



10.1 Généralités

Ce chapitre traite uniquement le courant alternatif de variation sinusoïdale par rapport au temps. C'est ce genre de courant qui est présent sur le réseau 230-400 V.

On utilise le terme de monophasé pour indiquer que les récepteurs ne sont alimentés que par deux conducteurs actifs, soit par exemple : L1-N ou L1-L2.

Les grandeurs tension et courant ont l'avantage d'être facilement modifiées par des transformateurs. Il est aussi facile de les transformer en courant continu à l'aide d'un redresseur. Il est également plus facile de couper un courant alternatif puisque celui-ci passe périodiquement par zéro.

AC ou \sim

Symbole

Définition

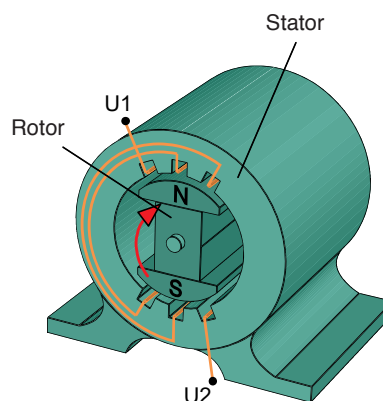
Une tension ou un courant alternatif sinusoïdal varie continuellement et change périodiquement de sens (polarité); sa valeur moyenne est nulle.

Principe de l'alternateur élémentaire

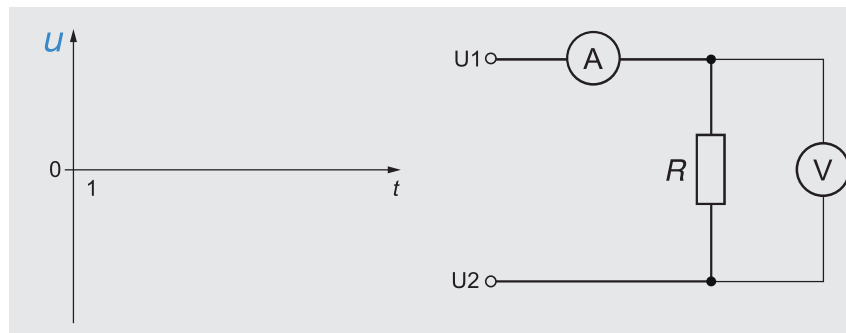
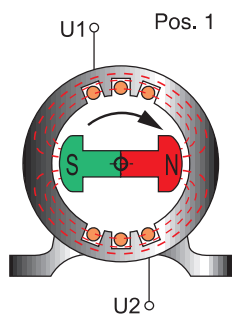
L'alternateur est la machine qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique à courant alternatif selon le principe de l'induction électromagnétique.

Le rotor (inducteur) est entraîné par une turbine hydraulique (centrale à haute chute ou au fil de l'eau), une turbine à vapeur (centrale thermique ou nucléaire), un moteur à combustion (groupe de secours), etc.

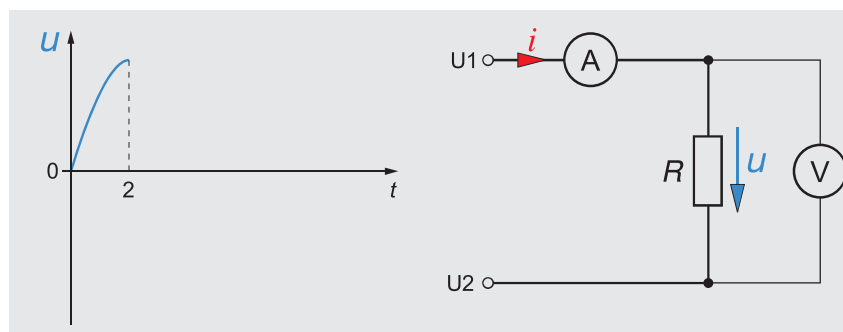
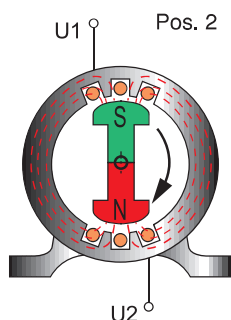
Dans le stator (induit), constitué d'une bobine fixe, apparaît une force électromotrice (FEM) alternative.



