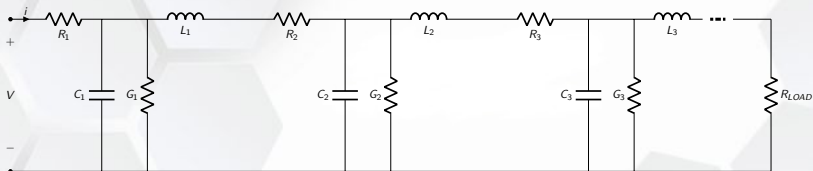




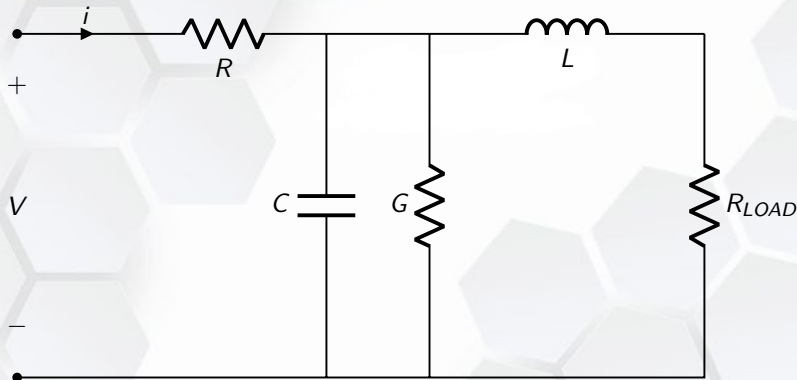








$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

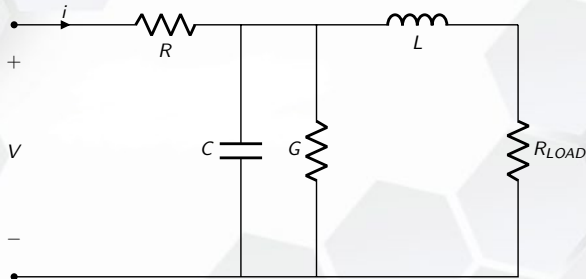


$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

$$G \rightarrow 0$$
$$R \ll \omega L$$

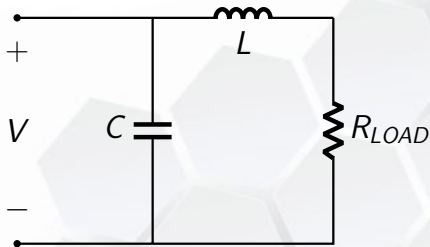
$$Z_0 = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C}}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$



$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

- Ne dépend pas de la fréquence
- Tout circuit a un Z_0
- Ratio tension/courant se déplaçant



Pourquoi une impédance?

1 Qu'est-ce qu'une impédance?

2 Pourquoi une impédance?

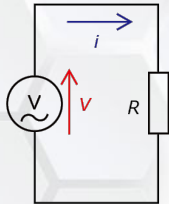
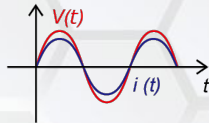
- Réflexions sur un circuit ouvert
- Réflexions sur un circuit ouvert 2
- Que se passe-t'il?
- Donc, pourquoi une impédance?

3 Comment une impédance?

Différence de phase entre réactances

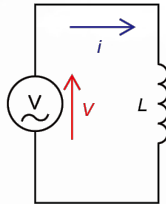
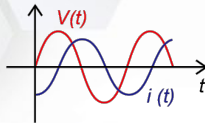


Voltage and current are in phase



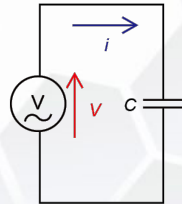
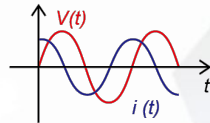
$$i(t) = \frac{V_{max}}{R} \sin \omega t$$

