



Compétences visées:

- Connaître le modèle équivalent (de Thévenin, dénomination non exigible) d'un générateur de sortie du générateur est égale à l'impédance d'entrée du récepteur.
- Savoir que l'adaptation d'impédance en puissance est réalisée lorsque l'impédance de sortie du générateur est égale à l'impédance d'entrée du récepteur.
- Savoir que l'adaptation d'impédance en tension est réalisée lorsque l'impédance de sortie du générateur est négligeable devant l'impédance d'entrée du récepteur.

Exercice

1. Associer des résistances
2. Montage à ampli-op
3. Démonstration de l'adaptation en tension
4. Adaptation ou non ?
5. Circuit LC
6. Adaptation d'impédance en puissance

Table des matières

I	Rappels de première année	3
A	Association de dipôles	3
B	Pont diviseur de tension	4
B-1	Un système quadripôle	4
B-2	Savoir reconnaître un pont diviseur de tension	5
B-3	Etude du pont diviseur de tension	5
II	Modèle de Thévenin	6
III	Adaptation d'impédance en tension	6
A	Impédance de sortie et d'entrée	6
B	Adaptation d'impédance	7
IV	Adaptation d'impédance en puissance	10
A	Un peu d'histoire... vers la création des premiers moteurs électriques?	10
B	Condition d'adaptation en puissance	10

I Rappels de première année

A Association de dipôles

Propriété : Série

Dans une association de résistances en série, plusieurs résistances sont connectées l'une après l'autre, de sorte que le courant qui traverse chacune d'entre elles est le même.

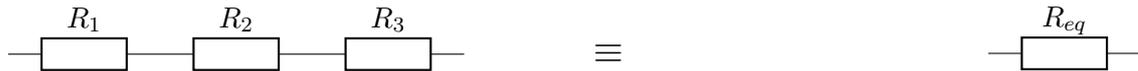


FIGURE 1 – Résistances en série

La résistance équivalente R_{eq} pour des résistances en série est la somme des valeurs individuelles des résistances :

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Propriété : Dérivation

Dans une association de résistances en parallèle, les extrémités de toutes les résistances sont connectées entre elles.



FIGURE 2 – Résistances en parallèle

La résistance équivalente R_{eq} pour des résistances en parallèle est calculée en utilisant la formule inverse de la somme des inverses des résistances individuelles :

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Exercice 1 Associer des résistances (★)

Q1 Calculer la valeur de la résistance équivalente à l'ensemble du système.

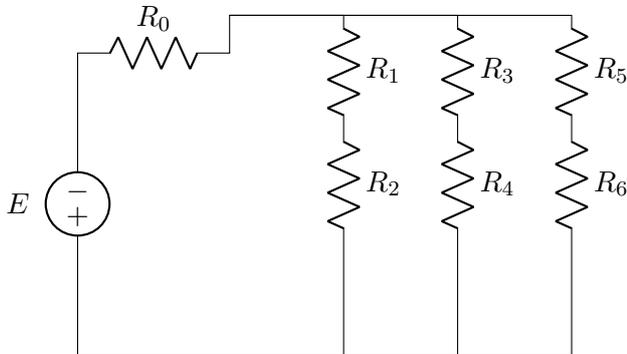


FIGURE 3 – Schéma du circuit à l'étude

Données

$$R_0 = 0,5\Omega, R_1 = 1\Omega,$$

$$R_2 = 2\Omega, R_3 = 3\Omega, R_4 = 4\Omega,$$

$$R_5 = 5\Omega, R_6 = 6\Omega$$

B Pont diviseur de tension

B-1 Un système quadripôle

Définition : Quadripôle

Un quadripôle est un système comportant quatre bornes de liaisons avec l'extérieur.

- deux bornes reliées au signal d'entrée.
- deux bornes fournissant un signal de sortie.

