



THEORIE

COURS DE BASE
ELECTRONIQUE

1 - TENSION ALTERNATIVE

Nous avons vu dans la leçon précédente comment on représente graphiquement un courant alternatif, et quelles sont les grandeurs qu'il faut utiliser pour caractériser ce courant ; nous allons maintenant étudier les mêmes problèmes pour la tension alternative.

Pour déterminer la forme de la tension alternative, nous devons nous rappeler que cette tension est liée par la loi d'*Ohm* au courant qui parcourt la résistance ; comme nous connaissons déjà la forme du courant alternatif, il nous est facile de chercher la progression de la tension qui détermine le passage de ce courant dans la résistance.

Voyons, par exemple, comment on peut représenter graphiquement la tension alternative qui fait circuler le courant alternatif dans un circuit comprenant une résistance de 5Ω (*figure 1 - a*).

Nous observons d'abord qu'au début de la période (0 sec), à la moitié (0,1 sec), et la fin de cette période (0,2 sec), le courant est nul : si à ces instants, le courant ne circule pas dans le circuit, cela signifie que la tension fournie par le générateur est également nulle.

Quand, au contraire, le courant atteint la valeur maximum I_{\max} après 0,05 sec, et $-I_{\max}$ après 0,15 sec, la tension atteint aussi à ces instants la valeur maximum correspondante V_{\max} et $-V_{\max}$.

Puisque la valeur maximum du courant est de trois ampères, il faut pour faire passer ce courant dans une résistance de cinq ohms, une tension qui, d'après la loi d'*Ohm*, est donnée par le produit de la résistance par le courant : la valeur maximum de la tension est donc de $5 \times 3 = 15 \text{ V}$.

De même, nous pouvons obtenir la valeur de la tension en un autre instant quelconque, en multipliant la résistance par la valeur prise par le courant en cet instant.

Les valeurs ainsi obtenues sont reportées sur le diagramme de la *figure 1 - b* ; sur l'axe horizontal de ce diagramme sont indiqués les temps de la même manière que pour le courant, c'est-à-dire que chaque cm correspond à 0,025 sec.

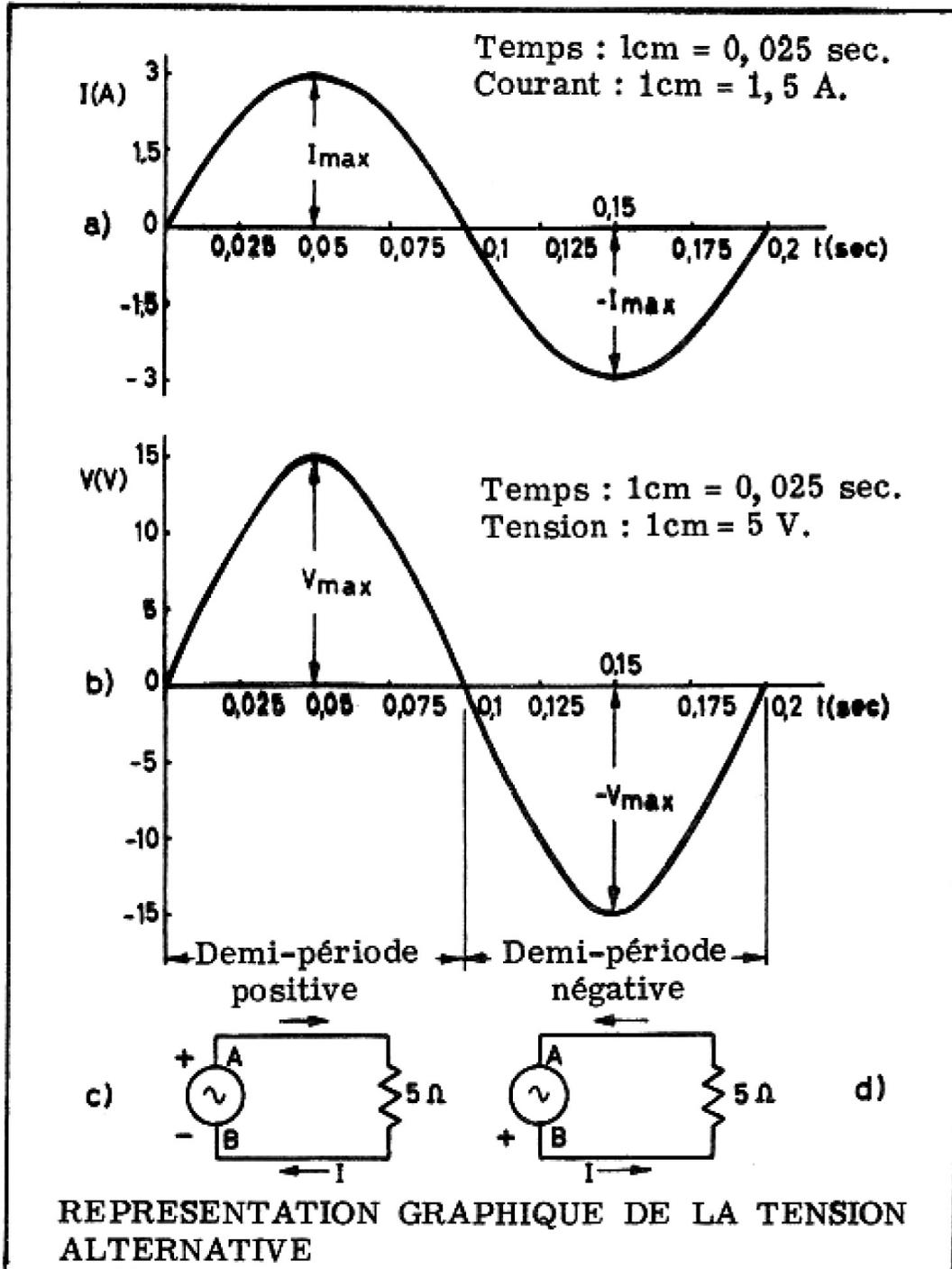


Figure 1

THEORIE 9

3

Sur l'axe vertical du diagramme sont maintenant indiquées les tensions (V) exprimées en volt (V) ; 1 cm correspond à 5 V, comme l'indique l'inscription "1 cm = 5 V" reportée en haut et à droite.

Comme la valeur I_{\max} du courant est atteinte au bout de 0,05 sec, la valeur V_{\max} de la tension correspond à ce même moment ; on procède aussi de la même façon pour la valeur $-I_{\max}$, mais puisque cette valeur se trouve sous l'axe horizontal, la valeur correspondante de la tension $-V_{\max}$ est également sous cet axe.

Si l'on reporte de la même façon les autres valeurs de la tension, par exemple celles prises au bout de 0,025 sec, 0,075 sec, 0,125 sec et 0,175 sec, on obtient un certain nombre de points qui permettent de tracer la ligne de la *figure 1 - b* en les unissant ; cette ligne indique la forme de la tension alternative. Comme on pouvait s'y attendre, cette ligne est aussi une sinusoïde, et nous pouvons donc dire que *la tension alternative a, elle aussi, une forme sinusoïdale.*

Comme nous l'avons déjà fait pour le courant, nous pouvons donc considérer la tension alternative comme une succession de cycles tous identiques, dans chacun desquels se répètent toujours les mêmes valeurs.

Le temps que met la tension pour accomplir un cycle est appelé *période de la tension alternative* et il se divise lui aussi en deux demi-périodes égales, l'une positive et l'autre négative ; dans la première les valeurs de la tension sont indiquées par des nombres positifs, tandis que dans la deuxième les mêmes valeurs sont indiquées par des nombres négatifs.

Ce fait sert à nous rappeler l'inversion des polarités du générateur à chaque demi-période ; sur la *figure 1 - b* les valeurs des tensions fournies par le générateur sont indiquées par des nombres positifs quand celui-ci a ses polarités comme sur la *figure 1 - c*, tandis que les valeurs des tensions sont indiquées par des nombres négatifs quand le générateur intervertit ses polarités comme sur la *figure 1 - d*.

Notons que, après avoir désigné par A et B les pôles du générateur, on a considéré que le courant positif était celui qui sortait du pôle A du générateur, comme sur la *figure 1 - c*, et que le courant négatif était au contraire, celui qui entrait dans le générateur par le pôle A, comme sur la *figure 1 - d*. On a de même considéré que la tension était positive ou négative quand le pôle du générateur désigné par A était positif, comme sur la *figure 1 - c*, ou négatif, comme sur la *figure 1 - d*.

Il faut se rappeler ce procédé car il sera encore utilisé dans cette leçon

Nous constatons maintenant que la tension alternative doit avoir évidemment la même période que le courant, comme on le vérifie d'ailleurs immédiatement en comparant les *figure 1 - b* et *1 - a* : le courant et la tension accomplissent le même cycle en une seconde et ils ont donc la même fréquence.

Pour caractériser une tension alternative, nous devons indiquer donc, non seulement sa période et sa fréquence, mais également sa valeur : comme pour le courant, *on indique la valeur efficace, que l'on obtient en divisant par 1,41 la valeur maximum pour la tension alternative.*

Quand nous disons, par exemple, que la tension de réseau disponible dans nos habitations a une valeur de 125 V ou bien de 220 V, nous nous référons à la valeur efficace de cette tension ; la tension indiquée sur les appareils électriques qui fonctionnent au courant alternatif est la valeur efficace de la tension avec laquelle on peut alimenter ces appareils.

La valeur efficace d'une tension alternative doit être considérée comme la valeur que devrait avoir une tension continue pour faire circuler un courant produisant la même quantité de chaleur que celle que le courant alternatif produit dans le même temps.