The current lags behind the voltage by a phase of 90°



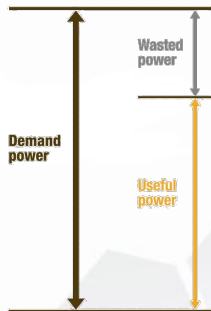
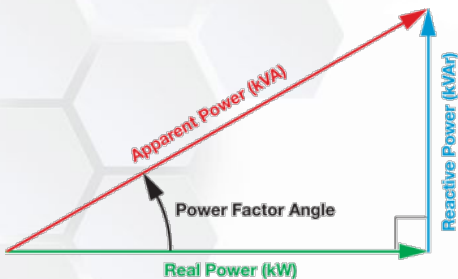
$$i(t) = \frac{V_{max}}{\omega L} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

The current leads the voltage by a phase of 90°



$$i(t) = \omega C V_{max} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

- Ratio du *vrai* power (kW) au power *apparent* (kVA).
- Avec impédance imaginaire vient puissance imaginaire
- Seule la puissance réelle est utile



Pourquoi une impédance?

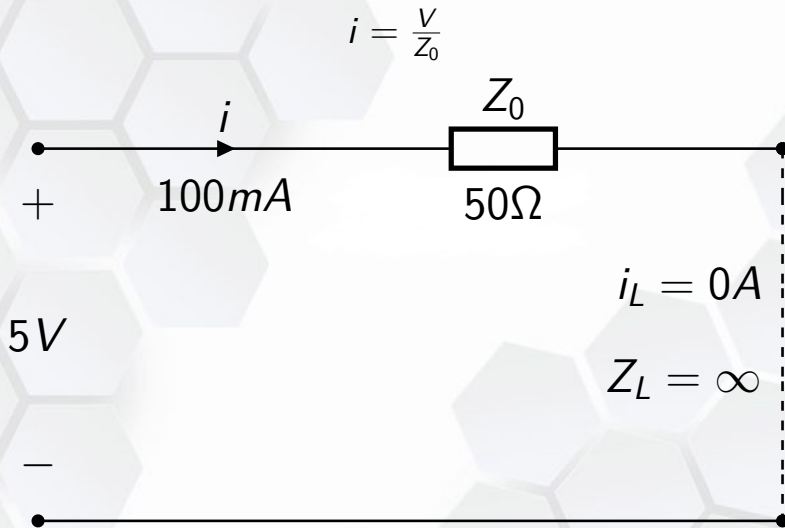
1 Qu'est-ce qu'une impédance?

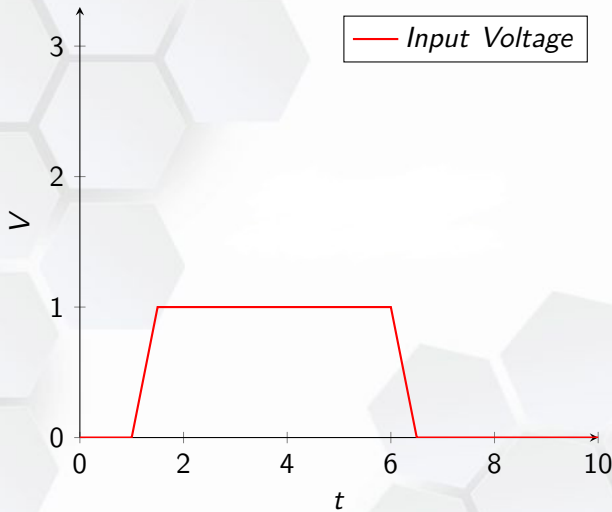
- Réactance
- Réactance Capacitive
- Réactance Inductive
- Filtres
- Ligne de transmission

2 Pourquoi une impédance?

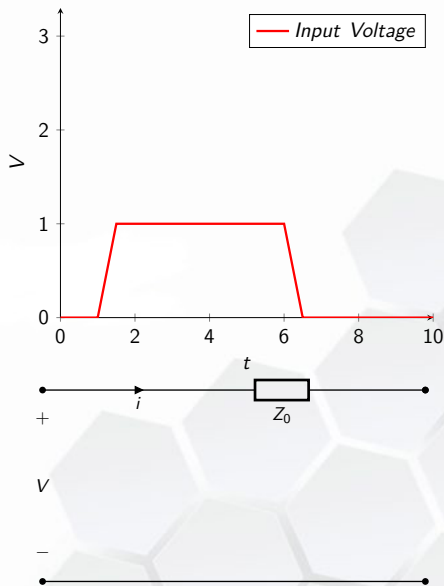
- **Réflexions sur un circuit ouvert**
- Réflexions sur un circuit ouvert 2
- Que se passe-t'il?
- Donc, pourquoi une impédance?

