

12

vosre Carrière

REVUE de TECHNIQUE RADIO

magazine des futurs électroniciens



hebdomadaire pour la formation professionnelle - 17 - 23 mai 1965 - le numéro 1,60 F.

revue *Carrière*

revue hebdomadaire

DIRECTION - ADMINISTRATION - ABONNEMENTS: Editions CHIRON - 40, rue de Seine
Tél. 633.18-93 - Paris (6^e) - C.C.P. 53-35



La revue est en vente aux kiosques, chaque semaine: si le kiosque en est démuné, demandez l'envoi hebdomadaire directement à votre domicile.

Directrice: *Mme Etienne Chiron.*

Secrétaire de rédaction: *J. Lavergne*

ABONNEMENTS

Les abonnements peuvent être souscrits en cours d'année, à n'importe quelle date. Les numéros déjà parus au moment de la souscription seront envoyés en une seule expédition.

France - 1 an (52 numéros) = 70 F;
6 mois (26 numéros) = 38 F. - Etranger - 1 an = 90 F. - Si vous possédez déjà des numéros, vous pouvez déduire la somme de 1.20 F par numéro.

Les anciens numéros peuvent être commandés séparément au prix unitaire (1.50 F).

Aucun envoi contre remboursement.

RENSEIGNEMENTS

Toute demande de renseignements doit être accompagnée d'une enveloppe timbrée à votre adresse.

PUBLICITE

PUBLEDITEC - 13, Rue C. Lecocq
Tél. 250.88-04 et 88-05 - Paris. 15^e.



Le Numéro précédent a été tiré à 30 420 exemplaires.

DISTRIBUTION

Nouvelles Messageries de la Presse
Parisienne - 11, Rue Réamur - Paris.

COPYRIGHT

Dépôt légal éditeur 34 - 2^e trim. '65
Périodique N. 42 905 à la Commission Paritaire de la Presse.

Tous droits de reproduction, même partielle, réservés pour tous pays.

Sommaire

★ Courrier technique	Page 2
★ Chronique des métiers de la Radio	» 3
★ Informations	» 4
★ Circuits avec inductance - capacité - résistance	» 5
★ Circuits oscillants et filtres	» 14
★ Dictionnaire Anglais-Français d'Electronique	» 17
★ Symboles - Abréviations - Formules	» 27
★ Questions sur les 34 ^{ème} et 35 ^{ème} leçon	» 27
★ Réponses aux questions du numéro précédent	» 28
★ Graphique pour le calcul des déphasages dans les circuits R-C, R-L et R-L-C	» 28
★ Abaques donnant les relations réciproques entre réactance capacitive, capacité et fréquence	» 29
★ Lancement d'« Early Bird »	» 33
★ Informations	» 34

Courrier technique

G. DUSOTOIS désirerait photographier son écran de télévision.

Cette prise de vue ne présente pas de difficultés particulières. L'image de télévision est faite, comme vous le savez, par la succession de lignes (819 ou 625 exactement) composées elles-mêmes de centaines de points (1125 dans le standard 819 lignes). Ce n'est que la persistance rétinienne et la rémanence du tube qui créent l'image, ceci 25 fois par seconde.

Il suffit donc, après affichage correct de la distance, sur dépoli, ou au télémetre selon votre appareil, de régler ce dernier sur la vitesse se rapprochant le plus de 1/25^{ème} de seconde, le 1/30^{ème} étant très fréquent sur les appareils modernes.

Cette vitesse lente, la faible luminosité de l'écran obligent évidemment à ouvrir davantage le diaphragme, qu'il faut choisir entre 4,5 et 6,3 et, d'autre part, à utiliser des pellicules rapides par exemple Kodak XXX qui fait 37° Scheiner. Attention: un obturateur à guillotine ou à iris de préférence, est seul utilisable car, un obturateur à rideau balayant le sujet comme le fait en face le faisceau électronique sur l'écran du téléviseur, ne donnerait qu'un résultat très décevant et inutilisable.

GERARD M. (Seine et Oise) - En page 6 du numéro 1, 1^{ère} colonne, vous avez indiqué plusieurs fois qu'il faut diviser la vitesse de la lumière (300 000 000 mètres à la seconde par la fréquence (nombre d'oscillations en une seconde) pour trouver la longueur d'onde. Cela est exact, mais une fois vous avez marqué l'inverse: fréquence, divisée par 300 000 000. Je suppose une erreur.

Oui et nous prions tous nos lecteurs de nous en excuser, mais heureusement dans les lignes qui précèdent et dans

celles qui suivent, nous avons donné sans faire de faute, ce qu'il faut retenir:

Longueur d'onde (en mètres) = 300 000 000 : fréquence et non l'inverse, comme le typographe l'a mis une fois, en plaçant mal ses caractères.

T. GILBERT s'inquiète: vous représentez un élément de pile en mettant un trait fin et grand pour le + (plus) et vous mettez un trait plus court pour le - (moins). De très bons auteurs font le contraire: positif (+) pour le trait gras et court, négatif (-) pour le trait long et maigre. Où est la vérité?

Chacun sa vérité, hélas! Il y a encore peu de temps, vos bons auteurs avaient raison, à la française. On l'explique ainsi: dans une pile, le pôle positif (+) est un charbon, bien noir, bien gros, placé au centre d'une composition chimique le tout entouré d'une enveloppe mince en zinc, constituant le pôle négatif (-), plus: noir, gros, court; moins: mince, plus grand (enveloppe).

Mais les Anglo-saxons eux ont pensé: positif c'est plus grand (??? ça ne veut pas dire grand chose) et négatif c'est plus petit (faux, ça ne veut rien dire).

Et ils ont inversé la signification première.

Or, beaucoup de Français ne savent plus l'origine de ce code, et en réunion internationale, ils ont laissé la règle: plus = long et maigre; moins = court et gras, devenir la règle internationale.

Et l'on trouve des livres avec l'une ou l'autre présentation. En tout cas, il faut toujours tracer le signe (+) et le signe (-) pour éviter les erreurs qui sont très graves s'il y a des transistors dans les circuits, car un montage inverse leur est plus fatal qu'à vous si l'on vous pendait par les pieds!



FEU A BORD

Fig. 1 - L'officier-Radio du FBAZC, Mr. Nemes.

Dans les années qui suivirent la guerre 1939 - 45 un nouveau venu fit son apparition sur les lignes des long-courriers transocéaniques: c'était le « Constellation ».

Cet avion de 37 m d'envergure et de 29 m de long construit par Lockheed sous la dénomination L 749, volait à 435 km/heure de moyenne, propulsé par 4 moteurs Wright Cyclone de 2 500 CV, pesait 48 tonnes en charge, cette dernière comprenant les 14 000 litres d'essence qui lui donnaient une autonomie de vol de près de 12 heures. Dans sa première version le L. 749 n'avait que 46 places. Par un allongement du fuselage de plusieurs mètres, on obtint le Super Constellation L. 1049, qui se transforma lui-même en Starliner L. 1649, par un accroissement de toutes les caractéristiques longueur, envergure, puissance des moteurs, etc., et par suite de ses performances. Ce dernier fut néanmoins détrôné à son tour par les jets, Boeing 707 et DC 8.

C'est à bord du Constellation L 749, immatriculé FB AZC que se passe l'aventure relatée ci-dessous.

A bord de cet avion se trouvait M. LECHEVALIER, Commandant de bord et M. NEMES. Officier Radio et ancien Elève de l'Ecole Centrale d'Electronique.

Pendant plus de quatre heures sur un avion en difficultés il resta le seul contact avec la terre qui suivait avec l'angoisse que l'on devine la lutte de l'équipage contre le feu.

Rappelons pour nos lecteurs que cet incident servit de thème au film « Les yeux du Souvenir ».

Nous remercions l'Ecole Centrale d'Electronique qui l'a publié dans sa revue « Contact » et la revue Internationale INTER-AVIA, qui nous ont aimablement donné l'autorisation de reproduire ce texte.

Lorsque le Radio NEMES lança le message:

EXNOR 5 92 F BAZC QRE
CNCA 1810 G M T

annonçant son arrivée probable à CASABLANCA pour 1810 Tu, il ne se doutait pas des heures pénibles qui allaient suivre. L'appareil volait alors à 6 000 mètres. Le voyage s'annonçait normal, lorsque quelques secondes après, une violente odeur de « cramé » en-

vahit la cabine. Hôtesse et Stewards recherchent aussitôt si une cigarette n'a pas été oubliée derrière un fauteuil. Les passagers se regardent, inquiets. Le radio à quatre pattes, essaye de découvrir un court-circuit toujours possible. Rien. L'odeur de brûlé saisit à la gorge. Quelques secondes plus tard, violent hurlement: un moteur s'emballe. Le drame commence.

.....

Le mécanicien VINCENT déclenche l'extincteur; les gestes sont sûrs, rapides, chaque seconde est une lutte contre la mort. Le feu est éteint. Le Commandant remet les moteurs 1, 2 et 3 à 1150 chevaux et fait signaler par radio que le moteur 4 est arrêté. Puis NEMES envoie le message d'alarme à CASABLANCA qui transmet immédiatement à toutes les stations intéressées et aux aérodromes proches. Tout le monde est en état d'alerte. Pendant des heures, à des milliers de kilomètres de distance, sur trois continents, des centaines d'hommes suivent avec angoisse la lutte de l'équipage.

A 16 h 02, le feu reprend au moteur 4, l'appareil plonge rapidement vers la mer. Le mécanicien VINCENT essaye à nouveau de passer l'hélice du 4 « en drapeau ». Echec complet. Les commandes ne répondent plus. Le moteur 3 donne, à son tour, des inquiétudes.

A 16 h 07, le moteur 3 est stoppé, et NEMES envoie son premier XXX (demande de secours). Dans la cabine, les passagers sont calmes. Ils voient le moteur en flammes et savent que l'appareil est en danger, mais le sang-froid de l'équipage et les paroles du pilote leur donne confiance. Les ceintures de sauvetage sont endossées et l'hôtesse demande aux passagers de s'attacher aux fauteuils. Chacun est à son poste de combat. Vitesse 140 milles à l'heure. LECHEVALIER, les mains crispées au volant, dans une attitude impossible à décrire, tend toute sa volonté pour maintenir en ligne de vol un appareil qui se dérobe constamment. Les moteurs 1 et 2 déportent terriblement. Altitude 65 mètres. Le ciel est gris; la mer déchainée, couverte d'écume, fait un creux de 6 mètres et chacun peut apercevoir à travers les hublots les énormes vagues se briser les unes contre les autres.

« Jamais, dira plus tard LECHEVALIER, je n'ai vu la mer venir aussi vite sur nous. Nous étions alors à plus de 1 000 kilomètres de CASABLANCA. Amérir? Non, il y en a vraiment trop; allez hue Cocotte! ».

Le caractère gavroche de LECHEVALIER apparaît dans cette expression typiquement personnelle — TENIR — Toute la volonté de l'équipage est tendue autour de ce mot.

A 16 h. 43 le feu reprend au moteur 4.

Un steward vient signaler que l'aile droite est fortement gondolée derrière ce moteur.

Une crainte de plus vient s'ajouter à celles déjà supportées: avec la vitesse, la possibilité d'arrachement d'une partie de l'aile! A 16 h. 55, de LAGENS

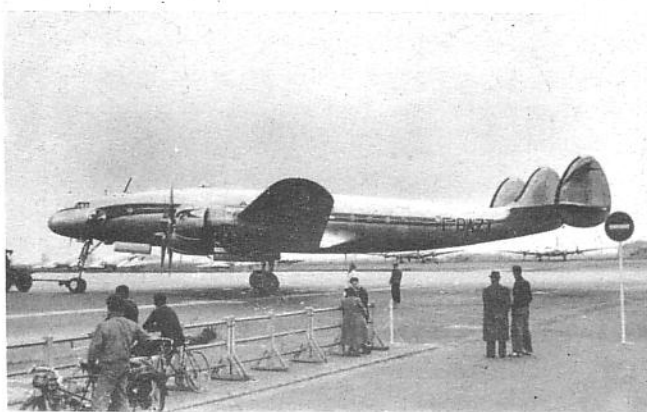
et de PORT-LYAUTEY, un message annonce le départ des avions de secours.

A 17 h. 35, l'hélice du moteur 4, qui continue à tourner follement, commence à s'incliner vers le 3, et puis, brutalement, part, coupant tous les cylindres du côté droit du moteur 3. Le feu prend au moteur 3. Plus d'extincteurs! La situation est tragique. L'appareil est dangereusement déporté. Efforts désespérés du pilote pour le maintenir en ligne de vol. C'est sans doute un des moments les plus pénibles. LECHEVALIER donne l'ordre de dégager les sièges du couloir qui mène à la cabine-passagers; tout espoir de gagner la côte semble s'évanouir et il cherche à parer à toute éventualité.

A 19 h. 25 la première liaison est établie avec la tour de CASABLANCA en phonie. C'est la première voix humaine qui apporte l'espérance d'une terre proche.

A 19 h. 30, avion de secours en vue. NEMES entre

Fig. 2 - Un « Constellation » à l'instant du départ. Sur le toit de l'avant vers l'arrière, l'antenne de l'ILS, le mât d'antennes H.F. l'astrodome et enfin le cadre gonio.



en liaison et parle avec lui. Vol de groupe avec l'avion de secours.

LECHEVALIER aperçoit les premières lueurs du phare de CASA balayant la mer; il pousse alors un fameux soupir: « La voiture est sauvée ». NEMES annonce par radio son arrivée à CASA pour 20 h. 20 Tu.

A 20 h. 10, les premières lueurs de la ville sont survolées.

A 20 h. 20 la piste est abordée. Le contact avec le sol se produit. Pas trop violent. Malheureusement la roue avant, bloquée dans sa direction, ne gouverne plus.

Impossible de rester dans l'axe de la piste. LECHEVALIER, dévie de 2 à 3 degrés en diagonale. Il s'arc-boute alors sur ses freins, l'appareil pique du nez et s'arrête brutalement.

L'aventure est terminée.

Sur l'aérodrome, c'est la ruée. Voitures de pompiers, voiture-pilote et gens de toutes sortes entourent l'appareil et l'équipage.

Fig. 3 - Un autre « Constellation », de retour de courrier, est ramené aux hangars.



Informations

Les nouvelles installations de télécommunications de l'artère Paris-Toulouse de la S.N.C.F. ont reçu récemment la visite de techniciens français et étrangers.

Le tronçon Paris-Vierzon de cette liaison par la S.A.T. (Société Anonyme de Télécommunications) est basé sur l'utilisation d'un câble à paires coaxiales à petit diamètre 1,2 - 4,4 permettant la transmission simultanée de 300 conversations téléphoniques. Le conducteur central est isolé du conducteur extérieur par un tube isolant continu, dont les pincements à intervalles réguliers en assurent le centrage parfait.

D'importantes câbleries en Gran-

de-Bretagne, en Allemagne, en Suède, en Belgique, en Suisse, au Japon et aux U.S.A. ont dès maintenant acquis le droit de fabriquer sous licence des câbles par ce procédé original.

Les équipements sont entièrement miniaturisés et transistorisés. Les amplificateurs intermédiaires sont placés dans des pots pouvant être enterrés dans le sol et sont téléalimentés et télésurveillés.

Pour le tronçon Vierzon-Toulouse, la S.N.C.F. a retenu un nouveau système de transmission entièrement transistorisé qui utilise un seul câble coaxial aérien fixé aux supports des catenaires de la ligne S.N.C.F. Ce système a été étudié et réalisé, selon les techniques éprouvées des câbles sous-marins intercontinentaux, par la C.I.T. (Compagnie Industrielle des Télécommunications) et par les Câbles de Lyon, du grou-

pe de la Compagnie Générale d'Electricité; la pose a été effectuée par les Etablissements Collet Frères.

Ce système de transmission téléphonique apporte une solution moderne économique aux problèmes posés par l'établissement de liaisons à capacité moyenne (120 à 300 voies) et à grande distance (au delà de 1 000 kilomètres) grâce, d'une part, à l'utilisation d'un câble coaxial unique en aluminium et polyéthylène qui se prête à des procédés de pose rapide et économique, et d'autre part grâce à la mise au point de répéteurs téléalimentés et télésurveillés à régulation automatique et à double chemin d'amplification, complètement protégés contre la foudre.

Ce système a été l'objet de réalisations à l'Etranger, notamment au Congo; il équipera prochainement, en Algérie, le nouveau pipe-line Arzew-Hassi-Messaoud.

CIRCUITS AVEC INDUCTANCE - CAPACITE - RESISTANCE

CIRCUITS A COURANT ALTERNATIF

Dans les précédentes leçons, nous avons étudié séparément les propriétés fondamentales des circuits résistifs, inductifs et capacitifs et nous avons établi ce qui suit :

- 1) La chute de tension aux bornes d'une résistance est en phase avec le courant.
- 2) La chute de tension aux bornes d'une inductance est *en avance* de 90° sur le courant.
- 3) La chute de tension aux bornes d'une capacité est *en retard* de 90° sur le courant.

Ces trois relations sont mises en évidence sur les graphiques de la figure 1. Dans ces trois graphiques, la direction des vecteurs indique l'angle de phase, tandis que leur longueur dépend uniquement des valeurs choisies pour un circuit déterminé. C'est ainsi que, si I est l'intensité efficace du courant, aussi bien dans L que dans R et dans C , l'amplitude des tensions respectives à leurs bornes est donnée par :

$$E_R = IR \quad E_L = IX_L = I(2\pi fL) \quad E_C = IX_C = I(1/2\pi fC)$$

Puisque l'amplitude du courant alternatif passant dans un circuit est constamment variable, la chute de tension aux bornes des divers éléments sera également variable dans le temps, mais la même variation ne se produit pas au même instant dans chacun d'eux. C'est pour cette raison que la loi de Kirchhoff (appliquée à un circuit à courant alternatif) doit être comprise dans le sens que, à chaque instant, la somme des chutes de tension dans un circuit fermé est égale à la somme des augmentations de tension, c'est-à-dire à la tension totale appliquée au circuit.

La figure 2 représente un circuit-série $L-C-R$. Les symboles e , e_R , e_L et e_C indiquent les valeurs instantanées des tensions. On a donc :

$$e = e_R + e_L + e_C$$

Cette relation se vérifie pour tous les instants de la période d'un courant alternatif.