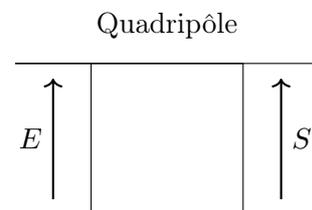
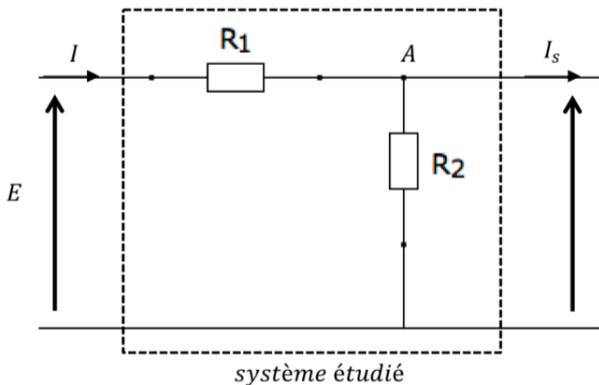


FIGURE 4 – Pont diviseur de tension

B-2 Savoir reconnaître un pont diviseur de tension

Voici le circuit que l'on va étudier.



Le système est constitué de deux conducteurs ohmiques dont les résistances respectives sont R_1 et R_2 .
 S La tension E est la tension aux bornes de R_1 et R_2 .
 La tension S est la tension aux bornes de R_2 .

Remarque

En mesurant l'intensité dans les différentes branches, nous remarquons qu'elle est identique dans la branche de R_1 et dans la branche de R_2 . Ces conducteurs ohmiques sont donc branchés en série.

B-3 Etude du pont diviseur de tension

Propriété : Formule du Pont diviseur de Tension

La formule littérale qui permet de calculer la tension en sortie du quadripôle est :

$$S = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times E$$

Exercice 2 Montage à ampli-op (★ ★ ★)

Le schéma représenté ci-contre est issu d'une note d'application Texas Instrument.

- Q1** Repérer en le repassant en rouge, le système pont diviseur de tension.
- Q2** Quelle doit être la valeur de la tension sur la ligne SHUTDOWN pour obtenir $V_{CM} = 750 \text{ mV}$?
- Q3** On fixe maintenant SHUTDOWN = 3,6 V. En déduire la valeur de la nouvelle résistance R_{15} qui permet d'obtenir $V_{CM} = 750 \text{ mV}$.

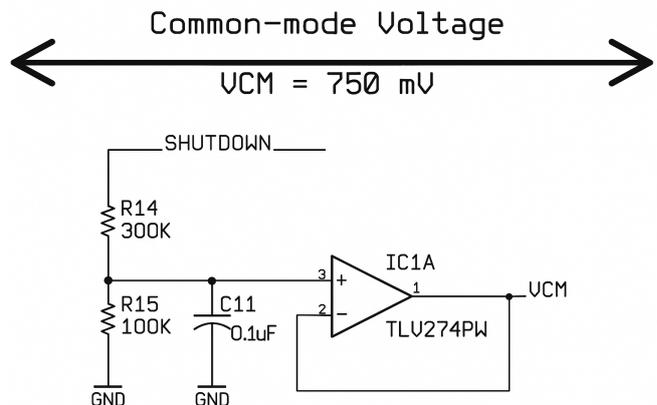


FIGURE 5 – Note application TI

II Modèle de Thévenin

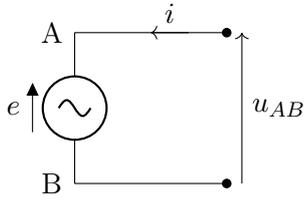
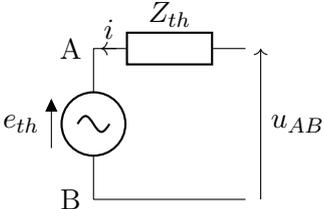
Générateur idéal de tension	Modèle de Thévenin
	
<p>Expression de la tension délivrée par le dipôle actif :</p> $u_{AB} = e$	<p>Expression de la tension délivrée par ce générateur :</p> $u_{AB} = e_{th} - Z_{th} \times i$
<p>Quel que soit l'intensité i débitée par le générateur, la tension u_{AB} est toujours la même : $u_{AB} = e$</p>	<p>Si $i = 0$, alors le générateur réel délivre une tension $u_{AB} = e_{th}$. Mais plus l'intensité i débitée augmente, plus la tension u_{AB} diminue.</p>

FIGURE 6 – Modèle de Thévenin

Remarque

Très généralement l'impédance de sortie, Z_{th} est de 50Ω .

