

Électricité

À l'intérieur d'un matériau conducteur, sous l'effet d'une différence de potentiel à ses extrémités, les particules chargées vont se déplacer : c'est l'électricité.

I. Le régime continu

Le régime continu est un régime dont la tension reste constante au cours du temps. Il ne varie donc pas, c'est le cas des piles. Il ne faut pas confondre ce régime avec le régime variable qui est un régime oscillant, par exemple la tension provenant d'EDF.

A. Rappel sur les lois de l'électrocinétique

1. Tension ou DDP (différence de potentiel)

La tension est une grandeur algébrique. $U_{AB} = U_A - U_B$ entre les points A et B.

Elle est représentée par une flèche orientée de B vers A, et est exprimée en volts (V).



Fig. 1 Tension $U(AB)$ © SAY

2. Loi des mailles

La somme des tensions orientées le long d'une maille est nulle.

L'intensité d'un courant électrique est identique en tous points d'un circuit série.

Soit le schéma suivant :

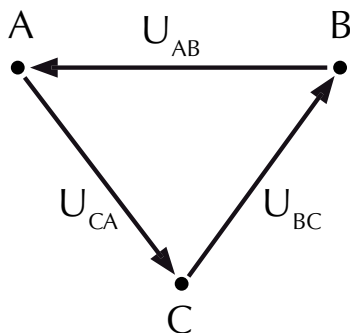


Fig. 2 Loi des mailles © SAY

On définit la loi des mailles comme étant la somme des tensions appliquées à une maille, valant zéro. On en déduit alors que $U_{AB} + U_{BC} + U_{CA} = 0$.

Démonstration :

$$U_A - U_A = 0$$

$$U_A + U_B - U_B - U_A = 0$$

$$U_A + U_B + U_C - U_C - U_B - U_A = 0$$

$$(U_A - U_B) + (U_C - U_A) + (U_B - U_C) = 0$$

$$U_{AB} + U_{CA} + U_{BC} = 0$$

3. Le dipôle

Un dipôle est un élément du circuit électrique comportant deux bornes.

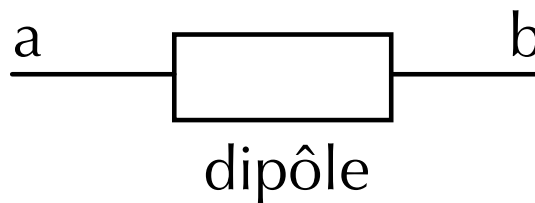


Fig. 3 Dipôle © SAY

On impose une tension au dipôle. Il se crée une relation liant la tension U , à ses bornes, et l'intensité I du courant le traversant. La caractéristique d'un dipôle s'écrit sous la forme $U = f(I)$, où f est une fonction quelconque.

Plusieurs types de dipôles peuvent être utilisés : résistance, bobine, diode, moteur, électrolyseur, etc. On s'intéresse ici à deux dipôles utilisés en esthétique : les moteurs et les électrolyseurs.

a. Le moteur

Le moteur est une machine transformant cycliquement une énergie ou une force de source physique, électrique, thermique, etc., en une énergie mécanique, une force ou un travail (noté W et s'exprimant en joules ou en wattheures (Wh)).

Le moteur génère une force et la transforme en un travail de rotation autour d'un axe (couple). Quant aux autres forces (par exemple de frottement ou de glissement), elles produisent un déplacement linéaire, c'est-à-dire selon une droite. Les moteurs actuels utilisent un système rotatif pour engendrer un courant ou une tension.



Fig.4 Moteur : système rotatif © sveta - Fotolia

Son symbole est :

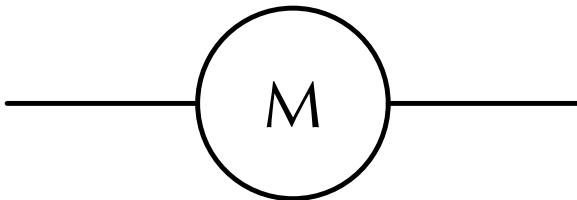


Fig.5 Symbole du moteur © SAY

b. L'électrolyseur

L'électrolyseur sert à décomposer ou à transférer la matière et à la dissoudre dans un solvant adéquat. Il permet la dissociation des ions constituant la matière et donc la circulation des ions dans le solvant.

Des électrodes sont reliées à un générateur et sont immergées dans la solution. L'anode est l'électrode positive et la cathode l'électrode négative. La différence de potentiel produite entre les deux électrodes permet la circulation des ions vers l'électrode de signe opposé.

Son symbole est :

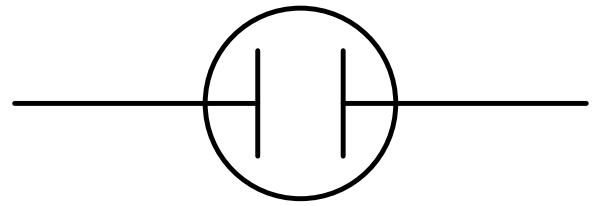


Fig.6 Symbole de l'électrolyseur © SAY

Convention générateur et récepteur

Selon le sens du courant électrique traversant le dipôle, on dira que l'on a adopté la convention récepteur ou la convention générateur.

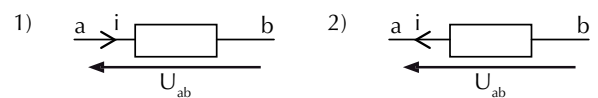


Fig.7 Convention générateur et récepteur © SAY

Le premier schéma correspond à la convention récepteur, le courant i entre dans le dipôle. On dit que le dipôle est étudié en convention récepteur lorsque U et i sont orientés en sens contraire. La résistance est toujours en convention récepteur.

Le deuxième schéma correspond à la convention générateur, le courant i sort du dipôle. On dit que le dipôle est étudié en convention générateur lorsque U et i sont orientés dans le même sens. Le condensateur, lorsqu'il est totalement chargé, va se décharger, dans ce cas il va se comporter comme un générateur. Il aura donc la convention générateur.

Différents types de générateurs

On distingue :

- **le générateur de tension** : un générateur de tension E est un dipôle délivrant une tension et un courant. Il est représenté par :



Fig.8 Le générateur de tension © SAY

- le **générateur de courant** : un générateur de courant i est un dipôle délivrant une tension et un courant. Il est représenté par :

4. Loi d'Ohm

La plupart des conducteurs obéissent à une loi proportionnelle entre le courant i et la tension U . On définit la **loi d'Ohm** : la tension U (en volts V) est égale au produit de la résistance R (en ohms Ω) du conducteur et de l'intensité i (en ampères A) du courant qui traverse ce conducteur.

$$U = R \cdot i$$

On utilise parfois la conductance donnée par la relation $G = 1/R$ dont l'unité est le siemens (S).

Un conducteur idéal aurait une résistance nulle ($R = 0$). Si on connaît la section ainsi que la longueur du conducteur, on est en mesure de déterminer sa résistance par la relation :

$$R = \rho \times L / S$$

ρ est la résistivité ($\Omega \cdot m$) du matériau utilisé, L la longueur de la résistance et S la surface de sa section.

5. Loi des nœuds

Dans un circuit présentant des nœuds, l'intensité du courant principal est égale à la somme des intensités des courants dérivés.

En chaque nœud du circuit, on a $\sum I_k = 0$ (Σ signifiant la somme). Cette relation est très utile pour déterminer les courants d'un circuit.

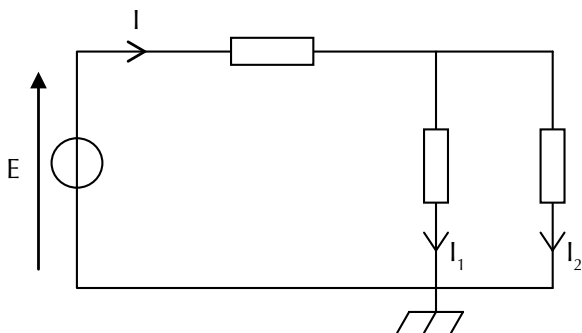


Fig. 9 Circuit électrique © SAY

En appliquant la loi des nœuds, on a : $I - I_1 - I_2 = 0$.

$$\text{Donc : } I = I_1 + I_2.$$

Si on connaît la valeur de I_1 et de I_2 , on pourra déterminer la valeur de I .

Exemples :

1) Voici le schéma d'un circuit électrique.

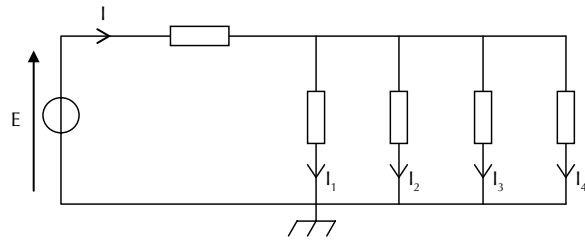


Fig. 10 Circuit électrique © SAY

On a $I_1 = 2 \text{ mA}$, $I_2 = 3,5 \text{ mA}$, $I_3 = 2,4 \text{ mA}$ et $I_4 = 4,1 \text{ mA}$.

Déterminer la valeur de I .

$$\text{On sait que : } I = \sum I_k$$

$$\text{Donc : } I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

$$I = 2 + 3,5 + 2,4 + 4,1$$

$$I = 12 \text{ mA}$$

2) On connaît à présent I . Déterminer alors I_4 d'après les données ci-dessous.

On a $I_1 = 0,2 \text{ mA}$, $I_2 = 10,3 \text{ mA}$, $I_3 = 3,9 \text{ mA}$.

$$\text{On sait que : } I = \sum I_k$$

$$\text{Donc : } I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

$$I_4 = I - I_1 - I_2 - I_3$$

$$I_4 = 15 - 0,2 - 10,3 - 3,9$$

$$I_4 = 0,6 \text{ mA}$$

6. Loi d'association de certains dipôles

a. Cas des résistances

En série

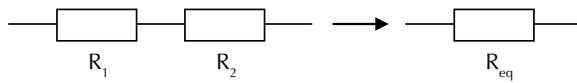


Fig. 11 Résistances en série © SAY

La résistance équivalente notée R_{eq} est déterminée par la somme des résistances, c'est-à-dire :

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

En parallèle/dérivation

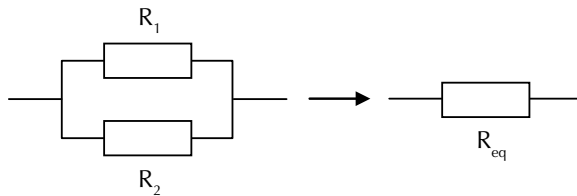


Fig. 12 Résistances en parallèle / dérivation © SAY

On définit la résistance équivalente par :

$$R_{eq} = (R_1 \times R_2) / (R_1 + R_2)$$

On peut utiliser la conductance G pour trouver le résultat en constatant que :

$$G_{eq} = G_1 + G_2$$

b. Cas des bobines

Le cas des bobines, notées L , dont le schéma est représenté ci-dessous, est identique à celui des résistances.



Fig. 13 Bobine © SAY

On obtient :

- en série : $L_{eq} = L_1 + L_2$;
- en parallèle : $L_{eq} = (L_1 \times L_2) / (L_1 + L_2)$.

L'unité de L est le henry (H). La méthode est donc identique aux résistances.

c. Cas des condensateurs

Symbole :

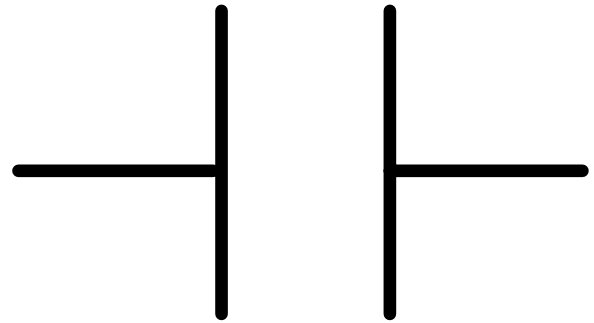


Fig. 14 Condensateur © SAY

On obtient :

- en série : $C_{eq} = (C_1 \times C_2) / (C_1 + C_2)$;
- en dérivation : $C_{eq} = C_1 + C_2$.

