Valeur efficace d'une tension alternative

EN CLASSE DE QUATRIÈME

par R. MOREAU,
Bordeaux.

Une tension alternative v (sinusoïdale, par exemple) est présentée aux élèves grâce à un oscillographe, et ils peuvent constater qu'elle varie entre $-V_{max}$ et $+V_{max}$. Simultanément, un voltmètre approprié « mesure » cette tension et indique une valeur V en général nettement inférieure à V_{max}. (Si l'oscilloscope n'est pas étalonné, on peut lui appliquer une tension continue U = V et constater que U est inférieure à V_{max}).

Il s'agit de faire comprendre aux élèves que ce qu'indique le voltmètre « alternatif », c'est la valeur efficace V de la tension v, en donnant de V, grâce à une étude expérimentale, une définition juste et convaincante.

L'étude expérimentale pourrait se dérouler selon le processus suivant :

Considérons une tension variable périodique v, appliquée à un récepteur R convenablement choisi (récepteur passif, tel que lampe (*), résistance métallique, etc.). Grâce à un voltmètre approprié, on mesure la valeur efficace V de v. Repérons l'effet thermique moyen engendré dans R par l'application de la tension v. Appliquons ensuite au récepteur R une tension continue U, réglable, et ajustons U de manière telle que l'effet thermique que cette tension engendre à son tour dans R soit le même que celui dû à v.

Par définition, alors, U = V :

La valeur efficace V de la tension v, c'est la valeur de la tension continue qui provoque le même effet thermique dans R.

Quel récepteur choisir ? Quelle tension V peut-on lui appliquer ? Comment mesurer ou repérer l'effet thermique ?

Nous allons essayer de répondre à ces questions.

La manipulation doit pouvoir être faite par des élèves, il faut donc que la tension v ne présente pour eux aucun danger : selon le matériel disponible, on peut choisir V = 6 V, 12 V ou 15 V. Cependant, comme l'on doit ajuster l'une des deux tensions pour

(*) Voir note en fin d'article.

qu'elle produise le même effet que l'autre, il vaut mieux partir d'une tension alternative de valeur efficace V voisine de 6 V, par exemple, et, à l'aide d'une tension continue de 12 V et d'un rhéostat, régler la tension continue U aux bornes du récepteur pour qu'elle produise le même effet que la tension alternative v (partie de gauche de la fig. 1). Plusieurs méthodes sont utilisables :

1) Le récepteur est une simple résistance bobinée ; l'effet thermique peut être mesuré directement par une sonde de température associée à un multimètre numérique (exemple sonde Metrix HK 0210, dont le capteur est un thermocouple à bande, de faible inertie thermique, (Ni Cr — Ni), rendant les mesures de température de surface particulièrement faciles à effectuer.

Avantage :

Il s'agit d'une expérience directe.

Inconvénients :

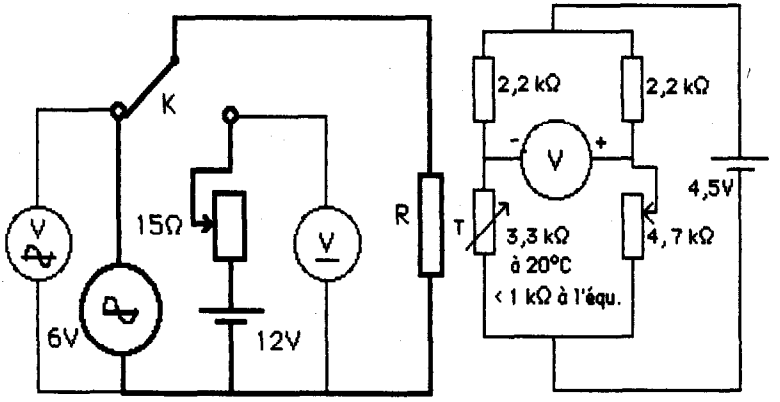
a) Une résistance métallique de 10 Ω (de marque SFERNICE, par exemple), de puissance nominale 10 W, atteint une température voisine de 200 °C lorsqu'elle dissipe effectivement 10 W ; bien que la capacité calorifique de la résistance soit assez faible, cette température peut causer des brûlures à ceux qui manipulent.