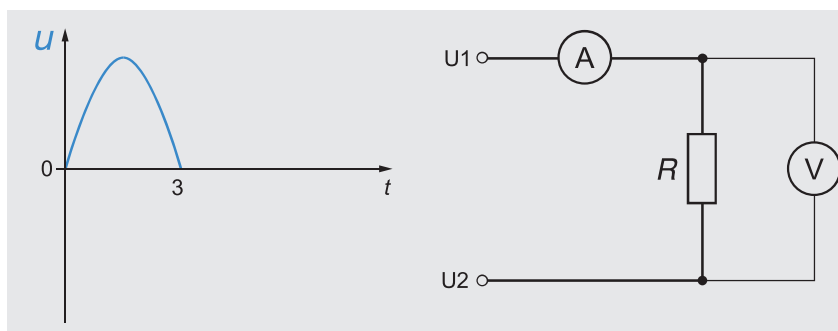
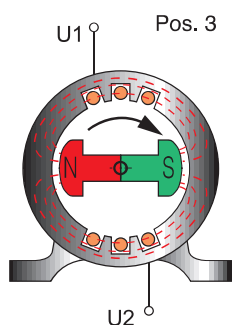
Lorsque le rotor se trouve dans cette position (1), la bobine de l'induit n'est pas coupée par les lignes de champ. Aucune FEM n'est induite, il n'y a pas de courant qui circule dans le circuit.

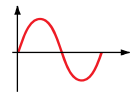


Dans cette position (2), l'induit est coupé par un maximum de lignes de champ. La FEM induite est alors à son maximum. Un courant circule dans le sens U1 vers U2 à l'extérieur de l'alternateur (sens positif).

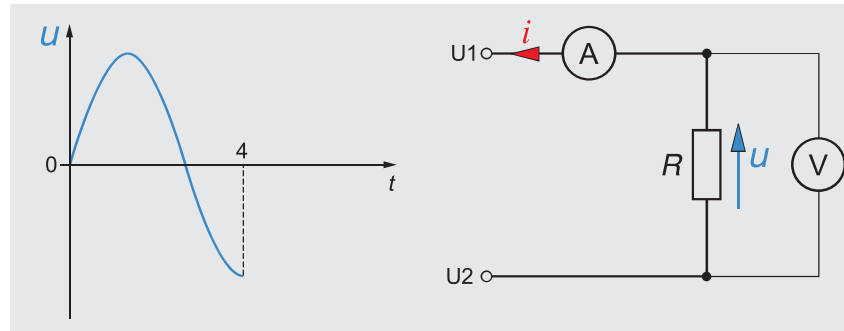
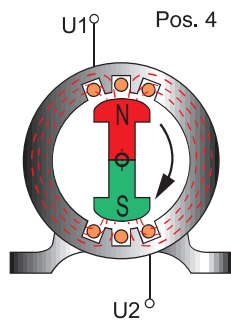


Comme dans la première position, la bobine de l'induit n'est pas coupée par les lignes de champ (position 3). Aucune FEM n'est induite, il n'y a pas de courant qui circule dans le circuit.

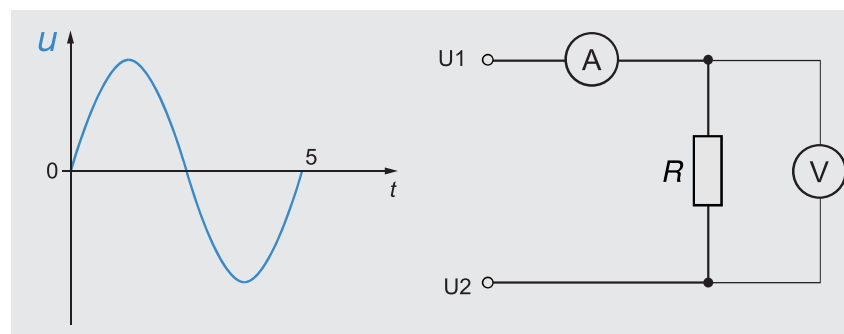
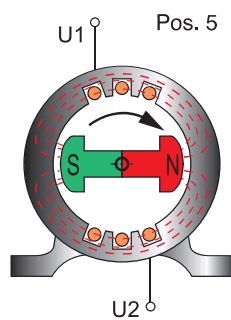




