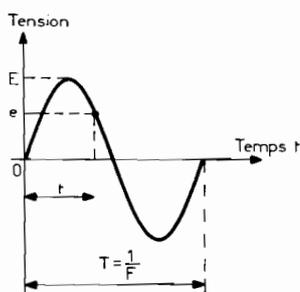


FORMULAIRE D'ELECTRONIQUE

COURANT ALTERNATIF

Tension et courant en alternatif

La valeur instantanée d'une tension alternative est (fig. 1) : $e = E \sin \omega t$



avec :

e = valeur instantanée de la tension (en volts) au temps t

E = valeur maximale de la tension (en volts)

ω = vitesse angulaire (en radians par seconde)

T = temps écoulé depuis le début de la sinusoïde (en secondes)

La formule est semblable pour la valeur instantanée du courant : $i = I \sin \omega t$

avec :

i = valeur instantanée du courant (en ampères) au temps t

I = valeur maximale du courant (en ampères)

Exemple : On a une tension dont la valeur maximale est de 100 V. Sa fréquence est de 50 Hz, quelle est la valeur instantanée à 7 ms, 10 ms et 15 ms ?
Vitesse angulaire : $\omega = 2 \pi F = 2 \pi \times 50 = 314$.

Valeurs instantanées :

a) à 7 millisecondes :

$$e = 100 \sin (314 \times 7 \times 10^{-3}) = 100 \sin 2,198$$
$$= 100 \times 0,8 \approx 81 \text{ V}$$

$$b) \text{ à } 10 \text{ ms : } e = 100 \sin (314 \times 10 \times 10^{-3}) = 0 \text{ V}$$

$$c) \text{ à } 15 \text{ ms : } e = 100 \sin (314 \times 15 \times 10^{-3}) = -100 \text{ V}$$

La relation entre la valeur efficace (RMS) et la valeur maximale de la tension et du courant est :

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{max}}}{\sqrt{2}} \quad \text{ou} \quad V_{\text{max}} \times 0,707$$

$$V_{\text{max}} = V_{\text{eff}} \times \sqrt{2} \quad \text{ou} \quad V_{\text{eff}} \times 1,414$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}} \quad \text{ou} \quad I_{\text{max}} \times 0,707$$

$$I_{\text{max}} = I_{\text{eff}} \times \sqrt{2} \quad \text{ou} \quad I_{\text{eff}} \times 1,414$$

La relation entre la valeur moyenne et la valeur maximale est :

$$V_{\text{moy}} = \frac{2 V_{\text{max}}}{\pi} \quad \text{ou} \quad 0,637 V_{\text{max}}$$

$$I_{\text{moy}} = \frac{2 I_{\text{max}}}{\pi} \quad \text{ou} \quad 0,637 I_{\text{max}}$$

Remarques

1° Les mêmes unités (volt et ampère) expriment la valeur de ces tensions et courants.

2° Ces formules ne sont valables que pour des signaux sinusoïdaux.

3° La valeur d'une tension ou d'un courant lue sur un appareil de mesure est donnée en valeur efficace (RMS).

4° Lorsqu'en alternatif on parle de « volt » ou d'« ampère », sans mentionner max., eff. ou moy., il s'agit de la valeur efficace.

Exemple : Quelles sont les valeurs maximale et moyenne d'une tension alternative de 220 V ?

$$- \text{valeur max.} = 220 \times 1,414 \approx 311 \text{ V}$$

$$- \text{valeur moy.} = 0,637 \times 311 \approx 198 \text{ V}$$

Fréquence et période

La relation entre la fréquence et la période est donnée par les formules :

$$F = \frac{1}{T} \quad \text{et} \quad T = \frac{1}{F}$$

avec : F = fréquence (en hertz)
T = période (en secondes)

Exemples : Si F = 50 Hz, T = 0,02 s ou 20 ms. Si T = 1 μ s, F = 1 MHz.