Le calcul des condensateurs en série et en parallèle est donc différent de celui des résistances et des bobines. Son unité est le farad (F).

7. Énergie, puissance et rendement

a. Puissance d'un dipôle

Par définition, la puissance est donnée par $P = U \cdot I$, où U est la tension circulant dans le dipôle et I l'intensité le traversant. La puissance s'exprime en watts (W).

Cas d'un générateur de tension

La puissance fournie par un générateur est donnée par la relation $P = E \cdot I$, où E est la tension délivrée par le générateur et I son intensité. La tension délivrée par le générateur est parfois notée U . On a alors $P = U \cdot I$.

Cas de la résistance

La puissance consommée par une résistance est $P = R \cdot I^2 = U^2 / R$. On constate que cette puissance est toujours positive. On dit que la résistance est un élément **dissipatif**, il y a donc une perte de chaleur appelée **effet Joule**.

Cas du condensateur

La puissance consommée par un condensateur est :

$$P = U \cdot I = U \cdot (C \cdot dU/dt) = 0,5 \cdot C \cdot d(u^2)/dt^2$$

Résultat admis.

On constate que la puissance instantanée consommée par un condensateur est liée à la variation $(d/\Delta t)$ du carré de la tension.

En pratique, on utilisera la formule suivante :

$P = 0,5.C.\Delta(u^2)/\Delta t$ où Δ désigne une variation entre deux instants.

Par exemple, si la tension passe de 3 V à 5 V, de 2 s à 4 s alors :

$$\Delta(u^2)/\Delta t = (5^2 - 3^2)/(4 - 2) = 16/2 = 8 \text{ V/s}$$

Cas de la bobine

La puissance consommée par une bobine est :

$$P = U.I = I.L.(dI/dt) = 0,5.L.d(I^2)/dt^2$$

Résultat admis.

On constate comme précédemment que la puissance instantanée consommée par une bobine est liée à la variation (d/dt) du carré de l'intensité. En pratique, on appliquera la relation :

$$P = 0,5.L.\Delta(I^2)/\Delta t^2$$

Il est fortement conseillé de ne pas dépasser la puissance maximale fournie par le constructeur.

b. Bilan énergétique

Lorsque l'on étudie un système physique, la puissance électrique fournie par le générateur doit être égale à la somme des puissances de chacun des éléments.

Énergie d'un dipôle

Par définition, l'énergie est donnée par **$dW = P.dt$** dans le cas général. Si P ne dépend pas du temps, alors on aura **$\Delta W = P.\Delta t$** , soit **$W_f - W_i = P(t_f - t_i)$** .

Résultat admis.

On constate que si $t_i = 0$, $t_f = t$ et $W_f = W$, alors nécessairement $W_i = 0$. On retrouve la formule usuelle du travail **$W = P.t$** .

Exemple :

Si $W_f = 5 \text{ J}$, $W_i = 1 \text{ J}$ et que le temps des mesures a été fait entre 3 et 8 s, que vaut P ?

$$P = (W_f - W_i)/(t_f - t_i) = (5 - 1)/(8 - 3)$$

$$P = 4/5 = 0,8 \text{ W}$$

Cas d'un générateur de tension

L'énergie fournie par un générateur à tension continue est donnée par la relation :

$$W = E.I.t$$

E est la tension délivrée par le générateur, I son intensité et t le temps.

Cette relation ne s'applique pas pour un générateur de courant alternatif.

Cas de la résistance

L'énergie que crée une résistance est :

$$W = R.I^2.t$$

Cas du condensateur

L'énergie échangée entre deux instants t_1 et t_2 par un condensateur est :

$$W = 0,5.C.(u_2^2 - u_1^2) \text{ (résultat admis)}$$

Cas de la bobine

L'énergie échangée entre deux instants t_1 et t_2 par une bobine est :

$$W = 0,5.L.(I_2^2 - I_1^2) \text{ (résultat admis)}$$

c. Rendement

Le rendement (η), ou efficacité énergétique, est un chiffre sans dimension d'une valeur comprise entre 0 et 1 ou en pourcentage entre 0 et 100 %. Il exprime un rapport d'énergie entre la quantité d'énergie utile fournie et la quantité d'énergie consommée pour faire fonctionner le système.

$\eta = \text{quantité d'énergie utile/quantité d'énergie consommée}$

On peut obtenir le rendement en utilisant un rapport de puissance : le rendement électrique d'une alimentation est défini par le rapport entre la puissance entrante (côté alternatif) et la puissance fournie à la machine (côté continu).

$\eta = \text{puissance entrante/puissance fournie}$

Le rendement sert à améliorer un système qui présente des pertes d'énergie.

Un rendement de 100 % (qui impliquerait que toute l'électricité fournie par une prise de courant est intégralement convertie en puissance utile pour la machine) est impossible.

En effet, la résistance électrique des composants, qui n'est jamais nulle, engendre des pertes électriques ou magnétiques.

Par exemple, si la puissance utile est de 5 W et que la puissance pour faire fonctionner le système est de 8 W, alors le rendement sera $\eta = 5/8 = 0,625$ soit 62,5 %. On considère que le rendement est convenable à partir de 80 %.

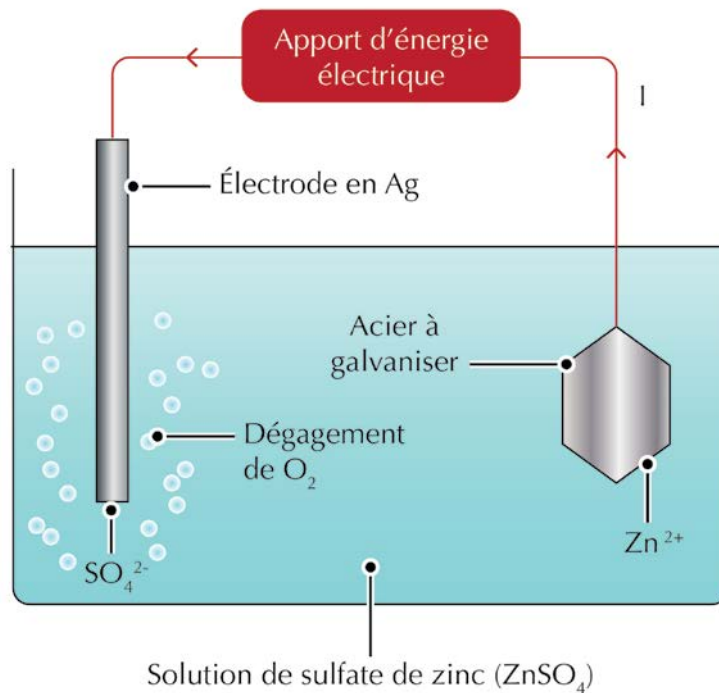
B. Le courant dans les solutions ioniques

1. L'électrolyse

L'électrolyse est le phénomène inverse de la pile. Il s'agit d'un phénomène non spontané. La réaction chimique est provoquée par un apport d'énergie électrique extérieure. Ce procédé est principalement utilisé pour :

- la purification des métaux ;
- le plaquage des bijoux ;
- la galvanisation ;
- l'épilation.

La galvanoplastie, procédé industriel, sert à déposer une fine couche métallique sur un support par électrolyse.



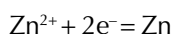
© M.R. 2015

Fig. 15 La galvanoplastie © SAY

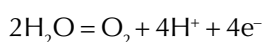
En solution aqueuse, le sulfate de zinc se dissocie en ions Zn^{2+} et SO_4^{2-} .

Les ions sont attirés par l'électrode de polarité opposée.

À l'électrode constituée de l'acier à galvaniser, on observe un dépôt de zinc provenant de la solution de sulfate de zinc. L'écriture de la réaction chimique est la suivante :



Au niveau de l'électrode constituée d'argent, la demi-équation bilan de la réaction est :



Le procédé de galvanisation permettant de protéger l'acier avec du zinc (libéré par la solution de sulfate de zinc) n'est effectif que par l'apport d'énergie électrique. Cette réaction n'est donc possible qu'en présence d'une tension et par conséquent d'une intensité.

La quantité d'électricité (Q) est définie par la relation liant la charge de l'électron à l'intensité.

$$Q = n.F = I.\Delta t \text{ ou } \Delta Q = I.\Delta t$$

n est le nombre de moles d'électrons, F la constante de Faraday, I le courant débité et Δt l'intervalle de temps.

2. La conductivité

Un électrolyte est un milieu conducteur caractérisé par la présence d'anions (ions négatifs) et de cations (ions positifs).

La conductivité est possible dans un électrolyte.

La conductivité ionique molaire d'un ion X_i^{a+} est le produit de la constante de Faraday (96 500 C/mol) par la mobilité (μ_i) de l'ion et par le nombre de charges a. Son unité de mesure est le $S.m^2.mol^{-1}$:

$$\lambda_i = \mu_i.F.a$$

Dans le cas d'une solution diluée, dont la concentration est très petite, λ_i tend vers λ_i^0 et μ_i vers μ_i^0 .

λ_i^0 est appelée conductivité ionique molaire limite.

Il existe des tables répertoriant les valeurs de la conductivité ionique molaire. Elles donnent généralement la conductivité ionique molaire pour une mole de charge, appelée conductivité ionique molaire équivalente. Elle est égale au quotient de la conductivité ionique molaire limite par la valeur absolue de la charge a. Ceci signifie que, pour l'ion Zn^{2+} , on donnera $\lambda_i^0(0,5Zn^{2+})$. Puisque la charge de cet ion est +2, alors la conductivité ionique molaire est $(1/2)Zn^{2+}$ soit $0,5Zn^{2+}$ (voir le tableau ci-dessous).

Voici un tableau de quelques valeurs que l'on rencontre souvent :

Tableau n°1 Conductivité ionique molaire

ION	λ_i^0
H_3O^+	35
Li^+	3,86
Na^+	5,01
K^+	7,35
NH_4^+	7,34
$1/2 Ca^{2+}$	5,95
$1/2 Zn^{2+}$	5,28
$1/2 Fe^{2+}$	5,35
$1/3 Al^{3+}$	6,3
$1/3 Fe^{3+}$	6,8
OH^-	19,9
Br^-	7,81
F^-	5,54
Cl^-	7,63
I^-	7,7
NO_3^-	7,14
$HCOO^-$	5,46
$CH_3CO_2^-$	4,09
$1/2 SO_4^{2-}$	8
$1/3 PO_4^{3-}$	9,28

Pour lire le tableau, il faut tenir compte du coefficient devant la formule chimique.

Exemples :

Pour l'ion chlorure (Cl^-) :

On donne $\lambda_i^0 = 7,63 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$

On aura alors : $\lambda = 7,63 \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1}$

Pour l'ion zinc (Zn^{2+}) :

On donne : $\lambda_i^0(0,5Zn^{2+}) = 5,28 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$

On aura alors : $\lambda = 2 \times 5,28 = 10,56 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$ car la valeur de λ_i^0 est donnée pour $1/2 Zn^{2+}$ et non pour Zn^{2+} .

a. Conductivité d'une solution

Pour une solution ionique contenant des ions X, de charge a et de concentration C, la conductivité de la solution sera notée σ . La conductivité σ est égale à la somme des conductivités molaires ioniques multipliée par la concentration.