3 Comment une impédance?

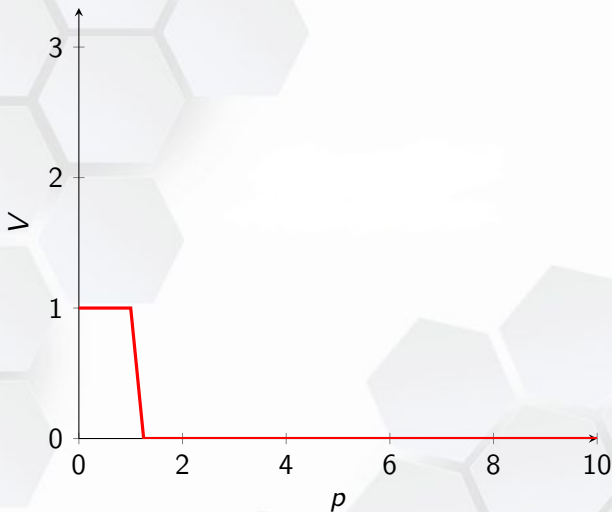




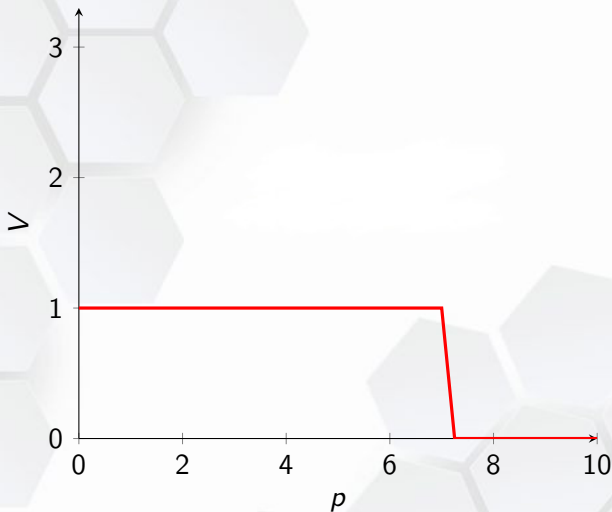
- Impulsion très courte
- (Impulsion fini avant réflexion)
- Circuit ouvert au bout
- Signal réfléchi avec 2x amplitude



