

**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.

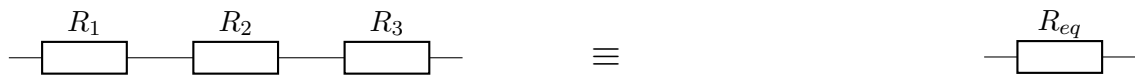


FIGURE 1 – Résistances en série

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.

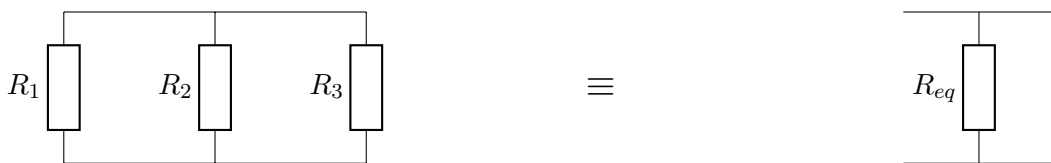


FIGURE 2 – Résistances en parallèle

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.

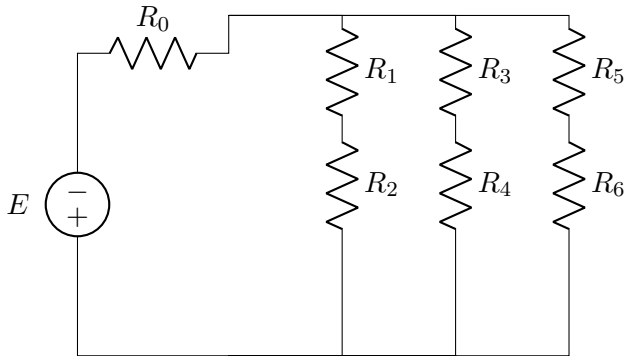


FIGURE 3 – Schéma du circuit à l'étude

☰ Données

$$R_0 = 0,5\Omega, \quad R_1 = 1\Omega, \\ R_2 = 2\Omega, \quad R_3 = 3\Omega, \quad R_4 = 4\Omega, \\ R_5 = 5\Omega, \quad R_6 = 6\Omega$$

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.

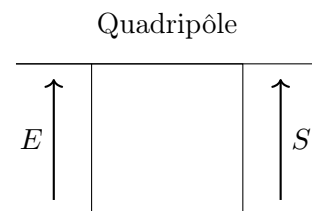
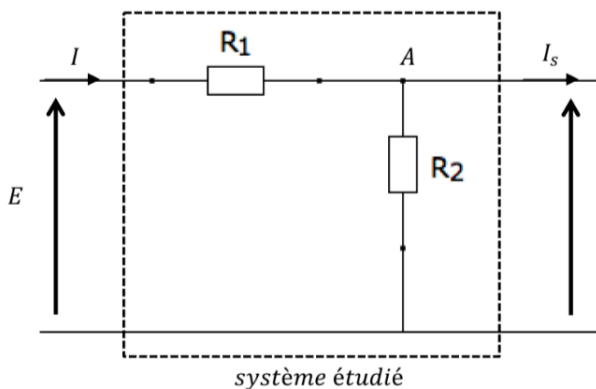


FIGURE 4 – Pont diviseur de tension

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 $\text{SHUTDOWN} = 3,6 \text{ V}$. En déduire la valeur de la nouvelle résistance R_{15} qui permet d'obtenir $V_{CM} = 750 \text{ mV}$.

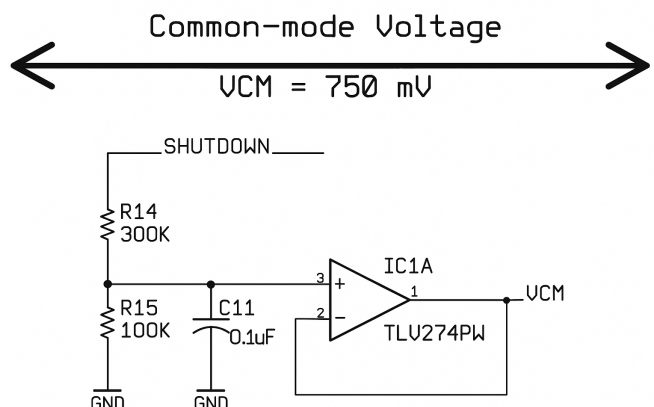


FIGURE 5 – Note application TI

II Modèle de Thévenin

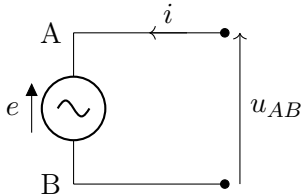
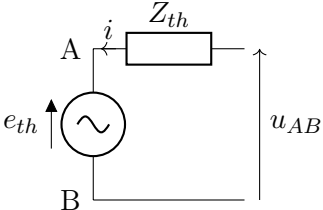
Générateur idéal de tension	Modèle de Thévenin
	
Expression de la tension délivrée par le dipôle actif : $u_{AB} = e$	Expression de la tension délivrée par ce générateur : $u_{AB} = e_{th} - Z_{th} \times i$
Quel que soit l'intensité i débitée par le générateur, la tension u_{AB} est toujours la même : $u_{AB} = e$	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.

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.

