

P. HÉMARDINQUER
Ingénieur-Conseil
Chargé de Cours de l'Enseignement Technique

PROBLÈMES DE RADIOÉLECTRICITÉ

ACCOMPAGNÉS DE LEURS SOLUTIONS
ET D'EXERCICES D'APPLICATION

TOME II

PRINCIPES ESSENTIELS
DE LA
RADIOTECHNIQUE

Etienne CHIRON, éditeur, 40, rue de Seine, Paris (6^e)

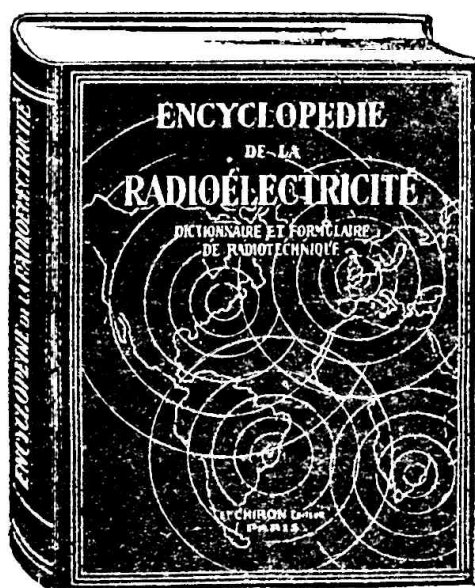
ENCYCLOPÉDIE DE LA RADIOÉLECTRICITÉ

par Michel ADAM, Ing. E. S. E.

LE SEUL
DICTIONNAIRE FORMULAIRE
DE

RADIOTECHNIQUE

EXISTANT AU MONDE



PLUS DE **600** PAGES DE TEXTE
TRÈS SERRÉ



740 ARTICLES donnant l'explication
de tous les termes, avec leur tra-
duction en anglais et allemand.



2539 Figures diverses.



375 ABAQUES, graphiques, courbes.



748 Schémas symboliques.



153 Tableaux..., etc.

FORMAT : 22 × 27 cm. POIDS : **2 kg 500**

Cette édition est entièrement nouvelle et ultra-moderne. Toutes les questions à l'ordre du jour sont traitées dans l'« Encyclopédie » : Lampes métalliques, Standardisation des bobinages, Condensateurs variables, Cadrans. La nouvelle technique des cellules photoélectriques, la contre-réaction, etc... Avec son formulaire très complet c'est pour l'ingénieur un prolongement considérable de la mémoire.

En 2 volumes reliés toile rouge

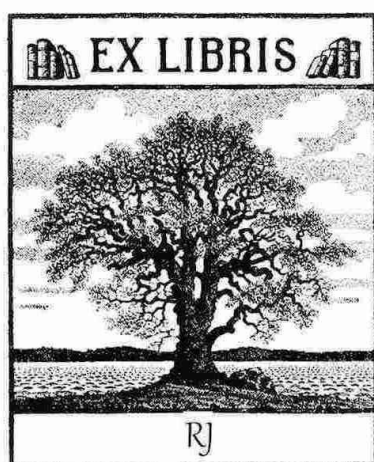
Tome I. Lettres A à G.	160 frs
Tome II. Lettres M à Z.	160 frs

Port : **18 frs**

Etienne CHIRON, éditeur

40, Rue de Seine, PARIS Chèq. Post. PARIS 53-35.

PROBLÈMES
DE
RADIOTECHNIQUE GÉNÉRALE



numérisé en février 2026 par Serge Laffont , 300dpi

P. HÉMARDINQUER
Ingénieur-Conseil
Chargé de Cours de l'Enseignement Technique

PROBLÈMES DE RADIOÉLECTRICITÉ

ACCOMPAGNÉS DE LEURS SOLUTIONS
ET D'EXERCICES D'APPLICATION

TOME II

PRINCIPES ESSENTIELS
DE LA
RADIOTECHNIQUE

Etienne CHIRON, éditeur, 40, Rue de Seine, Paris (6°)

PRÉFACE DU TOME II

Le deuxième tome de cet ouvrage est composé suivant la méthode déjà exposée en tête du premier fascicule ; il est destiné à rendre des services analogues à tous ceux qui veulent étudier sérieusement les principes et la pratique de la radioélectricité.

Ce recueil constitue un ensemble d'études correspondant spécialement aux questions traitées dans le tome II de notre ouvrage : « *La T. S. F. en 30 Leçons* ». Il renferme donc des séries très complètes de problèmes et d'exercices soigneusement choisis sur les principes de base essentiels de la radiotechnique, la construction des appareils d'émission et de réception et des amplificateurs aux usages si divers.

Les premiers chapitres sont ainsi consacrés à la définition de l'onde hertziennne, à la propagation des ondes de T. S. F., à l'étude des circuits oscillants et de leur couplage.

Les exercices suivants, de caractère plus immédiatement technique et pratique encore, se rapportent aux collecteurs d'ondes : antennes et cadres, à la transmission radiophonique, accord et modulation, aux principes de la détection, établissement et emplois des détecteurs.

Le tome II de « *La T. S. F. en 30 Leçons* » contient les énoncés des problèmes et exercices dont les solutions sont données dans ce livre ; mais les solutions de tous ces problèmes et exercices ont la même utilité essentielle pour les lecteurs ayant déjà suivi un autre cours, et qui désirent préciser et augmenter leurs connaissances acquises.

La précision et le détail des corrigés permettent aux élèves de se rendre compte des qualités ou des erreurs de leurs propres travaux, de discerner les points faibles de leurs connaissances, de constater leurs progrès.

Pour rechercher les solutions des problèmes et exercices proposés, il n'est nullement indispensable de consulter « *La T. S. F. en 30 Leçons* » ; tout autre cours de radioélectricité assez complet peut convenir.

La même méthode de présentation que dans le tome I a été adoptée pour faciliter le travail du lecteur. Les problèmes et exercices sont groupés par chapitres-leçons correspondant chacun à une étude déterminée.

En tête de chaque chapitre, nous avons encore fait figurer un formulaire-memento contenant les formules essentielles indispensables pour la solution des problèmes.

Ainsi, il n'est même plus nécessaire, la plupart du temps, de consulter un ouvrage séparé, pour retrouver les formules et expressions utiles pour effectuer le travail proposé.

Ce livre, rappelons-le encore, n'est pas destiné à remplacer les séries de devoirs et les questionnaires des écoles sur place ou par correspondance, mais doit seulement servir, le cas échéant, à faciliter le travail des élèves de ces écoles, et à le rendre plus efficace.

P. H.

CHAPITRE XIII

DÉCOUVERTE ET DÉFINITION DE L'ONDE HERTZIENNE

UNITÉS DE MESURE DES ANGLES ET DES ARCS.

Voici les relations entre les différentes unités :

$$360^\circ = 400 \text{ grades} = 2 \pi \text{ radians.}$$

$$1 \text{ radian} = 57^\circ.$$

$$1 \text{ degré} = 60 \text{ minutes.}$$

$$1 \text{ minute} = 60 \text{ secondes.}$$

RELATIONS ENTRE LES LIGNES TRIGONOMÉTRIQUES.

Il est indispensable de connaître les relations existant entre les lignes trigonométriques des angles opposés, complémentaires, ou supplémentaires. Nous les résumons ci-dessous :

$$\sin (\pi + x) = - \sin x$$

$$\cos (\pi + x) = - \cos x$$

$$\operatorname{tg} (\pi + x) = + \operatorname{tg} x$$

$$\sin (\pi - x) = \sin x$$

$$\cos (\pi - x) = - \cos x$$

$$\operatorname{tg} (\pi - x) = - \operatorname{tg} x$$

$$\sin (-x) = - \sin x$$

$$\cos (-x) = \cos x$$

$$\operatorname{tg} (-x) = - \operatorname{tg} x$$

$$\sin \left(\frac{\pi}{2} + x \right) = \sin \left(\frac{\pi}{2} - x \right) = \cos x$$

$$\cos \left(\frac{\pi}{2} + x \right) = - \sin x$$

$$\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} + x \right) = - \operatorname{tg} x$$

$$\sin \left(\frac{\pi}{2} - x \right) = \cos x$$

$$\cos \left(\frac{\pi}{2} - x \right) = \sin x$$

$$\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - x \right) = \frac{1}{\operatorname{tg} x}.$$

FORMULES GÉNÉRALES.

Il est indispensable, en outre, de connaître un certain nombre de formules générales, mais fondamentales, parmi lesquelles les suivantes sont les plus élémentaires :

$$\sin^2 a + \cos^2 a = 1$$

$$\operatorname{tg} a = \frac{\sin a}{\cos a}$$

$$\operatorname{cotg} a = \frac{\cos a}{\sin a} = \frac{1}{\operatorname{tg} a}$$

$$\sin a = \frac{\operatorname{tg} a}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 a}}$$

$$\cos a = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 a}}$$

$$\sin (a + b) = \sin a \cos b + \sin b \cos a$$

$$\sin (a - b) = \sin a \cos b - \sin b \cos a$$

$$\cos (a + b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b$$

$$\cos (a - b) = \cos a \cos b + \sin a \sin b$$

$$\operatorname{tg} (a + b) = \frac{\operatorname{tg} a + \operatorname{tg} b}{1 - \operatorname{tg} a \operatorname{tg} b}$$

$$\operatorname{tg} (a - b) = \frac{\operatorname{tg} a - \operatorname{tg} b}{1 + \operatorname{tg} a \operatorname{tg} b}$$

$$\sin 2a = 2 \sin a \cos a$$

$$\cos 2a = \cos^2 a - \sin^2 a$$

$$\operatorname{tg} 2a = \frac{2 \operatorname{tg} a}{1 - \operatorname{tg}^2 a}$$

$$\sin a = \frac{2 \operatorname{tg} \frac{a}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{a}{2}}$$

$$\cos a = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{a}{2}}{1 + \operatorname{tg}^2 \frac{a}{2}}$$

$$\operatorname{tg} a = \frac{2 \operatorname{tg} \frac{a}{2}}{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{a}{2}}$$

$$\cos a + \cos b = 2 \cos \left(\frac{a+b}{2} \right) \cos \left(\frac{a-b}{2} \right)$$

$$\cos a - \cos b = -2 \sin \left(\frac{a+b}{2} \right) \sin \left(\frac{a-b}{2} \right)$$

$$\sin a + \sin b = 2 \sin \left(\frac{a+b}{2} \right) \cos \left(\frac{a-b}{2} \right)$$

$$\sin a - \sin b = 2 \cos \left(\frac{a+b}{2} \right) \sin \left(\frac{a-b}{2} \right)$$

$$\operatorname{tg} a \pm \operatorname{tg} b = \frac{\sin(a \pm b)}{\cos a \cdot \cos b}$$

$$\sin \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos a}{2}}$$

$$\cos \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos a}{2}}$$

$$\cos(a+b) + \cos(a-b) = 2 \cos a \cos b$$

$$\cos(a+b) - \cos(a-b) = 2 \sin a \sin b$$

$$\sin(a+b) + \sin(a-b) = 2 \sin a \cos b$$

$$\sin(a+b) - \sin(a-b) = 2 \sin b \cos a.$$

VALEURS USUELLES DE LIGNES TRIGONOMÉTRIQUES.

$$\sin 30^\circ = 0,5 \quad \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \operatorname{tg} 30^\circ = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$\sin 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \cos 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \operatorname{tg} 45^\circ = 1$$

$$\sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \cos 60^\circ = 0,5 \quad \operatorname{tg} 60^\circ = \sqrt{3}.$$

ÉQUATION DE LA COURBE SINUSOÏDALE ET DU MOUVEMENT VIBRATOIRE.

Soit y l'élongation du mobile animé du mouvement vibratoire, l'équation du mouvement est de la forme :

$$y = a \sin \frac{2\pi t}{T}.$$

T est la période du mouvement, a le rayon de la circonférence initiale sur laquelle se déplace le point représentatif (fig. 1). Cette équation montre que l'élongation est une fonction sinusoïdale du temps t .

Si, au lieu de considérer la variation de la position du point représentatif par rapport à l'axe horizontal des abscisses, on étudie la variation

par rapport à l'axe vertical des ordonnées, l'équation représentative devient :

$$y = a \cos \frac{2\pi t}{T}.$$

Quand t augmente indéfiniment, y varie entre $-a$ et $+a$; si l'on considère le cercle trigonométrique de rayon 1, y varie de -1 à $+1$.

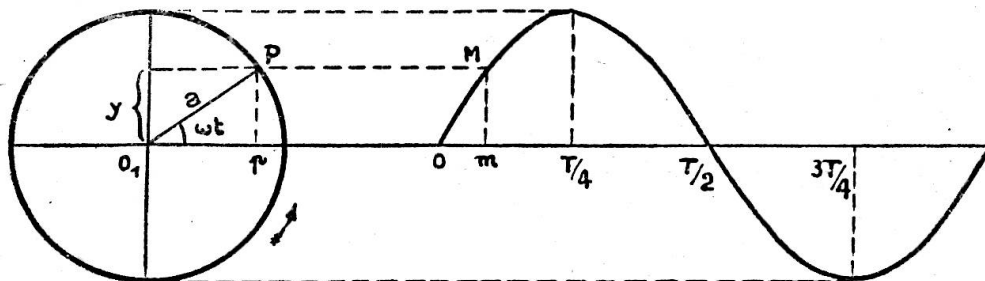


FIG. 1

La quantité $\frac{2\pi}{T}$ ou $2\pi F$, F étant la fréquence du mouvement, inverse de la période, est la pulsation ω . Avec cette notation, l'équation précédente peut se mettre sous la forme :

$$y = a \sin \omega t.$$

L'expression ωt est la phase du mouvement au temps t . Pendant une période, la phase varie de $2n\pi$ à $2(n+1)\pi$, n étant un nombre entier.

Si nous considérons deux mouvements distincts de même période, mais de phases différentes, ces mouvements peuvent être représentés respectivement par les équations :

$$y = a \sin (\omega t - \varphi)$$

et

$$y = a \sin (\omega t + \varphi).$$

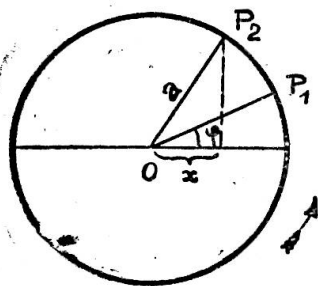


FIG. 2

φ est un angle exprimant un décalage en radians, différence de phase, ou déphasage entre les deux mouvements (fig. 2).

On peut trouver immédiatement la correspondance entre le déphasage en radians ou en degrés φ , et l'avance ou le retard en fractions de période. Un déphasage de $\frac{\pi}{2}$ en radians, ou 90° en degrés, correspond à une avance ou un retard de $\frac{T}{4}$, un déphasage de π à une avance ou un retard de $\frac{T}{2}$.

ÉQUATION DU MOUVEMENT PENDULAIRE.

x étant la distance algébrique du pendule à sa position d'équilibre, ou élongation à un moment t , a l'amplitude maxima du mouvement, l'équation représentative est de la forme :

$$x = a \cos \omega t.$$

La période du mouvement est toujours donnée par l'expression :

$$T = \frac{2\pi}{\omega}.$$

ω étant la pulsation, ou vitesse angulaire, d'un mobile représentatif parcourant une circonférence de rayon a , d'un mouvement uniforme, le mouvement débutant à l'origine.

L'équation la plus générale d'un mouvement pendulaire est :

$$x = a \cos (\omega t + \varphi).$$

La quantité $\omega t + \varphi$ représente un angle variant avec le temps, ou phase actuelle du mouvement.

ÉQUATION DU COURANT ALTERNATIF SINUSOIDAL.

La valeur instantanée du courant est donnée par l'expression :

$$I = I_m \sin \omega t.$$

I étant la valeur instantanée, I_m la valeur maximum, et ωt la phase ; ce qui peut encore s'écrire :

$$I = I_m \sin \frac{2\pi t}{T}.$$

T étant la période, et ω la pulsation.

Si l'on considère la force électromotrice à un instant donné t , E , et la force électromotrice maximum ou amplitude E_m , on a de même :

$$E = E_m \sin \frac{2\pi t}{T} = E_m \sin \omega t.$$

L'expression d'un courant décalé en avant ou en arrière sur une différence de potentiel est alors :

$$I = I_m \sin (\omega t + \varphi)$$

ou

$$I = I_m \sin (\omega t - \varphi)$$

φ étant le décalage angulaire.

SUPERPOSITION DES VIBRATIONS.

Considérons deux vibrations de même période et de même amplitude, et prenons pour origine des temps le début de l'une des variations ; les équations des courbes représentatives seront respectivement :

$$y_1 = a \sin \frac{2\pi t}{T}$$

et

$$y_2 = a \sin 2\pi \frac{t - \theta}{T}.$$

θ étant un décalage dans le temps. Si ce décalage correspond à un nombre entier de périodes, les courbes représentatives seront superposées, la vibration résultante sera simple, et d'amplitude double.

Si θ est un nombre impair de demi-périodes, les vibrations seront opposées à tout instant.

Les deux mouvements présentent une différence de phase $\frac{\theta}{T}$, et on peut encore poser $\varphi = \frac{\theta}{T}$.

L'amplitude de la vibration résultante est de $2a \cos \pi\varphi$. Elle est nulle ou égale à $2a$, suivant que $\pi\varphi$ est égal à un nombre impair ou pair de fois $\frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire suivant que le décalage θ est un nombre impair ou pair de demi-périodes.

LONGUEURS D'ONDE ET FRÉQUENCES.

La longueur d'onde λ d'une onde est la distance parcourue par la perturbation pendant la période de la vibration initiale.

La fréquence de l'onde correspond à la fréquence du mouvement oscillatoire initial ; c'est le nombre indiquant combien il passe d'ondes en une

seconde par un point de la zone de propagation. *La fréquence est d'autant plus élevée que la longueur d'onde est plus réduite.*

Soit λ la longueur d'onde, V la vitesse de propagation, T la période, la distance parcourue pendant la durée T est $V \times T$, et l'on a :

$$\lambda = VT.$$

λ est mesurée en kilomètres ou en mètres, V est alors mesurée également en kilomètres ou en mètres ; T est toujours évaluée en secondes. On aura donc pour les ondes de T. S. F. :

$$\lambda \text{ (kilomètres)} = 300.000 \times T \text{ (secondes)}$$

$$\lambda \text{ (mètres)} = 3 \times 10^8 \times T \text{ (secondes)}.$$

On en déduit :

$$T = \frac{\lambda}{V} = \frac{\lambda \text{ (kilomètres)}}{300.000} = \frac{\lambda \text{ (mètres)}}{3 \times 10^8}.$$

Puisque la fréquence F est l'inverse de la période, on peut également écrire :

$$F = \frac{V}{\lambda} = \frac{300.000}{\lambda \text{ (kilomètres)}} = \frac{3 \times 10^8}{\lambda \text{ (mètres)}}.$$

La fréquence est évaluée en périodes par seconde (p/s), en cycles par seconde (c/s), kilocycles ou mégacycles par seconde (Kc/s ou Mc/s). Le mot *hertz* peut, d'ailleurs, remplacer le mot *cycle* dans les exposés.

CORRESPONDANCE ENTRE LES LONGUEURS D'ONDE ET LES FRÉQUENCES.

Les formules ci-dessus permettent de déterminer les relations entre les fréquences et les longueurs d'onde. Pour des recherches rapides, le tableau ci-contre, déjà publié dans « *La T. S. F. en 30 Leçons* », donne les correspondances par les longueurs d'onde entre 1 et 10.000 mètres, et les fréquences entre 30 kilocycles et 3.10^5 kilocycles.

Ce tableau est évidemment réversible.

Longueur d'onde en mètres	Fréquence en kilocycles	Longueur d'onde en mètres	Fréquence en kilocycles	Longueur d'onde en mètres	Fréquence en kilocycles
1	3 10^5	390	769	1.200	250
2	1.5 10^5	400	750	1.225	245
3	1 10^5	410	732	1.250	240
4	7.5 10^4	420	715	1.275	235
5	6 10^4	430	697	1.300	231
7	4.29 10^4	440	682	1.325	226
8	3.75 10^4	450	667	1.350	222
9	3.33 10^4	460	653	1.375	218
10	3.0 10^4	470	639	1.400	214
20	1.5 10^4	480	625	1.425	210
30	1.0 10^4	490	612	1.450	207
40	7.5 10^3	500	600	1.475	203
50	6.0 10^3	510	588	1.500	200
60	5.0 10^3	520	577	1.525	196
70	4.29 10^3	530	566	1.550	193
80	3.75 10^3	540	556	1.575	190
90	3.33 10^3	545	550	1.600	187
100	3.00 10^3	550	545	1.625	185
110	2.73 10^3	555	541	1.650	182
120	2.50 10^3	560	536	1.675	179
130	2.31 10^3	565	531	1.700	176
140	2.14 10^3	570	527	1.725	174
150	2.0 10^3	575	522	1.750	171
160	1.88 10^3	580	517	1.775	169
170	1.76 10^3	585	513	1.800	167
180	1.67 10^3	590	509	1.825	164
185	1.62 10^3	595	504	1.850	162
190	1.58 10^3	600	500	1.875	160
195	1.54 10^3	625	480	1.900	158
200	1.50 10^3	650	462	1.925	156
205	1.46 10^3	675	444	1.950	154
210	1.43 10^3	700	429	1.975	152
215	1.39 10^3	725	414	2.000	150
220	1.36 10^3	750	400	2.100	143
225	1.33 10^3	775	387	2.200	136
230	1.30 10^4	800	375	2.222	135
240	1.25 10^3	825	364	2.300	130
250	1.20 10^3	850	353	2.400	125
260	1.15 10^3	875	342	2.500	120
270	1.11 10^3	900	333	2.600	115
280	1.07 10^3	925	324	2.700	111
290	1.04 10^3	950	316	2.800	107
300	1.000	975	308	2.900	103.5
310	968	1.000	300	3.000	100
320	938	1.025	292	3.330	90
330	909	1.050	286	3.750	80
340	883	1.075	279	4.280	70
350	857	1.100	273	5.000	60
360	833	1.125	266	6.000	50
370	811	1.150	261	7.500	40
380	790	1.175	255	10.000	30

ÉCHELLE DES RADIATIONS.

La gamme des phénomènes vibratoires peut être assimilée à une échelle, dont les échelons seraient les fréquences de vibrations. On voit ci-dessous, un tableau schématique de cette échelle, déjà publié également dans « *La T. S. F. en 30 Leçons* » avec indication des longueurs d'onde et des fréquences correspondantes.

Longueurs d'onde en centimètres	Nature des radiations	Fréquence Nombre d'oscillations par seconde
30.000.000.000		1
300.000.000	Fréquences Industrielles	100
3.000.000	Fréquences Musicales	10.000
	Ondes électriques employées en T.S.F.	
300.000		100.000
30		1.000.000.000
3	Ondes de Hertz	10.000.000.000
0,3	Ondes de Nobius	100.000.000.000
	Rayons étudiés par Nichols et Tear	1.000.000.000.000
0,03	Rayons caloriques infra-rouges	1.000.000.000.000.000
0,00003	lumière rouge	
	» orangée	
	» jaune	
	» verte	
	» bleue	
	» indigo	
	» violette	10.000.000.000.000.000
0,000003	Rayons ultra-violets	100.000.000.000.000.000
0,0000003	Rayons X	1.000.000.000.000.000.000
0,000000003	Rayons γ	100.000.000.000.000.000.000
0,0000000003	Rayons ultra-X	1.000.000.000.000.000.000.000

PREMIÈRE CLASSIFICATION DES ONDES ÉLECTRIQUES.

Le domaine pratique des fréquences radioélectriques s'étend de 30.000 cycles-seconde, à 3 milliards de cycles-seconde, ce qui correspond à des longueurs d'onde de 10.000 mètres à 10 centimètres. Une première classification peut être donnée par le tableau ci-dessous, d'après le *Comité Consultatif International des Communications Radioélectriques*.

Fréquences Kc/s	Longueurs d'onde en mètres	Classification
100	3.000	Ondes longues
1.500	200	Ondes moyennes
6.000	50	Ondes intermédiaires
30.000	10	Ondes courtes
		Ondes très courtes

Quant aux principaux usages des différentes ondes en Europe, ils sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

Fréquences	Longueurs d'onde	Noms	Emplois
10 à 150 Kc 150 à 350 Kc 300 à 550 Kc	30 Km à 2.000 m 2.000 m à 1.000 m 1.000 à 545 m	Ondes longues Grandes ondes	Liaisons télégraphiques Radiophonie Radiophares, services mobiles, etc.
550 à 1.500 Kc 1,5 à 5 Mc	545 à 200 m 200 à 60 m	Petites ondes Ondes intermédiaires	Radiophonie Services publics et divers Amateurs
5 à 20 Mc 20 à 300 Mc	60 à 15 m 15 à 1 m	Ondes courtes Ondes très courtes	Radiophonie Télévision. Transmissions dirigées. Diffusion.
Jusque 10.000 Mc	Jusque 3 cm	Ondes ultra-courtes	Transmissions dirigées diverses.

APPLICATIONS

100. — *Quelles sont les fréquences correspondant aux longueurs d'onde suivantes : 40 mètres, 103,50 mètres, 171 mètres, 261 mètres, 653 mètres, 857 mètres, 968 mètres ?*

Inversement, à quelles longueurs d'onde correspondent les fréquences suivantes : 103,5 kilocycles, 203 kilocycles, 390 kilocycles, 577 kilocycles, 1.800 kilocycles, 9.000 kilocycles ?

SOLUTION. — La vitesse de propagation des oscillations électromagnétiques V est égale sensiblement à celle de la lumière, soit 300.000 Km. par seconde. Pour trouver la fréquence F en cycles-seconde correspondant à une longueur d'onde λ en mètres, on peut appliquer la formule :

$$F = \frac{V}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{\lambda \text{ (mètres)}}$$

et, pour trouver la valeur en kilocycles :

$$F = \frac{3 \times 10^5}{\lambda \text{ (mètres)}}.$$

Nous avons également à notre disposition pour une recherche rapide le tableau de la page 14, dont la réversibilité permet, bien souvent, de trouver les valeurs intermédiaires.