De cette façon, on établit une équivalence entre la tension alternative et la tension continue, en ce qui concerne la chaleur produite par les courants mis en circulation par ces tensions.

Dans la pratique ceci signifie, par exemple, qu'un fer à souder prévu pour une tension de 220 V peut être alimenté soit par une tension alternative qui a une valeur efficace de 220 V, soit par une tension continue de 220 V. Dans les deux cas, le fer à souder produit la même quantité de chaleur car la tension alternative fait circuler dans sa résistance un courant dont la valeur efficace est égale à celle du courant que fait circuler la tension continue.

Le courant continu qui circule dans le fer à souder peut être obtenu, selon la loi d'*Ohm*, en divisant la tension continue par la résistance du fer à souder ; de la même façon, si l'on divise la valeur efficace de la tension alternative appliquée au fer à souder par la résistance de celui-ci, on peut obtenir la valeur efficace du courant qui alimente ce fer.

Nous voyons donc qu'*avec les valeurs efficaces nous pouvons effectuer les calculs relatifs au courant alternatif comme s'il s'agissait d'un courant*

continu, non seulement en ce qui concerne la chaleur produite par le courant, mais aussi pour l'emploi de la loi d'Ohm.

Mais il faut bien se rappeler que *l'équivalence entre le courant alternatif et le courant continu n'est valable qu'en ce qui concerne l'effet thermique* : ceci signifie que nous ne pouvons considérer le courant alternatif comme un courant continu que dans les circuits formés exclusivement d'éléments qui, comme les résistances dissipent de l'énergie électrique en la transformant en chaleur.

Dans les leçons précédentes, nous avons étudié d'autres éléments, tels les condensateurs et les bobines, qui ne dissipent pas l'énergie électrique mais l'emmagasinent en créant un champ électrique ou magnétique.

Pour les condensateurs et les bobines, l'équivalence entre le courant alternatif et le courant continu n'est plus valable, puisque ces éléments ne donnent pas lieu à la production de chaleur, qui est justement le phénomène qui a permis d'établir cette équivalence entre les deux types de courant dans le cas des résistances.

Par exemple, tandis qu'une tension continue de 220 V et une tension alternative de la même valeur efficace de 220 V sont équivalentes, car elles font circuler dans une résistance des courants qui produisent le même effet thermique, les mêmes tensions ne sont plus équivalentes dans le cas d'une bobine car elles y font circuler des courants qui produisent un effet magnétique différent.

Cependant, *dans le cas des circuits qui comprennent des condensateurs ou des bobines, on indique également la valeur efficace de la tension et du courant, mais toujours en référence à l'effet thermique* : quand on dit, par exemple, qu'une bobine est parcourue par un courant alternatif d'une valeur efficace de 2 A, on indique un courant alternatif qui produirait, s'il traversait une résistance, la même quantité de chaleur que celle produite par un courant continu de 2 A.

Nous devons donc nous rappeler que, *pour la tension et le courant alternatif, on indique toujours la valeur efficace*, même quand il s'agit de circuits dans lesquels aucun effet thermique ne se produit.

Notons maintenant que, comme nous l'avons vu précédemment la résistance offerte par une "résistance" au courant alternatif s'obtient en divisant la valeur efficace de la tension par la valeur efficace du courant, de

même que dans un courant continu la même résistance s'obtient en divisant la tension par le courant.

Ceci signifie que "*les résistances*" ont le même comportement en courant continu qu'en courant alternatif, car elles offrent au passage de ces deux courants une résistance qui est donnée dans chaque cas par la tension divisée par le courant.

2 - REACTANCE ELECTRIQUE

Les circuits étudiés jusqu'à maintenant sont appelés *OHMIQUES*, car ils comprennent uniquement des résistances alimentées par un générateur.

Au contraire, nous nous occuperons maintenant en premier lieu des circuits qui comprennent exclusivement des condensateurs alimentés par un générateur, circuits qui sont donc appelés *CAPACITIFS*, car ils présentent une capacité déterminée. Nous étudierons ensuite les circuits *INDUCTIFS*, c'est-à-dire les circuits qui présentent une inductance déterminée, et sont constitués par un générateur qui alimente exclusivement des bobines.

Les circuits capacitifs et les circuits inductifs sont aussi appelés *réactifs*, pour une raison que nous verrons plus tard.

2 - 1 - CIRCUITS CAPACITIFS

Sur la *figure 2* est représenté le type le plus simple de circuit capacitif il comprend un seul condensateur auquel on peut appliquer une tension continue (*figure 2 - a*) ou alternative (*figure 2 - b*). L'étude de ce circuit est suffisante car, même s'il y avait plusieurs condensateurs, il suffirait de les remplacer par un seul condensateur, dont on peut déterminer la capacité en appliquant les formules de calcul de la capacité totale de plusieurs condensateurs en série ou en parallèle déjà exposées dans les leçons précédentes.

Nous savons que, dans le circuit de la *figure 2 - a* ne circule que le

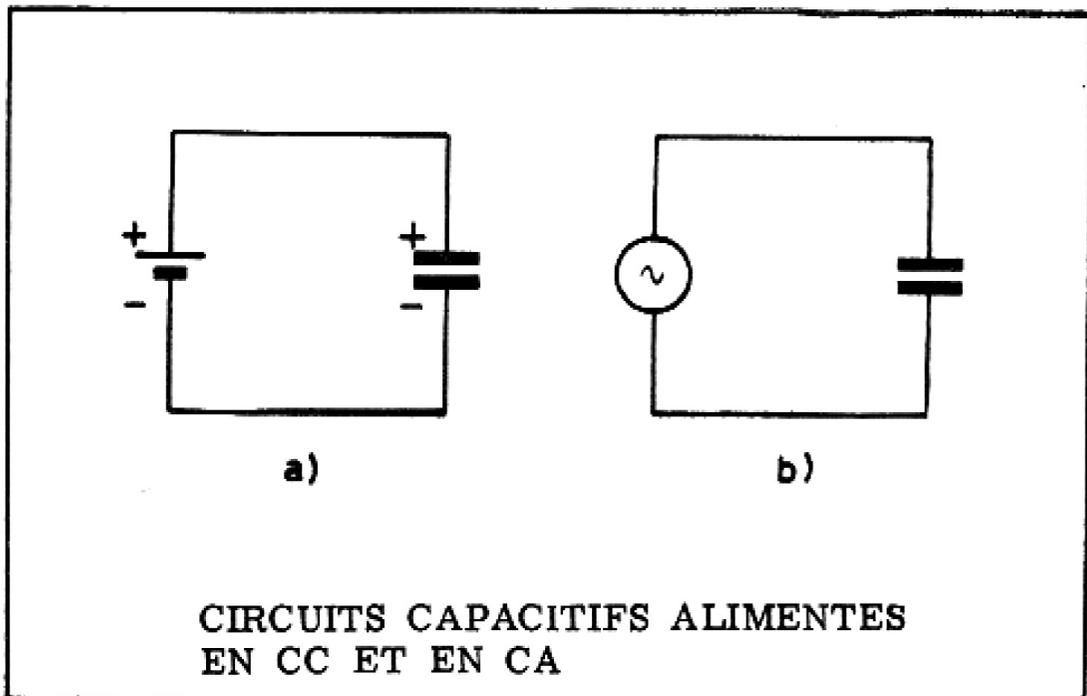


Figure 2

courant nécessaire pour charger le condensateur dès que cet élément est relié à la pile, et que, dans ce même circuit, toute circulation du courant cesse lorsque le condensateur s'est chargé à la même tension que celle de la pile : nous pouvons donc dire qu'un condensateur empêche le passage du courant continu.

On obtient de nouveau un courant dans le circuit quand on enlève la pile et qu'on la remplace par une résistance, dans laquelle passe alors le courant de décharge du condensateur.

On voit donc que, dans un circuit capacitif, on n'a une circulation du courant que lorsque la tension appliquée aux armatures du condensateur varie : en effet, quand le condensateur est relié à la pile, et que la tension entre ses armatures augmente donc de la valeur zéro à la valeur fournie par la pile, on a dans le circuit un courant de charge, tandis qu'on a un courant de décharge quand la tension qui existe entre les armatures du condensateur diminue jusqu'à s'annuler.

On comprend donc pourquoi, si l'on applique une tension variable

sinusoïdale, comme celle que fournit le générateur de la *figure 2 - b*, il circulera en chaque instant dans le circuit un courant dû aux charges et décharges successives du condensateur.

Puisque les armatures du condensateur sont directement reliées aux pôles du générateur, il devra y avoir entre elles à chaque instant, la même tension que celle fournie par le générateur.

Par conséquent, lorsqu'on augmente la tension fournie par le générateur, le condensateur se charge de façon à ce qu'entre ses armatures il y ait à chaque instant une tension égale à celle que le générateur fait augmenter peu à peu : dans le circuit circule donc le courant de charge du condensateur.

Quand, au contraire, la tension fournie par le générateur diminue, le condensateur se décharge de façon à ce que, dans ce cas également il y ait à chaque instant entre les deux armatures une tension égale à celle du générateur qui diminue peu à peu : dans le circuit circule maintenant le courant de décharge du condensateur.

Il est ainsi démontré que le circuit capacitif est parcouru par le courant de charge quand la tension augmente, tandis qu'il est parcouru par le courant de décharge quand la tension diminue. Voyons maintenant quelle forme a le courant, si l'on suppose que le générateur applique au condensateur la tension alternative représentée par le graphique de la *figure 3 - c*, où sont indiquées par un trait fort les parties de la sinusoïde qui correspondent à l'augmentation de la tension, pour les distinguer des parties qui correspondent à la diminution de cette tension.