Vitesse angulaire

La vitesse angulaire ou pulsation ω est définie par le rapport :

$$\omega = \frac{\text{angle de variation}}{\text{temps de variation}}$$

Les formules pratiques sont :

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{ou} \quad \omega = 2\pi F$$

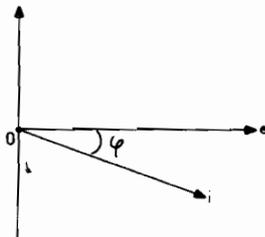
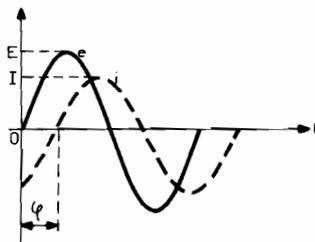
avec : ω = vitesse angulaire (en radians par seconde)
T = période (en secondes)
F = fréquence (en hertz)
 π = 3,1416

Exemple : Un signal de 50 périodes par seconde a une pulsation de $2 \times 3,1416 \times 50 = 314,16$ rd/s.

Déphasage

Dans le cas d'un déphasage, la valeur instantanée est présentée sous la forme : $e = E \sin(\omega t - \varphi)$.

L'angle de déphasage φ pouvant être exprimé en radians, degrés et éventuellement en grades (voir remarque ci-après). E est la valeur maximale.



Sur la figure 2 le déphasage entre la tension et le courant est de $\varphi = 45^\circ$ ou $\pi/4$.

$$e = E \sin \omega t$$

$$i = I \sin(\omega t - 45^\circ) \quad \text{ou} \quad I \sin(\omega t - \pi/4)$$

On reconnaît que e est en avance sur i en se déplaçant sur l'axe des temps à partir de 0 vers la droite : la crête de e apparaît avant celle de i.

Remarque :

La valeur instantanée dans l'exemple ci-dessus peut être connue à l'aide d'une calculatrice :

1° sur la position « RAD » en calculant :

$$i = I \sin(2\pi F t - \pi/4)$$

2° sur la position « DEG » en calculant

$$i = I \sin(360^\circ F t - 45^\circ).$$

Exemple : L'amplitude d'une tension alternative alimentant un circuit est $E = 60$ V. Sa fréquence est 400 Hz. Quelle est la valeur de la tension instantanée 0,7 ms après son passage à zéro ? Quelle est la valeur du courant circulant dans ce circuit au même instant, sachant que $I = 120$ mA et que son déphasage est de $\pi/3$?

Vitesse angulaire :

$$\omega = 2\pi F = 6,28 \times 400 = 2\,512 \text{ rd/s}$$

$$t = 0,7 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$\omega t = 1,758$$

$$e = 60 \sin 1,758 = 58,94 \text{ V}$$

$$i = 120 \sin(1,758 - \pi/3) = 78,33 \text{ mA}$$

Puissance développée par un courant alternatif

La puissance dans une résistance est :

$$P = E_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}} \quad (\text{courant et tension en phase})$$

avec : P = puissance consommée (en watts)
 E_{eff} = valeur efficace de la tension (en volts)
 I_{eff} = valeur efficace du courant (en ampères)

S'il y a un déphasage entre la tension et le courant (circuit inductif et capacitif), la formule devient :

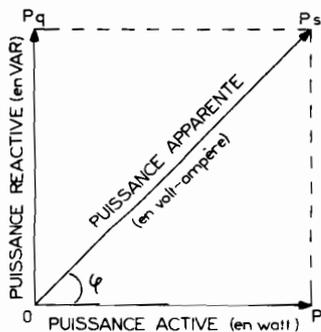
$$P = E_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}} \times \cos \varphi$$

avec P = puissance « active » (en watts) (c'est celle mesurée par un wattmètre)

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \text{facteur de puissance}$$

(R = résistance du circuit, Z = impédance du circuit, valeurs en ohms).

Toujours dans le cas d'un déphasage, on a également (fig. 3) : $P_S = E_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}}$



avec P_S = puissance « apparente » (en volt-ampère) (c'est celle mesurée par un voltmètre et un ampèremètre) ;

$$\text{et : } P_q = E_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}} \times \sin \varphi$$

avec P_q = puissance « réactive » (en volt-ampère-réactif ou VAR).

Ces puissances sont également formulées par :

$$P_S = I^2 Z$$

$$P = I^2 R$$

$$P_q = I^2 X$$

La relation entre les trois étant : $P_S = \sqrt{P^2 + P_q^2}$.