III Adaptation d'impédance en tension

A Impédance de sortie et d'entrée

Définition : Impédance de sortie et d'entrée

L'**impédance de sortie** c'est la résistance (ou impédance) "interne" de la source, c'est-à-dire ce qui limite la capacité du générateur à fournir du courant.

L'**impédance d'entrée** est la manière dont le reste du circuit s'oppose au passage du courant.

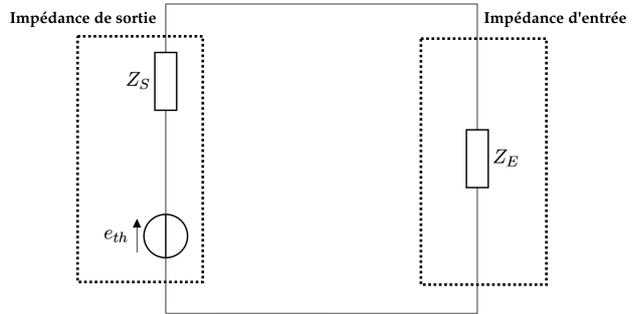


FIGURE 7 – Schéma simplifié

B Adaptation d'impédance

📖 Définition : Adaptation d'impédance en tension

On parle d'**adaptation d'impédance en tension** lorsque l'**impédance de sortie du générateur est négligeable devant l'impédance d'entrée du récepteur** :

$$Z_{\text{sortie}} \ll Z_{\text{entrée}}$$

🔗 Propriété : Conséquence de l'adaptation en tension

Si $Z_{\text{sortie}} \ll Z_{\text{entrée}}$, alors la tension aux bornes du récepteur est quasiment égale à celle du générateur :

$$V_{\text{récepteur}} \approx V_{\text{générateur}}$$

On minimise la chute de tension dans la source et on maximise la fidélité du signal transmis.

✎ Exercice 3 Démonstration de l'adaptation en tension (★★)

- La tension aux bornes du récepteur est notée u_E .
- Le courant dans la boucle est noté i .

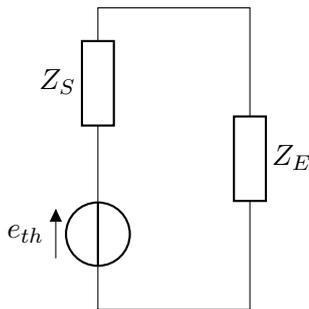


FIGURE 8 – Adaptation en tension

Q1 Appliquer la loi des mailles pour exprimer le courant i dans le circuit en fonction de e_{th} , Z_S et Z_E .

Q2 En déduire l'expression de la tension aux bornes du récepteur u_E , puis montrer qu'on peut l'écrire sous la forme :

$$u_E = \frac{Z_E}{Z_S + Z_E} \cdot e_{\text{th}}$$

Q3 Que se passe-t-il si $Z_E \gg Z_S$ concernant le dénominateur $Z_S + Z_E$?

Q4 Conclure sur la valeur approchée de u_E par rapport à e_{th} dans ce cas. Faire l'application numérique pour :

$$Z_S = 100 \, \Omega, \quad Z_E = 1 \, \text{M}\Omega, \quad e_{\text{th}} = 10 \, \text{V}$$

Q5 En quelques mots, conclure sur la condition à respecter pour qu'il y ait adaptation d'impédance en tension.

Remarque

Une bonne analogie est celle d'un **quai de métro** :

