



# CIRCUITS ELECTRONIQUES

COURS DE BASE  
ELECTRONIQUE

**EURELEC**

**(10)**

**COURS DE BASE ELECTRONIQUE**

**CIRCUITS ELECTRONIQUES 1**

Dans les leçons précédentes, nous avons étudié les caractéristiques essentielles des RESISTANCES, des BOBINAGES et des CONDENSATEURS.

Cette première leçon "CIRCUITS ELECTRONIQUES" est consacrée à l'étude du comportement de ces composants, en régime CONTINU et ALTERNATIF.

Vous y retrouverez des formules connues et quelques développements mathématiques, accessibles à tous, susceptibles d'intéresser plus particulièrement les élèves désirant se présenter au CAPd'Electronicien.

## **1 - CIRCUITS RESISTIFS**

Dans les circuits, il est souvent nécessaire d'opposer au courant, une résistance plus ou moins élevée.

On obtient ceci au moyen d'éléments spéciaux, faits avec un matériau qui a une résistivité suffisamment élevée.

Ces éléments ne sont plus considérés comme des conducteurs, car leur rôle n'est pas de conduire le courant, mais de lui présenter une résistance déterminée.

Pour cette raison, ils sont appelés RESISTANCES.

La RESISTANCE se mesure en OHM.

On utilise très fréquemment le KILOOHM, qui vaut 1000 ohms et le MEGOHM qui vaut 1 000 000 ohms.

### 1 - 1 - CIRCUIT RESISTIF EN CONTINU. LOI D'OHM

Nous connaissons toutes les grandeurs relatives à un circuit résistif : tension, courant, résistance.

Nous sommes donc capables d'examiner un circuit complet et de déterminer les rapports existant entre ces trois grandeurs, soit le circuit de la figure 1.

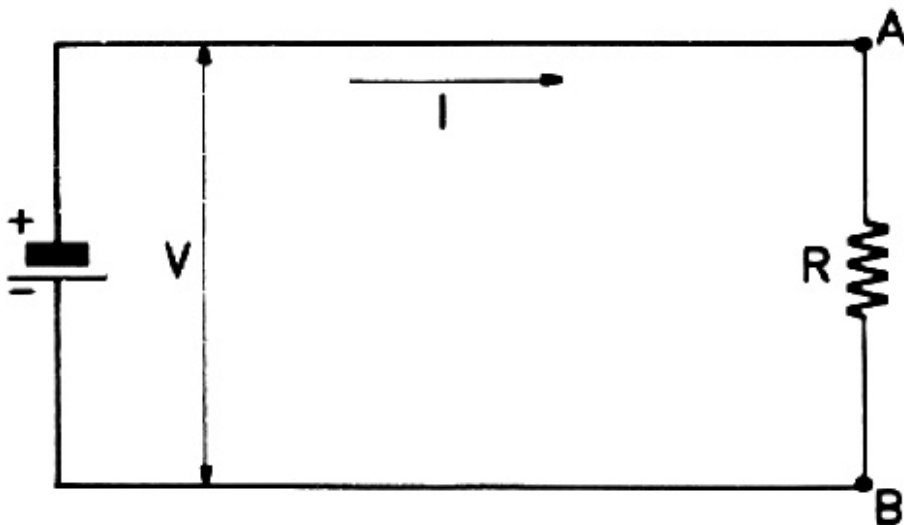


Figure 1

**CIRCUITS ELECTRONIQUES 1****3**

La tension  $V$  est celle donnée par la pile.

Nous retrouvons cette tension aux bornes  $A$  et  $B$  de la résistance.

La lettre  $R$  indique la résistance totale du circuit extérieur à la pile.

Enfin, l'intensité du courant est indiquée par le symbole  $I$  et par la flèche qui montre la direction dans laquelle le courant se dirige, selon le sens conventionnel.

Nous voyons clairement que le courant part du pôle positif de la pile, traverse la résistance  $R$  et retourne au pôle négatif de la pile.

Ce courant circule dans le circuit, grâce à la tension délivrée par la pile, mais est "freiné" par la résistance  $R$  présentée par ce circuit.

On comprend aisément que la valeur de l'intensité dépend de la tension de la pile et de la valeur de la résistance.

Autrement dit, il doit y avoir une relation qui lie entre elles ces trois grandeurs : tension, intensité, résistance.

Cette relation a été découverte par le physicien George-Simon Ohm (1787 - 1854) et la Loi d'Ohm porte son nom.

Enoncé de la Loi d'Ohm :

LA TENSION AUX BORNES D'UN CIRCUIT RESISTIF EST EGALE AU PRODUIT DU COURANT QUI LE TRAVERSE ET DE SA RESISTANCE.

En langage mathématique, cette loi s'écrit :

$$U = R \times I.$$

U est donné en volt,  
R en ohm,  
I en ampère.

La Loi d'Ohm permet de calculer l'une des trois grandeurs, lorsque l'on connaît les deux autres.

La figure 2 montre les trois cas, dans lesquels la Loi d'Ohm peut être utilisée.

Ces exemples nous font comprendre la grande utilité de la Loi d'Ohm pour les calculs pratiques.

Retenez bien les schémas de la figure 2 sur lesquels sont représentés tous les cas qui peuvent exister.

## 1 - 2 - CIRCUITS RESISTIFS EN ALTERNATIF

Prenons le circuit de la figure 1 et remplaçons la pile par un générateur de tension alternative. Nous obtenons le circuit de la figure 3.

Nous avons déjà vu comment on calcule le courant qu'une tension continue fait circuler dans une résistance.

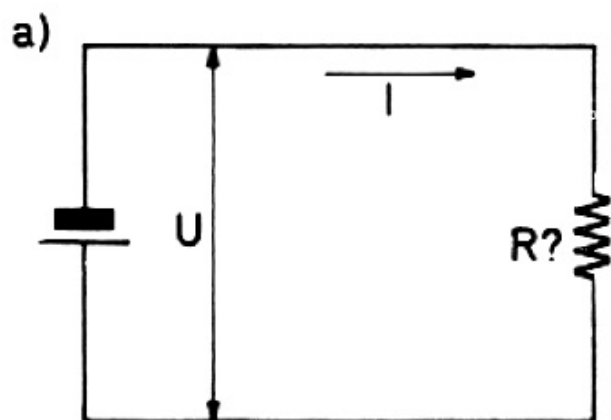
Il n'y a rien à changer à cette méthode, quand il s'agit d'une tension alternative.

Supposons que le générateur délivre une tension, dont les crêtes atteignent 100 V et que la fréquence soit de 50 Hz.

La figure 4 représente cette tension.

Prenons  $R = 100 \Omega$  et calculons, selon la Loi d'Ohm, l'intensité pour n'importe quel point du cycle.

A la crête, elle est évidemment égale à  $\frac{100}{100} = 1 \text{ A}$  ; à mi-pente, elle est de 0,5 A.



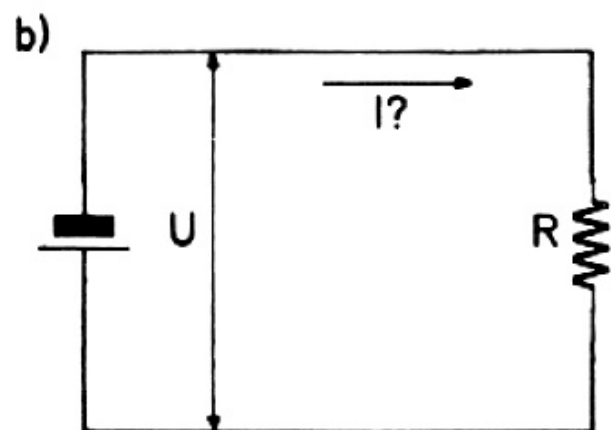
Exemple :

$$U = 100 \text{ V}$$

$$I = 10 \text{ mA}$$

$$R = \frac{100}{0,01} = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R = \frac{U}{I}$$



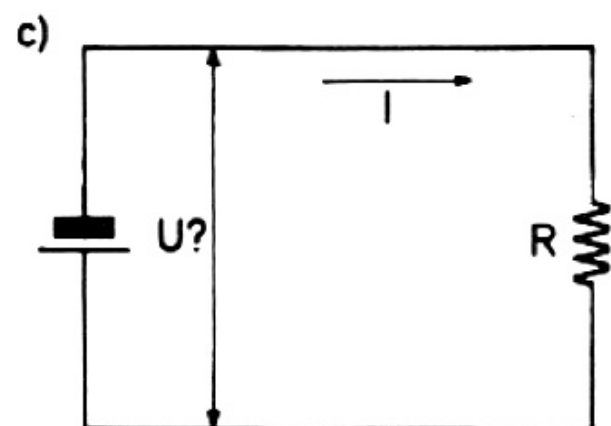
Exemple :

$$U = 100 \text{ V}$$

$$R = 10 \text{ k}\Omega$$

$$I = \frac{100}{0,01} = 10 \text{ mA}$$

$$I = \frac{U}{R}$$



Exemple :

$$I = 10 \text{ mA}$$

$$R = 10 \text{ k}\Omega$$

$$U = 10000 \times 0,01$$

$$= 100 \text{ V}$$

$$U = R \cdot I$$

Figure 2

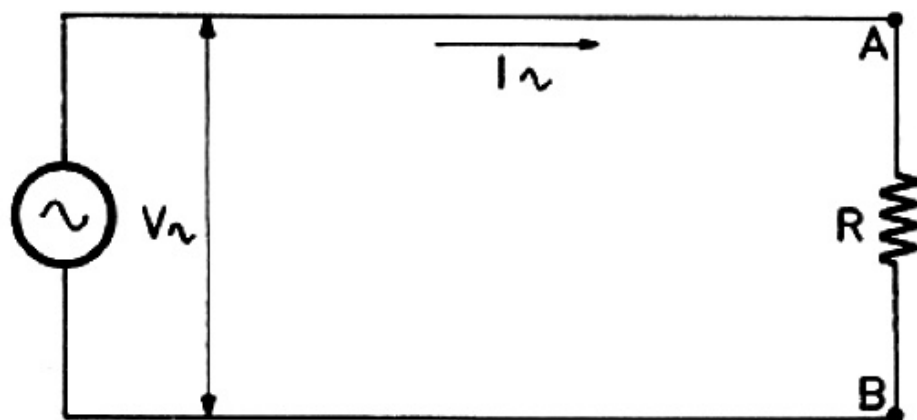


Figure 3

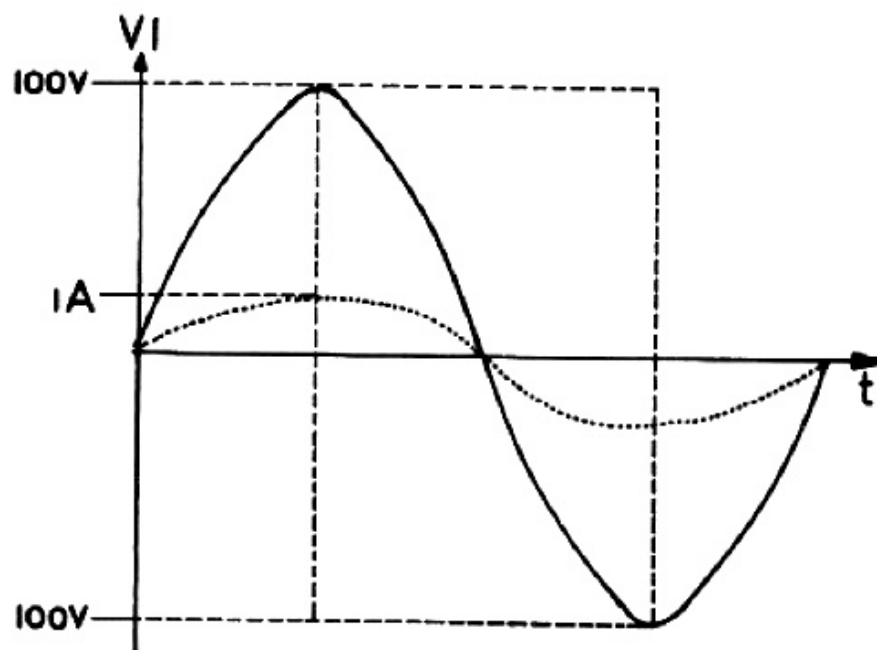


Figure 4

**CIRCUITS ELECTRONIQUES 1****7**

En relevant cette intensité pour un grand nombre de points, nous obtenons la courbe en pointillé de la figure 4. Sa forme est identique à celle de la courbe des tensions, bien que sa hauteur soit différente.

Nous obtenons donc un **COURANT ALTERNATIF**, atteignant des minimums et des maximums en même temps que la tension.

On dit que le courant et la tension sont en **PHASE**.

Si nous représentons la tension et le courant par des vecteurs tournants, nous obtenons la figure 5.

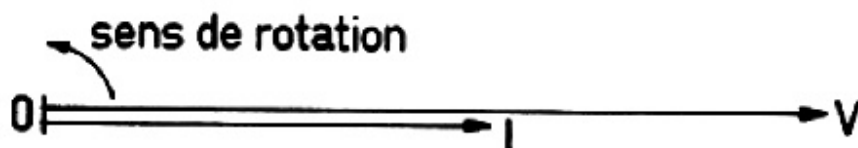


Figure 5

**CONCLUSION :** Un circuit résistif se comporte de la même manière, que la source soit continue ou alternative.

Dans les deux cas, la Loi d'Ohm peut être appliquée

Cependant en alternatif, tous les calculs doivent être effectués avec des valeurs efficaces (tension efficace, courant efficace), exprimant les grandeurs en unités fondamentales (VOLT - AMPERE - OHM).

**1 - 3 - GROUPEMENT DE RESISTANCES**

**A) Résistances en série.**

Soit le circuit de la figure 6-a.

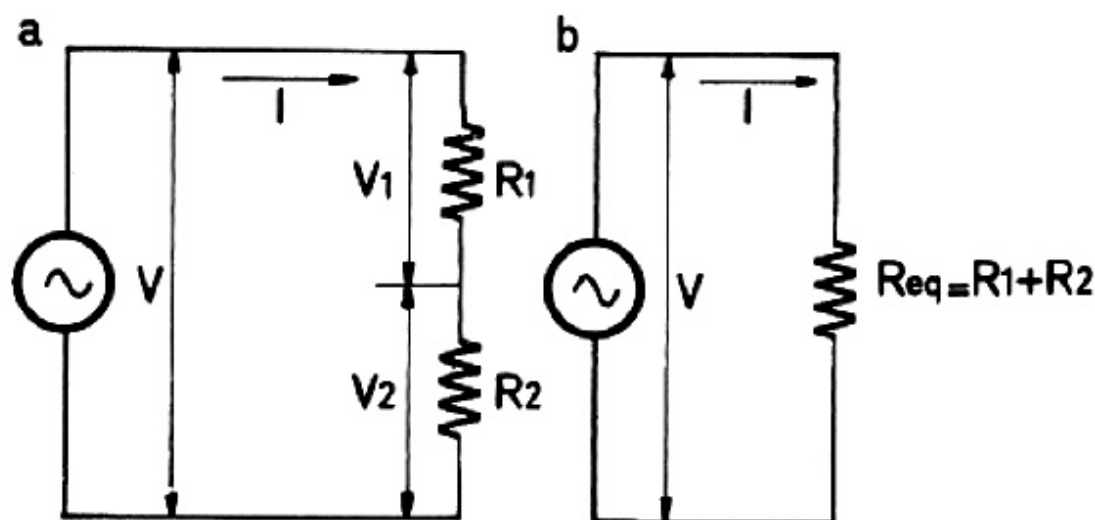


Figure 6

Les deux résistances  $R_1$  et  $R_2$  sont en série et traversées par un même COURANT  $I$ .

Pour calculer la résistance équivalente ( $R_{eq}$ ) à l'ensemble  $R_1 R_2$ , nous utilisons la Loi d'Ohm.

La tension aux bornes de  $R_1$  est  $V_1 = R_1 \times I$ .

La tension aux bornes de  $R_2$  est  $V_2 = R_2 \times I$ .

La chute de tension dans les deux résistances ( $V_1 + V_2$ ), est égale à la tension de la source  $V$ .

Nous pouvons écrire :

$$V = R_1 \times I + R_2 \times I = I (R_1 + R_2).$$

Dans le circuit équivalent (figure 6-b),  $V$  est égale à  $I \times R_{eq}$ .

**CIRCUITS ELECTRONIQUES 1****9**

Donc :

$$I \times R_{eq} = I \times (R1 + R2).$$

$$R_{eq} = R1 + R2.$$

En généralisant ce résultat, nous pouvons dire : **LA RESISTANCE TOTALE DE PLUSIEURS RESISTANCES EN SERIE EST EGALE A LA SOMME DES RESISTANCES INDIVIDUELLES.**

**Exemple pratique.**

**Vous devez utiliser une résistance de 80 k $\Omega$  -1/2 Watt. Cette résistance n'existe pas en valeur normalisée.**

**Vous câblerez donc une résistance de 33 k $\Omega$  -1/2 Watt, en série avec une résistance de 47 k $\Omega$  - 1/2 Watt. La résistance équivalente est bien de 80 k $\Omega$  -1/2 Watt (33 + 47).**

**Remarquez que les puissances ne s'ajoutent pas ; la puissance admissible par l'ensemble, est égale à la puissance d'une seule résistance.**

**Dans le cas d'un montage en série avec deux résistances de puissance inégale, par exemple 1/2 W et 2 W, la puissance admissible par l'ensemble est égale à celle de la résistance ayant la puissance la plus faible.**

**B) Résistances en parallèle.**

**Dans le branchement en parallèle de la figure 7-a, nous voyons que les résistances R 1 et R 2 ont la même TENSION à leurs bornes. (Cette tension est égale à la tension de la source).**

**Chaque résistance laisse passer un courant qui dépend de sa valeur et de la tension à ses bornes.**

**En appelant les courants respectivement I 1 et I 2, nous aurons :**

$$I1 = \frac{V}{R1}, I2 = \frac{V}{R2}$$

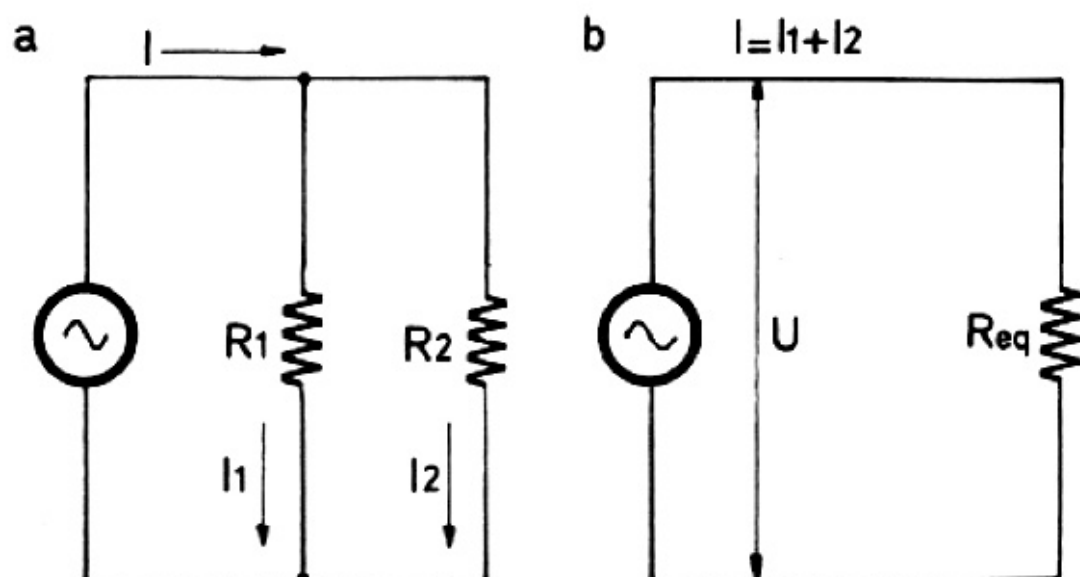


Figure 7

Le courant total  $I$  est la somme de ces deux courants :

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} \text{ soit : } I = V \times \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Dans le circuit équivalent de la figure 7-b, le courant est  $V/R_{eq}$ .

Pour assurer l'équivalence, nous devons avoir :

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \text{ donc } R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

**Exemple : soit trois résistances de 100 - 50 et 20  $\Omega$  montées en parallèle. Nous aurons :**

$$\begin{aligned}
 R_{eq} &= \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{100} + \frac{1}{50} + \frac{1}{20}} \\
 &= \frac{1}{0,01 + 0,02 + 0,05} = \frac{1}{0,08} = 12,5 \Omega
 \end{aligned}$$

**En généralisant cette règle, nous pouvons dire : SI PLUSIEURS RESISTANCES SONT BRANCHEES EN PARALLELE, L'INVERSE DE LA RESISTANCE EQUIVALENTE EST EGAL A LA SOMME DES INVERSES DE CHACUNE DES RESISTANCES.**

**Quand on n'a que deux résistances en parallèle, une formule plus simple peut être obtenue, en réduisant les deux fractions au même dénominateur commun  $R_1 \times R_2$ .**

**Nous avons alors :**

$$R_{eq} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

**Exemple pratique :**

**La résistance de polarisation cathode d'un tube amplificateur doit avoir une valeur de 50  $\Omega$  et admettre une puissance de 4 watts.**

**Vous ne possédez que des résistances de 100  $\Omega$  - 2 Watts.**

Vous obtiendrez la valeur exacte en utilisant deux résistances de 100  $\Omega$  montées en parallèle.

En effet :

$$R_{eq} = \frac{100 \times 100}{100 + 100} = 50 \Omega$$

Dans ce montage, chaque résistance est traversée par la moitié du courant total. La puissance dissipée est donc la somme des puissances dissipées par chacune des résistances.

Deux résistances de 100  $\Omega$  - 2 Watts montées en parallèle sont équivalentes à une seule résistance de 50  $\Omega$  - 4 Watts.

C) Groupement de résistance en série-parallèle.

Soit le circuit de la figure 8-a.

La résolution d'un tel circuit est assez facile. Soit :

$$R_1 = 50 \Omega, R_2 = 120 \Omega, R_3 = 300 \Omega, R_4 = 250 \Omega$$

Calculons tout d'abord la résistance équivalente de  $R_2$  et  $R_3$  en série :

$$R_{1eq} = R_2 + R_3 = 120 + 300 = 420\Omega$$

Nous obtenons le circuit de la figure 8-b.

Cherchons ensuite la résistance équivalente de  $R_{1eq}$  et  $R_4$  montée en parallèle.

$$R_{2eq} = \frac{R_{1eq} \times R_4}{R_{1eq} + R_4} = \frac{420 \times 250}{420 + 250} = \frac{105\,000}{670} = 156\Omega$$

Le circuit qui en résulte est donné figure 8-c.

La résistance totale de l'ensemble  $R_{eq}$  (figure 8-d) est obtenue, en effectuant la somme de  $R_1 + R_{2eq}$ .