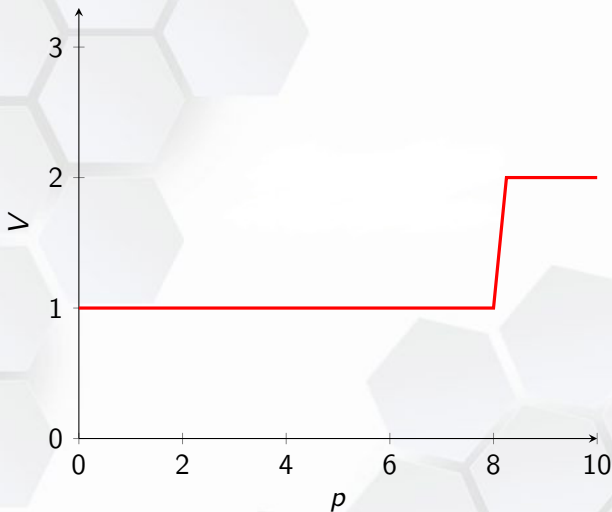
$t = 2$



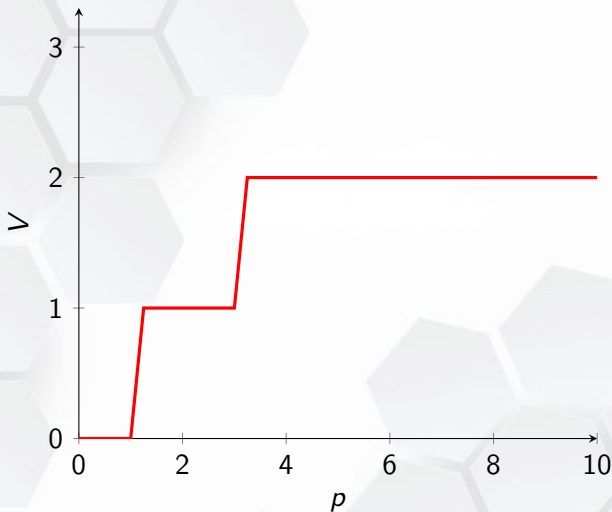
$t = 3$



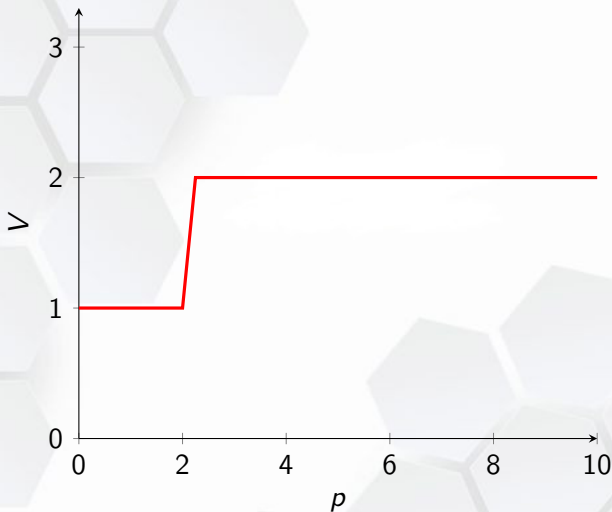
$t = 4$



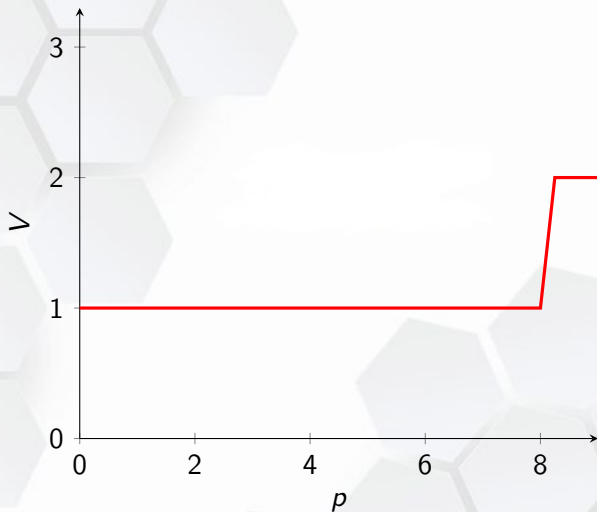
$t = 7$



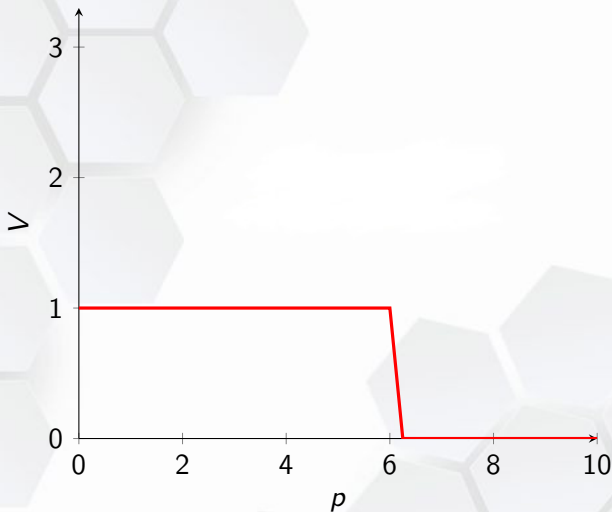
$t = 8$



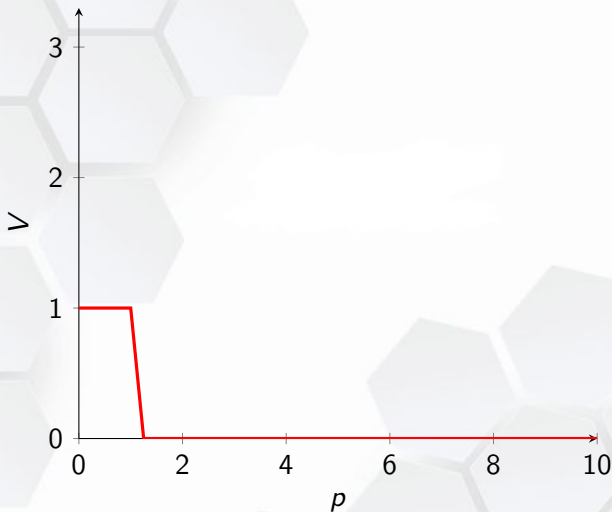
$t = 10$

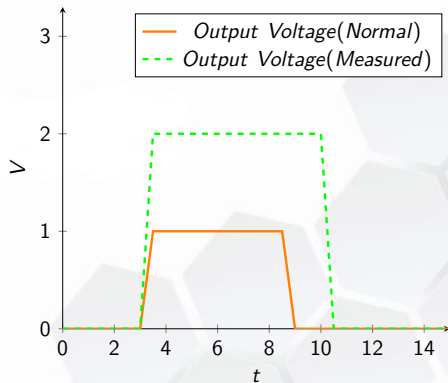
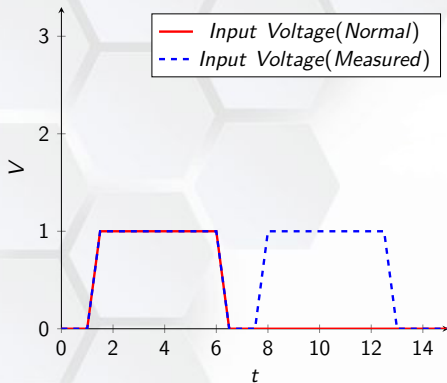


$t = 10$

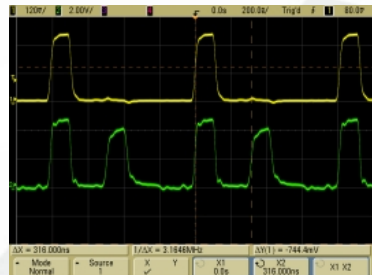


$t = 11$





- Oscilloscope à l'entrée
- Réflexion en phase avec signal
- Pulse suivi d'un autre