Dans cette position (4), l'induit est à nouveau coupé par un maximum de lignes de champ. La FEM induite est alors à son maximum en sens contraire. Un courant circule dans le sens U_2 vers U_1 à l'extérieur du générateur (sens négatif).



Après un tour complet (position 5), la bobine de l'induit n'est à nouveau plus coupée par les lignes de champ. Aucune FEM n'est induite, il n'y a pas de courant qui circule dans le circuit.



On constate qu'une rotation complète de l'inducteur produit une FEM alternative sinusoïdale. Il en résulte qu'un courant alternatif sinusoïdal circule lorsque le circuit est fermé.

10.2 Représentation d'un courant alternatif sinusoïdal

Une sinusoïde est une ligne courbe dont les points sont donnés par la projection sur l'axe vertical (axe des sinus) d'un rayon R tournant autour d'un point de centre O , en fonction de l'angle α que fait ce rayon avec l'axe horizontal.

La représentation d'une sinusoïde demande deux paramètres :

- le module R (axe vertical) qui dans notre chapitre est représenté par le vecteur courant ou tension ;
- la longueur correspondant à un tour complet représentant soit un angle de 360° , soit le temps d'une période (axe horizontal).

Il est donc possible de représenter un signal alternatif soit :

- par un graphique $i = f(t)$ ou $u = f(t)$
- par une représentation vectorielle du courant \hat{i} ou de la tension \hat{u} tournant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

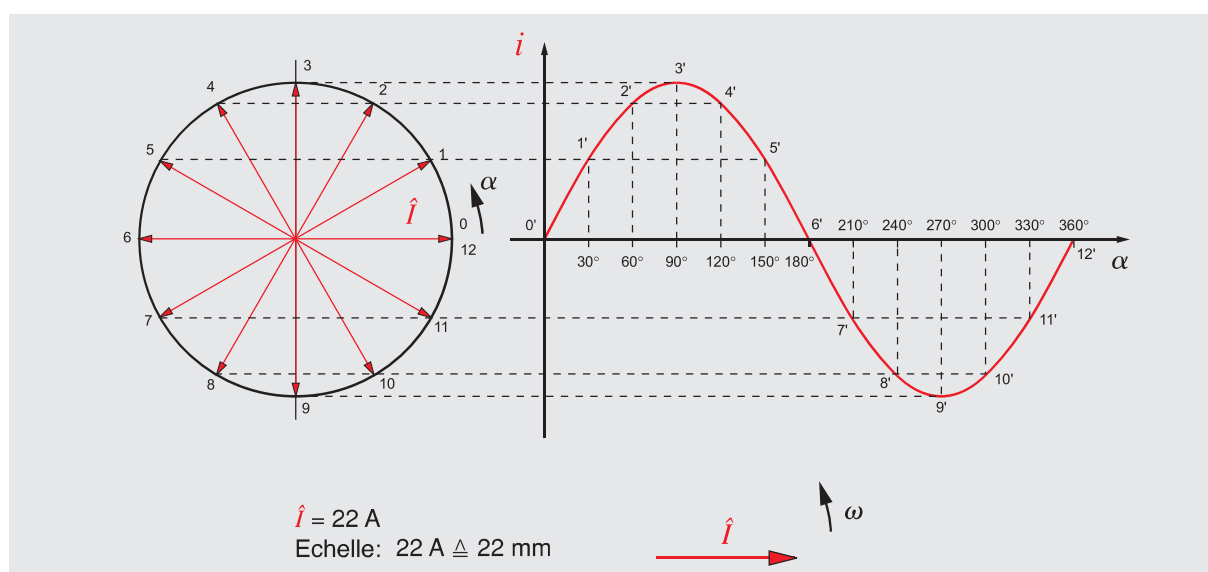
Remarque

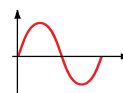
En toute rigueur, les symboles des grandeurs doivent être notés en minuscules (valeurs instantanées) sur les axes des graphiques.