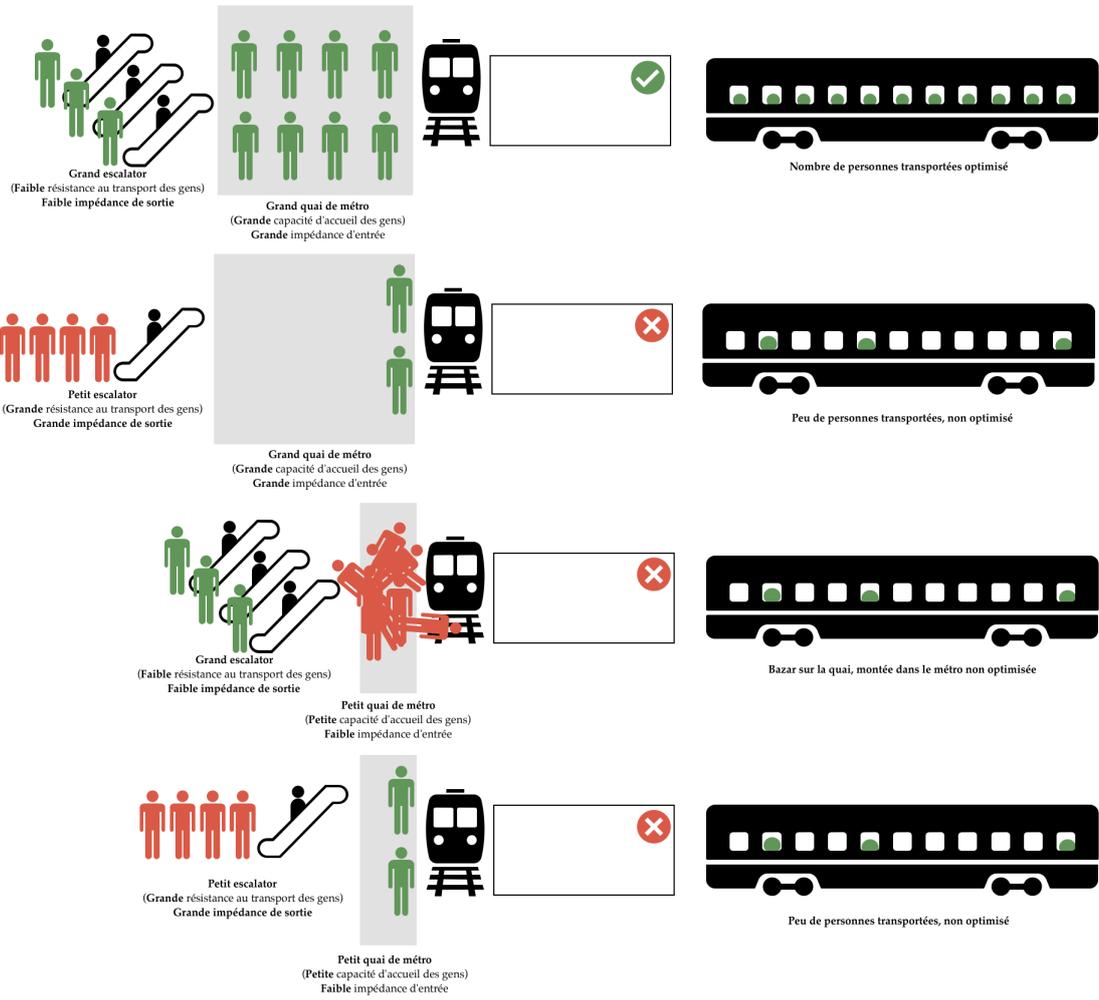


FIGURE 9 – Analogie quai de métro

Dans le premier cas, l'ensemble "escalator + quai de métro" fonctionne de manière optimisée, on dit qu'ils sont **adaptés**.

Exercice 4 Adaptation ou non ? (★)

Q1 Pour chaque situation, dire si l'adaptation d'impédance en tension est réalisée.

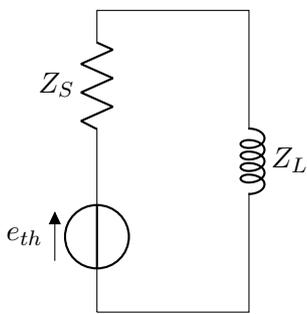
- $Z_{\text{sortie}} = 10 \Omega$, $Z_{\text{entrée}} = 1 \text{ k}\Omega$
- $Z_{\text{sortie}} = 100 \Omega$, $Z_{\text{entrée}} = 150 \Omega$
- $Z_{\text{sortie}} = 5 \Omega$, $Z_{\text{entrée}} = 20 \Omega$

✎ Exercice 5 Choix du bon récepteur (★)

Q1 Un générateur a une impédance de sortie de 75Ω . Parmi les récepteurs suivants, lequel assure une bonne adaptation en tension ?

