

# L ' ADAPTATION D ' IMPEDANCE

## 1) Rappels sur les dipôles générateurs

### a) Générateurs parfaits

En électricité, le courant électrique est fourni par un système, système qu'on désigne par l'appellation **générateur**.

Il faut à un générateur deux raccordements pour provoquer une différence de potentiel (ddp) ou faire circuler un courant d'un de ses pôles vers l'autre.

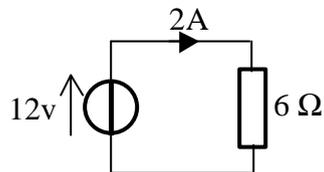
Ce système générateur à deux pôles prend donc l'appellation de **dipôle générateur**.

On distingue deux types principaux de générateurs :

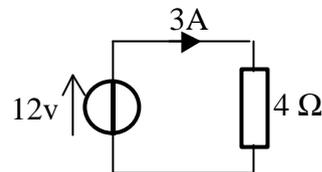
Les **générateurs de tension, ou sources de tension** qui font apparaître entre leurs deux pôles une ddp constante, quelle que soit l'intensité de courant qu'ils ont à fournir.

Exemples :

a)



b)



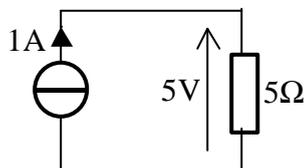
a) Le générateur impose 12V,  
la résistance fait 6 Ohms,  
donc le courant qui circule vaut 2A

b) Le générateur impose 12V,  
la résistance fait 4 Ohms,  
donc le courant qui circule vaut 3A

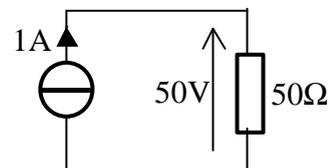
Les **générateurs de courant** ou sources de courant qui font circuler un courant constant, quelle que soit la tension qu'ils ont à maintenir à leurs bornes pour que ce courant circule.

Exemples :

a)



b)



a) Le générateur fait circuler 1A  
la résistance fait 5 Ohms donc  
la ddp à ses bornes sera de 5V

b) Le générateur fait circuler 1A,  
la résistance fait 50 Ohms donc  
la ddp à ses bornes sera de 50V

## 2) Rappels sur les dipôles récepteurs

Ces éléments possèdent deux bornes et sont donc des dipôles. On les qualifie de récepteurs car ils ne créent pas de courant électrique mais y sont sensibles.

### a) On parle de dipôle récepteur Récepteurs passifs

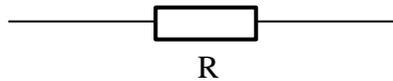
Les récepteurs passifs sont des éléments qui possèdent une relation mathématique linéaire liant l'intensité du courant qui les traverse avec la ddp qui apparaît à leurs bornes. Ils se divisent en trois catégories :

- **Résistance**

La relation entre la tension et le courant est **instantanée** et **proportionnelle**. C'est la **loi d'Ohm**, valable en continu comme en alternatif :

$$U = R.I \text{ ou } R = U/I$$

Son symbole est :



- **Condensateur**

Dans le condensateur, la relation entre le courant le traversant et la tension à ses bornes n'est pas instantanée, une variation de courant entraînant une variation de tension.

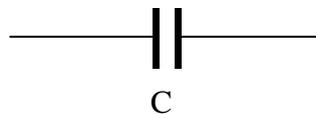
Lors de variations sinusoïdales du courant, la tension possède une forme sinusoïdale mais avec  $\frac{1}{4}$  de période ( $90^\circ$ ) de retard. On considère généralement la phase de la tension comme référence, on dit alors que le courant qui traverse le condensateur est en **avance** de  $90^\circ$  sur la tension à ses bornes.