Exemple

Intensité du courant $\hat{i} = 22 \text{ A}$ et un tour de cercle soit 360° .

Echelle : $22 \text{ A} \triangleq 22 \text{ mm}$ et $360^\circ \triangleq 76 \text{ mm}$.



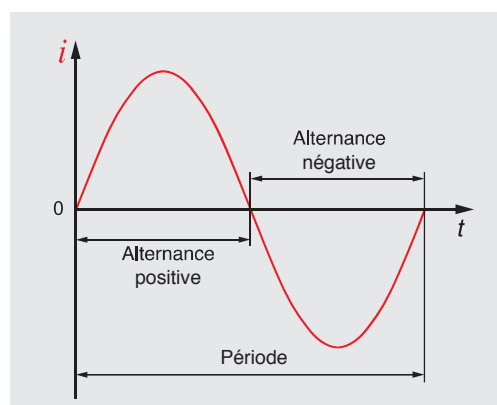


10.3 Grandeurs et unités

10.3.1 Période et fréquence

L'alternance positive est le temps pendant lequel le courant circule dans le sens positif.

L'alternance négative est le temps pendant lequel le courant circule en sens inverse.



Définition de la période (grandeur sinusoïdale)

Une période est le temps d'une alternance positive et d'une alternance négative.

La période T
s'exprime en secondes [s]

Définition de la fréquence (grandeur)

La fréquence d'un courant alternatif représente le nombre de périodes par seconde.

La fréquence f s'exprime en hertz [Hz]

Hertz Heinrich, 1857-1894.

Physicien allemand. Il travailla au laboratoire de physique de l'université de Berlin, puis comme professeur à Karlsruhe et à Bonn. En 1887, Hertz produisit des ondes électromagnétiques grâce à son oscillateur et montra qu'elles possèdent toutes les propriétés de la lumière: réflexion et réfraction, interférences, diffraction, polarisation, vitesse de propagation. Par son étude remarquable des ondes électromagnétiques, Hertz put non seulement vérifier les théories de Faraday et de Maxwell, mais aussi établir les bases théoriques de la télégraphie sans fil et des transmissions radio actuelles.

On a donné son nom à l'unité de la fréquence.



Formule

f fréquence [Hz]

T période [s]

$$f = \frac{1}{T}$$

Valeurs usuelles

Réseau de distribution : 50 Hz
Réseau de distribution des USA: 60 Hz
Télécommande centralisée : 500 à 2000 Hz
Réseau CFF : $16 \frac{2}{3}$ Hz



Exemple

Calculer la période d'un courant alternatif de fréquence 50 Hz.

$$\text{Période: } T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ s} = 20 \text{ ms}$$

Relation entre le nombre de tours de l'inducteur et la fréquence

Si l'inducteur de l'alternateur possède un pôle nord et un pôle sud, soit une paire de pôles, et effectue 1 tour par seconde, il produit une FEM dont la fréquence est de 1 Hz. Pour obtenir une fréquence de 50 Hz, il doit tourner 50 fois plus vite, soit 50 tours par seconde ou 3000 tours par minute. En utilisant un inducteur à 2 paires de pôles, on réduit de moitié la fréquence de rotation.

On en déduit que la fréquence du courant dépend du nombre de paires de pôles et de la fréquence de rotation du rotor. En pratique, la fréquence de rotation du rotor des machines tournantes est indiquée sur la plaquette signalétique avec pour unité $[\text{min}^{-1}]$, ce qui correspond à $[1/\text{min}]$ ou $[\text{tr}/\text{min}]$. Dans ce cours, nous l'indiquons avec l'unité $[\text{tr}/\text{min}]$.