Nous trouvons ainsi :

pour $\lambda = 40$ m	$f_1 = \frac{3 \times 10^5}{40} = 7,5 \times 10^3$ kilocycles
pour $\lambda = 103,50$ m	$f_2 = \frac{3 \times 10^5}{103,50} = 2.900$ kilocycles
pour $\lambda = 171$ m	$f_3 = \frac{3 \times 10^5}{171} = 1.750$ kilocycles
pour $\lambda = 261$ m	$f_4 = \frac{3 \times 10^5}{261} = 1.150$ kilocycles
pour $\lambda = 653$ m	$f_5 = \frac{3 \times 10^5}{653} = 460$ kilocycles
pour $\lambda = 857$ m	$f_6 = \frac{3 \times 10^5}{857} = 350$ kilocycles
pour $\lambda = 968$ m	$f_7 = \frac{3 \times 10^5}{968} = 310$ kilocycles.

Inversement, pour trouver la longueur d'onde en mètres correspondant à une fréquence F , nous utiliserons la formule :

$$\lambda = \frac{V}{F}, \text{ soit}$$

$$\lambda (\text{mètres}) = \frac{3 \times 10^5}{F (\text{kilocycles})}.$$

Nous pourrions également, comme pour le problème précédent, utiliser le tableau réversible de la page 14, et nous aurons ainsi :

pour $F = 103,5$ kilocycles	$\lambda_1 = \frac{3 \times 10^5}{103,5} = 2.900$ mètres
pour $F = 203$ kilocycles	$\lambda_2 = \frac{3 \times 10^5}{203} = 1.475$ mètres
pour $F = 390$ kilocycles	$\lambda_3 = \frac{3 \times 10^5}{390} = 769$ mètres
pour $F = 577$ kilocycles	$\lambda_4 = \frac{3 \times 10^5}{577} = 520$ mètres
pour $F = 1.800$ kilocycles	$\lambda_5 = \frac{3 \times 10^5}{1.800} = 167$ mètres
pour $F = 9.000$ kilocycles	$\lambda_6 = \frac{3 \times 10^5}{9.000} = 33,33$ mètres.

101. — *Quelles sont la fréquence et la période d'une onde de 600 mètres de longueur ? Quelle est sa pulsation ?*

SOLUTION. — Pour trouver la fréquence F et la période T correspondant à une longueur d'onde λ , nous utilisons encore les formules :

$$F = \frac{V}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{\lambda \text{ (mètres)}} \quad \text{et} \quad T = \frac{\lambda}{V} = \frac{\lambda \text{ (mètres)}}{3 \times 10^8}.$$

Appliquons ici :

$$F = \frac{3 \times 10^8}{600} = 500.000 \text{ périodes par seconde}$$

$$T = \frac{1}{F} = \frac{\lambda \text{ (mètres)}}{3 \times 10^8} = \frac{1}{500.000} \text{ de seconde.}$$

Quant à la pulsation ω , elle a pour expression : $\omega = 2\pi F = 3,14 \times 10^6$.

CHAPITRE XIV

CONSTITUTION ET PROPAGATION DES ONDES DE T. S. F.

CHAMP MAGNÉTIQUE ET CHAMP ÉLECTRIQUE.

Le champ magnétique H à l'intérieur d'un solénoïde comportant N spires, de longueur l , parcouru par un courant alternatif d'intensité efficace I , et exprimé en gauss, a pour valeur :

$$H = \frac{4\pi NI}{10l}.$$

Le champ électrique est mesuré en volts-centimètre, volts par mètre, millivolts ou microvolts par mètre. Il correspond à la variation de potentiel entre deux points dans la direction du champ, et distants de 1 centimètre ou de 1 mètre.

L'intensité magnétique est ainsi mesurée en gauss, et l'intensité électrique en volts par mètre. L'intensité d'une émission radioélectrique est évaluée d'après la mesure du champ produit, en considérant la force électromotrice déterminée par le champ le long d'un conducteur rectiligne.

Le rapport, qui lie les deux vecteurs représentatifs des champs électrique et magnétique P_e et P_m est indiqué par la relation :

$$\frac{P_e}{P_m} = 3 \times 10^4.$$

VITESSE DE PROPAGATION.

La vitesse de propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu de pouvoir inducteur spécifique K , et de perméabilité μ est indiquée par la relation :

$$V \text{ (centimètres-seconde)} = \frac{3 \times 10^{10}}{\sqrt{K(\text{u. e. c. g. s.}) \times \mu(\text{u. e. m. c. g. s.})}}.$$

Dans le vide et dans l'air $K = \mu = 1$, et $V = 3 \times 10^{10}$ centimètres par seconde.

LOIS DE PROPAGATION.

L'épaisseur de pénétration a des ondes de T. S. F. varie suivant les propriétés conductrices du milieu considéré ; elle est d'autant plus faible que l'opacité électrique, ou conductibilité, est plus grande. Elle s'exprime par la relation :

$$a = \frac{1}{\sqrt{2\pi\mu c\omega}}.$$

Dans cette formule, μ représente la perméabilité du milieu, c la conductibilité, ω la pulsation correspondant à la fréquence des ondes considérées.

Dans le cas du cuivre, la perméabilité est égale à l'unité ; la formule simplifiée devient :

$$a \text{ (millimètres)} = 0,00376 \sqrt{\lambda \text{ (mètres)}}.$$

La formule d'Austin-Cohen donne des indications sur les conditions de propagation des ondes, du moins pour les longueurs supérieures à 150 mètres.

Cette formule permet de déterminer approximativement l'intensité I en ampères du courant de réception à la surface du sol, à une distance D en kilomètres d'une antenne dont la hauteur de rayonnement est h , I_0 étant l'intensité du courant d'émission à la base de l'antenne, λ la longueur en kilomètres des ondes rayonnées, h_r la hauteur de l'antenne de réception en mètres, R la résistance du circuit de réception en ohms :

$$I_r = \frac{120\pi}{R} \frac{h I_0}{\lambda D} h_r e^{-0,0015 \frac{D}{\sqrt{\lambda}}}.$$

Cette formule peut encore se mettre sous la forme :

$$h I_0 = \frac{10^{-6}}{377} E \lambda D e^{-\frac{0,000047 D}{\sqrt{\lambda}}}.$$

Avec les mêmes notations, mais E étant le champ électrique vertical produit à la distance D en microvolts par mètre.

La première formule peut encore se simplifier sous la forme :

$$I_r = \frac{c e^{-\frac{\alpha D}{\sqrt{\lambda}}}}{\lambda D}.$$

Dans cette expression, avec les mêmes notations, c est une quantité qui ne dépend ni de λ ni de D , et $\alpha = 0,0015$.

APPLICATIONS

102. — Deux boules métalliques identiques, dont les centres sont distants de 8 centimètres, et présentant chacune une capacité de 1/1.000 de microfarad, sont connectées aux pôles d'une source d'électricité de 80 volts. Quelle est la force d'attraction qui s'exerce entre les boules ?

SOLUTION. — La loi de Coulomb, en électrostatique, indiquant la force f qui s'exerce entre deux conducteurs portant des charges q et q' et séparés par une distance d a pour expression :

$$f = \frac{qq'}{d^2}.$$

En exprimant cette force en dynes, la distance en centimètres, et les charges en coulombs, la formule s'écrit :

$$(1) \quad f = 9 \times 10^{18} \frac{qq'}{d^2}.$$

Ici, la distance d des deux boules est de 8 centimètres, et il faut calculer les charges des deux boules en coulombs.

Ces charges sont données par les expressions : $q = CV$ et $q' = CV'$, C étant la capacité de chaque boule, et V et V' leurs potentiels.

En raison de la symétrie du système, les potentiels des boules sont de : — 40 volts et de + 40 volts puisque la différence de potentiel est de 80 volts (fig. 3).

La charge d'une boule est ainsi de :

$$40 \times 10^{-9} = 4 \times 10^{-8} \text{ coulombs.}$$

La formule (1) nous donne alors :

$$f = \frac{9 \times 10^{18} \times 4 \times 10^{-8} \times 4 \times 10^{-8}}{8^2}$$

$$f = \frac{9 \times 10^{18} \times 16 \times 10^{-16}}{64} = 225 \text{ dynes.}$$

103. — Une boucle de 50 spires est déplacée dans un champ magnétique de 5.000 gauss, dans lequel elle est placée perpendiculairement à la direction des lignes de force. Sa section est de 25 cm², sa résistance de 5 ohms, et la durée de déplacement de 1/30 de seconde.

Calculer la force électromotrice induite, et la quantité d'électricité mise en mouvement.

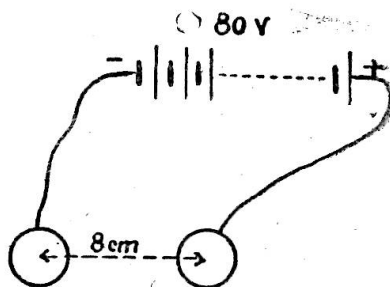


FIG. 3

SOLUTION. — Un problème de ce genre a déjà été indiqué dans le tome I (n° 73), et le problème actuel est étudié à titre de rappel.

La force électromotrice moyenne E induite par le déplacement de la boucle est indiquée par l'expression :

$$(1) \quad E = \frac{(\Phi_1 - \Phi_2) \times N}{t \times 10^8}.$$

Dans laquelle :

Φ_1 = flux initial, Φ_2 = flux maximum en gauss à la fin du déplacement, N = nombre de spires de la bobine, t = durée de variation du flux en secondes.

Ici, la section est donnée, et le flux maximum Φ_1 , lorsque le plan des spires est perpendiculaire aux lignes de force du champ, a pour valeur :

$$\Phi_1 = 5.000 \times 25.$$

Le flux minimum, Φ_2 , lorsque le plan des spires est parallèle aux lignes de force est nul. Enfin, la durée de rotation t est de $1/30$ de seconde, et le nombre de spires est de 50.

La formule (1) devient :

$$E = \frac{(5.000 \times 25 - 0) \times 50}{\frac{1}{30} \times 10^8}$$

$$E = \frac{125.000 \times 50 \times 30}{10^8} = \frac{125 \times 15}{10^3} = 1,875 \text{ volt.}$$

La résistance R du système étant de 5 ohms, l'intensité moyenne du courant I a pour valeur :

$$I = \frac{E}{R} = \frac{1,875}{5} = 0,375 \text{ ampère.}$$

La quantité d'électricité Q obtenue pendant la durée t du mouvement a pour expression :

$$Q = I \times t = 0,375 \times \frac{1}{30} = 0,0125 \text{ coulomb.}$$

104. — *Un signal de T. S. F. est envoyé de France jusqu'en Indochine, à une distance de l'ordre de 10.000 kilomètres.*

Au bout de combien de temps le signal est-il entendu ?

SOLUTION. — La vitesse de propagation de l'onde hertzienne est de 300.000 kilomètres par seconde. La durée de propagation correspondant à 10.000 kilomètres est donc de :

$$\frac{10.000}{300.000} = 1/30 \text{ de seconde.}$$

CHAPITRE XV

LE CIRCUIT OSCILLANT EN T. S. F.

DÉCHARGE D'UN CONDENSATEUR DANS UNE RÉSISTANCE.

La loi de la charge d'un condensateur à travers une résistance est traduite par la relation :

$$Q = CV \left(1 - e^{-\frac{t}{CR}} \right).$$

Q étant la quantité d'électricité, ou charge du condensateur, C la capacité, R la résistance, V la différence du potentiel de la source, CR la constante de temps θ . C'est le temps au bout duquel la charge tombe au tiers environ de sa valeur initiale.

C est exprimé en farads, V en volts, R en ohms, CR = θ en secondes.

La loi de décharge apériodique d'un condensateur dans une résistance est, de même, traduite par la relation :

$$Q = CV e^{-\frac{t}{CR}}.$$

Ou encore par la relation équivalente :

$$i = \frac{V}{R} e^{-\frac{t}{CR}}.$$

DÉCHARGE OSCILLANTE D'UN CONDENSATEUR.

La décharge d'un condensateur de capacité C, dans un circuit comprenant un bobinage de coefficient de self-induction L et une résistance R est oscillante si l'on a la relation :

$$R < 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Le courant de décharge instantané est alors indiqué par la relation :

$$i = I e^{-\alpha t} \sin \omega t$$

en posant $\alpha = \frac{R}{2L}$ (facteur d'amortissement).

L'énergie emmagasinée à la charge, et restituée à la décharge, est indiquée par l'expression :

$$W = \frac{1}{2} CV^2$$

dans laquelle, W est l'énergie en joules, C la capacité en farads, et V la différence de potentiel en volts sur les armatures.

D'après la formule $Q = CV$, cette expression peut se mettre sous la forme :

$$W = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}.$$

Q étant la quantité d'électricité emmagasinée en coulombs.

Pour chaque diélectrique, le *coefficient de rigidité diélectrique* indique en Kilovolts-centimètre la différence de potentiel critique supportée par un condensateur, dont la lame de diélectrique a une épaisseur d'un centimètre.

Si a est ce coefficient, et e l'épaisseur du diélectrique en centimètres, l'énergie maxima emmagasinée est indiquée par la relation :

$$W = \frac{1}{2} C(1.000 ae)^2.$$

La période propre du circuit T est donnée par la formule de Thomson :

$$T \text{ (secondes)} = 2\pi \sqrt{L \text{ (henrys)} \times C \text{ (farads)}}.$$

L étant le coefficient de self-induction, et C la capacité.

La fréquence propre F a alors pour expression :

$$F = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad \text{et la pulsation :}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Si C est évaluée en microfarads, et L en centimètres, on a :

$$F = \frac{5 \times 10^6}{\sqrt{LC}}.$$

La longueur d'onde propre λ du circuit est indiquée, d'autre part, par l'expression :

$$\lambda = VT = 2\pi V \sqrt{LC}.$$

V étant la vitesse de propagation des ondes en mètres (3×10^8), λ étant exprimée en mètres, L en henrys, C en farads. Cette formule peut se simplifier sous la forme :

$$\lambda = 60 \sqrt{L \text{ (microhenrys)} \times C \text{ (millièmes de microfarad)}}.$$

Nous reverrons plus loin ces formules.

AMORTISSEMENT.

Le rapport de deux amplitudes consécutives est constant, et égal à $\frac{R}{2L} T = \delta$.

Cette expression est le *décrément logarithmique*, tandis que la fraction $\frac{R}{2L}$ est le *facteur d'amortissement*.

La constante de temps du circuit est définie par l'expression :

$$\theta = \frac{2L}{R}.$$

L'impédance caractéristique a pour expression :

$$Z_c = \frac{V_{\max}}{I_{\max}} = \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Enfin, la valeur efficace de la décharge amortie est exprimée par :

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_{\max}}{2} \sqrt{\frac{N}{\alpha}}.$$

N étant le nombre d'étincelles à la seconde, $I_{\max}$ le courant maximum de la première décharge, et $\alpha = \frac{R}{2L}$ le facteur d'amortissement.

RÉSONANCE.

La condition de résonance d'un circuit série ou d'un circuit parallèle s'écrit :

$$LC\omega^2 = 1 \quad \text{ou} \quad \omega^2 = \frac{1}{LC} \quad \text{soit} \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

A la résonance, dans un circuit série, la tension aux bornes du bobinage comme du condensateur est exprimée par la relation :

$$E_L = E_C = E_{\text{eff}} \times \frac{L\omega}{R} = E_{\text{eff}} \times \frac{1}{\omega CR}$$

$\frac{\omega L}{R}$ est le *facteur de surtension* Q.

Dans un circuit *résonant-parallèle*, ou *circuit-bouchon*, la condition de résonance est la même.

Au moment de la résonance, l'impédance du système est maximum, et donnée par l'expression :

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

et, d'après la relation de résonance :

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

$$Z = \frac{L}{CR}.$$

A ce moment, l'intensité efficace du courant dans la bobine et dans le condensateur est la même, et a pour expression :

$$I_L = I \frac{\omega L}{R} = I \times Q.$$

Z est évalué en ohms, ainsi que R, et L en henrys.

Les notions de tension à la résonance considérées dans le circuit-série sont ainsi remplacées par des notions d'intensité, et inversement.

IMPÉDANCE DES CIRCUITS.

L'impédance d'un bobinage, de coefficient de self-induction L, shunté par une résistance R a pour expression :

$$Z = R \frac{L\omega}{\sqrt{L^2 + L^2\omega^2}}.$$

L'impédance d'une capacité C shuntée par une résistance est, de même :

$$Z = \frac{R}{\sqrt{1 + R^2C^2\omega^2}}.$$

L'impédance d'un circuit-bouchon avec bobinage sans résistance est :

$$Z = \frac{L\omega}{1 - LC\omega^2}.$$

Et, avec résistance :

$$Z = \frac{L}{C\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}.$$

CARACTÉRISTIQUES DE RÉSONANCE.

Les tableaux ci-dessous résument les phénomènes de résonance-série et de résonance-parallèle :

Résonance-série

I maximum	$I = \frac{E}{R}$
Impédance minimum	$Z = R$
Surtension aux bornes de E et de C	$E_L = E_C = E \frac{L\omega}{R}$
I en phase avec E	$\varphi = 0$
La puissance absorbée est maximum	$\cos \varphi = 1$

Voici maintenant un tableau analogue, mais relatif à la résonance-parallèle :

Résonance-parallèle

I minimum	$I = \frac{E}{Z}$
Impédance maximum	$Z = \frac{L}{CR} = \frac{L^2\omega^2}{R}$
Surintensité aux bornes de L et de C	$I_L = I_C = I \frac{L\omega}{R}$
I en phase avec E	$I = 0$ pour $R = 0$

FRÉQUENCES ET LONGUEURS D'ONDE PROPRES.

Nous avons indiqué plus haut la formule donnant la longueur d'onde propre d'un circuit oscillant :

$$\lambda \text{ (mètres)} = VT = 3 \times 10^8 \times T.$$

Mais :

$$T = 2\pi \sqrt{LC}.$$

On peut donc écrire :

$$\lambda = 2\pi V \sqrt{LC} = 3 \times 10^8 \times 2\pi \sqrt{LC}.$$

L étant exprimé en henrys et C en farads.

Cette formule peut se mettre sous la forme :

$$\lambda = 1.885 \sqrt{L \text{ (microhenrys)} \times C \text{ (microfarads)}}$$

$$\text{ou encore : } \lambda \text{ (mètres)} = 1.885 \sqrt{L \text{ (microhenrys)} \times C \text{ (microfarads)}}$$

$$\text{ou encore : } \lambda \text{ (mètres)} = 60 \sqrt{L \text{ (microhenrys)} \times C \text{ (millièmes de microfarad)}}.$$

Rappelons, de même, les formules simplifiées pour déterminer la fréquence propre en périodes-seconde, en fonction de L en henrys, et C en farads :

$$T = \sqrt{40LC} \quad f = \frac{1}{\sqrt{40LC}}.$$

En exprimant f en kilocycles-seconde, L en microhenrys, et C en millièmes de microfarad, on peut aussi utiliser la formule :

$$f = \frac{5.000}{\sqrt{L \times C}}.$$

La pulsation, enfin, est indiquée par la formule :

$$\omega = \frac{1,885 \times 10^9}{\lambda \text{ (mètres)}}.$$

Ou, en fonction de L en microhenrys et de C en microfarads, par l'expression :

$$\omega = \frac{10^6}{\sqrt{LC}}.$$

SÉLECTIVITÉ.

La sélectivité peut être caractérisée par le rapport $\frac{E_0}{E_1}$ entre la différence de potentiel E_0 obtenue sous l'action d'oscillations de fréquence f_0 égale à la fréquence de résonance, et la différence de potentiel E_1 déterminée par des oscillations de fréquence f_1 et de même amplitude :

$$S = \frac{E_0}{E_1}.$$

On pourrait également utiliser le rapport correspondant des intensités : $\frac{I_0}{I_1}$.

La sélectivité S est exprimée en fonction de la constante de temps $\frac{2L}{R}$ par la relation :

$$S = \sqrt{1 + \left(\frac{2L}{R} \Delta\omega \right)^2}.$$

$\Delta\omega$ = différence des pulsations correspondant aux fréquences f_0 et f_1 .
L'intervalle de sélectivité est défini par la relation :

$$a \text{ (périodes-seconde)} = \frac{1}{2\pi\theta}.$$

θ étant la constante de temps en secondes.

Les rapports $\frac{E_0}{E_1}$ et $\frac{I_0}{I_1}$ définissant les sélectivités peuvent également être évalués en décibels d'après la relation :

$$n \text{ (décibels)} = 20 \log \frac{I_1}{I_0} = 20 \log \frac{E_1}{E_0}.$$

Le tableau ci-dessous indique quelques correspondances :

Rapports de courants ou de tensions	Nombre de décibels
1	0
2	6
10	20
100	40
1.000	60
10.000	80
100.000	100

APPLICATIONS

105. — *Un circuit oscillant est formé d'un condensateur de 1/10 de microfarad, d'un bobinage de 30 microfarads, et la résistance totale du circuit est de 2 ohms.*

1° *On demande de calculer le facteur d'amortissement du circuit.*

2° *Le condensateur est chargé à un potentiel de 10.000 volts, et déchargé 1.000 fois par seconde. On demande la puissance mise en jeu dans le circuit.*

SOLUTION. — 1° Le facteur d'amortissement d'un circuit oscillant a pour expression :

$$\frac{R}{2L} \quad \text{avec } R \text{ en ohms et } L \text{ en henrys.}$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$R = 2 \quad L = \frac{30}{10^6}.$$

La formule devient :

$$\frac{2}{2 \times \frac{30}{10^6}} = \frac{10^6}{30} = 3,333 \times 10^4.$$

2° L'énergie emmagasinée à chaque charge est exprimée par la relation :

$$W = \frac{1}{2} CV^2.$$

C étant évalué en microfarads, V en volts, et W en joules.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$C = \frac{1}{10^7} \quad V = 10.000.$$

La formule devient :

$$W = \frac{1}{2} \times \frac{1}{10^7} \times (10.000)^2 = 5 \text{ joules.}$$

La décharge ayant lieu 1.000 fois par seconde, la puissance mise en jeu dans le circuit est :

$$P = 1.000 \times 5 = 5.000 \text{ watts, ou 5 kilowatts.}$$

106. — *Un alternateur, de fréquence 15.000 et de force électromotrice 300 volts, débite sur un circuit comportant en série une résistance de 1 ohm, une capacité de 50/1.000 de microfarad, et un bobinage variable.*

1° *Calculez la valeur du coefficient de self-induction du bobinage pour laquelle la réactance totale du circuit est nulle ;*

2° *Quelle est la valeur du courant pour la self ainsi calculée ?*

3° *Donnez les valeurs des différences de potentiel aux bornes de la résistance, de la capacité, et du bobinage.*

SOLUTION. — 1° Il s'agit, en réalité, de trouver la valeur du coefficient de self-induction pour la résonance, c'est-à-dire pour la fréquence 15.000. La condition de résonance s'exprime par la formule :

$$\omega^2 LC = 1$$

ou

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C}.$$

Dans laquelle, L est le coefficient de self-induction en henrys, C la capacité en microfarads, et f la fréquence en périodes-seconde (fig. 4).

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$f = 15.000 \quad C = 50 \cdot 10^{-9}$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 \times 2,25 \cdot 10^8 \times 50 \cdot 10^{-9}} \\ = 2,22 \text{ millihenrys environ.}$$

2° A la résonance, le courant a pour valeur :

$$I = \frac{E}{R}.$$

E étant la force électromotrice en volts, et R la résistance en ohms.
D'où :

$$I = \frac{300}{1} = 300 \text{ ampères.}$$

3° Aux bornes de la résistance, la différence de potentiel est de :

$$V_R = IR = 300 \times 1 = 300 \text{ volts.}$$

Aux bornes du bobinage et de la capacité, les tensions sont opposées et égales au produit de la force électromotrice par le coefficient de surtension Q.

Le coefficient a pour expression :

$$Q = \frac{\omega L}{R} = \frac{1}{\omega CR}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$Q = \frac{10^9}{2\pi \times 1,5 \cdot 10^4 \times 50 \times 1} = 212.$$

La valeur de la différence de potentiel aux bornes du bobinage et du condensateur est donc de :

$$V_L = V_C = 300 \times 212 = 63.600 \text{ volts.}$$

107. — Un circuit oscillant est composé d'un condensateur de 0,5/1.000 de microfarad, et d'une bobine de 2 millihenrys, dont la résistance est de 6 ohms.

1° On demande de calculer la pulsation propre du circuit.

2° On fait agir dans le circuit une force électromotrice d'une valeur efficace de 12 volts, et de pulsation égale à celle du circuit. Quelle est l'intensité efficace du courant obtenu dans le circuit ?

3° On couple avec la bobine du circuit un deuxième bobinage avec un coefficient d'induction mutuelle de 0,5 millihenry.

Quelle est la différence de potentiel efficace obtenue entre les extrémités de cette deuxième bobine ?

SOLUTION. — 1° A la résonance, la condition de résonance s'exprime par la relation :

$$\omega^2 LC = 1 \quad \text{soit} \quad \omega^2 = \frac{1}{LC}.$$

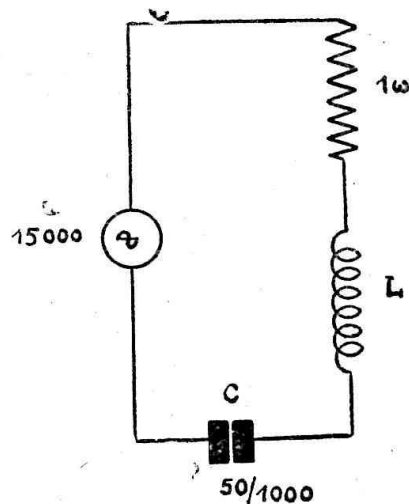


FIG. 4

L étant exprimé en henrys et C en farads (fig. 5).
Remplaçons ici les lettres par leurs valeurs :

$$C = 0,5 \times 10^{-9} \quad L = 2 \cdot 10^{-3}.$$

La formule devient :

$$\omega^2 = \frac{1}{2 \cdot 10^{-3} \times 0,5 \cdot 10^{-9}} = 10^{12} \quad \omega = 10^6.$$

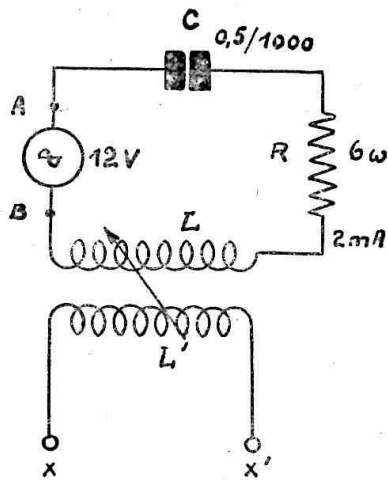


FIG. 5

2° A la résonance, si E est la force électromotrice, et R la résistance, l'intensité I est donnée par l'expression :

$$I = \frac{E}{R}.$$

Soit ici :

$$I = \frac{12}{6} = 2 \text{ ampères.}$$

3° En appelant M le coefficient d'induction mutuelle, et I l'intensité efficace du courant dans le circuit, la différence de potentiel U recueillie aux bornes de la bobine L' a pour expression :

$$U = \omega MI.$$

Et, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$U = 10^6 \times 0,5 \cdot 10^{-3} \times I = 0,5 \cdot 10^3 \times I = 0,5 \cdot 10^3 \times 2 = 1.000 \text{ volts.}$$

108. — Un alternateur, d'une force électromotrice égale à 250 microvolts, et de fréquence 100.000 périodes-seconde, est monté dans un circuit comprenant en série une résistance de 100 ohms, un bobinage de 500 microfarads, et une capacité de 2/1.000 de microfarad.