On pourrait démontrer que, si la tension est sinusoïdale, le courant est aussi sinusoïdal, comme nous l'avons déjà vu dans le cas des résistances ; mais, pour les condensateurs, la sinusoïde qui représente le courant est déplacée par rapport à celle qui représente la tension, comme nous allons le voir.

On déduit de la *figure 3 - c* que, pendant le temps compris entre 0 sec et 0,05 sec, la tension est positive et augmente en passant de la valeur de 0 V à la valeur maximum de 20 V. Pendant ce temps, le condensateur se charge donc grâce à un courant dirigé de l'armature reliée au pôle négatif du générateur vers l'armature reliée au pôle positif, comme l'indiquent les flèches de la *figure 3 - a*.

Pendant le temps compris entre 0,05 sec et 0,1 sec, la tension est encore positive mais elle diminue, en passant de la valeur maximum à la valeur

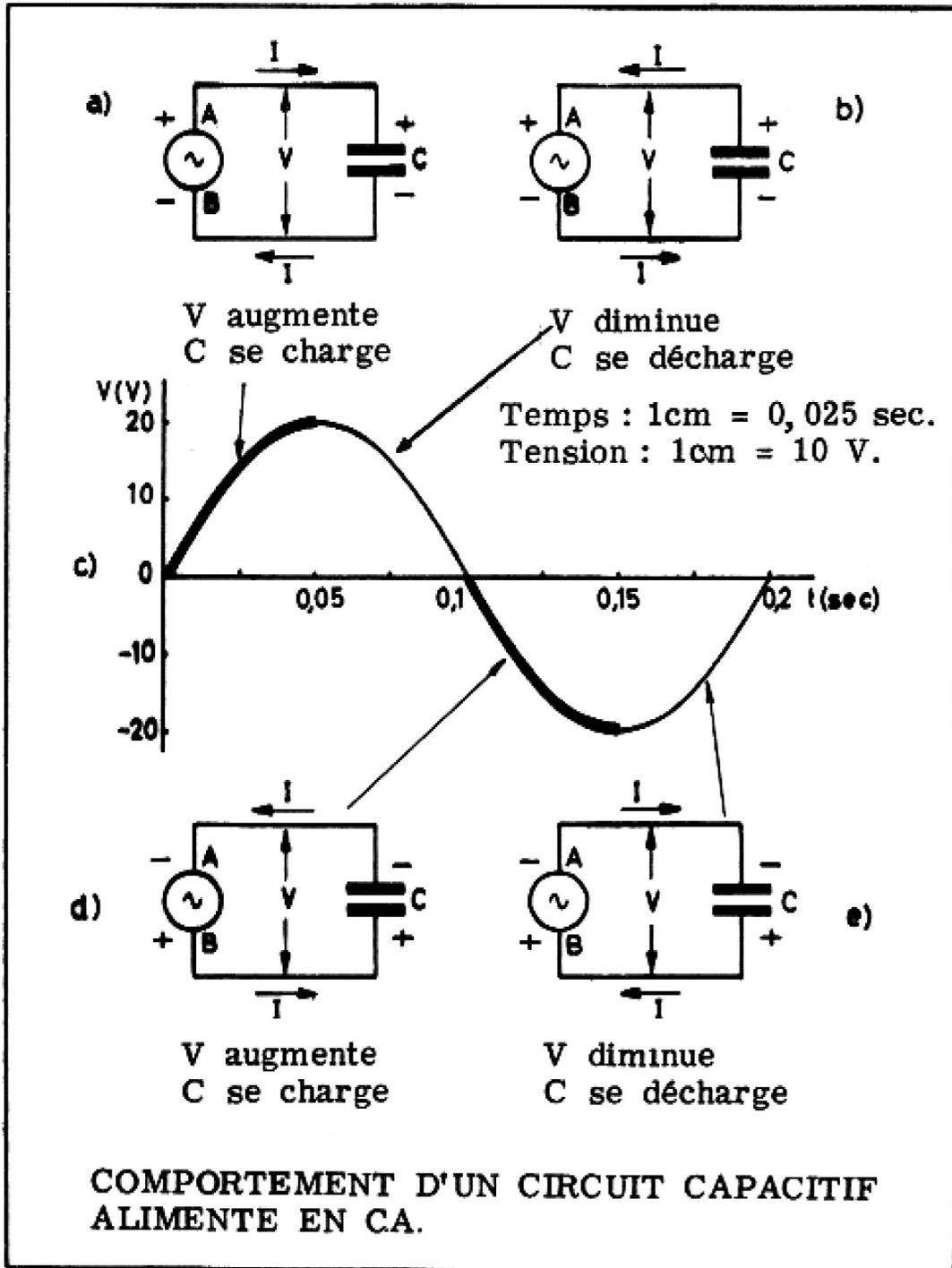


Figure 3

zéro. Par conséquent, le condensateur se décharge grâce au courant qui doit circuler dans le sens contraire de celui du précédent, c'est-à-dire comme l'indiquent les flèches de la *figure 3 - b*, car toutes les charges qui étaient passées d'une armature à l'autre durant la charge précédente doivent rebrousser chemin durant la décharge, de manière à ce qu'entre les armatures, il n'y ait plus aucune tension au temps de 0,1 sec, quand la tension du générateur s'annule elle aussi.

Après 0,1 sec, la tension est de nouveau nulle et le générateur invertit ses polarités ; c'est pourquoi dans le temps compris entre 0,1 sec et 0,15 sec la tension est négative et augmente en passant de la valeur zéro à la valeur maximum négative.

Par conséquent le condensateur se recharge grâce au courant qui est dirigé, dans ce cas également, de l'armature reliée au pôle négatif du générateur vers l'armature reliée au pôle positif, comme l'indiquent les flèches de la *figure 3 - d*. Puisque le générateur a changé ses polarités, ce courant circule dans le sens contraire de celui de la charge précédente (*figure 3 - a*).

Après avoir atteint la valeur maximum négative, la tension rediminue jusqu'à s'annuler, dans le temps compris entre 0,15 sec et 0,2 sec.

Pendant ce temps, on a de nouveau la décharge du condensateur grâce au courant dirigé, dans ce cas également, en sens contraire au précédent courant de charge, comme le montrent les flèches de la *figure 3 - e*. Toujours à cause de l'inversion des polarités du générateur, ce courant circule aussi dans le sens contraire de celui de la décharge précédente (*figure 3 - b*).

Pour représenter graphiquement la forme du courant qui circule dans le circuit capacitif, nous observons avant tout que ce courant doit s'annuler aux instants auxquels correspond l'inversion de son sens de circulation : étudions donc la *figure 3* pour voir quand ceci se produit.

Tant que la tension est positive et qu'elle augmente (entre 0 sec et 0,05 sec), le courant circule dans le sens indiqué sur la *figure 3 - a*, tandis que lorsque la tension, encore positive, diminue (entre 0,05 sec et 0,1 sec), le courant circule en sens contraire, comme on le voit sur la *figure 3 - b*. Il est évident que le courant change son sens de circulation et donc qu'il s'annule quand la tension cesse d'augmenter et qu'elle est prête à diminuer, c'est-à-dire quand elle atteint sa valeur maximum, ce qui correspond au temps de 0,05 sec.

On peut répéter le même raisonnement pour la demi-période négative de la tension ; en se référant à la *figure 3 - d* et à la *figure 3 - e* on s'aperçoit que le courant s'annule quand la tension atteint la valeur maximum négative, c'est-à-dire celle qui correspond au temps de 0,15 sec.

Nous savons ainsi que la sinusoïde qui représente la forme du courant doit couper l'axe horizontal aux temps de 0,05 sec et de 0,15 sec ; mais pour tracer cette sinusoïde nous devons encore voir ce qui se passe quand les valeurs du courant différentes de zéro sont positives ou négatives, pour savoir si nous devons les reporter au-dessus ou au-dessous de l'axe horizontal.

Pour ceci, rappelons-nous que précédemment, pour les résistances, nous avons déjà décidé de considérer le courant positif quand il sortait du pôle du générateur désigné par la lettre A, et négatif, quand au contraire il entrait par ce même pôle.

Si nous nous en tenons à cette convention, nous constatons qu'entre 0 sec et 0,05 sec le courant est positif car il sort du pôle désigné par A, comme sur la *figure 3 - a* ; au contraire, entre 0,05 sec et 0,1 sec, comme entre 0,1 sec et 0,15 sec, le courant est négatif car il entre par le pôle A, comme sur les *figures 3 - b* et *3 - d* ; enfin, entre 0,15 sec et 0,2 sec, le courant est de nouveau positif car il sort par le pôle A, comme sur la *figure 3 - e*.

Donc, si l'on trace la sinusoïde au-dessus de l'axe horizontal quand le courant est positif, et au-dessous de cet axe quand il est négatif, et si l'on tient également compte du fait que ce courant est nul pour les temps de 0,15 sec et de 0,05 sec, on obtient la courbe de la *figure 4*, qui représente la forme du courant circulant dans le circuit capacitif, dans le cas où ce courant a la valeur maximum de 1,5 A.