Formules

f fréquence [Hz]

p nombre de paires de pôles du rotor

n fréquence de rotation $[\frac{\text{tr}}{\text{s}}]$

ou

f fréquence [Hz]

p nombre de paires de pôles du rotor

n fréquence de rotation $[\frac{\text{tr}}{\text{min}}]$

$$f = p \cdot n$$

$$f = \frac{p \cdot n}{60}$$

Valeurs usuelles

Alternateur entraîné par une turbine à gaz :

$$p = 1 \text{ paire de pôles} \quad n = 3000 \text{ tr/min} \quad f = 50 \text{ Hz}$$

Alternateur entraîné par une turbine hydraulique :

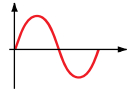
$$p = 8 \text{ paires de pôles} \quad n = 375 \text{ tr/min} \quad f = 50 \text{ Hz}$$

Exemple

La fréquence de rotation d'un alternateur à 6 paires de pôles est de 600 tr/min.

Calculer la fréquence.

$$\text{Fréquence: } f = \frac{p \cdot n}{60} = \frac{6 \cdot 600}{60} = 60 \text{ Hz}$$



10.3.2 Pulsation ou vitesse angulaire

Dans le Système International d'Unités (SI), l'unité d'angle est le radian.

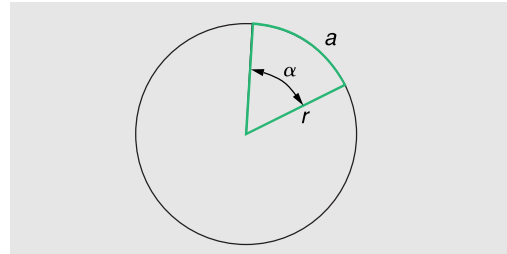
Définition du radian (unité)

Un radian (rad) est l'angle au centre d'une circonférence dont l'ouverture est déterminée par un arc a dont la longueur est égale au rayon r .

$$a = r \text{ et } \alpha = 1 \text{ rad}$$

Le rayon r est contenu 2π fois dans une circonférence.

$$\text{Circonférence: } C = 2\pi \cdot r$$



Correspondance d'unités

$$360^\circ \triangleq 2\pi \text{ rad}$$

$$180^\circ \triangleq \pi \text{ rad}$$

$$90^\circ \triangleq \frac{\pi}{2} \text{ rad}$$

$$\alpha = \frac{360^\circ}{2 \cdot \pi} \cong 57,3^\circ$$

Une période correspond à un tour de rotation du vecteur tension ou courant, soit un angle parcouru de 2π rad.

La fréquence correspond au nombre de tours effectués par le vecteur en une seconde.

Le vecteur a donc balayé chaque seconde un angle de 2π fois la fréquence.

Cet angle parcouru par unité de temps est appelé vitesse angulaire ou pulsation du courant alternatif (ou de la tension).

Définition de la grandeur

La pulsation du courant alternatif (ou de la tension) représente l'angle en radians balayé chaque seconde par le vecteur courant (ou tension).

La pulsation ω (oméga) s'exprime en radians par seconde $\left[\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right]$

Formule

$$\omega \quad \text{pulsation} \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right]$$

$$f \quad \text{fréquence [Hz]}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

Exemple

Représenter par un vecteur, un courant alternatif $\hat{I} = 6 \text{ A}$ et de fréquence 50 Hz.

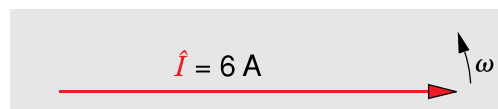
Calculer la pulsation de ce courant.