Une tension instantanée ne peut donc pas être calculée au moyen de la loi d'Ohm, laquelle est valable uniquement pour les tensions maxima, efficaces ou moyennes, comme nous le verrons par la suite. Toutefois, il est parfaitement possible d'effectuer les calculs en courant alternatif, alors que l'on connaît les valeurs efficaces et la phase. C'est ainsi que l'analyse vectorielle dans laquelle la phase est représentée par un angle et la valeur efficace comme une longueur,

peut être employée pour faire la somme algébrique des tensions ou des courants sinusoïdaux.

Supposons par exemple, qu'un générateur de courant alternatif, fournissant une tension de 100 volts sous une fréquence de 50 hertz, soit relié à un circuit-série comportant une résistance de 6 ohms et une réactance de 8 ohms, comme le montre la figure 3-A.

Pour les circuits $L-R$, la somme vectorielle des chutes de tension aux bornes de la résistance et de l'inductance doit être égale à la tension appliquée au circuit. Du moment que E_R est en phase avec I , tandis que E_L est en avance de 90° par rapport à I , leur somme vectorielle, égale à 100 volts, est donnée par l'hypoténuse du triangle (figure 3-B).

Le théorème de Pythagore nous donne :

$$E^2 = E_R^2 + E_L^2$$

En portant dans l'équation les valeurs connues on a :

$$(100)^2 = (IR)^2 + (IX_L)^2 \quad \text{soit} \quad (100)^2 = 36 I^2 + 64 I^2$$

$$(100)^2 = 100 I^2 \quad \text{d'où} \quad I^2 = 100 \quad \text{et} \quad I = 10$$

E_R est la chute de tension aux bornes de la résistance, elle est égale au produit IR , qui vaut $6 \times 10 = 60$ volts. E_L est la chute de tension aux bornes de l'inductance, elle est égale au produit IX_L , soit à $8 \times 10 = 80$ volts. La tangente de l'angle de phase φ est égale à $E_L : E_R$, soit à $X_L : R = 8 : 6 = 1,33$.

En consultant la table des fonctions trigonométriques publiée dans notre 24^{ème} leçon, on trouve qu'à une tangente dont la valeur est 1,33, correspond un angle de $53^\circ 1'$, qui est donc, dans ce circuit particulier, l'angle de retard du courant sur la tension. Le résultat est représenté graphiquement dans la figure 3-C.

On peut déterminer d'une manière analogue le courant, la tension et l'angle de phase d'un circuit en série du type $R-C$. La figure 4-A représente un circuit composé d'une résistance de 3 ohms et d'une réactance capacitive de 4 ohms, en série avec une source de tension alternative produisant une tension de 300 volts à 50 hertz. Comme dans le cas précédent, la somme vectorielle des chutes de tension aux bornes de la résistance et de la capacité est égale à la tension totale. Etant donné que E_R est en phase avec I , tandis que E_C est en retard de 90° sur I , leur somme vectorielle, égale à 300 volts, est constituée par l'hypoténuse du triangle rectangle (figure 4-B). On a donc :

$$E^2 = E_R^2 + E_C^2$$

d'où, en substituant aux lettres leurs valeurs numériques, on tire :

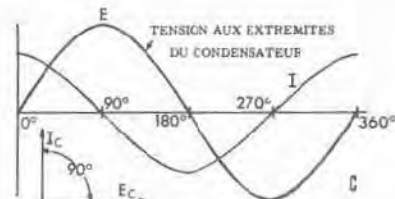
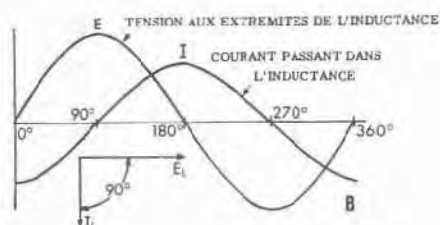
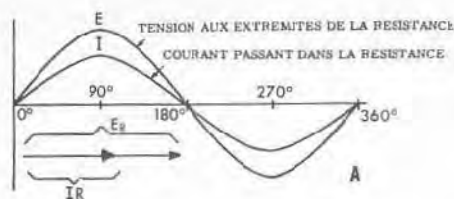


Fig. 1 - Dans ces figures sont illustrées par des sinusoïdes et des représentations vectorielles: en A, la relation entre courant et tension aux bornes d'une résistance (en phase); en B, aux bornes d'une inductance (E en avance de 90° sur I); en C, aux bornes d'un condensateur (E en retard de 90° sur I).

$$(300)^2 = (3 \times I)^2 + (4 \times I)^2 = 25 I^2$$

En extrayant la racine carrée des deux nombres on a:

$$300 = 5 I \text{ d'où } I = 300 : 5 = 60 \text{ ampères.}$$

E_R , qui est la chute de tension aux bornes de la résistance, est égale au produit IR c'est-à-dire à $60 \times 3 = 180$ volts. E_C , qui est la chute de tension aux bornes du condensateur, est égale au produit IX_C , soit $60 \times 4 = 240$ volts. La tangente de l'angle de phase φ est égale à $E_C : E_R = X_C : R = 4 : 3 = 1,33$. En consultant à nouveau la table des fonctions trigonométriques, nous trouvons encore, que l'angle φ est de $53^\circ 10'$. Dans ce circuit, le courant est en avance sur la tension d'un angle de $53^\circ 10'$. Le graphique de la figure 4-C illustre ce résultat.

CIRCUIT-SERIE L-C-R

Quand les trois éléments de base d'un circuit, c'est-à-dire la résistance, l'inductance et la capacité, se trouvent réunis dans un seul circuit, les chutes de tension le courant et les angles de phase peuvent être déterminés en combinant les méthodes de calcul décrites ci-dessus. La figure 5-A schématise un circuit-série L-C-R comprenant une résistance ohmique de 6 ohms, une réactance inductive de 8 ohms et une réactance capacitive de 16 ohms, relié aux bornes d'une source de tension délivrant 300 volts à 50 hertz.

Les sections B et C de la figure 5 donnent respectivement, les représentations graphiques et vectorielles de ce circuit. Puisque dans un circuit-série, le courant a la même intensité en tous les points, le vecteur E_C est en retard de 90° sur I . Par conséquent, E_L et E_C sont déphasés de 180° , l'un par rapport à l'autre, et leur somme vectorielle est égale à leur différence.

C'est ainsi que, E_C étant plus grand que E_L , la tension réactive résultante est égale à $E_C - E_L$, soit à:

$$16 I - 8 I = 8 I$$

La tension réactive résultante est en retard de 90° sur I car elle a la même direction que E_C , c'est-à-dire celle du plus grand vecteur.

La section D de la figure 5 est le diagramme vectoriel qui en dérive; il nous apprend que:

$$E^2 = (IR)^2 + (IX)^2$$

En substituant aux lettres les valeurs numériques:

$$(300)^2 = 36 I^2 + 64 I^2 = 100 I^2$$

D'où en extrayant la racine carrée, on a:

$$300 = 10 \times I \text{ et } I = 300 : 10 = 30 \text{ ampères}$$

La chute de tension aux bornes de la résistance, E_R , est égale à IR , c'est-à-dire à $30 \times 6 = 180$ volts. La chute de tension aux bornes de l'inductance est égale à $E_L = IX_L = 30 \times 8 = 240$ volts et, enfin, la chute de tension aux bornes du condensateur est $E_C = IX_C = 30 \times 16 = 480$ volts.

Etant donné que la réactance capacitive de valeur plus élevée, annule complètement la réactance inductive, le circuit tout entier est capacitif; il s'ensuit que le courant est en avance sur la tension d'un angle φ . La tangente de cet angle, $\tan \varphi$, est donnée par:

$$\frac{X_C - X_L}{R} = \frac{8}{6} = 1,33$$

là encore, l'angle de phase est de $53^\circ 10'$.

L'étude du circuit-série L-C-R met en relief les points importants ci-dessous:

- 1) Le courant passant dans un circuit L-C-R peut être en retard ou en avance sur la tension, selon que X_L ou X_C est le plus grand des deux.
- 2) Une chute de tension capacitive dans un circuit-série, se soustrait toujours directement de la chute de tension inductive.
- 3) La chute de tension aux bornes d'un élément présentant une réactance peut avoir une valeur efficace plus élevée que celle de la tension appliquée au circuit.

On peut vérifier ce dernier point en constatant que, dans le circuit de la figure 5, E_C a une valeur efficace de 480 volts, alors que la tension d'alimentation du circuit n'est que de 300 volts seulement. Ce phénomène ne peut absolument pas se produire dans un circuit à courant continu car dans ce cas, les chutes de tension s'additionnent arithmétiquement et, par consé-

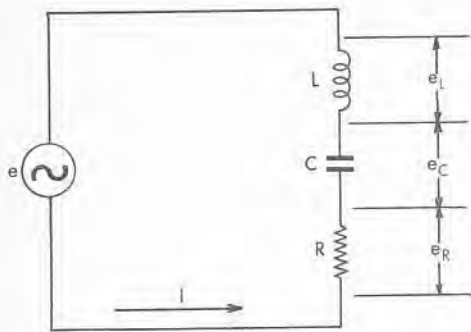


Fig. 2 - Circuit avec L-C-R en série. Les symboles représentent les valeurs instantanées ($e = e_R + e_L + e_C$) qui ne permettent pas l'application de la loi d'Ohm valable pour les circuits en courant continu.

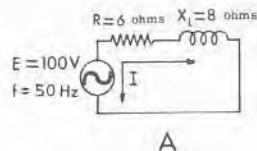


Fig. 3 - Circuit-série L-R et représentation vectorielle et sinusoïdale du déphasage entre courant et tension.

quent, chacune d'elles est nécessairement inférieure à la tension totale. Le fait que l'inverse puisse se produire en courant alternatif, a été noté plus haut lorsque nous avons expliqué que la loi de Kirchhoff ne s'applique qu'aux valeurs *instantanées* de la tension.

ANALYSE DES CIRCUITS-SERIE L-C-R

Les diverses relations exposées ci-dessus peuvent être maintenant, généralisées et il est possible de calculer l'intensité du courant, l'impédance, les chutes de tension et les angles de phase dans n'importe quel circuit-série du type L-C-R. La figure 6-A donne le schéma d'un circuit-série comprenant une inductance L , une capacité C et une résistance R . Le circuit est relié aux bornes d'une source donnant une tension d'amplitude E et de fréquence f . La section B de la figure donne le diagramme vectoriel.

La chute de tension, IR aux bornes de la résistance, est représentée en phase avec le courant I . La chute de tension aux bornes de l'inductance est au-dessus de l'axe zéro; celle aux bornes de la capacité est au-dessous de cet axe. La section C de la figure 6 illustre les vecteurs résultants, tandis que le triangle de la tension (ayant E_R comme base et $E_L - E_C$ comme hauteur) est représenté dans la section D de la figure. La tension résultante, E (égale à la tension appliquée au circuit) est l'hypoténuse de ce triangle; on a donc:

$$E^2 = I^2 R^2 + I^2 (X_L - X_C)^2 \text{ d'où } E^2 = I^2 [R^2 + (X_L - X_C)^2]$$

dont la racine carrée est:

$$E = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \text{ d'où } I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

Or dans un circuit à courant alternatif, l'intensité I est égale à E/Z ; on en conclut donc que Z , c'est-à-dire l'impédance totale du circuit L-C-R, est égale à la racine carrée du carré de la résistance plus le carré de la différence des réactances; en d'autres termes:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

En examinant le triangle formé par les vecteurs des tensions, nous voyons que le courant est en retard d'un angle φ sur la tension, dont la tangente est donnée par:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{E_L - E_C}{E_R}$$

de laquelle, par substitution et réduction on tire:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

D'une manière analogue, on trouve que le cosinus de φ est égal à $E_R : E$, d'où:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} \quad \text{et} \quad Z = \frac{R}{\cos \varphi}$$

Ces résultats peuvent être écrits sous une autre forme. Puisque:

$$X_L = 2\pi fL \quad \text{et} \quad X_C = 1 : 2\pi fC,$$

on a:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}$$

Dans tous les calculs ci-dessus, E et I sont les valeurs efficaces des tensions et des courants.

En examinant la formule générale donnant la valeur de Z , on peut constater que, si la réactance inductive X_L est plus grande que la réactance capacitive X_C , la chute de tension inductive est plus grande que la capacitive et la somme algébrique est une tension inductive; ce qui signifie que cette tension est en avance de 90° sur le courant. Par contre, si la réactance capacitive est supérieure à celle inductive, le contraire se produit et la somme algébrique est capacitive: le courant est alors, en avance de 90° sur la tension. Enfin, si la réactance inductive et la réactance capacitive sont égales, leur somme algébrique est égale à zéro et il se produit alors, le phénomène dit de *résonance*. Dans ce cas les chutes de tension inductive et capacitive sont d'égale amplitude et sont déphasées de 180° ; par conséquent, leur somme vectorielle est égale à zéro. En pratique, cela signifie qu'à chaque instant, la chute de tension e_C aux bornes de la capacité, ajoutée à la chute de tension e_L , aux bornes de l'inductance, donne pour résultat zéro, ce qui s'exprime par l'équation suivante:

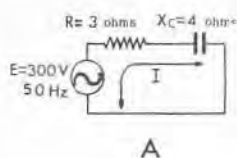


Fig. 4 - Circuit-série R-C et représentation vectorielle et sinusoïdale de déphasages entre courant et tension.

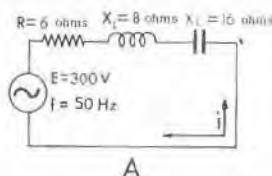
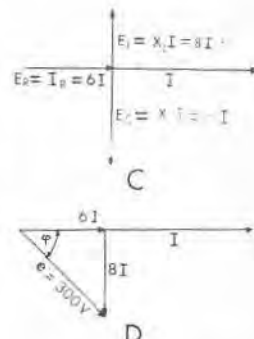
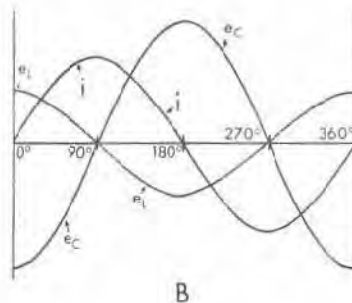
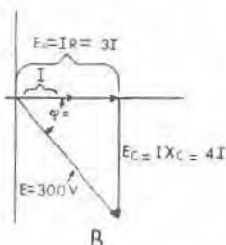
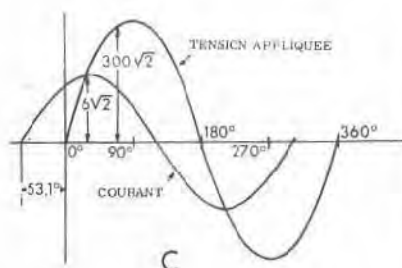


Fig. 5 - Circuit-série L-C-R et représentation vectorielle et sinusoïdale des déphasages réciproques.



$$e_C + e_L = 0 \quad \text{d'où} \quad e_C = -e_L$$

Ces résultats sont traduits graphiquement sur la figure 7-A. On dit qu'un circuit-série L-C-R est en résonance quand $X_C = X_L$. En outre, étant donné qu'il n'existe aucune tension réactive, l'impédance du circuit est égale à la résistance en courant continu du circuit lui-même. L'angle de phase φ , a une tangente égale à zéro et un cosinus égal à 1, ce qui signifie que le courant circulant dans le circuit est en phase avec la tension qui lui est appliquée. La figure 7-B donne la représentation vectorielle de ce qui précède.

Il est important de noter toutefois, que, bien que la somme vectorielle des tensions réactives, soit égale à zéro, la tension aux bornes de chacun des éléments est relativement élevée, car elle est déterminée, pour chacun d'eux, par leur réactance propre et l'intensité du courant qui les traverse. Dans un circuit en résonance, l'intensité du courant est maximum, car elle est limitée seulement par la résistance ohmique, R , du circuit; il s'ensuit que la chute de tension aux bornes de chacun des éléments atteint également sa valeur maximum, et peut être très supérieure à la tension de la source.

Un circuit-série du type R-L-C peut se présenter, vis-à-vis de la source d'alimentation à laquelle il est relié, comme un circuit des types suivants:

- 1) Un circuit RL ($X_L > X_C$): le circuit est *inductif*, la réactance inductive étant plus grande que la réactance capacitive.
- 2) Un circuit RC ($X_C > X_L$): le circuit est *capacitif*, la réactance capacitive étant plus grande que la réactance inductive.
- 3) Un circuit R ($X_L = X_C$): le circuit est en *résonance*, les deux réactances sont égales et s'annulent. C'est le cas le plus important.

La fréquence de résonance d'un circuit L-C-R peut être déterminée à partir des réactances individuelles qui dépendent toutes deux de la fréquence. En effet, la réactance inductive est égale à $2\pi fL$, tandis que la réactance capacitive est égale à $1/2\pi fC$. Il s'ensuit que, à la résonance $X_L = X_C$, on a:

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}, \text{ en résolvant par rapport à } f$$

$$f^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC} \quad \text{ou} \quad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Cette formule donne la fréquence f à laquelle se produit la résonance d'un circuit-série du type L-C-R. De l'examen de la formule ci-dessus on peut conclure que, quelles que soient les valeurs de L et de C , le circuit aura toujours une *fréquence de résonance propre*. On peut donc en déduire que si la source de fréquence est fixe, il est possible de faire en sorte que le circuit entre en résonance sur cette fréquence.

CIRCUITS L-C EN PARALLELE

Dans l'étude des théories relatives à l'inductance et à la capacité, nous avons vu que les circuits en parallèle des types L-R et C-R diffèrent des circuits-série du même genre, du fait que la tension aux bornes de L et de R , ou de C et de R , a la même valeur; les courants sont déphasés de 90° , et le courant total (courant de ligne) est en retard (L-R) ou en avance (C-R) sur la tension d'un angle inférieur à 90° . Nous savons aussi que le courant total est plus grand que ceux passant dans chacune des branches parallèles et que, par conséquent, l'impédance totale est inférieure à celle des composants pris individuellement.

À la différence de ce qui se produit dans un circuit-série réactif, une augmentation de la résistance d'un circuit en parallèle réduit l'intensité du courant passant dans la branche correspondante et augmente l'efficacité de l'inductance ou de la capacité; ce qui rend le circuit plus réactif au fur et à mesure que l'angle de déphasage φ se rapproche de 90° .

Dans ce cas, la condition limite serait celle où la résistance aurait une valeur ohmique infinie; la branche dans laquelle elle est placée pourrait alors être considérée comme ouverte et le courant et la tension aux bornes de l'élément réactif seraient déphasés de 90° .