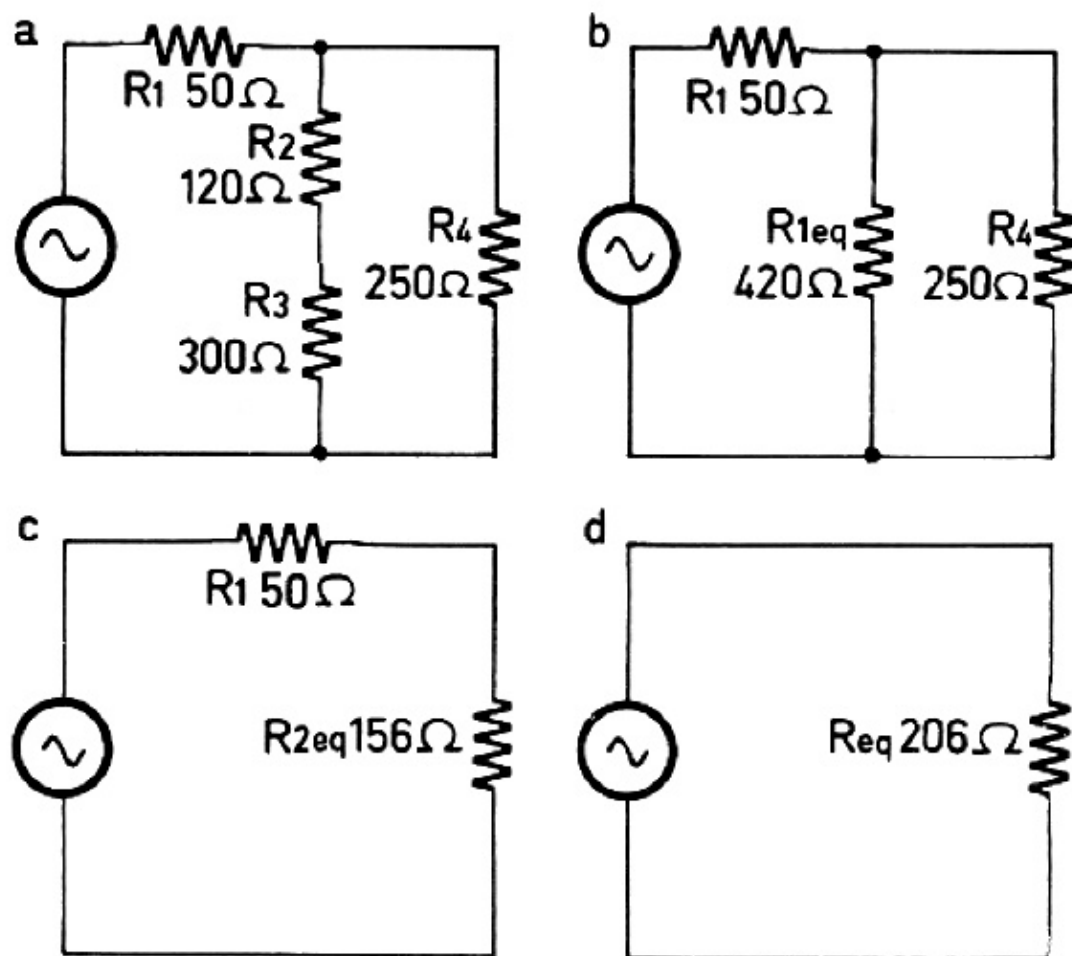


Figure 8

$$R_{eq} = 50 + 156 = 206 \Omega$$

D'après cet exemple, vous constatez que les circuits complexes de résistances sont traités par stades successifs, en recherchant l'élément simple, qui est équivalent à deux ou plusieurs éléments.

## 2 - CIRCUITS CAPACITIFS

## 2 - 1 - LE CONDENSATEUR

Examinons le circuit de la figure 9. Deux plaques métalliques sont reliées aux pôles d'une pile et maintenues très éloignées.

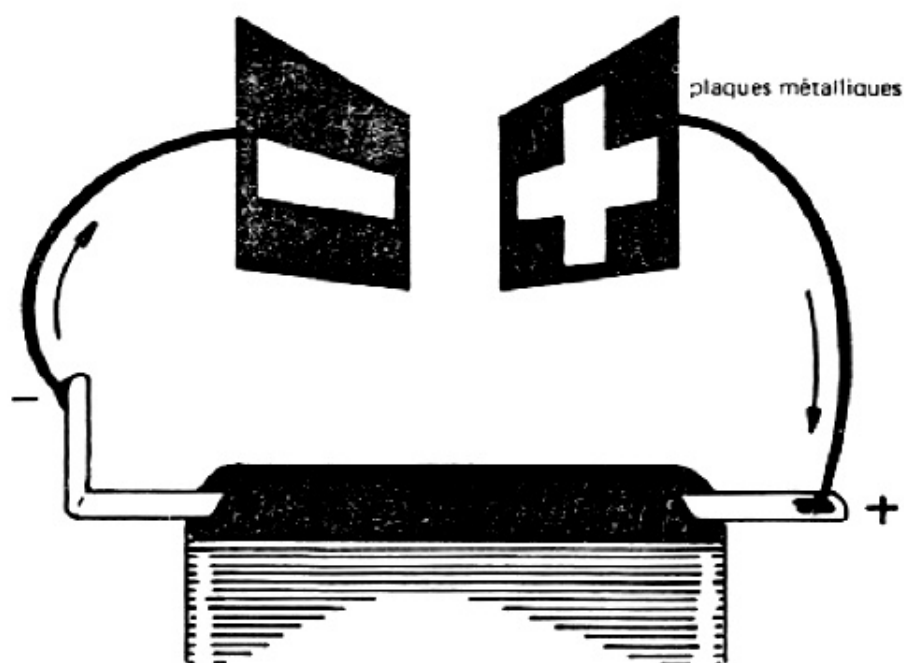


Figure 9

Chacune des plaques se charge d'électricité positive ou négative, selon le pôle auquel elle est reliée.

Les électrons vont du pôle négatif de la pile vers la plaque qui lui est reliée et la chargent négativement.

Le pôle positif attire un nombre d'électrons de la plaque qui lui est relié et la charge positivement.

Dans les conducteurs reliant les plaques à la pile, on a donc un mouvement d'électrons, dans le sens indiqué par la flèche (figure 9).

Le mouvement d'électrons cesse, quand la quantité d'électricité présente sur chaque plaque est telle, que le potentiel de cette plaque est le même que celui du pôle auquel elle est reliée, de sorte qu'entre les deux plaques, il y a la même différence de potentiel qu'entre les pôles de la pile.

Nous pouvons dire que la pile a "aspiré" un certain nombre d'électrons de la plaque positive, et, qu'elle les a "refoulé" sur la plaque négative.

Rapprochons maintenant les deux plaques en les disposant l'une en face de l'autre, mais en évitant qu'elles se touchent (figure 10).

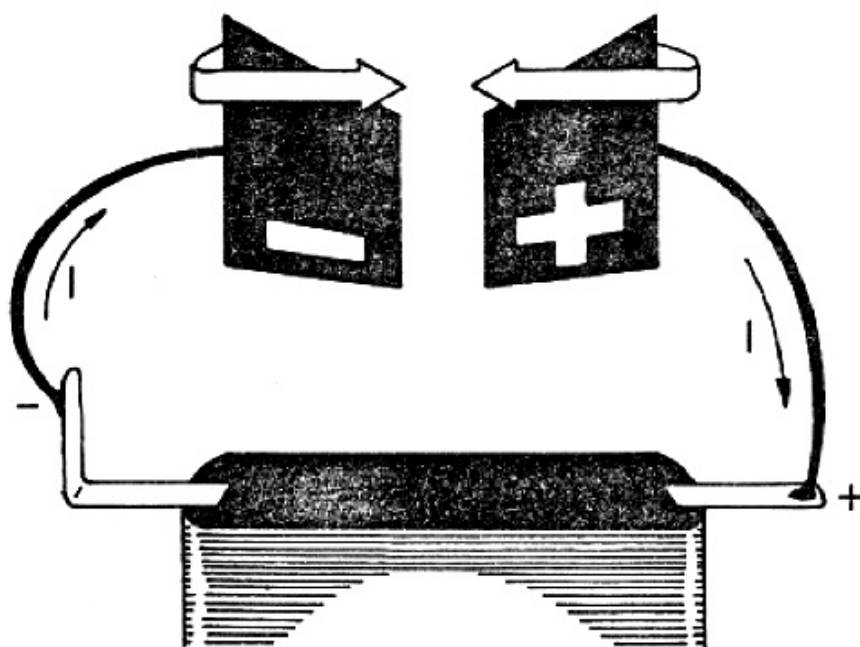


Figure 10

Pendant le rapprochement des plaques, on constate un nouveau déplacement d'électrons dans le sens indiqué par la flèche (figure 10).

La quantité d'électrons sur la plaque négative a donc augmenté. Le courant cesse, dès que la différence de potentiel entre les deux plaques est égale à celle existant entre les pôles de la pile.

Nous venons de réaliser le type le plus simple de CONDENSATEUR, qui est justement constitué par deux plaques l'une en face de l'autre (appelées ARMATURES).

Nous avons constaté également que la CAPACITE (quantité d'électrons se déplaçant de l'armature positive vers l'armature négative, divisée par la différence de potentiel existant entre elles) augmente en rapprochant les deux plaques.

Les expériences faites sur les condensateurs montrent l'influence de la matière isolante entre les armatures (DIELECTRIQUE) sur la capacité.

Dans le condensateur de la figure 10, le diélectrique est l'air. Ce type de condensateur est appelé pour cela "CONDENSATEUR A AIR".

Si l'on intercale une feuille de verre entre ses armatures, on constate que la capacité augmente de cinq à dix fois, selon le verre employé.

Le diélectrique d'un condensateur est toujours une matière isolante : verre, mica, papier, vinyl, etc...

Les deux caractéristiques principales d'un condensateur sont :

a) La capacité exprimée en FARAD. On emploie très souvent le MICROFARAD qui vaut  $10^{-6}$  farad, le NANOFARAD qui vaut  $10^{-9}$  farad, le PICO FARAD qui vaut  $10^{-12}$  farad.

b) La tension d'isolement indique la valeur à ne pas dépasser.

En effet, au-delà d'une certaine limite, l'isolant constituant le diélectrique devient conducteur et le condensateur est détruit (claquage).

Généralement, les constructeurs donnent deux tensions caractéristiques :

- VE ou tension d'essai correspondant à la tension limite à ne pas dépasser,
- VS ou tension de service indiquant la tension normale d'utilisation.

## 2 - 2 - CHARGE ET DECHARGE D'UN CONDENSATEUR

Etudions le circuit de la figure 11, dans lequel le condensateur est alimenté par une source continue.

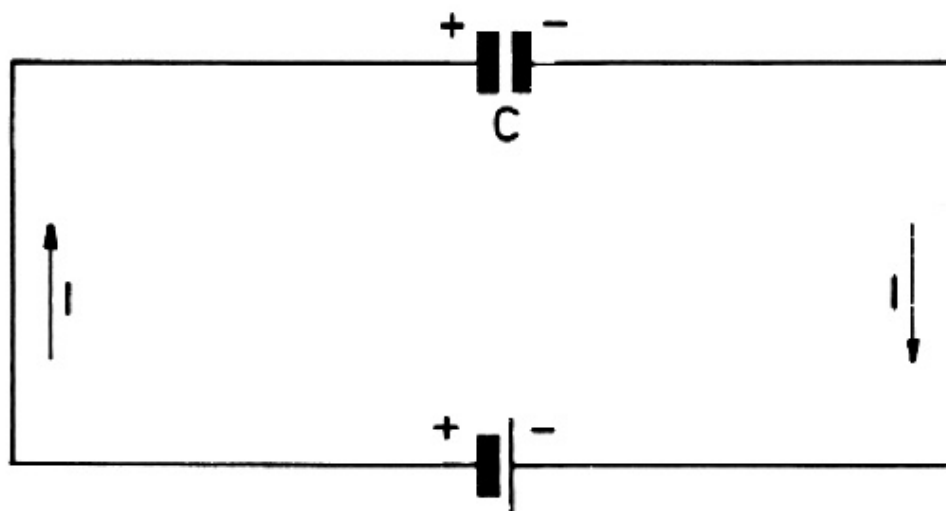


Figure 11

Dès que l'on relie le condensateur à la pile, un certain nombre de charges électriques passent d'une armature à l'autre. Les flèches indiquent le sens conventionnel du courant I.

Ce courant est appelé **COURANT DE CHARGE** du condensateur.

Le courant de charge dure jusqu'à ce que la quantité d'électricité sur les armatures soit telle, qu'entre elles on ait la même tension que celle de la pile : dans ces conditions, on dit que le condensateur est chargé.

Si la tension aux bornes du condensateur était constante, le courant de charge serait lui aussi constant. Mais en réalité, ce courant dépend de la différence existant entre la tension de la source et la tension aux bornes du condensateur.

Au début de la charge, le courant est maximum puisque la tension entre les armatures est nulle.

Mais comme le nombre de volts disponibles pour faire circuler le courant va en s'atténuant, le courant diminue lui aussi et la charge s'effectue plus lentement. Nous obtenons la courbe de la figure 12-a.

La figure 12-b montre la forme de la tension aux bornes du condensateur durant la charge.

Les courbes de ce type sont appelées **EXPONENTIELLES**, et sont caractéristiques de nombreux cas de croissance et de décroissance.

Notons que le courant suit une courbe descendante, alors que la tension suit une courbe ascendante.

Considérons maintenant le circuit de la figure 13, dans lequel on relie en série un condensateur C et une résistance R.

Le commutateur permet de charger le condensateur en position A et de le décharger en position B.

La charge du condensateur s'effectue comme précédemment, mais elle est un peu plus lente puisque le courant est freiné par la résistance.

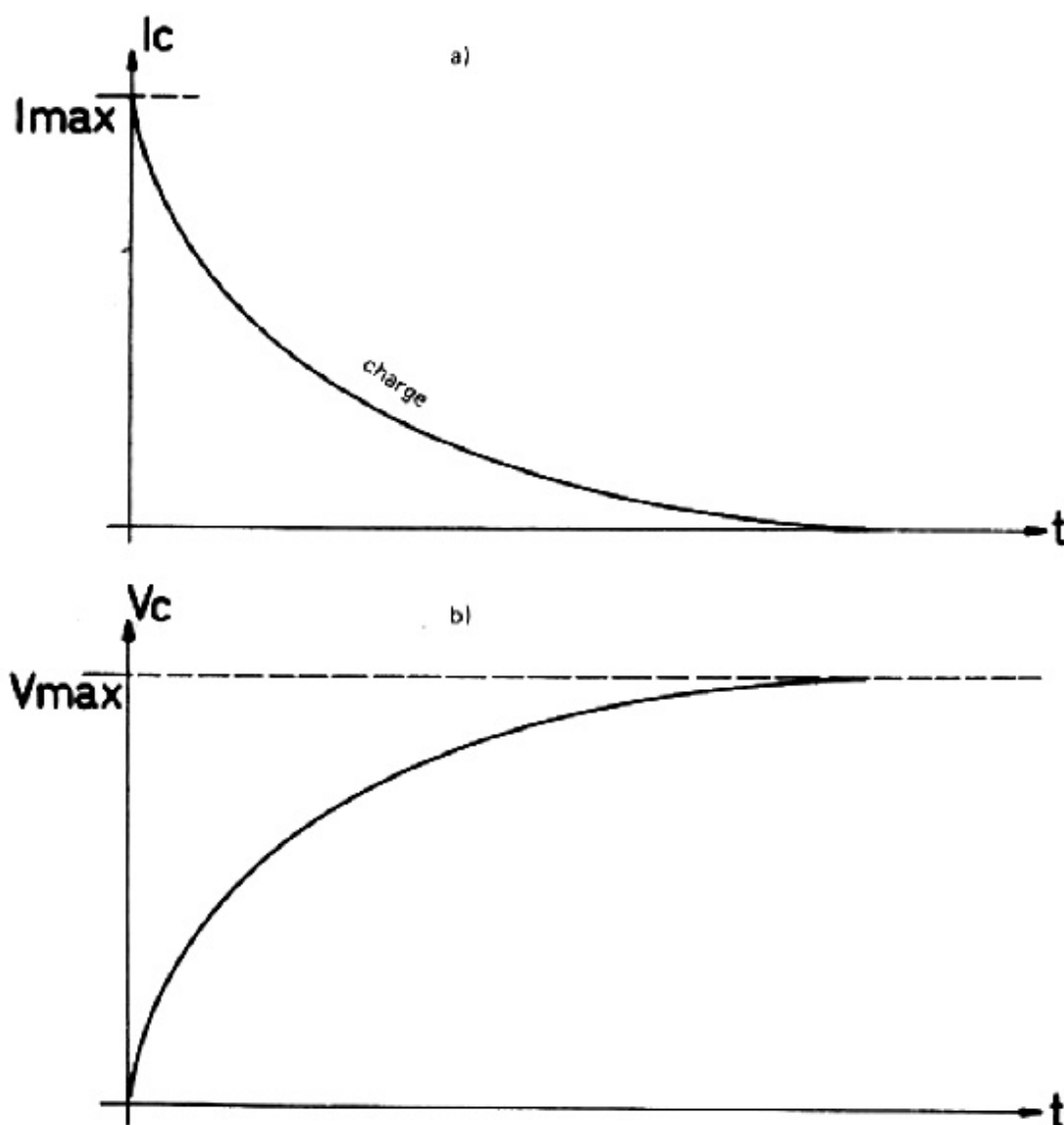


Figure 12

Lorsque le condensateur est chargé, basculons le commutateur en position B et observons la décharge.

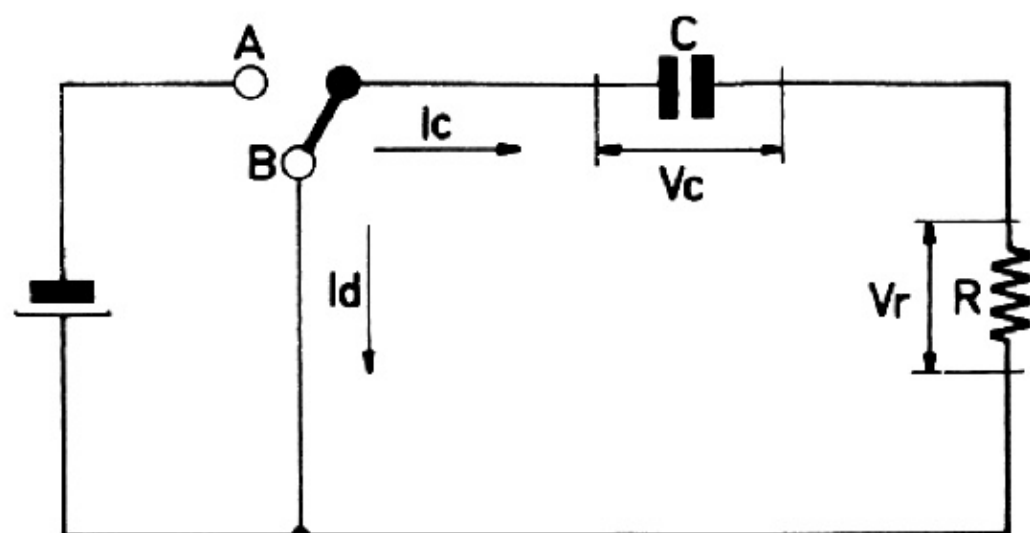


Figure 13

Les électrons accumulés dans l'armature négative vont tendre à combler les vides de l'armature positive.

Pour cela, ils vont créer un courant  $I_d$ , dont le sens conventionnel est indiqué figure 13.

Le condensateur se comporte donc comme un générateur de tension continue, débitant dans la résistance  $R$ .

Le courant cesse, dès que l'équilibre des deux armatures est rétabli ; c'est-à-dire, lorsque la tension aux bornes du condensateur est nulle.

Ce courant est appelé **COURANT DE DECHARGE**.

Il suit lui aussi une courbe exponentielle, puisque la tension aux bornes du condensateur diminue constamment.

Sur le diagramme de la figure 14, le courant est situé dans les parties négatives. Ceci indique que le sens du courant de décharge est l'inverse de celui du courant de charge.

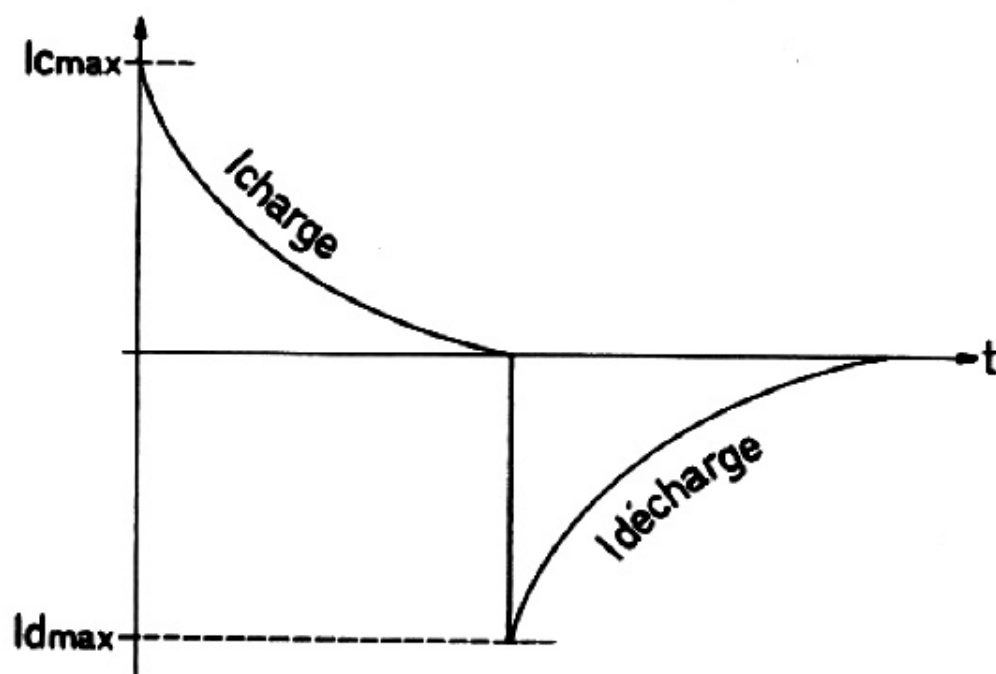
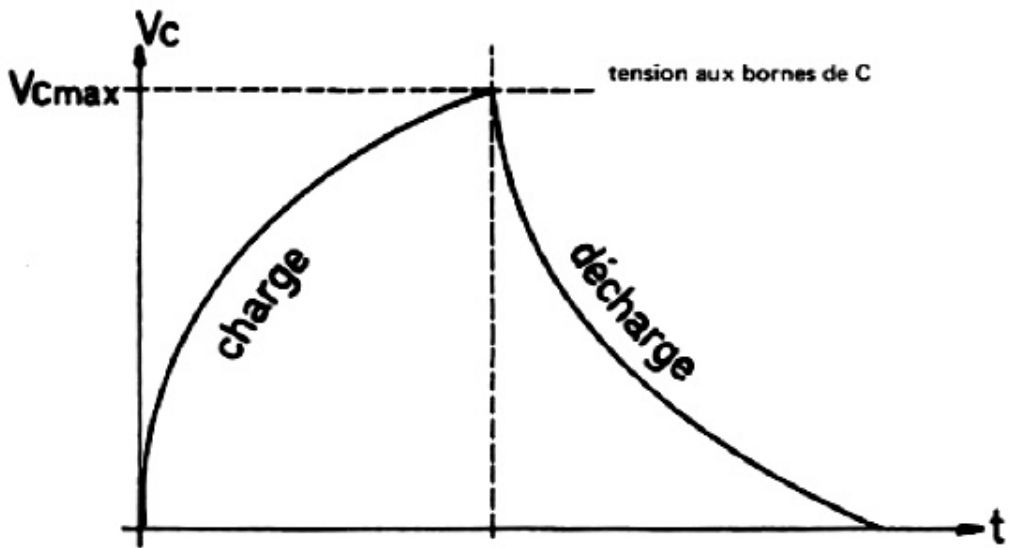


Figure 14

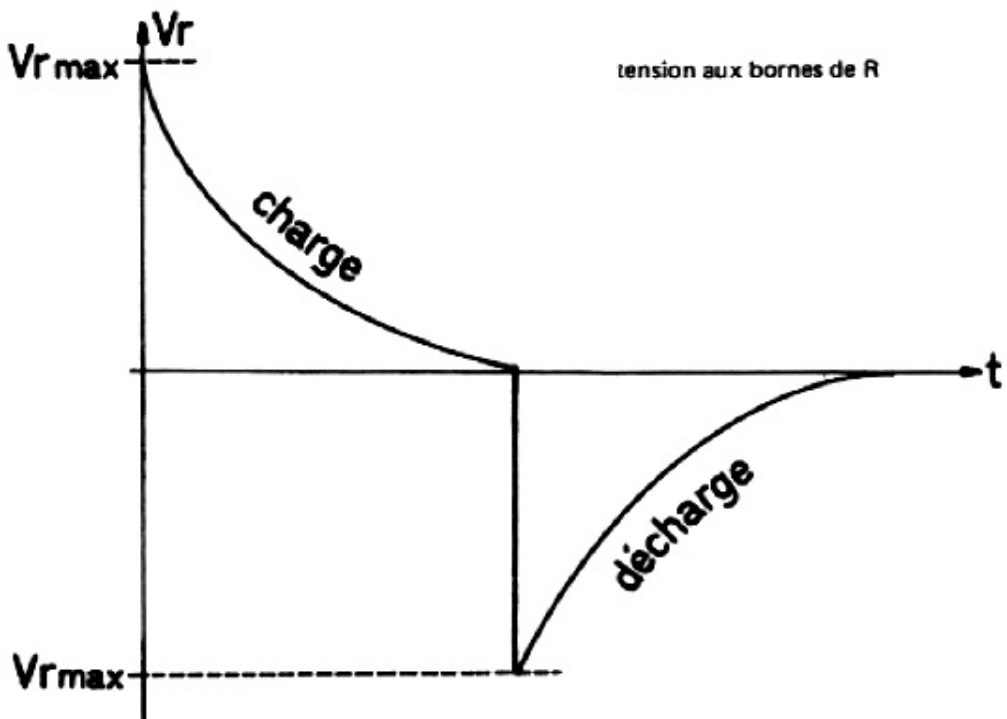
Les figures 15-a et 15-b montrent les formes des tensions respectivement aux bornes du condensateur et aux bornes de la résistance.