b) La température de la résistance n'est pas uniforme (exemple 200 °C au centre, 150 °C aux extrémités), il faut donc bien repérer le point de contact qui sert de point de référence.

c) Les sondes de température de surface sont chères (autour de 1 000 F) et, de ce fait, cette expérience ne peut être une expérience d'élève.

d) L'équilibre thermique est long à s'établir (au moins 5 min) ; si l'on adopte cette méthode, il vaut mieux par conséquent procéder de la manière suivante : partir d'une tension sinusoïdale de valeur efficace V appliquée à la résistance R, mesurer la température ϑ de R en un point M, puis appliquer à R une tension continue U telle que U = V, vérifier alors que la température de R au point M considéré est bien de nouveau ϑ.

2) Le récepteur est une résistance bobinée ; l'effet thermique est mesuré grâce à une thermistance placée tout contre la résistance. On peut mesurer la résistance de la thermistance à l'aide d'un ohmmètre, ou inclure la thermistance dans un pont de Wheatstone déjà monté et mesurer la tension de déséquilibre du pont (fig. 1).



Circuit de chauffage : tension alternative ou continue.

Circuit de mesure de l'effet thermique.

Fig. 1

Avantages :

a) On est encore tout près de la définition directe.

b) Le matériel décrit sur la fig. 1 est assez simple : il faut que l'ensemble soit préalablement monté sur une plaquette et que du côté du repérage de température, les élèves n'aient plus qu'à brancher le voltmètre. La tension détectée croît avec la température θ' de la thermistance (elle peut atteindre 1,6 V), et l'on peut régler la résistance ajustable de 4,7 kΩ pour que cette tension soit nulle à la température ambiante : on la mesure aisément avec un contrôleur CDA de collège.

Inconvénients :

Comme la précédente, cette méthode exige du temps pour que l'équilibre thermique s'établisse, il faut procéder selon la manière décrite précédemment (1 *d*) c'est-à-dire vérifier *a posteriori* la propriété (compter 10 min en tout).

3) Le récepteur est une lampe (6 V ; 2,4 W, par exemple), le détecteur une photorésistance.

Inconvénients :

a) On est moins près de la définition : il faut expliquer que l'effet lumineux est dû à l'effet thermique (ce qui n'est pas difficile).

b) Il faut placer la lampe et la photorésistance, l'une par rapport à l'autre, de manière invariable dans les deux expériences, et neutraliser les variations d'éclairement extérieures au montage (on peut monter la lampe et la photorésistance dans une enceinte fermée ; celle-ci doit être assez grande pour que sa température ne soit pas trop affectée par le fonctionnement de la lampe : la mobilité des porteurs créés dans la photorésistance par le flux lumineux qu'elle reçoit, décroît en effet avec la température et, par conséquent, a éclairement constant — assez intense —, on constate que la résistance de la photorésistance croît avec la température de l'enceinte).

Avantages :

a) Si l'on s'affranchit du problème posé par la température de la photorésistance, la méthode, qui est très rapide, est également très précise.

b) On peut soit mesurer la résistance ϱ de la photorésistance avec un ohmmètre numérique ou analogique, soit incorporer celle-ci dans un pont, comme c'était le cas de la thermistance dans la fig. 1.

En choisissant bien la photorésistance et en réglant le flux lumineux qu'elle reçoit, on peut égaler la valeur efficace V de la tension alternative d'une part et la valeur U de la tension continue d'autre part, à 10^{-2} près, c'est-à-dire trouver moins d'un dixième de volt de différence, sur 6 V, entre V et U (si, par exemple on dispose d'un ohmmètre à 2 000 points, il faut que la résistance ϱ de la photorésistance éclairée soit comprise entre 100 Ω et 1 kΩ, de manière à ce que sa mesure s'exprime par 3 chiffres significatifs, mais même l'ohmmètre analogique d'un multimètre CDA conduit à une bonne précision).