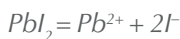
$$\sigma = \Sigma(X^a) \cdot C$$

Dans le cas d'une solution diluée, on obtient :

$$\sigma = \Sigma \lambda^0 \cdot (X^a) \cdot C = \Sigma |a| \cdot \lambda^0 (1/|a| \cdot X^a) \cdot C$$

Exemple :

Pour une solution saturée en PbI_2 , d'équation :



En négligeant la conductance du solvant, on trouve la relation suivante pour σ :

$$\sigma = 2 \cdot [Pb^{2+}] \cdot \lambda^0(0,5Pb^{2+}) + 1 \cdot \lambda^0(I^-)$$

Il n'est pas nécessaire de connaître les valeurs de λ^0 car elles sont toujours précisées.

b. Application de la conductivité

L'émulsion

Une émulsion est un cas particulier de substance colloïde.

Une émulsion est composée de deux liquides non miscibles en présence appelés des phases. Une émulsion est constituée d'une phase aqueuse et d'une phase huileuse. L'une des phases (phase discontinue) est dispersée dans l'autre (phase continue) sous forme de gouttelettes. Le mélange obtenu est homogène mais instable.

Il existe deux types d'émulsions :

- **L'émulsion huile dans l'eau** : la phase huileuse est dispersée dans la phase aqueuse ;
- **L'émulsion eau dans l'huile** : la phase aqueuse est dispersée dans la phase huileuse.

Pour stabiliser l'émulsion, on utilise des émulsifiants qui sont des tensioactifs.

Exemples

En cuisine :

- le jaune d'œuf contient de la lécithine (tensioactif naturel) qui permet d'obtenir une émulsion stable : la mayonnaise ;
- le lait contient de la caséine qui est utilisée en chocolaterie ;
- la vinaigrette est un exemple d'émulsion instable.

Chez l'Homme : le film hydrolipidique (mélange de sueur et de sébum), qui protège la peau, est une émulsion.

En cosmétologie : les crèmes sont des émulsions plus ou moins grasses suivant les propriétés qu'on veut leur appliquer.

La conductivité permet de définir le sens de l'émulsion :

- une émulsion huile dans eau permet le passage d'un courant électrique ;
- une émulsion eau dans huile est isolante.

L'électrophorèse

L'électrophorèse est une technique de séparation de particules chargées électriquement, fondée sur le principe de mouvement différentiel. Des particules chargées sont placées dans un champ électrique, créé par un courant continu, et se déplacent à une vitesse proportionnelle à celle de la charge.

Les particules séparées par cette action peuvent être organiques ou minérales, de la taille d'une cellule ou de celle d'un ion.

Il existe différents types d'électrophorèse :

- **L'électrophorèse libre** : ce type d'électrophorèse s'effectue sur un liquide de composition connue. Les particules ne se séparent pas complètement mais on obtient une frontière que l'on peut voir par des méthodes optiques (UV par exemple) ;
- **L'électrophorèse analytique** : cette électrophorèse permet de dissocier un grand nombre de constituants d'un mélange. On utilise principalement des polyacrylamides ;

- **l'électrophorèse de zone** : on réalise la migration des particules dans une phase liquide sur un support poreux ou gélifié. On utilise principalement le papier, l'acétate de cellulose et des gels (agarose, amidon, etc.) ;
- **l'électrophorèse préparative** : elle sert à obtenir une quantité plus ou moins importante d'un constituant d'un mélange quelconque.

L'ionophorèse

Un courant électrique passe entre deux bornes plongées dans des bacs d'eau chaude reliés à des électrodes. Cette technique permet essentiellement d'atténuer l'hyperhidrose palmo-plantaire.

II. Le régime variable

Le régime variable est le régime fourni par EDF, c'est donc une tension qui varie au cours du temps. Dans la vie de tous les jours, on utilise une tension dite alternative sinusoïdale. Cependant, il existe d'autres types de tensions.

A. Le régime sinusoïdal

1. Étude de la production d'une tension sinusoïdale

La tension sinusoïdale est une conversion d'énergie créée à partir d'un **alternateur**. Celui-ci transforme l'énergie mécanique en électricité. C'est un processus fondamental effectué dans toutes les centrales électriques, quelle que soit l'énergie utilisée (eau, vent, nucléaire, etc.).

Le processus suit la loi d'induction de Faraday, qui établit qu'un champ magnétique alternatif induit un courant électrique dans un circuit conducteur. Le champ magnétique d'un aimant peut être utilisé mais, dans l'industrie, on utilise un électroaimant qui offre un meilleur rendement.



Fig. 16 Alternateur © SAY

Un alternateur est constitué d'un rotor tournant à l'intérieur d'un stator. Le rotor est un électroaimant. Le stator est constitué d'un cylindre fixe avec des enroulements en cuivre dans lequel est généré un courant alternatif triphasé suite à la rotation du rotor.

Ce rotor tourne à une vitesse constante pour obtenir un courant alternatif de fréquence 50 Hz, utilisé par EDF.

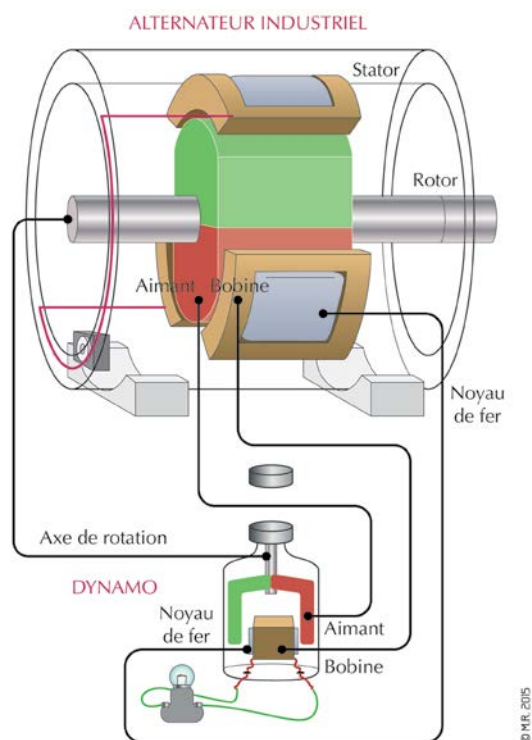


Fig. 17 Rotor © SAY

La tension à la sortie de l'alternateur est portée à 380 kV par des **transformateurs** pour limiter les pertes durant le transport vers les consommateurs.

L'électricité est véhiculée via un poste haute tension jusqu'au réseau interconnecté qui relie les principales centrales électriques.

Enfin, l'électricité est transportée aux consommateurs via des transformateurs pour obtenir la tension voulue, par exemple 220 V, 50 Hz.

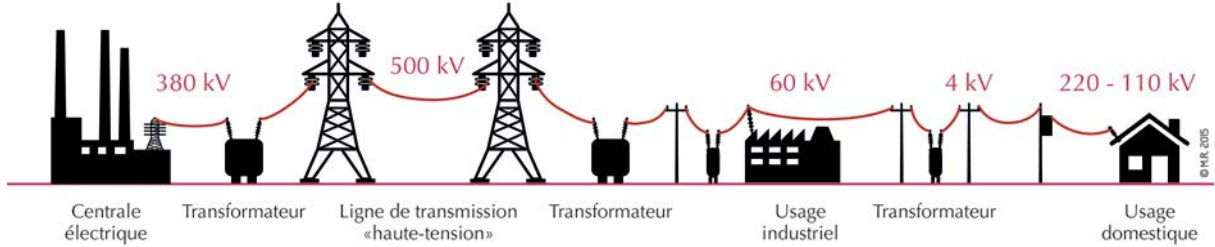


Fig. 18 Transport de l'électricité © SAY

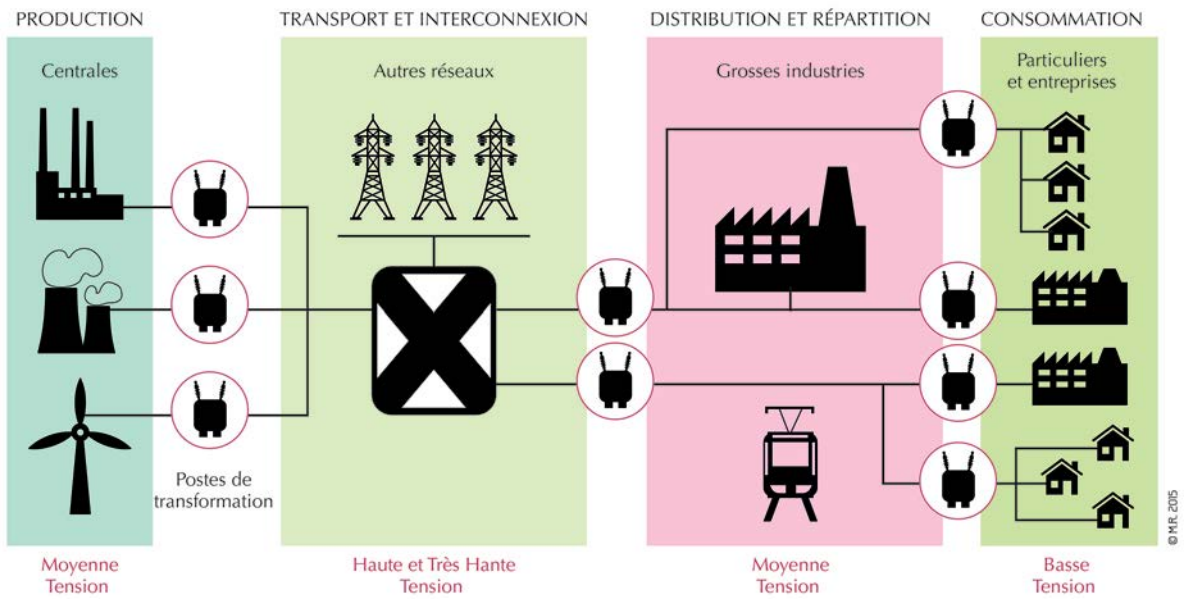


Fig. 19 Le transport de l'électricité © SAY

2. Le courant alternatif

Le courant alternatif est caractérisé par une intensité moyenne définie par :

$$I_{\text{moy}} = 1/T \cdot \int_0^T I(t) dt = 0$$

La valeur moyenne se calcule à l'aide d'une intégrale. Cette relation est donnée à titre indicatif, elle ne fera pas l'objet d'une étude.

Ce type de courant est périodique de période **T** en secondes (s), de fréquence **f = 1/T** en hertz (Hz) et de pulsation **w = 2.π.f** en radians par seconde (rad/s).

La période est la durée d'un phénomène qui se répète au cours du temps, elle s'exprime en secondes (s).

La fréquence est l'inverse de la période, elle s'exprime en hertz (Hz). Elle définit le nombre de pulsations ou de battements d'un phénomène par seconde. Par exemple, les battements du cœur définissent une fréquence.

La figure suivante représente l'intensité sinusoïdale provenant d'un générateur. Elle nous permet d'en déduire l'amplitude crête à crête, l'amplitude efficace définie par $I_{\text{eff}} = I_{\text{max}}/2$, l'amplitude moyenne et l'amplitude crête. La mesure de l'amplitude est un scalaire (un nombre) et elle représente l'ampleur d'une onde.

L'amplitude est, par définition, la valeur maximale (ou sommet) atteinte, en volts ou en ampères généralement, par un signal vu sur un oscilloscope. On la note U_{max} s'il s'agit d'une tension, ou I_{max} s'il s'agit d'une intensité.

Par exemple, ci-dessous, on constate que l'amplitude est de 2 V, alors que l'amplitude crête à crête est de 4 V (on prend la hauteur du maximum et du minimum).

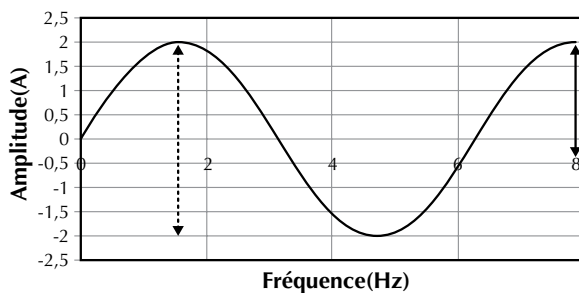


Fig. 20 L'intensité sinusoïdale provenant d'un générateur © SAY

En pointillé : l'amplitude crête à crête.