1° On demande l'impédance totale du circuit (la f. é. m. étant donnée en valeur efficace).

2° Calculer l'intensité du courant et son amplitude.

SOLUTION. — 1° La réactance du circuit série a pour expression :

$$L\omega - \frac{1}{C\omega}.$$

L et C étant évalués respectivement en henrys et en farads.

La pulsation ω a pour expression :

$$\omega = 2\pi F = 6,28 \times 100.000 = 628.000.$$

En remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$L\omega = \frac{500}{10^6} \times 628.000 = 314 \text{ ohms}$$

$$\frac{1}{C\omega} = \frac{1}{\frac{2}{10^9} \times 628.000} = \frac{10^9}{2 \times 628.000} = 795 \text{ ohms.}$$

La réactance S est donc de :

$$S = 314 \text{ ohms} - 795 \text{ ohms} = -481 \text{ ohms.}$$

L'impédance Z du circuit, dont la résistance est R, a pour expression :

$$Z = \sqrt{R^2 + S^2} = \sqrt{100^2 + 481^2} = \sqrt{241.361} = 491 \text{ ohms.}$$

La force électromotrice efficace E_{eff} est de 250 microvolts d'après l'énoncé.

L'amplitude de la force électromotrice est donc de :

$$E_m = E_{\text{eff}} \times \sqrt{2} = 250 \times 1,41 = 352,50 \text{ volts.}$$

2° L'intensité efficace I_{eff} du courant dans le circuit est exprimée par la relation :

$$I_{\text{eff}} = \frac{E_{\text{eff}}}{Z} = \frac{250}{491} = 0,52 \text{ microampère.}$$

L'amplitude de ce courant est exprimée par la relation :

$$I_m = I_{\text{eff}} \sqrt{2} = 0,52 \times 1,41 = 0,73 \text{ microampère.}$$

109. — *On reprend le circuit précédent, et on demande de calculer la différence de potentiel aux bornes du bobinage, du condensateur, et de la résistance.*

Quelle est la puissance dissipée dans le circuit ?

SOLUTION. — La différence de potentiel recueillie aux bornes du bobinage a pour expression :

$$V_L = L\omega I_{\text{eff}}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$V_L = \frac{500}{10^6} \times 628.000 \times 0,52 = 169 \text{ microvolts.}$$

Aux bornes du condensateur, la différence de potentiel est, de même :

$$V_C = \frac{I_{\text{eff}}}{C\omega} = 0,52 \times 795 = 413 \text{ microvolts.}$$

Aux bornes de la résistance, enfin, la différence de potentiel est de :

$$V_R = RI_{\text{eff}} = 100 \times 0,52 = 52 \text{ microvolts.}$$

La puissance dissipée sous forme de chaleur dans le circuit a pour expression :

$$P = RI_{\text{eff}}^2 = 100 \times (0,52)^2 \times \frac{1}{10^{12}} = 27 \text{ micromicrowatts.}$$

110. — *Un alternateur, d'une force électromotrice de 250 microvolts et d'une fréquence de 200.000 p/s débite sur un circuit, comportant une résistance de 100 ohms, deux bobinages de 1.000 et 1.500 microhenrys en parallèle, et une capacité de 4/1.000 de microfarad.*

1° *On demande de calculer l'impédance totale du circuit.*

2° *Quelle est l'intensité du courant fourni par l'alternateur ?*

SOLUTION. — Les deux bobinages en parallèle ont un coefficient de self-induction total indiqué par la relation :

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} = \frac{1}{1.000} + \frac{1}{1.500} = \frac{2.500}{1.500 \times 1.000} = \frac{1}{600}.$$

D'où :

$L = 600$ microhenrys (fig. 6).

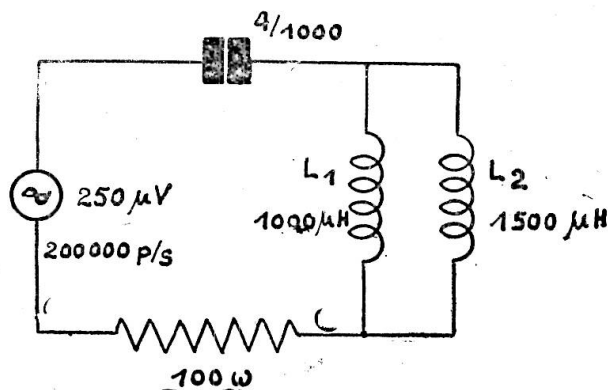


FIG. 6

L'impédance totale est indiquée par la formule :

$$Z = \sqrt{R^2 + S^2} \quad \text{où} \quad S \text{ est la réactance } L\omega - \frac{1}{C\omega}.$$

Ici :

$$L\omega = \frac{600}{10^6} \times 6,28 \times 200.000 = 376 \text{ ohms}$$

$$\frac{1}{C\omega} = \frac{1}{\frac{4}{10^9} \times 6,28 \times 200.000} = 200 \text{ ohms environ}$$

$$S = 376 - 200 = 176 \text{ ohms.}$$

D'où :

$$Z = \sqrt{100^2 + 176^2} = \sqrt{40.976} = 202 \text{ ohms.}$$

2° Le courant fourni par l'alternateur a pour expression :

$$I_{\text{eff}} = \frac{E_{\text{eff}}}{Z} = \frac{250}{202} = 1,2 \text{ microampères.}$$

111. — On reprend le circuit précédent et on demande de calculer :

1° La différence de potentiel recueillie aux bornes du condensateur.

2° La différence de potentiel aux bornes de l'ensemble des deux bobinages, et l'intensité du courant dans chacun d'eux.

3° La puissance fournie par l'alternateur.

SOLUTION. — 1° La différence de potentiel recueillie aux bornes du condensateur a pour valeur :

$$V_c = \frac{I_{\text{eff}}}{C}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs trouvées précédemment :

$$V_c = \frac{1,2}{\frac{4}{10^9} \times 6,28 \times 2 \times 10^5} = \frac{1,2 \times 10^4}{4 \times 6,28 \times 2} = 240 \text{ microvolts.}$$

2° La différence de potentiel aux bornes des bobinages a, de même, pour valeur :

$$\begin{aligned} V_L &= L\omega I_{\text{eff}} = \frac{600}{10^6} \times 6,28 \times 2 \times 10^5 \times 1,2 \\ &= 60 \times 6,28 \times 2,4 = 879 \text{ microvolts environ.} \end{aligned}$$

3° Le courant dans le bobinage de 1.000 microhenrys est de :

$$I_1 = \frac{V_L}{L_1} = \frac{879}{\frac{1.000}{10^6} \times 6,28 \times 2 \times 10^5} = \frac{879}{628 \times 2} = \frac{879}{1.256} = 0,7 \text{ microampère.}$$

Le courant dans le bobinage de 1.500 microhenrys est enfin :

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{V_L}{L_2} = \frac{879}{\frac{1.500}{10^6} \times 6,28 \times 2 \times 10^5} \\ &= \frac{879}{628 \times 3} = \frac{879}{1.884} = 0,4 \text{ microampère.} \end{aligned}$$

3° La puissance fournie par l'alternateur est dissipée sous forme de chaleur dans la résistance, et on a :

$$P = RI_{\text{eff}}^2 = 100 \times \left(\frac{1,2}{10^6} \right)^2 = 144 \text{ micromicrowatts.}$$

112. — *On veut construire un circuit oscillant de longueur d'onde propre égale à 890 mètres, en utilisant un condensateur de 1/1.000 de microfarad. Quel bobinage faut-il employer ?*

Avec le même bobinage, on veut atteindre une longueur d'onde propre de 2.000 mètres. Quelle capacité faut-il placer en parallèle avec la première ?

SOLUTION. — 1° On peut utiliser, par exemple, la formule :

$$\lambda \text{ (mètres)} = 1885 \sqrt{L \text{ (microhenrys)} \times C \text{ (microfarads)}}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$890 = 1.885 \sqrt{\frac{1}{1.000} \times L}$$

$$L = \frac{890^2 \times 10^3}{1885^2} = 223 \text{ microhenrys.}$$

2° Pour obtenir une longueur d'onde de 2.000 mètres, il faudrait utiliser avec ce bobinage de 223 microhenrys une capacité C telle que :

$$2.000 = 1.885 \sqrt{C \times 223}.$$

D'où on tire :

$$C = \frac{2.000^2}{1885^2 \times 223} = 5,6/1.000 \text{ de microfarad environ.}$$

Il faut donc ajouter en parallèle avec le premier condensateur de 1/1.000 un autre d'une capacité de 4,6/1.000 de microfarad.

113. — *Deux bobinages en parallèle, sans induction mutuelle, l'un de 2.000 microhenrys et l'autre de 1.000 microhenrys, sont montés en série dans un circuit, avec un condensateur de 1/1.000 de microfarad.*

1° *Quelle est la longueur d'onde propre du circuit, et la fréquence propre correspondante ?*

2° *Que deviennent ces données, lorsque les bobinages sont montés en série ?*

3° *Les deux bobinages sont montés en série, de façon que leur induction mutuelle soit maximum. On demande de calculer :*

a) *La self-induction du circuit oscillant.*

b) *La longueur d'onde propre et la fréquence propre du circuit.*

SOLUTION. — 1° Les bobinages de coefficients de self-induction L_1 et L_2 étant montés en parallèle, le coefficient de self-induction totale L a pour expression

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} = \frac{1}{2.000} + \frac{1}{1.000} = \frac{3}{2.000}$$

D'où :

$$L = \frac{2.000}{3} = 666 \text{ microhenrys (fig. 7).}$$

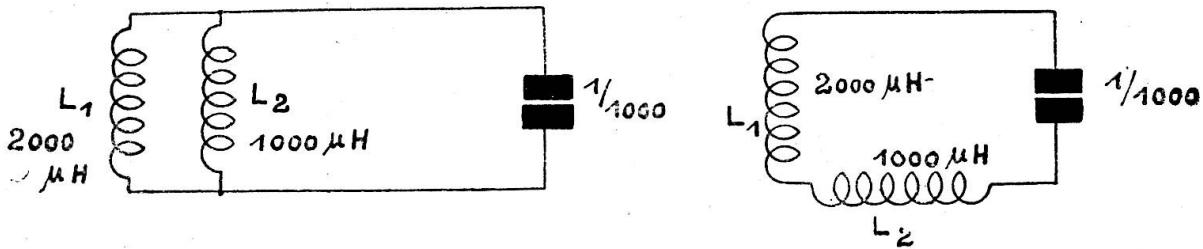


FIG. 7

La longueur d'onde propre du système est donc :

$$\lambda = 1.885 \sqrt{\frac{1}{1.000} \times 666} = 1.510 \text{ mètres environ.}$$

La fréquence correspondante est de :

$$F = \frac{3 \times 10^8}{1.510} = 198.000 \text{ cycles ou 198 kilocycles-sec.}$$

4° Lorsque les bobinages sont en série sans induction mutuelle, le coefficient de self-induction total est de :

$$L = L_1 + L_2 = 2.000 + 1.000 = 3.000 \text{ microhenrys.}$$

La longueur d'onde propre du montage est alors :

$$\lambda = 1.885 \sqrt{3.000 \times \frac{1}{1.000}} = 1.885 \sqrt{3}$$

$$\lambda = 3.204 \text{ mètres.}$$

La fréquence propre correspondante F est donnée par la formule :

$$F = \frac{3 \times 10^8}{3.204} = 94.000 \text{ cycles-seconde ou 95 kilocycles environ.}$$

5° Le maximum d'induction mutuelle M que l'on peut réaliser avec deux bobinages L_1 et L_2 a pour expression :

$$M = \sqrt{L_1 L_2}.$$

Soit ici, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$M = \sqrt{2.000 \times 1.000} = 1.414 \text{ microhenrys.}$$

Le coefficient de self-induction total a alors pour valeur :

$$\begin{aligned} L &= L_1 + L_2 + 2M = 3.000 + 2 \times 1.414 \\ &= 3.000 + 2.828 = 5.828 \text{ microhenrys.} \end{aligned}$$

La longueur d'onde propre correspondante est donc

$$\lambda = 1.885 \sqrt{5.828 \times \frac{1}{1.000}} = 4.524 \text{ mètres.}$$

La fréquence correspondante est donnée par l'expression :

$$F = \frac{3 \times 10^8}{4.524} = 66.000 \text{ cycles ou 66 kilocycles-seconde.}$$

114. — *Un circuit comprend un condensateur de 2,5/1.000 de microfarad et un bobinage de 500 microhenrys.*

1° *Calculer la période, la fréquence, et la longueur d'onde propre de ce circuit.*

2° *On dispose en série un condensateur de 1/1.000 de microfarad ; que deviennent les données précédentes ?*

SOLUTION. — 1° La période propre T du circuit est donnée par la formule de Thomson :

$$T = 2\pi \sqrt{LC}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{500}{10^6} \times \frac{2,5}{10^9}} = \frac{7}{10^6} \text{ seconde.}$$

La fréquence correspondante est de :

$$F = \frac{10^6}{7} = 142.800 \text{ cycles-seconde.}$$

On aurait pu trouver directement cette fréquence par la formule :

$$F = \frac{1}{\sqrt{40 LC}}$$

La longueur d'onde correspondante est donnée par la formule:

$$\lambda \text{ (mètres)} = 1.885 \sqrt{L(\text{microhenrys}) \times C(\text{microfarads})} = 2.100 \text{ mètres.}$$

2° Lorsqu'on dispose en série un condensateur de $1/1.000$ de microfarad, la capacité totale C est donnée par l'expression :

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{2,5} + \frac{1}{1} = \frac{2,5 + 1}{2,5}$$

$$C = \frac{2,5}{3,5} = 0,7/1.000 \text{ microfarad.}$$

La période propre devient :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{500}{10^6} \times \frac{0,7}{10^9}} = \frac{3,6}{10^6} \text{ seconde.}$$

La fréquence correspondante est de :

$$F = \frac{10^6}{3,6} = 277 \text{ kilocycles.}$$

La longueur d'onde correspondante est alors :

$$\lambda = 1.885 \sqrt{\frac{500}{10^6} \times \frac{0,7}{10^9}} = 1.070 \text{ mètres.}$$

115. — *Un circuit oscillant comporte un bobinage de 2.000 microhenrys, une capacité de 0,5/1.000 de microfarad, et une résistance de 50 ohms.*

On fait agir dans le circuit une source alternative d'une force électromotrice de 500 microvolts. Quelle doit être la fréquence de cette source, pour obtenir la résonance ?

Quelle est l'intensité du courant dans le circuit, et la puissance dissipée ?

Calculer le facteur de surtension.

SOLUTION. — 1° La période propre du circuit formé (fig. 8) est donnée par la formule de Thomson :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{2.000}{10^6} \times \frac{0,5}{10^9}} = \frac{2\pi}{10^6} = \frac{6,28}{10^6} \text{ seconde.}$$

La fréquence propre F , qui doit être la fréquence de résonance de l'alternateur, a donc pour valeur :

$$F = \frac{1}{T} = \frac{10^6}{6,28} = 160.000 \text{ cycles-seconde ou 160 kilocycles-seconde.}$$

2° A la résonance, le courant i dans le circuit, si e est la force électromotrice, et R la résistance, a pour expression :

$$i = \frac{e}{R} = \frac{500}{50} = 10 \text{ microampères.}$$

La puissance dissipée dans la résistance a pour expression :

$$P = Ri^2 = 50 \times \left(\frac{10}{10^6}\right)^2 = \frac{5\,000}{10^{12}} \text{ watt} = 5.000 \text{ micromicrowatts.}$$

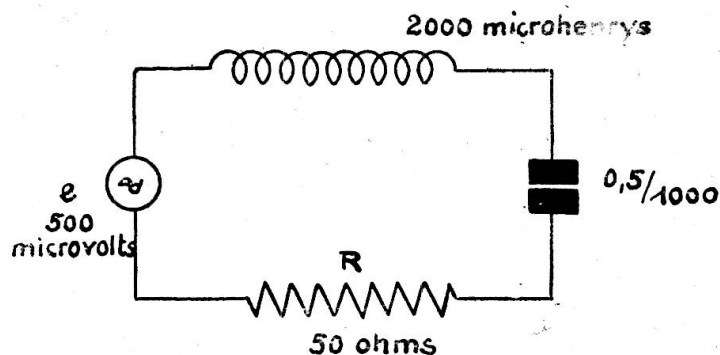


FIG. 8

Le facteur de surtension a pour expression :

$$Q = \frac{L}{R} = \frac{\frac{2.000}{10^6} \times 2\pi \times \frac{10^6}{2\pi}}{50} = \frac{2.000}{50} = 40.$$

116. — *Un circuit-bouchon, comportant un bobinage de 1.000 microhenrys et une capacité de 2/1.000 de microfarad, est intercalé dans un circuit comportant un alternateur, dont la fréquence est réglée sur celle de ce circuit. La force électromotrice est de 500 microvolts.*

1° *On demande de calculer l'intensité du courant fourni par l'alternateur.*

2° *Calculez les courants traversant les deux branches du circuit, et la différence de potentiel aux bornes du circuit. Quelles conclusions tirez-vous des résultats obtenus ?*

SOLUTION. — 1° Le circuit oscillant formé constitue un circuit accordé, dont la fréquence propre est réglée, d'après l'énoncé, sur celle de

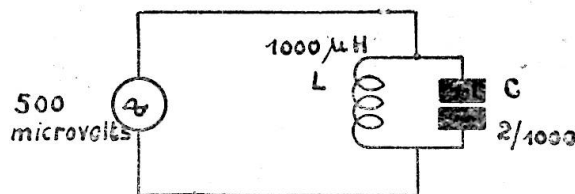


FIG. 9

l'alternateur. En principe, ce circuit forme donc bouchon, et interdit tout débit de l'alternateur (fig. 9).

2° En théorie, tout se passe comme si aucun courant ne traversait le circuit bouchon, et la différence de potentiel aux bornes de ce circuit correspond à la force électromotrice de l'alternateur, soit 500 microvolts.

Le courant dans le bobinage a, d'autre part, pour valeur :

$$I_L = \frac{e}{L\omega} = \frac{500}{\frac{1.000}{10^6} \times 2\pi \times F}$$

Calculons la fréquence propre F du circuit ; nous avons :

$$F = \frac{1}{\sqrt{40 LC}} = \frac{1}{\sqrt{40 \times \frac{1.000}{10^6} \times \frac{2}{10^9}}} = 112.500.$$

La première expression devient, en remplaçant F par cette valeur :

$$I_L = \frac{500}{\frac{1.000}{10^6} \times 2\pi \times 112.500} = 0,706 \text{ microampère.}$$

Le courant dans le condensateur est de même :

$$I_C = eC\omega = 500 \times \frac{2}{10^9} \times 112.500 = 0,706 \text{ microampère.}$$

Les deux courants sont donc égaux, comme nous le savons. En théorie, le courant traversant le circuit est nul, le courant chargeant le condensateur se décharge ensuite dans le bobinage, et ainsi de suite. La différence de potentiel produite aux bornes du circuit bouchon s'oppose constamment à la force électromotrice de l'alternateur, et en supprime les effets.

En pratique, on constate seulement une valeur minimum de cette force électromotrice, parce que la résistance du circuit bouchon n'est pas nulle, et détermine un certain amortissement.

117. — *Un circuit bouchon est formé d'un bobinage de 600 microhenrys monté en parallèle avec un condensateur de 1,5/1.000 de microfarad.*

On applique, aux bornes de ce circuit, une différence de potentiel alternative, de fréquence 100.000, et de 250 microvolts.

1° *Quel est le courant dans le bobinage, et dans le condensateur ?*

2° *Calculer la valeur de la capacité pour laquelle le courant dans le bobinage est égal au courant dans la capacité. Par cette valeur, quelle est l'intensité du courant débité par l'alternateur ?*

SOLUTION. — 1° Le courant dans le bobinage a pour expression avec les notations précédentes (fig. 10) :

$$I_L = \frac{e}{L\omega} = \frac{250}{\frac{600}{10^6} \times 2\pi \times 100.000} = 0,65 \text{ microampère.}$$

Le courant dans le condensateur a, de même, pour expression :

$$I_c = C\omega = \frac{1,5}{10^9} \times 250 \times 2\pi \times 100.000 = 0,235 \text{ microampère.}$$

2° Pour que les courants dans le condensateur et dans le bobinage soient égaux, nous savons qu'il faut accorder le circuit oscillant sur la fréquence de l'alternateur.

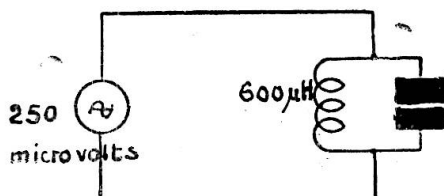


FIG. 10

Il faut donc modifier la capacité C dans ce but, et, à ce moment, la condition de résonance doit être remplie, ce qui se traduit par l'expression :

$$LC^2 = 1 \quad \text{ou} \quad C = \frac{1}{L\omega^2}.$$

D'où :

$$C = \frac{1}{\frac{600}{10^6} \times (2\pi \times 100.000)^2} = 1,55/1000 \text{ de microfarad.}$$

Pour cette valeur, au moment de la résonance, l'intensité du courant débité par l'alternateur est nulle, ainsi qu'il a été expliqué dans le problème précédent.

118. — *Un alternateur de fréquence 600 périodes, d'une force électromotrice de 45 volts, est monté dans un circuit comportant une résistance de 15 ohms, une self variable, et une capacité de 2 microfarads. Ce circuit est mis en résonance sur la fréquence de l'alternateur.*

1° *Quel est le coefficient de self-induction nécessaire pour obtenir la résonance ?*

2° *Quelle est l'intensité dans le circuit à la résonance ?*

3° *Calculer la différence de potentiel aux bornes de la résistance, du bobinage, et de la capacité.*

SOLUTION. — 1° La condition de résonance est traduite par la relation :

$$LC^2 = 1.$$

Avec les notations habituelles, on en tire :

$$L = \frac{1}{C\omega^2} = \frac{1}{\frac{2}{10^6} (2\pi \times 600)^2} = \frac{10^6}{2 \times 4 \times 10 \times 3,6 \times 10^4} = 0,035 \text{ henry} = 35 \text{ mH}.$$

2° A la résonance, l'intensité dans le circuit série a pour expression (fig. 11) :

$$I = \frac{e}{R} = \frac{45}{15} = 3 \text{ ampères.}$$

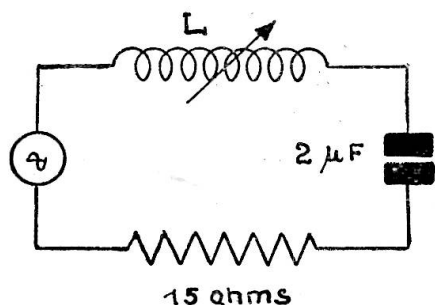


FIG. 11

3° La différence de potentiel recueillie aux bornes de la résistance a pour expression :

$$V_R = RI = 15 \times 3 = 45 \text{ volts.}$$

La différence de potentiel aux bornes du bobinage et de la capacité est de même :

$$V_L = V_C = L\omega I = \frac{I}{C\omega} = 0,035 \times 2\pi \times 600 \times 3 = 400 \text{ volts environ.}$$

119. — *Un circuit oscillant comprend un condensateur de 7/10 de microfarad, et un bobinage d'un coefficient de self-induction de 1/700 de millihenry. La résistance totale est de 5/100 d'ohm.*

On demande la période, la pulsation, et le facteur d'amortissement du circuit.

SOLUTION. — 1° La période propre T du circuit est indiquée par la formule de Thomson :

$$T = 2\pi \sqrt{LC}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{700 \cdot 10^3} \times \frac{7}{10^7}} = 2\pi \sqrt{\frac{7}{7 \cdot 10^{12}}} = \frac{2\pi}{10^6}$$

$$T = \frac{6,28}{10^6} = 6,28 \cdot 10^{-6} \text{ seconde.}$$

La pulsation ω a pour expression :

$$\omega = 2\pi F = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi \times 10^6}{2\pi} = 10^6.$$

Le facteur d'amortissement δ a, d'autre part, pour expression :

$$\delta = \frac{R}{2L} = \frac{\frac{5}{100}}{2 \times \frac{1}{700 \cdot 10^3}} = \frac{35}{2} \times 10^3 = 17.500.$$

120. — *Un alternateur, d'une force électromotrice de 30 volts à 800 périodes-seconde, débite dans un circuit d'une résistance ohmique de 5,4 ohms, et d'un coefficient de self-induction de 1 henry.*

1° *Quelle capacité faut-il placer en série avec la résistance pour obtenir le courant maximum dans le circuit ?*

2° *Quelle est la valeur de ce courant ?*

SOLUTION. — 1° La condition de résonance est traduite par la relation :

$$LC\omega^2 = 1$$

avec les notations habituelles.

On en tire :

$$C = \frac{1}{L\omega^2}.$$

Et, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$C = \frac{1}{1 \times (2\pi \times 800)^2} = \frac{1}{40 \times 64 \times 10^4} = \frac{1}{256 \times 10^5} \text{ farad.}$$

Au moment de la résonance, le courant maximum a pour expression :

$$I = \frac{E}{R}.$$

En remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$I = \frac{30}{5,4} = 5,5 \text{ ampères.}$$

121. — *Un circuit oscillant comporte une capacité de 1/1.000 de microfarad et un bobinage de self-induction de 4.500 microhenrys. Quelles sont sa longueur d'onde et sa fréquence propres ?*

SOLUTION. — Pour résoudre ce problème, on emploie toujours la formule :

$$\lambda (\text{mètres}) = 1.885 \sqrt{L (\text{microhenrys}) \times C (\text{microfarads})}.$$

D'où :

$$\lambda = 1.885 \sqrt{4.500 \times 1/1.000} = 1.885 \times 2,1 = 3.958,50 \text{ mètres.}$$

La fréquence correspondante est de :

$$\frac{3 \times 10^8}{3.958,5} = 81.610 \text{ cycles par seconde.}$$

122. — *On désire établir un circuit oscillant ayant une longueur d'onde propre de 421 mètres, avec une capacité de 0,1/1.000 de microfarad.*

Quel bobinage faut-il utiliser ? Exprimer la self en centimètres, et en microhenrys.