- Récepteur A : $Z_{\text{entrée}} = 600 \Omega$
- Récepteur B : $Z_{\text{entrée}} = 90 \Omega$
- Récepteur C : $Z_{\text{entrée}} = 30 \Omega$

✎ Exercice 6 Circuit LC (★★)



Un générateur basses fréquences possède une impédance interne de $Z_S = 50 \Omega$. Il délivre un signal sinusoïdal alternatif de fréquence $f = 10 \text{ kHz}$ aux bornes d'une bobine idéale dont l'inductance est $L = 1,0 \text{ H}$.

Q1 Rappeler la formule littérale de l'impédance complexe d'une bobine idéale, notée Z_L .

Q2 Appliquer la formule du pont diviseur de tension au système étudié, pour aboutir à une formule littérale liant Z_L et Z_S .

Q3 Le technicien souhaite réaliser une adaptation d'impédances en tension (entre le GBF et la bobine) : Quelle condition doit-il respecter afin de réaliser cette adaptation ?

Q4 Déterminer la valeur de l'impédance de la bobine, notée Z_L , en ohm (Ω).

Q5 La condition permettant d'obtenir une adaptation d'impédances en tension est-elle respectée ici ?

Q6 Proposer une solution permettant de réaliser l'adaptation d'impédances en tension, sans changer de bobine idéale, ni de GBF.

IV Adaptation d'impédance en puissance

A Un peu d'histoire... vers la création des premiers moteurs électriques ?

Le **principe de maximisation du transfert de puissance** a été formulé au XIX^e siècle par **Moritz von Jacobi**. À ses débuts, ce principe a été mal interprété : on croyait qu'un moteur électrique alimenté par une batterie ne pourrait jamais dépasser 50 % de rendement, car la moitié de l'énergie serait forcément perdue dans la source.

En 1880, **Thomas Edison** et **Francis Upton** remettent en cause cette idée. Ils montrent qu'**obtenir un transfert de puissance maximal** ne signifie pas **atteindre un rendement maximal**. En effet, pour maximiser le rendement, l'impédance de la source doit être la plus faible possible afin de réduire les pertes internes.

Ils parviennent ainsi à un rendement de 90 %, prouvant que le moteur électrique peut être une alternative crédible aux machines thermiques.



FIGURE 11 – Mirtz Hermann Von Jacobi, *Wikipedia*

B Condition d'adaptation en puissance

Propriété : Adaptation en puissance

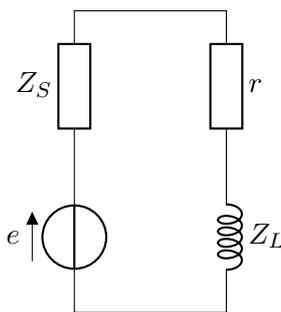
L'**adaptation d'impédance en puissance** est obtenue lorsque l'impédance de sortie du générateur est **égale** au conjugué de l'impédance d'entrée du récepteur :

$$Z_S = Z_E^*$$

où Z_S est l'impédance complexe du générateur, et Z_E celle du récepteur.

Exercice 7

Adaptation d'impédance en puissance (★★)



Un générateur basses fréquences possède une impédance interne de $Z_S = 50 \Omega$. Il délivre un signal sinusoïdal alternatif de fréquence $f = 10 \text{ kHz}$ aux bornes d'une bobine réelle dont l'inductance est $L = 1,0 \text{ H}$ et la résistance $r = 25 \Omega$.

Q1 Déterminer l'expression littérale de l'impédance complexe équivalente Z_{eq} de la bobine réelle.

Q2 Le technicien souhaite réaliser une adaptation d'impédances en puissance (entre le GBF et la bobine). Quelle condition doit-il respecter afin de réaliser

FIGURE 12 – Circuit RL cette adaptation ?

Q3 Déterminer la valeur de l'impédance de la bobine réelle, notée Z_{eq} , en ohm (Ω).

Q4 La condition permettant d'obtenir une adaptation d'impédances en puissance est-elle respectée ici ?

Q5 Déterminer la valeur de l'inductance L permettant d'obtenir une adaptation d'impédances en puissance.