Sur cette figure, nous pouvons faire plusieurs remarques importantes :

a) La tension aux bornes du condensateur garde son signe (positif ou négatif) pendant la charge et la décharge.



a



b

Figure 15

b) La tension aux bornes de la résistance s'inverse au début de la décharge.

D'autre part, dans la résistance, la tension a la même forme que le courant. Ceci est tout à fait normal et confirme ce que vous avez appris dans le chapitre "circuits résistifs".

c) Au début de la charge, la tension est maximum aux bornes de la résistance. On peut donc dire que le condensateur a transmis instantanément la tension de la source aux bornes de la résistance.

## 2 - 3 - CONSTANCE DE TEMPS

Vous avez certainement remarqué d'après les courbes que les temps de charge et de décharge sont très longs.

En Electronique, on considère qu'un condensateur est chargé lorsqu'il a atteint 63,2 % de la charge totale.

Cette charge partielle s'effectue en un temps CR (en seconde) que l'on calcule en faisant le produit de la capacité (en farad) par la résistance (en ohm).

Le produit  $C \times R$ , égal au temps consacré à atteindre les 63,2 % de la charge totale, reçoit le nom de CONSTANCE DE TEMPS et est symbolisé par la lettre grecque  $\tau$  (tau).

$$\tau \text{ (s)} = R \text{ (\Omega)} \times C \text{ (F)}$$

Exemple : pour un circuit comprenant une capacité de  $2 \mu\text{F}$  et une résistance de  $500 \Omega$  la constante de temps est égale à :

$$\tau = 500 \times 2 \cdot 10^{-6} = \frac{1}{1000000} = \frac{1}{1000} \text{ de seconde}$$

La charge totale est obtenue au bout d'un temps équivalent à CINQ FOIS LA CONSTANCE DE TEMPS.

## 2 - 4 - CIRCUITS CAPACITIFS EN ALTERNATIF

Le type de circuit qu'il nous faut examiner maintenant est celui que représente la figure 16.

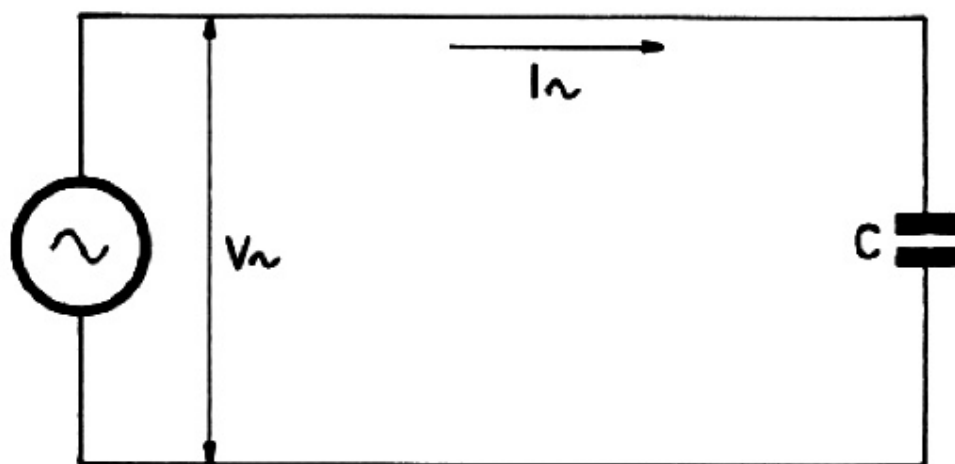


Figure 16

Un condensateur  $C$  est branché aux bornes d'un générateur de tension alternative.

Considérons de manière détaillée, ce qui se passe dans le circuit de la figure 16. Pour cela, traçons la courbe représentant la tension appliquée aux armatures du condensateur (figure 17).

A l'instant  $t_0$ , la tension délivrée par le générateur passe de 0 volt à une certaine valeur positive.

La différence de potentiel aux bornes du condensateur est toujours nulle. Un courant de charge intense va donc naître.

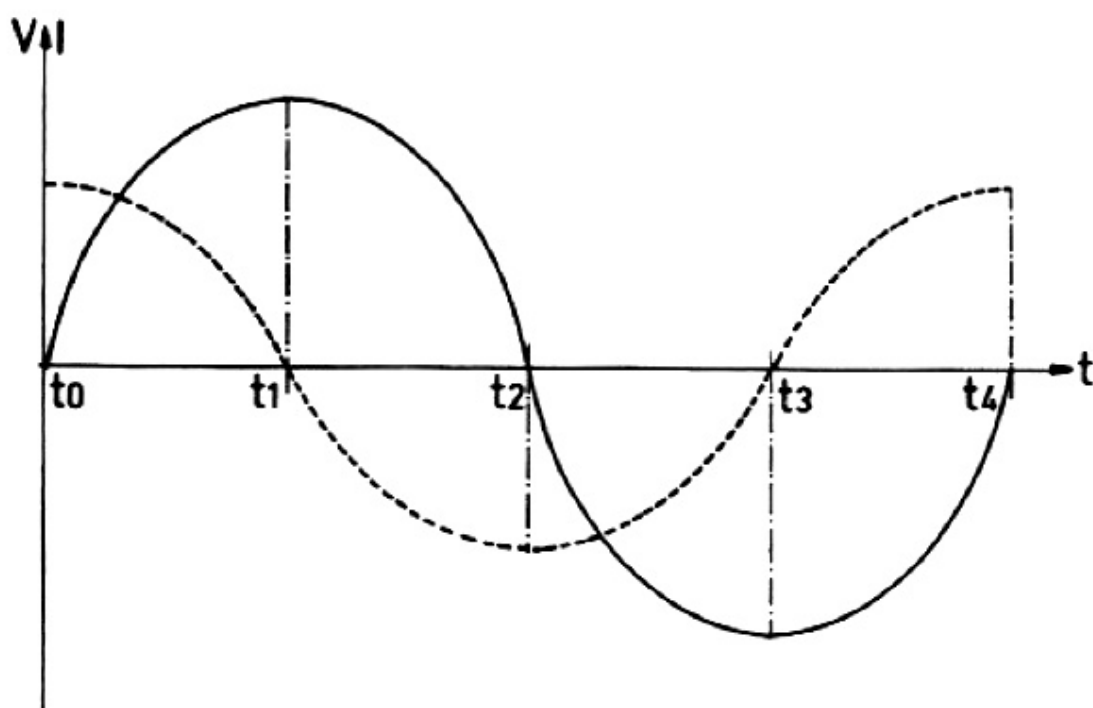


Figure 17

Dans l'espace de temps compris entre  $t_0$  et  $t_1$ , la tension fournie par le générateur augmente ; le condensateur se charge, de façon à ce qu'entre ses armatures il y ait à chaque instant, une tension égale à celle existant aux bornes du générateur.

Au moment  $t_1$ , la tension est maximum, le condensateur est complètement chargé et le courant s'annule.

De  $t_1$  à  $t_2$ , la tension délivrée par le générateur diminue ; le condensateur se décharge de façon à ce qu'entre ses armatures, il y ait à chaque instant une tension égale à celle fournie par le générateur.

Dans le circuit circule maintenant un courant de décharge, dont le sens est contraire à celui du courant de charge. Il devient maximum au temps  $t_2$  c'est-à-dire lorsque le condensateur est complètement déchargé et prêt à se charger négativement.

De  $t_2$  à  $t_4$ , le cycle est rigoureusement identique mais les polarités sont inversées.

Si on relève les valeurs du courant pour toutes les valeurs de tensions comprises entre  $t_0$  et  $t_4$ , on obtient la courbe  $I$  donnée sur la figure 17.

Il apparaît clairement que le courant est, lui aussi, SINUSOIDAL, mais DEPHASE EN AVANCE d'un quart de cycle ( $90^\circ$ ) par rapport à la tension.

On peut en déduire que le courant maximum n'est pas produit par la tension maximum, mais par la VARIATION de tension la plus rapide.

Si l'on représente le courant  $I$  et la tension  $V_C$  aux bornes du condensateur, nous obtenons la figure 18.

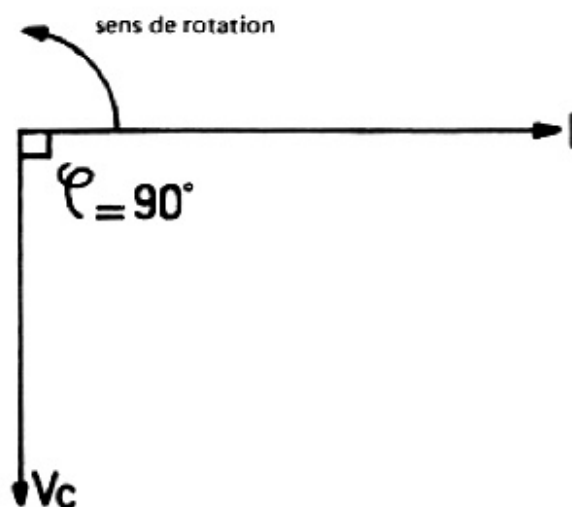


Figure 18

Cette représentation est appelée diagramme de FRESNEL. Les deux vecteurs  $I$  et  $V_C$  forment un angle  $\Phi$  de  $90^\circ$  figurant le déphasage.

## **2 - 5 - REACTANCE D'UN CONDENSATEUR**

Nous avons vu que le courant circule dans un circuit capacitif, alimenté par une tension alternative.

Nous avons déterminé la forme de ce courant et nous avons trouvé un système de représentation apte, à mettre en évidence le déphasage existant entre le courant et la tension.

Il nous reste maintenant à voir de quels éléments dépend l'intensité du courant obtenu, en appliquant une tension alternative déterminée à un circuit capacitif.

Rappelons tout d'abord que ce courant est dû aux charges et aux décharges du condensateur et que plus la capacité est grande, plus le courant est élevé.

Nous constatons ici une différence notable entre le comportement d'un condensateur et le comportement d'une résistance.

En effet, dans le cas d'un circuit résistif, le courant augmente quand la résistance diminue ; au contraire, dans un circuit capacitif, le courant augmente lorsque la capacité augmente.

Il ressort de tout cela que, la tension nécessaire pour faire circuler un courant déterminé dans un circuit capacitif, s'obtient en divisant ce courant par la capacité du condensateur.

Cependant, la division du courant par la capacité ne donne pas la tension, car il faut aussi tenir compte du fait qu'un condensateur empêche la circulation du courant continu et ne permet que la circulation du courant alternatif.

Cela veut dire, que ce courant dépend de la variation de la tension et plus précisément qu'il est d'autant plus élevé, que la tension varie plus rapidement.

Donc, on ne doit pas diviser le courant seulement par la CAPACITE, mais aussi par la PULSATION, qui indique justement la rapidité avec laquelle la tension varie.

Nous obtenons la formule :

$$U = \frac{I}{C \times \omega}$$

où U représente la tension alternative aux bornes du condensateur, I le courant alternatif dans le circuit et  $\omega$  la pulsation de la tension.

Pour certains, le terme  $\omega$  est totalement inconnu. Ce facteur est directement lié à la fréquence et symbolise la vitesse angulaire d'un vecteur tournant dans un cercle trigonométrique (voir figure 19).

Dans ce cercle, l'unité d'angle est le radian.

Un angle de  $180^\circ$  correspond à un angle de  $\pi$  radian ; un tour complet sur le cercle a  $2 \pi$  radians.

$\pi$  ayant pour valeur 3,14, un tour complet représente 6,28 radians.

La vitesse angulaire (ou pulsation)  $\omega$ , est égale au nombre de radians décrits par le vecteur V pendant une seconde.

La fréquence caractérisant le nombre de tours effectués par le vecteur pendant une seconde, on obtient la pulsation  $\omega$  en multipliant le nombre de radians ( $2 \pi$ ) représentant un tour par la fréquence.

$$\omega = 2 \pi \times F = 6,28 F.$$

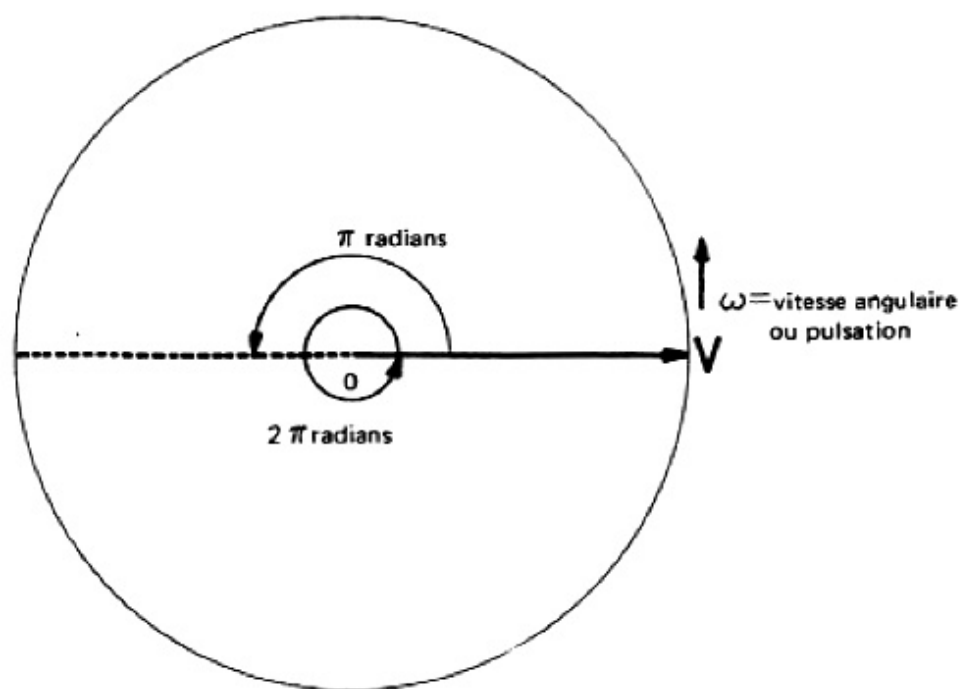


Figure 19

Pour  $F = 50$  Hz, nous obtenons :

$$\omega = 6,28 \times 50 = 314 \text{ radians/seconde}$$

Revenons à la formule :

$$U = \frac{1}{C \times \omega}$$

nous pouvons l'écrire :

$$U = I \times \frac{1}{C \omega}$$

Appelons  $X_c$ , le terme  $\frac{1}{C\omega}$ , nous obtenons :

$$U = I \times X_c$$

Cette relation vous rappelle certainement la Loi d'Ohm des circuits résistifs.

La résistance  $R$  est remplacée par le terme :

$$X_c = \frac{1}{C\omega}$$

Cette grandeur est appelée REACTANCE CAPACITIVE ou IMPEDANCE du circuit capacitif.

Pour un condensateur de  $2 \mu F$ , alimenté par une tension alternative de fréquence 50 Hz, la réactance est égale à :

$$\frac{1}{C\omega} = \frac{1}{2 \times 10^{-6} \times 2 \pi \times 50} = \frac{1}{2 \times 10^{-6} \times 314} = 1592 \Omega$$

Nous venons de voir que, pour un circuit capacitif, la réactance est l'équivalent de la résistance pour un circuit résistif.

Ceci signifie qu'un condensateur réagit à la circulation du courant alternatif, en opposant une réactance d'autant plus élevée, que la fréquence est faible.

Dans le cas d'une tension continue ( $F = 0$ ,  $\omega = 0$ ), la réactance est infinie ( $\frac{1}{C\omega} = \infty$ ) et le courant est nul.

## 2 - 6 - GROUPEMENT DE CONDENSATEURS

### A) Condensateurs en série.

La capacité totale de deux ou plusieurs condensateurs égaux, est obtenue en divisant la capacité d'un seul condensateur, par le nombre des condensateurs.

Prenons le cas de la figure 20, où deux condensateurs sont reliés en série.

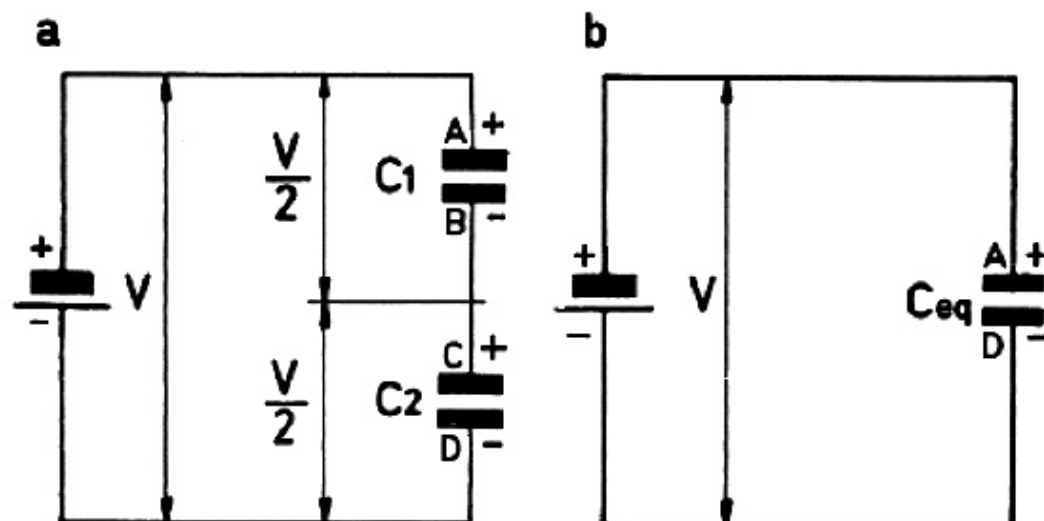


Figure 20

Nous voyons que la tension de la pile se divise en deux tensions égales, aux bornes de chacun des condensateurs.

Les armatures B et C ne jouent aucun rôle et le condensateur équivalent est composé uniquement des armatures A et D et des deux diélectriques.

En nous souvenant que la capacité diminue lorsque la distance entre les armatures augmente, nous concluons que la capacité du condensateur de la figure 20-b est égale à la moitié de la capacité d'un des condensateurs de la figure 20-a.

**REMARQUE :** La tension d'isolement pouvant être supportée par deux condensateurs identiques est le double de celle admise par un seul des condensateurs.

Si les deux condensateurs n'ont pas la même valeur, nous obtenons la capacité équivalente en divisant le produit de leur capacité par leur somme.

$$C_{eq} = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

Exemple :  $C_1 = 10\mu F$   
 $C_2 = 50\mu F$

$$C_{eq} = \frac{(10 \times 10^{-6}) \times (50 \times 10^{-6})}{10 \times 10^{-6} + 50 \times 10^{-6}} = \frac{500 \times 10^{-6}}{60 \times 10^{-6}} = 8,3 \mu F.$$

La formule générale pour trouver la capacité équivalente de plusieurs condensateurs en série est :

$$C_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots}$$

B) Condensateurs en parallèle.

Soit le circuit de la figure 21-a.

Sur les armatures des condensateurs  $C_1$  et  $C_2$ , il y a les mêmes tensions.

Si nous rapprochons les deux condensateurs, de façon à ce que les armatures de même signe viennent en contact, nous obtenons le condensateur de la figure 21-b.

Ce dernier possède des armatures de superficie double ; sa capacité est donc le double de celle d'un seul condensateur.

En règle générale, nous pouvons dire que la capacité équivalente de plusieurs condensateurs en parallèle est obtenue, en faisant la somme de leurs capacités.

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 \dots\dots$$

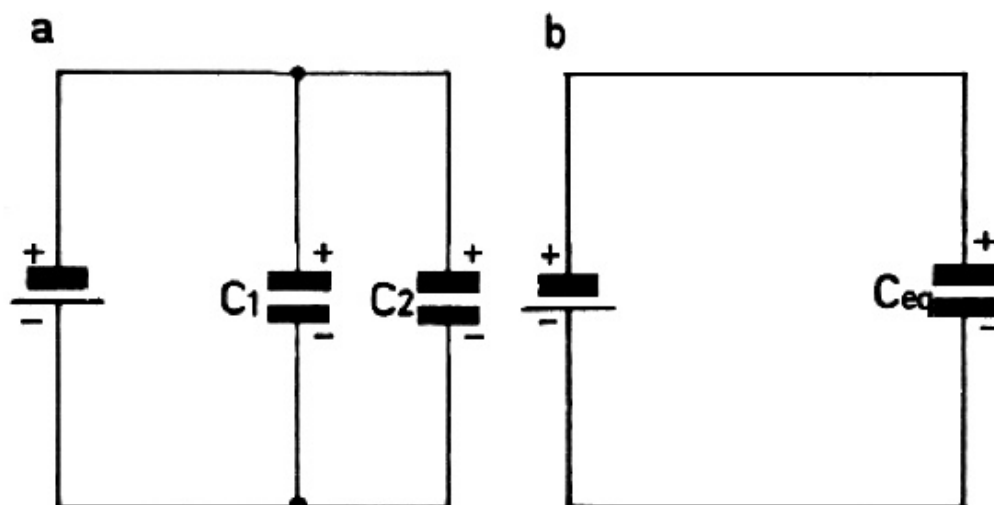


Figure 21

### 3 - CIRCUITS INDUCTIFS

#### 3 - 1 - AIMANTS ET BOBINES

Quand on pose une feuille de papier sur un barreau aimanté et qu'on la saupoudre de limaille de fer, on voit cette limaille se disposer selon les lignes de la figure 22-a.

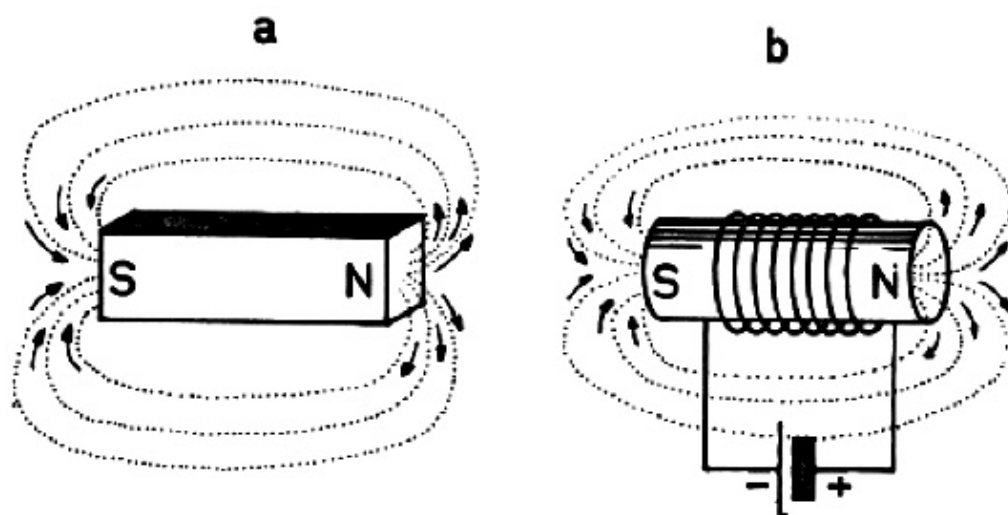


Figure 22

Ces lignes constituant le **SPECTRE MAGNETIQUE**, montrent les directions selon lesquelles s'exerce l'attraction de l'aimant.