$$\text{Echelle: } 1 \text{ mm} \triangleq 0,1 \text{ A}$$

Le courant est donc représenté par un module de :

$$\frac{6}{0,1} = 60 \text{ mm}$$

$$\text{Pulsation: } \omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$



10.3.3 Valeur de crête

Définition de la grandeur

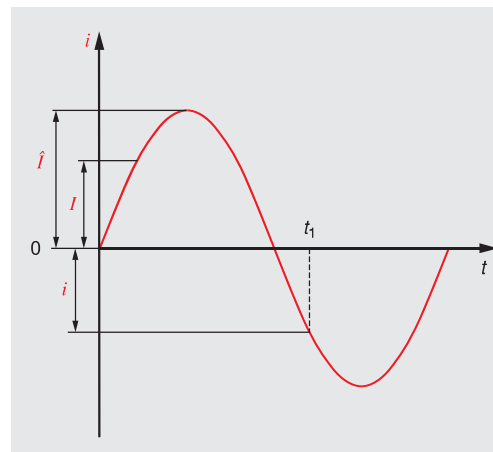
La valeur de crête d'un signal alternatif est la plus grande valeur, positive ou négative atteinte par le signal (courant ou tension) lors d'une période.

Les symboles de la tension de crête et du courant de crête s'écrivent en majuscule avec un accent circonflexe. Par exemple : \hat{U} , \hat{I} .

La tension de crête est déterminante pour l'isolation des appareils et des canalisations.

Remarque

Comme pour tout signal alternatif, la valeur moyenne de ce signal sinusoïdal est nulle. La surface de l'alternance positive est égale à celle de l'alternance négative.



10.3.4 Valeur efficace

La valeur la plus utilisée en courant alternatif sinusoïdal est la valeur efficace.

C'est celle indiquée par les instruments de mesure.

Définition de la grandeur

La valeur efficace d'un courant alternatif est la valeur qui produit la même énergie calorifique qu'un courant continu traversant la même résistance pendant le même temps.

Les symboles de la tension efficace et du courant efficace s'écrivent en majuscule.

Par exemple : U , I .

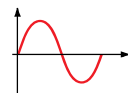
Remarque

En électrotechnique, les signaux alternatifs sont indiqués en valeur efficace. Par conséquent, on donnera aux vecteurs tournants un module correspondant à la valeur efficace du signal. Les sommes vectorielles respecteront cette habitude. La valeur efficace se désigne aussi par les sigles suivants, issus de la définition mathématique :

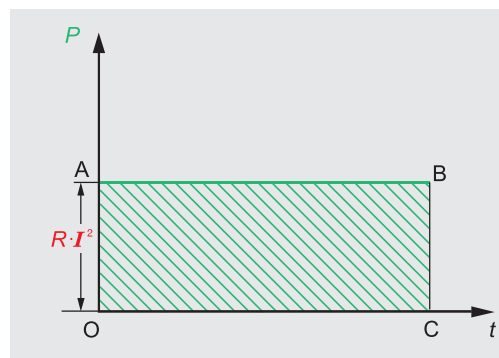
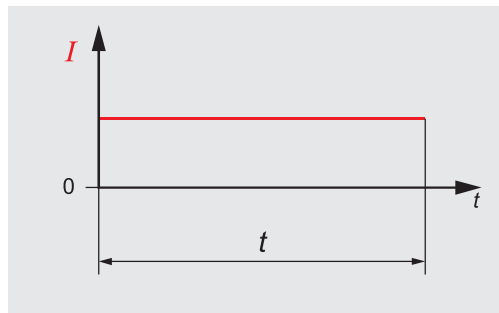
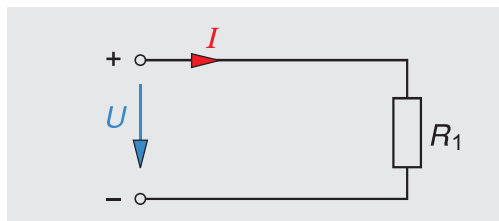
RMS: root mean square: valeur efficace