Exemple : La valeur lue sur un wattmètre est de 2 W. On sait que $R = 1\,000 \, \Omega$ et $Z = 1\,414 \, \Omega$. Quelle est la valeur de la puissance apparente et de la puissance réactive ?

$$\text{Valeur de } \cos \varphi = \frac{1\,000}{1\,414} = 0,707$$

On utilise la formule $P = E_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}} \times \cos \varphi$ (où $P = P_S \times \cos \varphi$), d'où l'on tire la valeur de la puissance apparente P_S :

$$P_S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{2}{0,707} = 2,828 \text{ VA}$$

La valeur de la puissance réactive P_q est obtenue en transformant la formule :

$$P_S = \sqrt{P^2 + P_q^2}$$

$$\text{soit : } P_q = \sqrt{P_S^2 - P^2}$$

$$\text{Puissance réactive} = \sqrt{(2,828)^2 - (2)^2} = 2 \text{ VAR}$$

CIRCUITS RESISTIFS EN ALTERNATIF

Effet pelliculaire

Lorsque la fréquence augmente, la propagation du courant s'effectue sur la périphérie du conducteur (fig. 4).

La profondeur de cette couche conductrice est donnée par la formule :

$$d = \frac{6,44}{\sqrt{f}}$$

avec :

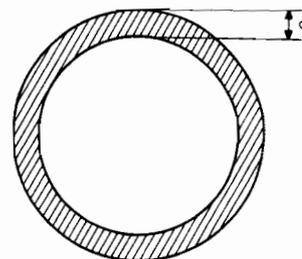
d = profondeur de la couche conductrice (en centimètres)

f = fréquence du courant (en hertz).

Cette formule n'est valable que pour le cuivre.

Exemple : Si $f = 1\,000 \text{ MHz}$, la profondeur d est égale

$$\text{à : } \frac{6,44}{\sqrt{10^9}} = 2 \times 10^{-4} \text{ cm}$$



Résistance d'un conducteur en alternatif

A cause de l'effet pelliculaire, la résistance d'un conducteur, en haute fréquence, est plus élevée que sa résistance en continu.

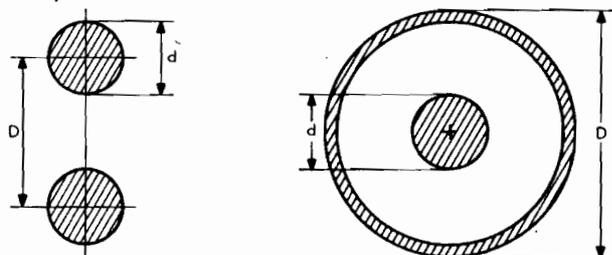
Dans le cas d'un câble bifilaire (fig. 5)

$$R = 16,64 \times 10^{-8} \frac{\sqrt{F}}{d}$$

avec : R = résistance par mètre (en ohms/mètre)

F = fréquence (en hertz)

d = diamètre du conducteur (en mètres)



Exemple : Un câble bifilaire dont $d = 3$ mm transmettant un signal de 500 MHz a une résistance de :

$$16,64 \times 10^{-8} \frac{\sqrt{500 \times 10^6}}{3 \times 10^{-3}} = 1,24$$

Dans le cas d'un câble coaxial (fig. 6)

$$R = 8,32 \times 10^{-8} \sqrt{F} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right)$$

avec : R = résistance par mètre (en ohms/mètre)

F = fréquence (en hertz)

d = diamètre du câble interne (en mètres)

D = diamètre du câble externe (en mètres).

Exemple : Un câble coaxial dont les dimensions sont $d = 4,2$ mm et $D = 15$ mm transmettant un signal de 500 MHz a une résistance de :

$$8,32 \times 10^{-8} \sqrt{500 \times 10^6} \left(\frac{1}{15 \times 10^{-3}} + \frac{1}{4,2 \times 10^{-3}} \right)$$

soit 0,56 Ω /m.