Il apparaît aussitôt évident que cette courbe est différente des sinusoïdes étudiées jusqu'ici, par exemple de celle de la *figure 3 - c*, qui repré-

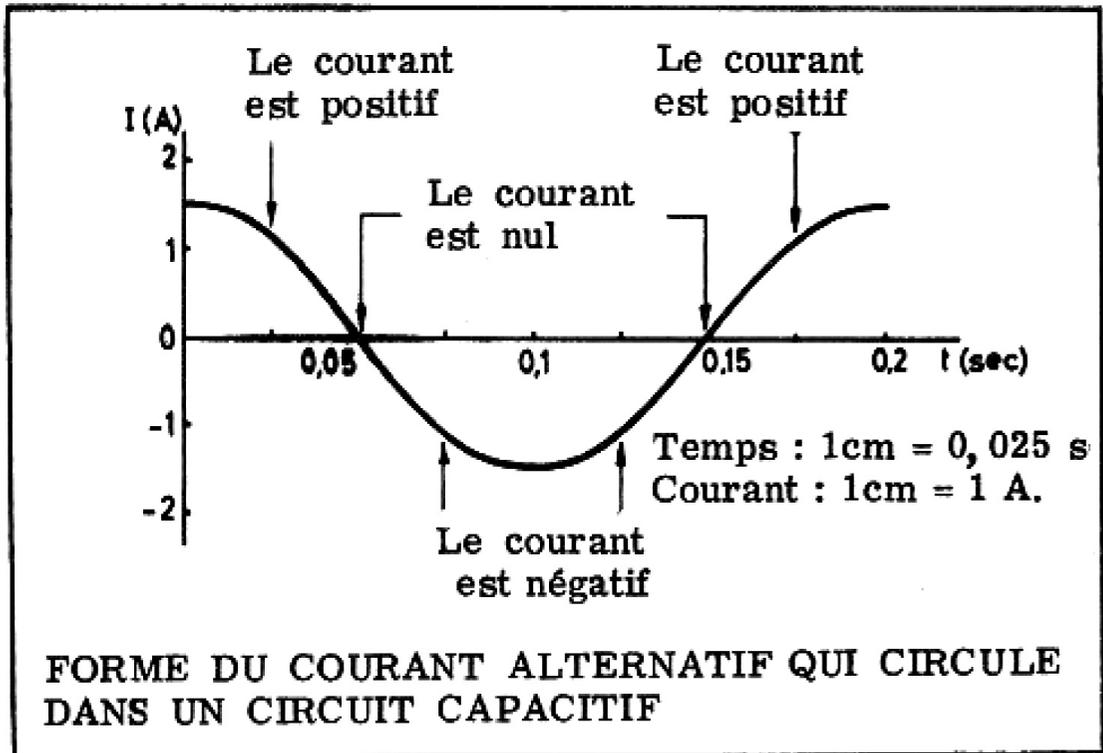


Figure 4

sente la forme de la tension : ceci est dû au fait déjà souligné précédemment, que la sinusoïde représentant le courant est déplacée par rapport à celle qui représente la tension, à la différence de ce qui se produit dans le cas d'une résistance.

Pour voir clairement en quoi consiste cette différence, référons-nous à la *figure 5*. Sur la *figure 5 - a* est représentée la tension alternative ; ses deux cycles sont représentés par deux sinusoïdes, la deuxième étant dessinée en trait fort pour la distinguer nettement de la première.

Sur la *figure 5 - b* on voit au contraire la forme du courant que la tension dont on vient de parler fait circuler dans une résistance : on voit clairement qu'à chaque sinusoïde représentant un cycle de la tension correspond une sinusoïde analogue représentant un cycle de courant.

Ceci signifie que, dans le cas d'une résistance, la tension et le courant varient en concordance, c'est-à-dire qu'ils atteignent les valeurs maxima et les

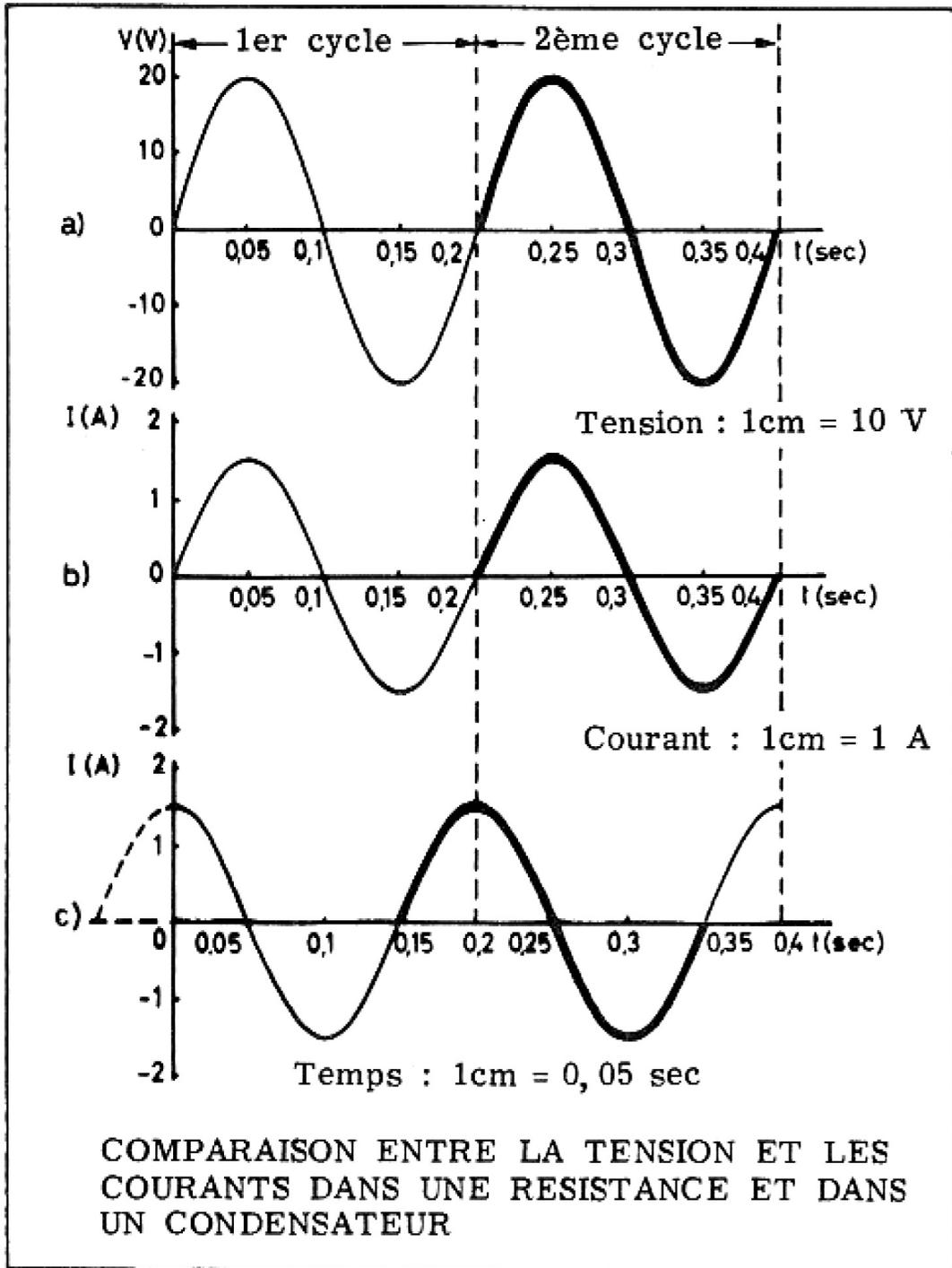


Figure 5

valeurs nulles aux mêmes instants : on dit donc que *pour une résistance la tension et le courant sont en PHASE*.

Etudions enfin la *figure 5 - c*, sur laquelle est représentée la forme du courant que la même tension que celle de la *figure 5 - a* fait circuler dans un circuit capacitif ; nous observons tout d'abord que, dans chacun des deux cycles, la même courbe déjà vue sur la *figure 4* se répète.

Ensuite nous observons que sur la *figure 5 - c*, on trouve aussi la sinusoïde dessinée en trait fort, analogue à celle des deux figures supérieures ; ce qui signifie que dans le circuit capacitif le courant a aussi une forme sinusoïdale, comme on l'a déjà dit plus haut.

Dans ce cas, pourtant, la sinusoïde est déplacée vers la gauche d'un quart de période : en effet, tandis que les sinusoïdes en trait fort des *figures 5 - a* et *5 - b* commencent à 0,2 sec et se terminent à 0,4 sec, la sinusoïde en trait fort de la *figure 5 - c* commence à 0,15 sec et se termine à 0,35 sec, c'est-à-dire avant les autres ; puisque la période est de 0,2 sec, le temps de 0,05 sec correspond bien à un quart de période ($0,2 : 4 = 0,05$).

Par suite du déplacement vers la gauche, la sinusoïde dessinée en trait plus fin est incomplète ; il manque la partie tracée en pointillés à gauche de l'axe vertical.

Nous voyons donc que, dans un circuit capacitif, le courant a la même forme que la tension, mais que chaque variation de celui-ci se produit un quart de période avant la variation identique de la tension ; les valeurs maxima et les valeurs nulles sont donc atteintes par le courant avec une avance d'un quart de période par rapport à la tension.

A la différence de ce qui se produit pour les résistances, le courant et la tension ne sont plus en phase, et l'on dit donc qu'entre ces deux grandeurs il existe un *DEPHASAGE*.

Puisque le courant est en avance d'un quart de période par rapport à la tension, nous pouvons dire aussi que, *dans un circuit capacitif, le courant est DEPHASE EN AVANCE d'un quart de période par rapport à la tension*.

Il ressort de tout ceci qu'il est intéressant de connaître non seulement la forme de la tension et du courant alternatif, mais aussi le déphasage qui existe entre ces grandeurs ; c'est pourquoi, en plus de la représentation graphique, on utilise aussi un autre type de représentation qui permet de voir immédiatement le déphasage entre les grandeurs alternatives.