Le rapport de la tension au courant s'appelle non pas la résistance mais **l'impédance** du condensateur et s'énonce pour une variation sinusoïdale de pulsation  $\omega = 2\pi f$ , en fonction de la capacité du condensateur :

$$Z_c = 1/jC\omega \text{ où } j \text{ est l'opérateur complexe}$$

NB : Le module de l'impédance du condensateur **diminue** avec la fréquence

Son symbole est :



- **Bobine**

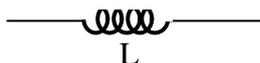
Lorsqu'on fait varier la tension aux bornes d'une bobine, le courant qui la traverse ne varie pas de manière instantanée.

Là encore, si la variation de la tension est sinusoïdale, la variation du courant qui la traverse est sinusoïdale mais avec  $\frac{1}{4}$  de période ( $90^\circ$ ) de retard. On dit que le courant qui traverse la bobine est en **retard** de  $90^\circ$  sur la tension à ses bornes. Là encore, on peut définir **l'impédance** de la bobine en fonction de sa valeur de Self-induction (ou inductance) L :

$$Z_L = jL\omega.$$

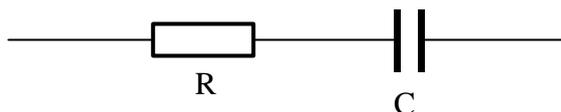
NB : Le module de l'impédance de la bobine **augmente** avec la fréquence

Son symbole est :



- ***Impédance passive quelconque***

Dans la réalité, tout dipôle récepteur est à la fois résistif, capacitif et inductif. Quelques fois, un des comportements est énormément prépondérant, ce qui fait qu'on peut négliger les deux autres parties mais souvent, dès qu'on étudie les choses dans le détail, on ne peut négliger aucun des comportements. On fait alors le modèle équivalent du dipôle en assemblant les différentes parties résistives, capacitives et inductives en série ou en parallèle.



$$Z = R + \frac{1}{jC\omega}$$

### 3) Générateurs réels, modélisation

Nous avons vu (chapitre 1) les deux grands types de générateurs idéaux qui peuvent induire les deux grandeurs électriques tension ou courant

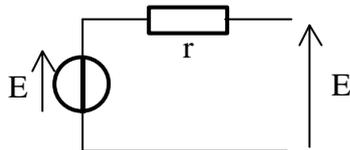
Dans la pratique, rien ne peut être réalisé de façon parfaite.

Pour modéliser un générateur réel, on part du principe que c'est l'addition d'un générateur parfait et d'une résistance représentant l'ensemble des résistances de perte.

#### • *Modèle de Thévenin*

Il modélise une source de tension réelle. Une résistance équivalente aux résistances de perte est en série avec la source de tension parfaite (appelée **force électro-motrice** ou f.e.m) car dans ce type de générateur, ce sont les résistances en série (résistances de contacts imparfaits etc...) qui entachent le fonctionnement du générateur.

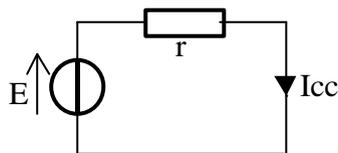
Dans le cas d'un générateur de tension alternative, cette résistance est une impédance  
Schéma équivalent



NB :

à vide (sans charge raccordée) la tension qui apparaît aux bornes du générateur est égale à sa force électro-motrice généralement désignée par la lettre **E**

Si on court-circuite ce type de générateur (nous sommes dans la théorie, tout nous est permis sans danger), le courant qui circule prend sa valeur maximum et est appelé **courant de court-circuit I<sub>cc</sub>**

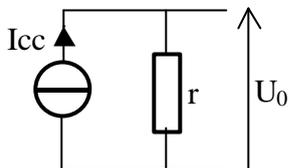


Ce courant de court-circuit est égal à :

$$I_{cc} = \frac{E}{r}$$

### • *Modèle de Norton*

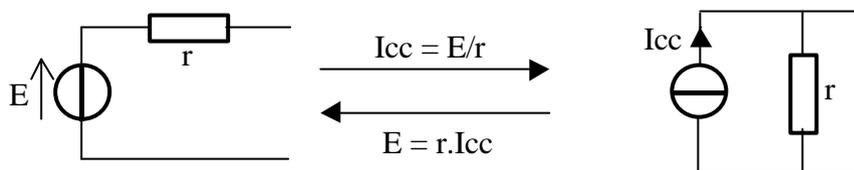
Il modélise une source de courant réelle. La résistance équivalente de perte est en parallèle avec la source de courant parfaite car dans ce type de générateur, ce sont les résistances de fuite (fuites de courant par isolements imparfaits) qui entachent le fonctionnement du générateur.