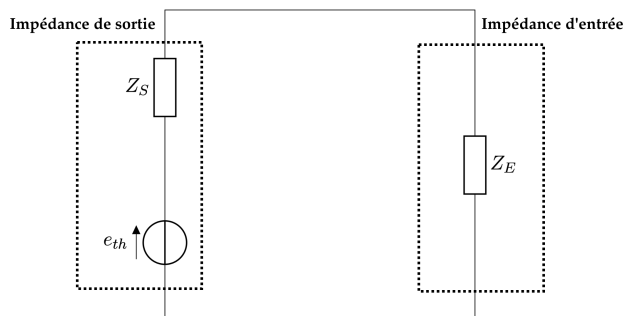


FIGURE 7 – Schéma simplifié

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 (★ ★)

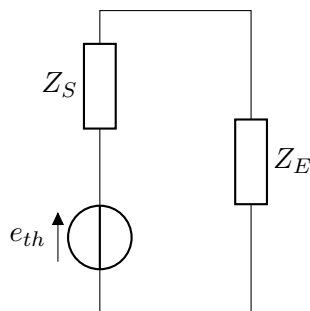


FIGURE 8 – Adaptation en tension

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

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** :

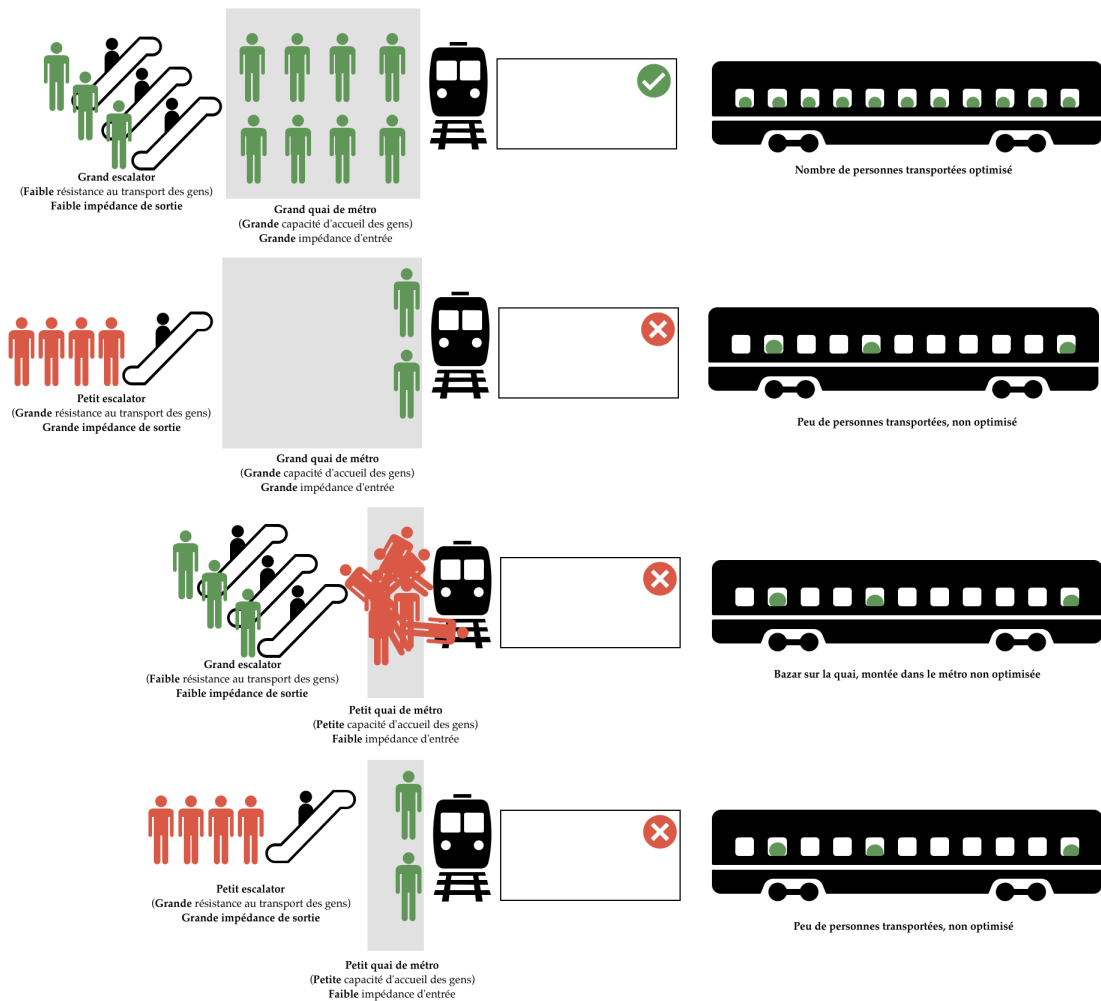


FIGURE 9 – Analogie quai de métro

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.

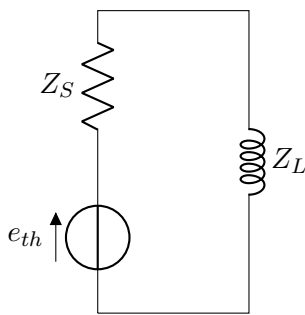
- $Z_{\text{sortie}} = 10 \, \Omega$, $Z_{\text{entrée}} = 1 \, \text{k}\Omega$
- $Z_{\text{sortie}} = 100 \, \Omega$, $Z_{\text{entrée}} = 150 \, \Omega$
- $Z_{\text{sortie}} = 5 \, \Omega$, $Z_{\text{entrée}} = 20 \, \Omega$

✎ 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 :

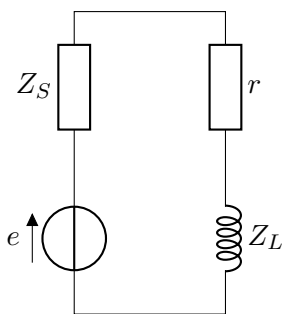
$$Z_S = Z_E^*$$

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.