CIRCUITS INDUCTIFS EN ALTERNATIF

Inductance pure

Dans un circuit à courant alternatif, une inductance s'oppose au passage du courant. Cette opposition, analogue à la résistance dans un circuit à courant continu, est appelée réactance inductive.

$$X_L = L \omega$$

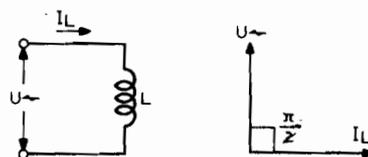
avec :

X_L = réactance inductive (en ohms).

L = inductance de la bobine (en henrys).

$\omega = 2 \pi F$ = pulsation, ou vitesse angulaire, F étant la fréquence du courant alternatif (en hertz).

Si l'inductance est pure, le courant qui la traverse est en retard de 90° par rapport à la phase de la tension appliquée (déphasage de $\pi/2$) (fig. 7).



Exemple : Une bobine de 10 henrys a une réactance de 3 140 Ω à 50 Hz (relation utile à connaître par cœur pour le calcul des réactances selfiques).

Inductance en série avec une résistance

L'opposition est appelée impédance :

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

avec :

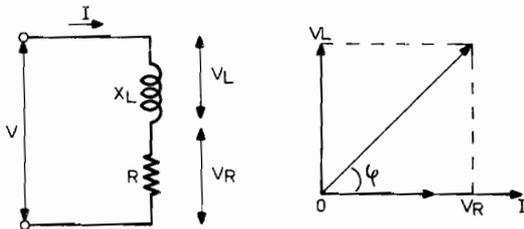
Z = impédance du circuit (en ohms).

R = résistance du circuit (en ohms).

X_L = réactance inductive du circuit (en ohms).

Le déphasage (fig. 8) du courant I par rapport à la tension appliquée U est fonction de la valeur de X_L par rapport à R . Ce déphasage est donné par la formule :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L}{R} \quad \text{ou} \quad \varphi = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{X_L}{R}$$



Attention : φ peut être exprimé en degrés, en radians ou en grades.

1 radian $\approx 57^\circ$

La tension aux bornes de la résistance est : $V_R = RI$.

Celle aux bornes de la bobine est : $V_L = X_L I$.

La valeur du courant I est donnée par la formule :

$$I = \frac{U}{Z} \quad (\text{Loi d'Ohm en alternatif avec } I \text{ en ampères, } U \text{ en volts et } Z \text{ en ohms}).$$

Exemple : Une inductance de 1 H est connectée en série avec une résistance 1 000 Ω .

L'ensemble est placé aux bornes d'une source de courant alternatif (60 V, 50 Hz). Quelle est la valeur des tensions V_L et V_R ainsi que celle du déphasage φ ?

La réactance de 1 H à 50 Hz est 314 Ω . Valeurs de l'impédance du circuit :

$$Z = \sqrt{(1\,000)^2 + (314)^2}, \text{ soit } 1\,048 \Omega.$$

Courant dans le circuit :

$$\frac{60}{1\,048} = 57 \times 10^{-3} \text{ A, soit } 57 \text{ mA}$$

$$\text{Tension } V_R : 1\,000 \times 57 \times 10^{-3} = 57 \text{ V}$$

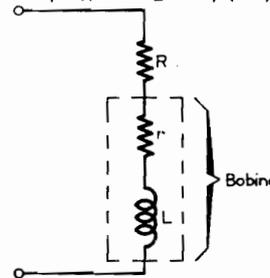
$$\text{Tension } V_L : 314 \times 57 \times 10^{-3} = 17,9 \text{ V}$$

Déphasage :

$$\operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{314}{1\,048} = 0,29 \text{ radian ou } 16,67^\circ$$

En additionnant les tensions V_R et V_L (en quadrature), on retrouve bien la tension de la source :

$$U = \sqrt{V_R^2 + V_L^2} = \sqrt{(57)^2 + (17,9)^2}, \text{ soit } 60 \text{ V.}$$



Remarque : Cas d'une inductance résistive (fig. 9). On ajoute à la résistance R en série avec la bobine la résistance r de celle-ci.

(A suivre) J.-B. P.

BLOC-NOTES

K.F. C'EST GAGNÉ

Le jury du Grand prix K.F. a désigné M. Jean Larribe, de Brest, comme gagnant pour la réalisation d'une mémoire dynamique pour oscilloscope, un travail de haute tenue technique.