Elles sont ce que l'on peut appeler, une carte du **CHAMP MAGNETIQUE** de l'aimant. Ce champ est plus concentré autour des deux pôles de l'aimant.

Le même résultat est obtenu avec un barreau de fer tout à fait ordinaire et nullement aimanté, en faisant passer un courant continu dans un fil conducteur enroulé autour de lui.

Ce dispositif est appelé **ELECTRO-AIMANT**.

Il n'est même pas nécessaire que le noyau de fer soit présent ; la bobine seule, quand elle est traversée par un courant, est elle aussi entourée par un champ magnétique ayant la même forme générale que celui de l'aimant rectiligne, ce que l'on peut voir en comparant les figures 22-a et 22-b.

Sans noyau de fer, le champ est beaucoup plus faible.

Enfin, si le fil est déroulé, chaque portion est entourée d'un champ magnétique circulaire.

Bien que celui-ci soit encore moins concentré que celui de la bobine, on peut le rendre apparent au moyen de la limaille de fer, comme sur la figure 23, à condition que le courant soit assez intense.

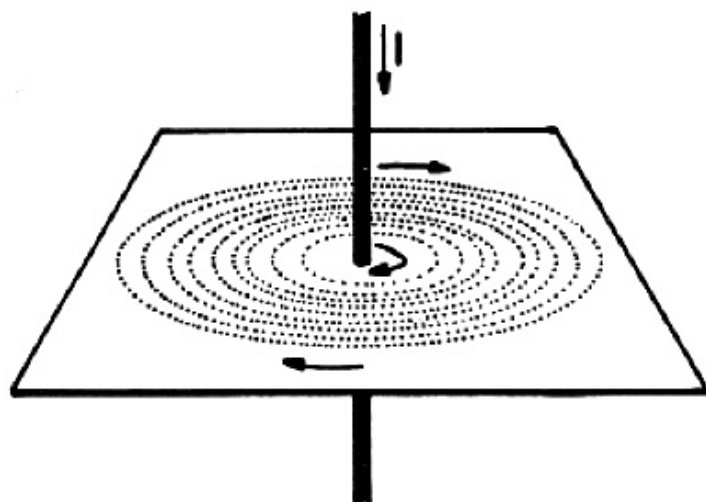


Figure 23

Les résultats de ces expériences et de certaines autres effectuées dans le même domaine, s'expriment en disant que tout conducteur électrique est entouré d'un champ magnétique qui produit un **FLUX MAGNETIQUE** (Symbole  $\Phi$  - Unité Weber).

En enroulant le fil conducteur sous forme de bobine compacte, les champs individuels des spires sont réunis et provoquent un flux magnétique concentré.

Enfin, certains métaux, notamment le fer et ses alliages, dits métaux **FERROMAGNETIQUES**, exercent sur le flux un effet multiplicatif ; cette propriété est nommée la **PERMEABILITE** relative du matériau, et on la désigne au moyen du symbole  $\mu r$ .

### 3 - 2 - L'INDUCTANCE ELECTRIQUE

De tout ce qui a été dit dans le paragraphe précédent, retenons que chaque bobine est caractérisée par son aptitude à fournir un flux quand ses spires sont parcourues par un courant.

Cette aptitude est appelée "INDUCTANCE ELECTRIQUE".

L'inductance  $L$  d'une bobine est obtenue en divisant le flux qu'elle produit par le courant.

En donnant le flux en weber et le courant en ampère, l'inductance est mesurée en weber/ampère.

Cette unité de mesure prend le nom de HENRY.

Dans de nombreux cas, le Henry est une unité trop grande ; c'est pourquoi, on a souvent recours au MILLIHENRY, qui vaut un millième de henry, ou bien au MICROHENRY qui vaut un millionième de henry.

De même que la capacité d'un condensateur dépend du diélectrique, l'inductance d'une bobine dépend de la matière qui se trouve à l'intérieur.

En effet, nous savons déjà qu'une bobine pourvue d'un noyau ferromagnétique produit un flux d'induction d'autant plus grand, que le coefficient de PERMEABILITE ABSOLUE DU NOYAU est élevé.

Pour une bobine sans noyau et qui est donc remplie d'air, on a la PERMEABILITE DE L'AIR (ou du vide), que l'on indique par  $\mu_0$ .

Pour une bobine avec noyau, on introduit la PERMEABILITE RELATIVE DE CELUI-CI, que l'on indique par  $\mu_r$ .

La perméabilité absolue  $\mu$  d'un matériau s'obtient en multipliant sa perméabilité relative  $\mu_r$  par la perméabilité de l'air.

$$\mu = \mu_r \times \mu_0$$

### 3 - 3 - INDUCTION ELECTRO-MAGNETIQUE

Nous pouvons comprendre en quoi consiste ce phénomène en nous référant à la figure 24, où sont dessinées une bobine parcourue par un courant et une spire que l'on déplace par rapport à la bobine.

Si l'on déplace la spire de façon à ce qu'elle embrasse plus ou moins des lignes de force, on constate qu'il existe entre ses extrémités une différence de potentiel : c'est en cela que consiste le phénomène d'INDUCTION ELECTRO-MAGNETIQUE.

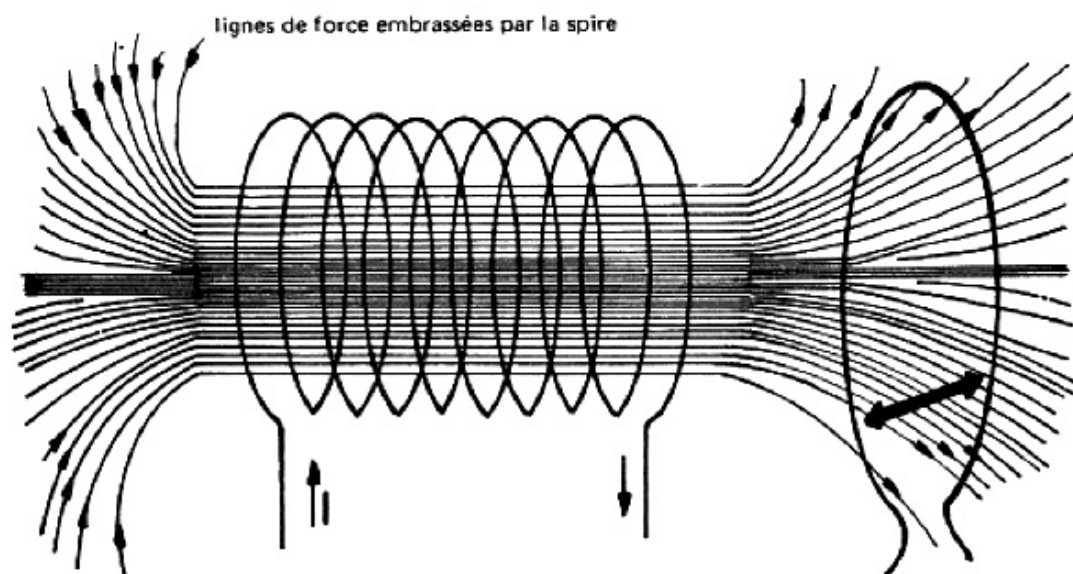


Figure 24

Cette tension est appelée force électromotrice induite (f.e.m induite) et elle est due au fait que le flux d'induction embrassé par la spire a varié.

On peut faire varier le flux de deux façons : en déplaçant la spire, ou bien en faisant varier le courant qui produit le flux.

Dans les deux cas, nous avons création d'une f.e.m induite.

La valeur de la f.e.m induite dans une spire dépend :

- de la **VARIATION** de flux d'induction embrassé par cette spire. Elle est d'autant plus élevée, que la variation est plus **GRANDE**,
- du **TEMPS** durant lequel cette variation se produit.

D'après ces observations, il est facile de comprendre que la f.e.m induite dans une spire s'obtient en divisant la variation de flux par le temps durant lequel s'effectue cette variation.

$$E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Si à la place d'une seule spire, nous avons un bobinage constitué de plusieurs spires, on multiplie la f.e.m induite dans une spire par le nombre de spires.

Etudions maintenant ce qui se passe quand la spire est reliée à une résistance, de manière à obtenir un circuit fermé.

La f.e.m induite fait circuler dans ce circuit un courant appelé **COURANT INDUIT**.

**LE COURANT INDUIT, A UN SENS DE CIRCULATION TEL, QU'IL S'OPPOSE A LA CAUSE QUI L'A ENGENDRE.**

Cette loi fut énoncée par le physicien Russe Emile LENZ et porte le nom de LOI DE LENZ.

Un phénomène analogue se produit non seulement quand il y a deux circuits distincts (cas de la figure 24), mais également quand il n'y a qu'un seul circuit.

En effet, si nous considérons une seule bobine parcourue par un courant variable, nous pouvons dire que la première spire induit une f.e.m dans la seconde, que la seconde induit une f.e.m dans la troisième et ainsi de suite.

La bobine induit donc en elle-même une f.e.m à chaque variation du flux qu'elle produit.

Ce phénomène prend le nom d'AUTO-INDUCTION.

La loi de LENZ est encore applicable dans ce cas. Le courant d'AUTO-INDUCTION tend donc à s'opposer aux variations du courant traversant la bobine. La f.e.m qui en résulte est, elle aussi, en opposition avec la f.e.m induite dans la bobine.

Cette nouvelle f.e.m prend le nom de FORCE CONTRE ELECTROMOTRICE (f.c.e.m).

### **3 - 4 - CIRCUIT INDUCTIF EN CONTINU**

Le montage employé pour étudier le comportement d'une bobine est donné figure 25.

Le commutateur permet, en position A, d'alimenter la bobine en courant continu ; en position B, de relier sur elle-même la bobine.

La résistance R représente la résistance ohmique du fil de cuivre constituant les enroulements.

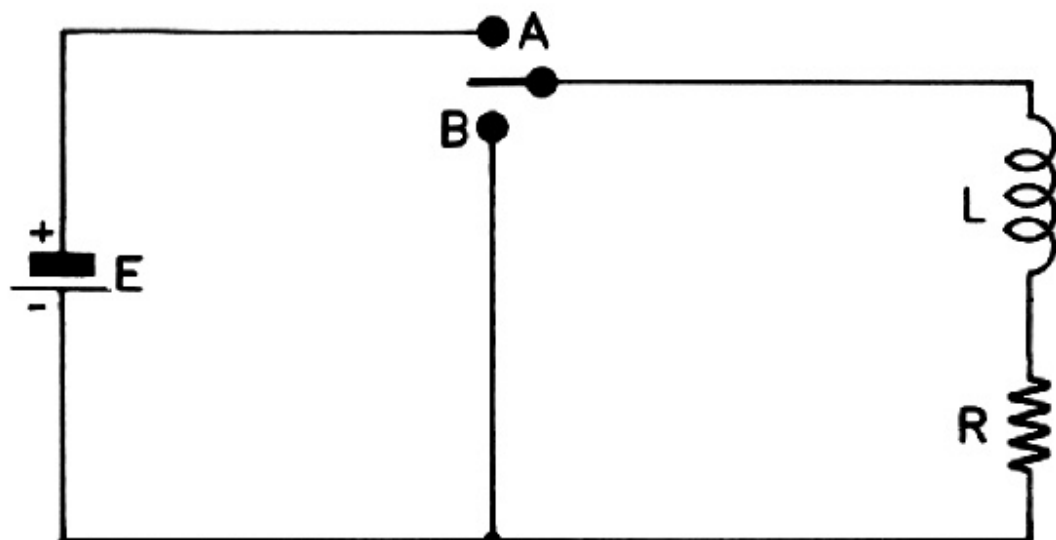


Figure 25

Dans la position où se trouve le commutateur sur la figure 25, aucun courant ne circule, et il ne se produit par conséquent aucun flux magnétique.

Au moment où le commutateur est mis en contact avec le point A, la tension  $E$  est appliquée à l'ensemble  $L$  et  $R$ .

Si on appliquait la Loi d'Ohm, le courant devrait immédiatement atteindre une intensité maximum égale à  $\frac{E}{R}$ .

Dans ce cas, la variation de flux serait produite par le courant de 0 à une valeur maximum en un TEMPS NUL ; il en résulterait une f.c.e.m infinie, en opposition avec la source.

Mais, comme nous l'avons vu plus haut, une telle variation de courant est impossible puisque, d'après la Loi de LENZ, la bobine va créer un courant induit s'opposant au courant tendant à s'établir dans le circuit.

Le courant résultant va donc augmenter graduellement de 0 Ampère à la valeur maximum. La forme du courant circulant effectivement dans le circuit est donnée figure 26, c'est encore une fois une courbe EXPONENTIELLE.

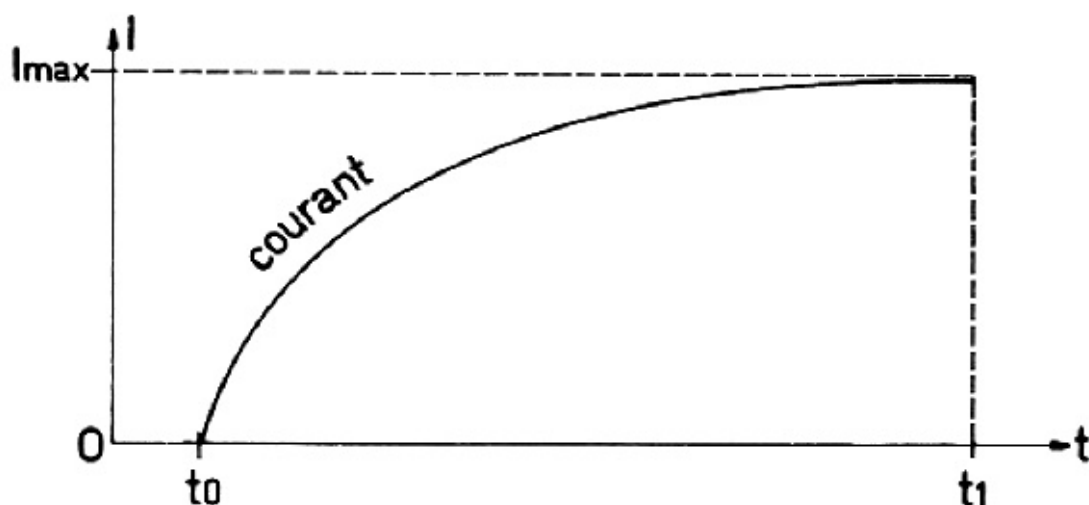


Figure 26

Voyons maintenant la forme de la tension aux bornes de L (figure 27).

Au moment  $t_0$  où l'on établit le contact en A, le courant est nul et il n'y a aucune chute de tension aux bornes de R.

Par conséquent, à ce moment précis la f.e.m. de la batterie est en opposition avec une f.e.m. induite égale à la sienne qui empêche le courant de circuler.

De  $t_0$  à  $t_1$ , le courant augmente graduellement et la chute de tension aux bornes de R augmente également. Il en résulte que la tension aux bornes de L diminue, en suivant une courbe exponentielle décroissante.

Au temps  $t_1$ , le courant est maximum mais ne varie plus ; la bobine ne produit donc plus de f.c.e.m et la tension à ses bornes est nulle.

Le courant ayant atteint son intensité maximum, renversons le commutateur de A vers B.

Au moment où nous agissons sur le commutateur, le champ magnétique existe dans la bobine.

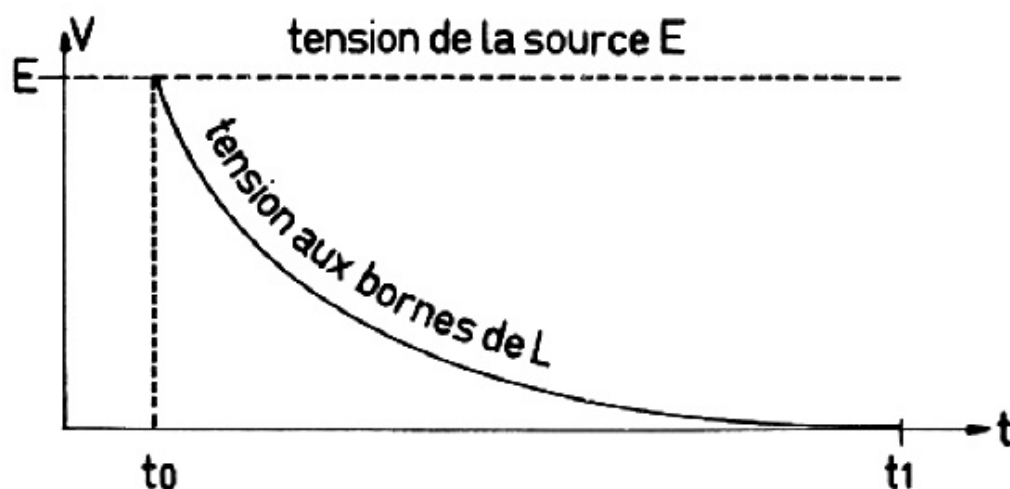


Figure 27

Ce champ peut disparaître uniquement quand le courant cesse de circuler ; dès que le courant commence à diminuer, il induit dans la bobine une f.c.e.m tendant au contraire à l'entretenir.

Le courant ne va donc pas chuter brutalement de la valeur maximum à 0 ampère, mais va diminuer en suivant une courbe exponentielle (figure 28).

A l'instant  $t_1$ , la batterie est déconnectée, mais le courant est maximum ; il faut donc que la bobine  $L$  produise une f.c.e.m égale à la batterie mais de SIGNE INVERSE, de façon à combattre la diminution de courant.

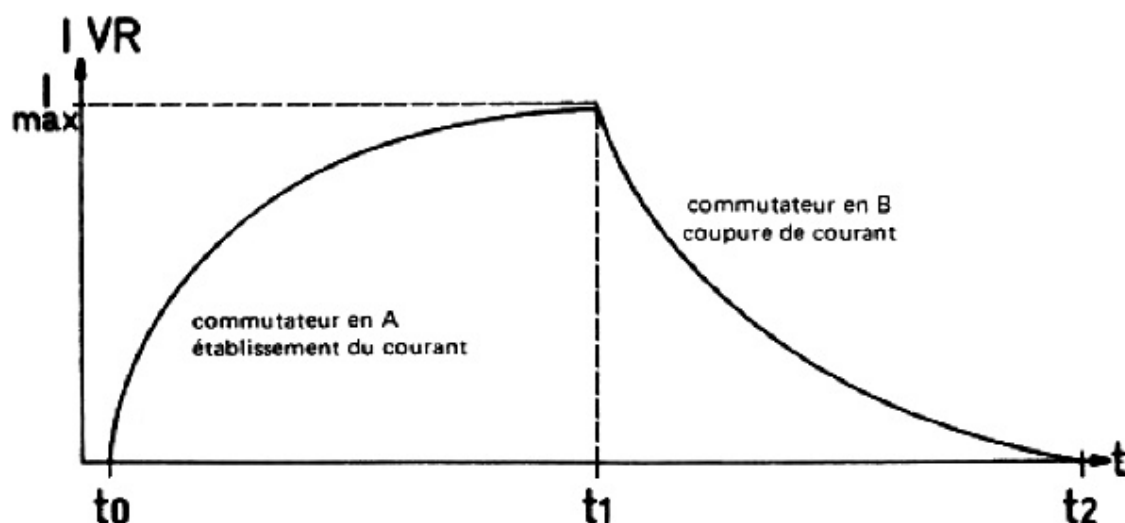


Figure 28

De  $t_1$  à  $t_2$ , le courant diminue exponentiellement et la f.c.e.m produite par la bobine va remonter de la valeur  $-E$  à 0 volt.

La figure 29 montre la forme de la tension aux bornes de  $L$ , quand le commutateur est en A et en B.

En conclusion, nous pouvons admettre que la bobine a accumulé de l'énergie sous forme de champ magnétique, pendant l'établissement du courant.

La bobine restitue l'énergie emmagasinée en produisant un courant tendant à retarder l'interruption du courant.

### 3 - 5 - CONSTANCE DE TEMPS

Tout comme les circuits capacitifs, les circuits inductifs sont caractérisés par leur constante de temps.

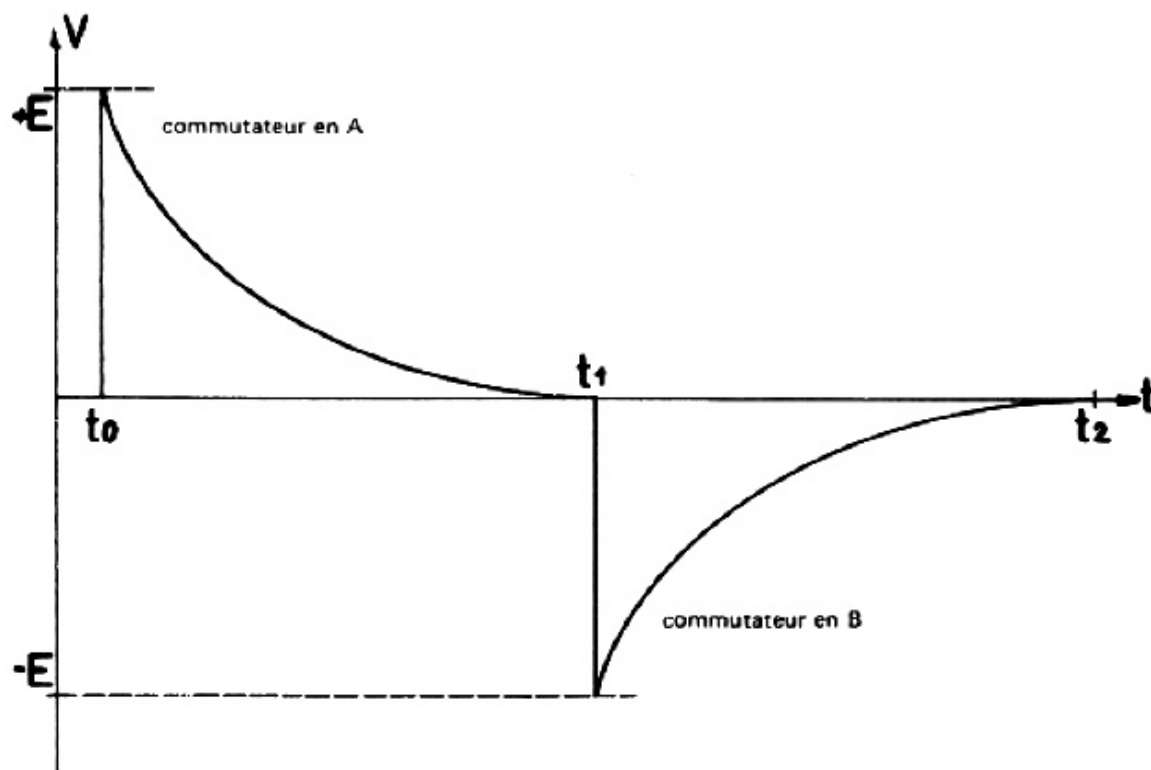


Figure 29

Ce temps est obtenu en faisant le rapport  $\frac{L}{R}$ , (L en Henry, R en ohm, t en seconde).

Il correspond au temps que met le courant pour atteindre les 63,2 % de sa valeur maximum.

### 3 - 6 - CIRCUITS INDUCTIFS EN ALTERNATIF

Soit le circuit de la figure 30 où une bobine est branchée aux bornes d'un générateur de tension alternative.