Par contre, dans un circuit en parallèle, la diminution de la résistance produit une augmentation de

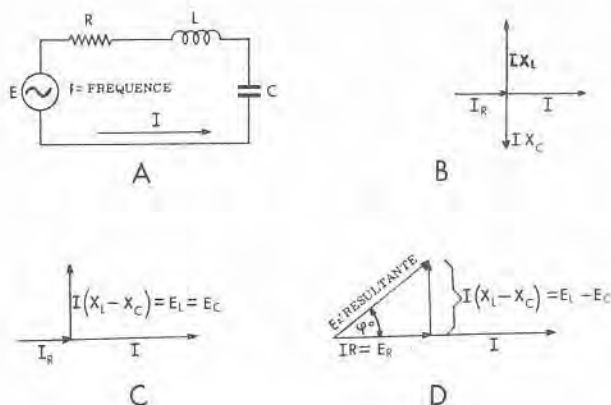


Fig. 6 - Circuit-série L-C-R. En B représentation vectorielle; en C, vecteurs résultants; en D, triangle dont l'hypoténuse donne la valeur de la tension résultante.

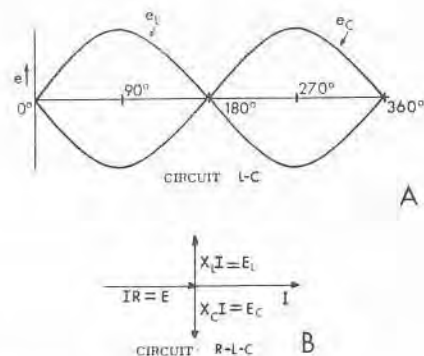


Fig. 7 - Cas classique d'égalité entre la réactance inductive et la réactance capacitive (résonance): la somme vectorielle est égale à zéro. En B, représentation vectorielle obtenue en tenant compte également de la résistance R du circuit.

l'intensité du courant dans la branche correspondante et diminue le rendement effectif de l'inductance ou de la capacité, ce qui a pour effet de rendre le circuit plus résistif au fur et à mesure que l'angle φ tend vers zéro. Dans ce cas, la condition limite serait atteinte lorsque la résistance en parallèle aurait une valeur ohmique égale à zéro, ce qui aurait pour effet de court-circuiter l'élément réactif. La tension et le courant seraient alors, en phase.

Si nous réunissons les circuits-parallèle L-R et C-R en un circuit unique L-C-R, nous trouverons de nouvelles relations entre ces éléments, plus compliquées du fait du comportement particulier de L et de C à la fréquence de résonance. C'est pourquoi, négligeant pour le moment l'effet de la résistance, nous pouvons étudier exclusivement les caractéristiques du circuit L-C. La figure 8-A donne le schéma simplifié d'un tel circuit: il comporte une réactance inductive de 100 ohms, en parallèle sur une réactance capacitive de 50 ohms. Aux bornes de l'ensemble est appliquée une tension de 300 volts. La représentation graphique des courants est donnée par la figure 8-B. Du moment que la tension appliquée est la même sur les deux éléments, elle peut être retenue comme valeur de référence. Le courant passant dans l'inductance est représenté en retard de 90° ; il en résulte que ces deux courants sont déphasés entre eux, de 180° .

L'intensité du courant passant dans l'inductance est donnée par $I_L = E : X_L = 300 : 100 = 3$ ampères, et celui passant dans le condensateur a une intensité de $I_C = E : X_C = 300 : 50 = 6$ ampères.

Etant donné que ces courants sont déphasés de 180° , il est possible d'en faire la somme algébrique pour obtenir la valeur effective du courant de ligne, soit $I_T = I_C - I_L = 6 - 3 = 3$ ampères.

Le courant total a donc une intensité de 3 ampères; il est représenté par la ligne en traits discontinus sur la section B de la figure 8. Il est en avance de 90° sur la tension, et le circuit se comporte comme un circuit capacitif, pour la source de tension, car l'effet de la réactance inductive est complètement annulé par la réactance capacitive de valeur plus élevée; ceci

est illustré sur le diagramme vectoriel de la figure 8-C.

L'impédance totale de ce type de circuit-parallèle présente un intérêt particulier. En effet, dans toutes nos analyses précédentes, nous avons constaté que l'impédance résultant de n'importe quel circuit parallèle est toujours inférieure à celle d'un des composants, que ce soit en courant continu ou en courant alternatif. Mais, dans ce cas particulier, on trouve que l'impédance totale du circuit $Z_T = E_T : I_T = 300 : 3 = 100$ ohms. Cette valeur d'impédance totale (100 Ω) pour ce circuit est supérieure à X_C (50 Ω) et égale à X_L (100 Ω).

On aurait pu trouver le même résultat en utilisant la formule, déjà connue, permettant de calculer l'impédance totale d'un circuit composé de deux éléments en parallèle, soit:

$$Z_R = \frac{X_L \times X_C}{X_L + X_C}$$

de laquelle, en portant les valeurs connues, on tire:

$$Z_R = \frac{100 \times (-50)}{100 + (-50)} = -100 \text{ ohms}$$

Etant donné que X_L et X_C sont également déphasés de 180° , l'un par rapport à l'autre, leurs valeurs, peuvent être additionnées algébriquement. Le signe — (moins) indique la réactance capacitive, considérée, conventionnellement, comme étant de signe contraire à la réactance inductive. Il en résulte donc que $Z_R = -100 \Omega$.

En examinant la formule $Z_R = \frac{X_L \times X_C}{X_L + X_C}$ il est

intéressant, et très important, de constater qu'à la fréquence de résonance, (c'est-à-dire celle pour laquelle $X_L = X_C$), le dénominateur de la fraction est égal à zéro et qu'en ce cas, l'impédance totale prend une valeur tendant vers l'infini.

Naturellement, en pratique, il est bien évident que ni L ni C, ne peuvent jamais présenter une réactance pure au circuit; c'est pourquoi, on peut dire qu'à la fréquence de résonance, un circuit parallèle du type L-C présente une impédance maximum à la tension appliquée, tandis que le courant passant dans le circuit a une intensité minimum. Au delà de cette fréquence, l'impédance tota-

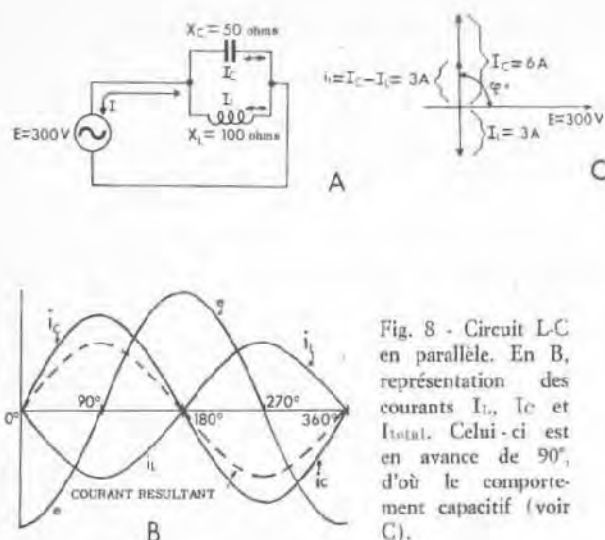


Fig. 8 - Circuit L-C en parallèle. En B, représentation des courants I_L , I_C et I_{Total} . Celui-ci est en avance de 90° , d'où le comportement capacitif (voir C).

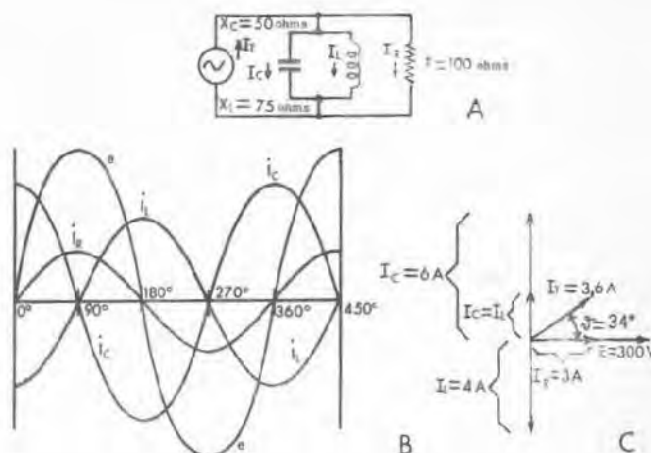


Fig. 9 - Circuit parallèle L-C-R. En B allure de courants et en C, représentation vectorielle.

le diminue rapidement, tandis que le courant augmente avec la même rapidité.

En poursuivant l'étude de cette formule on constate que, lorsque l'impédance d'une des réactances est la double de celle de l'autre (voir l'exemple ci-dessus), l'impédance du circuit est égale à celle des deux qui a la valeur la plus élevée. Au fur et à mesure qu'augmentent la différence entre ces deux valeurs, l'impédance totale tend à prendre une valeur comprise entre X_L et X_C , valeur qui est toujours plus forte que la plus petite des deux, et toujours plus faible que la plus grande.

CIRCUITS EN PARALLELE L-C-R

Nous pouvons maintenant, considérer un circuit parallèle L-C-R comme un circuit L-C (soumis à l'action réciproque de L et de C) auquel on a ajouté une résistance R, c'est-à-dire une résistance ohmique pure.

La figure 9-A en donne un exemple. A n'importe quelle fréquence, en dehors de celle de résonance, (c'est-à-dire avec X_L et X_C de valeurs différentes), les courants dans L et dans C seront d'intensité différente et leur déphasage sera de 180° . Le courant total sera ainsi inductif ou capacitif selon que l'un ou l'autre des éléments aura la plus forte réactance.

C'est ainsi que, vis-à-vis du générateur, le circuit équivaldra soit à une inductance, soit à une capacité en parallèle sur une résistance R. Le courant total (ou courant de ligne) sera donc égal à la somme vectorielle du courant réactif et du courant résistif, tout comme si le circuit n'était composé que d'une seule réactance et d'une résistance.

Par exemple, le circuit de la figure 9-A se compose d'une réactance inductive de 75 ohms, d'une réactance capacitive de 50 ohms et d'une résistance de 100 ohms, le tout étant branché aux bornes d'un alternateur délivrant une tension de 300 volts. La figure 9-B donne la représentation graphique des courants dans ce circuit. Il est facile de constater que les courants réactifs sont déphasés de 180° , l'un par rapport à l'autre, et qu'ils sont déphasés tous les deux de 90° vis-à-vis du courant résistif qui, lui, est en phase avec

la tension appliquée. Les intensités de ces divers courants sont: $I_L = 300 : 75 = 4$ ampères; $I_C = 300 : 50 = 6$ ampères et $I_R = 300 : 100 = 3$ ampères.

Le courant réactif total, I_X , qui est égal à $I_C - I_L$, a donc une intensité de 2 ampères. Comme le montre la figure 9-C, le courant total de ligne est égal à la somme vectorielle du courant réactif (capacitif) et du courant passant dans la résistance, soit:

$$I_T = \sqrt{I_X^2 + I_R^2} = \sqrt{13} = 3,6 \text{ ampères}$$

On en déduit que l'impédance totale du circuit, Z_T , est égale à $E : I_T = 300 : 3,6 = 83$ ohms.

L'angle de phase ϕ , représentant le retard du courant de ligne sur la tension appliquée aux bornes du circuit, a pour cosinus: $Z : R = 83 : 100 = 0,83$; à cette valeur du cosinus (voir la table des fonctions trigonométriques) correspond un angle de 34° .

Au point de résonance, les deux courants réactifs s'annulent réciproquement et le courant total est constitué par le seul courant résistif; on a donc:

$$I_C - I_L = 0; \quad I_T = I_R; \quad I_T = E : R; \quad Z_T = R; \\ \cos \theta = Z : R = 1 \quad \text{et} \quad \phi = 0^\circ$$

Le courant et la tension sont effectivement en phase aux bornes de la résistance. Il convient de remarquer à nouveau qu'une résistance mise en parallèle sur un circuit L-C tend à annuler les effets de la composante réactive; c'est ce que nous avons déjà vu, plus haut à propos des circuits en parallèle, L-R et C-R. A la fréquence de résonance, l'impédance totale du circuit est égale à la résistance ohmique; la caractéristique essentielle d'un circuit résonnant parallèle, qui est d'opposer une impédance maximum au passage du courant se trouve être ainsi réduite ou annulée par la présence de R mise en parallèle sur le circuit L-C.

PUISSANCE ABSORBÉE DANS UN CIRCUIT EN C.A.

Dans un circuit en courant continu, la valeur de la puissance absorbée par une résistance, ou par l'ensemble du circuit, peut être facilement calculée en appliquant la loi de Joule, $P = I^2 R$; dans laquelle P = puissance absorbée en watts, I = intensité du courant

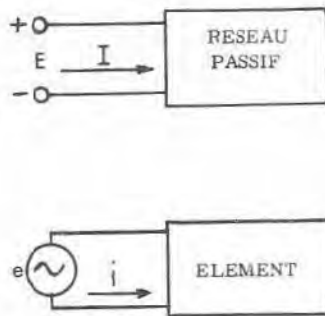


Fig. 10 - Avec une charge en courant continu, la puissance est égale à $I^2 \times R$.

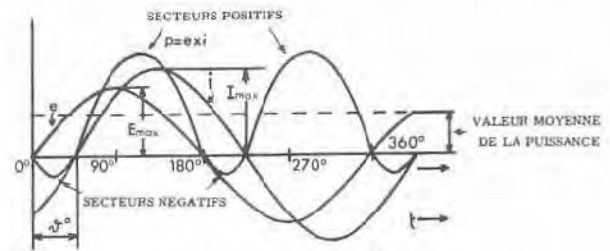


Fig. 11 - Courant, tension et puissance instantanée dans un circuit dont le déphasement entre les dits paramètres est zéro.

total en ampères et R = résistance totale en ohms. Etant donné que la chute de tension aux bornes d'une résistance R est égale à IR , la formule ci-dessus peut être écrite comme suit: $P = IR \times I = I^2 R$.

Cette formule, pour calculer la puissance absorbée dans un circuit en courant continu, est d'usage général et peut s'appliquer à n'importe quel type de circuit passif (c'est-à-dire ne contenant pas de source interne d'énergie). La figure 10 en donne un exemple; la puissance absorbée est égale au produit de la tension par le courant de ligne, $P = EI$.

Quand il s'agit de circuits parcourus par un courant alternatif, le calcul de la puissance absorbée est plus complexe. Etant donné que la tension et le courant varient continuellement d'amplitude, le produit e par i (tension et courant instantanés) est également une fonction du temps, et il donne la puissance instantanée p . Cependant, ces deux quantités sont déphasées d'un certain angle ϕ , comme nous l'avons vu à maintes reprises; la figure 11 donne la représentation graphique du courant, de la tension et de la puissance graphique du courant, de la tension et de la puissance instantanée dans un circuit dont l'angle de déphasage est nul (égal à zéro). Ce graphique révèle certaines caractéristiques importantes de la puissance instantanée.

- 1) L'amplitude de la puissance varie avec une fréquence double de celle de la tension; c'est ainsi qu'elle accomplit deux cycles complets pendant un seul cycle de la tension ou du courant.
- 2) La courbe représentative de la puissance a des alternances positives et négatives. Ensuite, pendant une partie de la période, p est négatif et l'on doit comprendre par là que pendant ce temps, l'énergie est restituée au générateur. Cette caractéristique est extrêmement importante car elle démontre que dans un circuit en courant alternatif, l'énergie passe de la source au circuit pendant une partie du cycle et inversement, passe du circuit vers la source pendant une autre partie de ce même cycle; c'est ainsi que, dans le cas où la puissance restituée est égale à celle absorbée, la consommation est nulle.

La surface comprise entre la partie positive de la courbe et l'axe, représente l'énergie fournie à la charge, tandis que la surface comprise entre la partie négative de la courbe et l'axe (en dessous de cet axe), représente l'énergie restituée par le circuit à la source d'alimentation. Compte tenu de ce qui précède, nous pouvons donc faire les remarques suivantes:

- 1) Si au cours d'un cycle (360°), la surface de la partie positive de la courbe de p est plus grande que celle de la partie négative, l'énergie fournie par le générateur à la charge est positive, c'est-à-dire qu'il y a consommation d'énergie.
- 2) Pour des surfaces égales, l'énergie consommée est nulle.
- 3) Si, par contre, la surface de la partie négative de la courbe de p est plus grande que celle de la partie positive, l'énergie est fournie pratiquement par la charge et absorbée par le générateur.

De tout ce qui précède nous pouvons en déduire que:

- 1) Si l'énergie transmise par le générateur à la charge est positive, le circuit a une composante résistive, l'énergie y étant dissipée sous forme de chaleur et ne pouvant donc plus être restituée à la source.
- 2) Si cette énergie est nulle, cela signifie que le circuit est constitué par des éléments réactifs purs, dans lesquels aucune puissance n'est dissipée.
- 3) Si l'énergie est transmise de la charge au générateur, le circuit contient son propre générateur, qui délivre une puissance supérieure à celle disponible aux bornes de la source et qui est absorbée par celle-ci.

La figure 12 illustre ce qui vient d'être dit au moyen de graphiques montrant l'allure des courbes relatives à la tension, le courant et la puissance pour les trois types de circuits en courant alternatif: capacitif, inductif et résistif. Dans les figures 12-A et 12-B, la surface de l'alternance positive est égale à celle de l'alternance négative. C'est ainsi que le condensateur du schéma A, se charge pendant le premier quart de la période et se décharge dans le générateur pendant le deuxième quart; ce processus se répète à chaque

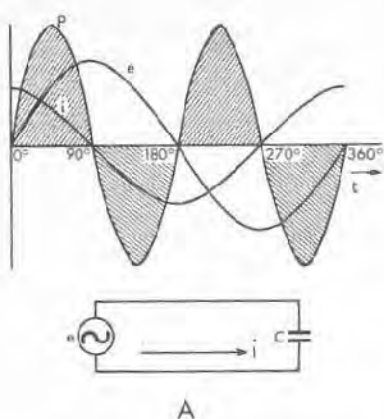


Fig. 12-A - Relations entre courant, tension et puissance dans un circuit capacitif en courant alternatif.

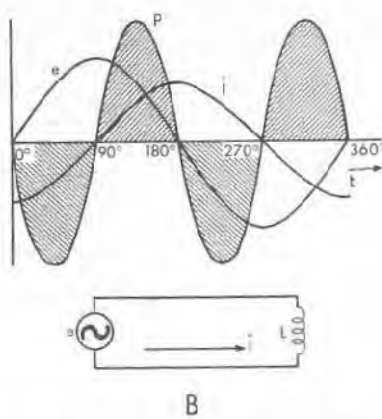


Fig. 12-B - Relations entre courant, tension et puissance dans un circuit inductif en courant alternatif.