M. B. Made, de Peronnas, pour le second prix, avec la présentation d'un analyseur pour signaux vidéo.

M. Minvielle, de Juvisy, pour le troisième prix.

Ces résultats ont été enregistrés par Maître Desagneux, huissier de justice.

Les participants, dont les noms suivent, recevront quant à eux un lot de consolation.

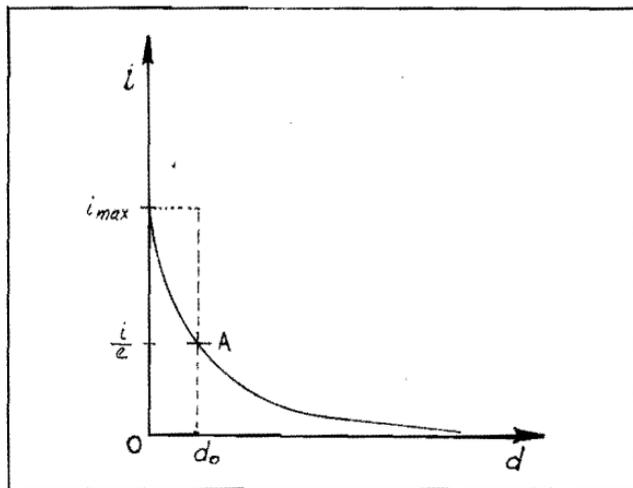
LISTE DES GAGNANTS

Collège de la Morinie, Saint-Omer. – H. Mazelin, Bar-le-Duc. – M. G. Leroy, Grez-en-Bouère. – M. P. Cichocki, Vernouillet. – M. C. Vandenberghe, Saint-Quentin. – M. Deconinck, Sébastien-de-Morsen. – M. Ricchuardi, Gevrey-Chambertin. – M. J.-L. Godard, Angerville. – M. Latainière, Le Luc. – M. A. Barge, Montceau-les-Mines. – M. J. Larribe, Brest (1^{er} prix). – M. Etienne, Compiègne. – M. L. Stéphane, Chasseneuil. – M. R. Trigaux, Serralongue. – M. B. Maden, Perronnas (2^e prix). – M. P. Le Houedec, Issy-les-Moulineaux. – M. G. Lavertu, Rigny. – M. J. Douminge, Limoges. M. C.

Parpillon, La Motte-Servolex. – M. P. Le Queau, Quimper. – M. J. Baillard, Saint-Quentin. – M. P. Toris, Le Touquet. – M. D. Minvielle, Juvisy (3^e prix). – M. E. Leblanc, Chauny. – M. R. Taront, Bertrange. – M. Linardon, Merignac. – M. J.-P. Laurier, Chambles. – M. G. Bouyer, Beaupréau. – M. A. Ducrocq, St-Arnoult. – M. G. Maurial, Ventabren. – M. A. Raynal, Mareillac-Vallon. – M. A. Ruiz, Le Bouscat.

Les revendeurs de composants électroniques, distributeurs des produits K.F. et qui ont délégué les bulletins de participation à ces trois premiers prix sont également associés à la victoire de leur client et recevront une prime de participation.

RECTIFICATIF



Dans notre Formulaire d'électronique, *Haut-Parleur* n° 1730, page 38, nous faisons mention de l'effet pelliculaire qui affecte les conducteurs en haute fréquence. L'interprétation de ce phénomène, tel qu'il fut décrit et chiffré, peut prêter à confusion. En effet, le schéma de coupe du conducteur et la formule donnant la profondeur de la couche conductrice laisse entendre l'existence d'une discontinuité, alors que la conductivité, en fonction de la profondeur, est continue et à décroissance exponentielle. La notion de l'épaisseur d de la couche conductrice résulte de l'appréciation de la

surface de la couronne conductrice équivalente (dans la vue en coupe) selon la méthode suivante :

On représente, sur un graphe, la densité de courant i en fonction de la profondeur d . La surface limitée par les axes et cette courbe détermine une surface égale à celle d'un rectangle dont deux des angles adjacents ont leur position l'un à l'origine et l'autre au point de la courbe correspondant au maximum de densité (pour $d = 0$). L'abscisse de l'intersection du point A , notée d_0 , correspond à la valeur recherchée.