TRMS: true root mean square: vraie valeur efficace

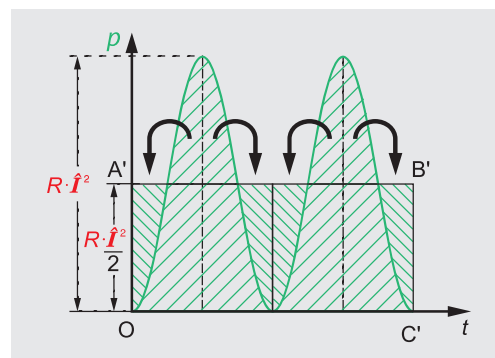
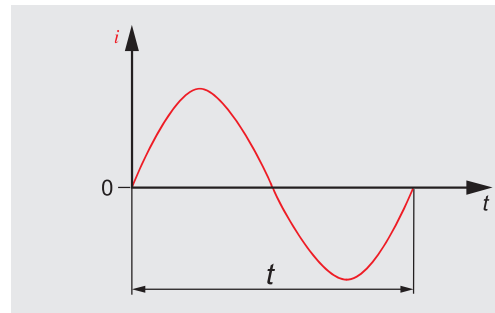
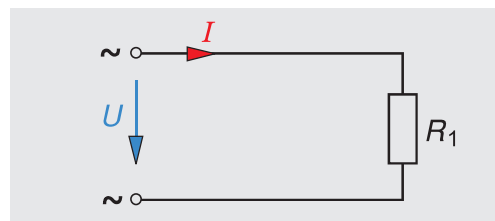
Ces sigles s'utilisent sur les instruments de mesure numériques (chap. 9).



En courant continu



En courant alternatif



Lorsque les surfaces hachurées OABC et OA'B'C' qui représentent l'énergie dégagée dans une même résistance pendant le même temps sont égales, alors l'effet calorifique du courant alternatif est identique à celui du courant continu.

Cette condition est réalisée lorsque :

$$R_1 \cdot I^2 \cdot t = R_1 \cdot \frac{\hat{i}^2}{2} \cdot t$$

$$\text{en simplifiant : } I = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}}$$

Ce rapport est aussi valable pour les tensions.

Sans autre indication, c'est toujours la valeur efficace qui désigne la tension ou le courant. C'est aussi celle qui intervient dans la plupart des calculs.



Formules U tension efficace [V] \hat{U} tension de crête [V] I intensité du courant efficace [A] \hat{I} intensité du courant de crête [A]**Exemple**

Calculer la valeur efficace d'une tension alternative sinusoïdale de valeur de crête 325 V.

$$\text{Tension efficace: } U = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}} = \frac{325}{\sqrt{2}} = \mathbf{230 \text{ V}}$$

$$U = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}$$

$$I = \frac{\hat{I}}{\sqrt{2}}$$

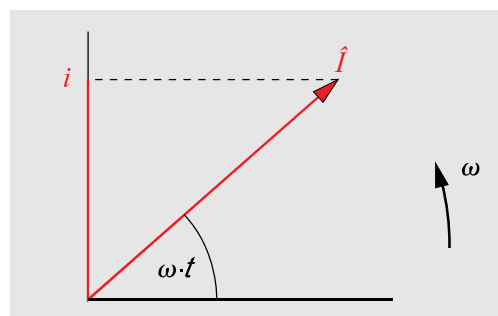
10.3.5 Valeur instantanée**Définition de la grandeur**

La valeur instantanée d'un signal alternatif est la valeur du signal (courant ou tension) à un instant donné.

Les symboles de la tension instantanée et du courant instantané s'écrivent en minuscule.

Par exemple : u , i .

La valeur instantanée peut être déterminée par la lecture sur un graphique représentant le courant ou la tension. Elle peut aussi être calculée. Il faut alors connaître la position du vecteur au temps t , c'est-à-dire l'angle ωt .

**Formules** u tension instantanée [V] \hat{U} tension de crête [V] ω pulsation [$\frac{\text{rad}}{\text{s}}$] t temps [s] i intensité du courant instantané [A] \hat{I} intensité du courant de crête [A]

$$u = \hat{U} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$i = \hat{I} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Ne pas oublier de régler le mode d'angle de la machine à calculer sur radian.

Exemple

Calculer la valeur de la tension instantanée au temps $t = 2 \text{ ms}$ si la valeur de crête de cette tension est de 325 V et la fréquence de 50 Hz.

Position angulaire du vecteur :

$$\omega \cdot t = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,002 = 0,628 \text{ rad}$$

Tension instantanée :

$$u = \hat{U} \cdot \sin(\omega \cdot t) = 325 \cdot \sin 0,628 = \mathbf{191 \text{ V}}$$