En trait plein : l'amplitude crête.

On peut constater que le courant sinusoïdal est décrit par une fonction du type :

$$I = I_{\text{max}} \cdot \sin(\omega t + \phi)$$

ϕ est par définition la phase entre $u(t)$, la tension du générateur, et $i(t)$, l'intensité aux bornes de la résistance, par exemple pour un montage RLC (résistance, bobine et condensateur). Elle représente le décalage entre deux tensions, deux intensités, ou une tension et une intensité sur un oscilloscope.

À titre indicatif, on définit l'intensité efficace par :

$$I_{\text{eff}2} = 1/T \int_0^T i(t)^2 dt$$

L'intensité efficace représente la racine carrée de la moyenne de l'intensité au carré. Cette intensité efficace n'existe que pour les tensions variables. On la mesure avec un voltmètre à l'aide de la touche AC.

3. Représentation de Fresnel

Au courant $i(t)$ (ou à la tension), on associe un scalaire. Ce vecteur est représenté à l'instant $t = 0$, il a pour module (ou amplitude maximale) I_{max} (ou U_{max}) et pour phase ϕ . Quand t croît, ce vecteur tourne autour de l'origine à la vitesse angulaire ω .

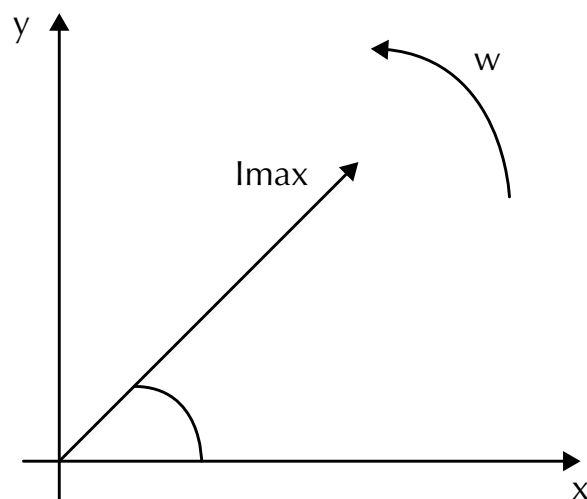


Fig. 21 Représentation de Fresnel © SAY

Le vecteur associé à la dérivée de $i(t)$, $di/dt = i'(t)$, est en **quadrature de phase** car il avance de $\pi/2$ sur celui de $i(t)$, alors que le vecteur associé à la primitive $\int i(t)dt$ est en **opposition de phase** par rapport à di/dt .

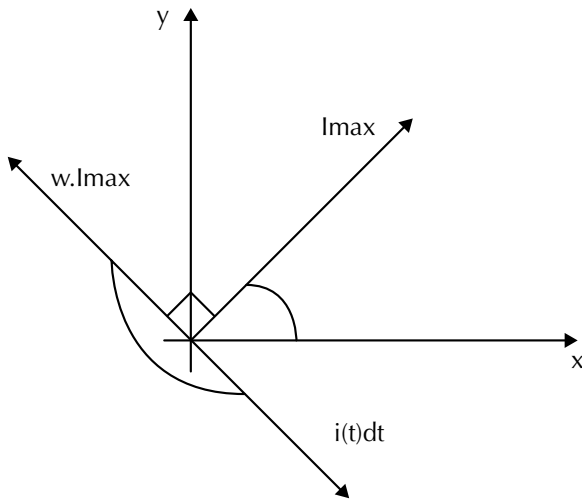


Fig.22 Opposition de phase © SAY

Exemple :

Soit $U_1(t) = U_1 \cdot \sin(\omega t)$ et $U_2(t) = U_2 \cdot \cos(\omega t + \pi/6)$
 On trace la représentation de Fresnel de $U_1(t)$ et de $U_2(t)$.

1) Pour comparer les deux relations, il faut « convertir » l'une des deux expressions pour qu'elles soient de même forme.

On sait que :
 $\cos(a + b) = \sin(a + b + \pi/2)$

Donc :
 $U_2(t) = \sin(\omega t + \pi/2 + \pi/6) = \sin(\omega t + 2\pi/3)$
 2) On sait que $U = U_{max} \cdot \sin(\omega t + \phi)$: on en déduit donc que $\phi = 2\pi/3$.

On a montré que $U_1(t) = U_1 \cdot \sin(\omega t)$ et $U_2(t) \cdot \sin(\omega t + 2\pi/3)$.

On choisit donc de positionner U_1 sur l'axe des x et ensuite on positionnera U_2 à l'aide d'un rapporteur, avec un angle de $2\pi/3$ soit 120° .

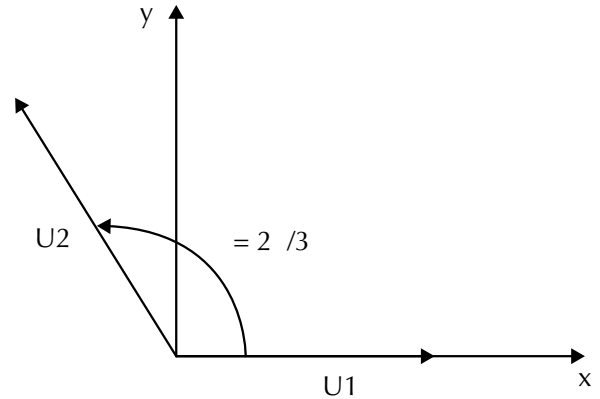


Fig.23 Représentation de Fresnel © SAY

4. Impédances

L'impédance Z exprime la résistance d'un système électrique (en ohms) où la tension et le courant varient sinusoidalement. Pour un circuit en **série** contenant une **bobine** L , une **résistance** R et un **condensateur** C , l'impédance du circuit est donnée par la formule :

$$Z = R^2 + (L\omega - 1/c\omega)^2$$

En conséquence, si le circuit est alimenté par une tension U et un courant I , on aura alors $U = Z \times I$. On remarque que ω est la pulsation et vaut $2\pi f$ (f étant la fréquence).

Toutes les lois énoncées pour le régime continu sont aussi applicables pour un régime sinusoidal.

5. Circuits résistifs, capacitifs et inductifs

a. Le circuit résistif

Il s'agit du circuit le plus simple qui soit. Il est constitué d'une résistance et d'une tension alternative $E(t)$.

Il est représenté par le schéma suivant :

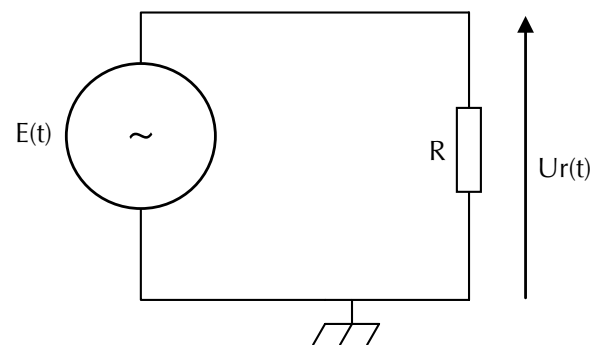


Fig.24 Le circuit résistif © SAY

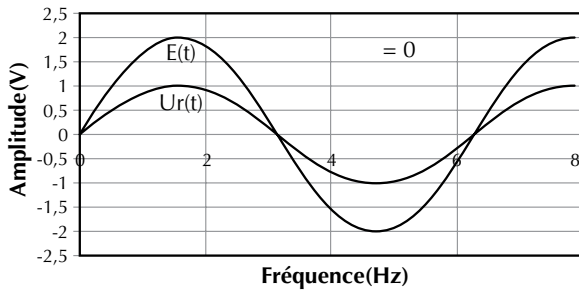


Fig. 25 Représentation du circuit électrique résistif

La tension $E(t)$ est la tension mesurée aux bornes du générateur et $U_r(t)$ celle mesurée aux bornes de la résistance, à l'aide d'un oscilloscope. L'axe des abscisses représente le temps (ou axe des temps), et l'axe des ordonnées, les amplitudes en volts. On remarque que les tensions n'ont pas la même amplitude, l'une est à 2 V ($E(t)$) et l'autre à 1 V ($U_r(t)$).

On constate que, graphiquement, il n'y a pas de décalage sur l'axe des temps (leurs sommets se font face), on dit que les courbes n'ont pas de déphasage, donc $\phi = 0$.

b. Le circuit capacitif

Le circuit capacitif le plus simple est caractérisé par un condensateur et une tension alternative $E(t)$. Le schéma ci-dessous représente un circuit capacitif.

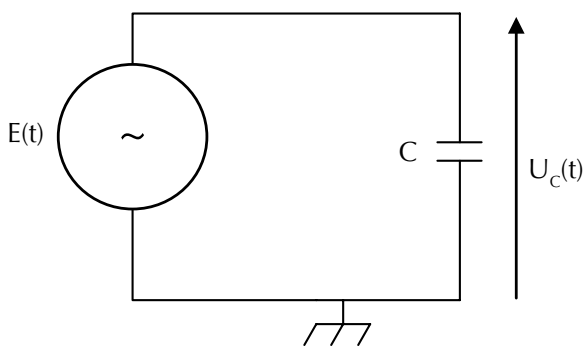


Fig. 26 Le circuit capacitif © SAY

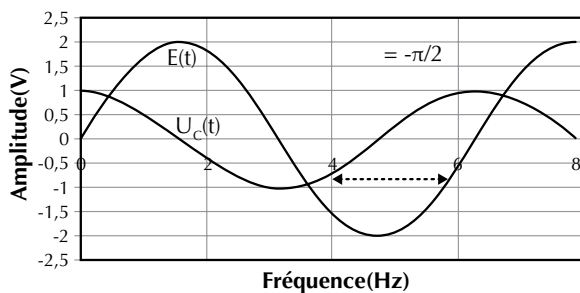


Fig. 27 Le circuit capacitif

La tension $E(t)$ est la tension mesurée aux bornes du générateur et $U_c(t)$ celle mesurée aux bornes du condensateur, à l'aide d'un oscilloscope. L'axe des abscisses représente le temps (ou axe des temps) et l'axe des ordonnées, les amplitudes en volts. On remarque que les tensions n'ont pas la même amplitude, l'une est à 2 V ($E(t)$) et l'autre à 1 V ($U_c(t)$).

La flèche pointillée représente le déphasage (ϕ) entre $U_c(t)$ et $E(t)$. Il se mesure en comptant le nombre de carreaux sur l'oscilloscope, à multiplier par le nombre de divisions du temps, c'est-à-dire que si l'y a en calibrage 2 ms par division (ou par carreau), alors si le décalage se fait sur 5 carreaux entre les courbes, on aura $\Delta t = 10 \times 5 = 50$ ms en décalage. Donc le déphasage se calcule suivant la méthode suivante :

$$\phi = 2\pi\Delta t/T \text{ (ou } \phi = 360\Delta t/T \text{ si on veut la valeur en degrés)}$$

Au cours du temps, la tension $U_c(t)$ aux bornes du condensateur ne varie pas en même temps que celle du générateur. Ce décalage s'appelle le déphasage.

c. Le circuit inductif

Le circuit inductif est composé d'un générateur $E(t)$ et d'une bobine L .

Le schéma le plus simple est traité ci-dessous. $U_L(t)$ représente la tension aux bornes de la bobine.