A vide, la tension présente aux bornes du générateur est égale à :  
 $U_0 = r.I_{cc}$

### • *Transformation Thévenin - Norton*

On démontre qu'un dipôle générateur de tension quelconque (modèle de Thévenin) possède son équivalent générateur de courant (modèle de Norton) et vice-versa.



#### 4) Liaison Générateur - Récepteur

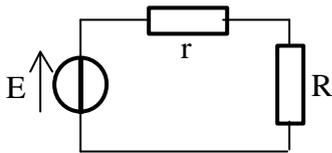
##### a) Puissance transmise

###### • Cas général

Etant plus habitués à travailler avec des modèles de générateurs de tension plutôt que des générateurs de courant, nous allons faire les calculs avec un modèle de Thévenin. Cependant, ces calculs peuvent tout à fait se mener avec un modèle de Norton et conduisent à des résultats identiques.

Lorsque nous raccordons un générateur réel de f.e.m  $E$  et de résistance interne  $r$ , sur une charge  $R$ , la puissance que dissipe la charge est égale à :

$$P = R.I^2 .$$



Le courant  $I$  qui circule est égal à :

$$I = \frac{E}{r + R}$$

Donc

$$P = \frac{E^2 R}{(r + R)^2}$$

###### • Recherche du maximum de puissance transmise

Nous avons vu que

$$P = \frac{E^2 R}{(r + R)^2}$$

Cette fonction est nulle pour  $R = 0$  (générateur en court-circuit) et tend vers 0 quand  $R$  tend vers l'infini (générateur à vide).

Il est logique de penser que pour une valeur particulière de  $R$ , la puissance passe par au moins un maximum.

La recherche de cette valeur se fait mathématiquement par l'étude de la fonction  $P(R)$  avec  $E$  et  $r$  posés constants, l'annulation de la dérivée donne la valeur de  $R$  pour le maximum de la fonction.

$$P'(R) = \frac{E^2 \cdot (r - R)}{(r + R)^3}$$

On détermine ainsi que si la charge a la même valeur que la résistance interne du générateur, la puissance dissipée par la résistance de charge  $R$  est maximale.

Cette puissance est alors égale à :  $P = \frac{E^2}{4R}$

## 5) Rappels sur les câbles

### a) Conducteur parfait, conducteur réel

Un conducteur parfait est une équipotentielle, c'est à dire une liaison sur laquelle tous les points sont au même potentiel. D'autre part, un conducteur parfait est supposé isolé de toute source susceptible d'engendrer des perturbations.

Il est évident qu'un fil conducteur réel est loin d'être parfait. Il se comporte au moins comme une résistance car sa conductivité n'est pas parfaite.

L'effet électro-magnétique du courant dans un conducteur quelconque permet aussi de considérer un fil comme une bobine, donc avec une certaine valeur de self-induction.

Lorsqu'en plus on ne considère plus le fil comme isolé du monde extérieur ...

### b) Association de conducteurs, câble

#### • *Interactions entre conducteurs*

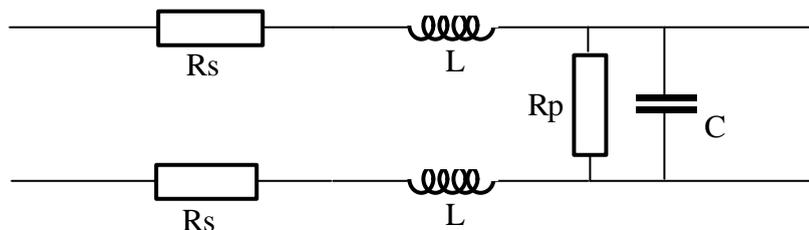
Deux fils conducteurs proches l'un de l'autre constituent les deux armatures d'un condensateur (condensateur = deux conducteurs séparés par un isolant).