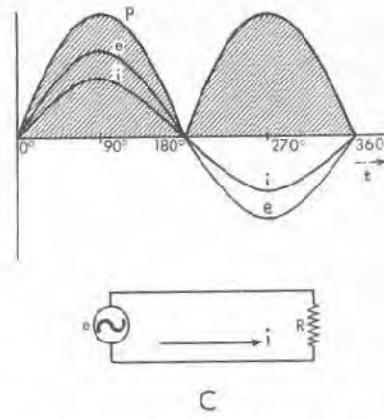


Fig. 12-C - Relations entre courant, tension et puissance dans un circuit résistif en courant alternatif.

demi-période de la tension fournie par le générateur. La figure 12-B montre que le même phénomène se produit lorsque le circuit contient une inductance pure, tandis que la figure 12-C démontre que, dans le cas d'une résistance pure, les surfaces hachurées représentant la puissance sont toujours positives, ce qui veut dire que la résistance absorbe complètement l'énergie, sans jamais en restituer au générateur.

Le comportement des composants réactifs du circuit ne doit pas nous surprendre car — ainsi que nous l'avons signalé précédemment — aussi bien la capacité que l'inductance peuvent emmagasiner de l'énergie sans pertes. Par exemple, l'énergie employée pour charger un condensateur peut être entièrement récupérée en faisant décharger la capacité à travers une résistance; dans ce cas, l'énergie électrostatique du condensateur est transformée en énergie calorifique. De même, l'énergie dépensée pour créer un champ magnétique autour d'une bobine, peut être à son tour récupérée en permettant au courant induit dans la bobine sous l'effet du champ magnétique, de s'écouler à travers une résistance. La figure 13 montre comment on peut réaliser la décharge d'un élément réactif. En A le condensateur C, chargé au préalable, est déchargé à travers la résistance R lorsqu'on ferme l'interrupteur. En B, le courant de la pile qui passe dans L y accumule de l'énergie en créant autour d'elle un champ magnétique; dès que l'on ferme l'interrupteur, l'énergie accumulée dans le champ induit une tension dans l'inductance et produit un courant à travers L, qui se dissipe dans la résistance R sous forme de chaleur.

La résistance R_0 est mise en série avec la pile pour éviter que celle-ci ne soit court-circuitée lorsque l'interrupteur est fermé.

Puissance moyenne

De l'étude de la puissance instantanée que nous venons de faire, on peut en déduire que dans tous les circuits en courant alternatif contenant des éléments réactifs, la seule puissance effectivement dissipée est celle absorbée par la résistance du circuit. Toutefois,

un circuit réactif semble consommer une forte puissance, comme on peut l'imaginer en voyant la surface des alternances positives de la figure 12. Il est donc important de remarquer que, si le générateur reçoit en restitution une partie de l'énergie de la charge, il doit toutefois lui en fournir une grande quantité. Cette puissance que le générateur doit fournir (indépendamment de celle qui lui est restituée) est appelée *puissance apparente*; comme dans tout circuit en courant alternatif, sa valeur est égale au produit des valeurs efficaces de la tension et du courant. On a donc:

$$P \text{ (Puissance apparente)} = EI$$

ou, encore, en substituant $\frac{E_{\max}}{\sqrt{2}}$ à E , et $\frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$ à I , on a:

$$P \text{ (Puissance apparente)} = \frac{E_{\max} I_{\max}}{2}$$

La puissance apparente se distingue de la puissance effective dissipée dans la charge, qui prend, elle, le nom de *puissance moyenne* ou « réelle » et qui correspond à l'énergie absorbée par la résistance du circuit. Elle est également définie comme étant la puissance dissipée dans un circuit pendant un cycle de la tension d'alimentation. Un examen du graphique de la puissance montre qu'elle peut être exprimée au moyen de la formule suivante:

$$P = (\text{Puissance moyenne}) = \frac{(\text{surf. alternance positive}) - (\text{surf. alternance négative})}{\text{longueur d'un cycle en radians}}$$

Toutefois, la différence entre ces surfaces correspond à la différence entre la puissance fournie à la charge et la puissance que celle-ci restitue, c'est-à-dire à la puissance absorbée par la résistance du circuit. C'est pour cette raison que la loi de Joule donne la valeur de la puissance effective consommée dans n'importe quel circuit, qu'il soit en c.c. ou en c.a.

C'est ainsi que, $P \text{ (puissance moyenne)} = I^2 R$.

Mais, comme dans un circuit réactif, l'intensité du courant est égale à $E : Z$, on a:

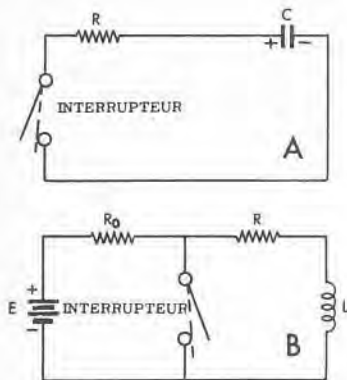


Fig. 13 - Méthodes de décharge d'un élément réactif. Les éléments réactifs (condensateur et inductance) accumulent de l'énergie qu'ils restituent ensuite à la résistance R quand on ferme l'interrupteur.

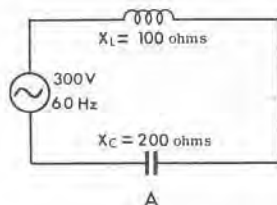


Fig. 14 A - Dans ce circuit (avec X_C et X_L) la puissance apparente est de 900 watts et la puissance moyenne est nulle. Les 900 watts fournis par le générateur sont ainsi restitués intégralement.

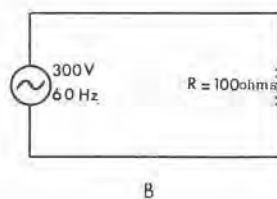


Fig. 14 B - Dans ce circuit (avec R seulement), la puissance apparente et la puissance moyenne sont toutes deux de 900 watts. La puissance fournie par le générateur est donc intégralement dissipée par R.

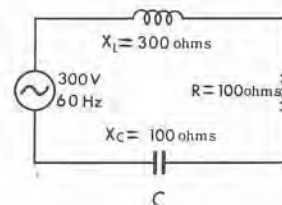


Fig. 14 C - Dans ce circuit (avec X_C , X_L et R), la puissance apparente est de 401 watts et la puissance moyenne de 179 watts. Les éléments réactifs restituent donc 222 watts.

$$P = \frac{E}{Z} \times I \times R \text{ ou bien, en arrangeant les termes:}$$

$$P = EI \times \frac{R}{Z}$$

Le rapport $R : Z$ représente le cosinus de l'angle de phase φ , c'est-à-dire de l'angle que font les vecteurs tension et courant entre eux, comme nous l'avons vu lors de l'étude des circuits L-C-R. Par conséquent, la puissance moyenne est égale au produit de EI par le cosinus de l'angle φ , soit: $P = EI \cos \varphi$ dans laquelle: E = valeur efficace de la tension, I = valeur efficace de l'intensité du courant, φ = angle de phase entre tension et courant et P = puissance moyenne absorbée. Les formules donnant la *puissance apparente* deviennent:

$$P = EI \quad P = I^2 Z \quad P = E^2 : Z$$

Tandis que celles donnant la *puissance moyenne* sont:

$$P = EI \cos \varphi \quad P = I^2 R$$

Un examen plus poussé de la formule relative à la puissance moyenne nous révèle que si l'angle de phase φ est égal à 90° , son cosinus est égal à zéro et la puissance effectivement absorbée est nulle. C'est ainsi que si l'angle de phase est égal à 90° , cela veut dire que le circuit est exclusivement réactif et restitue autant de puissance qu'il en reçoit. Si par contre, l'angle de phase est nul, son cosinus est égal à 1 et le circuit est exclusivement résistif et absorbe toute la puissance fournie par le générateur.

Le facteur $\cos \varphi$ varie donc de zéro à 1 quand l'angle de phase varie de 90° à 0° . Dans les exemples ci-dessous, l'influence de l'angle de phase sur la puissance absorbée est mise en évidence pour les trois circuits de la **figure 14**, à chacun desquels une tension alternative de 300 volts, 50 hertz est appliquée.

1) Le circuit de la figure 14-A comporte une réactance inductive de 100 Ω et une réactance capacitive de 200 Ω . Etant donné que ces deux réactances sont de signes opposés, la réactance résultante est capacitive et de 100 Ω ; le courant passant dans le circuit a une inten-

sité de 3 A. La puissance apparente est égale à:

$$P = EI = 300 \times 3 = 900 \text{ watts}$$

L'angle de phase de ce circuit capacitif est de 90° et le courant est en avance sur la tension. La puissance moyenne est:

$$P = EI \cos \varphi = 300 \times 3 \times \cos 90^\circ = 900 \times 0 = 0 \text{ watt}$$

Il s'ensuit qu'aucune puissance n'est dissipée dans le circuit, quoique le générateur doive fournir 900 watts qui sont intégralement restitués.

2) Le circuit de la figure 14-B comporte une résistance de 100 ohms branchée au bornes du générateur. L'intensité du courant est encore de 3 ampères et du moment que le courant et la tension sont en phase, l'angle de phase est égal à 0° . La puissance apparente est

$$P = EI = 300 \times 3 = 900 \text{ watts}$$

tandis que la puissance moyenne est:

$$P = EI \cos \varphi = 300 \times 3 \times \cos 0^\circ = 900 \times 1 = 900$$

Ainsi dans ce cas, la puissance apparente et la puissance effective sont égales.

3) Le circuit de la figure 14-C comporte une réactance inductive de 300 ohms, une réactance capacitive de 100 ohms et une résistance pure de 100 ohms.

L'impédance est donnée par la formule suivante:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(100)^2 + (200)^2} = \sqrt{50\,000} = 224 \text{ ohms}$$

L'intensité du courant passant dans le circuit est:

$$I = E : Z = 300 : 224 = 1,34 \text{ ampères}$$

L'angle de phase de ce circuit éminemment inductif peut être déterminé au moyen de son cosinus, soit:

$$\cos \varphi = R : Z = 100 : 224 = 0,466$$

ce qui nous donne $\varphi = 63,4^\circ$

La puissance moyenne dissipée dans le circuit est:

$$P = EI = 300 \times 1,34 = 401 \text{ watts}$$

Le circuit consomme 179 watts, mais le générateur doit fournir 401 watts, dont 222 sont restitués sous l'effet des éléments réactifs.

Leçon n° 35

CIRCUITS OSCILLANTS et FILTRES

Les ondes radio-électriques émises par les innombrables émetteurs coexistent toutes, au même moment, dans l'éther; nous savons pourtant qu'un récepteur de radio nous permet de recevoir uniquement la station désirée en accordant ses circuits sur la fréquence de l'émetteur. Nous avons appris, au cours des premières leçons de ce Cours, que la caractéristique qui fait qu'un récepteur puisse *sélectionner*, parmi toutes ces stations, une seule d'entre elles, en éliminant toutes les autres qui pourtant sont reçues au même instant par l'antenne, s'appelle la « sélectivité ». Cette sélectivité, qui est une des qualités importantes d'un récepteur, est obtenue — comme nous l'avons vu précédemment — au moyen d'un ou de plusieurs circuits accordés, constitués par des inductances et des capacités (circuits *L-C*).

Rappelons également — voir leçon précédente — qu'un circuit oscillant « résonne » sur une fréquence déterminée, quand les réactances inductive et capacitive ont la même valeur pour cette fréquence.

Nous avons également appris que le courant parcourant une inductance est en retard de 90° sur la tension, tandis que dans une capacité, il est au contraire en avance de 90° sur la tension; ces deux réactances provoquent donc un déphasage réciproque de 180° et elles peuvent être représentées par des vecteurs de sens opposé. C'est ainsi que si elles sont dans un même circuit, elles se soustraient l'une de l'autre et la réactance effective du circuit est égale à leur différence.

CIRCUIT OSCILLANT SERIE

Considérons le circuit-série de la **figure 1-A**. A la fréquence du générateur, la réactance inductive X_L est de 70 ohms et la réactance capacitive X_C est de 25 ohms. Dans la **figure 1-B** est tracé le diagramme vectoriel des réactances et, comme nous l'avons dit, du moment que X_C est déphasé de 180° par rapport à X_L , nous pouvons l'en soustraire. C'est ainsi que, comme le montre la **figure 1-C**, l'impédance nette du circuit vis-à-vis du générateur se compose d'une résistance pure, R , en série avec une réactance pure de 45 ohms.

Supposons maintenant que la fréquence de la tension produite par le générateur vienne à diminuer: la réactance du condensateur augmentera, tandis que celle de l'inductance diminuera. Si alors, X_C devient plus grand que X_L , la charge du générateur se comportera comme une résistance en série avec une capacité.

Supposons par contre, que la fréquence soit telle que

les deux réactances, inductive et capacitive, soient numériquement égales; dans ce cas, la réactance totale du circuit devient nulle et par suite, l'opposition au passage du courant dans le circuit est due uniquement à la résistance ohmique R .

Quand cela se produit, on dit que le circuit est en « résonance »; s'il ne comprend aucune résistance et si celle de la source de tension est nulle, le courant passant dans le circuit tend à prendre une valeur infinie.

Cependant, n'importe quel circuit a toujours une certaine résistance ohmique et le courant ne peut jamais atteindre une valeur infinie. On notera en outre, qu'il n'y a qu'une seule fréquence pour laquelle les deux réactances sont numériquement égales: en d'autres termes, pour des valeurs données de L et de C , le circuit ne peut résonner que sur une fréquence bien déterminée.

Si la fréquence est plus élevée, le circuit-série oscillant se comporte comme un simple circuit inductif, tandis que si la fréquence est plus basse, il se comporte comme un circuit purement capacitif.

Si nous représentons graphiquement l'intensité du courant passant dans un circuit-série résonnant lorsqu'on augmente la fréquence — la fréquence de résonance étant comprise entre la fréquence la plus faible et la fréquence la plus élevée — on obtient la courbe de la **figure 2-A**. Dans ce cas particulier, la fréquence de résonance f_0 , pour laquelle les deux réactances sont égales, est de 1 000 kHz. Le courant est maximum pour cette fréquence et il diminue rapidement pour des fréquences inférieures ou supérieures.

Puisque l'intensité d'un courant dans un circuit-série est fonction de la valeur de l'impédance de ce circuit, on en déduit que l'impédance d'un circuit-série résonnant a une valeur minimum à la fréquence de résonance. La courbe représentant la variation de l'impédance dans un circuit de type série, en fonction de la fréquence, est donnée dans la **figure 2-B**.

Comme nous le savons, la réactance inductive d'une bobine est donnée par $X_L = 2\pi fL$, tandis que la réactance d'un condensateur a pour valeur, $X_C = 1/2\pi fC$.

Puisqu'à la fréquence de résonance, f_0 , ces deux valeurs sont égales, on a donc:

$X_L = X_C$ c'est-à-dire: $2\pi f_0 L = 1/2\pi f_0 C$, de laquelle, en résolvant par rapport, à f_0 , on tire:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

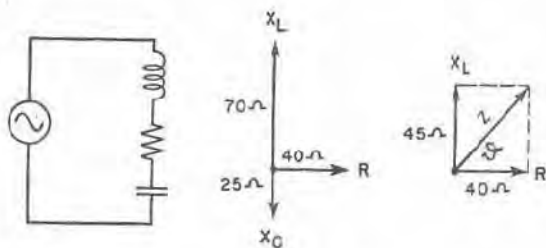


Fig. 1 - Dans le circuit oscillant série (figure A) on peut soustraire la réactance capacitive (X_C) de la réactance inductive (X_L) qui a une valeur plus élevée et qui est déphasée de 180° (figure B). L'impédance nette résultante (figure C) est une résistance pure en série avec la réactance inductive pure résiduelle.

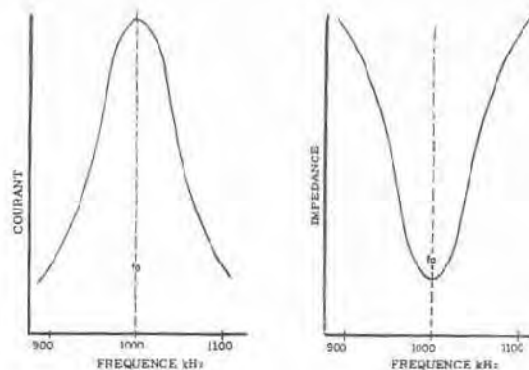


Fig. 2 - Courbe du courant (en A) dans un circuit résonnant série et de l'impédance (en B) dans ce même circuit. La fréquence de résonance est de 1 000 kHz.

Cette équation, qui permet de trouver la fréquence de résonance d'un circuit oscillant, est extrêmement importante en électronique. C'est elle qui permet de calculer les circuits d'accord, les filtres, les circuits réjecteurs et autres dispositifs susceptibles d'être accordés sur une fréquence déterminée.

De cette équation, on peut déduire que la fréquence de résonance d'un circuit peut être changée en faisant varier soit l'inductance, soit la capacité. Nous savons déjà que dans la majorité des récepteurs, l'accord est obtenu en faisant varier la capacité d'un condensateur variable, commandé par un système demultiplicateur; mais nous avons également signalé en son temps que dans certains types de récepteurs, l'accord était obtenu en faisant varier la self-induction d'un bobinage.

Au fur et à mesure qu'une des deux valeurs (inductance ou capacité) s'écarte de celle nécessaire pour obtenir la résonance — soit en plus soit en moins — le courant passant dans le circuit-série diminue rapidement. Toutefois, pour chaque valeur de L ou de C , il est toujours possible de trouver une fréquence sur laquelle la résonance du circuit puisse se produire à nouveau: C'est ainsi que, si l'on fait varier la valeur de la capacité dans le circuit de la figure 1, de telle sorte que la fréquence de résonance soit $f_0 = 1000$ kHz, on constate que l'intensité maximum du courant est atteinte pour cette fréquence. Dans n'importe quel circuit oscillant, dont on se fixe la fréquence de résonance, il existe une infinité de combinaisons entre L et C pour lesquelles la résonance peut être obtenue; l'unique condition indispensable est que le produit LC reste constant, ce qui veut dire que si l'on augmente l'un des deux éléments (L ou C), on doit diminuer l'autre dans la même proportion.

La courbe inférieure de la figure 3 montre la variation de la réactance capacitive d'un condensateur en fonction de la fréquence. Il est facile de voir que la réactance atteint sa valeur maximum aux basses fréquences et que la variation se fait suivant une courbe exponentielle.