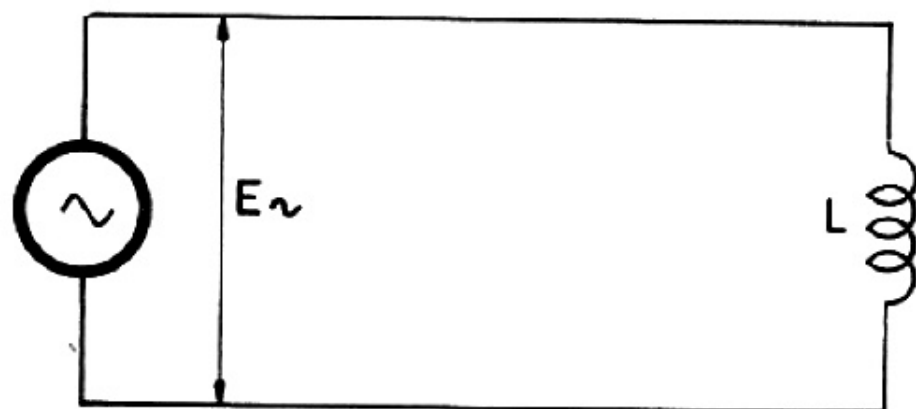


Figure 30

Considérons de manière détaillée, ce qui se passe dans ce circuit et pour cela, traçons la courbe représentant la tension appliquée aux bornes de la bobine L (figure 31).

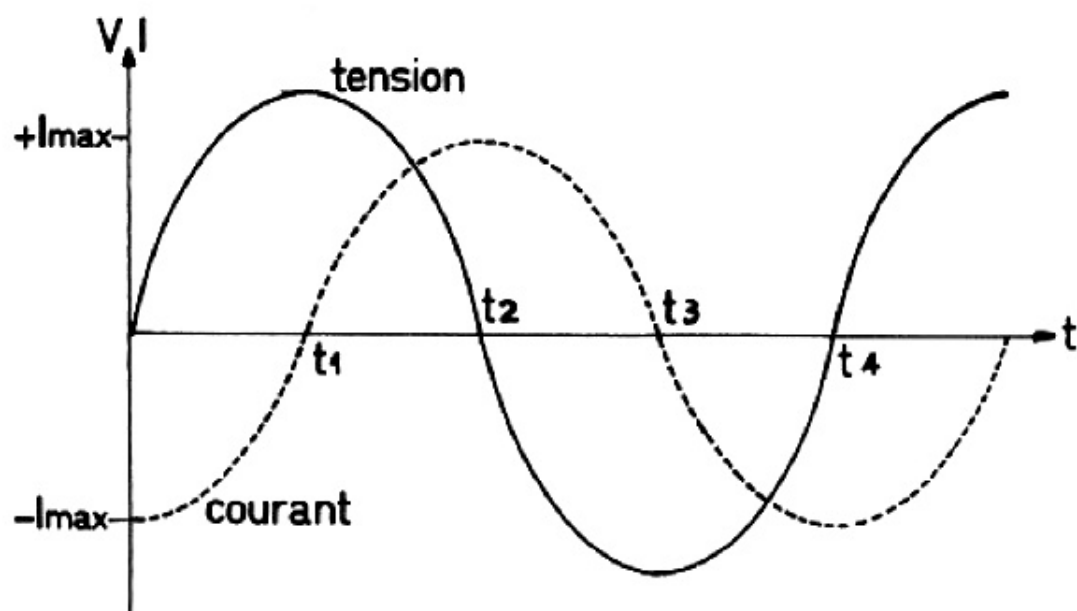


Figure 31

A l'instant  $t_1$ , la tension est maximum mais ne subit aucune variation. Le courant induit est donc nul.

A l'instant  $t_2$ , la tension passe à 0 volt, mais la variation est très grande puisqu'elle passe d'une valeur positive à une valeur négative.

Pour s'opposer à cette diminution, le courant doit être positif. Lorsque la tension s'annule, le courant est maximum.

A l'instant  $t_3$ , la tension est à son maximum négatif, mais ne subit aucune variation ; le courant est donc nul.

A l'instant  $t_4$ , la tension passe très rapidement d'une valeur négative à une valeur positive. La bobine crée donc un courant négatif maximum s'opposant à cette augmentation.

Si nous traçons complètement la courbe du courant sur la figure 30, nous trouvons qu'il est également sinusoïdal, mais **DEPHASE EN ARRIERE** d'un quart de cycle ( $90^\circ$ ) par rapport à la tension.

Si nous représentons la tension et le courant par des vecteurs tournants, nous obtenons le diagramme de **FRESNEL** de la figure 32.

Les deux vecteurs  $V_L$  et  $I_L$  forment un angle de  $90^\circ$  figurant le déphasage.

### 3 · 7 · RECTANCE D'UNE BOBINE

Nous avons vu que le courant circulant dans une bobine alimentée par une tension alternative, est d'autant plus grand que l'inductance de la bobine est élevée.

Nous venons de voir également que le courant maximum est obtenu, au moment où la variation de tension est la plus rapide.

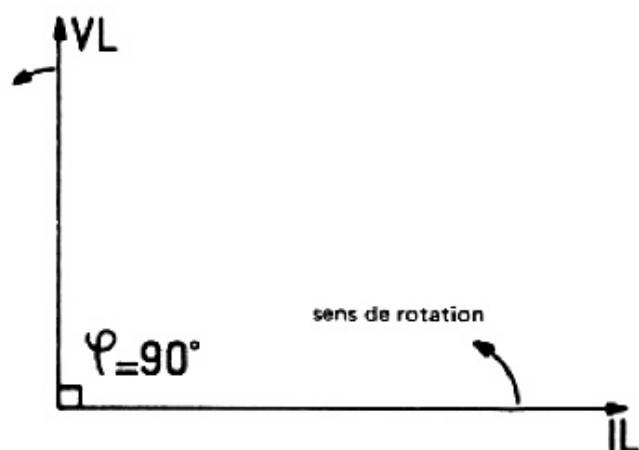


Figure 32

Vous en concluez certainement que la fréquence de la tension aura une influence importante sur le courant.

Ce courant est donné par la formule :

$$I = \frac{E}{L \omega}$$

Inversement, nous pouvons écrire que la tension est égale à :

$$E = L \omega I,$$

où  $L$  est donné en Henry,  $\omega$  représente la pulsation ( $2 \pi F$ ) de la tension et  $I$  le courant en ampère.

Dans ces conditions, la tension  $E$  est obtenue en volt.

Si nous remplaçons le terme  $L \omega$  par  $X_L$ , nous obtenons :

$$E = X_L \cdot I.$$

$X_L$  est appelé REACTANCE INDUCTIVE ou plus généralement IMPEDANCE DE LA BOBINE.

$$X_L = L \omega$$

### 3 - 8 - ASSOCIATION DE BOBINES

#### A) BOBINES EN SERIE

Soit les deux bobines de la figure 33-a.

Chaque bobine  $L$  produit une f.e.m  $E$ . La f.e.m totale est égale à  $E + E$ . L'inductance totale (figure 33-b) est donc la somme des inductances de chacune des bobines.

$$L_{eq} = L_1 + L_2 + \dots$$

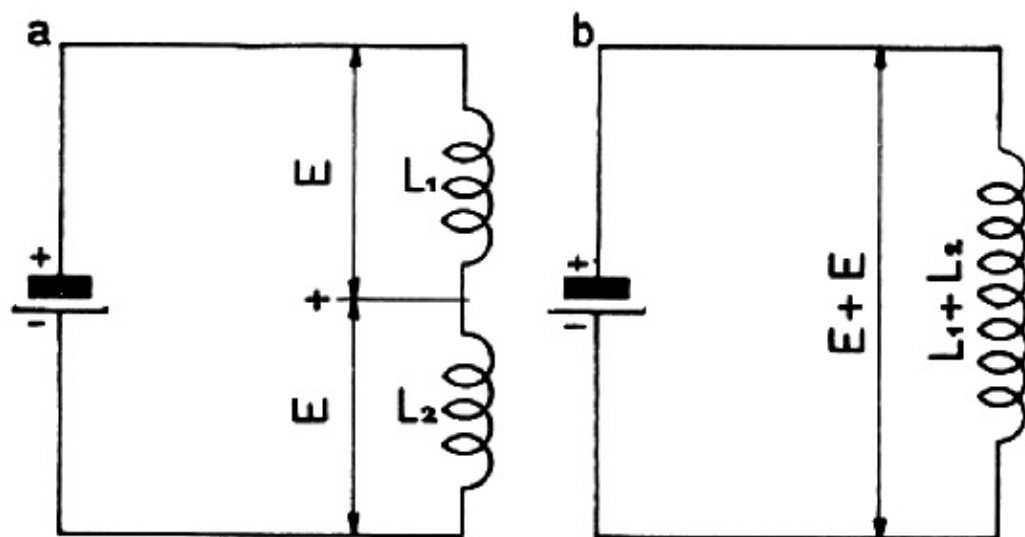


Figure 33

## B) BOBINES EN PARALLELE

Soit le circuit de la figure 34-a.

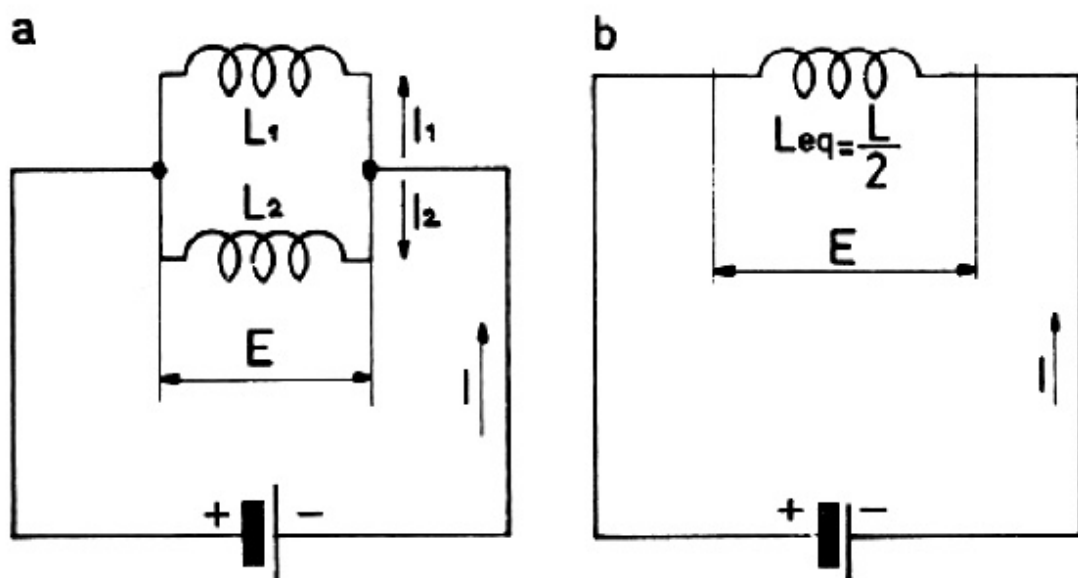


Figure 34

Si les deux bobines ont des inductances égales, nous voyons que chacune des bobines engendre une f.e.m  $E$  et est parcourue par un courant égal à la moitié du courant total  $I$ .

La bobine équivalente doit produire une f.e.m  $E$ , lorsqu'elle est parcourue par un courant  $I$ .

L'inductance équivalente est donc égale à la moitié de l'inductance d'une seule des bobines (figure 34-b).

$$L_{eq} = \frac{L}{2} .$$

Si nous avons plusieurs bobines non égales montées en parallèle, l'inductance équivalente est obtenue en appliquant la formule :

$$Leq = \frac{1}{\frac{1}{L1} + \frac{1}{L2} + \frac{1}{L3}}$$

Exemple :    L1 = 2 Henrys  
                   L2 = 0,5 Henry  
                   L3 = 5 Henrys.

$$Leq = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{0,5} + \frac{1}{5}} = \frac{1}{0,5 + 2 + 0,2} = \frac{1}{2,7}$$

Leq = 0,34 Henry.

L'étude du comportement des éléments simples (résistance, condensateur, bobine) est maintenant terminée.

Nous allons maintenant étudier le comportement de circuits plus complexes, faisant appel à plusieurs éléments simples, soumis à un régime alternatif.

#### 4 - CIRCUITS RC

##### A)CAPACITE ET RESISTANCE EN SERIE

La figure 35 est un exemple du type de circuit que nous allons étudier maintenant.

Nous connaissons les relations liant tension et courant dans chacun de ces éléments pris séparément.

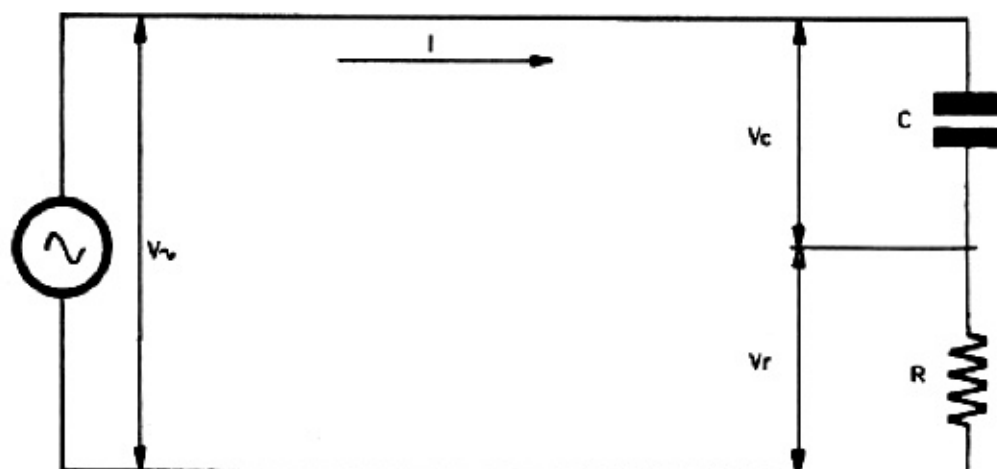


Figure 35

Quand ils sont placés en SERIE, LE MEME COURANT doit circuler dans les deux, et ce courant ne peut être à la fois en phase avec la tension du générateur et en avance sur elle de  $90^\circ$ .

Mais il est tout à fait possible que le courant soit en phase avec la tension aux bornes de la résistance, et en avance de  $90^\circ$  sur la tension aux bornes du condensateur.

Ces deux tensions ( $V_R$  et  $V_C$ ) qui, de toute évidence sont déphasées de  $90^\circ$  l'une par rapport à l'autre, doivent quand on les additionne, former un total égal à la tension du générateur.

Représentons à l'aide de vecteurs tournants, le courant  $I$  et les tensions  $V_R$  et  $V_C$  (figure 36).

Pour commencer, traçons le vecteur  $I$  en lui donnant une longueur quelconque, représentant l'intensité du courant.

Comme nous ne considérons que les phases relatives, nous pouvons le tracer dans n'importe quelle direction.

Généralement, le vecteur représentant la grandeur commune aux éléments du circuit est disposé horizontalement et dirigé vers la droite.

Le vecteur  $V_R$  est tracé dans la même direction que le vecteur  $I$ , de manière à figurer le fait que, dans une résistance, le courant est en phase avec la tension.

Le vecteur  $V_C$  représente la tension  $V_C = X_C \times I$  aux bornes du condensateur et sachant, que le courant est en avance de  $90^\circ$  sur cette tension, nous devons tracer ce vecteur à  $90^\circ$  sous le vecteur  $I$ .

Le vecteur  $V$  (diagonale issue de  $O$ , du parallélogramme obtenu en traçant les parallèles aux vecteurs  $V_R$  et  $V_C$ ) donne la grandeur et la phase  $\varphi$  de la tension  $V$  aux bornes du circuit  $RC$ .

A ce sujet, il est bon de voir, comment on détermine le vecteur équivalent à plusieurs vecteurs tournants.

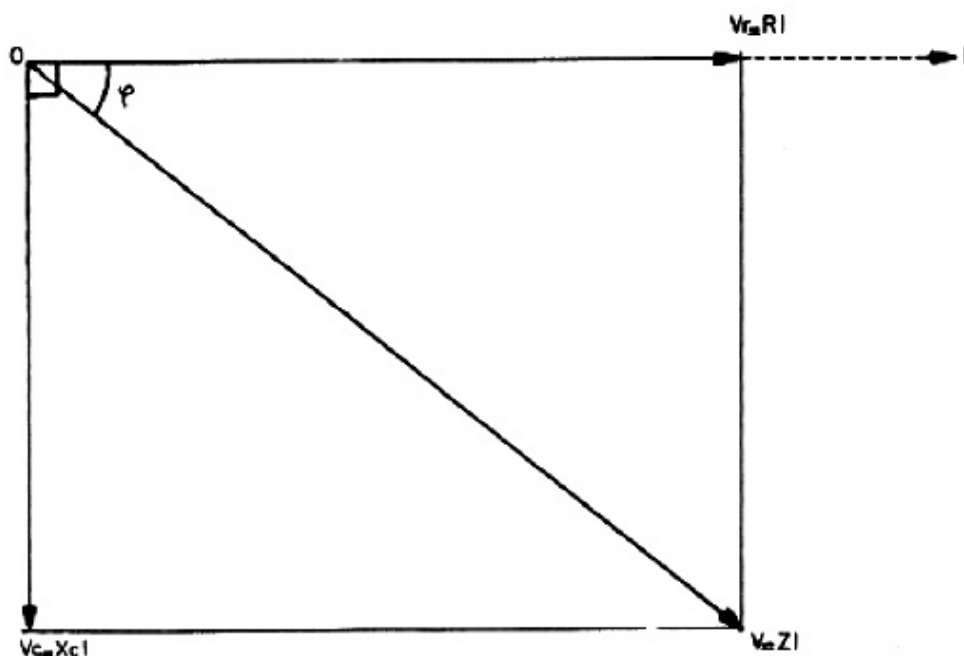


Figure 36

1) Cas de deux vecteurs (figure 37).

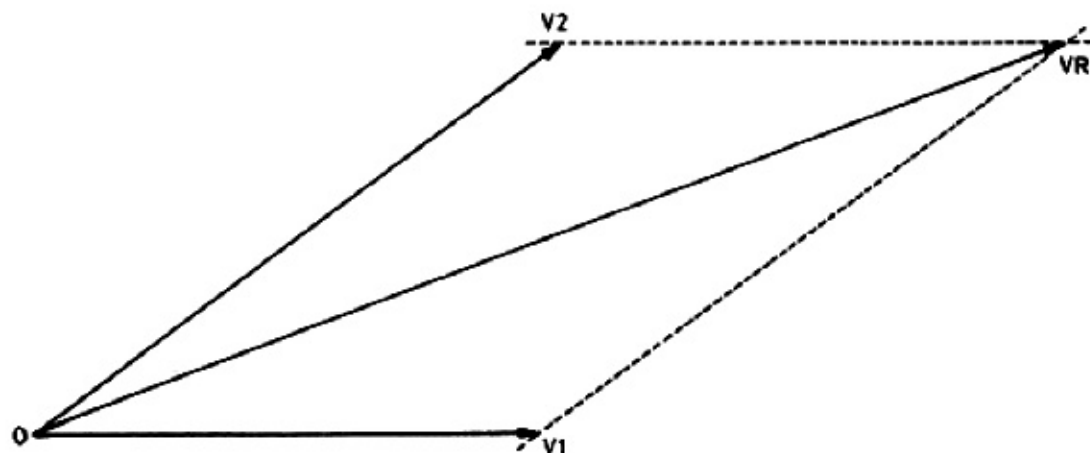


Figure 37

La méthode la plus simple, consiste à tracer les parallèles aux deux vecteurs  $V_1$  et  $V_2$ .

On est maintenant en présence d'un parallélogramme dont la diagonale, issue de l'origine  $O$ , représente le vecteur résultant  $VR$ .

2) Cas de plusieurs vecteurs (figure 38).

Soit les vecteurs  $V_1, V_2, V_3$ .

La somme vectorielle de plusieurs vecteurs s'obtient en traçant les vecteurs bout à bout, tout en gardant leur direction et leur grandeur.

Le vecteur résultant joint l'origine du premier à l'extrémité du dernier.

## IMPEDANCE

Un terme spécial est nécessaire pour qualifier la nouvelle propriété que possède le circuit RC, propriété qui consiste à limiter d'une certaine manière, le passage d'un courant électrique.

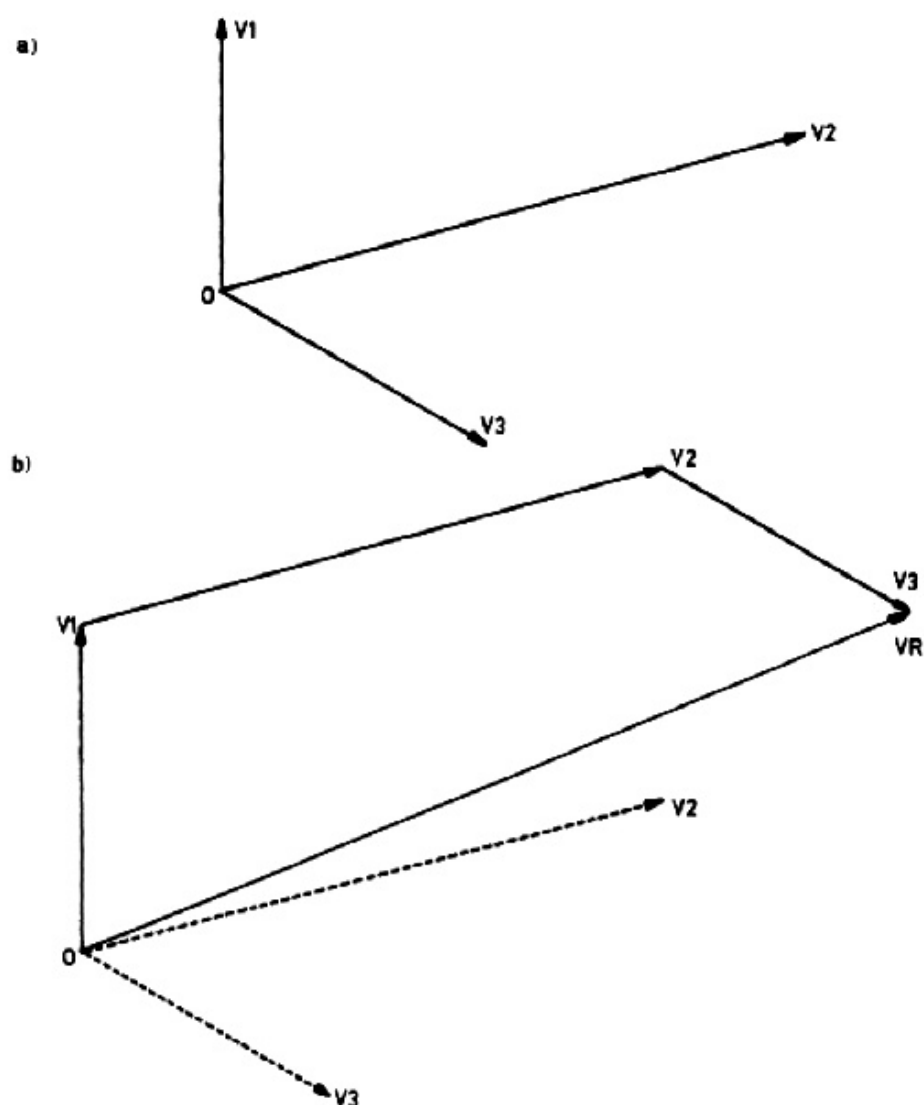


Figure 38

**RESISTANCE** convient à **R** et **REACTANCE** à **C** ; une combinaison des deux est appelée **IMPEDANCE**.

Le symbole correspondant est **Z**. La réactance et la résistance ne sont que des cas particuliers d'impédance.

Nous nous trouvons donc en présence d'une nouvelle relation analogue à celles qui expriment la Loi d'Ohm.

Cette nouvelle relation prend le nom de **LOI D'OHM GENERALISEE** et peut englober tous les types de circuits.

Les trois formes de cette loi s'énoncent :

$$U = Z \times I$$

$$I = \frac{U}{Z}$$

$$Z = \frac{U}{I}$$

Bien que **Z** soit la combinaison de **R** et de **XC**, il serait faux de dire :

$$Z = R + XC$$

Supposons en effet que, dans la figure 35 :

$$C = 2\mu F \text{ et } R = 1000\Omega$$

Fixons **I** à une valeur de 0,2 Ampère.

Dans ce cas, **VR** est égal à **R x I**, c'est-à-dire :

$$1000 \times 0,2 = 200 \text{ Volts.}$$

VC est égal à I multiplié par XC.