La réalité n'étant jamais parfaite, tout comme un conducteur est une résistance faible, un isolant est une résistance très élevée.

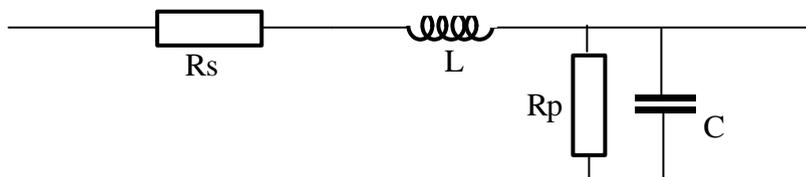
Récapitulons un peu ...

#### • *Modèle électrique du câble sans perte*

Nous pouvons maintenant symboliser tous les éléments dont nous venons de parler et constituer le modèle équivalent d'un câble :



Qui peut se réduire, en regroupant les éléments en série à :



- ***Propagation d'un signal électrique dans un câble***

Il faut tout d'abord revenir sur deux idées préconçues : un signal électrique ne se propage pas à la vitesse de la lumière et les électrons ne se déplacent pas à la vitesse du signal électrique.

Pour comprendre le phénomène, une analogie mécanique permet de fixer les idées : Une vibration ne se propage pas à la même vitesse dans un ressort s'il est mou ou tendu. De même, si on provoque une compression à une extrémité d'un tuyau rempli de liquide, la compression atteint l'autre extrémité quasi instantanément alors que l'eau n'a pas bougé. Il est des électrons comme des molécules d'eau, ils ne se déplacent pas vite mais peuvent propager une onde extrêmement rapidement par leur faible mouvement.

- ***Phénomènes de réflexions aux extrémités***

Maintenant que nous avons récapitulé tous les éléments réels intervenant électriquement quand on constitue un câble, voyons ce que le câble provoque lorsqu'il est intercalé entre un générateur et un récepteur.

## **6) Applications des transmissions de signal**

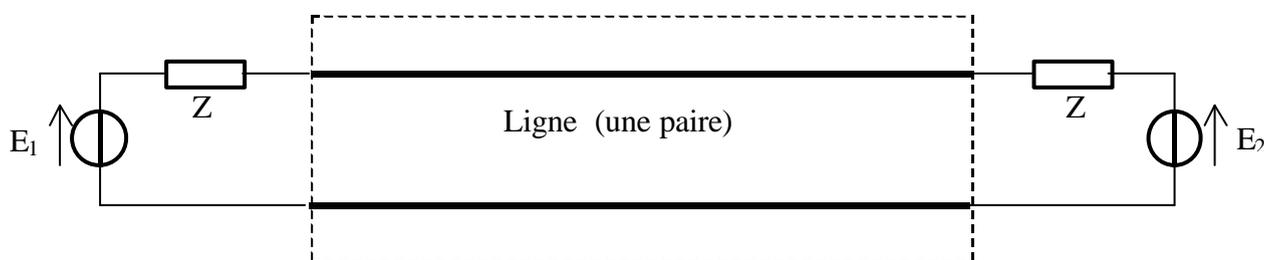
### **a) Le Télégraphe**

Première vraie application de l'électricité à la transmission d'informations, le télégraphe consiste purement et simplement à envoyer une d.d.p entre deux fils qui, à distance provoquera l'excitation d'un électro-aimant actionnant un stilet qui imprime des traits longs ou courts sur une bande de papier défilant à vitesse constante. L'émission de la d.d.p se fait tout simplement grâce à un poussoir appelé « manipulateur ». Ce sont donc des créneaux de tension qui sont envoyés dans la ligne et les liaisons à longues distances ont très vite mis en évidence les problèmes de réflexions dans les lignes, des hésitations intervenant au niveau de l'électro-aimant récepteur. Ainsi, les physiciens durent se pencher sur les équations...