SOLUTION. — On utilise la formule :

$$\lambda (\text{centimètres}) = 2\pi \sqrt{L (\text{centimètres}) \times C (\text{centimètres})}.$$

D'où :

$$\lambda^2 = 4\pi^2 \times LC \quad L = \frac{\lambda^2}{4\pi^2 C}$$

$$0,1/1.000 \mu F = 0,0001 \times 900.000 = 90 \text{ cm C. G. S.}$$

$$L = \frac{(42.100)^2}{4 \times 9,86 \times 90} = 500.000 \text{ centimètres.}$$

Exprimons cette valeur en microhenrys :

$$1 \text{ microhenry} = 10^3 \text{ centimètres C. G. S.}$$

$$L = \frac{500.000}{10^3} = 500 \text{ microhenrys.}$$

123. — *Considérons un circuit oscillant comportant une bobine de self-induction de 2 millihenrys, dont la résistance ohmique est de 50 ohms, et un condensateur.*

Ce condensateur est formé de 13 lames dont 6 appartenant à une armature et 7 à l'autre ; le diélectrique est l'air. La distance entre chaque lame est de 3/4 de millimètre, et la surface utile de chaque lame est de 10 centimètres carrés.

On demande de calculer :

1° *La capacité du condensateur en microfarads ;*

2° *La fréquence propre du circuit oscillant.*

SOLUTION. — 1° La capacité du condensateur est donnée par la formule :

$$C = \frac{KS(n-1)}{4\pi e \times 9 \times 10^5} \text{ (en microfarads).}$$

Dans laquelle :

K = coefficient spécifique du diélectrique, S = surface utile des armatures, e = intervalle des armatures (fig. 12).

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$C = \frac{10 \times 12}{4\pi \times \frac{3}{40} \times 9 \times 10^5} = \frac{10 \times 12 \times 40}{4\pi \times 3 \times 9 \times 10^5} = \frac{4}{28.000} = \frac{1}{7.000} \text{ microfarad.}$$

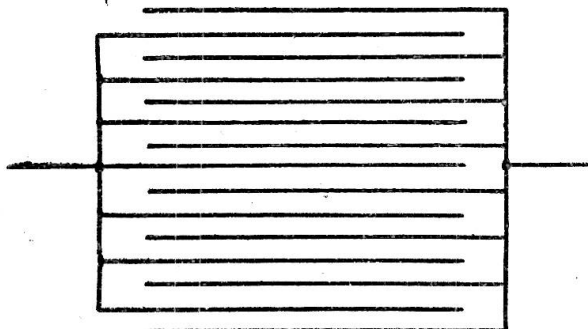


FIG. 12

2° La fréquence F du circuit oscillant est donnée directement par la formule :

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

L étant évaluée en henrys et C en farads. D'où, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$F = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{1}{7 \times 10^9} \times \frac{2}{1.000}}} = \frac{1}{2\pi \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{7 \times 10^{12}}}}$$

$$F = \frac{\sqrt{7} \times 10^6}{2\pi \times \sqrt{2}} = \frac{3,5 \times 10^6}{2\pi} = \frac{1,8 \times 10^6}{6} = 3 \times 10^5 \text{ c/s environ.}$$

124. — Un alternateur de fréquence variable agit sur un circuit comportant en série un bobinage de 1.000 microhenrys et une capacité de 1/1.000 de microfarad, avec une résistance totale de 1 ohm.

On demande par quelle pulsation de l'alternateur l'effet de self est compensé par l'effet de capacité.

SOLUTION. — On obtient l'effet cherché à la résonance qui se traduit par la condition :

$$\omega^2 LC = 1 \quad \omega^2 = \frac{1}{LC}$$

Ou, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$\omega^2 = \frac{1}{10^{-3} \times 10^{-9}} = 10^{12}$$

$$\omega = 10^6.$$

125. — *On veut constituer un circuit d'accord d'un récepteur à l'aide d'un condensateur de 0,1/1.000 de microfarad. Quel est le coefficient de self-induction du bobinage à employer pour réaliser l'accord sur 42 mètres de longueur d'onde ?*

1° *Quelle capacité additionnelle faut-il utiliser pour porter la longueur d'onde à 60 mètres ?*

2° *Dans le même appareil, on veut constituer un circuit accordé sur 421 mètres, avec deux bobinages égaux montés en parallèle, mais sans induction mutuelle, et un condensateur de 1/1.000 de microfarad. Quel doit-être le coefficient de self-induction de chacun des bobinages ?*

SOLUTION. — 1° On utilise la formule classique :

$$\lambda \text{ (mètres)} = 1.885 \sqrt{L(\text{microhenrys}) \times C(\text{microfarads})}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs, nous avons :

$$42 = 1.885 \sqrt{L \times \frac{0,1}{1.000}}$$

$$L = \frac{42^2 \times 1.000}{1.885^2 \times 0,1} = 5 \text{ microhenrys}.$$

2° Pour obtenir une longueur d'onde de 60 mètres avec le même bobinage, il faut augmenter la valeur de la capacité utilisée. Reprenons la même formule :

$$\lambda = 1.885 \sqrt{L \times C}.$$

On en tire :

$$\lambda^2 = 1.885^2 \times L \times C$$

$$C = \frac{\lambda^2}{1.885^2 \times L}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$C = \frac{60^2}{1.885^2 \times 5} = 0,2/1.000 \text{ de microfarad environ}.$$

Pour obtenir l'accord, il faut donc disposer en parallèle sur le premier condensateur de 0,1/1.000 de microfarad un autre de même capacité, de façon à réaliser la capacité totale de 0,2/1.000.

3° Cherchons, d'abord, le coefficient de self-induction total du circuit qui doit être établi avec un condensateur de 1/1.000 de microfarad.

Reprenons la formule :

$$\lambda \text{ (mètres)} = 1.885 \sqrt{L \text{ (microhenrys)} \times C \text{ (microfarads)}}.$$

D'où l'on tire encore :

$$L = \frac{\lambda^2}{1.885^2 \times C}.$$

En remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$L = \frac{421^2 \times 1.000}{1.885^2 \times 1} = 50 \text{ microhenrys.}$$

On sait que quand deux bobinages égaux sont montés en parallèle sans induction mutuelle, le coefficient de self-induction de chacun de ces bobinages est égal au double du coefficient total.

Chacun des bobinages doit donc avoir un coefficient de self-induction de $50 \times 2 = 100$ microhenrys.

126. — *Un bobinage monté dans un circuit de réception de T. S. F. a un coefficient de self-induction de 2.000 microhenrys.*

Quelle capacité faut-il utiliser avec ce bobinage pour réaliser un circuit oscillant accordé sur une longueur d'onde de 2.000 mètres ?

SOLUTION. — Utilisons encore la formule.

$$\lambda = 1.885 \sqrt{L \times C}.$$

On en tire :

$$C = \frac{\lambda^2}{1.885^2 \times L}.$$

Où, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$C = \frac{2.000^2}{1.885^2 \times 2.000} = 0,57/1.000 \text{ microfarad environ.}$$

127. — *Un circuit comporte un bobinage de 50 microhenrys, et une capacité de 0,5/1.000 de microfarad.*

1° *On demande de calculer la longueur d'onde propre, la fréquence, et la pulsation.*

2° *On remplace la capacité par une autre de 450 centimètres. Quelle est la modification de la longueur d'onde propre du circuit ?*

SOLUTION. — 1° La formule classique à appliquer s'écrit encore :

$$\lambda \text{ (mètres)} = 1.885 \sqrt{L \text{ (microhenrys)} \times C \text{ (microfarads)}}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$\begin{aligned}\lambda &= 1.885 \sqrt{50 \times \frac{0,5}{1.000}} = 1.885 \sqrt{\frac{25}{1.000}} \\ &= 1.885 \times \frac{5}{31} = 298 \text{ m.}\end{aligned}$$

La fréquence correspondante est donnée par la formule :

$$F \text{ (cycles)} = \frac{300.000.000}{298} = 1.010.000 \text{ cycles-seconde} = 1.010 \text{ kilocycles.}$$

La pulsation est alors :

$$\omega = 2\pi F = 6,28 \times 1,01 \times 10^6 = 6,34 \times 10^6.$$

2° 1 micromicrofarad vaut 0,9 centimètre, 1/1.000 de microfarad vaut donc 900 centimètres, et 0,5/1.000 correspond à 450 centimètres.

En remplaçant la capacité de 0,5/1.000 par une autre de 450 centimètres, rien n'est donc modifié, en réalité.

128. — *On considère deux circuits résonants accordés sur une fréquence de 500 Kcs comportant deux bobinages égaux de 200 microhenrys, et dont la résistance est de 5 ohms.*

On demande la constante de temps, et l'intervalle de sélectivité du système.

SOLUTION. — La constante de temps θ a pour expression :

$$\theta = \frac{2L}{R}.$$

θ étant évaluée en secondes, L en henrys, et R en ohms.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$\theta = \frac{2 \times 200}{5 \times 10^6} = \frac{80}{10^6} \text{ seconde.}$$

L'intervalle de sélectivité du système a pour expression :

$$a \text{ (secondes)} = \frac{1}{2\pi\theta \text{ (seconde)}}.$$

D'où l'on tire :

$$a = \frac{1}{6,28 \times \frac{80}{10^6}} = \frac{10^6}{6,28 \times 80} = 2.000 \text{ périodes-seconde, soit 2 kilocycles.}$$

129. — *Un circuit oscillant est formé d'un bobinage d'un coefficient de self-induction de 200 microhenrys, d'une capacité de 0,5/1.000 de microfarad, et d'une résistance de 5 ohms. On fait agir sur le circuit une force*

électromotrice alternative d'une amplitude de 5 millivolts. On demande d'établir la forme générale de la courbe de résonance du circuit.

SOLUTION. — Pour étudier la forme de la courbe de résonance, nous pouvons calculer l'amplitude du courant dans le circuit pour les fréquences variant de 20 kilocycles, par exemple, de part et d'autre de la fréquence de résonance.

La résonance a lieu pour la condition $\omega^2 LC = 1$, ou, par rapport à la fréquence F , par la relation :

$$40 F^2 LC = 1.$$

On en tire :

$$F = \frac{1}{\sqrt{40 LC}}.$$

En remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$F = \frac{1}{\sqrt{40 \times \frac{200}{10^6} \times \frac{0,5}{10^9}}} = 500.000 \text{ périodes seconde} = 500 \text{ kilocycles.}$$

L'amplitude I du courant a pour expression :

$$I = \frac{E}{Z}.$$

Z étant l'impédance, et E l'amplitude de la force électromotrice. Calculons Z en utilisant la formule :

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}.$$

Pour une fréquence de 480 kilocycles :

$$L\omega = 613 \quad \frac{1}{C\omega} = 665 \quad L\omega - \frac{1}{C\omega} = -52$$

$$Z = \sqrt{25 + 52^2} = 52,2 \text{ ohms} \quad I = \frac{E}{Z} = \frac{5}{52,2} = 0,095 \text{ mA.}$$

Pour une fréquence de 490 kilocycles, on trouve, de même :

$$Z = 25,5 \text{ ohms} \quad I = \frac{5}{25,5} = 0,19 \text{ mA.}$$

A la résonance, pour 500 kilocycles, l'impédance se confond avec la résistance ohmique R de 5 ohms, et l'amplitude du courant a pour valeur :

$$I = \frac{E}{R} = \frac{5}{5} = 1 \text{ milliampère.}$$

Pour une fréquence de 510 kilocycles, nous trouvons encore :

$$Z = 25,5 \text{ ohms} \quad I = 0,19 \text{ milliampère.}$$

Pour 520 kilocycles :

$$Z = 50,3 \text{ ohms} \quad I = 0,1 \text{ milliampère.}$$

Ces données nous permettent d'établir rapidement la forme générale de la courbe de résonance représentée sur la figure 13.

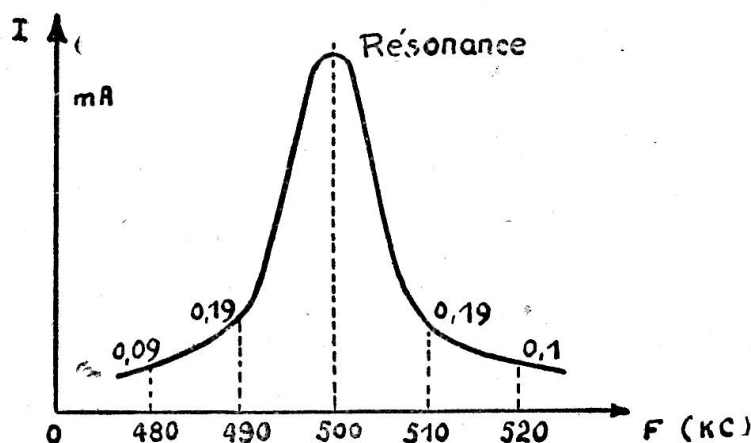


FIG. 13

130. — Deux circuits oscillants comportent un même bobinage de 200 microhenrys, et une capacité identique de 0,5/1.000 de microfarad. La résistance ohmique de l'un est de 50 ohms, et celle de l'autre de 10 ohms.

On applique sur le premier une force électromotrice alternative de 10 millivolts, de pulsation égale à sa pulsation propre. On exécute la même opération pour le deuxième circuit.

1° Quel est le rapport des valeurs des courants produits dans les deux circuits ?

2° Comparez la sélectivité des deux circuits pour une fréquence voisine de la fréquence propre.

SOLUTION. — 1° Les courants produits dans les deux circuits ont pour expression $\frac{E}{Z}$ avec les notations précédentes. A la résonance, le courant devient : $\frac{E}{R}$.

A ce moment, le courant dans le premier circuit est de :

$$\frac{10}{5} = 2 \text{ milliampères.}$$

Et pour l'autre :

$$\frac{10}{10} = 1 \text{ milliampère.}$$

Le courant est donc deux fois plus faible dans un circuit que dans l'autre.

2° Ainsi que nous l'avons vu dans le problème précédent, la fréquence de résonance de ces circuits, comportant les bobinages et capacités indiqués, est de 500 kilocycles. Examinons ce qui va se passer pour une fréquence voisine de 480 kilocycles, par exemple.

Nous avons également calculé que la réactance $L\omega - \frac{1}{C\omega}$ pour cette fréquence dans un tel circuit, était de l'ordre de 50 ohms.

Cette valeur représente, à peu près, le dixième de la résistance du premier circuit, et le cinquième de la résistance du second.

Lorsque la fréquence passe de 500 à 480 kilocycles, le courant est donc réduit au dixième de sa valeur dans le premier circuit, et au cinquième dans le second.

La sélectivité du premier est donc le double de celle du deuxième.

131. — *Un circuit oscillant est formé avec un bobinage de 400 microhenrys, et sa résistance haute fréquence est de 5 ohms.*

1° *Quelle est sa constante de temps ?*

2° *Calculez son intervalle de sélectivité.*

SOLUTION. — 1° La constante de temps θ a pour expression : $\theta = \frac{2L}{R}$ avec les mêmes notations que précédemment.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{2 \times 400}{5 \times 10^6} = \frac{160}{10^6} \text{ seconde} \\ &= 160 \text{ microsecondes.} \end{aligned}$$

L'intervalle de sélectivité a , de même, pour expression :

$$a = \frac{1}{2\pi\theta}$$

D'où l'on tire :

$$a = \frac{1}{6,28} \times \frac{10^6}{160} = 1.000 \text{ périodes-seconde, soit 1 kilocycle.}$$

132. — *Un circuit comprend en série un bobinage de 80 microhenrys, et une capacité de 0,125/1.000 de microfarad. Sur quelle fréquence est-il accordé ?*

SOLUTION. — Appliquons la formule (fig. 14) :

$$F(\text{mégacycles}) = \frac{1}{\sqrt{40 L (\text{millihenrys}) \times C (\text{millièmes de microfarad})}}.$$

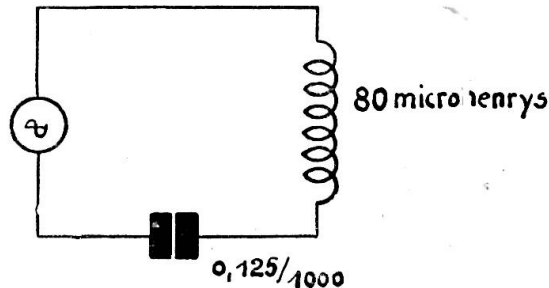


FIG. 14

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$F = \frac{1}{\sqrt{40 \times 0,08 \times 0,125}} = \frac{1}{\sqrt{0,4}} = 1,58 \text{ mégacycles} = 1.580 \text{ kilocycles}.$$

133. — *On utilise un bobinage de 1 henry, et on veut établir un circuit résonant en série accordé sur 50 périodes-seconde. Quelle capacité faut-il adopter ?*

SOLUTION. — La condition de résonance s'écrit pratiquement :

$$40 F^2 LC = 1.$$

On en tire :

$$C = \frac{1}{40 F^2 L}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$C = \frac{1}{40 \times (50)^2 \times 1} = \frac{1}{100.000} \text{ farad} = 10 \text{ microfarads}.$$

134. — *Un bobinage de 200 microhenrys est accordé sur une fréquence de 500 kilocycles par une capacité ; sa résistance est de 10 ohms.*

1° *Quelle est la capacité à utiliser ?*

2° *Quelle est la surtension ?*

3° *On fait agir sur le circuit une force électromotrice de 1 millivolt. Quelle est la tension aux bornes du condensateur ?*

SOLUTION. — 1° La fréquence F de résonance est encore indiquée par la formule pratique :

$$F(\text{mégacycles}) = \frac{1}{\sqrt{40 \times L (\text{millihenrys}) \times C (\text{millièmes de microfarad})}}.$$

On en tire :

$$C = \frac{1}{40 F^2 L}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$C = \frac{1}{40 \times (0,5)^2 \times 0,2} = 0,5/1.000 \text{ microfarad.}$$

2° La surtension a pour expression :

$$Q = \frac{\omega L}{R} \quad \text{ou} \quad \frac{2\pi FL}{R}$$

avec les mêmes notations.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$Q = \frac{6,28 \times 500.000 \times 200}{10 \times 10^6} = 62,8.$$

Lorsqu'on fait agir sur le circuit une force électromotrice de 1 millivolt, la tension aux bornes du condensateur a pour valeur $Q \times e$, soit :

$$1 \times 62,8 = 62,8 \text{ millivolts.}$$

135. — *Un circuit résonant est formé avec un bobinage de 400 microhenrys, et une résistance de 5 ohms. Son intervalle de sélectivité est de 2 kilocycles.*

Un autre circuit résonant comporte un bobinage de même valeur de self-induction, mais de résistance deux fois plus grande. Quel est son intervalle de sélectivité ?

SOLUTION. — Ce problème a déjà été étudié sous une autre forme aux numéros 130 et 131.

La constante de temps a pour expression :

$$\theta = \frac{2L}{R}$$

et l'intervalle de sélectivité :

$$a = \frac{1}{2\pi\theta}.$$

L'intervalle de sélectivité est donc proportionnel à la résistance. Si la résistance d'un deuxième circuit est deux fois plus grande, l'intervalle de sélectivité est aussi deux fois plus grand ; il est de 4 kilocycles au lieu de 2 kilocycles.

136. — *On utilise une suite de 3 systèmes sélectifs sans réaction les uns sur les autres, de mêmes caractéristiques, et dont la sélectivité est de 4.*

Quelle est la sélectivité totale du système réalisé ?

SOLUTION. — Si l'on appelle S la sélectivité totale d'une combinaison sélective, et s la sélectivité de chacun des circuits identiques associés, cette sélectivité totale a pour expression :

$$S = s^n.$$

Appliquons au cas actuel :

$$S = 4^3 = 64.$$

137. — *Un circuit comporte un condensateur de $7/10$ de microfarad, et un bobinage d'un coefficient de self-induction de $\frac{1}{252 \times 10^5}$ henrys ; la résistance totale est de $5/100$ d'ohm.*

On charge et on décharge le condensateur à un potentiel de 17.750 volts 252 fois par seconde.

1° Quel est le décrétement logarithmique du circuit ?

2° Quelle est l'intensité efficace du courant de décharge ?

On prendra $\pi = 3$ pour simplifier.

SOLUTION. — 1° Le décrétement logarithmique δ a pour expression :

$$\delta = \frac{R}{2L} T$$

avec les notations habituelles.

Mais :

$$T = 2\pi \sqrt{LC}.$$

D'où :

$$\delta = \frac{R}{2L} \times 2\pi \sqrt{LC} = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$\delta = 3 \times 5 \times 10^{-2} \sqrt{0,7 \times 25,2} = 0,63.$$

2° La puissance emmagasinée à chaque charge dans le condensateur a pour expression : $P = \frac{1}{2} CV^2$, et, par seconde, comme il y a 252 charges et décharges :

$$P = \frac{1}{2} \times 252 \times CV^2.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$P = \frac{1}{2} \times 252 \times \frac{7}{10^7} \times (17.750)^2$$
$$P = 25 \text{ Kilowatts environ.}$$

Par rapport à l'intensité efficace, cette puissance a aussi pour expression :

$$P = RI_{\text{eff}}^2.$$

D'où :

$$I_{\text{eff}}^2 = \frac{P}{R} \quad I = \sqrt{\frac{P}{R}}.$$

Et, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{25.000}{5 \times 10^{-2}}} = 706 \text{ ampères environ.}$$

CHAPITRE XVI

COUPLAGE ET COMBINAISON DES CIRCUITS OSCILLANTS

COUPLAGE DE DEUX BOBINES. INDUCTION MUTUELLE.

Deux bobines, dont les plans ne sont pas perpendiculaires l'un à l'autre, agissent l'une sur l'autre lorsque l'une d'elles est parcourue par un courant I produisant un flux Φ .

Le coefficient de self-induction L d'une bobine exprimé en henrys, le flux magnétique étant exprimé en maxwells, et l'intensité en ampères, est donné par l'expression :

$$L = \frac{\Phi}{I} \times 10^{-8}.$$

L'intensité du champ créé par un courant I traversant une bobine de N spires de longueur l , est, rappelons-le :

$$H \text{ (gauss)} = \frac{4\pi}{10} \times \frac{N \times I}{l}.$$

Le facteur M caractérisant l'action de deux spires l'une sur l'autre, ou *coefficient d'induction mutuelle*, est indiqué par la relation :

$$M = \frac{\Phi}{I} \times 10^{-8} \text{ henrys.}$$

Il peut être positif ou négatif, suivant la position des spires l'une par rapport à l'autre, et le sens du courant.

Si nous considérons deux bobines de coefficients de self-induction L et L' , leur coefficient d'induction mutuelle maximum a pour expression :

$$M = \sqrt{LL'}.$$

Le rapport $K = \frac{M}{\sqrt{LL'}}$, est le *coefficient de couplage* ; il est normalement inférieur à 1.

COUPLAGE DE DEUX CIRCUITS.

Si l'on considère deux circuits oscillants comportant deux bobinages couplés l'un à l'autre, et si l'un d'eux est parcouru par un courant alternatif de pulsation ω , le deuxième est parcouru par un courant induit.

La force électromotrice induite a pour expression :

$$E_2 \text{ (volts)} = M \text{ (henrys)} \times \omega \times I_1 \text{ (ampères)}.$$

Le courant I_2 induit dans le secondaire donne naissance, de même, dans le primaire, à une force électromotrice qui a pour expression :

$$E_1 = M \times \omega \times I_2.$$

COUPLAGE ÉLECTROMAGNÉTIQUE.

Dans le montage Tesla ou à couplage indirect, les deux bobinages du primaire et du secondaire sont distincts, et couplés par induction avec un coefficient d'induction mutuelle M . Si les coefficients de self-induction des bobines sont L et L' , et le coefficient de couplage K , on a l'expression :

$$M = K \sqrt{LL'}$$

$$K = \frac{M}{\sqrt{LL'}}.$$

Dans le cas du montage en Oudin, à self commune M , la formule devient :

$$K = \frac{M}{\sqrt{(L_1 + M)(L_2 + M)}}.$$

Pour un montage en auto-transformateur, P et S étant les parties primaire et secondaire de l'auto-transformateur, la formule s'écrit encore :

$$K = \frac{P}{\sqrt{(L_1 + P)(L_2 + S)}}.$$

Dans un montage mixte, enfin, comportant deux bobinages séparés L_1 et L_2 couplés par induction et un bobinage commun L_3 , on peut écrire :

$$K = \frac{L_3 + M}{\sqrt{(L_1 + L_3)(L_2 + L_3)}}.$$

COUPLAGE ÉLECTROSTATIQUE.

Les circuits oscillants peuvent être couplés par une capacité commune C . C'est le montage par *capacité en série*, ou par *capacité à la base*.

Le couplage peut aussi être effectué par *capacité en dérivation*, ou *entre sommets*.

Dans le premier montage, si C_1 et C_2 sont les capacités des deux circuits, le coefficient de couplage K a pour expression :

$$K = \frac{\sqrt{C_1 C_2}}{\sqrt{(C + C_1)(C + C_2)}}.$$

Lorsque les deux condensateurs C_1 et C_2 sont égaux, l'expression se réduit à :

$$K = \frac{C_1}{C + C_1}.$$

Le deuxième montage se ramène au premier. La capacité de couplage C' produit le même effet qu'une capacité à la base C égale à $\frac{C_1 C_2}{C'}$ dans le cas précédent.

COUPLAGE PAR RÉSISTANCE.

Soient R_1 et R_2 les résistances des deux circuits, et R la résistance commune de couplage, le coefficient de couplage est indiqué par l'expression :

$$K = \frac{R}{\sqrt{(R + R_1)(R + R_2)}}.$$

Si $R_1 = R_2$ l'expression devient :

$$K = \frac{R}{R + R_1}.$$

COUPLAGE DE CIRCUITS ACCORDÉS.