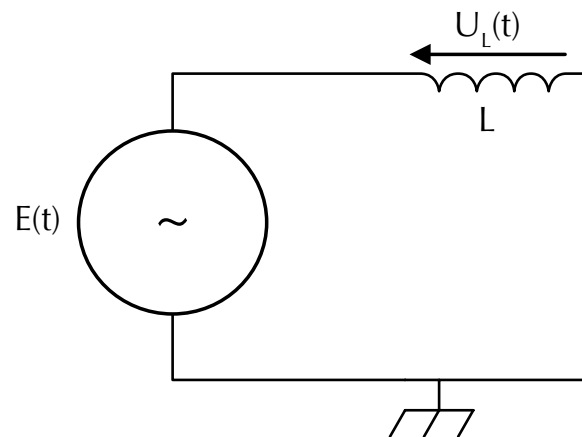


Fig. 28 Le circuit inductif © SAY

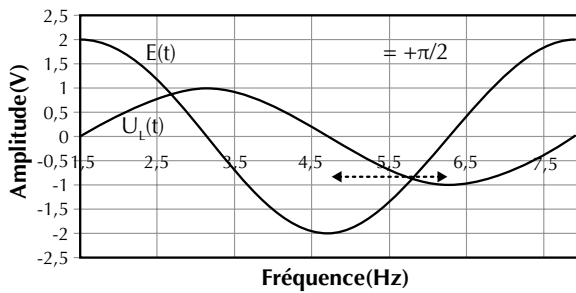


Fig. 29 Le circuit inductif

La tension $E(t)$ est la tension mesurée aux bornes du générateur et $U_L(t)$ celle mesurée aux bornes de la bobine, à l'aide d'un oscilloscope. L'axe des abscisses représente le temps (ou axe des temps) et l'axe des ordonnées, les amplitudes en volts. On remarque que les tensions n'ont pas la même amplitude, l'une est à 2 V ($E(t)$) et l'autre à 1 V ($U_L(t)$).

La mesure du déphasage d'un circuit inductif est identique à la mesure du circuit capacitif.

B. La puissance en régime sinusoïdal

1. La puissance instantanée

La puissance instantanée $p(t)$ est le produit de la tension par l'intensité. Elle s'exprime en watts.

$$p(t) = u(t) \times i(t)$$

a. La puissance active

$$P_{ac} = U \cdot I \cdot \cos\phi$$

La puissance active (P_{ac}) est la puissance **dépendante du $\cos\phi$** communément appelée facteur de puissance. U est la tension, I l'intensité.

La puissance active s'exprime en watts.

b. La puissance réactive

$$P_r = U \cdot I \cdot \sin\phi$$

La puissance réactive est la puissance **dépendante du $\sin\phi$** , c'est une puissance utilisée pour les circuits inductifs (à bobine) ou capacitifs (à condensateur).

La puissance réactive s'exprime en voltampères réactifs (VAR).

c. La puissance apparente

$$P = U \cdot I$$

La puissance apparente est utilisée pour quantifier la puissance d'un transformateur.

La puissance apparente s'exprime en voltampères (VA).

2. Puissance moyenne

La puissance moyenne est la puissance durant une période T . Elle est donnée par la relation :

$$P_{\text{moy}} = 1/T \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos\phi$$

Cette relation n'est vraie qu'en régime sinusoïdal ($U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos\phi$). Il faut retenir que :

$$P = U_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}} \times \cos(\phi)$$

U_{eff} est la tension efficace en volts, I_{eff} l'intensité efficace en ampères, et $\cos(\phi)$ le facteur de puissance sans unité.

Plus la valeur du $\cos(\phi)$ est proche de 1, plus la puissance est meilleure, c'est-à-dire que les pertes par effet Joule sont diminuées et donc la facture moins élevée.

3. Mesure de la puissance

On mesure les puissances avec un wattmètre. Il en existe deux types :

- le wattmètre à convertisseur analogique numérique (CAN) double rampe ;
- un autre CAN dit rapide.

Ces appareils affichent le courant, la tension, la puissance apparente et le facteur de puissance. Pour minimiser l'erreur des mesures, il faut câbler le wattmètre selon le schéma :

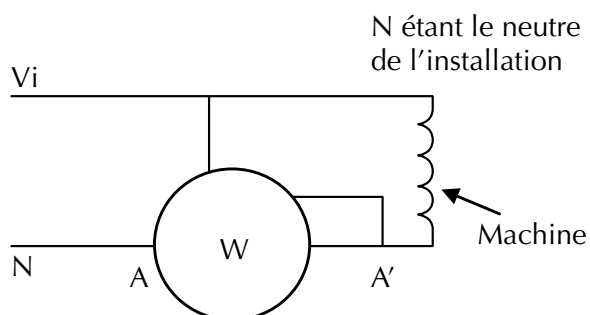


Fig.30 Mesure de la puissance © SAY

4. Facteur de puissance

Le facteur de puissance est, pour un système alimenté en régime sinusoïdal, lié au déphasage ϕ .

Il est calculé selon la relation :

$$\cos\phi = \frac{P_{\text{active}}}{P_{\text{apparente}}}$$

Pour améliorer le facteur de puissance, on ajoute des condensateurs, soit à l'entrée, soit à la sortie du transformateur principal, afin d'obtenir un $\cos\phi$ d'environ 1.

Avoir un bon facteur de puissance permet :

- l'optimisation d'une installation électrique ;
- la diminution de la puissance souscrite en kVA ;
- la suppression de la facturation d'énergie réactive ;
- l'amélioration du niveau de tension en bout de ligne ;
- la limitation des pertes d'énergie dans les câbles ;
- etc.

La puissance active est une autre appellation de la puissance moyenne (en watts). Quant à la puissance apparente, elle correspond à la puissance maximale, lorsque U et I sont en **phase**. Son unité est le voltampère ou VA. On retrouve la puissance apparente (ou puissance maximale) sur les factures EDF.

C. Le régime périodique non sinusoïdal

Il existe plusieurs types de régimes périodiques non sinusoïdaux. Les plus courants sont les régimes triangulaires et les régimes carrés.

1. Régime triangulaire

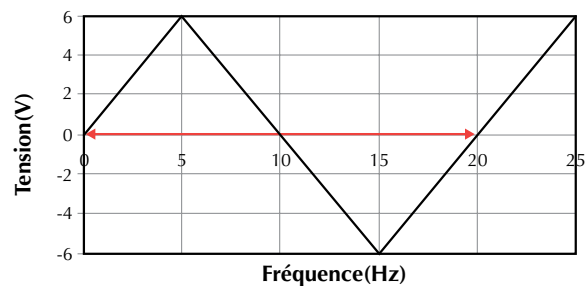


Fig.31 Régime triangulaire © SAY

On sait que $T = 1/f$. La période est représentée en rouge sur le schéma ci-dessus. Sa fréquence est de 20 Hz.

La période de ce signal est donc $T = 1/20 = 0,05$ s et son amplitude est de 6 V.

2. Régime carré (ou rectangle)

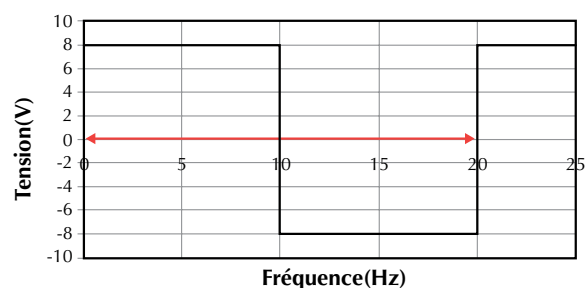


Fig.32 Régime carré (ou rectangle) © SAY

La période de ce signal est $T = 0,05$ s (car $T = 1/f = 1/20$) et son amplitude est de 8 V.

3. Régime périodique quelconque

On peut rencontrer n'importe quel type de régime périodique, comme ci-dessous.

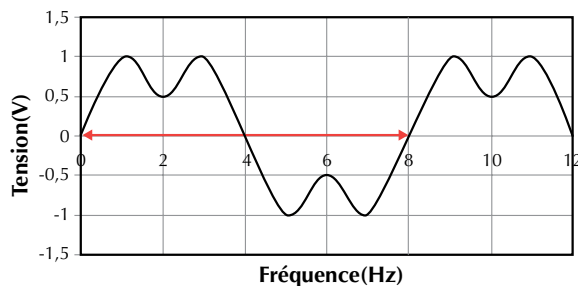


Fig. 33 Régime périodique quelconque © SAY

La période de ce type de régime est $T = 0,125$ s (car $T = 1/f = 1/8$) et l'amplitude fait 1 V.

D. Les courants de hautes et basses fréquences, applications

1. Les courants basses fréquences

On distingue trois types de courants basses fréquences :

- le courant faradique (la source est un trembleur) ;
- le courant homofaradique (signal rectangulaire ou exponentiel) ;
- le courant sinusoïdal (éventuellement redressé) jusqu'à 3 kHz.

Les actions, imposées par ces courants, sont des actions excito-motrices, tropiques et analgésiques.

a. Action excito-motrice

Le principe est de provoquer une contraction musculaire par une impulsion de courant.

Cette propriété est utilisée par exemple pour faire de l'électrodiagnostic ou pour une gymnastique passive sur un muscle en physiothérapie. Lorsque son intensité est assez élevée, son action est inhibitrice, on peut alors défibriller un cœur. L'électrochoc et l'électrokinésie sont deux autres applications possibles des courants basses fréquences.

b. Action tropique

Le principe est d'augmenter la sécrétion des glandes, la circulation sanguine, et de diminuer les œdèmes.

c. Action analgésique

Les courants de basses ou moyennes fréquences sont utilisés lors du traitement des séquelles douloureuses des traumatismes ou des entorses.

2. Les courants hautes fréquences

On distingue trois types de courants à hautes fréquences : le courant diathermique, le courant haute fréquence à ondes courtes et le courant haute fréquence pour la thermocoagulation.

a. Diathermique

Selon le dispositif d'Arsonval, il est possible d'obtenir un courant de haute fréquence (1 MHz) à ondes amorties grâce notamment à un générateur à lampes et à un circuit oscillant LC (c'est-à-dire contenant une bobine et un condensateur).

L'effet crée un échauffement par effet Joule, ce qui induit une vasodilatation. La température peut atteindre localement 40 °C et les courants sont indolores. On traite par diathermie les échanges respiratoires, la sécrétion rénale et la concentration urinaire, l'hyperthermie, certaines arthrites, certaines arthroses, les algies, etc. On l'utilise aussi pour l'épilation électrique.

b. Les ondes courtes

Les courants de hautes fréquences (entre 40 et 100 MHz) à ondes courtes sont produits soit par un générateur de type Mesny à deux lampes, soit par un magnétron à une seule lampe composée de deux électrodes.

Les électrodes sont posées à un centimètre de la peau. L'air, ou tout autre isolant, joue le rôle de diélectrique et le courant passe par effet de capacité. Les ondes courtes sont utilisées dans le cadre de thérapies par la chaleur, notamment en neurologie, orthopédie, dermatologie, etc.

c. La thermocoagulation

Le principe de la thermocoagulation utilise la chaleur créée par un courant électrique de très haute fréquence. La thermocoagulation permet d'éliminer les varicosités, même les plus fines.

III. Le redressement

A. Notions de semi-conducteurs

1. Semi-conducteurs intrinsèques

L'atome est constitué d'un noyau autour duquel gravitent des électrons répartis sur différentes couches électroniques.

La bande de valence est occupée par les électrons participant aux liaisons covalentes. La bande de conduction est occupée par les électrons de la couche électronique périphérique.

Lorsque la température augmente, les liaisons de covalence peuvent se briser, libérant ainsi des électrons. La place qu'occupaient ces électrons est vacante et est appelée « trou ».

Les semi-conducteurs doivent leur nom au fait que leur conductivité est située entre celle des conducteurs comme les métaux et celle des isolants.

Un semi-conducteur est constitué d'atomes se trouvant dans la bande de valence (la **bande de valence** est la dernière bande électronique totalement ou partiellement occupée à $T = 0$ K).

Les plus couramment utilisés sont le silicium et le germanium.

À une température $T = 0$ K, aucun électron n'occupe la bande de conduction. Le semi-conducteur se comporte comme un isolant parfait.