La ligne droite supérieure montre, par contre, la

variation de la réactance inductive d'une bobine. La fréquence de résonance est celle pour laquelle X_L est égale à X_C .

Dans un circuit-série oscillant, la réactance est capacitive lorsque la fréquence est plus grande que la fréquence de résonance.

Une autre caractéristique importante des circuits oscillants réside dans le fait qu'ils amplifient effectivement la tension du signal sur lequel ils sont accordés. Par exemple, la tension appliquée à un circuit accordé peut être relativement faible mais, si le phénomène de résonance se produit, cette faible tension est suffisante pour donner naissance à un courant important. Du moment que la chute de tension aux bornes de n'importe quel élément du circuit est toujours proportionnelle à l'intensité du courant, la tension à ses bornes atteint donc sa valeur maximum à la résonance. Si la résistance du circuit est très faible, l'intensité du courant est considérable et, par conséquent une forte chute de tension, IX , se produit aux bornes de L et de C .

Les deux chutes de tension sont d'égale amplitude à la fréquence de résonance, mais leurs polarités sont opposées: de ce fait, elles s'annulent réciproquement vis-à-vis du générateur. Par conséquent, même si l'énergie en jeu est négligeable, la tension IX aux bornes de L et de C peut être très élevée. Chacune de ces deux tensions IX peut servir à exciter d'autres circuits radio et c'est ainsi qu'il est possible d'obtenir des signaux d'amplitude appréciable à la fréquence de résonance.

En conclusion, les propriétés d'un circuit oscillant série à la résonance peuvent être ainsi résumées:

- 1) Le courant est maximum,
- 2) L'impédance est minimum,
- 3) Les tensions aux bornes de L et de C sont maximums.

Les circuits-série oscillants sont fréquemment utilisés comme circuits d'antenne soit dans les émetteurs soit dans les récepteurs; ils conviennent tout particulièrement aux émetteurs en raison du fait que le courant atteint son intensité maximum au point de résonance,

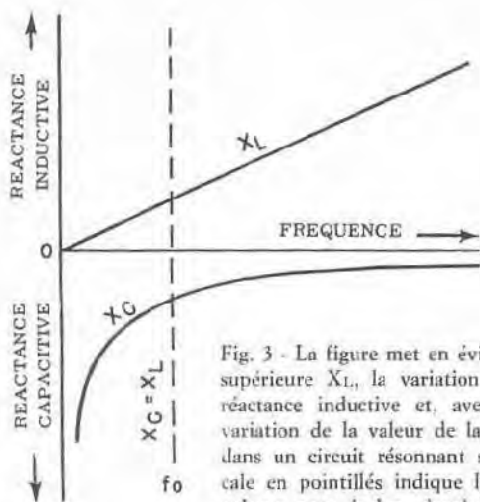


Fig. 3 - La figure met en évidence, avec la droite supérieure X_L , la variation de la valeur de la réactance inductive et, avec la courbe X_C , la variation de la valeur de la réactance capacitive dans un circuit résonnant série. La ligne verticale en pointillés indique le point où les deux valeurs sont égales, c'est-à-dire la fréquence de résonance.

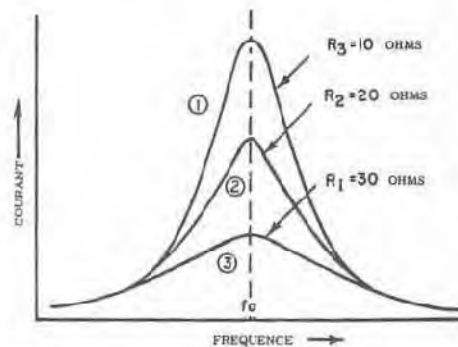


Fig. 4 - La résistance d'un circuit oscillant série détermine sa sélectivité; à la résistance ohmique la plus faible correspond la sélectivité la plus grande.

ce qui permet d'obtenir le rayonnement maximum pour cette seule fréquence.

Ces circuits-série peuvent également être employés comme circuits réjecteurs et comme filtres, dont nous nous occuperons sous peu.

La sélectivité

Nous avons vu que la résistance propre d'un circuit-série oscillant à la résonance, conditionnait l'intensité du courant passant dans ce circuit. La figure 4 montre l'allure et l'intensité du courant passant dans trois circuits-série, ayant les mêmes valeurs de L et de C mais ayant des résistances différentes. Le circuit dont la résistance est la plus faible laisse passer le courant maximum et on notera également que la courbe est la plus pointue. C'est pourquoi ce circuit donne la plus grande sélectivité, ce qui veut dire qu'il atténue plus fortement qu'un circuit dont la courbe est large, toutes les fréquences situées de part et d'autre de la résonance.

La sélectivité d'un circuit oscillant est définie comme étant le rapport entre l'intensité du courant à la fréquence de résonance et celle du courant à une autre fréquence déterminée. C'est ainsi qu'un circuit très sélectif permet le passage d'un courant élevé à la résonance, tandis que ce courant est très faible pour des fréquences voisines. Inversement, un circuit peu sélectif est parcouru par un courant dont l'intensité varie peu pour les fréquences situées autour de la résonance.

La résistance du circuit détermine donc sa sélectivité; dans la majorité des cas, les circuits oscillants utilisés en radio doivent être très sélectifs.

A l'entrée d'un récepteur de radio on dispose de signaux provenant de centaines d'émetteurs ayant des fréquences différentes, mais dont certaines sont très proches les unes des autres. Dans ce cas, seul un circuit oscillant très sélectif peut sélectionner une seule d'entre elles et éliminer toutes les autres. Il existe toutefois des exceptions, que nous verrons plus en détail après avoir étudié les divers procédés de modulation de la porteuse, auxquelles nous faisons simplement al-

lusion pour le moment: c'est le cas de la réception des émetteurs à modulation de fréquence. Pour ce type de réception, une trop grande sélectivité des circuits d'accord nuit à la qualité de la reproduction et il est alors nécessaire d'adjoindre aux circuits, des résistances d'amortissement dont le rôle est d'élargir la bande de fréquence que le circuit peut recevoir sans trop d'atténuation.

CIRCUIT OSCILLANT PARALLELE

Quand une inductance et un condensateur sont branchés en parallèle on obtient un circuit oscillant parallèle. Tout comme dans un circuit-série, la résonance est obtenue quand la réactance inductive est égale à la réactance capacitive. Malgré cette similitude, les circuits oscillants parallèles ont des caractéristiques complètement différentes de celles des circuits-série.

Nous avons vu que, dans les circuits-série à la résonance, les chutes de tension aux bornes de L et de C sont égales et de signes contraires et que le courant passant dans le circuit atteint sa valeur maximum. Même si la tension appliquée est faible, des tensions assez élevées peuvent être recueillies aux bornes du condensateur et de la bobine. Par contre, dans un circuit parallèle, la tension présente aux bornes de chaque branche est la même et le courant se divise entre les deux. Les courants dans chacune des branches sont déphasés par rapport aux tensions respectives, du fait des réactances: il en résulte que chaque branche peut être parcourue par un courant de plus forte intensité que le courant de ligne, puisque la somme vectorielle de deux courants forts peut être un courant faible.

Considérons le circuit-parallèle de la figure 5-A. Le courant passant dans la branche capacitive (16 ampères) est en avance de 90° sur la tension appliquée E , tandis que le courant passant de la branche inductive (13 ampères) est en retard de 90° sur la même tension. Le courant passant dans la résistance (4 ampères) est en phase avec la tension E . La figure 5-B donne la représentation vectorielle de tous ces courants. Etant donné que les courants inductifs et capacitifs ont des

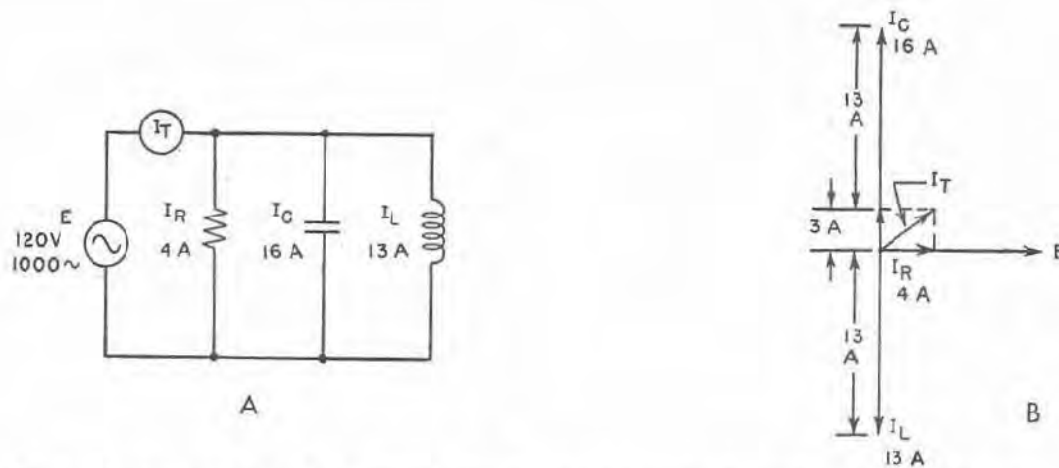


Fig. 5 - Circuit-parallèle (en A); les courants (I_C - I_L - I_R) et la tension E sont figurés en B sous leur forme vectorielle. On y voit comment en soustrayant I_L de I_C , en opposition de phase, il reste un courant de 3 ampères qui, combiné avec I_R , donne le courant total I_T .

phases opposées, le plus faible se soustrait du plus fort. Dans notre cas, la différence entre I_C et I_L donne un courant capacitif de 3 ampères; ce courant se combine avec celui de 4 ampères (de la branche résistive) pour donner le courant de ligne I_T ; nous avons donc :

$$I_T = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \text{ soit}$$

$$I_T = \sqrt{4^2 + 3^2} = \sqrt{25} = 5 \text{ ampères}$$

La résonance se produit quand $I_C = I_L$; dans ce cas, les courants réactifs s'annulent réciproquement réduisant ainsi l'intensité totale du courant à 4 ampères, valeur du seul courant résistif. Si la résistance est infinie — c'est-à-dire si la branche résistive est pratiquement inexistante — le courant total (I_T) tend vers zéro.

Il est important de noter que, dans un circuit oscillant parallèle, le courant est minimum à la résonance. Ceci est exactement le contraire de ce qui se produit pour un circuit oscillant série où le courant est maximum à la résonance. Dans le circuit parallèle, au fur et à mesure que la fréquence du courant s'approche de la fréquence de résonance du circuit, la valeur de X_L s'approche de celle de X_C ; les courants réactifs tendent à s'annuler toujours davantage, et par conséquent, le courant de ligne diminue régulièrement jusqu'à ce que — à la fréquence de résonance du circuit — les courants réactifs s'annulent complètement et que subsiste seul le courant résistif.

S'il était possible de relier en parallèle une inductance et une capacité pures, et si ce circuit (sans résistance ohmique) était accordé sur sa fréquence de résonance, le courant de ligne serait nul, tandis que le courant dans chacune des branches atteindrait des intensités élevées. Ainsi, un circuit oscillant parallèle à sa fréquence de résonance, se comporte comme une charge de haute impédance vis-à-vis de la source d'énergie. En d'autres termes, à la fréquence de résonance, le courant emprunté à la source est minimum et l'impédance est maximum.

La figure 6 représente les variations de l'intensité du

courant et de l'impédance avec la fréquence; il est intéressant de comparer ces deux courbes avec celles de la figure 2, relatives au circuit-série oscillant.

Les courbes de la figure 6 montrent que si la fréquence du courant produit par le générateur, est différente de celle de résonance du circuit, le courant de ligne augmente, ce qui signifie que l'impédance du circuit diminue. Dans la figure 7-A est représenté un circuit oscillant parallèle idéal, c'est-à-dire sans résistance; les figures 7-B, C et D montrent son comportement pour des fréquences inférieures, égales ou supérieures à la fréquence de résonance.

Dans le premier cas (fréquence inférieure), la réactance capacitive augmente de valeur et la réactance inductive diminue; par conséquent, l'intensité du courant augmente dans la branche inductive. Ce courant inductif fort annule le faible courant capacitif et le courant résultant est en retard sur la tension. Il s'ensuit que pour une fréquence inférieure à celle de la résonance, la charge se comporte vis-à-vis du générateur comme si elle était purement inductive.

Dans le second cas (fréquence égale à celle de la résonance), les deux réactances sont égales et s'annulent réciproquement. La charge se comporte comme une résistance pure et le courant est en phase avec la tension.

Dans le troisième cas (fréquence supérieure), la réactance inductive augmente de valeur tandis que la réactance capacitive diminue; par conséquent, l'intensité du courant est plus grande dans la branche capacitive. Le courant total est donc en avance sur la tension et la charge se comporte vis-à-vis du générateur, comme si elle était purement capacitive.

La différence principale entre circuit-série résonnant et circuit résonnant parallèle réside dans leur comportement au regard de la source d'énergie pour des fréquences autres que celle de résonance. Dans le circuit, parallèle, l'intensité du courant est le facteur déterminant. Par exemple, au-dessous de la résonance, X_L augmente, tandis que X_C diminue de valeur, ensuite, le courant est plus fort dans la branche ca-

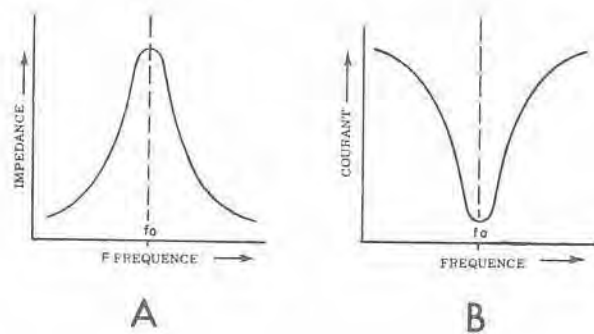


Fig. 6 - Courbe montrant les variations de l'impédance (A) et du courant (B) dans un circuit résonnant parallèle, autour de la fréquence de résonance. On notera que ces courbes sont l'inverse de celles du circuit-série de la figure 2.

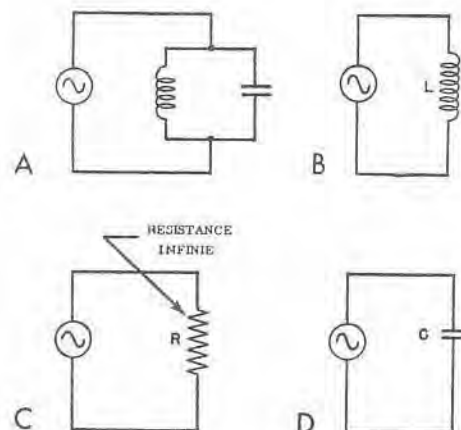


Fig. 7 - Circuit oscillant parallèle (A) et circuits équivalents: fréquence inférieure à la résonance (B), fréquence de résonance (C) et fréquence supérieure (D).

capacitive. Ce courant, I_C annule le faible courant inductif, I_L , et la *réactance* totale du circuit est *capacitive*. Dans un circuit-série oscillant, par contre, pour des fréquences supérieures à la fréquence de résonance, les courants passant dans L et dans C ont la même intensité (puisque dans un circuit-série l'intensité est la même en tous les points du circuit). Cependant étant donné que X_L augmente tandis que X_C devient plus faible, la chute de tension aux bornes de la bobine devient plus grande que celle aux bornes du condensateur; comme elles sont déphasées de 180° l'une par rapport à l'autre, elles se retranchent et la charge offerte au générateur est *inductive*.

L'accord d'un circuit oscillant parallèle est généralement réalisé en faisant varier la valeur de la capacité. La résonance peut être mise en évidence par le fait qu'un ampèremètre placé en série dans la ligne donne une lecture minimum; cela signifie que la plus grande partie du courant passe dans le circuit oscillant lui-même.

Etant donné toutefois, que tout circuit possède une résistance ohmique propre, le courant de ligne ne peut jamais être nul. Cette résistance propre est contistuee presque exclusivement par la résistance du conducteur formant la bobine; c'est ainsi que la résistance ohmique de la branche inductive empêche que l'égalité absolue soit obtenue entre I_C et I_L , comme le montre la figure 8-A.

Dans cette figure, la résistance ohmique propre à la branche inductive a été représentée en série avec la bobine (alors qu'en réalité elle en fait partie intégrante). A cause de la présence de cette résistance, le courant passant dans la branche inductive n'est pas exactement déphasé de 180° par rapport au courant passant dans la branche capacitive (voir figure 8-B) et c'est la raison pour laquelle le courant de ligne ne peut être nul.

Plus la résistance propre du circuit est grande, plus faible est l'effet d'annulation réciproque entre les courants des deux branches et plus élevée est l'intensité du courant de ligne à la résonance. Pour rendre plus

clair, ce qui précède, nous avons représenté sur la figure 9, les courbes des intensités des courants passant dans trois circuits oscillants ayant la même fréquence de résonance, c'est-à-dire ayant des inductances et des capacités égales, mais présentant des résistances propres différentes: il apparaît évident que la courbe devient plus large et plus plate lorsque cette résistance augmente.

L'impédance d'un circuit oscillant parallèle est maximum à la fréquence de résonance et diminue pour toutes les autres fréquences, inférieures ou supérieures. Comme nous le savons déjà, on a un transfert maximum d'énergie entre un générateur et une charge lorsque leurs résistances internes, ou impédances, sont égales: c'est ainsi que, nous le verrons plus tard, dans les appareils de radio « à lampes », les lampes elles-mêmes étant des éléments à forte résistance interne, il convient d'employer des circuits oscillants parallèles comme circuits d'entrée et de sortie.

Ces mêmes circuits oscillants parallèles sont également employés comme filtres, comme circuits réjecteurs, ainsi que comme circuits de couplage entre lampes; leur sélectivité est définie exactement de la même manière que pour les circuits-série. C'est ainsi qu'un circuit résonnant très sélectif a une courbe pointue, aussi bien pour le courant que pour l'impédance.