Dans le cas du couplage magnétique, les oscillations primaires de pulsation ω produisent un courant ayant pour expression :

$$I_1 = \frac{E_1}{\sqrt{R_1^2 + \left(L_1 \omega - \frac{1}{C_1 \omega}\right)^2}}.$$

La force électromotrice induite dans le secondaire a pour expression :

$$E_2 = M \omega I_1 = \frac{M \omega E_1}{\sqrt{R_1^2 + \left(L_1 \omega - \frac{1}{C_1 \omega}\right)^2}}.$$

Le courant dans le secondaire a pour expression :

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + \left(L_2\omega - \frac{1}{C_2\omega}\right)^2}}.$$

Pour un couplage électrique, la différence de potentiel aux bornes de la résistance commune C, au moment de la résonance, a pour expression :

$$E_2 = \frac{I_2}{C\omega}.$$

Et le courant secondaire est encore exprimé par la formule précédente.

COUPLAGE CRITIQUE.

La force électromotrice induite dans le secondaire a pour expression :

$$E_2 \text{ (volts)} = M \text{ (henrys)} \times \omega \times I_1 \text{ (ampères)}.$$

M étant défini par l'expression :

$$M = K \sqrt{L_1 L_2}.$$

K étant le coefficient de couplage compris entre -1 et $+1$.

En tenant compte des résistances R_1 et R_2 du primaire et du secondaire, on considère un degré de couplage défini par la relation :

$$\frac{M\omega}{\sqrt{R_1 R_2}}$$

$$M\omega < \sqrt{R_1 R_2} \quad \text{couplage lâche}$$

$$M\omega > \sqrt{R_1 R_2} \quad \text{couplage serré}$$

$$M\omega = \sqrt{R_1 R_2} \quad \text{couplage critique.}$$

C'est la valeur du couplage pour laquelle le transfert d'énergie est maximum. Il a donc pour expression :

$$M_0(\text{henrys}) = \frac{\sqrt{R_1 R_2(\text{ohms})}}{\omega}.$$

Pour ce couplage critique, le courant maximum secondaire a pour expression :

$$I_m \text{ (ampères)} = \frac{E_2 \text{ (volts)}}{2\sqrt{R_1 R_2(\text{ohms})}}.$$

Pour $R_1 = R_2$:

$$I_m = \frac{E_2}{2R}.$$

Pour deux circuits identiques :

$$M = \frac{R}{\omega} \quad K = \frac{M}{L} \quad K = \frac{1}{Q} \quad K \times Q = 1.$$

Le rapport de transformation est indiqué par la relation :

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{M\omega}{Z_2}$$

Z_2 = impédance du secondaire.

FILTRES DE BANDE.

Pour un couplage supérieur au couplage critique, la courbe de résonance de deux circuits couplés présente deux bosses encadrant une dépression.

Les fréquences correspondantes sont indiquées par les deux expressions :

$$f_1 = \frac{f_0}{\sqrt{1 + K}} \quad \text{et} \quad f_2 = \frac{f_0}{\sqrt{1 - K}}.$$

f_0 étant la fréquence de résonance.

Les longueurs d'onde correspondantes par rapport à la longueur d'onde d'accord λ sont, de même, indiquées par les relations :

$$\lambda_1 = \lambda \sqrt{1 + K} \quad \text{et} \quad \lambda_2 = \lambda \sqrt{1 - K}.$$

La largeur de la courbe ($f_2 - f_1$) est approximativement donnée par la relation :

$$\frac{f_2 - f_1}{f_0} = K.$$

Pour un couplage électrique, l'expression $\frac{M\omega}{R}$ donnant le degré de couplage est remplacée par la relation $\frac{1}{RC\omega}$.

OSCILLATIONS LIBRES DE CIRCUITS COUPLÉS.

Lorsque le couplage est serré, il se produit une action réciproque du secondaire sur le primaire.

Les deux circuits sont parcourus par deux oscillations distinctes égales par paires, et ayant pour périodes

$$T_1 = T \sqrt{1 + K} \quad \text{et} \quad T_2 = T \sqrt{1 - K}.$$

T étant la période d'accord.

CIRCUITS-FILTRES.

L'efficacité d'un filtre est le rapport en % entre la tension de sortie E_2 et la tension d'entrée E_1 . On peut l'évaluer aussi en décibels :

$$N(\text{décibels}) = 20 \log \frac{E_2}{E_1}.$$

Au moment de la résonance d'un circuit, l'inductance du bobinage est égale à la capacitance du condensateur :

$$L\omega = \frac{1}{C\omega}.$$

Dans un circuit passe-bande ou éliminateur de bande, la fréquence F de passage maximum ou d'absorption maximum est donnée par l'expression :

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

APPLICATIONS

138. — Deux circuits oscillants sont couplés en Oudin : ils sont formés chacun d'un condensateur et d'un bobinage ayant pour capacités et pour coefficients de self-induction respectifs :

1/9 de millihenry et 9/1.000 de microfarad au primaire, 1 millihenry et 1/1.000 de microfarad au secondaire.

1° Calculer les périodes des oscillations déterminées dans les deux circuits.

2° Quelle est la longueur de l'onde de battement ? Pour simplifier, on prendra $\pi = 3$.

SOLUTION. — 1° Appliquons la formule classique

$$T = 2\pi \sqrt{L(\text{henrys}) \times C(\text{farads})}.$$

Pour le premier circuit, nous aurons :

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{1}{9 \times 1.000} \times \frac{9}{10^9}} = 6 \times 10^{-6}.$$

Le circuit secondaire a, de même, pour période propre :

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{1}{1.000} \times \frac{1}{10^9}} = 6 \times 10^{-6}.$$

Les périodes des deux circuits sont donc les mêmes, et deux oscillations prennent naissance.

Si l'on appelle T_0 la période propre et K le couplage, les deux périodes correspondantes ont pour expressions :

$$T' = T_0 \sqrt{1 + K} \quad \text{et} \quad T'' = T_0 \sqrt{1 - K}.$$

Le couplage K a pour expression, en fonction du coefficient d'induction mutuelle M :

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}.$$

L_1 et L_2 étant les selfs des deux bobinages. Puisque le montage est en Oudin, et le primaire commun $M = L_1$ (fig. 15). D'où :

$$K = \frac{L_1}{\sqrt{L_1 L_2}} = \sqrt{\frac{L_1^2}{L_1 L_2}} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$$

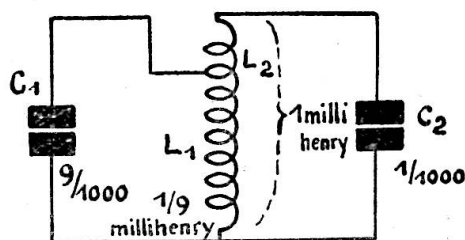


FIG. 15

En remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$K = \sqrt{\frac{1}{\frac{9}{1}}} = \frac{1}{3}.$$

Les expressions de T' et T'' deviennent donc :

$$T' = 6 \times 10^{-6} \sqrt{1 + \frac{1}{3}} = \frac{6 \times 10^{-6} \times 2}{\sqrt{3}} = 7 \times 10^{-6} \text{ environ}$$

$$T'' = 6 \times 10^{-6} \sqrt{1 - \frac{1}{3}} = \frac{6 \times 10^{-6} \times \sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 5 \times 10^{-6} \text{ environ.}$$

2° Les fréquences correspondantes ont pour valeurs :

$$F' = \frac{10^6}{7} \quad F'' = \frac{10^6}{5}.$$

La fréquence de battement a pour valeur :

$$F'' - F' = \frac{10^6}{5} - \frac{10^6}{7} = \frac{10^6 \times 2}{35} = 57.000 \text{ périodes-secondes environ.}$$

La longueur d'onde correspondante a pour valeur :

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{F} = \frac{3 \times 10^8}{57.000} = 5.260 \text{ mètres environ.}$$

139. — *Un circuit oscillant est formé d'une bobine de self de 2 millihenrys, d'une résistance de 50 ohms, et d'un condensateur de 1/7.000 de microfarad.*

La bobine de ce circuit est couplée avec une autre bobine, parcourue par un courant d'intensité efficace 0,1 ampère, et dont la fréquence est la même que celle du circuit oscillant. Le coefficient d'induction mutuelle entre les deux bobinages est de 10 microhenrys.

1° *Quelle est la force électromotrice induite dans le circuit oscillant par l'autre circuit ?*

2° *Quelles sont la tension efficace et la tension maxima aux bornes du condensateur ?*

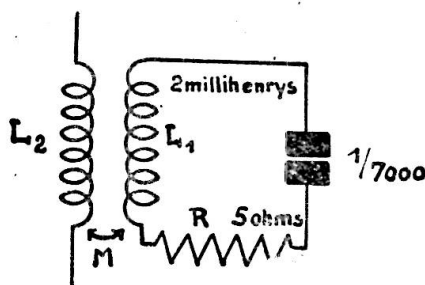


FIG. 16

SOLUTION. — 1° La fréquence propre du circuit oscillant est donnée par l'expression (fig. 16) :

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{1}{7 \times 10^9} \times \frac{2}{1.000}}} \\ &= \frac{1}{\frac{2\pi \times \sqrt{2}}{\sqrt{7 \times 10^{12}}}} = \frac{\sqrt{7} \times 10^6}{2\pi \times \sqrt{2}} = \frac{\sqrt{3,5} \times 10^6}{6} \\ &= 3 \times 10^5 \text{ environ.} \end{aligned}$$

La pulsation correspondante est donc :

$$\omega = 2\pi \times F = 2\pi \times 3 \times 10^5.$$

Soient I_1 le courant parcourant la deuxième bobine L_2 , et M le coefficient d'induction mutuelle, la force électromotrice induite a pour expression :

$$E_2 = M\omega I_1.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$E_2 = \frac{10}{10^6} \times 2\pi \times 3 \times 10^5 \times \frac{1}{10} = 1,9 \text{ volt.}$$

2° Le courant induit dans le circuit à la résonance a pour expression :

$$I_2 = \frac{E_2}{R} = \frac{1,9}{5} = 0,38 \text{ ampère.}$$

La tension efficace aux bornes du condensateur C_1 a pour valeur :

$$E_c = \frac{I_2}{C\omega} = \frac{0,38}{2\pi \times 3 \times 10^5 \times \frac{1}{7 \times 10^9}} = \frac{0,38 \times 10^9 \times 7}{2\pi \times 3 \times 10^5}$$

$$E_c = 1.300 \text{ volts environ.}$$

La tension maxima aux bornes de ce condensateur est alors :

$$E_c' = E_c \times \sqrt{2} = 1.300 \times 1,414 = 1.800 \text{ volts environ.}$$

140. — *Entre deux points d'un circuit, il existe une différence de potentiel périodique de pulsation $\omega = 100.000$, et d'une valeur efficace constante $V = 1.000$ volts.*

On intercale entre ces points un condensateur C , d'une capacité de $1/100$ de microfarad, et un bobinage L d'un coefficient de self-induction de 10 millihenrys, de résistance négligeable.

A proximité, on dispose une deuxième bobine de self-induction de 10 millihenrys, sans résistance, couplée à la première, et fermée sur une résistance R sans self-induction. Le coefficient de couplage entre les deux bobines est $K = 0,1$.

On demande de calculer l'intensité efficace I du courant circulant dans la résistance R du circuit secondaire, et de montrer qu'elle est indépendante de la valeur de R .

SOLUTION. — Soient B et B' les points du circuit entre lesquels on intercale le condensateur C et le bobinage L (fig. 17).

Cherchons la condition de résonance pour le circuit série LC ; elle s'exprime par :

$$LC\omega^2 = 1 \quad \omega^2 = \frac{1}{LC}.$$

En remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$\omega^2 = \frac{1}{\frac{10}{10^3} \times \frac{1}{10^8}} = 10^{10} \quad \omega = 100.000.$$

Le circuit est en résonance sur la pulsation du courant alternatif agissant sur lui ; le courant dans ce circuit est donc nul.

Soit I_2 le courant dans le circuit $L'R$, on a :

$$V = M\omega I_2 \quad \text{ou} \quad I_2 = \frac{V}{M\omega}.$$

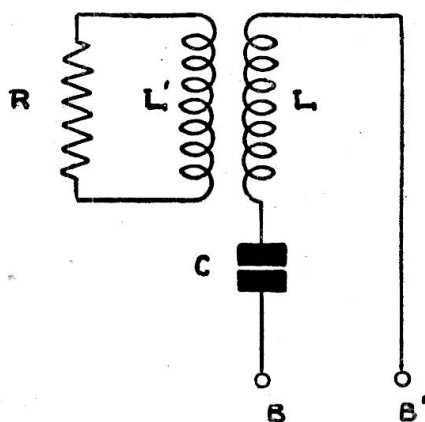


FIG. 17

M étant le coefficient d'induction mutuelle entre L et L' . Ce coefficient a pour valeur :

$$M = K \sqrt{LL'}.$$

Ou, en remplaçant leurs lettres par leurs valeurs :

$$M = 0,1 \times \sqrt{\frac{1}{100} \times \frac{1}{100}} = 0,001.$$

Nous pourrions maintenant calculer I , qui a pour valeur :

$$I = \frac{V}{M\omega} = \frac{1.000}{0,001 \times 100.000} = 10 \text{ ampères.}$$

L'expression $\frac{V}{M\omega}$ montre bien que cette intensité efficace est indépendante de la résistance R .

141. — *Un circuit d'un poste de réception comporte un bobinage d'un coefficient de self-induction de 1.000 microhenrys. Calculer le flux qui le traverse, et l'énergie magnétique correspondante, lorsque l'intensité dans le conducteur a pour valeur 1 microampère.*

SOLUTION. — Exprimons le coefficient de self-induction L en henrys, le flux Φ passant à travers le circuit est indiqué en maxwells par la relation :

$$\Phi = L \times I \times 10^8.$$

Dans laquelle, I est l'intensité en ampères.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$\Phi = 10^{-3} \times 10^{-6} \times 10^8 = 0,1 \text{ maxwell.}$$

L'énergie magnétique est, d'autre part, indiquée par la relation :

$$W \text{ (joules)} = \frac{1}{2} L \text{ (henrys)} \times I^2 \text{ (ampères).}$$

D'où :

$$W = \frac{1}{2} \times 10^{-3} \times 10^{-12} = 0,5 \cdot 10^{-15} \text{ joules.}$$

142. — *On considère deux circuits couplés identiques accordés sur 500 kilocycles-seconde, et d'une résistance de 10 ohms ; on désaccorde ces circuits de 4 Kcs, et on trace la courbe de résonance. On demande quelle sera sur cette courbe la distance des maxima, le coefficient de couplage étant de 1/100.*

SOLUTION. — Lorsque les circuits sont accordés, la distance en fréquences entre les maxima est indiquée approximativement par l'expression :

$$\frac{f_2 - f_1}{f_0} = K.$$

f_0 étant la fréquence de résonance, soit ici :

$$\frac{f_2 - f_1}{500} = 1/100 \quad f_2 - f_1 = 5 \text{ kilocycles.}$$

Si les circuits sont désaccordés, la distance des maxima est plus grande que si les circuits étaient accordés, pour une même valeur de couplage.

143. — *On considère deux circuits couplés comportant des capacités égales de 0,5/1.000 de microfarad. On veut coupler ces circuits par capacité, soit entre sommets, soit à la base ; on demande quelle est la capacité aux sommets produisant le même couplage qu'une capacité à la base égale à 3/1.000 de microfarad.*

SOLUTION. — Soient C_1 et C_2 les condensateurs des deux circuits couplés, C la capacité de couplage à la base, C' la capacité équivalente aux sommets, on démontre que l'on a la relation :

$$C = \frac{C_1 C_2}{C'} \quad \text{ou} \quad C' = \frac{C_1 C_2}{C}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$C' = \frac{0,5/1.000 \times 0,5/1.000}{3/1.000} = 0,08/1.000 \text{ microfarad.}$$

144. — *On veut coupler deux circuits accordés sur une fréquence de 1.000 Kcs, soit par capacité à la base, soit par induction. Quelle est la capacité à utiliser pour obtenir le même couplage qu'avec une induction mutuelle de 3 microhenrys ?*

SOLUTION. — L'impédance de couplage dans le couplage par induction a pour expression :

$$Z = M\omega.$$

M étant l'induction mutuelle, et ω la pulsation.

L'impédance de couplage, dans le cas du couplage par capacité, a pour expression, de même :

$$\frac{1}{C\omega}.$$

C étant la capacité de couplage. On doit donc avoir pour obtenir le même couplage :

$$\frac{1}{C\omega} = M\omega.$$

D'où :

$$C = \frac{1}{M\omega^2}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$C = \frac{1}{3 \times (2\pi \times 100.000)^2} = 8/1.000 \text{ microfarad.}$$

145. — *Un circuit oscillant comporte un condensateur C de 0,5 microfarad, et une bobine L de 2 millihenrys, d'une résistance de 6 ohms.*

1° *On demande la pulsation propre, et la fréquence propre du circuit.*

2° *On intercale dans le circuit un alternateur produisant une force électromotrice efficace de 12 volts, et de pulsation égale à celle du circuit. Quelle est l'intensité efficace du courant obtenu ?*

3° *On couple par induction au premier bobinage un deuxième, avec un coefficient d'induction mutuelle de 0,5 millihenry. On demande la différence de potentiel efficace recueillie aux extrémités de la deuxième bobine.*

SOLUTION. — Soient L et C, le coefficient de self-induction du bobine-

nage, et la capacité du condensateur. La pulsation propre a pour expression (fig. 18)

$$\omega^2 = \frac{1}{LC}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$\omega^2 = \frac{1}{\frac{2}{10^3} \times \frac{0,5}{10^9}} = 10^{12} \quad \omega = 10^6.$$

La fréquence propre correspondante est donnée par la relation :

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{10^6}{6,28} = 160.000 \text{ cycles/seconde} = 160 \text{ kilocycles.}$$

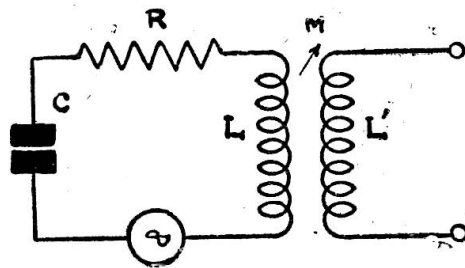


FIG. 18

L'intensité efficace du courant parcourant le circuit à la résonance a pour expression :

$$I = \frac{E}{R}.$$

E étant la force électromotrice efficace de l'alternateur, et R la résistance du circuit ; d'où, ici :

$$I = \frac{12}{6} = 2 \text{ ampères.}$$

3° La différence de potentiel efficace recueillie aux bornes de la bobine L' couplée par induction avec la bobine L a pour expression :

$$V = M\omega I.$$

M étant l'induction mutuelle. Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$V = \frac{0,5}{10^3} \times 10^6 \times 2 = 1.000 \text{ volts.}$$

146. — Deux bobinages ont pour coefficients de self-induction respectifs 1.000 microhenrys et 2.000 microhenrys. On utilise ces bobinages dans un circuit d'accord.

1° On demande la valeur de l'induction mutuelle maxima pouvant être réalisée entre les bobinages.

2° On monte les deux bobines en série. Quelle est la valeur de la self totale, si l'induction mutuelle est nulle, et quelle est-elle si l'induction mutuelle est maxima ou minima ?

3° Reprendre la question précédente avec les deux bobines de même coefficient de self-induction, 1.000 microhenrys.

SOLUTION. — Si L_1 et L_2 sont les coefficients de self-induction des deux bobinages, M leur induction mutuelle, le coefficient de couplage a pour expression :

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}.$$

L'induction mutuelle maxima a lieu pour $K = 1$, c'est-à-dire :

$$M = \sqrt{L_1 L_2}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$M_{\max} = \sqrt{10^3 \times 2 \times 10^3} = 1.414 \text{ microhenrys.}$$

2° Lorsque l'induction mutuelle est nulle, la self totale L est donnée par l'expression :

$$L = L_1 + L_2 = 1.000 + 2.000 = 3.000 \text{ microhenrys.}$$

Quand l'induction mutuelle M varie entre sa valeur maxima et sa valeur minima algébrique, c'est-à-dire entre $+ 1.414$ et $- 1.414$ microhenrys, la self-induction totale varie entre :

$$L' = L_1 + L_2 + 2M \quad \text{et} \quad L'' = L_1 + L_2 - 2M.$$

Soit ici entre :

$$1.000 + 2.000 + 2 \times 1.414 = 5.228 \text{ microhenrys}$$

et

$$1.000 + 2.000 - 2 \times 1.414 = 172 \text{ microhenrys.}$$

3° Les deux bobinages ont le même coefficient de self-induction :

$$L_1 = L_2 = 1.000 \text{ microhenrys.}$$

L'induction mutuelle M a alors pour valeur maxima :

$$M = \sqrt{L_1 L_2} = 1.000 \text{ microhenrys.}$$

Lorsque les deux bobines sont placées en série sans induction mutuelle, la self totale a pour expression :

$$L = L_1 + L_2 = 2.000 \text{ microhenrys.}$$

Cette self varie entre deux limites :

$$L_1 + L_2 + 2M = 2.000 + 2.000 = 4.000 \text{ microhenrys}$$

et

$$L_1 + L_2 - 2M = 2.000 - 2.000 = 0.$$

147. — Deux bobinages égaux, d'un coefficient de self-induction chacun de 250 microhenrys, sont montés en parallèle. Calculer le coefficient de self-induction total, l'induction mutuelle entre les deux bobines étant supposée négligeable.

Les deux bobinages précédents sont montés en série, de sorte que leur coefficient d'induction mutuelle soit égal à 100 microhenrys. Calculer le coefficient de self-induction total des deux bobines.

SOLUTION. — 1° Soient L_1 et L_2 les coefficients de self-induction des deux bobines, et L le coefficient de self total, on a, puisqu'il n'y a pas d'induction mutuelle :

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}.$$

D'où :

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{250} + \frac{1}{250} = \frac{2}{250}$$

$$L = \frac{250}{2} = 125 \text{ microhenrys.}$$

2° La self totale obtenue, lorsqu'il y a couplage entre les bobines montées en série, est indiquée par la formule :

$$L = L_1 + L_2 + 2M.$$

M étant le coefficient d'induction mutuelle.

Réplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$L = 250 + 250 + 200 = 700 \text{ microhenrys.}$$

148. — Deux circuits oscillants sont accordés sur une fréquence de 300 Kcs ; leur résistance est de 10 ohms. Sur le primaire, on fait agir une force électromotrice alternative d'une amplitude de 20 microvolts, et d'une fréquence de 300 Kcs.

On demande quelle est la valeur du coefficient d'induction mutuelle pour laquelle le courant sera maximum dans le secondaire, et quelle sera l'amplitude de ce courant. On prendra $\pi = 3$.

SOLUTION. — Le courant dans le circuit secondaire est maximum pour le couplage critique, c'est-à-dire lorsque :

$$\frac{M\omega}{\sqrt{R_1 R_2}} = 1 \quad \text{ou} \quad M\omega = \sqrt{R_1 R_2}$$

R_1 et R_2 étant les résistances des circuits, M le couplage, et ω la pulsation. On en tire :

$$M = \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{\omega}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$\omega = 2\pi \times 300.000 = 1.800.000$$

$$M = \frac{\sqrt{10 \times 10}}{1.800.000} = \frac{10}{1.800.000} = 5,5 \text{ microhenrys.}$$

Le courant dans le secondaire a alors pour valeur :

$$I_m \text{ (ampères)} = \frac{E_2 \text{ (volts)}}{2 \sqrt{R_1 R_2 \text{ (ohms)}}}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$I_m = \frac{\frac{20}{1.000}}{2 \sqrt{10 \times 10}} = \frac{20}{2 \times 10 \times 1.000} = 1 \text{ milliampère.}$$

CHAPITRE XVII

COLLECTEURS D'ONDES-ANTENNES ET CADRES

ACTION A DISTANCE D'UNE ANTENNE.

Un élément d'antenne de longueur l produit en un point P distant d'une longueur D, et tel que la direction OP fasse un angle α avec l'émetteur, deux forces électrique et magnétique qui ont pour expression :

$$\frac{\omega I l \sin \alpha}{D}.$$

Dans laquelle, I est l'intensité du courant traversant l'élément, et ω la pulsation soit $2\pi F$ ou $\frac{2\pi V}{T} = \frac{2\pi V}{\lambda}$.

Soit I_0 le courant à la base de l'antenne émettrice, h la hauteur de rayonnement définie plus loin, la valeur des deux forces totales, au même point, a pour expression :

$$h I_0 \frac{\omega \sin \alpha}{D}.$$

Le *champ électrique* est sinusoïdal, de fréquence égale à celle du courant dans l'antenne d'émission ; il a pour valeur efficace théorique :

$$E(\text{volts-centimètre}) = 120 \pi \frac{h I_0}{\lambda D}.$$

λ étant la longueur d'onde en centimètres, D la distance à l'émetteur en centimètres, I_0 l'intensité à la base en ampères, h la hauteur effective en centimètres.

Le *champ magnétique* est également sinusoïdal, de fréquence égale à celle du courant dans l'antenne, et a pour expression, avec les mêmes notations :

$$H(\text{gauss}) = \frac{4\pi}{10} \times \frac{h I_0}{\lambda D}.$$

Le quotient $\frac{E}{H}$ est égal à 300, avec les unités adoptées ; il correspond, avec d'autres unités, à la valeur déjà signalée de 3×10^4 .

Un élément de conducteur vertical ayant l'extrémité inférieure réunie au sol est un *doublet* ; il est parcouru sur toute sa longueur par le courant I_0 ; sa hauteur effective est égale à sa longueur métrique l .

Le champ électrique d'une telle antenne a pour expression en unités électrostatiques :

$$E = \frac{2 \cdot V}{\lambda} \frac{I_0}{D}.$$

Le champ H électromagnétique, en unités électromagnétiques (gauss), est donné par la même expression.

CAPACITÉ ET SELF-INDUCTION D'UNE ANTENNE.

Un fil simple d'une longueur l , d'un diamètre d , suspendu à une hauteur h' au-dessus du sol, a une capacité indiquée par l'expression :

$$C = \frac{0,2416 l}{\log_{10} \frac{4h'}{d} + \log_{10} \frac{l/2 + \sqrt{l^2/4 + d^2/4}}{l/2 + \sqrt{l^2/4 + 4h'^2}}}$$

Pour deux fils horizontaux parallèles tendus à une même hauteur h' au-dessus du sol, de diamètre d , de longueur l , et séparés par une distance D' , on peut employer la formule simplifiée :

$$C = \frac{0,1208 l}{\log_{10} \frac{2D'}{d} - \frac{D'^2}{8h'^2}}.$$

Pour une antenne à nombre de brins quelconque, les formules deviennent plus complexes. On peut cependant utiliser la formule simplifiée :

$$C = cl \sqrt{n - 1}.$$

Dans laquelle :

C = capacité en unités électrostatiques C. G. S. ;

l = longueur de la partie horizontale ;

n = nombre de fils d'antenne ;

c = capacité par unité de longueur d'un fil de même diamètre que ceux utilisés, et placé à la même hauteur.

c est d'ailleurs, donné par la formule :

$$c = \frac{1}{2 \log_e \frac{2h'}{r}}$$

h' étant la hauteur, et r le rayon du fil : c = approximativement 0,05 unités électrostatiques.