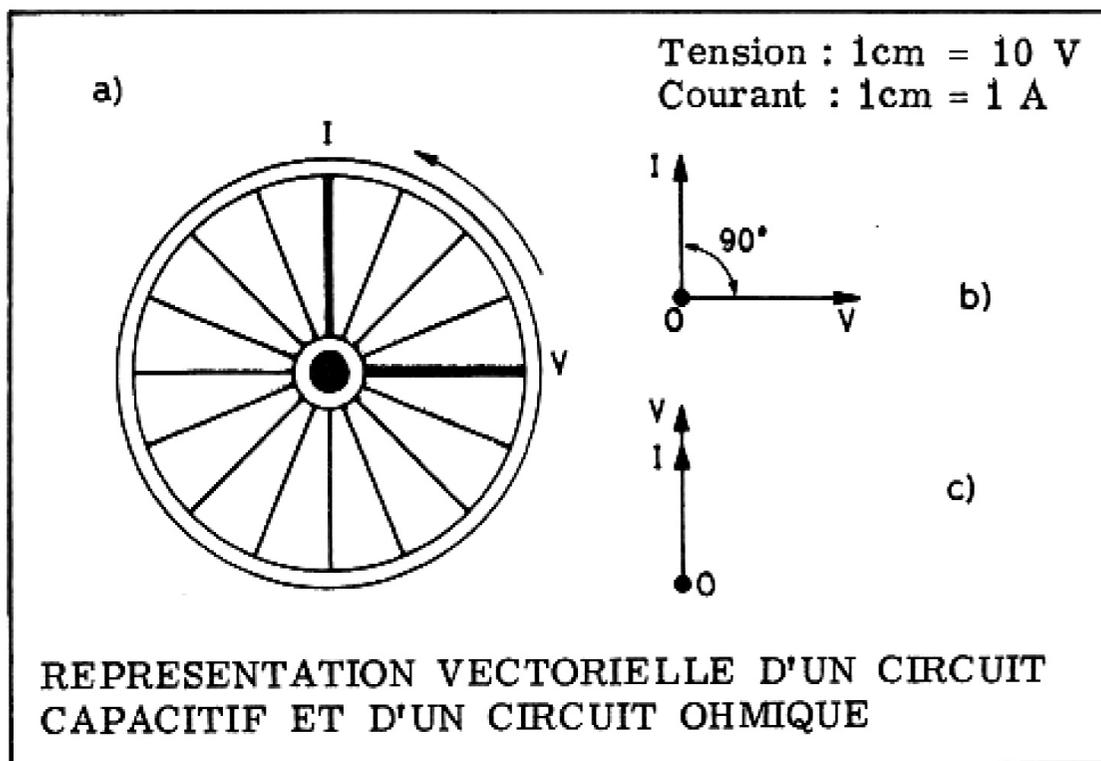


Figure 6

Pour voir en quoi consiste cette nouvelle représentation, commençons par considérer la roue de la *figure 6 - a* ; quand cette roue tourne autour de son centre dans le sens indiqué par la flèche, chacun de ses rayons reprend les mêmes positions à chaque tour, de la même façon que le courant alternatif et la tension reprennent les mêmes valeurs à chaque cycle.

Nous pouvons donc comparer chaque tour accompli par la roue à chaque cycle accompli par la tension et par le courant ; cette comparaison est possible car, comme on l'a dit dans la leçon précédente pour le générateur à courant alternatif, chaque cycle de la tension et du courant est obtenu lorsque le flux d'induction accomplit précisément un tour complet, comme la roue.

Observons maintenant les rayons de la roue qui, sur la *figure 6 - a* sont dessinés en trait fort et sont indiqués par I et V : évidemment, quand la roue tourne, le rayon I est en avance par rapport au rayon V, car il vient occuper chacune de ses positions un quart de tour avant ce dernier ; de la même façon, le courant I est en avance par rapport à la tension V car il prend chacune de ses valeurs un quart de période avant cette dernière.

Nous pouvons donc représenter le courant et la tension alternative relatifs à un circuit capacitif au moyen de deux flèches disposées comme les rayons de la roue, comme on le voit sur la *figure 6 - b* : ces flèches s'appellent plus précisément des **VECTEURS**, et par conséquent, la nouvelle représentation adoptée s'appelle **REPRESENTATION VECTORIELLE**.

Dorénavant, lorsque vous trouverez une représentation de ce type, rappelez-vous que les deux vecteurs doivent être considérés comme les deux rayons d'une roue qui tourne autour du point O dans le **SENS ANTI-HORAIRE**, c'est-à-dire dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.

La représentation vectorielle a l'avantage de mettre clairement en évidence le déphasage entre la tension et le courant, déphasage indiqué par *l'angle compris entre les deux vecteurs* représentant ces deux grandeurs ; on l'appelle donc **ANGLE DE DEPHASAGE**.

Sur la *figure 6 - b* nous voyons que cet angle est de 90° , donc égal à un quart de tour ; et en effet le déphasage entre la tension et le courant est effectivement d'un quart de période.

Il faut se souvenir que *l'on indique souvent le déphasage au moyen de l'angle correspondant* en disant, par exemple, que le déphasage est de 90° , au lieu de dire qu'il est d'un quart de période.

Quand le courant et la tension sont en phase, comme dans le cas d'une résistance, l'angle de déphasage est nul et les deux vecteurs qui représentent ces grandeurs se dessinent superposés, comme on le voit sur la *figure 6 - c*.

Le but principal de la représentation vectorielle est d'indiquer le déphasage entre les différentes grandeurs étudiées. Toutefois cette représentation peut également servir à indiquer la valeur maximum de ces grandeurs : pour cela il suffit de dessiner chaque vecteur avec une longueur d'autant plus grande que la valeur maximum de la grandeur représentée par le vecteur est plus grande.

Par exemple, pour représenter sur la *figure 6* les grandeurs déjà étudiées sur la *figure 5*, dont il résulte que la grandeur maximum de la tension est de 20 V et la valeur maximum du courant de 1,5 A, on a décidé que 1 cm représentait 10 V pour la tension et 1 A pour le courant (comme l'indiquent les inscriptions reportées en haut et à droite sur la *figure 6*) et l'on a donc dessiné le vecteur V avec une longueur de 2 cm (qui représentent 20 V) et le vecteur I avec une longueur de 1,5 cm (qui représentent 1,5 A).

De cette façon, la représentation vectorielle est étroitement liée à la représentation graphique ; dans les leçons de mathématiques nous verrons comment on passe de l'une à l'autre.

Nous avons vu que le courant circulait dans un circuit capacitif alimenté par une tension alternative, nous avons déterminé la forme de ce courant, et nous avons trouvé un système de représentation apte à mettre en évidence le déphasage qui existe entre le courant et la tension. Il ne nous reste maintenant qu'à voir de quels éléments dépend l'intensité du courant obtenu en appliquant à un circuit capacitif une tension alternative déterminée.

Mais rappelons-nous d'abord que ce courant est dû aux charges et décharges successives du condensateur, et que donc, plus la capacité de ce condensateur est grande, plus le courant nécessaire pour le charger à la même tension que le générateur est intense.

Nous pouvons donc dire que le courant qui circule dans un circuit capacitif est d'autant plus intense que la capacité du condensateur est plus grande.

Nous constatons ici une différence notable entre le comportement d'un condensateur et le comportement d'une résistance : en effet, tandis que, dans le cas d'une résistance, le courant est d'autant moins intense que la résistance est plus grande ; dans le cas d'un condensateur, au contraire, le courant est d'autant plus intense que la capacité est plus grande.

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

Dans le cas du condensateur, cependant, la division du courant par la capacité ne donne pas la tension, car il faut aussi tenir compte du fait que, tandis qu'une résistance oppose toujours la même résistance à un type quelconque de courant, un condensateur empêche la circulation du courant continu et ne permet que la circulation du courant alternatif.

En effet, si dans un circuit capacitif, le courant ne peut pas circuler quand la tension appliquée est continue (c'est-à-dire ne varie pas), tandis que le courant circule quand la tension appliquée est alternative (c'est-à-dire varie), cela veut dire que ce courant doit aussi dépendre de la variation de la

tension et plus précisément qu'il doit être d'autant plus intense que la tension varie plus rapidement.

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

La pulsation est évidemment liée au nombre de cycles accomplis en une seconde, c'est-à-dire à la fréquence : par des calculs assez difficiles, que nous devons donc laisser de côté, on démontre en effet que *la pulsation est donnée par le produit du nombre 6,28 par la fréquence*.

Nous voyons donc que, pour trouver la tension applicable à un circuit capacitif pour y faire circuler un courant déterminé, il faut diviser ce courant par le nombre 6,28 par la fréquence et par la capacité.

Nous voyons que, si le courant avait une intensité de 1 A, la tension s'obtiendrait en divisant le nombre 1 (qui indique 1 A) par 6,28 par la fréquence et par la capacité : la grandeur qu'on obtient en faisant ces opérations est une grandeur typique pour chaque circuit capacitif, car elle dépend de la capacité du condensateur inséré dans le circuit et de la fréquence du générateur qui l'alimente.

Cette grandeur s'appelle la *REACTANCE CAPACITIVE* du circuit et on l'indique par le symbole X ; nous pouvons donc dire que *la réactance capacitive indique la tension qu'il faut appliquer à un circuit capacitif pour y faire circuler un courant de 1 A*.

Si maintenant nous nous souvenons de la loi d'*Ohm*, nous trouvons que la résistance indique la tension qu'il faut appliquer à une résistance pour la faire traverser par un courant de 1 A : en effet, pour faire parcourir, par exemple, une résistance de 30Ω par un courant de 1 A il faut lui appliquer une tension de 30 V.