La réactance capacitive ( $XC = \frac{1}{C\omega}$ ) d'un condensateur de 2  $\mu F$ , alimenté par une tension alternative de fréquence 50 Hz, vaut approximativement 1590  $\Omega$  (voir chapitre 2).

$$VC = I \times XC = 0,2 \times 1590 = 318 \text{ Volts}$$

Si les vecteurs de la figure 36 ont des longueurs proportionnelles aux données qu'ils représentent, nous constatons, en mesurant le vecteur V, que la tension V est de 376 Volts.

Il en résulte que :

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{376}{0,2} = 1880 \Omega$$

Cette valeur est très loin du total de 1590 + 1000.

Les trois vecteurs de la figure 36 caractérisant les tensions V, VR et VC peuvent, dessinés à une échelle convenable, représenter aussi les impédances (figure 39).

Dans cette figure, Z est l'hypoténuse du triangle rectangle O, XC, Z.

D'APRES LE THEOREME DE PYTHAGORE, NOUS SAVONS QUE : LE CARRE DE L'HYPOTENUSE EST EGAL A LA SOMME DES CARRES DES DEUX COTES FORMANT L'ANGLE DROIT.

Donc :

$$Z^2 = R^2 + XC^2$$

où

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

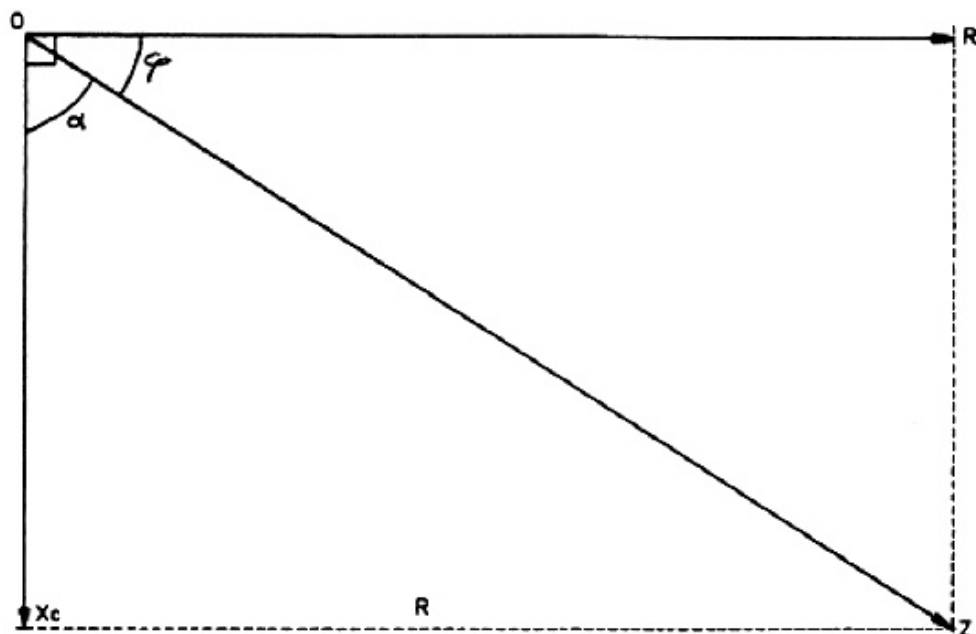


Figure 39

Nous pouvons maintenant calculer l'impédance du circuit, sans avoir recours aux représentations graphiques.

Exemple : Calculer l'impédance d'une résistance de  $50 \Omega$  et d'un condensateur de  $100 \mu F$ , montés en série et alimentés par une tension alternative de fréquence  $50 \text{ Hz}$ .

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

$$X_C = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{100 \times 10^{-6} \times 2 \times 3,14 \times 50} = \frac{1}{314 \times 10^{-4}}$$

$$= \frac{10000}{314} = 32 \Omega$$

$$Z = \sqrt{50^2 + 32^2} = \sqrt{2500 + 1024} = \sqrt{3524} \approx 59,5 \Omega$$

L'angle représentant le déphasage en avance de  $I$  par rapport à  $V$  (figure 36) est désigné par la lettre grecque  $\varphi$  (phi). Ceux qui connaissent la trigonométrie, verront immédiatement que :

$$\text{tangente } \varphi = \frac{VC}{VR} = \frac{XC}{R} .$$

Rappelons brièvement que, dans un triangle rectangle, la tangente d'un des angles non droit est égale au rapport du côté opposé sur le côté adjacent.

Exemple : dans le triangle rectangle  $O, Z, XC$  de la figure 39, la tangente de l'angle  $\alpha$  ( $\text{tg } \alpha$ ) est égale à  $\frac{R}{XC}$ .

### B) CAPACITE ET RESISTANCE EN PARALLELE

Dans les circuits du type que représente la figure 40, nous devons prendre pour point de départ la tension  $V$ .

En effet, celle-ci est COMMUNE aux deux éléments ( $C$  et  $R$ ) du circuit.

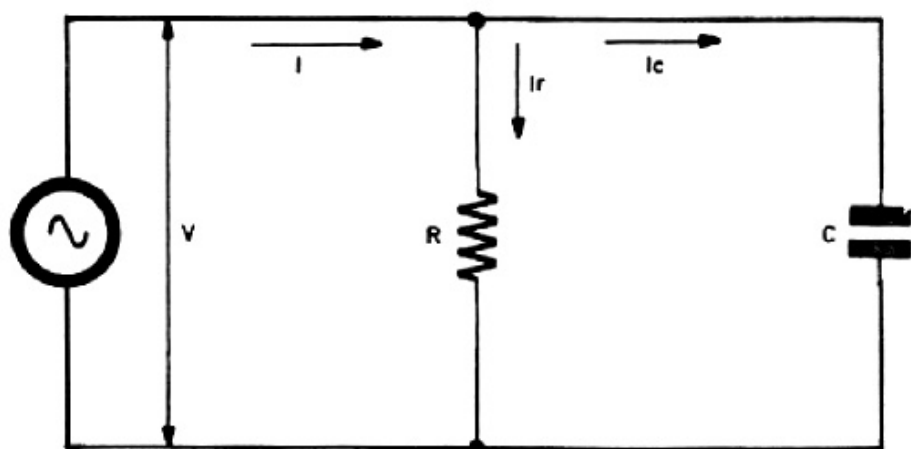


Figure 40

Le diagramme de FRESNEL (figure 41) est obtenu, en procédant comme nous l'avons fait pour le circuit série.

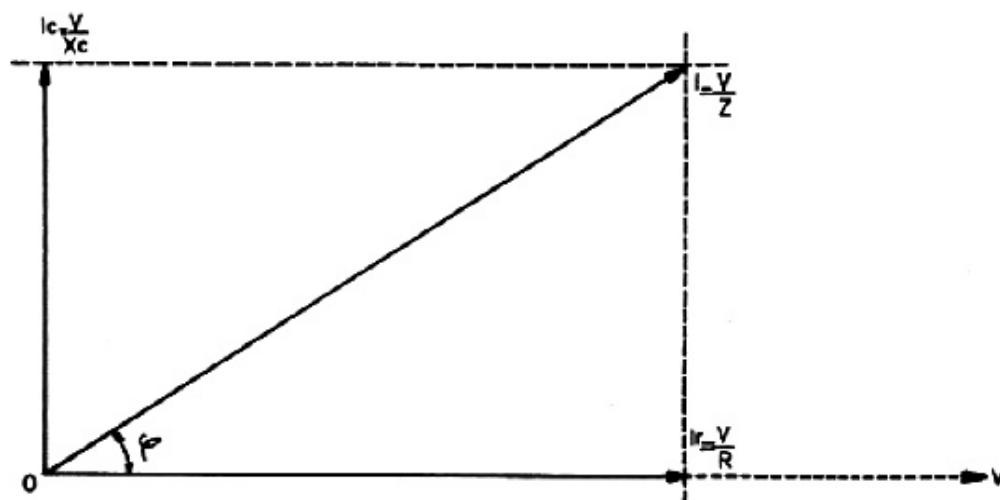


Figure 41

Nous avons à présent deux courants :

- $I_R$  EN PHASE AVEC  $V$ ,
- $I_C$  EN AVANCE SUR  $V$  DE  $90^\circ$ .

L'intensité  $I$  est représentée par l'hypothénuse du triangle rectangle  $O, I, I_R$ .

D'après le théorème de Pythagore, nous avons :

$$I^2 = I_R^2 + I_C^2$$

d'où nous tirons la valeur du courant total.

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

Si nous remplaçons les courants  $I$ ,  $I_R$  et  $I_C$  par leur valeur obtenue en appliquant la Loi d'Ohm généralisée :

$$\left(\frac{V}{Z}, \frac{V}{R}, \frac{V}{XC}\right)$$

nous obtenons la formule :

$$\frac{V}{Z} = \sqrt{\frac{V^2}{R^2} + \frac{V^2}{XC^2}}$$

Divisons les deux membres de l'égalité par la tension  $V$ . Ceci nous donne :

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{XC^2}}$$

ou encore :

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{XC^2}}}$$

On peut simplifier cette formule en l'écrivant sous la forme :

$$Z = \frac{R \times XC}{\sqrt{R^2 + XC^2}}$$

Il est donc très facile de calculer l'impédance, connaissant la valeur de la résistance et de la capacité.

Exemple :  $R = 100\Omega$  ,  $C = 100 \mu F$ .

Nous avons déjà calculé la réactance d'un condensateur de 100  $\mu\text{F}$ .

$$X_C = 32 \Omega$$

$$Z = \frac{R \times X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} = \frac{100 \times 32}{\sqrt{100^2 + 32^2}} = \frac{3200}{\sqrt{10000 + 1024}} = \frac{3200}{\sqrt{11024}} = \frac{3200}{105}$$

$$Z = 30,4 \Omega$$

Le déphasage du courant  $I$  et de la tension  $V$ , s'obtient en faisant le rapport  $\frac{I_C}{I_R}$

$$\text{En effet, tangente } \varphi = \frac{I_C}{I_R} \quad (\text{voir figure 41})$$

Si nous remplaçons  $I_C$  et  $I_R$  par leur valeur  $\frac{V}{X_C}$  et  $\frac{V}{R}$ , nous avons la nouvelle relation :

$$\text{tg } \varphi = \frac{\frac{V}{X_C}}{\frac{V}{R}} = \frac{R}{X_C}$$

Pour l'exemple précédent, la tangente de l'angle  $\varphi$  est égale à :

$$\frac{100 \Omega}{32 \Omega} \simeq 3$$

Cette tangente correspond à un angle très peu différent de  $70^\circ$ .

### C) RC SERIE SOUMIS A UNE TENSION CARREE.

Dans le chapitre 2, nous avons défini la constante de temps  $\tau$  dans un circuit RC série.

Nous allons étudier maintenant le comportement de différents circuits RC, alimentés par une tension carrée (appelée aussi tension rectangulaire) de fréquence fixe.

Soit la tension carrée représentée figure 42. La durée d'une période est égale à  $\theta$  secondes.

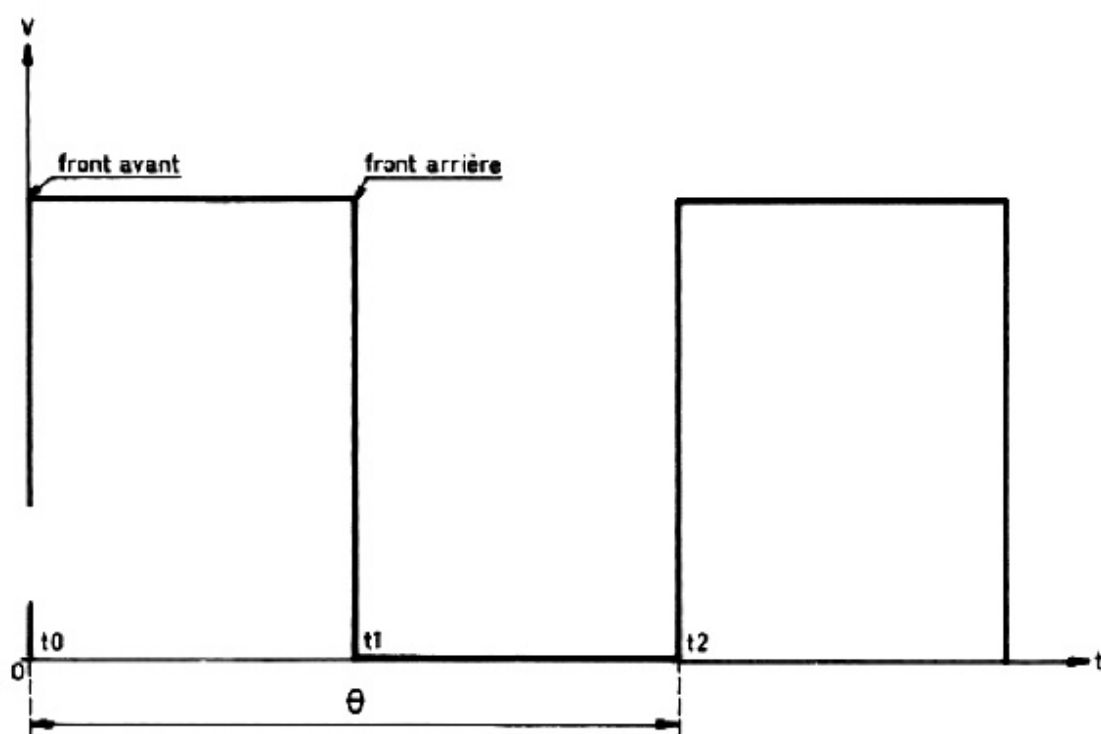


Figure 42

### PREMIER CAS

La CONSTANCE DE TEMPS DU RC est beaucoup PLUS GRANDE que la PERIODE,  $\tau \gg \theta$

Entre  $t_0$  et  $t_1$ , un courant de charge s'établit dans le circuit, mais la constante de temps étant très longue, la charge prise au temps  $t_1$  par le condensateur sera très faible.

Entre  $t_1$  et  $t_2$  le condensateur perd une faible partie de sa charge (temps de charge et de décharge long).

Entre  $t_2$  et  $t_3$ , le condensateur prend une nouvelle charge qui fait augmenter la tension à ces bornes.

Au bout de quelques périodes (3 sur la figure 43) le système se stabilise et nous obtenons les formes de tensions de la figure 43.

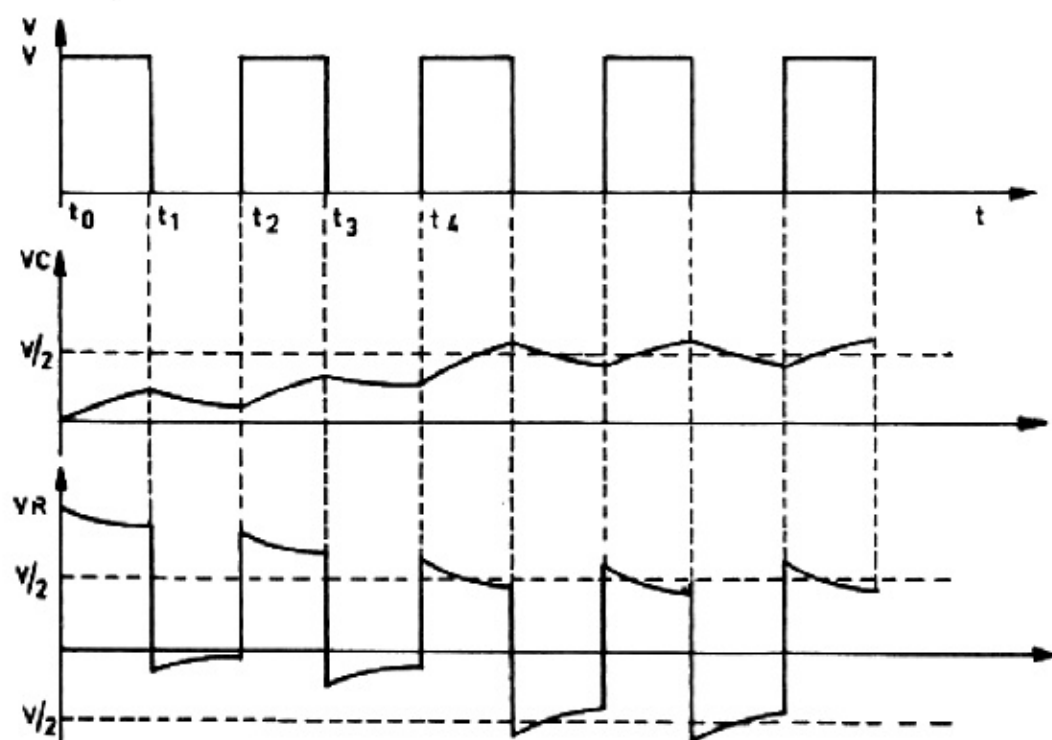


Figure 43

Le condensateur ne disposant jamais d'un temps suffisant pour se charger ou se décharger complètement, pendant une période du signal carré, la tension aux bornes du condensateur consiste donc en une série de portions de courbes exponentielles de charges et de décharges partielles, toutes symétriques par rapport à la tension moyenne du signal rectangulaire.

Remarquez que si l'on additionne les tensions aux bornes de C (VC) et aux bornes de R (VR), nous retrouvons la tension carrée.

Un circuit RC possédant ces caractéristiques est appelé RC LONG ou RC INTEGRATEUR.

Cette dernière appellation est due au fait, que la tension aux bornes de C est approximativement égale à la valeur moyenne du signal carré appliqué à l'entrée du circuit RC.

#### DEUXIEME CAS.

La CONSTANCE DE TEMPS RC est beaucoup PLUS PETITE que la PERIODE,  $\tau \ll \theta$

Ici, le condensateur se charge en un temps très bref et la tension à ses bornes atteint rapidement la valeur maximum V.

La décharge du condensateur est aussi rapide que la charge. On obtient, aux bornes du condensateur, une tension pratiquement identique à la tension carrée.

Par contre, aux bornes de la résistance on ne retrouve que des pointes de tension correspondant aux temps de charge et de décharge du condensateur.

Les deux tensions VR et VC sont représentées figure 44.

La tension VR est intéressante, car elle ne présente que des impulsions très brèves. Celles-ci sont utilisées pour commander d'autres circuits.

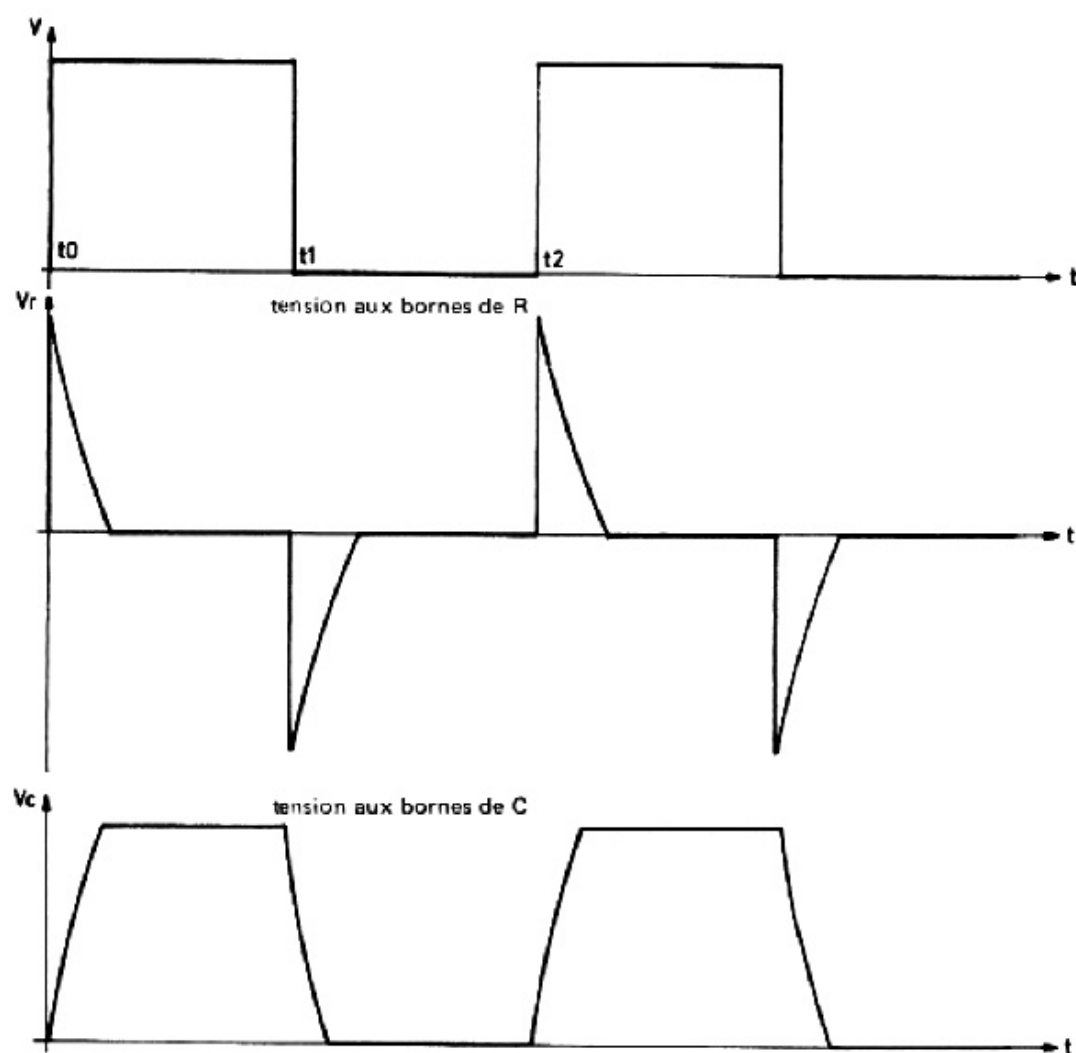


Figure 44

Les impulsions positives apparaissent, en même temps que les fronts avant de la tension carrée.

Les impulsions négatives correspondent aux fronts arrière.

Les circuits RC de ce type sont appelés : RC COURTS ou RC DIFFERENCIATEURS ou encore RC DERIVATEURS.

## TROISIEME CAS

La constante de charge du RC est EGALE à la DEMIE PERIODE DU SIGNAL,  $5 \pi = \frac{\theta}{2}$

Les formes des tensions apparaissant aux bornes de C et de R sont données figure 45.

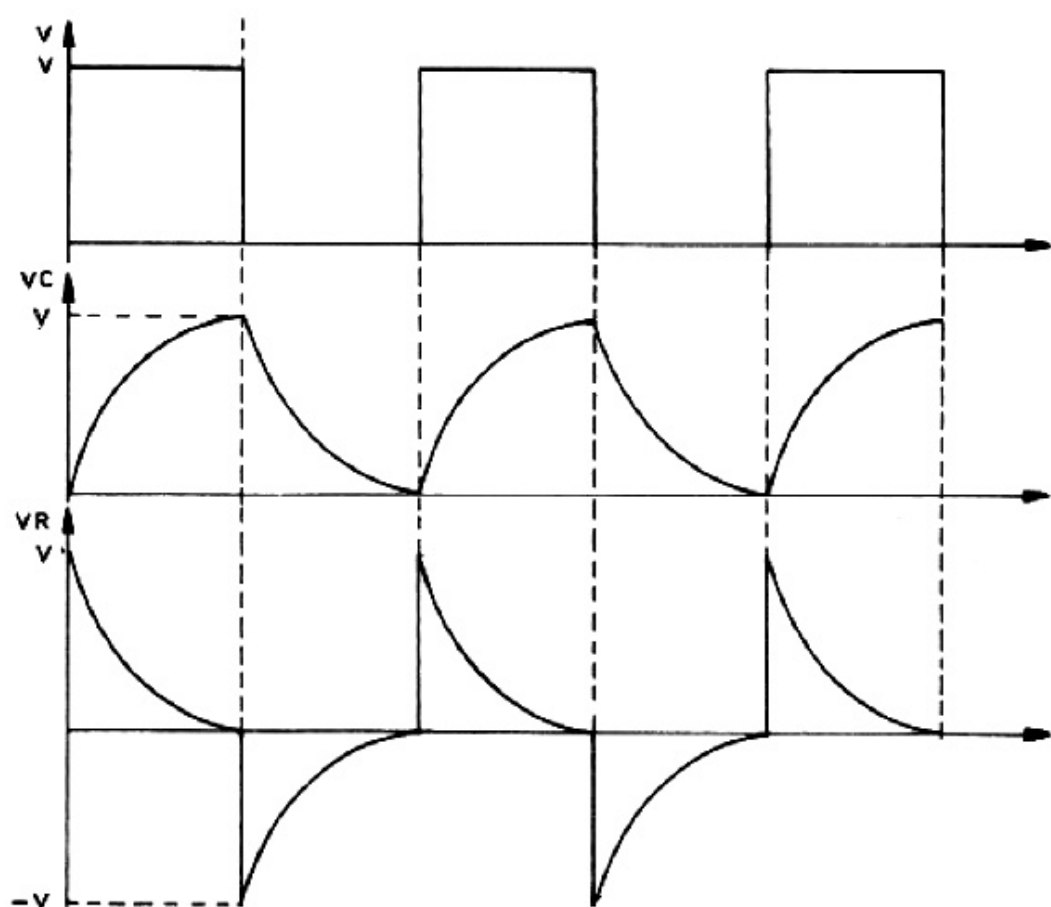


Figure 45

Entre  $t_0$  et  $t_1$ , le condensateur se charge à une valeur à peu près égale à  $V$ .