Si la capacité de la descente, dont on ne tient pas compte ici, a de l'importance, on remplace l par $0,5 l$ dans la formule.

On peut encore adopter la formule sans logarithme :

$$C = \frac{4.200 l \sqrt{n-1}}{7,31 \times 10^4 + \frac{h}{r}}$$

c étant exprimée en unités électrostatiques C. G. S., et l en centimètres.

Les antennes d'amateurs ont une capacité de l'ordre de 5/10.000 de microfarad, les antennes de bord ont une capacité de 7/10.000 à 15/10.000.

La capacité d'une descente est de l'ordre de $5,8 \times 10^{-3}$ micromicrofarad par mètre de longueur.

La self-induction d'une antenne est de l'ordre de 50 à 100 microhenrys.

CAPACITÉ ET SELF EFFECTIVES.

Si la tension était la même en tous les points de l'antenne, celle-ci aurait une certaine *capacité statique* définie précédemment ; mais, comme il n'en est pas ainsi, tout se passe comme si l'antenne avait une *capacité effective* inférieure à ce que serait sa capacité statique, pour une tension constante égale à la tension maximum.

De même, si l'intensité était constante en tous les points, l'antenne aurait une certaine *self statique* ; comme l'intensité est variable, tout se passe comme si l'antenne avait une certaine *self effective* inférieure à la valeur de la self statique, pour une intensité constante égale à l'intensité maximum.

L'antenne peut ainsi être assimilée à un *circuit oscillant ouvert* ; elle possède une certaine *longueur d'onde propre* λ et une *période propre* T exprimées par les relations :

$$T = 2\pi \sqrt{L_e C_e} \quad \text{et} \quad \lambda = 1.885 \sqrt{L_e C_e}$$

dans lesquelles L_e et C_e représentent la self-induction et la capacité effectives de l'antenne variant suivant la longueur d'onde au cours du fonctionnement.

La capacité effective est fonction de l'onde reçue ; elle diffère d'autant moins de la capacité statique que la longueur d'onde est plus grande.

Dans le cas d'une antenne verticale unifilaire, il existe une relation simple entre les valeurs effectives, et les valeurs statiques.

La capacité effective C_e pour une longueur d'onde λ est indiquée par la formule :

$$C_e = \frac{C_s \sin \theta}{\theta} \quad \text{dans laquelle} \quad \theta = \frac{1}{2} \pi \frac{\lambda_0}{\lambda}$$

λ_0 est la longueur d'onde fondamentale de l'antenne seule, sans aucune capacité ou bobinage additionnel.

Dans le cas de la longueur d'onde fondamentale de l'antenne, c'est-à-dire pour $\lambda = \lambda_0$, on trouve, en simplifiant :

$$C_e = \frac{2}{\pi} C_s = 0,637 C_s.$$

Ces résultats ne sont absolument exacts que pour des fils verticaux homogènes ; mais, ils sont encore applicables aux antennes ordinaires.

Dans le cas d'une antenne à nappe horizontale, la capacité effective est approximativement égale à la capacité statique de la nappe horizontale.

On peut également exprimer la variation de la self effective L_e en fonction de la longueur d'onde fondamentale λ_0 de l'antenne seule sans capacité ni bobinage additionnel, suivant l'expression :

$$L_e = \frac{L_s(1 - \cos \theta)}{\theta} \quad \text{avec} \quad \theta = \frac{1}{2} \pi \frac{\lambda_0}{\lambda}.$$

Dans le cas de la longueur d'onde fondamentale, c'est-à-dire pour $\lambda = \lambda_0$, la formule se simplifie, et devient :

$$L_e = \frac{2}{\pi} L_s = 0,637 L_s.$$

Ces résultats ne sont absolument exacts, comme précédemment, que pour les fils homogènes et verticaux ; mais, ils sont encore applicables aux antennes ordinaires. La self effective d'une antenne à capacité terminale et à descente unifilaire peut être évaluée approximativement en calculant la self statique de cette descente.

HAUTEUR EFFECTIVE.

L'antenne peut être considérée comme un circuit oscillant ouvert ; son *efficacité* est déterminée par sa *hauteur effective*.

Cette hauteur est celle d'un collecteur d'ondes idéal ou d'un émetteur idéal parcouru sur toute sa hauteur par un courant uniforme égal au courant maximum du dispositif réel, et recueillant, ou émettant, la même énergie que ce dernier ; elle correspond donc à la hauteur d'une antenne parfaite sans pertes.

Elle est, en général, définie par la formule :

$$h_e I_m = \int I dl \sin \theta.$$

Elle est représentée par le côté vertical du rectangle ayant pour base le vecteur correspondant à l'intensité maxima, et pour surface une surface

égale à celle comprise entre l'antenne et la courbe d'intensité au moment de son fonctionnement. Dans la formule, h_e est la hauteur effective, I_m l'intensité à la base de l'antenne, l la longueur de l'élément du conducteur, $\bar{I}$ le courant qui le parcourt, θ l'angle de l'élément conducteur avec le plan horizontal (fig. 19).

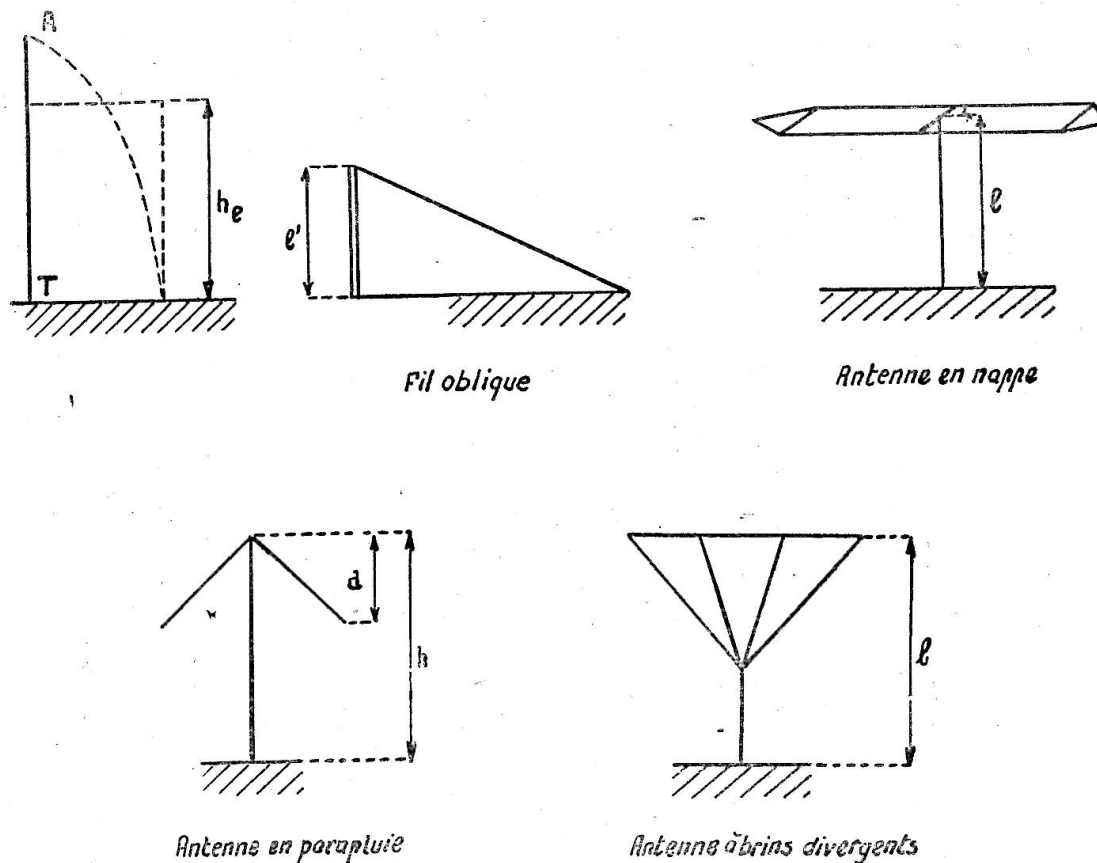


FIG. 19

La hauteur effective varie avec la longueur d'onde, et diminue à mesure que l'onde augmente au-dessus de la fondamentale. La diminution est d'autant plus grande que la capacité de l'antenne est plus faible.

On peut la calculer dans un certain nombre de cas simples.

ANTENNE HOMOGENÈ VERTICALE.

L'expression devient :

$$h_e = \frac{2l}{\pi} = 0,637l$$

l , étant la longueur métrique de l'antenne.

ANTENNE HOMOGÈNE RECTILIGNE.

$$h_e = \frac{2l'}{\pi} = 0,637l'$$

dans laquelle l' est la projection verticale de l'antenne, ou hauteur du point le plus élevé.

ANTENNE A NAPPE HORIZONTALE.

h_e est un peu inférieure à la projection verticale l de la descente. On admet pratiquement :

$$h_e = 0,55 \text{ à } 0,60l.$$

ANTENNE EN PARAPLUIE.

$$h_e = l - \frac{2}{3}\pi d = l - 0,637d.$$

Dans laquelle, l est la projection verticale de la descente, et d la projection verticale de la nappe oblique.

ANTENNE A FILS DIVERGENTS.

$$h = \frac{2}{\pi}l = 0,637l.$$

Dans laquelle, l est la projection verticale de l'antenne.

ANTENNE VERTICALE AVEC LONGUE BOBINE DE SELF.

$h_e = 0,707h$, dans laquelle h est la hauteur de l'antenne.

Une antenne intérieure d'amateur a une hauteur effective de l'ordre de 1 mètre, une antenne extérieure normale, de 2 mètres à 2 m. 50, une très bonne antenne de 4 mètres.

La valeur efficace de l'intensité dans une antenne de réception est de l'ordre du milliampère pour un champ de l'ordre du millivolt par mètre. La tension recueillie aux bornes du bobinage d'accord $L\omega I$ a, dans ces conditions, une valeur efficace de l'ordre de 2 volts.

En général, pour un champ électrique e , la tension recueillie est de l'ordre de eh_e en microvolts, pour une antenne de hauteur effective h_e .

ANTENNE FICTIVE.

On peut établir un circuit oscillant de même longueur d'onde propre que l'antenne comparée à un circuit oscillant ouvert, et composé de bobines, de capacités et de résistances, sans pouvoir émetteur ni récepteur.

L'antenne fictive standard employée pour déterminer les qualités du radio-récepteur est formée avec une self-induction de 20 microhenrys, une capacité de 200 micromicrofarads, et une résistance de 25 ohms, en comprenant la résistance du bobinage.

CARACTÉRISTIQUES DE RAYONNEMENT.

La *résistance effective* de l'antenne est le quotient de la puissance totale transmise à l'antenne P_t par le carré de l'intensité efficace au ventre d'intensité.

$$R_e = \frac{P_t}{I^2}.$$

La *puissance rayonnée* P_r est le produit de la *résistance de rayonnement* par l'intensité efficace en ampères au ventre d'intensité :

$$P_r = R_r I^2.$$

Cette puissance est proportionnelle au carré de la surface S limitée par la courbe de variation des intensités, et par l'antenne supposée unifilaire.

L'énergie totale utilisée est transmise sous forme de rayonnement, et sous forme de pertes dans des résistances passives :

$$R_t = R_e = R_r + R_p.$$

La résistance de rayonnement est ainsi la résistance variant avec la fréquence, et qui placée à la base de l'antenne détermine une dissipation d'énergie égale à l'énergie rayonnée sous forme d'ondes.

La résistance effective se compose donc de la résistance propre des conducteurs, de la résistance de terre, de la résistance de rayonnement, et des résistances diélectriques.

La résistance de rayonnement d'une *antenne unifilaire simple verticale* a pour expression :

$$R_r = 640 \frac{h^2}{\lambda^2} \text{ ohms.}$$

Pour une *antenne verticale avec bobine de self*, elle devient :

$$R_r = 395 \frac{h^2}{\lambda^2} \text{ ohms.}$$

Pour une *antenne doublet* de longueur l , et, pour une antenne en parapluie de hauteur h , elle a, de même, pour expression :

$$R_r = 790 \frac{l^2}{\lambda^2} \text{ ohms} \quad \text{et} \quad 1.580 \frac{h^2}{\lambda^2} \text{ ohms.}$$

On admet, en général, la formule simplifiée :

$$R_r = 160\pi^2 \left(\frac{h_e}{\lambda_0} \right)^2.$$

Dans laquelle, λ_0 est la longueur d'onde propre de l'antenne, et h_e sa hauteur effective.

Cette formule permet de déterminer la résistance de rayonnement, connaissant la hauteur effective. On trouve ainsi que pour une antenne unifilaire verticale réunie à la terre, la résistance effective est de 40 ohms. Si l'antenne n'était pas réunie à la terre, la résistance effective serait de 160 ohms. La puissance rayonnée par une antenne est aussi indiquée par la formule approximative :

$$P_r \text{ (watts)} = 1.600 \left(\frac{h}{\lambda} \right)^2 I_0^2$$

h étant la hauteur de l'antenne en mètres.

La résistance de rayonnement est très faible pour les ondes très longues ; à mesure que la longueur d'onde diminue, l'énergie rayonnée devient plus importante par rapport à la totalité de l'énergie dépensée ; le *rendement* s'améliore.

Ce *rendement* est, par définition, le rapport de la puissance rayonnée P_r à la puissance totale P_t fournie à l'antenne. Il a donc pour expression :

$$\rho = \text{rendement} = \frac{R_r I^2}{R_t I^2} = \frac{R_r}{R_t}.$$

C'est le rapport entre la résistance de rayonnement et la résistance effective constituée par la somme de la résistance de rayonnement R_r et des résistances R_p provenant des pertes. Pour une antenne verticale demi-onde, il a ainsi pour expression :

$$\frac{160}{160 + R_p}$$

et, pour une antenne quart d'onde :

$$\frac{40}{40 + R_p}.$$

Il est donc meilleur dans le premier cas que dans le deuxième.

VIBRATIONS D'UNE ANTENNE.

Une *antenne verticale mise à la terre* peut être comparée à un tuyau acoustique fermé, et vibre *en quart d'onde* ; sa longueur d'onde propre est égale à 4 fois sa longueur métrique :

$$\lambda = 4l.$$

L'antenne vibre également sur les harmoniques d'ordre 3, 5, 7 et, en général $(2n + 1)$.

Si l est la longueur du fil, on a tout le long de cette longueur, une série d'ondes qui ont pour expressions :

$$\lambda_1 = 4l, \quad \lambda_3 = \frac{4}{3}l, \quad \lambda_5 = \frac{4}{5}l, \quad \lambda_{2n+1} = \frac{4}{2n+1}l.$$

L'antenne *demi-onde* est ainsi appelée parce que sa longueur d'onde propre est égale à deux fois sa longueur métrique. C'est, en théorie, une antenne verticale unifilaire non réunie à la terre, et actionnée électriquement en son milieu.

L'antenne est le siège d'oscillations de longueurs données par les formules :

$$l = \frac{\lambda_1}{2}, \quad l = \frac{2\lambda_2}{2}, \quad l = \frac{3\lambda_3}{2}, \dots \quad l = \frac{n\lambda_n}{2};$$

soit :

$$\lambda_1 = 2l \quad \lambda_2 = l \quad \lambda_3 = \frac{2}{3}l \dots \quad \lambda_n = \frac{2}{n}l.$$

Le courant et la tension distribués le long de l'antenne peuvent être déterminés dans un certain nombre de cas simples.

Pour une antenne verticale mise à la terre en un point T, et pour un point A de l'antenne où l'intensité et la tension sont i et φ , x étant la distance du point au ventre d'intensité, et y la distance du même point au ventre de tension, on a les formules suivantes :

$$\begin{aligned} i &= I \cos \left(90^\circ \frac{x}{l} \right) & \varphi &= V \sin \left(90^\circ \frac{x}{l} \right) \\ i &= I \sin \left(90^\circ \frac{y}{l} \right) & \varphi &= V \cos \left(90^\circ \frac{y}{l} \right). \end{aligned}$$

Pour une antenne unifilaire avec capacité C au sommet, on a encore :

$$i = I \cos \left(360^\circ \frac{x}{\lambda} \right) \quad \varphi = V \sin \left(360^\circ \frac{x}{\lambda} \right).$$

Pour une antenne avec capacité C à la base, on a de même :

$$i = I \sin \left(360^\circ \frac{y}{\lambda} \right) \quad \varphi = V \cos \left(360^\circ \frac{y}{\lambda} \right).$$

Pour une antenne unifilaire avec self à la base, on a enfin :

$$i = I \sin \left(360^\circ \frac{y}{\lambda} \right) \quad \varphi = V \cos \left(360^\circ \frac{y}{\lambda} \right).$$

On voit sur la figure 20 les différents schémas montrant la distribution correspondante des intensités et des tensions, ainsi que les significations des notations adoptées.

L'amplitude du courant en un point quelconque d'une antenne a, d'autre part, pour expression :

$$i = 2I \sin \frac{2\pi Z}{\lambda} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \varphi \right).$$

Dans laquelle, Z est la distance du point considéré à l'extrémité libre. On a aussi

$$i = 2I \sin 2\pi \frac{Z}{\lambda} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{l}{\lambda} \right)$$

$$V = 2I \sqrt{\frac{L}{C}} \cos 2\pi \frac{Z}{\lambda} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{l}{\lambda} \right).$$

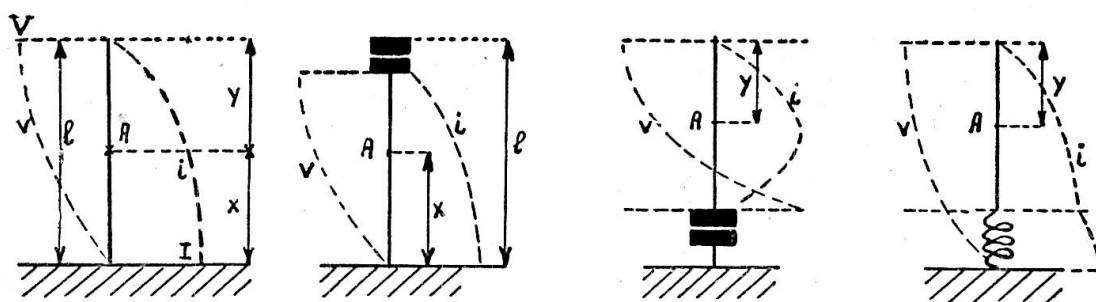


FIG. 20

Lorsque l'antenne est reliée à la terre, Z correspond à la notation y dans les premières formules, et l'on retrouve :

$$i = I \sin \left(\frac{\pi y}{2l} \right) \quad \varphi = V \cos \left(\frac{\pi y}{2l} \right).$$

LONGUEUR D'ONDE PROPRE.

En pratique, la longueur d'onde propre est généralement supérieure à la longueur d'onde théorique réalisée avec des antennes multiples.

Dans un circuit fermé, la longueur d'onde est déterminée d'après la formule de Thomson :

$$\lambda = 2\pi V \sqrt{LC}.$$

Mais, cette formule suppose que le courant est le même dans tout le circuit ; on peut calculer la longueur d'onde propre en considérant l'antenne comme un circuit oscillant ouvert.

Étant donné une antenne mise à la terre, ayant une certaine self-induction L , et une certaine capacité C , on peut ainsi calculer la longueur d'onde par la formule :

$$\lambda \text{ (mètres)} = 1,885 \sqrt{L \text{ (centimètres)} \times C \text{ (micromicrofarads)}}.$$

On peut également utiliser une quelconque des formules données précédemment et, en particulier, la formule :

$$L = 1.885 \sqrt{L \text{ (microhenrys)} \times C \text{ (microfarads)}}.$$

La longueur d'onde ainsi obtenue est valable pour l'antenne nue ; c'est la longueur d'onde propre ou fondamentale, et, par abréviation, *la fondamentale*.

Soit l la longueur du fil d'antenne de la terre à l'extrémité, on peut donner quelques indications approximatives sur la longueur d'onde propre de l'antenne ainsi réalisée :

Pour un fil vertical : $4 l$;

Pour un fil horizontal, à un mètre au-dessus du sol : $5 l$;

Pour des antennes coudées : $5 l$ à $7 l$;

La largeur variant de $\frac{l}{6}$ à $\frac{l}{3}$, la longueur étant grande par rapport à la hauteur, et l étant alors la longueur totale.

Pour une antenne en T peu développée : $4,5 l$ à $5 l$;

Pour une antenne en T de longueur l et de hauteur $\frac{l}{2}$ à $\frac{l}{3}$: $9 l$ à $10 l$;

Pour une antenne en parapluie : $6 l$ à $8 l$;

Pour une antenne en parapluie basse : $8 l$ à $10 l$;

Si l'on étudie une antenne complexe, on peut calculer la longueur d'onde propre du système en considérant *une antenne fictive* comportant un certain nombre de bobinages et de condensateurs correspondant aux capacités et self-inductions élémentaires.

La longueur d'onde d'une antenne en nappe est calculée, comme pour l'antenne simple, en tenant compte de la longueur de la nappe, et de la hauteur de la descente d'antenne.

Pour une antenne verticale avec fort bobinage à la base, la longueur d'onde de résonance croît de plus en plus ; on se rapproche de plus en plus des conditions de l'antenne effective, et la répartition du courant s'effectue suivant une droite, de la terre à l'extrémité libre.

RAYONNEMENT ET POUVOIR COLLECTEUR D'UN CADRE.

Le rayonnement d'un cadre est toujours très faible ; l'intensité du champ électrique recueillie à une distance r dans une direction θ dans le plan horizontal est donnée par la formule :

$$E = 240\pi^2 \frac{nSI}{\lambda^2 r} \cos \theta.$$

Dans laquelle, E est exprimé en volts centimètre, n est le nombre de spires du cadre, S la surface d'une spire en centimètres carrés, I le courant dans le cadre en ampères, λ et r sont exprimés en centimètres, θ est l'angle de la direction considérée avec le plan des spires.

On peut donner la force électromotrice induite dans un cadre par l'expression :

$$e = \frac{2\pi\varphi}{\lambda} HS \sin z \cos \omega t.$$

Dans laquelle, H est l'expression du champ magnétique au point où se trouve le cadre ;

S la surface totale des spires ;

z l'angle de la normale au plan des spires avec la direction de l'émetteur ;

ω la pulsation ;

φ la vitesse de propagation des ondes.

Lorsque le cadre est accordé sur la longueur d'onde λ , on obtient en correspondance un courant I qui a pour expression : $I = \frac{E}{R}$, R étant la résistance du cadre dans les conditions de réglage.

La résistance d'un cadre se compose de la résistance ohmique R_0 du conducteur formant le bobinage, plus une résistance r variable avec la longueur d'onde. r tend vers zéro, pour les grandes valeurs de λ , et augmente très vite lorsque λ descend au voisinage de la longueur d'onde propre λ_0 du cadre.

HAUTEUR EFFECTIVE D'UN CADRE.

La hauteur effective d'un cadre a pour expression :

$$h_e = \frac{2\pi nS}{\lambda}$$

dans laquelle h_e est exprimée en centimètres, S en centimètres carrés, et λ en centimètres.

Cette caractéristique indique, comme pour l'antenne, l'efficacité du système, tant au point de vue du rayonnement, que de la réception :

$$E = h_e.$$

Considérons un cadre de hauteur H et de largeur L . On peut remplacer l'expression précédente par la même équivalente :

$$h_e = 2\pi \frac{NHL}{\lambda}.$$

Pour une direction faisant l'angle γ avec la direction optimum de réception, on a évidemment :

$$h' = h_e \cos \gamma.$$

En pratique, les cadres de quelques mètres de côté n'ont qu'une hauteur effective de quelques dizaines de centimètres ; les cadres d'amateurs ont une hauteur effective inférieure à une dizaine de centimètres.

Si H est la valeur efficace du champ magnétique en gauss, et e la valeur du champ électrique en volts par mètre, on a la relation :

$$H = \frac{e}{10^4} \text{ ou en volts-centimètre } H = \frac{e}{100}.$$

Si E est la f. é. m. induite en volts, x le nombre de spires de l'enroulement, S la surface d'une spire en centimètres carrés, λ la longueur d'onde d'accord en cms, e le champ en volts-centimètre, on a la relation :

$$E = \frac{2\pi nS}{\lambda} \times e \times \cos \alpha.$$

Si l'on connaît la hauteur effective h_e , l'amplitude de la tension incidente recueillie aux bornes du cadre accordé a pour expression :

$$E_0 = eh_e Q \cos \alpha.$$

Dans laquelle e est la valeur du champ électrique en volts par mètre, et Q le coefficient de surtension de l'enroulement, soit $\frac{\omega L}{R}$.

CALCUL D'UN CADRE.

La tension recueillie aux bornes de l'enroulement a toujours pour expression :

$$U = LI$$

et, si le cadre est en résonance :

$$I = \frac{E}{R}.$$

Pour la position de réception maximum, $\alpha = 0$, on a ainsi :

$$U = \frac{4\pi^2 V^2 H}{\lambda} \frac{SL}{R}.$$

Pour un cadre à spires circulaires, si L est le coefficient de self-induction en microhenrys, n le nombre de spires, D le diamètre, pour un enroulement cylindrique, ou le diamètre moyen pour un enroulement en spirale en mètres, l la largeur de l'enroulement en mètres, on a la formule :

$$L = Kn^2(D)^2$$

dans laquelle :

$$K = \frac{1}{0,4 + 1,4 \frac{l}{D}}.$$

Si le cadre est hexagonal, on prendra pour D le diamètre extérieur de la spire moyenne ; pour un cadre carré de côté a , D sera égal à $1,25 a$. Cette formule est utilisable lorsque le rapport $\frac{l}{D}$ est compris en 0,1 et 1,3.

APPLICATIONS

149. — *Une antenne unifilaire horizontale a une longueur égale à 15 mètres, et la descente a une longueur de 5 mètres.*

On utilise cette antenne pour l'émission, et on dispose à la base un alternateur, dont on peut faire varier la fréquence.

On demande pour quelles fréquences on obtient la résonance, et quelles sont les longueurs d'onde d'émission correspondantes.