4) Le récepteur est une lampe, le détecteur une photopile (par exemple une « cellule solaire ») alimentant directement un ampèremètre.

Avantages :

a) Comme précédemment, l'avantage essentiel est la rapidité.

b) Le matériel est simple, motivant ; les grandeurs sont faciles à appréhender : on mesure l'intensité d'un courant, qui est une grandeur connue.

c) La méthode est précise.

Inconvénients :

a) La photopile est fragile ; il faut la monter sur un support.

b) Là encore, il faut s'affranchir des variations extérieures d'éclairement.

c) Comme précédemment, on est un peu loin de la définition.

5) Deux récepteurs : 2 lampes « identiques », le détecteur est l'œil : on compare les éclairements des deux lampes aussi identiques que possible ; à l'une on applique une tension sinusoïdale, à l'autre, une tension continue. En principe, lorsque les intensités lumineuses des deux lampes sont égales, la valeur efficace V de la tension sinusoïdale appliquée à l'une est égale à la tension continue appliquée à l'autre. (Il faut pour cela que V et U soient plus faibles que la tension nominale des lampes, de manière à éviter l'éblouissement de l'opérateur qui compare les éclairements).

Pour que la méthode soit irréprochable, il faudrait vérifier l'hypothèse selon laquelle les lampes sont identiques : en leur appliquant la même tension continue, elles doivent produire le même effet lumineux sur un même photorécepteur : on est donc ramené à l'une des méthodes précédentes et cette méthode n'offre dès lors plus d'intérêt. On peut cependant se contenter de vérifier que les lampes ont des caractéristiques électriques voisines (en leur appliquant une même tension continue, elles doivent être parcourues par des courants d'intensités proches), cela est assez rapide ; si, enfin on accepte de ne voir dans cette méthode qu'une vérification approximative de la propriété étudiée, on peut admettre cette hypothèse *a priori.*

Avantages :

a) La méthode est ainsi très rapide et facile à mettre en œuvre.

b) Si les lampes sont suffisamment « sous-voltées », l'œil est assez sensible à la différence des luminances des deux filaments, et si, de plus, l'on a vérifié l'identité « électrique » des deux lampes, alors la méthode est assez précise : l'erreur typique que l'on commet est par exemple de 3 % de V.

Inconvénients :

a) On est encore plus loin de la définition.

Note complémentaire à propos des trois dernières méthodes.

Le fait d'utiliser une lampe comme récepteur, entache ces méthodes d'une erreur de principe sur le plan théorique. En effet, au cours d'une demi-période de la tension $v(t)$ appliquée, la température du filament incandescent de la lampe varie quelque peu et, en conséquence, sa résistance $R(t)$ varie également. L'effet lumineux instantané dépend de la température $\vartheta(t)$ instantanée du filament, elle-même liée à la puissance $p(t)$ instantanée : $p(t) = v^2(t)/R(t)$.

Il est certain que pour de fortes variations de température, l'effet lumineux moyen ne dépend pas uniquement de la valeur efficace V de $v(t)$. Il faut aussi prendre en considération la forme de $v(t)$.

Mais, lorsque $v(t)$ est sinusoïdale et de fréquence 50 Hz, $R(t)$ varie très peu (voir l'excellent article de Marc CHAPELET dans le B.U.P. n° 702 de mars 1988, pages 359 à 366) : la puissance lumineuse émise par la plupart des lampes basse tension à filament de tungstène varie alors de 5 à 6 % autour de sa valeur moyenne, comme on peut le voir en observant à l'oscilloscope l'intensité générée par une cellule au Silicium éclairée par une telle lampe. Par conséquent, la variation de la résistance du filament est de l'ordre de 1 %. L'expérience prouve que l'incidence de cette variation sur la détermination de V est, elle, inférieure à 1 %.