- Délai = temps aller-retour du signal
- Peut endommager la load



Pourquoi une impédance?

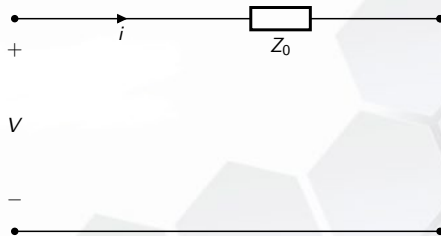
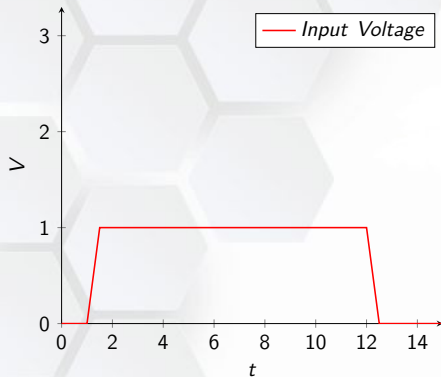
1 Qu'est-ce qu'une impédance?

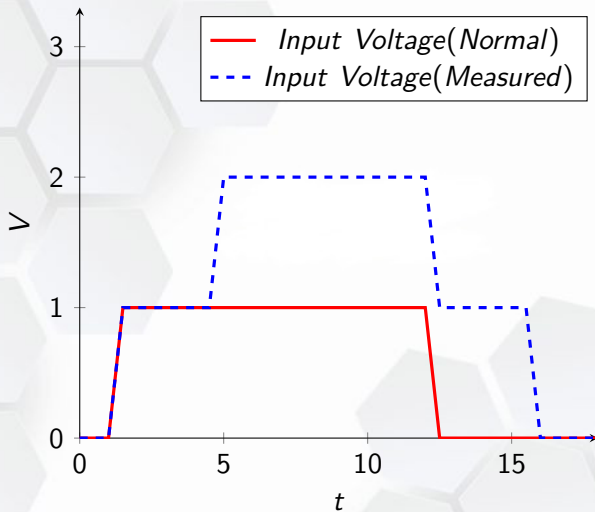
- Réactance
- Réactance Capacitive
- Réactance Inductive
- Filtres
- Ligne de transmission

2 Pourquoi une impédance?

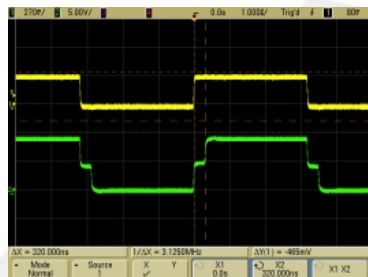
- Réflexions sur un circuit ouvert
- **Réflexions sur un circuit ouvert 2**
- Que se passe-t'il?
- Donc, pourquoi une impédance?