SOLUTION. — Nous supposons qu'il s'agit bien ici d'une antenne quart d'onde reliée à la terre. La longueur d'onde propre d'une antenne de ce type est égale à environ quatre fois sa longueur efficace, c'est-à-dire quatre fois la longueur de la nappe augmentée de celle de la descente.

La longueur d'onde fondamentale est ainsi :

$$4(15 + 5) = 80 \text{ mètres.}$$

La résonance est également obtenue pour les fréquences impaires, soit les longueurs d'onde de :

$$\frac{80}{3} = 26,70 \text{ m} \quad \frac{80}{5} = 16 \text{ mètres, etc.}$$

Les longueurs d'onde correspondent à des fréquences de :

$$\frac{3 \times 10^8}{80} = 3.750 \text{ kilocycles}$$

$$\frac{3 \times 10^8}{26,70} = 11.250 \text{ kilocycles}$$

$$\frac{3 \times 10^8}{16} = 18.750 \text{ kilocycles.}$$

150. — Une antenne unifilaire horizontale a une longueur de 15 mètres, et une descente verticale de 10 mètres.

1° Quelle est sa longueur d'onde propre approximative ?

2° Quelle est la self-induction propre de cette antenne, si sa capacité est de 1/10.000 de microfarad ?

SOLUTION. — Si nous supposons l'antenne réunie à la terre, il s'agit d'une antenne quart d'onde, dont la longueur d'onde propre est égale à quatre fois environ la longueur efficace, c'est-à-dire quatre fois la longueur du brin augmentée de celle de la descente. La longueur d'onde propre fondamentale est alors :

$$4(15 + 10) = 100 \text{ mètres.}$$

Appliquons la formule classique :

$$\lambda = 1.885 \sqrt{LC}.$$

Dans laquelle λ = longueur d'onde propre en mètres, L = self-induction en microhenrys, C = capacité en microfarads.

D'où :

$$100 = 1.885 \sqrt{\frac{1}{10.000} \times L} \quad L = 26 \text{ microhenrys.}$$

151. — Une antenne unifilaire verticale mise à la terre a une hauteur de 30 mètres, et elle est parcourue par un courant alternatif de 20 ampères, de fréquence variable, dont la valeur efficace est supposée constante tout le long de l'antenne.

On demande de calculer la puissance rayonnée par l'antenne et le champ produit à une distance de 50 kilomètres pour des fréquences du courant de 50 p/s et de 1.000.000 de p/s. Que déduisez-vous de ces résultats ?

SOLUTION. — 1° La puissance rayonnée par l'antenne a pour expression :

$$P_r = 160\pi^2 \times \left(\frac{h_e}{\lambda}\right)^2 I^2.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{50} \text{ pour une fréquence de 50.}$$

Puisque l'on suppose que le courant est constant tout le long de l'antenne, la hauteur effective correspond à la hauteur de l'antenne, soit 30 mètres, et l'on a donc :

$$P_r = 1.600 \times \left(\frac{30}{\frac{3 \times 10^8}{50}} \right)^2 \times 20^2 = 16 \text{ microwatts.}$$

Le rayonnement est infime, comme il fallait s'y attendre pour une fréquence aussi faible.

Le champ électrique produit à une distance d a pour expression :

$$E = 120\pi \frac{h_e I}{\lambda d}.$$

Remplaçons d par sa valeur, soit 50 kilomètres, exprimée en centimètres, il vient :

$$E = 120\pi \times \frac{3.000 \times 20}{\frac{3 \times 10^{10}}{50} \times 5.000.000} = \frac{75}{10^{10}} \text{ volts-centimètre,}$$

soit 7,5/1.000 microvolt-centimètre.

2° Pour une fréquence de 1.000.000 de c/s , on peut reprendre les mêmes formules, et l'on a :

$$P_r = 1.600 \left(\frac{30}{\frac{3 \times 10^8}{10^6}} \right)^2 \times 20^2 = 6.400 \text{ watts ou 6,4 kilowatts.}$$

Le champ électrique a, de même, pour valeur :

$$E = 120\pi \times \frac{3.000 \times 20}{\frac{3 \times 10^{10}}{10^6} \times 5.000.000} = 150 \text{ microvolts-centimètre.}$$

Ces résultats montrent bien la différence des rayonnements obtenus suivant la fréquence.

152. — Une antenne verticale unifilaire d'une hauteur de 30 mètres mise à la terre, a une capacité propre de 3/10.000 de microfarad.

1° Calculer la hauteur effective de cette antenne.

2° Calculer la résistance de rayonnement pour une longueur d'onde de 120 mètres.

SOLUTION. — 1° Puisqu'il s'agit d'une antenne unifilaire verticale mise à la terre, sa hauteur effective a pour expression :

$$h_e = \frac{2}{\pi} l$$

l étant la longueur métrique.

D'où :

$$h_e = \frac{2}{\pi} \times 30 = \frac{2}{3,14} \times 30 = 19 \text{ mètres.}$$

2° La résistance de rayonnement a pour expression générale :

$$R_r = 1.600 \left(\frac{h_e}{\lambda} \right)^2.$$

λ correspond évidemment à la longueur d'onde propre de cette antenne quart d'onde, soit 120 mètres. D'où :

$$R_r = 1.600 \left(\frac{19}{120} \right)^2 = 41 \text{ ohms.}$$

153. — Une antenne, d'une hauteur effective de 10 mètres, est accordée sur une longueur d'onde de 600 mètres; sa résistance est de 10 ohms, et le coefficient de self-induction total de 337 microhenrys, y compris un bobinage intercalé à la base.

On désire recevoir une émission sur 600 mètres de longueur d'onde créant un champ de 20 microvolts par mètre. Quelle sera la force électromotrice recueillie aux bornes de la self ?

SOLUTION. — La force électromotrice créée aux extrémités de l'antenne sous l'action du champ de 20 microvolts par mètre est de :

$$20 \times 10 = 200 \text{ microvolts.}$$

Le courant correspondant a pour valeur :

$$I = \frac{e}{R} = \frac{200}{10} = 20 \text{ microampères.}$$

La force électromotrice recueillie aux bornes du bobinage a pour expression :

$$V = L\omega I.$$

Ici, $\omega = 2\pi \times 500.000$, puisque la fréquence correspondant à une longueur d'onde de 600 mètres est 500.000.

D'où :

$$V = \frac{337,5}{10^6} \times 2\pi \times 5 \times 10^5 \times 20 = 20.000 \text{ microvolts.}$$

154. — Une antenne d'émission d'une hauteur effective de 25 mètres est parcourue par un courant de 30 ampères, d'une fréquence de 120.000 c/s; la résistance totale est de 4 ohms.

1° Calculer la résistance de rayonnement.

2° Quelle est la puissance rayonnée ?

3° Quelle est la puissance-antenne ?

4° Quel est le rendement de l'antenne ?

SOLUTION. — 1° La longueur d'onde sur laquelle est accordée l'antenne, en fonction de la fréquence F du courant qui la parcourt, a pour expression :

$$\lambda = \frac{V}{F} \quad V = \text{vitesse des ondes hertziennes.}$$

D'où :

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{12 \times 10^4} = \frac{1 \times 10^4}{4} = 2.500 \text{ mètres.}$$

La résistance de rayonnement a pour expression :

$$R_r = 1.600 \left(\frac{h_e}{\lambda} \right)^2.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$R_r = 1.600 \frac{25^2}{2.500^2} = \frac{1.600}{100^2} = \frac{16}{100} \text{ ohm.}$$

2° La puissance rayonnée a pour expression :

$$P_r = R_r \times I^2.$$

D'où :

$$P_r = \frac{16}{100} \times 30^2 = 16 \times 9 = 144 \text{ watts.}$$

3° La puissance absorbée dans l'antenne a pour expression :

$$P_A = R_i I^2 = 4 \times 30^2 = 4 \times 900 = 3.600 \text{ watts.}$$

4° Le rendement de l'antenne a pour expression :

$$\frac{\text{Puissance rayonnée}}{\text{Puissance totale}} = \frac{R_r \times I^2}{R_i \times I^2} = \frac{R_r}{R_i} = \frac{16}{100 \times 4} = \frac{4}{100}.$$

Résultat qu'on pourrait retrouver évidemment en comparant P_A et P_r .

155. — Une antenne a une hauteur effective de 10 mètres, et une capacité propre de $1/1.000$ de microfarad ; elle est destinée à recevoir une émission de 300 mètres de longueur d'onde qui induit une force électromotrice de 100 microvolts par mètre dans cette antenne.

1° On demande la self totale pour l'accord sur 300 mètres.

2° Quelle sera la différence de potentiel aux bornes de cette self, en ne tenant compte que de la résistance de rayonnement de l'antenne ?

SOLUTION. — 1° La self totale peut être calculée, par exemple, par la formule pratique :

$$\lambda = 60 \sqrt{LC}.$$

Dans laquelle, L est exprimé en microhenrys, et C en millièmes de microfarad.

D'où :

$$\begin{aligned} 300 &= 60 \sqrt{L \times 1} \\ \sqrt{L} &= 5 \quad L = 25 \text{ microhenrys.} \end{aligned}$$

2° La résistance de rayonnement de l'antenne a pour expression :

$$R_r = 1.600 \left(\frac{h_e}{\lambda} \right)^2.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$R_r = 1.600 \left(\frac{10}{300} \right)^2 = \frac{1.600}{900} = \frac{16}{9} \text{ d'ohm.}$$

La force électromotrice induite dans l'antenne, puisque le champ est de 100 microvolts par mètre, a pour expression :

$$E = eh_e = 100 \times 10 = 1.000 \text{ microvolts.}$$

L'intensité du courant dans l'antenne est donc :

$$I = \frac{E}{R_r} = \frac{1.000}{\frac{16}{9}} = \frac{9.000}{16} \text{ soit } 562,5 \text{ microampères.}$$

La différence de potentiel aux bornes de la self a pour expression

$$V = L\omega I.$$

Ici :

$$\omega = 2\pi F = 2\pi \times 10^6.$$

On a donc :

$$V = \frac{25}{10^6} \times 2\pi \times 10^6 \times \frac{9.000}{16 \times 10^6} = \frac{28}{320} \text{ volts} = 87.500 \text{ microvolts.}$$

156. — Une antenne a une longueur d'onde propre de 100 mètres et une capacité de 1/1000 de microfarad.

1° Quelle est sa self propre ?

2° Quel est le coefficient de self-induction qu'il faut placer à la base pour accorder l'antenne sur 200 mètres ?

SOLUTION. — 1° On peut calculer la self propre de l'antenne par la formule pratique :

$$\lambda = 60 \sqrt{LC}.$$

L étant exprimé en microhenrys, et C en millièmes de microfarad, λ en mètres. D'où :

$$100 = 60 \sqrt{L \times 1}.$$

On en tire :

$$\sqrt{L} = \frac{10}{6} \quad L = \frac{100}{36} = 2,8 \text{ microhenrys.}$$

2° Pour accorder sur 200 mètres, il faut un coefficient de self-induction total donné encore par la formule :

$$\lambda = 60 \sqrt{LC} \quad \text{avec les mêmes notations.}$$

D'où :

$$200 = 60 \sqrt{L \times 1}.$$

On en tire :

$$\sqrt{L} = \frac{20}{6} \quad L = \frac{400}{36} = 11,11 \text{ microhenrys.}$$

Il faut donc intercaler dans l'antenne un bobinage ayant un coefficient de self-induction de :

$$11,11 - 2,8 = 8,31 \text{ microhenrys.}$$

157. — Une antenne unifilaire verticale a une longueur de 15 mètres. Elle est reliée à la terre à sa base ; sa capacité est de 0,15/1.000 de microfarad.

1° Quelle est sa fréquence propre ?

2° On place à sa base un condensateur de 0,1/1.000 de microfarad ; quelle est la nouvelle longueur d'onde propre du système ?

SOLUTION. — 1° La longueur d'onde propre d'une antenne de ce type est de 4 fois sa longueur efficace ; la longueur d'onde fondamentale est ainsi de :

$$4 \times 15 = 60 \text{ mètres.}$$

La résonance est également obtenue pour les fréquences harmoniques impaires, sur les longueurs d'onde de :

$$\frac{60}{3} = 20 \text{ mètres}, \quad \frac{60}{5} = 12 \text{ mètres, etc...}$$

Ces différentes longueurs d'onde correspondent à des fréquences de :

$$\frac{3 \times 10^8}{60} = 5 \times 10^6 \text{ cycles} \quad \text{soit} \quad 5 \times 10^3 \text{ kilocycles}$$

$$\frac{3 \times 10^8}{20} = 15 \times 10^6 \text{ cycles} \quad \text{soit} \quad 15 \times 10^3 \text{ kilocycles}$$

$$\frac{3 \times 10^8}{12} = 25 \times 10^6 \text{ cycles} \quad \text{soit} \quad 25 \times 10^3 \text{ kilocycles.}$$

2° Appliquons la formule :

$$\lambda (\text{mètres}) = 60 \sqrt{L (\text{microhenrys}) \times C (\text{millièmes de microfarad})}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs, il vient :

$$60 = 60 \sqrt{L \times 0,15}$$

$$L = \frac{1}{0,15} = 6,6 \text{ microhenrys.}$$

En intercalant à la base un condensateur de 0,1/1.000, la capacité totale devient :

$$C = \frac{\frac{0,1}{1.000} \times \frac{0,15}{1.000}}{\frac{0,1}{1.000} + \frac{0,15}{1.000}} = \frac{0,06}{1.000} \text{ microfarad.}$$

Utilisons à nouveau la formule précédente :

$$\lambda = 60 \sqrt{L \times C}.$$

D'où :

$$\lambda = 60 \sqrt{6,6 \times 0,06} = 37 \text{ mètres environ.}$$

158. — Une antenne bifilaire horizontale a une longueur de 20 mètres, et elle est reliée à une descente de 10 mètres.

1° On dispose à la base un alternateur de force électromotrice constante, dont on peut faire varier la fréquence. Indiquer les fréquences pour lesquelles la résonance est obtenue, et les longueurs d'onde correspondantes.

2° Calculer la self-induction propre de l'antenne, sachant que sa capacité est de 3/10.000 de microfarad.

SOLUTION. — 1° La longueur d'onde fondamentale de cette antenne quart d'onde, en tenant compte de la descente, est de :

$$\lambda = 4 (20 + 10) = 120 \text{ mètres.}$$

La résonance est obtenue également pour les fréquences harmoniques impaires, soit les longueurs d'onde de :

$$\frac{120}{3} = 40 \text{ mètres,} \quad \frac{120}{5} = 24 \text{ mètres, etc...}$$

Ces longueurs d'onde correspondent à des fréquences de :

$$\frac{3 \times 10^8}{120} = 2.500.000 \text{ cycles} \quad \text{soit} \quad 2.500 \text{ kilocycles}$$

$$\frac{3 \times 10^8}{40} = 7.500.000 \text{ cycles} \quad \text{soit} \quad 7.500 \text{ kilocycles}$$

$$\frac{3 \times 10^8}{24} = 12.500.000 \text{ cycles} \quad \text{soit} \quad 12.500 \text{ kilocycles,}$$

etc...

2° Appliquons la formule :

$$\lambda = 60 \sqrt{L \text{ (microhenrys)} \times C \text{ (millièmes de microfarad)}}.$$

Il vient :

$$120 = 60 \sqrt{0,3 \times L} \quad L = \frac{4}{0,3} = 13,3 \text{ microhenrys.}$$

159. — *Un cadre de réception, de forme rectangulaire, comporte 12 spires. Les dimensions des côtés sont respectivement de 1,25 m. et de 0,80 m.*

On reçoit une onde de T. S. F. dont la pulsation ω est de 2.000.000. Le champ de cette onde est de 20 microvolts par mètre, et, pour cette onde, la surtension du cadre est de 100.

On demande la hauteur effective de ce cadre, et la force électromotrice induite.

SOLUTION. — 1° La hauteur effective h_e d'un cadre de surface totale S , pour une longueur d'onde λ , est exprimée par la formule :

$$h_e = \frac{2\pi S}{\lambda}.$$

Ici :

$$S = 12 \times 1,25 \times 0,8 = 12 \text{ m}^2.$$

Nous connaissons la pulsation ω de l'onde ; nous en déduisons, si V est la vitesse de propagation des ondes hertziennes :

$$\lambda = \frac{2\pi V}{\omega} \quad \text{soit} \quad \lambda = \frac{2\pi \times 3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^6}, \quad \lambda = 3\pi \cdot 10^2 = 942 \text{ mètres.}$$

L'expression de h_e devient :

$$h_e = \frac{2\pi \times 12}{3\pi \times 10^2} = \frac{24}{3 \times 10^2} = 8 \text{ centimètres.}$$

2° Si E est le champ de l'onde, la force électromotrice induite est :

$$\begin{aligned} e &= h_e E = 8 \cdot 10^{-2} \times 20 \text{ microvolts} \\ &= 1,6 \text{ microvolts.} \end{aligned}$$

Comme la surtension est de 100, la tension recueillie est de :

$$1,6 \times 100 = 160 \text{ microvolts.}$$

160. — *On utilise un cadre carré, dont un des côtés est vertical, et dont le plan passe par un émetteur. Sur ce cadre, sont enroulées 20 spires de fil d'une résistance totale de 10 ohms. Le coefficient de self-induction du cadre est de 12 millihenrys.*

On veut recevoir une émission dont la pulsation $\omega = 3 \times 10^6$ et déterminant un champ en tout point de l'espace de 15 microvolts par mètre. Le champ électromagnétique induit dans ces conditions détermine une force électromotrice maxima de 120 microvolts.

1° *On demande de calculer le côté du cadre.*

2° *Quelle est la capacité qu'il faut disposer à ses bornes pour obtenir l'accord sur l'émission désirée ?*

SOLUTION. — 1° Si E est la valeur du champ d'une émission, h_e la hauteur effective du cadre, la force électromotrice induite a pour expression :

$$e = h_e E.$$

h_e est, d'autre part, indiquée par la relation :

$$h_e = \frac{2\pi S}{\lambda}.$$

De ces relations, on déduit :

$$h_e = \frac{e}{E}.$$

S étant évalué en mètres carrés, λ en mètres, et h_e en mètres. Or, ici $E = 120$ et $e = 15$; d'où :

$$h_e = \frac{120}{15} = 8 \text{ mètres.}$$

Si a est le côté du cadre, et n le nombre de spires, on a :

$$S = na^2.$$

D'où :

$$h_e = \frac{2\pi na^2}{\lambda}.$$

On en tire :

$$a^2 = \frac{\lambda h_e}{2\pi n} = \frac{h_e}{2\pi n} \times \lambda = \frac{h_e}{2\pi n} \times \frac{2\pi V}{\omega} = \frac{h_e V}{n\omega}$$

h_e étant exprimé en mètres, V en m/seconde, a en mètres.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs, il vient :

$$a = \sqrt{\frac{8 \times 3 \times 10^8}{20 \times 3 \times 10^6}} = \sqrt{40} = 6,34 \text{ mètres.}$$

2° Au moment de la résonance, la capacité C d'accord, en négligeant la capacité propre, et si L est le coefficient de self-induction, a pour expression :

$$C \text{ (farads)} = \frac{1}{\omega^2 \times L \text{ (henrys)}}$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs, il vient :

$$C = \frac{1}{9 \times 10^{12} \times 12 \times 10^{-3}} = \frac{1}{9 \times 10^{12} \times 1,2 \times 10^{-2}} = \frac{10^{-10}}{10,8} \text{ farads}$$

ou en centimètres :

$$C = \frac{10^{-10}}{10,8} \times 9 \cdot 10^{11} = \frac{90}{10,8} = 8,25 \text{ centimètres.}$$

161. — Une antenne unifilaire horizontale a une longueur de 30 mètres et une descente de 10 mètres. Sa capacité est de 4/10.000 de microfarad.

1° Calculer la longueur d'onde propre de l'antenne.

2° Quelle est sa self-induction propre ?

SOLUTION. — 1° L'antenne (supposée reliée à la terre) vibre en quart d'onde ; sa longueur d'onde propre sera donc :

$$4 (30 + 10) = 160 \text{ mètres.}$$

2° On assimile l'antenne à un circuit oscillant ouvert, pour lequel à la résonance, on a la relation :

$$L = \frac{1}{C\omega^2}$$

Avec les notations habituelles.

La pulsation ω correspond ainsi à la longueur d'onde de 160 mètres ; d'où :

$$\omega = \frac{2\pi V}{\lambda} = \frac{2\pi \times 3 \cdot 10^8}{160} = \frac{6\pi \times 10^6}{1,6}$$

Remplaçons ω par sa valeur dans l'expression précédente de L :

$$L = \frac{2,56}{36\pi^2 \times 10^{12} \times 40 \cdot 10^{-10}} \text{ henrys} = 17 \text{ microhenrys.}$$

162. — Une antenne est accordée sur 5.000 mètres ; sa résistance totale est de 10 ohms, et sa hauteur effective de 33 mètres. Elle est parcourue par un courant de 300 ampères.

1° Quelle est sa puissance rayonnée ?

2° Quel est le rendement de cette antenne ?

3° On veut obtenir à 6.000 kilomètres une réception avec une antenne verticale ; la force électromotrice minimum doit être de 40 microvolts.

Quelle doit être la hauteur minimum de cette antenne de réception ?

SOLUTION. — 1° La puissance rayonnée par l'antenne a pour expression :

$$P_r = 1.600 \left(\frac{h_e}{\lambda} \right)^2 I^2.$$

Avec les notations habituelles.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$P_r = 1.600 \left(\frac{33}{5.000} \right)^2 300^2 = 6.400 \text{ watts} = 6,4 \text{ kilowatts}.$$

2° La puissance dissipée dans l'antenne est de :

$$P_d = RI^2.$$

La résistance R est de 1 ohm, donc :

$$P_d = 300^2 = 90.000 \text{ watts} = 90 \text{ kilowatts}.$$

Le rendement est donc de :

$$\frac{P_d}{P_r} = \frac{6,4}{90} = 7 \% \text{ environ.}$$

3° La force électromotrice induite dans l'antenne de réception E_r , à une distance d , a théoriquement pour valeur :

$$E_r = \frac{120 \cdot h_e \times h_r \times I_e}{\lambda d}$$

h_r étant la hauteur effective de réception. On veut que $E_r = 40$ microvolts et $d = 6.000$ kilomètres ; d'où :

$$\begin{aligned} h_r &= \frac{40 \times \lambda \times d}{10^6 \times 120\pi \times h_e \times I_e} = \frac{40 \times 500.000 \times 600.000.000}{10^6 \times 120\pi \times 3.300 \times 300} \\ &= \frac{4 \times 5 \times 6 \times 10^{14}}{12 \times \pi \times 3 \times 33 \times 10^{11}} = \frac{100}{3,14} = 32 \text{ centimètres environ.} \end{aligned}$$

Ce résultat trop faible montre l'imperfection des formules employées.

163. — Une antenne a une capacité propre de 0,3/1.000 de microfarad, et un coefficient de self-induction propre de 13 microhenrys.

Quel est le coefficient de self-induction du bobinage à placer à la base de l'antenne pour obtenir l'accord sur 425 mètres ?

SOLUTION. — Pour trouver le coefficient de self-induction total nécessaire pour obtenir l'accord sur 425 mètres de longueur d'onde, nous appliquerons la formule pratique :

$$L = \frac{1}{40 F^2 C}$$

Dans laquelle F = fréquence en c/s , L = self en henrys, C = capacité en farads.

Une longueur d'onde de 425 mètres correspond à une fréquence de :

$$F = \frac{3 \times 10^8}{425} = 705.800 \text{ c/s.}$$

D'où :

$$\begin{aligned} L &= \frac{1}{40 \times 705,8^2 \times 10^6 \times \frac{3}{10^{10}}} \\ &= \frac{1.000}{12 \times 705,8^2} = \frac{1.000}{12 \times 497.025} \\ &= \frac{1}{5.964} \text{ henry} = 167 \text{ microhenrys.} \end{aligned}$$

Le bobinage à ajouter à la base de l'antenne doit donc avoir un coefficient de self-induction de :

$$167 - 13 = 154 \text{ microhenrys.}$$

164. — *Une antenne de réception présente une longueur d'onde propre de 120 mètres ; sa capacité est de 4/10.000 de microfarad.*

1° *On demande le coefficient de self-induction propre de cette antenne.*

2° *Quel est le coefficient de self-induction d'accord pour une longueur d'onde de 600 mètres ?*

SOLUTION. — 1° Le problème est analogue au précédent, et l'on utilise encore la formule pratique :

$$L = \frac{1}{40 F^2 C}$$

Avec les mêmes notations.

Pour la longueur d'onde propre de 120 mètres :

$$F = \frac{3 \times 10^8}{120} = 2.500.000 \text{ c/s} = 2.500 \text{ Kc/s.}$$

D'où :

$$L = \frac{1}{40 \times 2,5^2 \times 10^{12} \times \frac{4}{10^{10}}} = \frac{1}{4 \times 6,25 \times 4 \times 10^3}$$

$$L = \frac{1}{25 \times 4 \times 10^3} = \frac{1}{100 \times 10^3} \text{ henry}$$

$$= 10 \text{ microhenrys.}$$

2° Pour une longueur d'onde de 600 mètres, la fréquence est donnée par l'expression :

$$F' = \frac{3 \times 10^8}{600} = 500.000 \text{ c/s.}$$

Reprenons la même formule :

$$L' = \frac{1}{40 F'^2 C}.$$

Avec les mêmes notations, il vient :

$$L' = \frac{1}{40 \times 5^2 \times 10^{10} \times \frac{4}{10^{10}}} = \frac{1}{40 \times 100}$$

$$L' = \frac{1}{4.000} \text{ henry} = 250 \text{ microhenrys.}$$

165. — Une antenne accordée sur une longueur d'onde de 600 mètres a une résistance totale de 60 ohms. La force électromotrice induite dans cette antenne par un émetteur de même longueur d'onde est de 250 microvolts.

Quelle est la valeur du courant dans l'antenne ?

SOLUTION. — Au moment de la résonance, l'intensité du courant I dans l'antenne a pour expression :

$$I = \frac{E}{R}.$$

E étant la force électromotrice induite, et R la résistance, d'où :

$$I = \frac{250}{60} = 4 \text{ microampères environ.}$$

166. — Un cadre comporte 20 spires de 30×40 centimètres ; il est accordé sur une longueur d'onde de 300 mètres.

Quelle est sa hauteur effective ? Qu'en déduisez-vous pour le rendement obtenu ? Est-il préférable d'utiliser une antenne intérieure ?