À une température $T > 0$ K, les électrons se trouvant dans la bande de valence acquièrent de l'énergie cinétique. Si cette énergie devient supérieure à l'énergie d'activation (énergie nécessaire à la réaction suivant la température), alors les électrons se trouvant dans la bande de valence passent dans la bande de conduction. Ils laissent des « trous qui peuvent bouger » dans la bande de valence.

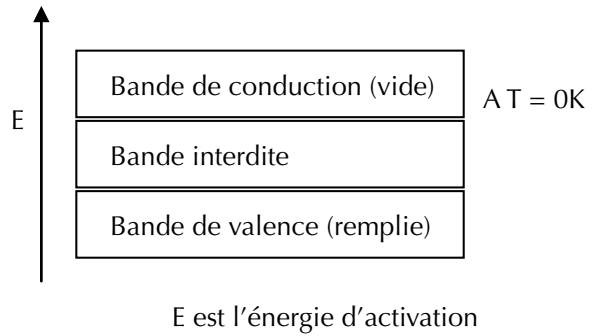


Fig. 34 Energie d'activation © SAY

On définit la conductivité σ du semi-conducteur par la relation :

$$\sigma = e.n.(\mu_e + \mu_t)$$

e est la charge de l'électron, n est le nombre d'électrons libres par unité de volume, μ_e est la mobilité des électrons et μ_t celle des trous.

Le comportement de la résistance électrique diffère d'un semi-conducteur d'un métal.

$$R_{\text{métal}} = R_0(1 + aT)$$

R_0 est la résistance nominale à 0°C et a est un coefficient dépendant de la température en ohms par kelvin ($\Omega.K^{-1}$).

On constate que si la température T augmente, il en sera de même pour la résistance du métal.

$$R_{\text{semi-conducteur}} = R_0 \cdot e^{-aT} \quad (a > 0)$$

Dans ce cas, si la température T augmente, alors la résistance du semi-conducteur diminue.

2. Semi-conducteurs dopés

Dans ce type de semi-conducteurs, on ajoute des impuretés, généralement de l'arsenic ou du bore. L'intérêt est d'augmenter le nombre d'électrons ou de trous pour modifier la conductivité de la substance initiale.

B. Caractéristique d'une diode

1. Rappel historique

La diode, ou valve de Fleming, fut créée en 1904 par Fleming au moment où le détecteur de Branly était pratiquement la seule solution pour détecter des ondes radio.

La diode se compose :

- d'une anode : c'est un cylindre de tôle recouvrant la cathode ;
- d'une cathode chargée d'émettre des électrons lorsqu'elle est chaude ;
- d'un filament en tungstène alimenté par un courant électrique.

Ces composants se situent dans une ampoule où se trouve du vide.

Outre la fonction de détection, la diode a permis le redressement du courant alternatif, surtout lorsque le vide a été remplacé par un gaz ou de la vapeur de mercure.

2. Les types de diodes

a. Diode semi-conductrice

Elle est formée d'un semi-conducteur dopé (p) à l'anode, et d'un semi-conducteur dopé (n) à la cathode. Lorsque ces deux semi-conducteurs sont mis en contact, il se crée un régime électrique qui permet la circulation d'un courant à travers la jonction p-n.

b. Diode réelle

Une diode réelle est caractérisée par le graphique ci-dessous. On définit la résistance statique par $R = 1/(\text{pente OP})$ et la résistance dynamique par $R_d = 1/(\text{pente HP})$.

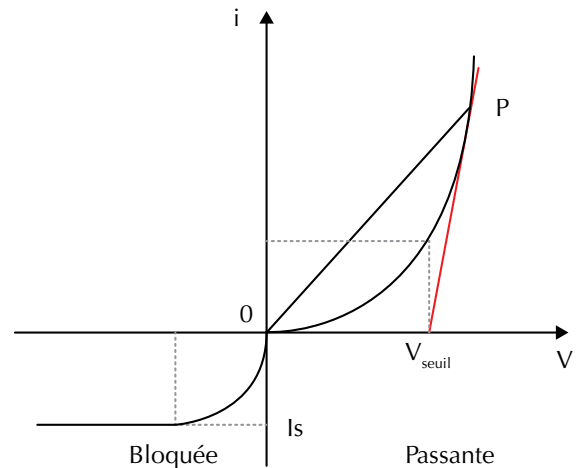


Fig. 35 Diode réelle © SAY

Tension de seuil

La tension de seuil V_{seuil} (point H) est une tension qui permet d'enclencher la diode et de la rendre conductrice (ou passante).

Cette tension dépend du matériau que l'on utilise (silicium ou germanium). On dit que la diode est bloquée lorsqu'elle ne conduit pas, cela fonctionne comme un interrupteur ouvert.

Il faut retenir, pour les caractéristiques d'une diode, que l'indice d signifie dynamique et l'indice s signifie statique.

La résistance dynamique (R_d) est de quelques ohms alors que la résistance statique tend vers l'infini. Le courant inverse (I_s) est constant et tend vers quelques microampères (μA). La tension de seuil $V_{\text{seuil}} = V_D = 0,2 \text{ V}$ pour le germanium et $V_D = 0,6 \text{ V}$ pour le silicium (où V_D représente la tension dynamique de la diode).

La tension dynamique est la tension minimale à appliquer pour que la diode conduise le courant.

On remarque donc que suivant le matériau, la tension de seuil est différente et qu'elle correspond à la tension dynamique de la diode. La tension de seuil est fournie par le constructeur.

Modélisation d'une diode

On modélise une diode par :

- l'équation : $U = V_s + R_d \cdot I_d$;
- le symbole :

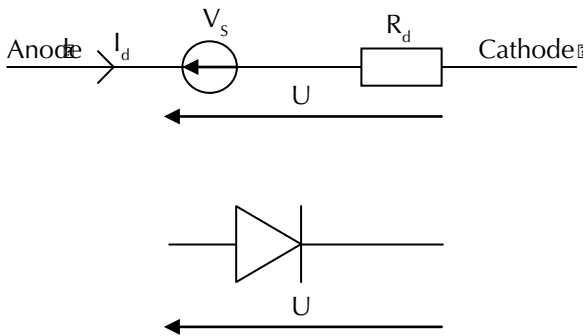


Fig. 36 Diode © SAY

- sa caractéristique :

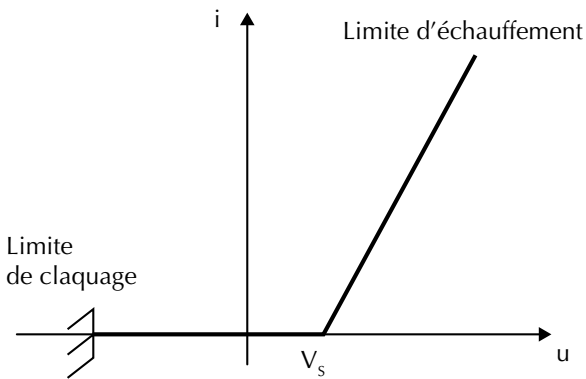


Fig. 37 Modélisation d'une diode © SAY

La tension de claquage est la tension inverse maximale qui peut être appliquée à une diode, alors que la limite d'échauffement correspond à la zone où la température de la diode augmente fortement.

c. Diode idéale

Dans le cas d'une diode idéale, $R_d = 0 \Omega$ et $V_s = 0 V$. Sa caractéristique est représentée ci-dessous :

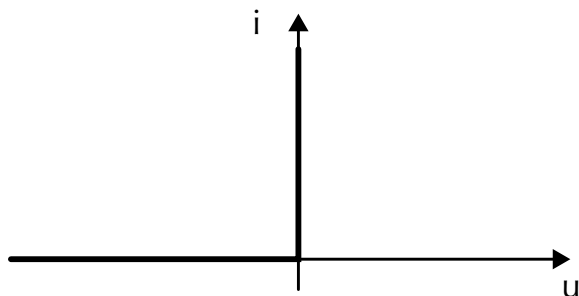


Fig. 38 Diode idéale © SAY

Les diodes supposées idéales vont donc interdire le passage d'un courant négatif : elles sont bloquées.

d. La diode Zener

Ci-dessous la caractéristique d'une diode Zener supposée idéale.

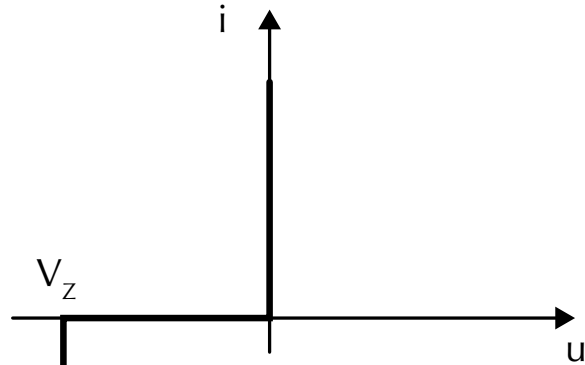


Fig. 39 La diode Zener © SAY

V_Z (tension Zener) appartient à l'intervalle $[- 10 V ; - 50 V]$ selon le type de diode rencontrée.

Son symbole est :

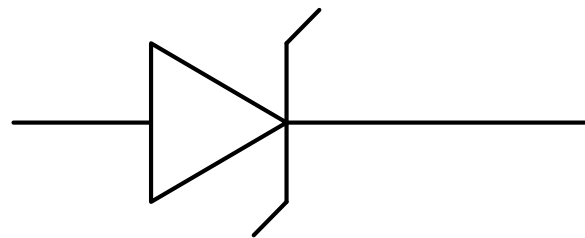


Fig. 40 Symbole de la diode Zener © SAY

C. Redressement simple alternance

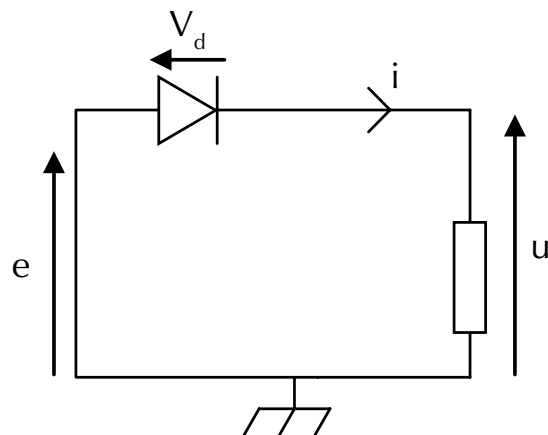


Fig. 41 Redressement simple alternance © SAY

La diode est supposée parfaite, la tension d'entrée est une tension sinusoïdale :
 $e = E \cdot \sin(\omega t)$ de pulsation ω , et E est la tension maximale.

Puisque la diode est supposée idéale, elle va interdire le passage du courant négatif.

Sur l'oscilloscope, on observe la tension aux bornes de la résistance $R = 1 \Omega$.

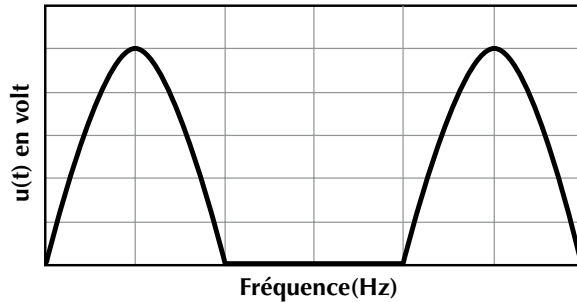


Fig. 42 Tension aux bornes de la résistance $R = 1 \Omega$ © SAY

La tension u est périodique et de période $T = 2\pi/\omega$.

Elle est caractérisée par une valeur moyenne $U_{\text{moy}} = E/\pi$. Sa valeur efficace est donnée par $U_{\text{eff}} = E/2$. Ces résultats sont donnés à titre indicatif, ils ne sont pas à connaître par cœur.