De  $t_1$  à  $t_2$ , le condensateur perd la totalité de sa charge.

La tension aux bornes de  $C$  a la forme d'une dent de scie.

La tension aux bornes de  $R$  (différence entre la tension carrée et la tension aux bornes du condensateur) ne présente pas d'intérêt particulier.

Ce type de circuit  $RC$  est appelé : **RC CRITIQUE**.

## **5 - CIRCUITS LR**

### **A) INDUCTANCE ET RESISTANCE EN SERIE.**

La résistance  $R$ , dans la figure 46 représente la résistance du bobinage, dont l'inductance est  $L$ , plus toute autre résistance éventuellement présente dans le circuit.

Le courant  $I$  est la grandeur commune aux deux éléments du circuit.

La tension  $VR$  est en phase avec le courant.

La tension  $VL$  est déphasée de  $90^\circ$  en avance par rapport au courant  $I$ .

Le diagramme de FRESNEL de la figure 47 montre clairement la disposition de ces données.

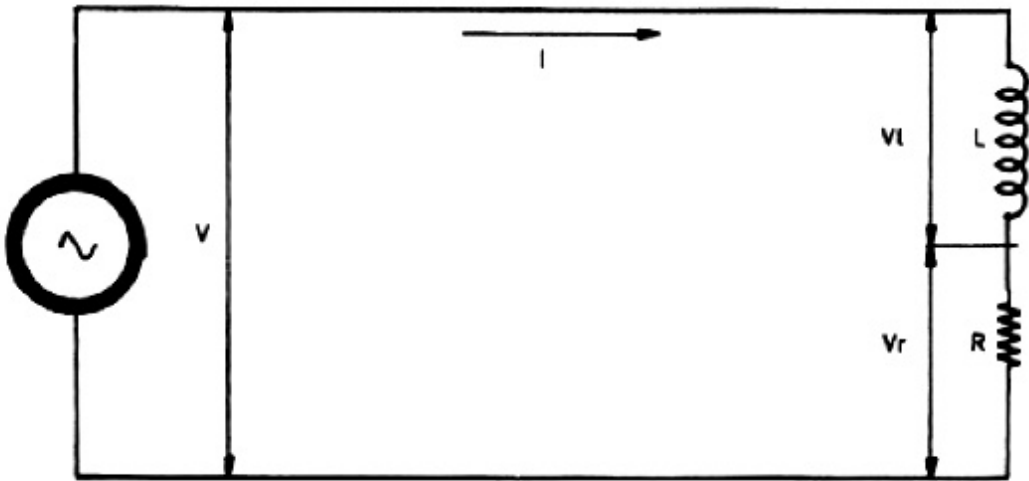


Figure 46

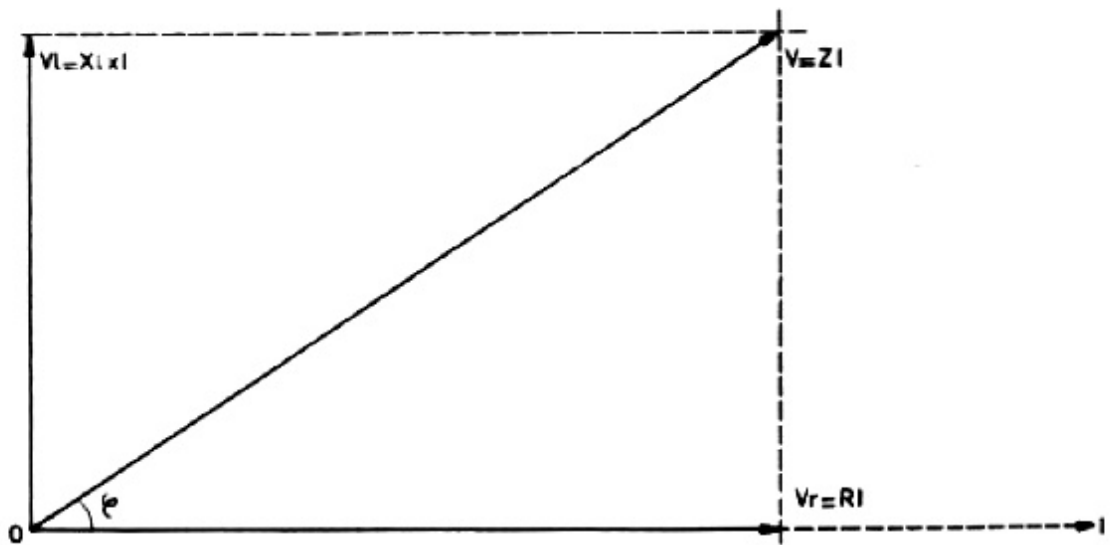


Figure 47

Dans le triangle  $O, V, V_R$ , le carré de l'hypoténuse  $V$  est égal à la somme des carrés des deux autres côtés.

$$V^2 = V_R^2 + V_L^2$$

L'impédance d'un circuit étant directement proportionnelle à la tension, nous pouvons donc écrire :

$$Z^2 = R^2 + X_L^2$$

Le terme  $X_L$  ne nous est pas inconnu, puisque nous savons qu'il représente la réactance inductive de la self et a pour valeur  $L\omega$ .

L'expression de l'impédance est donc :

$$Z = \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}$$

La tangente de l'angle  $\varphi$  est égale au rapport  $\frac{V_L}{V_R}$

Remplaçons  $V_L$  et  $V_R$  par leur valeur  $X_L \times I$  et  $R \times I$ .

Tangente  $\varphi$  devient :

$$\frac{X_L \times I}{R \times I} = \frac{X_L}{R}$$

Exemple : soit un circuit LR série, alimenté par une tension alternative de fréquence 50 Hz, ou  $R = 1000 \Omega$  et  $L = 2 \text{ H}$ . Calculons son impédance et le déphasage  $\varphi$

$$\omega = 2 \pi F = 2 \times 3,14 \times 50 = 314.$$

$$Z = \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2} = \sqrt{1000^2 + 2^2 \times 314^2} = \sqrt{1394384} \approx 1180 \Omega$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L}{R} = \frac{L \omega}{R} = \frac{2 \times 314}{1000} = \frac{628}{1000} = 0,628$$

D'après les tables trigonométriques, l'angle  $\varphi$  est égal à 39 degrés.

### B) INDUCTANCE ET RESISTANCE EN PARALLELE

On obtient l'impédance du circuit de la figure 48, en appliquant la même méthode. Mais cette fois, il faut se rappeler que la tension  $V$  est la grandeur commune aux deux éléments, et, que le courant traversant le bobinage est en retard de  $90^\circ$  sur la tension. Nous obtenons ainsi le diagramme de FRESNEL de la figure 49.

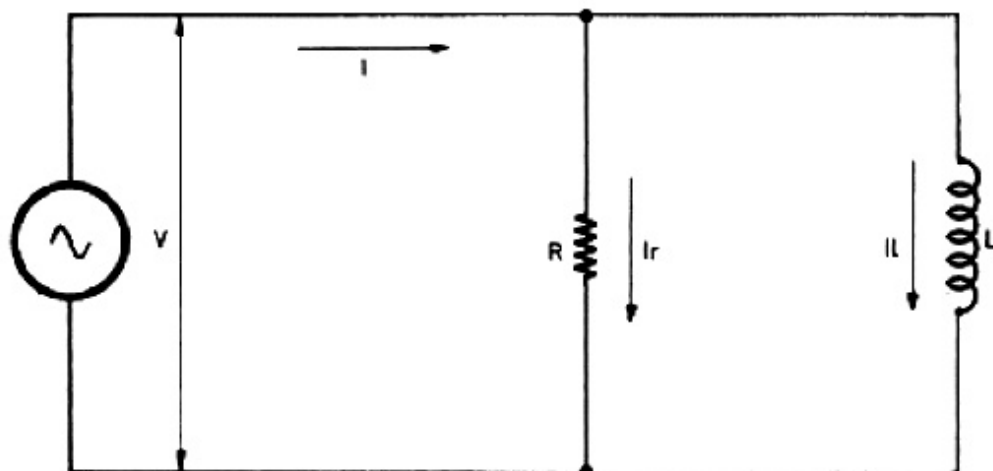


Figure 48

Dans le triangle rectangle  $O$ ,  $IR$ ,  $I$ , le carré du courant  $I^2$  est égal à la somme des carrés des courants  $I_r^2$  et  $I_L^2$ .

$$I^2 = I_r^2 + I_L^2$$

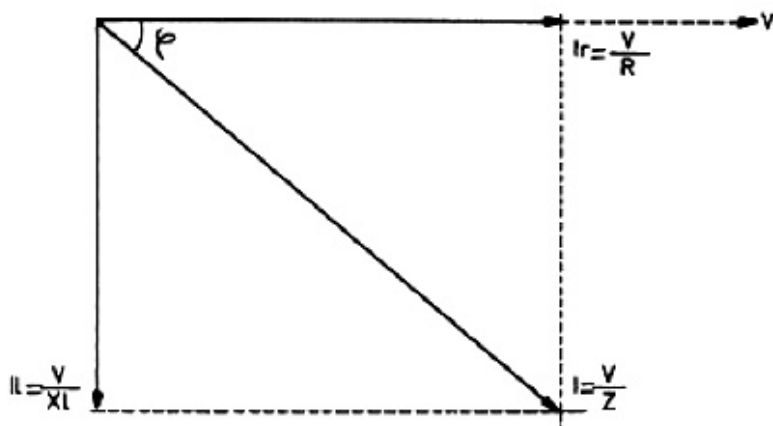


Figure 49

Remplaçons  $I$ ,  $I_R$  et  $I_L$  par leur valeur, en fonction de la tension et des impédances relatives à chaque courant. Nous obtenons :

$$\frac{V^2}{Z^2} = \frac{V^2}{R^2} + \frac{V^2}{X_L^2}$$

Simplifions l'égalité en divisant les deux membres par  $V$ , il vient :

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2}$$

De cette relation, nous tirons facilement la valeur de  $Z$  qui est :

$$Z = \frac{R \times X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

Si nous remplaçons  $X_L$  par sa valeur  $L\omega$ , nous obtenons :

$$Z = \frac{RL\omega}{\sqrt{R^2 + L^2\omega^2}}$$

La tangente de l'angle  $\varphi$  est égale au rapport du courant  $I_L$  et du courant  $I_R$  :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{I_L}{I_R}.$$

Remplaçons  $I_L$  et  $I_R$  par leur valeur respective  $\frac{V}{X_L}$  et  $\frac{V}{R}$ , nous obtenons :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\frac{V}{X_L}}{\frac{V}{R}} = \frac{R}{X_L}$$

Exemple : Calculer l'impédance et l'angle de déphasage d'un circuit LR parallèle, où  $R = 1000 \, \Omega$  et  $L = 2 \, \text{H}$ .

$$Z = \frac{RL\omega}{\sqrt{R^2 + L^2\omega^2}}$$

Nous avons déjà calculé :

$$\sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$$

Dans l'exemple précédent :

$$\sqrt{R^2 + L^2\omega^2} = 1180 \, \Omega$$

L'impédance est donc égale à :  $\frac{1000 \times 2 \times 314}{1180} = 532 \, \Omega$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{R}{X_L} = \frac{1000}{2 \times 314} = \frac{1000}{628} = 1,592.$$

Un angle ayant une tangente égale à 1.592 a une valeur très peu différente de  $58^\circ$ .

## 6 - CIRCUITS LC SERIE

Examinons le circuit LC série représenté figure 50.

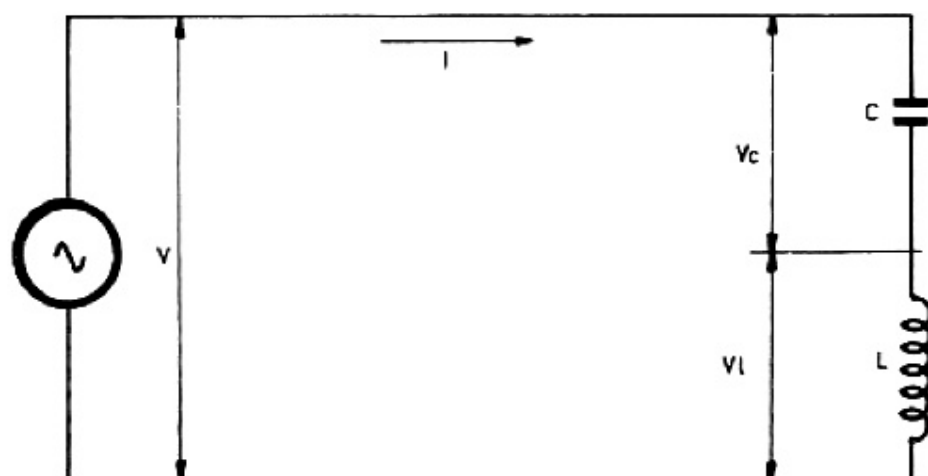


Figure 50

La méthode que nous devons appliquer est exactement celle à laquelle nous avons eu recours, quand il s'agissait d'une réactance (capacitive ou inductive) en série avec une résistance.

Du fait que le courant est commun aux deux éléments, nous le prendrons comme point de départ pour construire le diagramme de FRESNEL (figure 51)

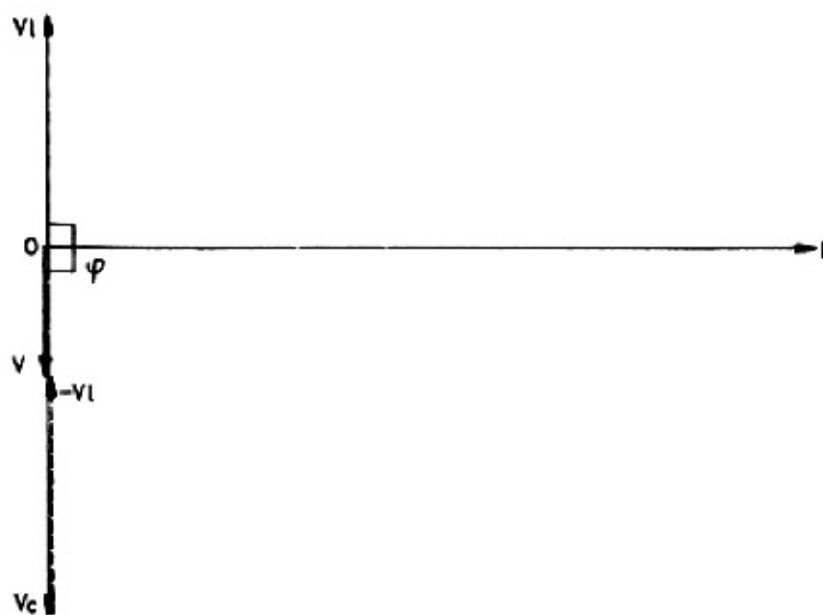


Figure 51

Les deux vecteurs  $V_C$  et  $V_L$  sont exactement en opposition.

En effet,  $V_C$  est déphasé de  $90^\circ$  en arrière sur le courant et  $V_L$  est déphasé de  $90^\circ$  en avance. Le vecteur résultant  $V$  a pour grandeur, la différence des vecteurs  $V_C$  et  $V_L$ , et pour sens, le sens du plus grand.

Nous venons de voir que la tension  $V$  qui correspond à la tension fournie par le générateur, est égale à  $V_C - V_L$  ou  $V_L - V_C$ , suivant que  $V_C$  est plus grand ou plus petit que  $V_L$ .

Si nous remplaçons les tensions par leur valeur tirée de la Loi d'Ohm, nous obtenons :

$$Z \times I = X_C \times I - X_L \times I$$

Simplifions par  $I$ , il vient :

$$Z = X_C - X_L.$$

Ceci est valable dans le cas où  $V_C$  est plus grand que  $V_L$ .

A priori, il est difficile de dire quelle est la réactance la plus élevée et il n'y a aucune raison de favoriser l'une d'entre elles ; mais, il est d'usage de considérer, par convention, que  $X_L$  est positive et  $X_C$  négative.

Supposons par exemple que, dans le circuit de la figure 50,  $L$  soit une inductance de 2 H et  $C$  un condensateur de 2  $\mu$ F. La tension  $V$  est une source de 230 V à 50 Hz.

Les réactances  $X_L = L\omega$  et  $X_C = \frac{1}{C\omega}$  sont respectivement de 628  $\Omega$  et 1590  $\Omega$

L'impédance du circuit est donc :

$$Z = X_L \cdot X_C = 628 \cdot 1590 = -962 \Omega$$

Le courant  $I$  est déphasé de  $90^\circ$  en avance sur la tension et est égal à :

$$\frac{230}{962} = 0,24 \text{ Ampère}$$

Essayons de trouver par le calcul quelles tensions apparaissent aux bornes de  $C$  et de  $L$  :

$$V_C = X_C \times I = 1590 \times 0,24 = 380 \text{ V}$$

$$V_L = X_L \times I = 628 \times 0,24 = 150 \text{ V}$$

La différence de 380 - 150 redonne bien la tension fournie par la source (230 Volts).

Dans ce circuit, nous constatons qu'il existe une **SURTENSION** assez importante aux bornes du condensateur.

Ce fait peut paraître incroyable à première vue, mais cela n'est rien auprès de ce que nous allons découvrir bientôt.

## 7 - CIRCUITS RLC SERIE

L'introduction d'une résistance dans le circuit ne pose pas de problème nouveau. La figure 52 donne le schéma du circuit et la figure 53 le diagramme de FRESNEL correspondant.

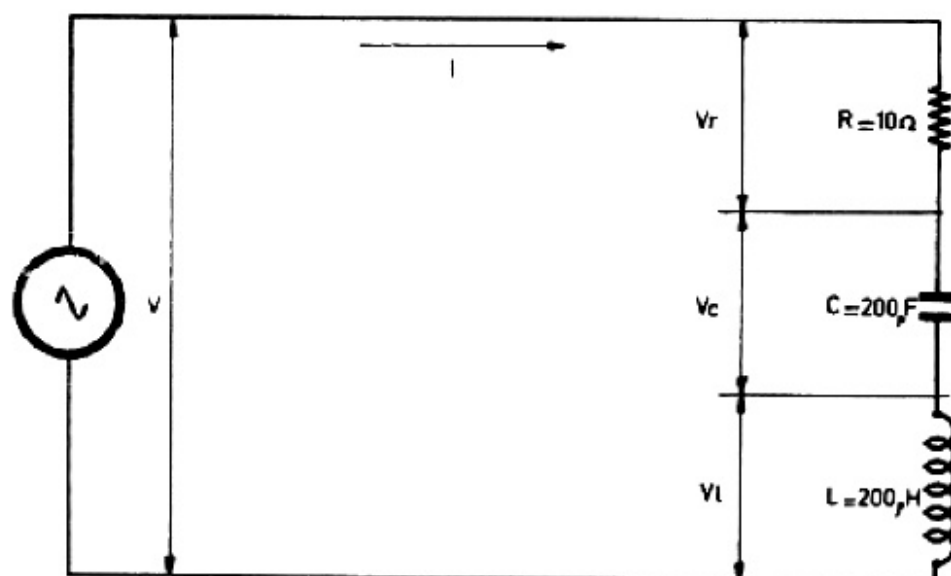


Figure 52

Le vecteur  $V'$  dessiné figure 53, correspond à la différence  $V_L - V_C$ .

Dans le triangle rectangle  $O, V_R, V$ , le vecteur  $V$  est égal à :

$$\sqrt{V_R^2 + V'^2}$$

ou encore :

$$\sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$

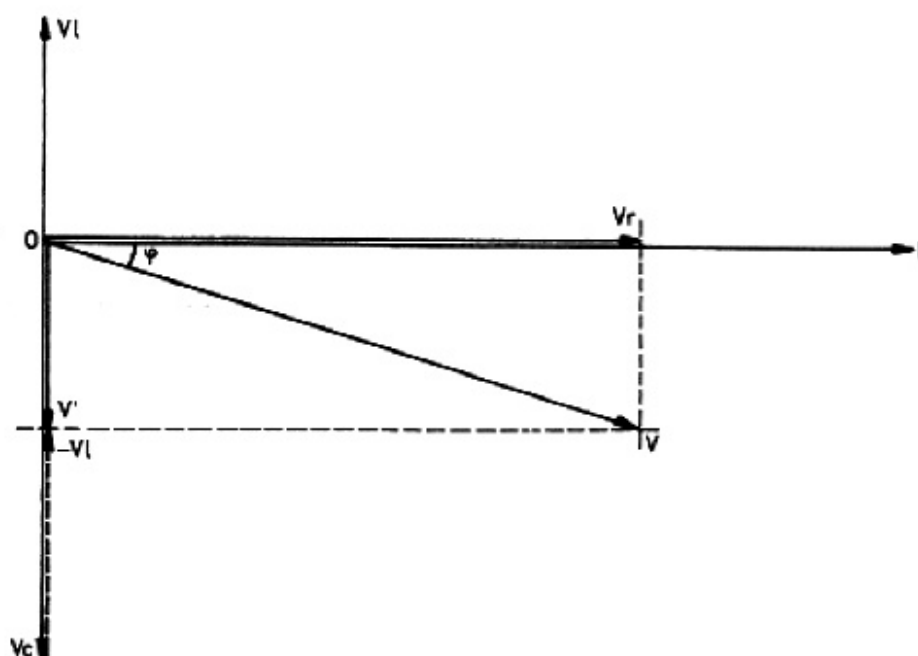


Figure 53

Si nous remplaçons les tensions par leur valeur, en fonction de  $I$  et des impédances respectives, nous obtenons :

$$ZI = \sqrt{R^2 I^2 + (X_L \times I - X_C \times I)^2}$$

Simplifions par  $I$ , il vient :

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

La tangente de l'angle  $\varphi$  est égale au rapport  $\frac{V'}{V_R}$ , soit :

$$\frac{X_L - X_C}{R}$$

### 7 - 1 - CIRCUITS ACCORDES SERIE

Nous avons déjà vu que la réactance d'un condensateur diminue, et que celle d'une inductance augmente avec la fréquence du courant qui leur est appliqué. Il est clair que, pour une fréquence donnée, les réactances de C et de L seront égales.

Supposons que, dans le circuit de la figure 52 :

$$R = 10\Omega, C = 200 \text{ pF} \text{ et } L = 200 \mu\text{H}.$$

A la fréquence de 800 kHz,  $X_L$  et  $X_C$  sont égales et chacune de l'ordre de  $1000\Omega$ .

Pour cette fréquence, la réactance totale (différence entre les deux réactances individuelles) est donc nulle. En d'autres termes, on dit que la tension aux bornes du condensateur est égale à la tension aux bornes de l'inductance.

Comme ces deux tensions sont exactement en opposition, elles s'annulent.