Nous voyons donc que, *pour un circuit qui comprend des condensateurs, la réactance capacitive est l'équivalent de la résistance pour un circuit qui comprend des résistances* ; ceci signifie, autrement dit, que, de même qu'une résistance s'oppose au passage du courant en offrant une certaine résistance, de même un condensateur réagit à la circulation du courant en offrant une réactance, et que la réactance capacitive se mesure en ohm comme la résistance.

On peut donc aussi appliquer la loi d'*Ohm* au circuit capacitif, à

il ne comprend qu'une seule bobine ; dans ce cas également, s'il y avait un certain nombre de bobines, nous pourrions les remplacer par une bobine unique d'une inductance égale à celle présentée au total par toutes les bobines insérées dans le circuit.

Nous nous souvenons de plus qu'une bobine ne présente pas seulement sa résistance caractéristique, mais qu'elle offre aussi une résistance due au conducteur qui constitue ses spires. Pour les bobines qui ont peu de spires et qui sont formées par un condensateur d'une section assez grande, cette résistance est très basse, et l'on peut donc la négliger. Nous allons maintenant étudier justement les circuits inductifs qui comprennent des bobines de résistance négligeable et qui ne présentent donc qu'une inductance.

Pour faire circuler un courant continu dans un circuit de ce type (*figure 7 - a*) il suffit d'appliquer une tension très basse, puisque la résistance rencontrée par le courant est presque nulle.

Au contraire, pour faire circuler dans le même circuit un courant alternatif (*figure 7 - b*) de valeur efficace égale à celle du courant continu, il faut une tension plus élevée, car, comme nous le savons d'après les leçons précédentes, la bobine a la propriété de s'opposer à la variation du courant qui la traverse, et par conséquent elle gêne la circulation du courant alternatif qui varie justement continuellement.

Rappelons-nous que lorsque le courant augmente, la bobine produit une f.e.m. d'auto-induction qui tend à faire circuler un courant en sens opposé à celui qui est en train d'augmenter, précisément pour en combattre l'augmentation.

Quand au contraire, le courant diminue, la bobine produit une f.e.m. d'auto-induction qui tend à faire circuler un courant dans le même sens que celui qui est en train de diminuer, justement pour en combattre la diminution.

Nous observons aussi que la f.e.m. d'auto-induction produite par la bobine doit être, à chaque instant, égale à la tension fournie par le générateur puisque les pôles de celui-ci sont reliés directement aux extrémités de la bobine.

D'après ces remarques, nous sommes en mesure de trouver la forme que doit avoir la tension fournie par le générateur pour faire circuler dans le circuit inductif un courant déterminé.

Supposons, par exemple, que dans le circuit circule le courant repré-

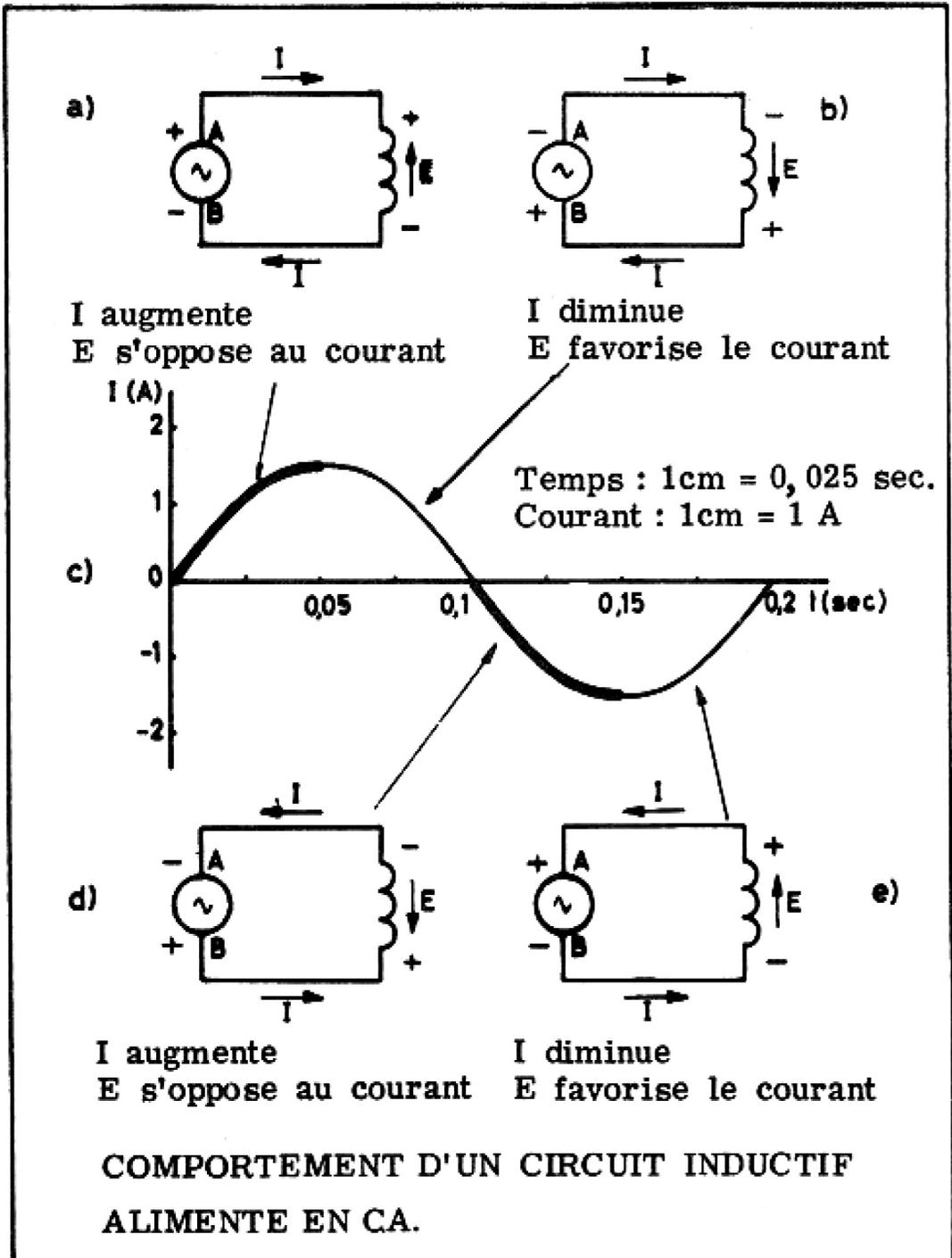


Figure 8

senté sur la *figure 8 - c*, où les lignes de la sinusoïde qui correspondent à l'augmentation du courant sont indiquées par un trait fort, pour les distinguer des traits plus fins qui correspondent à la diminution du courant.

On pourrait démontrer que, si ce courant est sinusoïdal, la tension qui détermine sa circulation est aussi sinusoïdale ; dans ce cas, pourtant la sinusoïde qui représente la tension est déplacée par rapport à celle qui représente le courant, mais d'une façon différente de celle que nous avons vue pour les condensateurs.

De la *figure 8 - c* on déduit que, dans le temps compris entre 0 sec et 0,05 sec, le courant est positif et augmente, en passant de la valeur de 0 A à la valeur maximum de 1,5 A. Comme il est positif, le courant sort du pôle du générateur désigné par A et circule dans le circuit comme l'indiquent les flèches de la *figure 8 - a*.

Puisque ce courant augmente, la f.e.m. d'auto-induction E s'oppose à son passage, et tend à faire circuler un courant dirigé en sens contraire, comme l'indique la flèche dessinée à côté de la bobine.

En somme, la bobine se comporte à son tour comme un deuxième générateur qui tend à combattre l'action du générateur à courant alternatif alimentant le circuit ; cette bobine, comme elle tend à faire circuler un courant dans le sens de la flèche dessinée à côté d'elle, offre à ses extrémités les polarités indiquées par la *figure 8 - a*, mais, puisque la bobine est directement reliée au générateur, elle a les mêmes polarités que celui-ci, comme on le voit sur cette même figure.

Pendant le temps compris entre 0,05 sec et 0,1 sec, le courant est encore positif mais il diminue en passant de la valeur maximum à la valeur zéro ; comme il est encore positif le courant continue à sortir du pôle du générateur désigné par A et à circuler dans le circuit comme l'indiquent les flèches de la *figure 8 - b*.

Puisque le courant diminue maintenant, la f.e.m. E, pour s'opposer à cette diminution, tend à faire circuler un courant dirigé dans le même sens, comme l'indique la flèche dessinée à côté de la bobine.

Puisque le sens dans lequel la f.e.m. E tend à faire circuler le courant est opposé à celui de la *figure 8 - a*, les polarités aux extrémités de la bobine dessinées sur la *figure 8 - b* sont aussi inversées par rapport à celles de la *figure 8 - a* ; par conséquent les polarités du générateur sont aussi inversées du moment qu'elles doivent toujours être comme celles de la bobine.

Après 0,1 sec, le courant est de nouveau nul et intervertit son sens de circulation ; donc, pendant le temps compris entre 0,1 sec et 0,15 sec, le courant circule dans le sens indiqué par les flèches sur la *figure 8 - d*, et il est négatif, car il entre maintenant dans le générateur par le pôle désigné par A.

Puisque ce courant augmente, en passant de la valeur zéro à la valeur maximum négative, la f.e.m. E s'oppose de nouveau à son passage, et elle tend à faire circuler un courant dirigé en sens contraire, comme l'indique la flèche dessinée près de la bobine.