Principe du circuit « volant »

Le circuit oscillant parallèle est parfois appelé circuit « volant » ou circuit « réservoir ». Si l'on charge le condensateur au moyen d'une pile (courant continu) et que l'on débranche ensuite celle-ci, il se produit un courant alternatif, de durée très brève, dont la fréquence est égale à la fréquence de résonance du circuit. Ce courant alternatif a une amplitude qui décroît progressivement jusqu'à devenir rapidement nulle, comme nous l'avons vu auparavant. Résumons: l'énergie, tout d'abord emmagasinée dans le condensateur, est ensuite transférée à la bobine où elle se transforme en un champ magnétique. Le courant devient alternatif car il change de sens à la fréquence de ré-

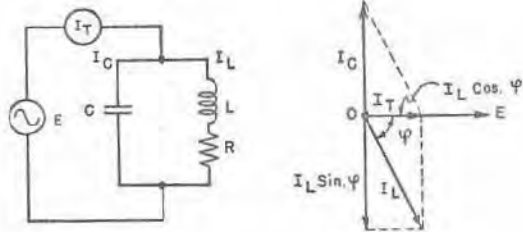


Fig. 8 - Dans un circuit oscillant (A), il existe toujours une certaine résistance R due aux conducteurs. Cette résistance fait que le déphasage ne peut atteindre 180° (B) et en conséquence, le courant de ligne, I_T , ne peut jamais être égal à zéro. Comme dans le cas théorique.

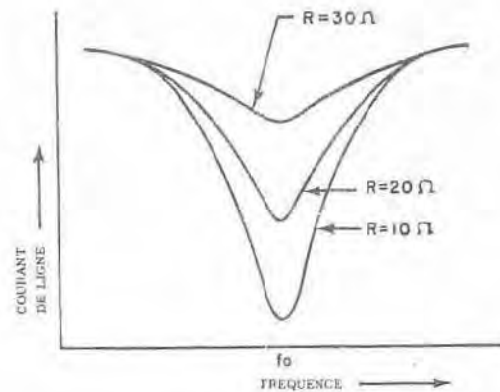


Fig. 9 - Si la résistance du circuit augmente, le courant inductif et le courant capacitif ne peuvent plus se compenser. le courant de ligne augmente et la courbe de résonance s'aplatit sensiblement.

sonance du circuit accordé. Les cycles successifs se répèteraient à l'infini si le circuit n'avait une résistance propre inévitable qui dissipe une certaine quantité d'énergie à chaque cycle, provoquant ainsi, une diminution de l'amplitude du courant mais laissant la fréquence inaltérée.

Pour produire un courant alternatif constant dans un circuit oscillant parallèle, il suffit de compenser les pertes dues à la résistance. Il suffit parfois d'une puissance très faible pour maintenir en oscillation un courant important, dans un circuit résonnant.

Le courant alternatif créé de la manière indiquée ci-dessus, est appelé *courant oscillant* et les circuits oscillants qui le produisent sont dits « circuits réservoir » (« tank circuit » en anglais) en raison du fait qu'ils peuvent emmagasiner de l'énergie ou encore, « circuits volant » car ils agissent comme le volant d'une machine (entretien d'oscillations uniformes).

RESISTANCE EN COURANT ALTERNATIF

Revenons maintenant, aux effets de la résistance dans un circuit oscillant. Que ce soit dans les circuits série ou parallèle, la résistance réduit la valeur de l'impédance totale qui est maximum à la fréquence de résonance et, par conséquent, provoque l'augmentation du courant de ligne (courant prélevé à la source).

C'est ainsi que la résistance augmente la puissance dissipée en pure perte, dans le circuit. Dans un circuit oscillant, la plus grande partie des pertes se produit dans la bobine; elles sont provoquées par la résistance ohmique des conducteurs, l'hystérésis, les courants de Foucault et autres effets propres aux bobines.

La résistance d'un circuit peut donc être définie en fonction de la puissance dissipée. Celle-ci peut apparaître sous forme de chaleur, de rayonnement, ainsi que de couplage magnétique avec d'autres circuits. Les pertes dues à la résistance ohmique se retrouvent sous forme d'énergie thermique; nous savons que la valeur efficace d'une tension ou d'un courant alternatif est égale à la valeur de la tension ou du courant continu produisant une égale quantité de chaleur dans

une même résistance. Cependant, en courant alternatif, il arrive qu'une certaine puissance soit dissipée dans un circuit réactif sans donner lieu à une production de chaleur. C'est ainsi, par exemple, que la puissance peut être dissipée sous forme de rayonnement; un conducteur parcouru par un courant alternatif de haute fréquence, rayonne de l'énergie sous forme d'ondes radio-électriques. Un tel conducteur a une résistance de rayonnement égale au quotient de la puissance rayonnée par le carré de l'intensité du courant. Nous pouvons citer le cas des antennes qui doivent présenter une résistance de rayonnement élevée, avec la plus faible résistance ohmique possible, pour que la puissance transmise se dissipe en rayonnement (utile) et non en chaleur (inutile).

Un circuit alimenté en courant alternatif peut consommer une énergie beaucoup plus grande qu'un circuit parcouru par du courant continu. En effet, en courant alternatif, le terme « résistance » désigne tous les phénomènes qui dissipent inutilement de l'énergie, sans aucun profit pour le circuit lui-même.

La résistance totale du circuit en courant alternatif (celle qui entraîne une consommation inutile de puissance) est appelée **résistance effective au courant alternatif**. Elle est toujours supérieure à la résistance ohmique proprement dite en raison des courants de Foucault, de l'hystérésis, de l'effet « de peau » (dont nous avons parlé dans notre leçon consacrée aux inductances) et d'autres phénomènes. Les courants parasites, qui sont des courants induits dans les conducteurs placés dans le champ magnétique variable du circuit, provoquent des pertes thermiques; celles-ci sont particulièrement nuisibles dans les noyaux magnétiques des transformateurs. L'hystérésis augmente les pertes dans les matériaux magnétiques, ainsi que dans tous les éléments placés à proximité. L'effet de « peau » ou effet pelliculaire, est cause de pertes dans les circuits parcourus par des courants H.F.; la distribution non-uniforme du courant dans un conducteur est plus accentuée dans une bobine que dans un conducteur linéaire. Aux fréquences élevées, la résistance effective au courant alternatif peut être de 10 à

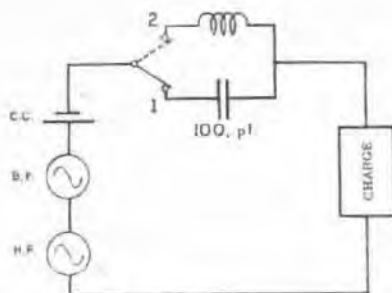


Fig. 10 - Les tensions des trois sources (courant continu, courant B.F. et courant H.F.) atteignent, ou non, la charge selon que l'inverseur est dans la position 1 ou 2 en raison du type de force électromotrice (courant continu, courant alternatif à fréquence basse, courant alternatif à fréquence haute). Ce comportement est la conséquence directe des différentes réactances qui se présentent et de la nature de la source.

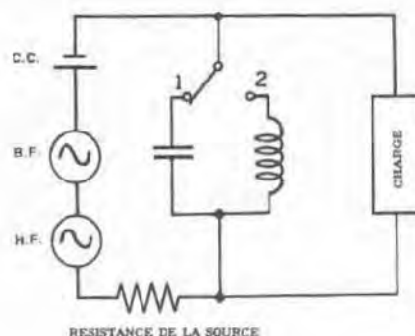


Fig. 11 - Dans le circuit illustré ici, obtenu en mettant le condensateur ou l'inductance en parallèle sur la charge, et non plus en série, les diverses f.e.m. se comportent d'une manière opposée à celle de la figure précédente.

100 fois plus grande que celle en courant continu.

Il est extrêmement important de ne pas confondre la résistance au courant alternatif d'une bobine avec sa réactance et il convient de se rappeler que, lorsqu'on donne les caractéristiques d'un composant en courant alternatif, la résistance annoncée est toujours sa résistance effective.

FACTEUR DE SURTENSION « Q » D'UNE BOBINE

Etant donné que la résistance d'un circuit accordé (ou circuit oscillant) est essentiellement constituée par la résistance effective de sa bobine, le rapport entre la réactance inductive et la résistance de cette bobine donne la mesure de l'efficacité ou du « rendement » non seulement de cette dernière, mais encore de celle du circuit tout entier. Nous rappellerons, à ce propos, ce que nous avons déjà dit dans notre 29^{ème} leçon. Ce rapport, appelé « facteur de surtension », Q , reste sensiblement constant dans une gamme étendue de fréquence, bien qu'il diminue légèrement quand celle-ci augmente. Un circuit ayant un coefficient de surtension élevé a une courbe de résonance pointue, tandis qu'un circuit ayant un faible Q a une courbe plus aplatie.

Le Q d'un circuit résonnant comportant une bobine munie d'un noyau magnétique peut varier entre 50 et 250. Une cavité résonnante argentée, pour ondes ultra-courtes, a un facteur Q atteignant 30 000.

On peut également définir le facteur de surtension (ou facteur de mérite) d'un circuit, comme étant le rapport entre la puissance totale appliquée au circuit et la puissance dissipée dans sa résistance.

L'impédance d'un circuit résonnant parallèle, à sa fréquence de résonance, est égale à Q fois la réactance de la bobine ou du condensateur. On a donc :

$Z = Q X_L = Q X_C$ (puisque $X_L = X_C$, à la fréquence de résonance)

et, étant donné que $Q = X_L : R$, on a :

$$Z = Q X_L = \frac{X_L \times X_L}{R} = \frac{X_L^2}{R}$$

Le courant circulant dans un circuit oscillant parallèle, à la résonance, est égal à Q fois le courant de ligne :

$$I_{osc} = Q I_{ligne}$$

LES FILTRES

Nous savons ce que sont les filtres mécaniques : ce sont des dispositifs qui laissent passer des substances déterminées, tandis qu'ils retiennent d'autres substances indésirables. De même, en électronique, les filtres laissent passer une fréquence ou une bande de fréquence désirée, tandis qu'ils arrêtent les fréquences indésirables.

La réactance d'une bobine ou d'un condensateur variant avec la fréquence, il en résulte que, en utilisant diverses combinaisons de bobines, de condensateurs et de circuits accordés, il est possible de séparer non seulement le courant continu (fréquence zéro) du courant alternatif, mais encore de séparer des courants alternatifs de fréquences différentes.

Une résistance ohmique ne peut constituer un filtre à elle seule car elle oppose la même résistance à tous les courants, quelle que soit leur fréquence ; toutefois, en combinant une résistance et un condensateur dans un circuit de filtre, la résistance règle la vitesse de charge et de décharge du condensateur ce qui a pour effet d'atténuer les fréquences élevées (car le condensateur n'a pas le temps de se charger et de se décharger complètement pendant les alternances du courant) et l'on peut ainsi constituer des filtres à résistances-capacités.

Avant de parler des différents types de filtres, il convient d'étudier les effets produits par la mise en série, ou en parallèle, de condensateurs et d'inductances sur une charge. La figure 10 montre un circuit comportant trois sources de tensions : une pile fournissant un courant continu, un alternateur produisant un courant basse fréquence et un deuxième alternateur fournissant un courant alternatif de fréquence élevée.

Quand l'inverseur est dans la position 1, le condensateur est mis en circuit. Le courant continu est complètement éliminé, car le condensateur oppose une

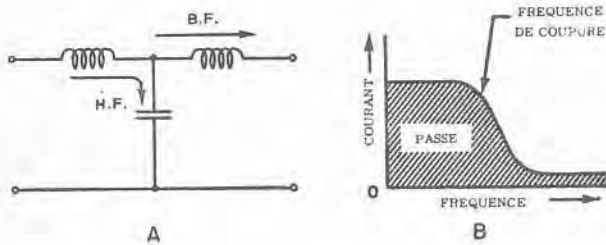


Fig. 12 - Schéma d'un filtre passe-bas (A). Pour comprendre son fonctionnement, il faut le considérer comme un ensemble de circuits-série et parallèle. Les fréquences élevées qui peuvent traverser la première inductance, trouvent un chemin plus facile à travers le condensateur. Par contre, les fréquences basses ne rencontrent que peu d'opposition de la part des bobines: en conséquence, seules les fréquences comprises entre 0 et la fréquence de coupure peuvent passer à travers ce filtre (B).

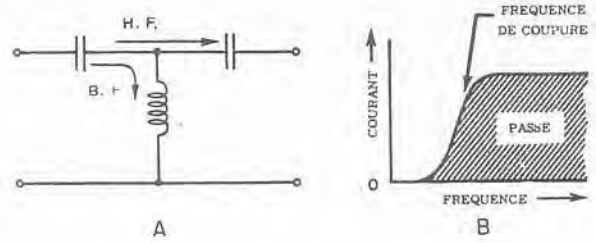


Fig. 13 - Schéma d'un filtre passe-haut (A). C'est l'inverse du précédent; les éléments sont intervertis et les fréquences élevées passent par la voie capacitive, tandis que les basses fréquences, qui ont traversé le premier condensateur passent dans l'inductance. Seules sont transmises les fréquences supérieures à la fréquence de coupure. La résultat est illustré dans le schéma (B).

impédance infinie à son passage. Le courant alternatif B.F. est très fortement atténué par la présence de la faible capacité (100 pF) qui présente une forte réactance aux fréquences basses. Cependant, l'impédance du condensateur devient très faible aux fréquences élevées (H.F.) et le courant correspondant peut passer librement dans le circuit.

Quand, par contre, l'inverseur est dans la position 2, la bobine est mise en série avec la charge. Le courant continu se trouve très peu atténué. De même — étant donné que X_L est directement proportionnel à la fréquence — la réactance opposée aux fréquences basses est minimum, tandis que l'impédance aux fréquences élevées est tellement grande que celles-ci sont arrêtées et ne peuvent atteindre la charge.

La figure 11 illustre un circuit pourvu des mêmes sources d'énergie que celles du circuit précédent mais, cette fois, l'inverseur permet de mettre la bobine ou le condensateur en parallèle sur la charge (et non plus en série avec elle). Dans la position 1, le condensateur est en parallèle sur la charge et, tandis que le courant continu et le courant alternatif à basse fréquence ne peuvent passer à travers la forte réactance capacitive — ces deux courants continuent donc de passer par la charge — le courant H.F. traverse le condensateur et ne passe plus (ou très peu) dans la charge.

L'effet contraire se produit quand, en mettant l'inverseur dans la position 2, on branche la bobine en parallèle sur la charge. Dans ce cas, les courants H.F. arrêtés par l'impédance élevée que leur oppose la bobine, continuent à passer dans la charge qui présente pour eux une moins grande impédance. Le courant continu et le courant alternatif à basse fréquence par contre, passent dans la bobine qui, pour eux, présente une impédance plus faible que la charge.

FILTRE PASSE-BAS

La figure 12-A donne le schéma de principe d'un filtre passe-bas. Celui-ci, comme son nom l'indique, permet le passage des seules fréquences basses, depuis

le courant continu jusqu'à une fréquence limite dite « fréquence de coupure ».

Le fonctionnement de ce filtre se comprend facilement si on le considère comme étant formé d'un circuit-série et d'un circuit-parallèle. La section en série est constituée par des bobines et nous savons que l'impédance des inductances est proportionnelle à la fréquence: ainsi, lorsque la fréquence augmente, l'impédance du circuit-série augmente également s'opposant au passage des fréquences élevées. En d'autres termes, une inductance en série permet le libre passage du courant continu et du courant alternatif basse fréquence, tandis qu'il offre une impédance notable à la haute fréquence. D'autre part, la section en parallèle constituée par le condensateur, offre une très faible impédance aux fréquences élevées, tandis qu'elle s'oppose au passage du courant continu et des fréquences basses. Par conséquent, les courants se divisent comme indiqué sur la figure: les fréquences élevées sont filtrées et seules les fréquences basses (et le courant continu) passent à travers le filtre. Les valeurs d'inductances et de capacité peuvent être choisies de telle sorte que les courants ne subissent qu'une faible atténuation jusqu'à une certaine fréquence (**fréquence de coupure**) et une atténuation maximum au-delà de cette limite. Naturellement il n'y a pas coupure brutale, car nous savons que la réactance varie avec la fréquence, et le filtre passe-bas aura une courbe de réponse dont l'allure générale est indiquée dans la figure 12-B.

FILTRE PASSE-HAUT

Le schéma de ce filtre, qui peut être considéré comme étant l'inverse du précédent, est donné par la figure 13-A. Les condensateurs en série présentent une faible impédance aux fréquences élevées, tandis que pour de telles fréquences, la bobine en parallèle présente une impédance considérable. Il s'ensuit que les courants H.F. passent à travers le filtre en ne subissant qu'une faible atténuation.

Les courants B.F. sont fortement atténués car les

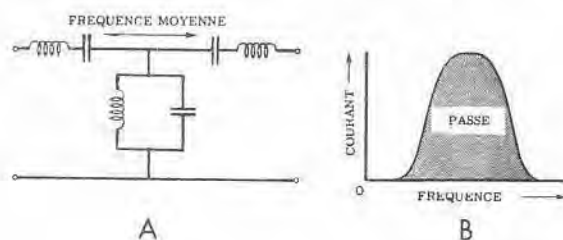


Fig. 14 - Filtre passe-bande. La section en parallèle est constituée par un circuit résonnant dans la gamme de fréquence à transmettre; il présente un passage facile pour toutes les autres fréquences qui sont, ainsi déviées. Les sections en série sont également accordées dans la bande désirée: elles opposent un obstacle à toutes les fréquences situées en dehors de cette gamme. La courbe de réponse de ce filtre est figurée en B.

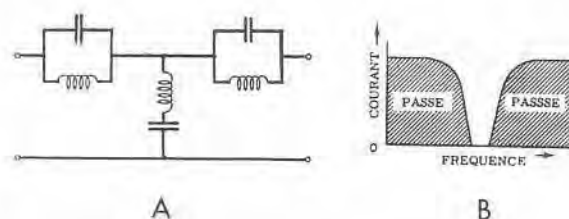


Fig. 15 - Filtre éliminateur de bande. En intervertissant les positions des circuits oscillants de la figure précédente, on peut obtenir l'élimination d'une bande de fréquence et le passage de toutes les autres fréquences, inférieures ou supérieures. La courbe de réponse de ce filtre est donnée en B. Les limites et la position de la bande dépendent des valeurs employées.

éléments du circuit se comportent, en ce qui les concerne, d'une manière exactement opposée, c'est-à-dire qu'ils présentent une forte réactance capacitive en série et une faible réactance inductive en parallèle. Par conséquent, les courants se divisent comme indiqué sur la figure: les fréquences basses sont filtrées (le courant continu est arrêté) et seules les fréquences élevées passent à travers le filtre. La figure 13-B donne la courbe de réponse d'un tel filtre. Les valeurs des composants peuvent être choisies de telle sorte que les fréquences à éliminer soient atténuées au maximum, tandis que celles désirées ne subissent que peu d'atténuation.