Du point de vue du générateur, fournissant une tension à cette fréquence particulière, le circuit équivalent se réduit à la seule résistance R, et l'intensité du courant à  $\frac{V}{R}$ .

Si le générateur délivre une tension de 5 volts, le courant sera de :

$$\frac{5}{10} = 0,5 \text{ Ampère}$$

A la fréquence de 800 kHz, L et C ont tous deux une réactance de  $1000\Omega$ , ce qui fait qu'aux bornes de chacun de ces éléments on trouve une tension :

$$(X \times I) \text{ de } 1000 \times 0,5 = 500 \text{ Volts}$$

c'est-à-dire une tension CENT FOIS PLUS GRANDE que celle de la source. Ce rapport est appelé FACTEUR DE SURTENSION OU FACTEUR DE QUALITE du circuit.

Nous avons calculé ce facteur pour un circuit particulier. Il nous faut essayer maintenant d'obtenir une formule, applicable à n'importe quel circuit.

Le facteur de surtension est égal à la tension aux bornes de l'inductance, divisée par la tension du générateur. Cette dernière est la même que la tension aux bornes de R.

Si I est le courant qui les traverse, la tension aux bornes de L est  $X_L \times I$ , et celle aux bornes de R est  $R \times I$ .

Par conséquent, le facteur de surtension est égal à  $\frac{X_L \times I}{R \times I}$ , ce qui équivaut à  $\frac{X_L}{R}$ , ou encore à  $\frac{X_C}{R}$ , puisque dans ce cas précis  $X_C = X_L$ .

Pour obtenir une grande surtension, il est donc souhaitable que la résistance du circuit soit aussi faible que possible.

Le symbole employé pour désigner le facteur de surtension est Q, qu'il ne faut pas confondre avec le symbole Q désignant la quantité d'électricité (en coulomb).

$$Q = \frac{X_L}{R}$$

A d'autres fréquences, l'impédance du circuit est plus grande, parce qu'à R vient s'ajouter une certaine réactance.

A 1250 kHz, par exemple, les réactances individuelles sont respectivement égales à :

$$X_L = 1570\Omega \text{ et } X_C = 636\Omega$$

ce qui donne une réactance totale de  $934\Omega$

Comparée à cette valeur, R est alors négligeable, ce qui fait que l'intensité traversant le circuit, pour la même tension d'attaque de 5 Volts, n'est plus que de  $\frac{5}{934}$  Ampères, c'est-à-dire à peu près 5 mA.

Cette intensité n'est que la centième partie de celle traversant le circuit à la fréquence de 800 kHz.

Aux bornes de L, qui a alors une réactance de  $1570\Omega$ , on ne trouve que :

$$1570 \times 0,05 = 7,85 \text{ Volts,}$$

soit 1/64e de la tension à 800 kHz.

En répétant ce calcul pour un nombre suffisant de fréquences, on peut tracer une courbe représentant l'intensité traversant le circuit, ou la tension aux bornes du bobinage, par rapport à la fréquence (figure 54). Cette courbe est appelée COURBE DE RESONANCE.

La forme de cette courbe montre que la REPONSE d'un CIRCUIT R, L, C série est considérable pour une fréquence bien précise, ici 800 kHz, tandis qu'elle est très faible pour toutes les autres fréquences.

On dit que le circuit est ACCORDE sur 800 kHz, ou qu'il RESONNE sur cette fréquence.

Nous voyons qu'un tel circuit est capable de sélectionner une fréquence, à l'exclusion de toutes les autres tensions de fréquences différentes.

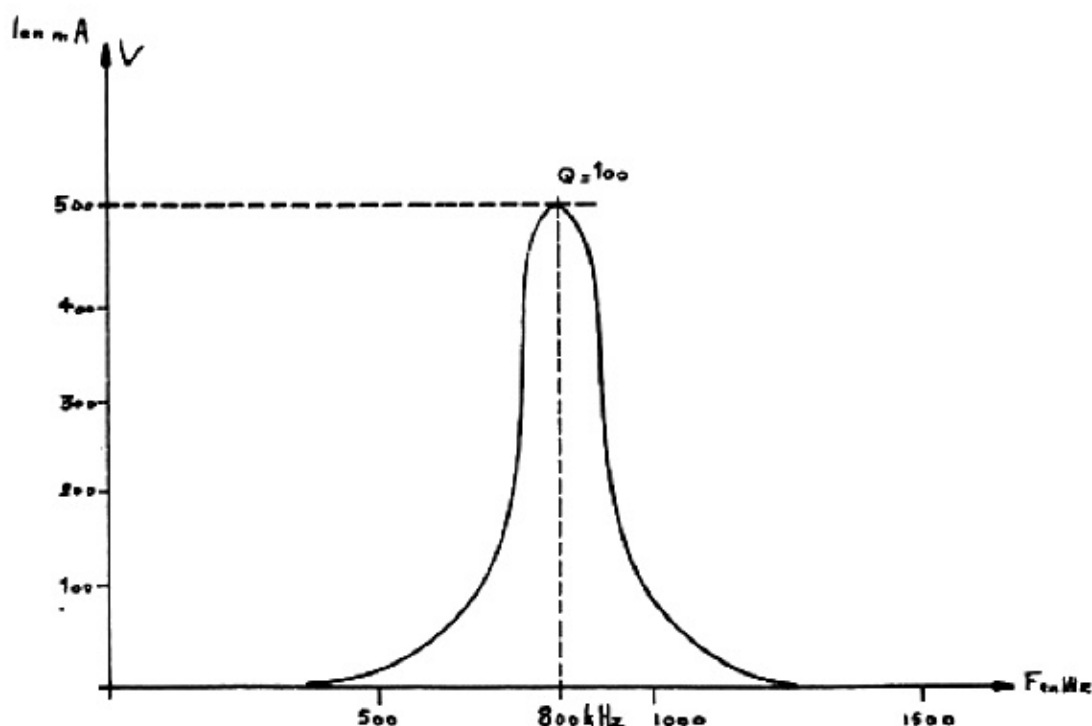


Figure 54

Cette aptitude à choisir une fréquence donnée parmi toutes les autres se nomme **SELECTIVITE**. Nous approfondirons cette notion de sélectivité, lorsque nous étudierons les amplificateurs.

Il est évidemment important de pouvoir calculer la fréquence de résonance d'un circuit composé d'une inductance  $L$  et d'un condensateur  $C$  de valeurs données, ou, inversement, de trouver quelles valeurs de  $L$  et de  $C$  sont utiles pour réaliser un circuit accordé sur une fréquence donnée.

L'équation qui nous est nécessaire peut facilement se déduire, du fait que la résonance a lieu à la fréquence pour laquelle les réactances sont égales :

$$X_L = X_C \text{ ou } L\omega = \frac{1}{C\omega}$$

Ces équations peuvent encore s'écrire :

$$LC\omega^2 = 1$$

Si nous remplaçons  $\omega$  par  $2\pi F$ , nous obtenons :

$$LC4\pi^2 F^2 = 1$$

Ce qui donne :

$$F^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC} \text{ et } F = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

Exemple : Soit un circuit R, L, C série où  $L = 100 \text{ mH}$  et  $C = 1000 \text{ pF}$ . La fréquence de résonance est égale à :

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2\pi \sqrt{(100 \times 10^{-3}) \times (1000 \times 10^{-12})}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{10^{-1} \times 10^{-9}}} \\ &= \frac{1}{6,28 \sqrt{10^{-10}}} = \frac{1}{6,28 \times 10^{-5}} \\ F &= \frac{10^5}{6,28} = 15923 \text{ Hz.} \end{aligned}$$

## 8 - CIRCUITS LC EN PARALLELE

Si L et C sont branchés en parallèle (figure 55), on obtient un système où la tension de la source est commune aux deux éléments.

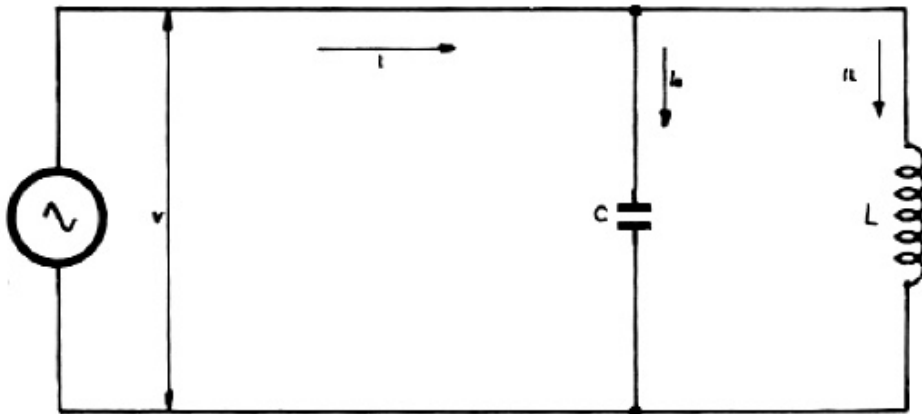


Figure 55

Le diagramme de FRESNEL que nous obtenons (figure 56) est similaire sur plus d'un point à celui du circuit LC série, à cela près que tension et courant ont pris la place l'un de l'autre.

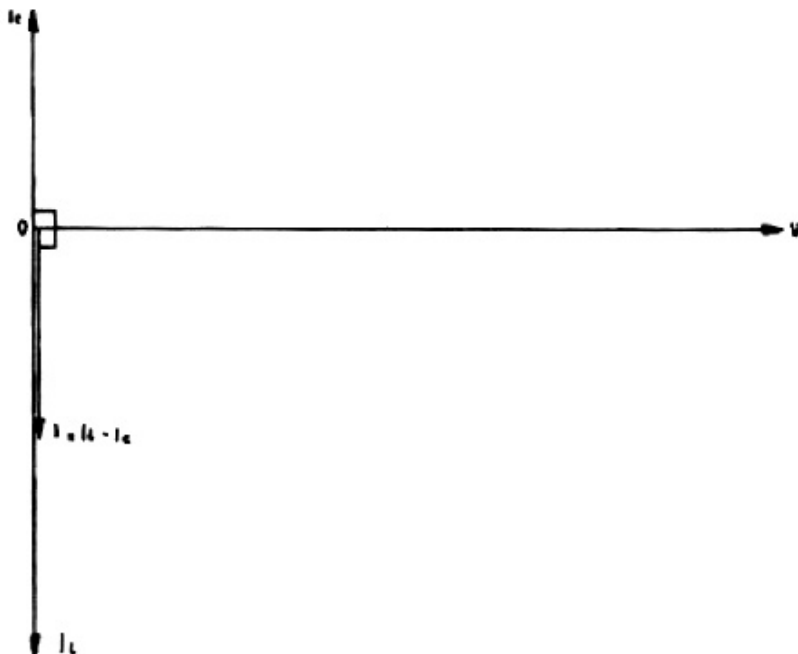


Figure 56

Le courant  $I_L$  circulant dans l'inductance, est déterminé par la réactance  $X_L = L\omega$ ; sa valeur est  $\frac{V}{L\omega}$

Dans le condensateur, le courant a pour valeur :

$$\frac{V}{X_C} = V \times C\omega$$

En outre, nous savons que  $I_L$  est en retard de  $90^\circ$  sur  $V$  et  $I_C$  en avance de  $90^\circ$ , de sorte que ces deux courants sont exactement opposés. Le courant total  $I$  est donc la différence  $I_L - I_C$ .

En remplaçant les courants par leur valeur, en fonction de la tension et des impédances, nous obtenons :

$$\frac{V}{Z} = \frac{V}{X_L} - \frac{V}{X_C}$$

Simplifions par  $V$ , il vient :

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}, \text{ ce qui donne pour } Z :$$

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}}$$

Le déphasage est bien entendu égal à  $90^\circ$ , en avance ou en retard suivant que  $X_L$  est plus grand ou plus petit que  $X_C$ .

Supposons maintenant que la fréquence soit telle, que les deux réactances soient égales. Les deux courants seront égaux aussi, et, par suite, leur différence nulle.

Nous sommes donc en présence d'un circuit à deux branches parallèles, avec un courant circulant dans chacune d'elles, sans que le générateur débite quoi que ce soit.

Situation possible en théorie, impossible en pratique, car nous savons qu'aucun circuit réel n'est entièrement dépourvu de résistance. Et pourtant, la résistance étant très petite et les deux courants égaux, les choses se passent à peu près comme nous venons de l'expliquer.

Le fait important à souligner est que LA FREQUENCE RENDANT LES DEUX COURANTS EGAUX EST LA MEME QUE CELLE QUI FAIT RESONNER L ET C DANS UN CIRCUIT SERIE.

#### EFFET DE LA RESISTANCE.

Quand la résistance d'un circuit, tel que celui de la figure 57, est réduite au minimum, la résistance de la branche C est généralement négligeable par rapport à celle de la branche L.

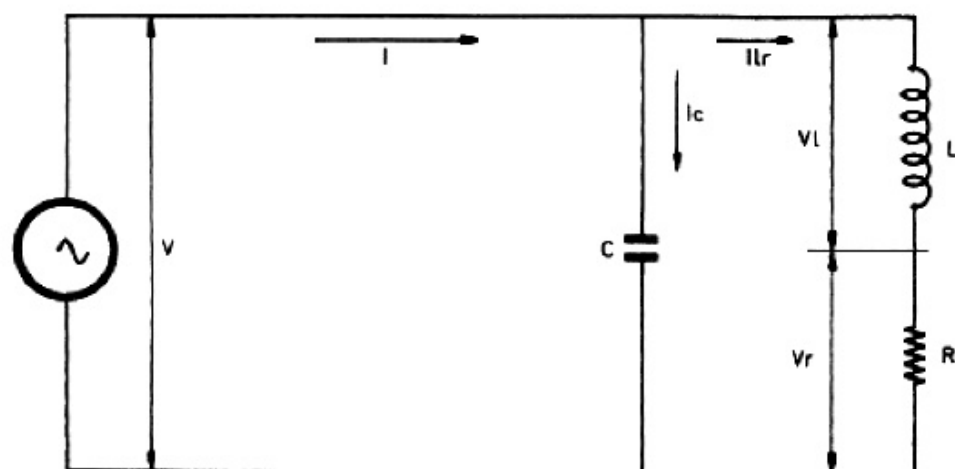


Figure 57

Considérant ce fait comme acquis, nous ne tenons compte que de cette dernière.

Nous avons déjà étudié séparément cette portion de circuit (LR SERIE) et trouvé que l'effet de cette résistance était de rendre l'angle de déphasage, traduisant le retard du courant sur la tension, inférieur à  $90^\circ$ .

Traçons maintenant le diagramme DE FRESNEL (figure 58) visualisant courants et tensions dans le circuit de la figure 57.

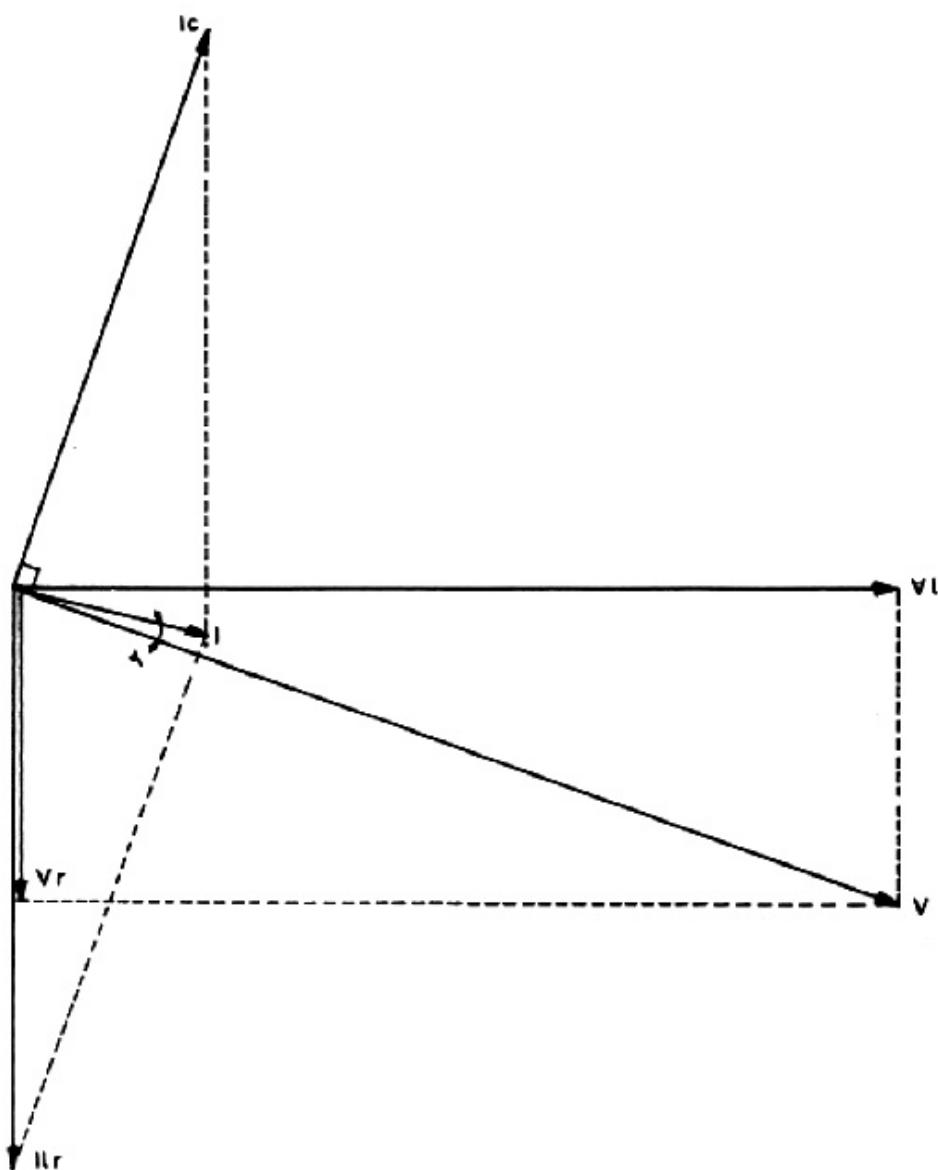


Figure 58

L'angle que fait  $V$  avec  $ILR$  est donc à présent inférieur à  $90^\circ$ , puisque nous supposons nulle la résistance du condensateur  $C$ , il faut dessiner le vecteur  $IC$  à angle droit avec le vecteur  $V$ .

Nous supposons aussi que  $IC = ILR$ . Puisque ces deux courants ne sont pas exactement en opposition de phase, le résultat de leur combinaison est un petit courant  $I$ , qui est le courant débité par le générateur.

Pour tracer la figure 58, nous avons attribué à  $R$  une valeur presque égale au quart de  $XL$ , afin que l'angle de phase soit perceptible.

Dans la pratique, on trouve pour  $R$  une valeur de l'ordre du dixième, voir du cinquantième de  $XL$ . Cela a pour conséquence de rendre  $I$  très faible vis-à-vis de  $ILR$  ou  $IC$ .

Le courant débité par le générateur est donc très faible, et pratiquement en phase avec la tension  $V$ .

En d'autres termes, ce courant est identique à celui qui circulerait à travers une RESISTANCE ELEVEE placée aux bornes du générateur.

Cette résistance est appelée RESISTANCE DYNAMIQUE et il est extrêmement intéressant de connaître sa valeur.

Mathématiquement, on peut démontrer que dans tous les cas où la valeur de  $R$  est très inférieure à celle de  $XL$ , la résistance dynamique  $RD$  est pratiquement égale à  $\frac{XL^2}{R}$

La démonstration algébrique de ce fait sort du cadre du cours ; mais, les élèves ayant un don pour la géométrie n'auront pas beaucoup de peine à parvenir au résultat équivalent (à partir de la figure 58)

Pour donner un exemple concret, attribuons à  $C$  et  $L$  les mêmes valeurs que pour le circuit  $R, L, C$  série :

$$L = 200 \mu H,$$

$$C = 200 \text{ pF},$$

$$R = 10 \Omega$$

A 800 kHz, les réactances sont chacune de 1000  $\Omega$

La résistance dynamique RD est égale à :

$$\frac{(1000)^2}{10} = 100.000 \Omega$$

Supposons que V ait une valeur de 100 Volts. Dans les conditions énumérées ci-dessus, le courant I a une valeur de :

$$\frac{100}{100.000} = 1 \text{ mA}$$

Faisons passer la fréquence à 1000 kHz. Les réactances XC et XL prennent respectivement pour valeur 800  $\Omega$  et 1250  $\Omega$

Le courant IC devient alors :

$$\frac{100}{800} = 125 \text{ mA}$$

Le courant ILR devient :

$$\frac{100}{1250} = 80 \text{ mA}$$

Comme R est de faible valeur, ces deux courants sont presque en opposition de phase, de sorte que le courant total est pratiquement égal à leur différence, soit :

$$125 - 80 = 45 \text{ mA}$$

L'impédance  $Z$  de tout le circuit est maintenant :

$$\frac{10}{0,045} = 2222 \Omega$$

En refaisant ces opérations pour un grand nombre de fréquences, nous pouvons tracer les courbes représentant le courant  $I$  et l'impédance  $Z$  en fonction de la fréquence  $F$  (figure 59).

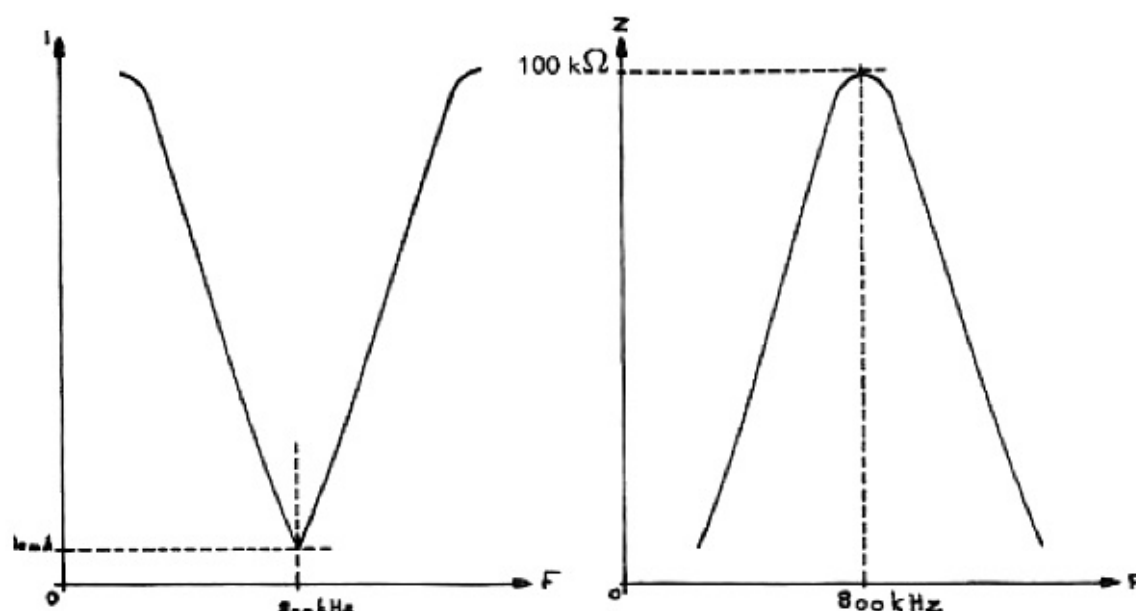


Figure 59

Le comportement du circuit RLC parallèle est semblable au circuit série, excepté qu'une pointe d'impédance remplace une pointe de tension.

Nous pouvons donc dire que, contrairement au CIRCUIT SERIE QUI FAVORISE LA FREQUENCE DE RESONANCE, LE CIRCUIT PARALLELE BLOQUE CETTE MEME FREQUENCE.

Pour cette raison, il est appelé CIRCUIT BOUCHON.

L'étude des circuits élémentaires est ainsi terminée. Au cours de cette leçon, nous avons déterminé quel est le comportement, à l'égard du courant alternatif, d'un certain nombre de circuits.

Dans la prochaine leçon "circuits électroniques" nous aborderons le problème des alimentations en courant continu, où nous retrouverons dans des applications pratiques quelques-uns des circuits que nous venons d'étudier.