D. Redressement double alternance (pont de Graetz)

On considère le dispositif suivant ou pont de Graetz :

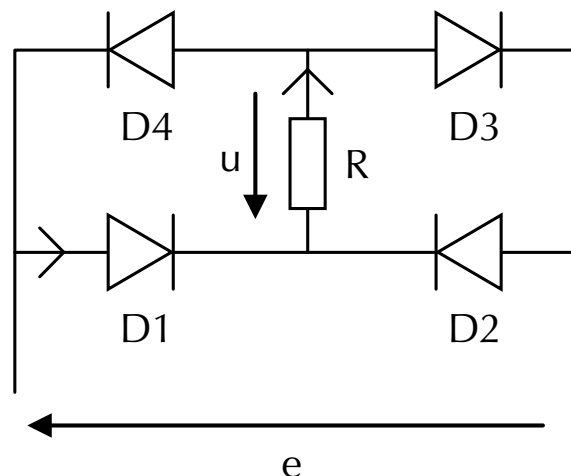


Fig. 43 Pont de Graetz © SAY

On suppose que la diode est idéale. On observe sur l'oscilloscope la tension aux bornes de la résistance R . La tension est $e = E \cdot \sin(\omega t)$ et la période est $T = 2\pi/\omega$.

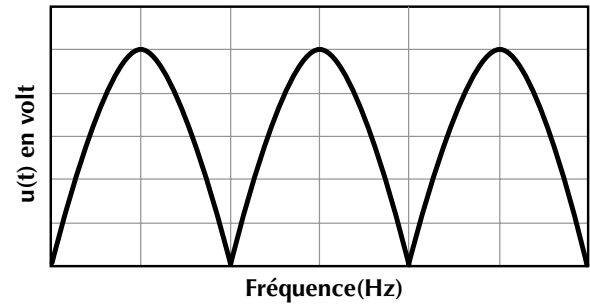


Fig. 44 Redressement double alternance © SAY

On suppose que pour ce type d'oscillation $U_{\text{moy}} = 2E/\pi$ et $u_{\text{eff}} = E$. Ces résultats sont donnés à titre indicatif, ils ne sont pas à connaître par cœur.

On rappelle que $e = E \cdot \sin(\omega t)$.

E. Stabilisation de tension

Une tension peut être stabilisée en utilisant une diode Zener montée selon le schéma ci-dessous.

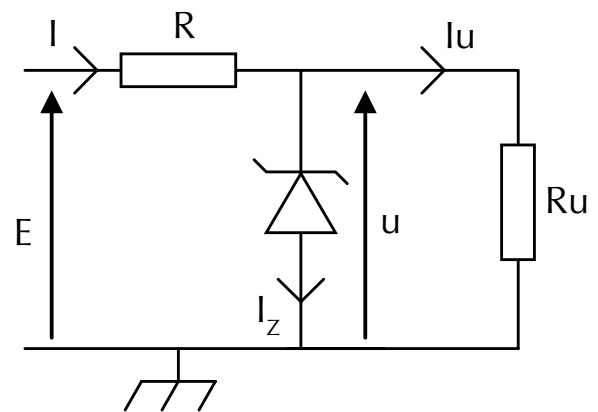


Fig. 45 Stabilisation de tension © SAY

R_u est la résistance de charge (appelée ainsi car c'est une résistance jointe au circuit, ne pas confondre avec la résistance de source qui, elle, est une résistance interne à un appareil) et E la tension d'entrée.

Une diode est donc modélisable, c'est-à-dire qu'on associe un schéma équivalent à ce composant afin de mieux le comprendre.

Par conséquent, on définit un schéma équivalent ci-dessous. Le constructeur fournit généralement un graphique permettant de déterminer le point de fonctionnement de la diode.

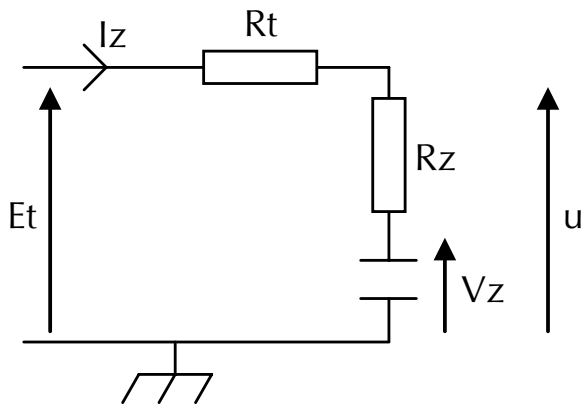


Fig. 46 Point de fonctionnement de la diode © SAY

R_t est la résistance équivalente (en parallèle de R et de R_u).

E_t est la tension équivalente du montage.

On admettra les formules ci-dessous :

$$u = V_z + R_z \cdot I_z$$

$$u = E_t - R_t \cdot I_z$$

$$R_t = (R \cdot R_u) / (R + R_u)$$

$$E_t = (E \cdot R_u) / (R + R_u)$$

Voici donc la courbe caractéristique de cette diode Zener :

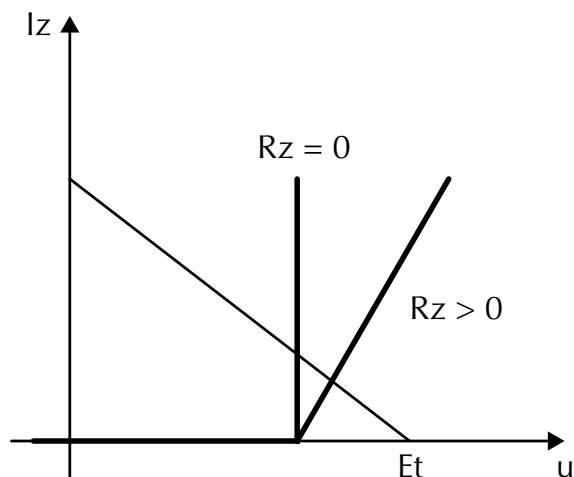


Fig. 47 Courbe caractéristique de la diode Zener © SAY

Si $R_z = 0$ (la résistance de la diode Zener) : correspond au cas de la stabilisation amont, c'est-à-dire qu'on fixe la valeur de R_u , les courants dans la résistance

de charge R_u et dans la diode varient, mais u reste constante. De même, si la tension du générateur varie, cas de la stabilisation aval (on fixe la tension E du générateur), la tension u reste aussi constante.

Si R_z est différente de 0, la stabilisation est d'autant meilleure que R_z est petite, puisqu'on a la caractéristique d'une diode.

La puissance dissipée de la diode doit toujours être inférieure à la puissance maximale autorisée. V_z , la tension de la diode Zener, dépend de la température (semi-conducteur).

Pour obtenir une bonne stabilisation, un montage à transistors est plus efficace qu'un montage à diode.

IV. Distribution de l'énergie électrique

La distribution de l'électricité en France est assurée par EDF, mais de nouveaux groupes se développent suite à l'application de la loi de libre-échange votée en Europe.

A. Le transport des hautes et très hautes tensions

1. Introduction

Le transport des hautes tensions est essentiel pour acheminer le courant électrique du lieu de production au lieu de consommation.

Le transport du courant électrique, ainsi que de la tension associée, depuis une centrale électrique vers un appartement, utilise de grandes lignes aériennes. Depuis 50 ans, la consommation électrique ne cesse de croître car les besoins de la société sont grandissants.

En France, le réseau électrique de très haute tension, entre 220 et 400 kV, s'étale sur 50 000 km.

Le transport de ce courant par les lignes à haute tension induit un champ électromagnétique de très basse fréquence, entre 50 et 60 Hz. Ce champ électromagnétique est défini par un champ électrique et un champ magnétique.

Le champ électrique induit sous une ligne à haute tension est déterminé par la tension de la ligne ; quant au champ magnétique, il est déterminé par l'intensité du courant qu'elle transporte.

Certains conducteurs peuvent faire écran aux ondes électriques. Il se peut que le champ électrique mesuré dans un appartement soit plus faible que celui provenant de l'extérieur.

Le champ magnétique mesuré reste inférieur au champ magnétique terrestre. Le courant transporté est un courant alternatif qui change de sens 50 ou 60 fois par seconde.

Toutes les valeurs mesurées pour chacun des champs dépendent principalement du milieu où elles sont mesurées, par exemple le lieu topographique, la météo, etc.

2. Dangereusité des lignes à haute tension

Les lignes à haute (ou très haute) tension sont-elles dangereuses pour la santé ?

Des études théoriques épidémiologiques ont montré qu'il pouvait exister une association entre l'exposition à de forts champs électriques et la leucémie des enfants. Cependant, la cause de cette association n'est pas établie et des études en laboratoire, sur l'Homme et l'animal, n'ont pas établi d'association possible.

En outre, les champs électriques d'une ligne de haute tension atteignent au maximum $20 \mu\text{T}$ (microtesla), ce qui est nettement moins que ce que l'Union européenne recommande en termes d'exposition ($100 \mu\text{T}$ pour le public et $500 \mu\text{T}$ pour les travailleurs). Cependant, une enquête menée en 2001 par le CIRC a classé les champs magnétiques à très basse fréquence dans la catégorie des agents potentiellement cancérigènes. Des recherches sont en cours mais ceci n'a pas encore été démontré. Par conséquent, les opposants aux lignes à haute tension demandent l'application du principe de précaution. Enterrer les lignes à haute tension a un coût très élevé et induit des problèmes inhérents à l'enfouissement (agriculture, lac, etc.).



Fig. 48 Ligne à hautes tensions © tarczas - Fotolia

B. Le transformateur

Les transformateurs sont des objets physiques qui convertissent une tension d'une certaine valeur en une autre tension de valeur différente. Ils servent aussi à modifier la valeur d'une intensité.

1. Généralités

Un transformateur est un convertisseur d'énergie électrique AC/AC. Un convertisseur AC/AC permet de convertir une tension alternative en une autre tension alternative. Ses deux fonctions principales sont la transmission isolée d'énergie et la modification du niveau d'une source de tension alternative. On peut trouver des transformateurs qui vont convertir du 220 V en 9 V ou inversement. On parle alors de transformateur élévateur de tension ou abaisseur de tension.



Fig. 49 Transformateur © AVD - Fotolia

Un transformateur est constitué d'un circuit magnétique et de deux bobines.

a. Le circuit magnétique

Il se caractérise par un empilement de tôles. Elles ont une épaisseur entre 0,5 et 0,7 mm. L'ensemble forme un bloc cohérent lorsque celui-ci est collé ou vissé.

Pour limiter les courants de Foucault, les tôles sont isolées grâce à un vernis ou simplement par l'oxydation naturelle.

b. Les bobines

Une bobine est constituée d'un enroulement de fil conducteur autour d'un noyau. Les spires sont isolées les unes des autres par un vernis spécifique.

La première bobine ou bobine primaire reçoit l'énergie à convertir.

La deuxième bobine ou bobine secondaire délivre l'énergie convertie.

c. Modélisation du transformateur

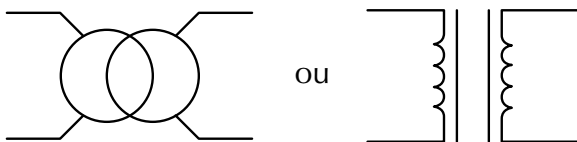


Fig. 50 Modélisation du transformateur © SAY

2. Transformateur idéal

Un transformateur est dit idéal lorsqu'il ne présente pas de pertes dans les conducteurs, ni dans le noyau magnétique. Il doit présenter également une perméabilité infinie et un couplage magnétique parfait des enroulements. La résistance induite par l'enroulement est négligée, ainsi le champ magnétique est identique dans les deux bobines.

Pour un transformateur idéal, le rapport de transformateur (m) est caractérisé par la relation liant le nombre de spires (N) au courant (I) et à la tension (E).

$$m = N2/N1 = E2/E1 = I1/I2$$

$E1$, $N1$ et $I1$ caractérisent la bobine primaire et $E2$, $N2$ et $I2$ la bobine secondaire.