Cette flèche est donc dirigée en sens contraire de celle dessinée près de la bobine sur la *figure 8 - a*, du fait que le courant a changé son sens de circulation ; par conséquent, les polarités indiquées sur la *figure 8 - d* aux extrémités de la bobine et donc du générateur, sont aussi inversées par rapport à celles de la *figure 8 - a*.

Après avoir atteint la valeur maximum négative, le courant recommence à diminuer jusqu'à ce qu'il s'annule, pendant le temps compris entre 0,15 sec et 0,2 sec durant lequel il circule dans le circuit dans le sens indiqué par la *figure 8 - e*.

Puisque le courant diminue de nouveau, la f.e.m. E s'oppose encore à cette diminution et tend à faire circuler un courant dirigé dans le même sens, comme l'indique la flèche dessinée à côté de la bobine.

Cette flèche est aussi dirigée en sens contraire de celle dessinée à côté de la bobine sur la *figure 8 - b*, toujours du fait que le courant a inversé son sens de circulation ; par conséquent les polarités de la *figure 8 - e*, indiquées aux extrémités de la bobine et donc du générateur, sont aussi inversées par rapport à celles de la *figure 8 - b*.

Grâce à ces remarques, nous avons donc pu établir quelles sont les polarités aux extrémités du générateur ; celles-ci nous permettent de savoir si la tension fournie par le générateur est positive ou négative : nous nous souvenons en effet que, comme on l'a établi précédemment, nous considérons que cette tension est positive ou négative selon que le pôle du générateur désigné par A est positif ou négatif.

Sur la *figure 8 - a*, nous voyons que ce pôle est positif et nous pouvons donc en déduire qu'entre 0 sec et 0,05 sec la tension est aussi positive. Au contraire, entre 0,05 sec et 0,1 sec, comme entre 0,1 sec et 0,15 sec, la tension est négative, car le pôle A est négatif, comme on le voit sur la *figure 8 - b* et

sur la *figure 8 - d*. La tension est de nouveau positive entre 0,15 sec et 0,2 sec car sur la *figure 8 - e* on voit que le pôle A est de nouveau positif.

Maintenant pour pouvoir tracer la sinusoïde qui représente la tension, il faut encore connaître à quels instants cette tension s'annule : dans ce but nous observons que la tension doit s'annuler quand le générateur inverse ses polarités.

Sur la *figure 9*, on voit que ceci se produit lorsque le courant cesse d'augmenter et qu'il est prêt à diminuer, c'est-à-dire quand il a atteint sa valeur maximum positive à 0,05 sec et négative à 0,15 sec.

Par suite, la sinusoïde qui représente la tension doit couper l'axe horizontal à ces instants, tandis que, d'après ce qui a été dit précédemment, elle doit se trouver au-dessus de cet axe entre 0 sec et 0,05 sec, et au-dessous entre 0,05 sec et 0,15 sec, puis de nouveau au-dessus entre 0,15 sec et 0,2 sec ; la sinusoïde a donc la forme de la *figure 9* ; où l'on a supposé que la tension avait une valeur maximum de 20 V.

On voit immédiatement que cette sinusoïde a la même forme que celle de la *figure 4* pour le courant qui circule dans un circuit capacitif, et tout ce qui a été dit à propos de ce courant est donc valable maintenant pour la tension.

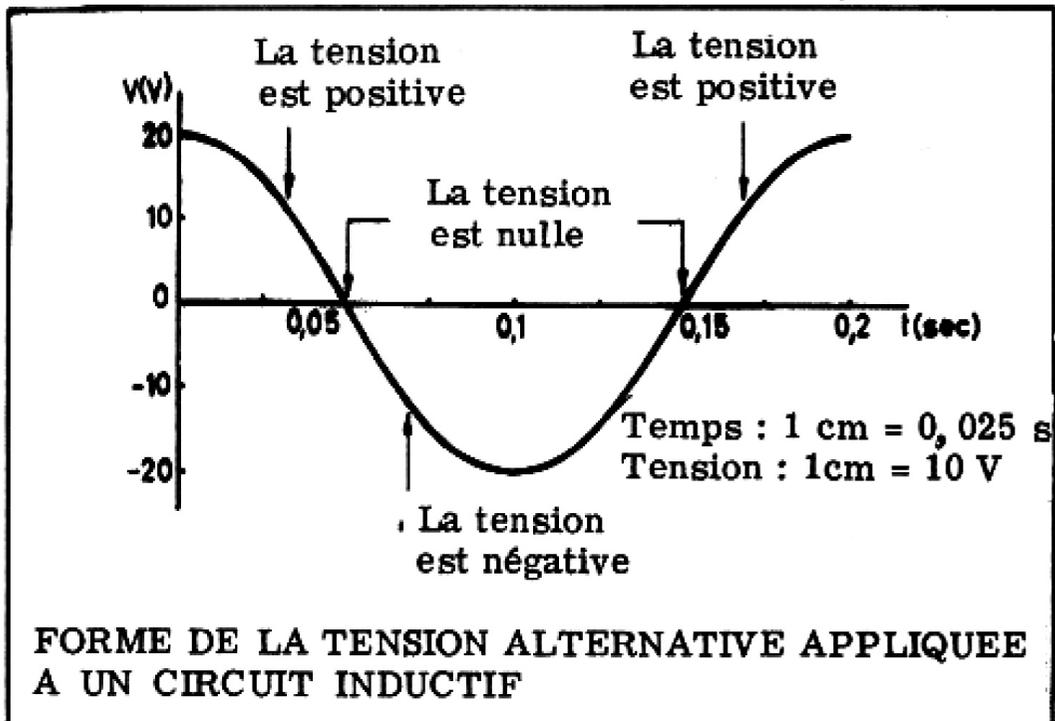


Figure 9

De même que nous avons trouvé que, dans un circuit capacitif, le courant est déphasé en avance d'un quart de période par rapport à la tension, de même nous pouvons dire maintenant que *dans un circuit inductif la tension est déphasée en avance d'un quart de période par rapport au courant.*

Nous voyons aussi que, dans un circuit capacitif comme dans un circuit inductif, on a toujours un déphasage d'un quart de période entre la tension et le courant, et ces deux grandeurs sont l'une ou l'autre en avance selon le type de circuit.

Pour utiliser la représentation vectorielle dans le cas du circuit inductif, nous pouvons considérer la roue de la *figure 10 - a* et nous référer aux deux rayons dessinés en trait fort et indiqués par I et V : il est évident que, lorsque la roue tourne dans le sens indiqué par la flèche, le rayon V occupe chaque position un quart de tour avant le rayon I, de même que la tension V atteint chaque valeur un quart de période avant le courant I.

Nous pouvons donc représenter la tension et le courant relatifs à un circuit inductif au moyen de deux vecteurs disposés de la même façon que les

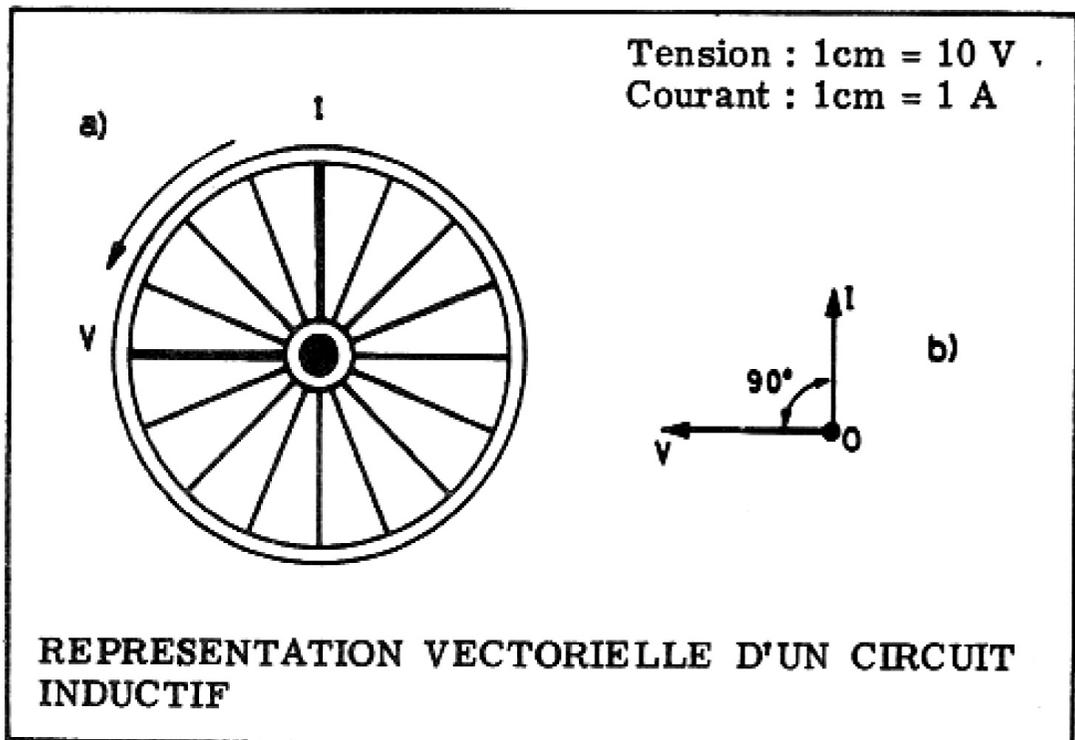


Figure 10

rayons de la roue, comme on le voit sur la *figure 10 - b* : il est ainsi évident que dans ce cas, l'angle de déphasage est également de 90° .