Filtre passe-bande

Une filtre passe-bande (figure 14-A) permet le passage de courants dont les fréquences sont comprises dans une gamme continue limitée par une valeur maximum et une valeur minimum (fréquences de coupure). Dans ce type de filtre, la section en parallèle est constituée par un circuit résonnant parallèle, dont la fréquence de résonance est à l'intérieur de la gamme désirée, c'est-à-dire celle que le filtre doit laisser passer. La section en série est formée de deux circuits résonnants en série, accordés sur la même fréquence. Ces deux circuits-série opposent une forte impédance à toutes les fréquences, à l'exception de celles contenues dans la bande désirée; le circuit parallèle pour sa part, présente une faible impédance pour les fréquences situées de part et d'autre de la bande à transmettre. Il en résulte que seule la bande de fréquence choisie peut passer à travers le filtre, tandis que toutes les autres sont arrêtées. Le choix des éléments se fera en fonction de la bande de fréquence à transmettre. La figure 14-B donne la courbe de réponse d'un tel filtre.

Filtre éliminateur de bande

Un filtre éliminateur de bande a pour fonction de:

- 1) supprimer toutes les fréquences comprises dans une gamme déterminée, limitée par les fréquences de cou-

pure supérieure et inférieure. 2) favoriser le passage des fréquences situées en dehors de cette gamme. La figure 15-A donne le schéma d'un tel filtre et la figure 15-B montre la courbe de réponse. Les circuits résonnants parallèle placés en série dans la branche supérieure du filtre offrent une impédance élevée à toutes les fréquences indésirables. Le circuit-série se comporte comme un véritable court-circuit pour ces mêmes fréquences et interdit leur passage vers la charge. Toutes les autres fréquences, supérieures ou inférieures à la bande à éliminer trouvent, dans ce filtre, une impédance très faible à travers les circuits résonnants parallèle et une forte impédance opposée par le circuit-série, elles peuvent donc passer par le filtre et atteindre la charge.

Applications générales des filtres

La principale application des filtres se rencontre dans les circuits d'alimentation des appareils électroniques à partir du secteur alternatif. La tension alternative du secteur est tout d'abord redressée, ce qui a pour effet de la transformer en un courant continu pulsé passant dans un seul sens. Pour éliminer les pulsations et niveler le courant, on utilise un filtre passe-bas dont la fréquence de coupure est inférieure à la fréquence des ondulations (généralement 50 ou 100 hertz). En effet, le courant continu pulsé peut être considéré comme étant composé d'un courant continu, auquel se superpose une composante alternative; le filtre passe-bas élimine la composante alternative, permettant le passage du seul courant continu.

Les filtres passe-bande sont employés dans les circuits d'accord des récepteurs, qu'ils soient du type à amplification directe ou superhétérodyne. Nous verrons plus tard leur réalisation pratique.

Il est, enfin, possible de monter des filtres en série pour obtenir un meilleur filtrage. C'est ainsi par exemple, que deux filtres passe-bas éliminent plus efficacement les fréquences indésirables qu'un seul et, parfois, il est nécessaire d'employer plusieurs cellules de filtre l'une à la suite des autres.

SYMBOLES - ABREVIATIONS

E_C	= Tension aux bornes d'une capacité
E_L	= Tension aux bornes d'une inductance
P_{app}	= Puissance apparente
P_m	= Puissance moyenne
F_0 ou f_0	= Fréquence de résonance

FORMULES

$$E_L = I X_L$$

$$E_L = I (2\pi f L)$$

$$E_C = I X_C$$

$$E_C = I (1 : 2\pi f C)$$

$$P_{app} = I^2 Z$$

$$P_{app} = E^2 : Z$$

$$P_m = E I (R : Z)$$

$$P_m = E I \cos \phi$$

$$P_m = \frac{(\text{surf. alternance positive}) - (\text{surf. alternance négative})}{\text{longueur d'un cycle en radians}}$$

$$P = \frac{E_{\max} I_{\max}}{2}$$

$$Q = X_L : R$$

Dans un circuit-série L-C-R :

$$e = e_R + e_L + e_C$$

$$E = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{2\pi f C} - \frac{1}{2\pi f L}}^2$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Dans un circuit oscillant:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

Un circuit L - C est en résonance quand:

$$X_L = X_C$$

Dans un circuit L - C parallèle:

$$Z = \frac{X_L X_C}{X_L + X_C}$$

QUESTIONS sur les LEÇONS N° 34 et 35

N. 1 — Quelles sont les relations entre les chutes de tension aux bornes des éléments d'un circuit-série L-R ou C-R, en courant alternatif ?

N. 2 — Quelles sont les relations qui existent entre les chutes de tension aux bornes des éléments d'un circuit-série L-C-R, en courant alternatif ?

N. 3 — Quel est le comportement d'un circuit L-C, à l'égard du courant, lorsque la réactance inductive est égale à la réactance capacitive ?

N. 4 — Dans quelle condition se trouve un circuit L-C si la réactance inductive est égale à la réactance capacitive ?

N. 5 — Quelle est la relation entre les courants des deux branches d'un circuit L - C en parallèle ?

N. 6 — Quels sont les phénomènes se produisant dans un circuit résonnant L-C parallèle ?

N. 7 — La courbe représentant graphiquement la puissance en courant alternatif, a-t-elle seulement une alternance positive ?

N. 8 — Qu'entend-on par « puissance apparente » dans un circuit L-C-R ?

N. 9 — Donner la formule de la puissance moyenne effective.

N. 10 — Quel est l'élément qui, dans un circuit L-C-R dissipe effectivement une certaine puissance lorsqu'il est parcouru par un courant alternatif ?

N. 11 — Par quoi l'intensité du courant, circulant dans un circuit résonnant, est-elle déterminée ?

N. 12 — Quel est le comportement d'un circuit L-C série, vis-à-vis du générateur, lorsqu'il est accordé sur une fréquence inférieure à celle de résonance ?

N. 13 — Quelle est la valeur de la self-induction d'une bobine devant être mise en série avec une capacité de 250 pF, pour obtenir la résonance du circuit sur 500 kHz ?

N. 14 — Dans un circuit accordé L-C, que devient la fréquence de résonance si la capacité augmente ?

N. 15 — Comment sont les tensions aux bornes de l'inductance et de la capacité par rapport à la tension de la source, dans un circuit résonnant série, à la fréquence de résonance ?

N. 16 — Comment se comporte un circuit résonnant parallèle vis-à-vis du générateur, lorsqu'il est accordé sur une fréquence inférieure à celle de résonance ?

N. 17 — Comment doit être branché un circuit parallèle par rapport à la charge, pour éliminer une gamme déterminée de fréquence ?

N. 18 — Quel doit être le type du filtre à employer pour interdire le passage d'une tension alternative ayant une fréquence de 50 Hz ?

REPONSES aux QUESTIONS de la p. 259

N. 1 —

Sous forme de champ électrostatique.

N. 2 —

Le pouvoir inducteur spécifique, ou constante diélectrique K , est le rapport entre le nombre des lignes de flux électrique dans un diélectrique et celles qui se produiraient dans l'air, toutes les autres caractéristiques électriques et mécaniques restant identiques.

N. 3 —

On l'appelle courant de déplacement diélectrique.

N. 4 —

La surface des armatures, la distance les séparant et la constante diélectrique de l'isolant placé entre les armatures.

N. 5 —

La capacité augmente.

N. 6 —

La capacité devient plus grande, car les deux capacités s'ajoutent.

N. 7 —

Ni résistance, ni impédance: à l'instant même de la mise sous tension, le condensateur se comporte comme un court-circuit.

N. 8 —

L'intensité du courant augmente car la réactance capacitive diminue lorsque la fréquence augmente.

N. 9 —

La tension atteint 17,29 volts en 80 secondes.

N. 10 —

Cela signifie que dans une inductance, la tension est en avance sur le courant et que dans un condensateur par contre, le courant est en avance sur la tension.

N. 11 —

La réactance capacitive est égale à 79,5 ohms.

N. 12 —

Sa capacité est égale à 0,002 F, soit 2 000 μF .

N. 13 —

Elle correspond à 20 μF .

N. 14 —

Elle correspond à 2 000 pF.

N. 15 —

Parce que ses électrodes, qui sont enroulées pour former un bloc cylindrique, constituent, outre une capacité, deux inductances couplées entre elles.

N. 16 —

La capacité est de 1 000 pF.

N. 17 —

La capacité est de 66,7 pF.

N. 18 —

De 50%, pour avoir une marge de sécurité suffisante.

N. 19 —

De la nature et de l'épaisseur de son diélectrique.

N. 20 —

Un diélectrique d'une épaisseur minimum.

N. 21 —

A compenser des différences de capacité.

N. 22 —

Pour obtenir une variation non-linéaire de la capacité.

TABLEAU 49 — GRAPHIQUE POUR LE CALCUL DES DEPHASAGES DANS LES CIRCUITS R-C, R-L et R-L-C

Le graphique de la page suivante permet de calculer le déphasage d'une tension alternative présente aux bornes d'une résistance, par rapport à la tension de la source, dans des circuits en série mixtes R-C, R-L et R-L-C.

Il est basé sur des principes connus de nos lecteurs, à savoir:

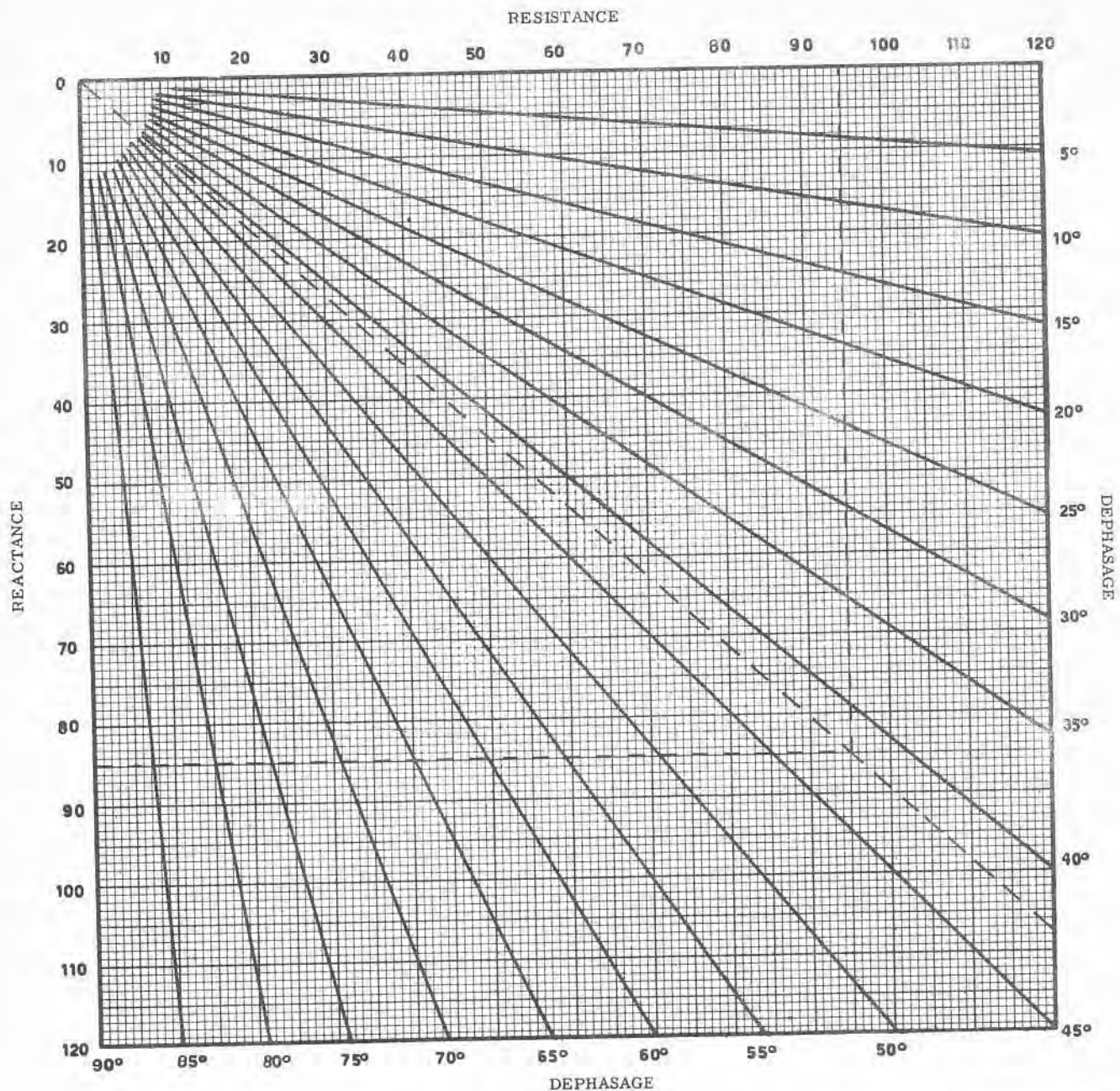
- 1) La différence de phase entre la tension aux bornes d'une résistance et celle aux bornes d'un condensateur ou d'une inductance placés en série avec elle, est toujours de 90° .
- 2) Si le circuit-série est du type R-C (résistance et capacité), la tension aux bornes de la résistance est en avance par rapport à celle fournie par la source, celle aux bornes de la capacité est en retard.
- 3) Si le circuit-série est du type R-L, la tension aux bornes de la résistance est en retard, celle aux bornes de l'inductance est en avance.
- 4) Si le circuit est du type R-L-C, la relation de phase dépend de la valeur des diverses réactances. La réactance totale est égale à la différence entre les deux valeurs de X_C et de X_L . La réactance résultante est capacitive si $X_C > X_L$, elle est inductive si $X_L > X_C$. Si la réactance totale est capacitive, la tension aux bornes de la résistance sera en avance par rapport à celle de la source, et réciproquement.

Mode d'emploi du graphique. Connaissant les valeurs de R (résistance), C (capacité), L (inductance), f (fréquence) et les valeurs correspondantes de X_C (réactance capacitive) et de X_L (réactance inductive), il suffira de les porter sur les échelles correspondantes. Sur l'échelle supérieure horizontale (résistance) on portera la valeur ohmique de R . Sur l'échelle verticale de gauche (réactance) on portera les valeurs de X_C ou de X_L . A partir de ces points, on tracera deux coordonnées et on prolongera la droite joignant le point 0 et le point ainsi trouvé jusqu'à ce qu'elle rencontre une des deux échelles «Déphasage», graduées en degrés. On pourra lire directement, avec une bonne approximation, l'angle de déphasage.

Les deux échelles «Résistance» et «Réactance» sont graduées de 0 à 120 ohms. Il est bien évident que l'usage d'un tel graphique n'est pas limité aux valeurs comprises entre 0 et 120 ohms: en effet, celles-ci peuvent être multipliées ou divisées par des multiples de 10, sans rien changer à l'échelle des déphasages. C'est ainsi qu'en divisant le nombre des deux échelles (résistance et réactance) par 100, nous pourrions y lire des valeurs allant de 0 à 1,2 ohms, tandis qu'en multipliant par 100 ces mêmes nombres, nous y lirons des valeurs allant de 0 à 12 000. Rappelons encore une fois, que les deux échelles doivent être multipliées ou divisées par le même nombre.

Donnons quelques exemples (voir graphique) qui permettront de mieux comprendre la manière dont il convient d'utiliser un tel abaque.

1^{er} exemple. — Soit un circuit-série comportant une résistance R de 95 ohms et un condensateur C de 20



μF . Si la fréquence de la tension appliquée à ce circuit est 100 Hz, la réactance capacitive du condensateur est égale à 85 ohms (voir page 286). Traçons les coordonnées à partir de ces deux points sur les échelles correspondantes, ainsi que la droite partant du point d'origine 0 et passant par le point d'intersection des coordonnées. Cette droite coupe l'échelle verticale gauche en un point correspondant à 42° : cet angle est l'angle de déphasage (en avance) de la tension aux bornes de R , par rapport à la tension de la source.

2° exemple. — Soit un circuit série comportant une résistance R de 95 ohms et une inductance L de 0,17 henry. Si la fréquence de la tension appliquée est 100 Hz, la réactance inductive X_L sera égale à 85 ohms (tableau 41) et les coordonnées coïncideront avec celles de l'exemple précédent. Dans ce cas toutefois, l'angle de 42° sera l'angle de déphasage en retard de la tension aux bornes de R .

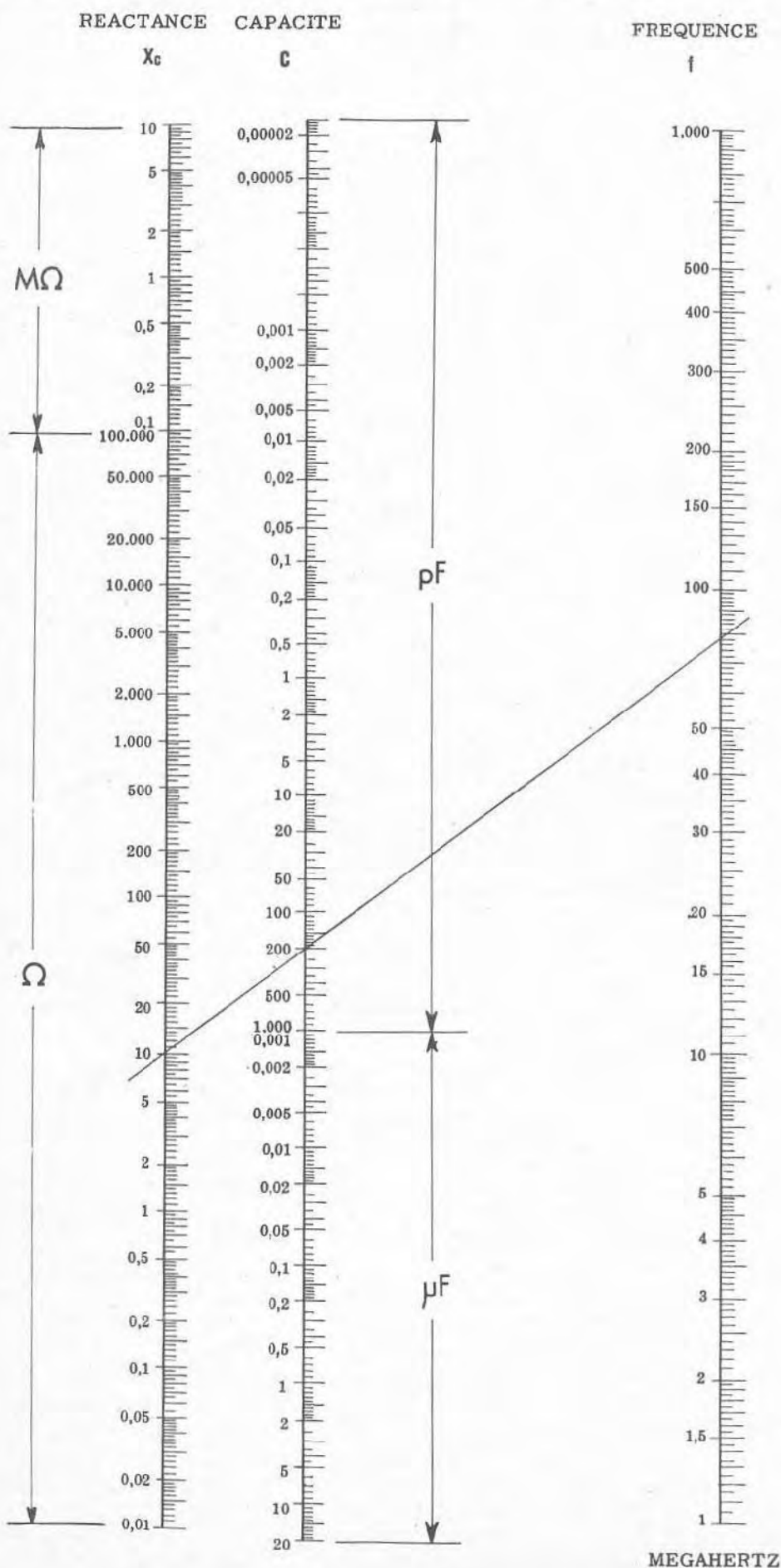
3° exemple. — Soit un circuit-série avec $R = 95$ ohms, $C = 100 \mu F$ et $L = 0,17$ henry. Si la fréquence de la tension appliquée est de 100 Hz, les réactances seront: $X_C = 15$ ohms et $X_L = 100$ ohms.