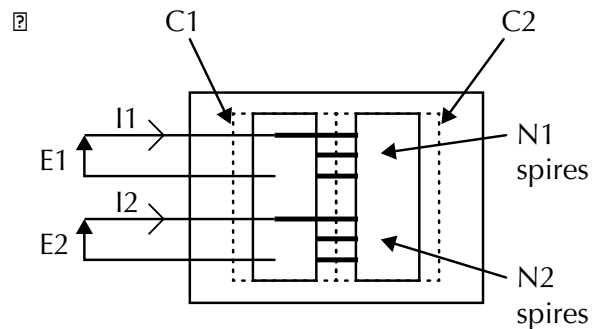


Fig. 51 Transformateur idéal © SAY

Démonstration

Les contours $C1$ et $C2$ sont symétriques par rapport à l'axe central du transformateur et donc enlacent les mêmes courants. Le changement de courant va être induit par le champ magnétique de la première bobine sur la deuxième.

Le champ magnétique B est donc identique dans $C1$ et $C2$. La perméabilité étant supposée infinie, on déduit que :

$$\Sigma I = N1.I1 - N2.I2 = 0$$

Le signe moins dans la relation est dû au fait que les courants sont opposés lorsqu'ils s'entrelacent dans l'entrefer.

On en déduit alors que $N2/N1 = I1/I2$.

Par ailleurs, on admettra la relation suivante :

$$E1 = -N1.S.dB/dt$$

S est la surface du noyau magnétique, N1 est le nombre de spires au primaire et $\frac{dB}{dt}$ est la variation de champ magnétique pendant un laps de temps dt.

De même, on a $E_2 = -N_2.S.\frac{dB}{dt}$.

$$N_1 = \frac{E_1 \cdot dt}{S \cdot dB}$$

$$N_2 = \frac{E_2 \cdot dt}{S \cdot dB}$$

Or : $N_2/N_1 = I_1/I_2$

On en déduit que :

$$N_2/N_1 = E_2/E_1 = I_1/I_2$$

3. Transformateur réel

Un transformateur réel est caractérisé par :

- les pertes par effet Joule (chaleur) ;
- les pertes du noyau magnétique par les courants de Foucault ;
- la perméabilité qui n'est pas infinie ;
- le couplage magnétique qui existe entre les enroulements.

Ce transformateur admet un schéma équivalent permettant son étude physique (qui ne sera pas vue ici).

4. Transformateur de distribution

Les transformateurs utilisés dans la distribution d'énergie électrique doivent fournir une tension au secondaire stable de l'ordre de 97 % (les pertes sont donc limitées à 2 à 3 %) quand I_2 varie.

Si l'instabilité survient, on peut avoir des fluctuations de tension ou de courant, ce qui peut endommager les matériels (surchauffe, destruction) de type téléviseur, chaîne hi-fi, etc.

C. Installation monophasée

1. Schéma général du monophasé

Pour un système monophasé, le neutre est mis à la terre.

La figure suivante représente un système monophasé. Les branchements du wattmètre, de l'ampèremètre et du voltmètre à respecter ont été indiqués.

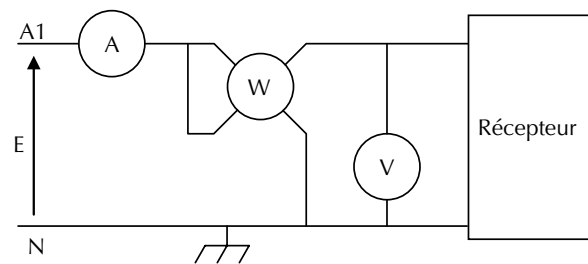


Fig.52 Schéma général du monophasé © SAY

Il existe d'autres types de systèmes.

2. Dispositif de sécurité

Un système électrique est toujours constitué d'un dispositif de sécurité qui comprend un disjoncteur électrique, des coupe-circuits, des fils et des prises électriques.

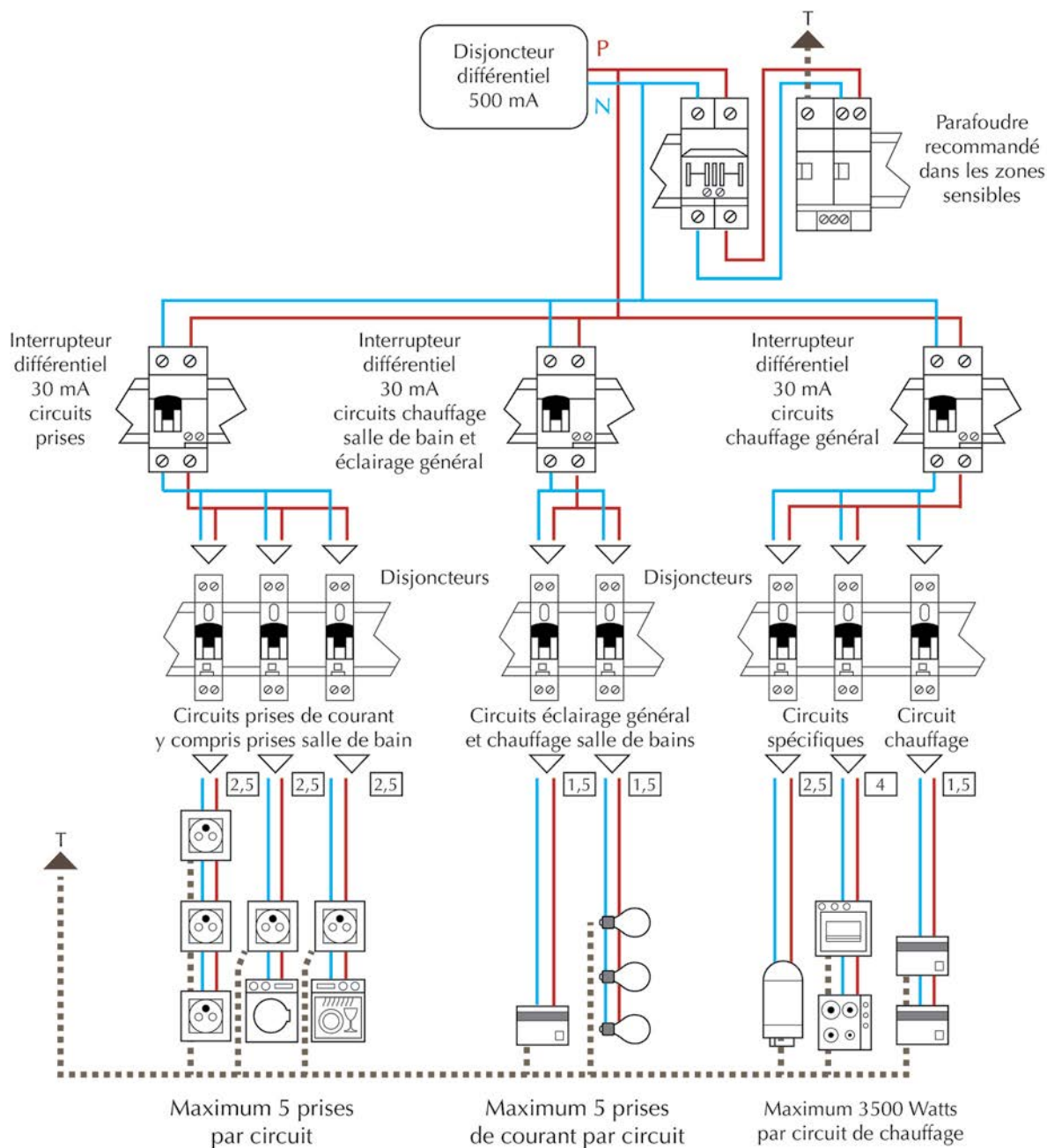


Fig.53 Dispositif de sécurité © SAY

a. Le disjoncteur électrique

Le disjoncteur commande toute l'installation électrique. Il met automatiquement l'installation hors tension en cas de court-circuit ou lorsque la puissance utilisée est supérieure à l'abonnement souscrit auprès d'une compagnie électrique. L'abonnement choisi fixe en effet la puissance maximale mise à la disposition du consommateur. Pour toute intervention sur l'installation électrique, il permet de couper le courant pour assurer la sécurité de l'opérateur.

b. Les coupe-circuit

Les coupe-circuit sont reliés à chacun des appareils et protègent l'installation en coupant le courant en cas d'échauffement ou de court-circuit. Ils protègent également l'utilisateur en cas de défaut d'isolement d'un appareil. De nos jours, dans les logements neufs, des dispositifs différentiels, plus fiables, ont remplacé les fusibles et les plombes. Ils détectent la moindre fuite de courant.

c. Fils et prises électriques

Les fils doivent être de la bonne section car l'intensité est liée à celle-ci par la relation :

$$R = \rho \cdot L / S$$

Lorsqu'un branchement est effectué, il faut tenir compte de la section du fil. Elle peut en effet augmenter la consommation d'électricité, puisque $P = U \cdot I$.

d. L'eau et l'électricité

Dans toutes les salles d'eau et lieux humides, des règles de sécurité strictes doivent être respectées.

L'emplacement d'une prise ne peut pas être changé sans en avoir référé à un professionnel.

Les installations électriques dans les lieux humides sont réglementées par la norme C15-100.

Tous les appareils de chauffage proches d'une salle d'eau doivent être reliés à un dispositif différentiel de 30 mA minimum. Les luminaires doivent être raccordés à la terre, sauf s'ils portent le symbole de double isolation.

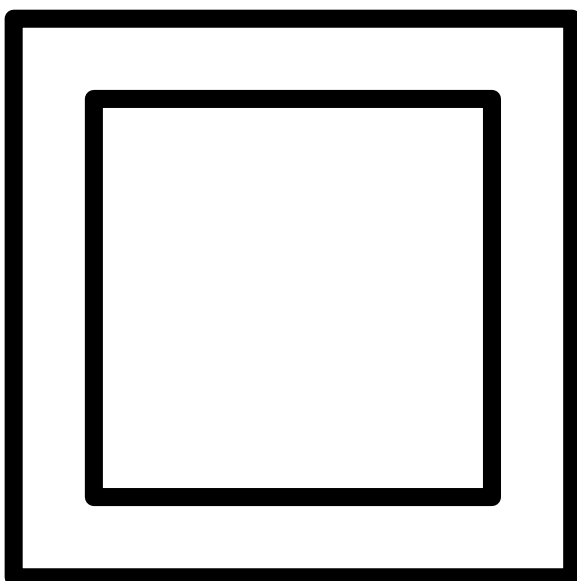


Fig. 54 Symbole de double isolation © SAY

Dans les salles d'eau, l'implantation des appareils doit respecter les volumes imposés par la norme C15-100.

3. Les risques liés à l'électricité

a. Les principales déficiences

Le court-circuit

Les causes d'un court-circuit peuvent être multiples :

- humidité ;
- installation électrique non conforme ;
- fils électriques mal calibrés et ne tenant pas compte de l'ampérage ;
- fils dénudés ;
- gaines électriques apparentes ;
- surintensité (utilisation de multiprises par exemple) ;
- arrachage involontaire de câbles lors de travaux ;
- etc.

Les surtensions

Les principales causes d'une surtension sont :

- la défaillance dans l'approvisionnement électrique ;
- la foudre.

b. Les conséquences d'une déficiences

Une déficiences dans un circuit électrique peut avoir des conséquences sur :

- l'Homme : brûlure, électrisation, électrocution ;
- le matériel : dégradation, incendie, explosion.

c. Prévention

Pour limiter les accidents, il est nécessaire de :

- respecter les normes en vigueur ;
- vérifier régulièrement l'intégrité des appareils électriques ;
- faire intervenir un professionnel pour toute intervention sur le circuit ;
- adapter les dispositifs de sécurité (prise de terre, disjoncteur, etc.) ;
- etc.