En comparant les *figures 10 - b* et *6 - b*, nous voyons que, dans les deux cas, le vecteur qui représente le courant est vertical, tandis que le vecteur qui représente la tension est dessiné horizontalement à la gauche (*figure 10 - b*) ou à la droite (*figure 6 - b*) du premier, selon que la tension est en avance (circuit inductif) ou que le courant est en avance (circuit capacitif).

Maintenant il ne nous reste plus à voir que la façon dont sont liés entre eux le courant et la tension relatifs à un circuit inductif ; nous nous souvenons que la bobine s'oppose à la circulation du courant alternatif, en réagissant à ses variations : on appelle donc *REACTANCE INDUCTIVE l'obstacle opposé par l'inducteur au courant alternatif* et on l'indique par le symbole X_L .

Comme la résistance et la réactance capacitive, *la réactance inductive se mesure en ohm.*

On comprend donc pourquoi, d'une façon analogue à ce que nous avons déjà vu pour le circuit capacitif, il est possible d'appliquer la loi d'*Ohm* au circuit inductif, pourvu que l'on considère la réactance inductive présentée par le circuit, et que l'on utilise les valeurs efficaces de la tension et du courant.

Nous avons déjà vu pour le circuit capacitif que sa réactance doit être calculée d'après les éléments dont elle dépend ; nous allons donc chercher, pour le cas du circuit inductif, de quels éléments dépend sa réactance, de façon à pouvoir la calculer.

A ce propos, nous nous souvenons que la réactance présentée par une bobine est due à la f.e.m. d'auto-induction produite par la bobine même et tendant à gêner les variations du courant : la réactance dépendra donc des éléments dont dépend la f.e.m. d'auto-induction.

Dans une des leçons précédentes, nous avons déjà vu que cette f.e.m. dépend du produit de l'inductance de la bobine par la rapidité avec laquelle varie le courant qui la parcourt ; d'autre part, comme nous l'avons déjà vu dans le cas du circuit capacitif, la rapidité avec laquelle varie une grandeur alternative est indiquée par la pulsation qui est donnée par le produit du nombre 6,28 par la fréquence.

Nous pouvons donc conclure que la réactance inductive s'obtient en multipliant le nombre 6,28 par la fréquence et par l'inductance.

Nous voyons ainsi que, tandis que dans le cas d'un circuit ohmique, il suffit de connaître la résistance pour appliquer la loi d'Ohm, dans le cas d'un circuit capacitif ou inductif, il n'est pas suffisant de connaître la capacité ou l'inductance, mais il faut aussi connaître la valeur de la fréquence de la tension et du courant.

Ceci signifie que l'obstacle opposé à la circulation du courant d'un circuit ohmique ne dépend que de la résistance présentée par ce circuit, tandis que l'obstacle opposé par un circuit capacitif ou inductif dépend non seulement de la capacité ou de l'inductance du circuit, mais aussi de la fréquence du courant.

Plus précisément la réactance d'un circuit capacitif est d'autant plus petite que la fréquence du courant est plus grande ; au contraire, la réactance d'un circuit inductif est d'autant plus grande que la fréquence du courant est plus grande.

Nous observons enfin, qu'une bobine qui a une résistance négligeable n'offre pratiquement aucun obstacle au passage du courant continu ; nous disons pour cela que le circuit inductif présente une réactance nulle au courant continu.

Dans la prochaine leçon nous verrons, au contraire, comment se comportent les bobines qui ont une résistance non négligeable, y compris celles qui sont munies d'un noyau magnétique.

NOTIONS A RETENIR

- La TENSION ALTERNATIVE a, comme le COURANT ALTERNATIF, une forme sinusoïdale.
- La VALEUR de la TENSION EFFICACE est obtenue en divisant par 1,41 la VALEUR de la TENSION MAXIMUM.

EXEMPLE : TENSION MAXIMUM 155,10 V
 TENSION EFFICACE 155,1/1,41 = 110 V

- C'est toujours la TENSION EFFICACE qui est indiquée dans les installations électriques.
- Un CONDENSATEUR présente une REACTANCE CAPACITIVE au courant alternatif.

La valeur de cette réactance s'obtient en divisant le chiffre 1 par le produit de 6,28 par la FREQUENCE du courant et par la valeur capacitive du condensateur.

Cette définition s'exprime plus clairement à l'aide de la formule :

$$X_c = \frac{1}{6,28 fC}$$

En appelant ω (oméga), la pulsation, c'est-à-dire 6,28 x f, la formule se simplifie et devient :

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

X_c en ohms

C en Farads

$\omega = 6,28 f (2 \pi f)$ avec f en HERTZ.

THEORIE 9**29**

EXEMPLE : Quelle est la REACTANCE CAPACITIVE, présentée par un CONDENSATEUR de 0,9 μ F, au passage d'un COURANT ALTERNATIF DE 50 Hz.

$$X_c = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{0,0000009 \times 6,28 \times 50} = 3538 \Omega \text{ environ}$$

Dans les mêmes conditions, que devient cette réactance si la fréquence passe à 100 Hz.

$$X_c = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{0,0000009 \times 6,28 \times 100} = 1769 \Omega$$

- Le CONDENSATEUR provoque un DEPHASAGE entre le COURANT et la TENSION. Le COURANT est en AVANCE de 90^0 sur la TENSION.
- Une BOBINE présente une REACTANCE INDUCTIVE AU COURANT ALTERNATIF.

Cette REACTANCE s'obtient en multipliant le nombre 6,28 par la FREQUENCE et par l'INDUCTANCE.

Cette définition s'exprime plus clairement à l'aide de la formule.

$$X_L = 6,28 fL$$

En appelant ω la pulsation, c'est-à-dire 6,28 f, la formule se simplifie et devient :

$$X_L = \omega L \text{ avec}$$

$$X_L = \text{ en ohms}$$

$$L = \text{ en Henry (H)}$$

$$\omega = 6,28 f \text{ avec } f \text{ en HERTZ}$$

EXEMPLE: Quelle est la **REACTANCE INDUCTIVE**, présentée par une **BOBINE** de 900 mH au passage d'un courant alternatif de 50 Hz.

$$X_L = \omega L = 6,28 \times 50 \times 0,9 = 282,6 \Omega$$

Dans les mêmes conditions, que devient cette **REACTANCE**, si la fréquence passe à 100 Hz.

$$X_L = \omega L = 6,28 \times 100 \times 0,9 = 565,2 \Omega$$

Dans un **BOBINAGE**, la **TENSION** est en **AVANCE** de 90° sur le **COURANT**.

Le tableau ci-dessous résume ce que nous venons de voir.

	REACTANCE		DEPHASAGE
	Courant Continu	Courant alternatif	
CONDENSATEUR	INFINIE	$\frac{1}{\omega C}$	COURANT EN AVANCE SUR LA TENSION DE 90°
BOBINAGE	NULLE	ωL	TENSION EN AVANCE SUR LE COURANT DE 90°

RETENEZ BIEN que le **CONDENSATEUR BLOQUE** le **COURANT CONTINU** (**REACTANCE INFINIE**) et laisse passer le **COURANT ALTERNATIF**, en lui présentant toutefois une certaine résistance (**REACTANCE**), **D'AUTANT PLUS FAIBLE QUE LA FREQUENCE EST ELEVÉE** et que la valeur capacitive du condensateur est grande.

THEORIE 9

31

Au contraire, la BOBINE LAISSE PASSER le COURANT CONTINU (REACTANCE NULLE ; elle ne lui oppose que la seule résistance ohmique du fil constituant les enroulements) et TEND A S'OPPOSER AU PASSAGE DU COURANT ALTERNATIF, en lui présentant une résistance (REACTANCE) D'AUTANT PLUS GRANDE QUE LA FREQUENCE DU COURANT EST ELEVEE et que la valeur inductive est forte.



EXERCICE DE REVISION SUR LA THEORIE 9

- 1 - Quelle valeur indique-t-on normalement pour la tension alternative ?**
- 2 - Le courant continu peut-il circuler dans un circuit capacitif ?**
- 3 - A quoi est dû le courant alternatif qui circule dans un circuit capacitif ?**
- 4 - Dans un circuit capacitif, quel déphasage y a-t-il entre le courant et la tension ?**
- 5 - Qu'entend-on par angle de déphasage ?**
- 6 - Qu'est-ce que la réactance capacitive et comment la calcule-t-on ?**
- 7 - Dans un circuit inductif est-ce la tension qui est déphasée en avance par rapport au courant ou bien est-ce le courant qui est déphasé en avance par rapport à la tension ?**
- 8 - Qu'est-ce qui donne la pulsation d'un courant ou d'une tension alternative ?**
- 9 - Comment calcule-t-on la réactance inductive ?**
- 10 - Quelle est l'unité de mesure de la réactance capacitive et inductive ?**



REPONSES A L'EXERCICE DE REVISION SUR LA THEORIE 8

- 1 - Les différences entre le courant alternatif et le courant continu sont les suivantes : tandis que le courant continu circule toujours dans le même sens, le courant alternatif inverse périodiquement son sens de circulation ; et tandis que le courant continu maintient constamment la même intensité, le courant alternatif a une intensité variable.**
- 2 - Le courant alternatif a une forme sinusoïdale.**
- 3 - La représentation graphique du courant alternatif sert à indiquer les valeurs prises par le courant à chaque instant.**
- 4 - La période d'un courant alternatif est le temps que ce courant met pour accomplir un cycle.**
- 5 - La fréquence d'un courant alternatif indique le nombre de cycles accomplis par ce courant en une seconde.**
- 6 - On calcule la période d'un courant alternatif en divisant le nombre 1 par la fréquence.**
- 7 - La valeur efficace d'un courant alternatif est égale à la valeur maximum divisée par 1,41.**