3 Comment une impédance?





- Oscilloscope à l'entrée
- Pulse plus long
- Délai de propagation μs j pulse
- Peut endommager la load
- Peut endommager la source



Pourquoi une impédance?

1 Qu'est-ce qu'une impédance?

- Réactance
- Réactance Capacitive
- Réactance Inductive
- Filtres
- Ligne de transmission

2 Pourquoi une impédance?

- Réflexions sur un circuit ouvert
- Réflexions sur un circuit ouvert 2
- Que se passe-t'il?
- Donc, pourquoi une impédance?

3 Comment une impédance?

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = -\frac{I_r}{I_i}$$

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = -\frac{I_r}{I_i}$$

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

$$Z_L = Z_0$$

$$\Gamma = \frac{0}{Z_L + Z_0}$$

$$\Gamma = 0$$

$$V_r = 0$$

Pas de réflexion!

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = -\frac{I_r}{I_i}$$

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

$$Z_L = Z_0$$

$$\Gamma = \frac{0}{Z_L + Z_0}$$

$$\Gamma = 0$$

$$V_r = 0$$

Pas de réflexion!

$$Z_L = \infty$$

$$\Gamma = \frac{\infty}{\infty}$$

$$\Gamma = 1$$

$$V_r = V_i$$

Même tension réfléchi
que rentrante

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = -\frac{I_r}{I_i}$$

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

$$Z_L = Z_0$$

$$\Gamma = \frac{0}{Z_L + Z_0}$$

$$\Gamma = 0$$

$$V_r = 0$$

Pas de réflexion!

$$Z_L = \infty$$

$$\Gamma = \frac{\infty}{\infty}$$

$$\Gamma = 1$$

$$V_r = V_i$$

Même tension réfléchi
que rentrante

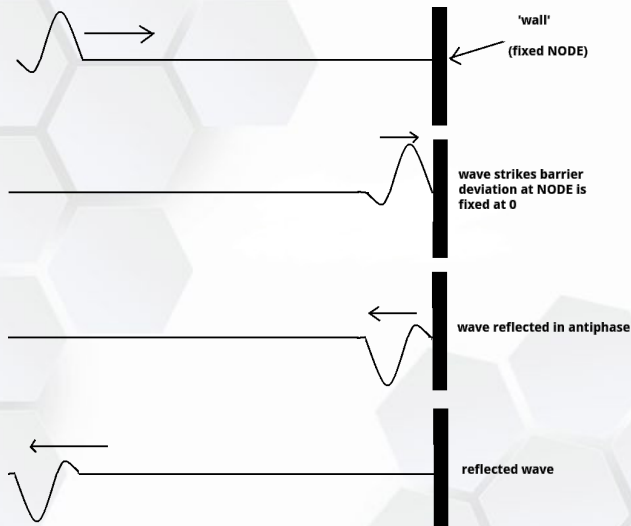
$$Z_L = 0$$

$$\Gamma = -\frac{Z_0}{Z_0}$$

$$\Gamma = -1$$

$$V_r = -V_i$$

Tension réfléchi
négative?



Pourquoi une impédance?

1 Qu'est-ce qu'une impédance?

- Réactance
- Réactance Capacitive
- Réactance Inductive
- Filtres
- Ligne de transmission

2 Pourquoi une impédance?

- Réflexions sur un circuit ouvert
- Réflexions sur un circuit ouvert 2
- Que se passe-t'il?
- Donc, pourquoi une impédance?

3 Comment une impédance?

Comment une impédance?

- 1 Qu'est-ce qu'une impédance?
- 2 Pourquoi une impédance?
- 3 **Comment une impédance?**



Merci!