### **b) Le Téléphone**

Premier vrai moyen individuel de communication, le téléphone permet de transmettre une modulation image des voix des deux correspondants. Le moyen le plus simple consiste à utiliser deux lignes (au moins trois fils dont un commun) pour réaliser l'aller et le retour (chaque micro relié à l'écouteur distant). Ce moyen, certes le plus simple n'est pas le plus économique et, vu les centaines de kilomètres de fils mis en œuvre ainsi que les milliers de commutateurs dans les différents centraux, il fut fait appel pour les liaisons téléphoniques à l'utilisation d'une seule paire de fils pour joindre deux téléphones.

On peut facilement réaliser et étudier le montage suivant :



$E_1$  et  $E_2$  désignent les microphones, les écouteurs sont les impédances  $Z$ .

Chaque générateur débite dans les deux impédances  $Z$  en série ( $2Z$ ).

L'inconvénient mineur de ce montage est que chaque correspondant s'entend lui-même.

### c) Extension aux liaisons Audio

Le secteur audio, découlant directement des travaux faits pour le développement du téléphone, il était logique que les impédances des câbles et les adaptations suivent les mêmes règles et les mêmes valeurs, c'est à dire un récepteur pour un générateur, le tout travaillant à des valeurs de 600 Ohms.

Ainsi, les micros avaient une impédance de sortie de 600 Ohms, donc les impédances des entrées micros de consoles étaient aussi de 600 Ohms, ainsi que les entrées lignes, du fait qu'elles étaient raccordées sur des sorties de machines elles aussi à 600 Ohms etc...

Les règles puristes étaient respectées et tout était pour le mieux dans le meilleur des mondes...

Jusqu'au jour où les techniques d'enregistrement multi-pistes et les diffusions de plus en plus puissantes nécessitant l'attaque de plusieurs entrées par la même source au moyen de transformateurs d'impédance.

Les nécessités économiques étant ce qu'elles sont, ...

### d) L'adaptation en tension

#### • Pourquoi ?

La réponse, on s'en doute : baisser le prix de revient et améliorer la souplesse des possibilités de raccordement. Ceci allant dans le sens des utilisateurs, il restait à voir si la dégradation des qualités techniques restait faible vis-à-vis des intérêts en jeu.

En effet, les longueurs de câble en jeu étant faibles (inférieures à 100m), les ondes stationnaires risquant d'interférer gravement avec le signal se situent à des fréquences élevées, en tout cas devant les fréquences maximales du message audio. En conséquence, l'adaptation en tension devenait incontournable en raison de ses avantages sur les liaisons courtes, les liaisons de longueurs supérieures à 100 m restant avantageusement sur le mode de l'adaptation de puissance à impédances adaptées (de même que les liaisons Hautes – fréquences, antennes principalement mêmes sur courtes longueurs).

#### • Comment ?

Mais au fait, qu'est-ce que l'adaptation en tension ?

Rappelons les désirs des utilisateurs actuels des matériels audio :

- Pouvoir raccorder plusieurs entrées sur une même sortie
- Posséder une bonne immunité aux parasites
- Abaisser le prix de revient de l'électronique
- S'affranchir du type de câble utilisé

Tous ces facteurs amènent le concepteur à réaliser des étages de sortie à basse impédance et des étages d'entrée à haute impédance. En effet :

- Plusieurs entrées à haute impédance en parallèle ont tout de même un équivalent à moyenne impédance qui chargera peu l'étage de sortie à basse impédance.
- L'impédance qui va « tenir » la liaison vis à vis des parasites sera très basse, donc des perturbations extérieures auront du mal à avoir une incidence sur la liaison et ce, pratiquement quel que soit le câble utilisé.
- L'électronique à transistors bipolaires, contrairement aux tubes préfère les basses impédances en sortie et est de moins en moins coûteuse.
- L'électronique à transistors à effet de champ (F.E.T) permet de réaliser facilement des étages d'entrée à haute impédance.

- La miniaturisation de l'électronique permet de l'intégrer dans les capteurs et permettent facilement de convertir les hautes impédances des transducteurs en basses impédances pour le transport des signaux.