Puisque $X_L > X_C$, la différence entre ces deux valeurs, soit 85 ohms, sera une réactance inductive. En conséquence, les coordonnées — qui coïncideront également avec celles indiquées sur l'abaque — donneront un angle de déphasage de 42° , en retard, de la tension aux bornes de R , par rapport à la tension de la source.

TABEAU 50 — APAQUE DONNANT LES RELATIONS RECIPROQUES ENTRE REACTANCE CAPACITIVE, CAPACITE ET FREQUENCE

Les trois abaques reproduits dans les pages suivantes sont absolument semblables à ceux publiés à la 30^{ème} leçon (Tableau 41) qui concernaient le calcul des réactances inductives. Ils permettent de calculer la réactance capacitive des condensateurs dont la capacité est comprise entre 0,00002 picofarad et 20 farads, pour des fréquences allant de 1 Hz à 1 000 MHz. Ces abaques — tout comme les précédents — sont également réversibles et bien que leur mode d'emploi soit identique à celui indiqué dans la leçon citée plus haut, les exemples que nous donnons pour chacun d'eux permettront d'en démontrer l'utilité pratique.

De 0,00002 picofarad à 20 microfarads.

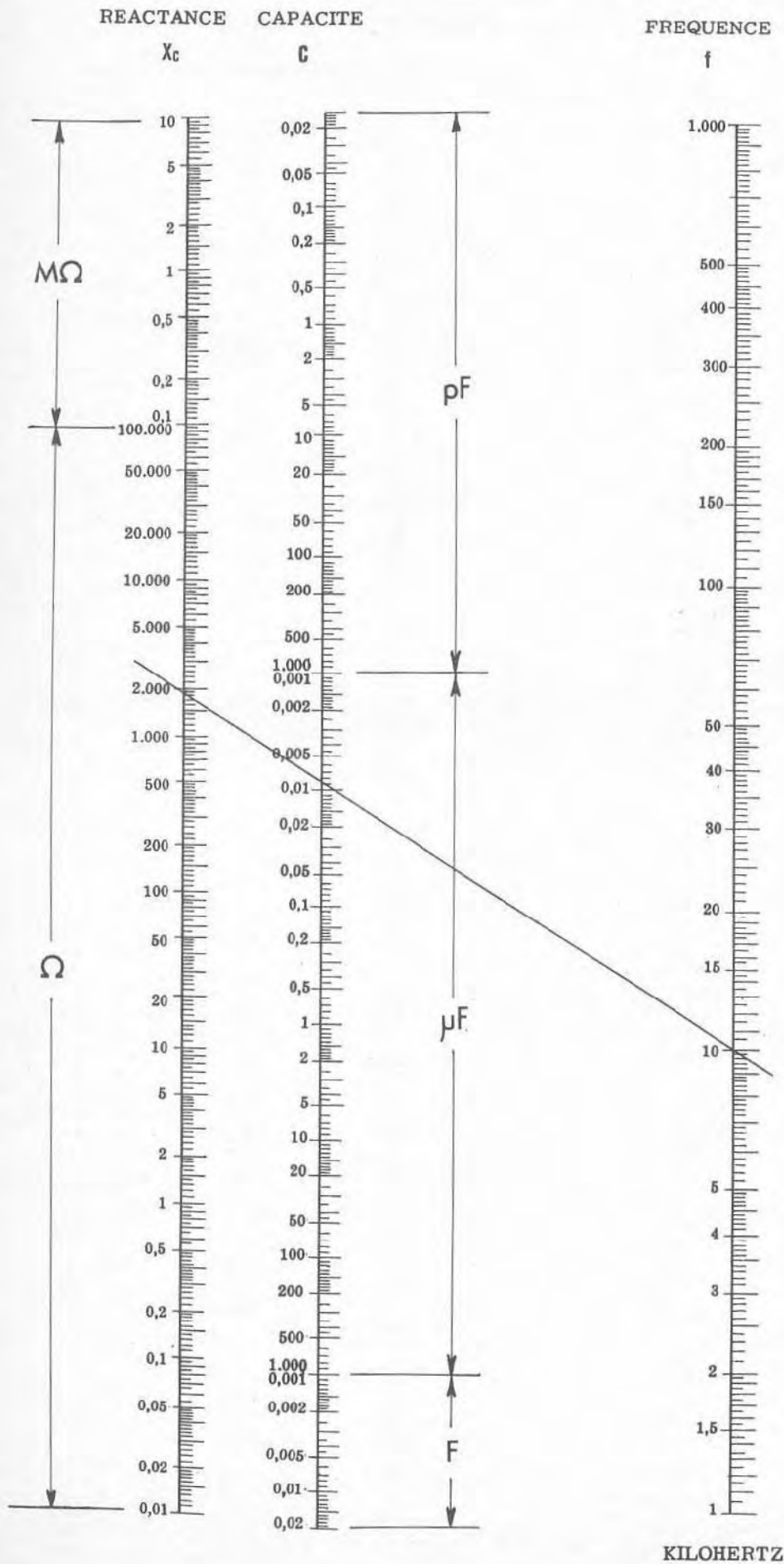


L'exemple donné peut être interprété de trois façons:

1° Connaissant la capacité, 200 pF, et la fréquence, 78 MHz. En reliant les deux points sur les échelles correspondantes (Capacité et Fréquence), et en prolongeant la droite jusqu'à ce qu'elle rencontre l'échelle des réactances, on trouve que la réactance capacitive de ce condensateur est égale à 10 ohms, pour cette fréquence.

2° Connaissant la réactance capacitive, 10 ohms, et la capacité 200 pF. Dans ce cas la fréquence à laquelle cette capacité présente une telle valeur de réactance est 78 MHz.

3° Connaissant la réactance capacitive, 10 ohms, et la fréquence, 78 MHz. Dans ce cas, le condensateur présentant une telle réactance à cette fréquence doit avoir une capacité de 200 picofarads.



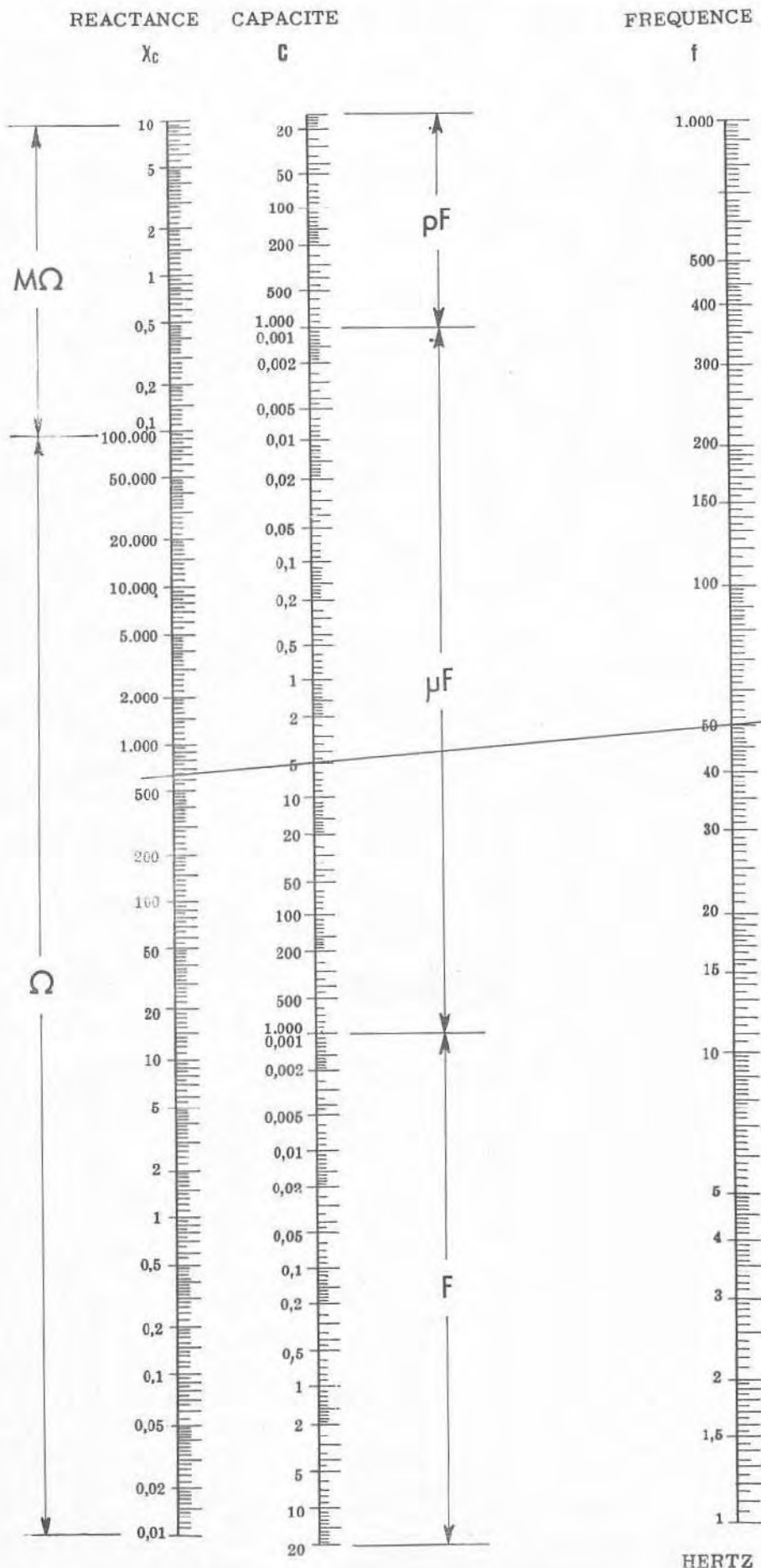
De même que le précédent, l'exemple donné ici peut être interprété de trois façons:

1° Soit une capacité de 0,009 μF et une fréquence de 10 kHz, la réactance capacitive est égale à 1 800 ohms.

2° Soit une réactance capacitive de 1 800 ohms pour un condensateur ayant une capacité de 0,009 μF , la fréquence à laquelle cette mesure est faite est égale à 10 kHz.

3° Soit une réactance capacitive de 1 800 ohms à la fréquence de 10 kHz, le condensateur ayant une telle réactance capacitive à cette fréquence, a une capacité de 0,009 μF .

De 20 picofarads (0,00002 microfarad) à 20 farads



Toujours trois interprétations possibles:

1° Soit un condensateur ayant une capacité de 5 μF et une fréquence de 50 Hz, la réactance capacitive est égale à 650 ohms.

2° Soit un condensateur ayant une réactance capacitive de 650 ohms à la fréquence de 50 Hz, sa capacité sera égale à 5 μF .

3° Soit un condensateur de 5 μF ayant une réactance capacitive de 650 ohms, la fréquence à laquelle cette capacité aura cette réactance sera de 50 Hz.

Notre REVUE DE TECHNIQUE RADIO

vous apportera
chaque année:

52 leçons et exposés théoriques

52 leçons de technique appliquée

52 leçons de réalisations pratiques, de schémas et de références

52 exercices de révision, avec réponses aux questions posées

Un Dictionnaire Anglais-Français d'Electronique, etc...

soit un total de plus de 1872 pages de texte, figures ou tableaux, dans lesquelles seront traités, entre autres sujets:

Les transistors, les organes les plus récents, les plus révolutionnaires parmi les réalisations de l'Electronique. L'emploi des transistors s'étend rapidement: de très nombreux récepteurs et amplificateurs du commerce en sont dotés et leur nombre est, indubitablement, destiné à aller croissant car, de plus en plus, les transistors remplaceront les lampes thermoniques. Il est, en conséquence, nécessaire que le radiotechnicien les connaisse, sache les utiliser, se rende compte pourquoi et comment ils diffèrent d'une lampe, soit tenu au courant des divers types et de leurs caractéristiques. Nous décrirons de nombreux montages de récepteurs, d'émetteurs et de dispositifs électroniques à réaliser avec des transistors.

Une autre technique en pleine évolution est celle dite: **Haute Fidélité**. Les exigences, en ce qui concerne la fidélité de la reproduction sonore, sont devenues nettement plus grandes. Le matériel employé dans la partie Basse Fréquence des nombreux récepteurs, dans les amplificateurs ou reproducteurs de toutes sortes, est allé constamment en se perfectionnant: il en est résulté de nouvelles techniques, de nouveaux circuits ou procédés qu'il faut connaître. Nous citerons, en particulier, **l'enregistrement magnétique** qui a vu le développement rapide des magnétophones, auquel fait pendant, dans la bataille entre le ruban et le disque, le microsillon. Récemment, tous deux ont encore affiné leur technique avec la **reproduction stéréophonique**.

Ces derniers temps, ont fait apparition des récepteurs et amplificateurs construits selon la technique des **circuits imprimés**. Ce sont des plaquettes en matière isolante sur lesquelles les connexions nécessaires à la liaison entre les divers éléments sont imprimées, sous la forme de conducteurs obtenus suivant certains procédés de la technique de l'imprimerie. Il est évident que ces circuits — adoptés parfois seulement pour une partie de l'appareil — permettent une réduction importante du prix de revient si le matériel est construit en grande série. On conçoit donc que le technicien doive, d'ores et déjà, savoir quels sont les points délicats et comment il doit se comporter au regard de ces nouvelles méthodes de construction. Notre Revue, le moment venu, étudiera ce procédé et illustrera ses moindres détails.

Une des activités les plus attrayantes dans le domaine de la Radio est celle de **l'Emission d'Amateur**. Tout le monde peut obtenir une autorisation d'émission en passant un examen facile sur les sujets et les matières exposées en détail dans notre Revue, mais nous ne nous limiterons pas simplement à la préparation à cet examen: nous donnerons des descriptions d'émetteurs, de récepteurs faciles à construire; nous ferons connaître les règlements qui régissent cette activité, les caractéristiques du matériel spécial, les préfixes, abréviations, etc... Rappelons que le Trafic c'est-à-dire les communications à distance entre les Amateurs du monde entier, est la forme la plus suggestive et la plus passionnante de l'activité dans le domaine de la Radio; c'est une activité qui conduit, le plus souvent, à la formation des techniciens les plus capables, comme le démontre amplement l'expérience. C'est, de ce fait, un passe-temps de la plus haute valeur instructive qui, dans le même temps, favorise les liens d'amitié entre les Amateurs de tous les continents.

Une forme particulière de cette activité est la **télécommande des modèles réduits**. Cette branche compte également de nombreux passionnés, et le sujet ne sera pas négligé, ni pour celui qui pratique déjà cette technique, ni pour celui qui désire s'y initier.

Les instruments et **appareils de mesure** sont, c'est évident, d'une importance capitale. Sans eux, on peut dire que toute activité et toute notion sont vaines et incomplètes dans notre domaine: l'ingénieur et l'amateur, le dépanneur et l'installateur et même le commerçant averti ont tous besoin d'effectuer des contrôles d'efficacité, des mesures de rendement, des vérifications, des recherches de pannes, des étalonnages, mises au point, etc... toutes opérations qui se font au moyen d'appareils de mesure. Il existe naturellement, pour chaque opération, des instruments particuliers et nous en donnerons les détails de construction, la technique à employer, ainsi que leur utilisation dans des cas généraux ou particuliers. Nous traiterons, ainsi, des méthodes de **mise au point** et de la **recherche des pannes**.

C'est un fait connu que les laboratoires de recherches appliquées les plus avancés et les plus fameux du monde sont ceux des Etats-Unis. De ce pays arrivent les découvertes les plus sensationnelles dans le domaine de la radio, de même que les applications, les schémas qui font suite à ces découvertes lorsqu'elles passent dans le domaine de l'exploitation et du développement industriel. Et, bien qu'il soit de la plus grande utilité, pour un technicien, de connaître la langue anglaise et de pouvoir suivre le progrès directement dans les revues américaines, celui qui ne connaît pas cette langue pourra tout de même interpréter suffisamment les schémas et les indications importantes s'il a la possibilité de consulter un **dictionnaire technique Anglais - Français**. C'est ainsi que nous publierons, dans chaque fascicule, quatre pages de vocabulaire et termes techniques avec leurs traductions, et nous sommes certains que cela se révélera utile même à ceux qui connaissent la langue.

IMPRIMERIE PAR G.T.C. - MILAN - DEPOT LEGAL EDITION N. 34 - 2^{ème} TRIM. 1965



**Les anciens
Numéros
sont vendus
au même prix
de couverture: 1 F. 60**



**Les anciens
Numéros
sont vendus
au même prix
de couverture: 1 F. 60**



DEMANDEZ LES NUMEROS QUI VOUS MANQUENT AUX EDITIONS CHIRON, 40, RUE DE SEINE - PARIS 6^e

IMPORTANT : si les prochains numéros vous intéressent, avisez dès à présent votre fournisseur.