SOLUTION. — La hauteur effective h_e d'un cadre de surface totale S , pour une longueur d'onde λ , est indiquée par la formule :

$$h_e = \frac{2\pi S}{\lambda}.$$

Ici :

$$S = 30 \times 40 \times 20 = 24.000 \text{ cm}^2 = 2,4 \text{ m}^2.$$

D'où :

$$h_e = \frac{2\pi \times 24.000}{30.000} = 5 \text{ centimètres.}$$

Cette hauteur est très faible, et bien inférieure à celle d'une antenne même intérieure ; le rendement est donc très faible, et, à ce point de vue, l'antenne est toujours préférable.

167-68. — *Un cadre a une self-induction de 10 millihenrys ; il est accordé sur une onde de 3.000 mètres, et sa résistance haute fréquence est de 31,4 ohms.*

La force électromotrice induite dans ce cadre par un poste émettant sur cette même longueur d'onde est de 1 millivolt. Calculez la différence de potentiel recueillie aux bornes du condensateur d'accord.

SOLUTION. — Le coefficient de surtension du cadre a pour expression :

$$S = \frac{L\omega}{R}.$$

L étant le coefficient de self-induction, ω la pulsation pour la longueur d'onde considérée, et R la résistance haute fréquence.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$\omega = 2\pi F = 2\pi \times \frac{3 \times 10^8}{3.000} = 2\pi \times 10^5$$

$$S = \frac{2\pi \times 10^5 \times 10^{-2}}{31,4} = \frac{2\pi \times 10^3}{31,4} = \frac{2\pi \times 10^2}{3,14} = 200.$$

La différence de potentiel recueillie serait donc de 200 millivolts, valeur très élevée.

CHAPITRE XVIII

LES PROBLÈMES DE LA TRANSMISSION EN T. S. F. ACCORD ET MODULATION

PROBLÈME DE L'ACCORD.

Les oscillations provoquées sur l'antenne de réception par l'action du champ électro-magnétique déterminent des vibrations électriques dans un ou plusieurs circuits oscillants d'accord, et la différence de potentiel alternative utilisée dans le récepteur est recueillie aux bornes d'un bobinage ou d'un condensateur de ce circuit.

Soit I l'intensité efficace à la base de l'antenne, L le coefficient de self-induction, et C la capacité du condensateur ; au moment de l'accord sur une émission de pulsation ω , la tension disponible aux bornes du bobinage est donnée par l'expression :

$$E_L = L\omega I.$$

Aux bornes du condensateur, la tension a , de même, pour expression :

$$E_C = \frac{I}{C\omega}.$$

ACCORD DE L'ANTENNE.

Les différentes forces électromotrices élémentaires produites le long d'une antenne donnent naissance à des courants, dont la répartition est fonction des propriétés des éléments d'antenne, et des caractéristiques des organes d'accord placés à la base.

On peut remplacer les diverses forces électromotrices élémentaires par une force électromotrice unique e recueillie à la base de l'antenne, et possédant une fréquence F , correspondant à la fréquence de l'émission à recevoir. Soit R la résistance totale du système d'antenne et d'accord, le courant I à la base a pour expression :

$$I = \frac{e}{R}.$$

Si l'on admet que le courant I est conservé à l'intérieur de la bobine d'accord, les différences de potentiel V_C et V_L recueillies aux bornes de ce bo-

binage, ou de la capacité qui existe toujours sous une forme visible ou non, ont les valeurs déjà signalées :

$$V_0 = \frac{I}{C_0} \quad \text{et} \quad V_L = L\omega I.$$

L'antenne peut être assimilée à un circuit oscillant ouvert, dont la longueur d'onde propre λ_0 est indiquée, en fonction du coefficient de self-induction L_e et de la capacité propre C_e en valeurs *effectives*, par l'expression :

$$\lambda_0 = 1.885 \sqrt{C_e L_e} \text{ (microfarads et microhenrys).}$$

L'opération de l'*accord* consiste à faire varier L_e ou C_e , ou les deux à la fois, de façon à amener cette longueur d'onde à être la même que celle de l'émission à recevoir.

En montant un bobinage en série dans le bas de l'antenne, le coefficient de self-induction L de ce dernier s'ajoute à celui de l'antenne elle-même ; la longueur d'onde propre est alors augmentée, et devient :

$$\lambda_f = 1.885 \sqrt{(L_e + L)C_e}.$$

Le coefficient de self-induction de l'antenne est généralement très faible ; on peut ainsi le négliger par rapport à la self-induction du bobinage, et écrire :

$$\lambda_f = 1.885 \sqrt{LC_e}.$$

L'introduction d'un condensateur en série dans le bas de l'antenne et d'une capacité C produit une capacité résultante C_r inférieure à la capacité propre de l'antenne, et qui a pour expression :

$$C_r = \frac{C \times C_e}{C + C_e}.$$

Cette valeur intervient pour déterminer la longueur d'onde propre, d'après l'expression précédente ; celle-ci est donc plus faible que l'ancienne.

On peut également monter en série dans le bas de l'antenne, un système constitué par un bobinage et une capacité en série ; la nouvelle longueur d'onde propre du système ainsi formé est exprimée par une combinaison des formules précédentes, c'est-à-dire par l'expression :

$$\lambda_f = 1.885 \sqrt{(L_e + L) \times \frac{C_e C}{C_e + C}}.$$

La capacité a ainsi diminué, mais la self-induction a augmenté ; la longueur d'onde a augmenté d'un côté, et diminué de l'autre.

La relation n'est exacte que si la nouvelle longueur d'onde est peu différente de la longueur d'onde propre.

Le montage normal comporte dans le bas de l'antenne un circuit oscillant formé par un bobinage en série, et une capacité en parallèle sur ce bobinage ; ce circuit oscillant est ainsi combiné avec le circuit oscillant ouvert de l'antenne.

En simplifiant, et en négligeant, comme précédemment, la self-induction de l'antenne par rapport à celle du bobinage, on peut utiliser la formule approximative :

$$\lambda_f = 1.885 \sqrt{L(C + C_e)}.$$

Dans laquelle, L est toujours la self du bobinage, C_e la capacité de l'antenne, et C la capacité additionnelle.

Le condensateur est disposé en série dans l'antenne, lorsqu'il s'agit d'une antenne longue ; on peut obtenir un accord jusqu'au voisinage de $0,7 \lambda_0$, λ_0 étant la longueur d'onde propre de l'antenne.

Il ne faut pas chercher à recevoir, d'autre part, des émissions dont la longueur d'onde est supérieure à 12 ou 15 fois la longueur d'onde propre ; la capacité maxima ne doit pas dépasser deux à trois fois la capacité propre.

Pour une réception sur une longueur d'onde inférieure à λ_0 , le récepteur est branché aux bornes de la capacité. Pour l'accord entre λ_0 et $15 \lambda_0$, le récepteur est branché aux bornes du bobinage.

Le montage en dérivation est employé au-dessus de $2 \lambda_0$ et surtout de $10 \lambda_0$; le circuit peut être pratiquement accordé sur la longueur d'onde à recevoir λ_1 , d'après la formule :

$$\lambda_1 = 1.885 \sqrt{LC}.$$

Pour les longueurs d'onde inférieures à 100 mètres, la capacité C optima ne doit pas être supérieure à $1/10.000$ *en théorie*, et, pour des longueurs inférieures à 500 mètres, à $3/10.000$; pour des longueurs inférieures à 1000 mètres, elle doit être inférieure à $5/10.000$.

Le rapport $\frac{L \text{ (microhenrys)}}{C \text{ (microfarads)}}$ peut être voisin de 400.000.

COUPLAGE INDIRECT.

Dans le montage en Tesla, et pour la réception radio-télégraphique, on réalise un *couplage critique* entre primaire et secondaire ; l'induction mutuelle des deux bobinages M_0 en henrys est indiquée par l'expression :

$$M_0^2 \omega^2 = R_1 R_2 \quad \text{ou} \quad M_0 = \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{\omega}.$$

Dans laquelle, ω est la pulsation correspondant à la longueur d'onde à recevoir, et $R_1 R_2$ les résistances en ohms du primaire et du secondaire.

ACCORD SUR CADRE.

Soient S la surface du cadre, n le nombre de spires, $m_0 \sin (\omega t - \varphi)$ le champ magnétique uniforme à l'instant considéré t , α , l'angle du plan du cadre avec la direction des ondes, le flux traversant le cadre a pour expression :

$$\varphi = nSm_0 \sin (\omega t - \varphi) \cos \alpha.$$

La force électromotrice induite dans le cadre a alors pour valeur :

$$E = \omega nSm_0 \cos (\omega t - \varphi) \cos \alpha = \frac{2\pi c}{\lambda} nSm_0 \cos (\omega t - \varphi) \cos \alpha.$$

La valeur maximum de cette expression est donnée par la relation :

$$E_m = \frac{2\pi c}{\lambda} nSm_0 \cos \alpha.$$

Dans laquelle, λ est la longueur d'onde, et c la vitesse de la lumière, ou vitesse des ondes hertziennes.

Le cadre et le condensateur de capacité C forment un circuit qui a pour impédance Z :

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}.$$

L'intensité du courant dans le cadre est indiquée par l'expression :

$$I_m = \frac{E_m}{Z} = \frac{2\pi c}{\lambda} \frac{nSm_0 \cos \alpha}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}.$$

On peut en déduire la différence de potentiel recueillie entre les armatures du condensateur :

$$V_c = \frac{I_m}{C\omega} = \frac{2\pi c}{\lambda} nSm_0 \cos \alpha \frac{1}{C\omega \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}}.$$

La tension V_c recueillie est maximum pour un réglage du condensateur correspondant à une capacité C indiquée par la relation :

$$LC\omega^2 = 1 + \frac{R^2C}{L}.$$

Au moment de la résonance, l'intensité est maximum pour $\cos \alpha = 1$, c'est-à-dire $\alpha = 0^\circ$ et 180° , lorsque le plan du cadre passe par le poste émetteur.

L'intensité de la réception correspondant à la différence de potentiel aux bornes du condensateur peut encore s'exprimer par la formule :

$$V_c = \frac{eL\omega}{R}.$$

Dans laquelle, e est la force électromotrice induite, L l'inductance, ω la pulsation de l'onde à recevoir, et R la résistance du cadre.

Soient S la surface totale, H le champ magnétique, λ la longueur d'onde, au maximum de la réception, on a, sous une autre forme, la relation :

$$V_c = 4\pi^2 c^2 H \frac{SL}{\lambda^2 R} = K \frac{SL}{\lambda^2 R}.$$

On doit ainsi établir le cadre, de façon à rendre maximum l'expression :

$$\frac{SL}{\lambda^2 R}.$$

Cette expression est appelée *le facteur d'efficacité* du cadre.

Normalement, on n'utilise pas de couplage secondaire, servant uniquement en radiogoniométrie ; l'élément caractéristique, ou différence de potentiel aux bornes du circuit secondaire, est alors donné par l'expression :

$$V_s = \left(\frac{2\pi^2 c^2 H}{\lambda^2} \right) \frac{SL_2}{\sqrt{R_1 R_2}}.$$

Dans laquelle, R_1 et R_2 sont les résistances des circuits primaire et secondaire, et L_2 la self du secondaire.

DIFFÉRENTS MONTAGES D'ACCORD.

Le rendement avec des bobinages fixes et des capacités variables dépend de l'impédance à la résonance qui peut être exprimée par la relation :

$$Z = \frac{L}{CR}.$$

Pour calculer la self-induction des bobinages à utiliser, on calcule le *coefficient de recouvrement* ou *rapport entre les longueurs d'onde limites dans le haut et dans le bas de la gamme envisagée*, rapport qui dépend de la capacité correspondante.

Soient λ_1 et λ_2 les longueurs d'onde obtenues avec les capacités maximum et minimum, et un même bobinage L , nous aurons successivement, d'après la relation classique :

$$\lambda_1 = 1.885 \sqrt{LC_{\min.}} \quad \text{et} \quad \lambda_2 = 1.885 \sqrt{LC_{\max.}}.$$

Le rapport de ces longueurs d'onde maximum et minimum, appelé coefficient de recouvrement, est indiqué par l'expression :

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{C_{\max.}}{C_{\min.}}$$

Ce coefficient est de l'ordre de 2 à 3, en général ; connaissant la limite inférieure des longueurs d'onde désirées, on multiplie cette limite par le coefficient de recouvrement, pour trouver la longueur d'onde supérieure.

La self-induction du bobinage est calculée en écrivant que le circuit oscillant est accordé pour une des longueurs d'onde limite inférieure ou supérieure, avec la capacité correspondante minima ou maxima.

De la formule :

$$\lambda_1 = 1.885 \sqrt{LC_{\min.}}$$

on tire, par exemple :

$$L = \frac{\lambda_1^2}{1.885^2 \times C}$$

PRODUCTION DES ONDES AMORTIES.

La période de la décharge oscillante produisant l'émission en ondes amorties dépend du coefficient de self-induction du bobinage, et de la capacité du condensateur ; elle est toujours indiquée par la formule :

$$T = 2\pi \sqrt{LC}.$$

La longueur d'onde propre est indiquée par la formule correspondante :

$$\lambda = 1.885 \sqrt{LC}.$$

Nous rappellerons que l'amortissement des oscillations est déterminé par ce qu'on appelle *le facteur d'amortissement* $\frac{R}{2L}$ qui est l'inverse de la *constante de temps* du circuit $\frac{2L}{R}$.

Le décrétement est le produit du coefficient d'amortissement par la période T, soit $\frac{R}{2L} T$.

Dans tout poste à ondes amorties, se trouve un condensateur C chargé à une tension E produite par une source à courant constant, et qui permet d'emmagasiner une énergie, indiquée par l'expression :

$$W = \frac{1}{2} CE^2.$$

La capacité C est déchargée dans un circuit oscillant, dont la période propre a pour expression :

$$T = 2\pi \sqrt{L_1 C}.$$

Dans laquelle, L_1 est la self-induction du bobinage formant le primaire du circuit d'antenne.

Si N est la fréquence de charge de la capacité, la puissance fournie par la source a pour expression :

$$P = N \times \frac{1}{2} CE^2.$$

Dans un poste à ondes amorties ordinaire, le circuit oscillant et le circuit d'antenne sont accordés sur la même longueur d'onde, et couplés de manière très serrée ; il se produit des battements, et une émission double sur deux longueurs d'onde indiquées par les relations :

$$\lambda_1 = \lambda_0 \sqrt{1 + K}, \quad \lambda_2 = \lambda_0 \sqrt{1 - K}.$$

Dans ces relations, K est le coefficient de couplage indiqué par l'expression :

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1(L_2 + L_3 + L_e)}}.$$

Dans cette expression, L_1 est la self-induction du circuit oscillant, L_2 la self de couplage, L_3 la self d'accord, L_e la self propre de l'antenne, M le coefficient d'induction mutuelle.

Ainsi que nous l'avons indiqué précédemment, si V_m est la valeur maxima de la tension alternative, N la fréquence de l'alternateur, C la capacité du condensateur, l'énergie fournie lors de chaque charge, est $\frac{1}{2} CV_m^2$.

S'il y a $2N$ décharges par seconde, la puissance fournie par l'alternateur est ainsi :

$$2N \times \frac{1}{2} CV_m^2 = NCV_m^2.$$

Si les deux électrodes de l'éclateur sont très éloignées, et si l'on fait varier la fréquence de l'alternateur, la résonance est obtenue pour la condition :

$$CL_t\omega^2t^2 = 1.$$

Dans laquelle, ω est la pulsation, L_t la self-induction totale du circuit, et t le rapport du transformateur. Le courant dans le primaire est maximum, de même que la différence de potentiel aux bornes du condensateur.

POSTE A IMPULSION.

Ce système évite deux longueurs d'onde distinctes, le condensateur du circuit secondaire se décharge, et produit des oscillations de période égale à :

$$T_2 = 2\pi \sqrt{L_2C_2}.$$

L'amortissement correspond à celui du circuit secondaire :

$$\delta = \frac{R_2}{2L_2} T_2.$$

Dans les procédés à basse tension, enfin, le secondaire est ouvert, et on ferme le primaire dans lequel un courant s'établit, et atteint bientôt une valeur de régime $I = \frac{E}{R}$. Aux bornes du transformateur, on obtient une tension qui s'annule au moment où le courant atteint sa valeur maxima ; le secondaire est relié aux bornes du condensateur d'un circuit oscillant à éclateur.

PRODUCTION DES ONDES ENTRETENUES.

Les ondes entretenues sont produites par des *arcs haute fréquence*, des *alternateurs à haute fréquence*, et, surtout, des *postes émetteurs à lampes*.

Si l'on monte un circuit oscillant en dérivation sur les électrodes d'un arc, des oscillations électriques y prennent naissance, et leur fréquence F est déterminée par la capacité C , et la self-induction L du circuit :

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

D'un autre côté, la fréquence F d'un alternateur à pôles alternés muni d'un inducteur comportant $2N$ pôles, et tournant avec une vitesse de n tours par seconde, a pour expression :

$$F = Nn.$$

La distance a entre 2 pôles consécutifs de l'alternateur est exprimée, en fonction de la fréquence F du courant, et de la vitesse périphérique V du rotor, par l'expression :

$$a = \frac{V}{2F}.$$

TAUX DE MODULATION.

La *modulation* consiste à faire varier une des caractéristiques de l'onde entretenue, en particulier, l'amplitude, ou la fréquence.

Dans le système à *modulation en amplitude*, si nous considérons une onde porteuse de fréquence f_0 que nous voulons moduler avec un son pur sinusoïdal de fréquence f_1 la variation d'amplitude s'effectuera entre deux limites. Si a est l'amplitude constante de l'onde porteuse, et b l'amplitude maxima de la courbe des variations d'amplitude, ou *courbe enveloppe*, la limite supérieure de l'amplitude de l'onde modulée est $a + b$, et la limite inférieure $a - b$.

Le rapport de l'amplitude de variation de la courbe enveloppe à l'amplitude de l'onde porteuse $\frac{a}{b}$, est représenté par la lettre K, et appelé *taux de modulation*.

BANDES DE FRÉQUENCES.

Une onde entretenue de fréquence f_0 modulée en amplitude à la fréquence f_1 peut être considérée comme formée par la somme algébrique de trois ondes entretenues, de fréquences f_0 , $f_0 - f_1$, et $f_0 + f_1$.

On appelle *dynamique de la modulation*, le rapport $\frac{b_1}{b_2}$ entre les amplitudes maxima et minima de la modulation.

L'*efficacité de la modulation* correspond à ce rapport dynamique de modulation, c'est-à-dire au rapport entre le taux de modulation pour les fortissimi et pour les pianissimi.

Le *pourcentage de modulation* est le rapport en centièmes entre la demi-différence des amplitudes maxima et minima de l'onde modulée, et l'amplitude moyenne de cette onde ; il a pour expression :

$$m = 100 \frac{b}{B}.$$

Le taux maximum atteint rarement 90 à 95 % ; au moment des pianissimi, il ne dépasse pas quelques centièmes.

Le rapport dynamique de modulation, entre les amplitudes maxima et minima, est de l'ordre de 30 décibels au plus, alors qu'il est de 50 décibels en cinématographie sonore.

La *surmodulation* se manifeste par un aplatissement de la modulation pour les grandes amplitudes ; le taux de modulation est limité, de telle sorte que l'amplitude totale ne dépasse pas en général 4 % pour une station de radiodiffusion.

Le *rendement de la modulation en puissance* est exprimé par le rapport de la puissance modulée à celle de l'onde porteuse ; il peut être indiqué par la formule :

$$\rho = \frac{RI_1}{E} \times \frac{I_1}{2I_0}.$$

Dans laquelle R est la résistance apparente du circuit d'utilisation, I_0 la composante continue du courant anodique, I_1 la composante alternative du courant anodique à la fréquence porteuse, et E la tension de la source d'alimentation anodique.

Le rapport $\frac{I_1}{2I_0}$ est le *facteur de forme*. Dans le système à haute fréquence modulée, quand E et R sont constants, le rendement est limité à 0,30 ou 0,35.

PUISSANCE D'UNE OSCILLATION MODULÉE.

La puissance d'une oscillation sinusoïdale est proportionnelle au carré de son amplitude. La puissance d'une onde porteuse de fréquence f est proportionnelle au carré de l'amplitude A ; la puissance de chacune des oscillations latérales de l'onde modulée est proportionnelle au carré de $\frac{AK}{2}$, soit $\frac{A^2K^2}{4}$. La puissance de la modulation P_m est égale au total à $\frac{A^2K^2}{2}$, puisqu'il y a deux oscillations latérales.

Soit P_p la puissance de l'oscillation porteuse, on a donc :

$$P_m = \frac{K^2 P_p}{2}.$$

La puissance totale P_t fournie par l'onde porteuse et les bandes latérales a ainsi pour expression :

$$P_t = P_p \left(1 + \frac{K^2}{2} \right).$$

La puissance des bandes de modulation est maximum lorsque $K = 1$, c'est-à-dire lorsque la modulation est effectuée à 100 % ; dans ce cas, la formule précédente se simplifie, et devient :

$$P_m = \frac{P_p}{2}.$$

En tenant compte de l'expression de la puissance totale, la formule devient :

$$P_t = \frac{3P_p}{2}.$$

MODULATION A HAUTE FRÉQUENCE.

Dans la modulation télégraphique, *par tout ou rien*, on utilise un relais, et le courant varie de la valeur 0 à la valeur $i = \frac{E}{R}$ E étant la force électromotrice de la pile, et R la résistance totale du circuit.

APPLICATIONS

169. — *On utilise une antenne d'une longueur d'onde propre de 300 mètres, et d'une capacité de 1/1.000 de microfarad.*

On veut recevoir une émission d'une longueur d'onde de 600 mètres,

en introduisant à la base une bobine d'accord. Le courant produit dans cette bobine est de 2 microampères.

1° Quelle est la différence de potentiel aux bornes du bobinage d'accord ?

2° On emploie un circuit secondaire d'accord associé à un condensateur, et dont le bobinage est couplé très lâchement au bobinage d'accord primaire. La résistance du circuit secondaire est de 10 ohms, et le coefficient d'induction mutuelle des bobinages primaire et secondaire de 5 microhenrys. Quelle est la valeur du courant secondaire ?

SOLUTION. — La fréquence correspondant à la longueur d'onde de 300 mètres est de 10^6 cycles/seconde, et la pulsation correspondante est alors indiquée par l'expression :

$$\omega = 2\pi \times 10^6.$$

Le coefficient de self-induction propre de l'antenne résonant sur une fré-

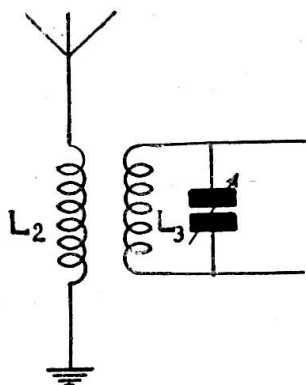


FIG. 21

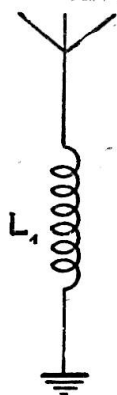


FIG. 22

quence correspondant à cette pulsation a pour valeur, en fonction de la capacité propre C (fig. 21) :

$$L = \frac{1}{\omega^2 C}$$

ou, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$L = \frac{1}{4\pi^2 \cdot 10^{12} \times 10^{-9}} = \frac{10^{-3}}{4\pi^2} \text{ henrys.}$$

Pour obtenir l'accord sur une longueur d'onde double de 600 mètres, correspondant donc à une pulsation deux fois plus petite, il faut que le coefficient de self-induction devienne :

$$L_1 = \frac{10^{-3}}{\pi^2} \text{ henrys.}$$

La bobine d'accord à intercaler à la base de l'antenne doit donc avoir une self-induction indiquée par l'expression :

$$L_2 = L_1 - L = \frac{10^{-3}}{\pi^2} - \frac{10^{-3}}{4\pi^2} = \frac{10^{-3}}{\pi^2} \left(1 - \frac{1}{4}\right) = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{4\pi^2} \text{ henrys.}$$

Si I est l'intensité du courant traversant le système, la tension V aux bornes a pour valeur :

$$V = L_2 \omega I.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$V = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{4\pi^2} \times \pi \times 10^6 \times 2 = 500 \text{ microvolts} = 0,5 \text{ millivolt.}$$

2° La force électromotrice induite dans le secondaire a pour valeur :

$$e_2 = M I.$$

M étant le coefficient d'induction mutuelle du primaire et du secondaire, et I l'intensité du courant dans le primaire.

Le secondaire étant accordé, le courant I_2 dans le secondaire a pour expression :

$$I_2 = \frac{e_2}{R} = \frac{M \omega I}{R}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$I_2 = \frac{\pi \cdot 10^6 \times 5 \cdot 10^{-6} \times 2}{10} = 3,14 \text{ microampères.}$$

170. — *On utilise une antenne d'une capacité propre de 4/10.000 de microfarad, et d'une longueur d'onde propre de 160 mètres.*

1° *On demande la valeur du coefficient de self-induction d'un bobinage d'accord à utiliser, pour recevoir des signaux sur une longueur d'onde de 300 mètres.*

2° *La force électromotrice induite dans l'antenne est de 50 microvolts, et la résistance totale de 20 ohms. On demande la valeur du courant dans le bobinage d'accord, et la différence de potentiel à ses bornes.*

SOLUTION. — 1° L'antenne peut être assimilée à un circuit oscillant ouvert ; soient L et C le coefficient de self-induction et la capacité du système. Lorsque l'antenne est accordée sur une fréquence correspondant à une pulsation ω , on doit avoir :

$$\omega^2 LC = 1 \quad \text{ou} \quad L = \frac{1}{\omega^2 C} \quad 1)$$

ω a pour valeur, pour la longueur d'onde propre de 160 mètres :

$$\omega = 2\pi F = \frac{2\pi \times 3 \cdot 10^8}{160} = \frac{6\pi \times 10^6}{1,6}$$

D'où, en remplaçant dans l'expression de L :

$$L = \frac{2,56}{36\pi^2 \times 10^{12} \times 4 \cdot 10^{-10}} \text{ henrys.}$$

Nous voulons accorder l'antenne sur une longueur d'onde de 300 mètres ce qui correspond à une pulsation :

$$\omega' = 2\pi \times 10^6.$$

En reprenant la formule 1) donnée plus haut au début de l'exposé, la self-induction totale qui est alors nécessaire a pour valeur :

$$L' = \frac{1}{4\pi^2 \times 10^{12} \times 4 \cdot 10^{-10}}.$$

La self-induction L_1 du bobinage d'accord a pour valeur (fig. 22) :

$$\begin{aligned} L_1 = L' - L &= \frac{1}{4\pi^2 \times 10^{12} \times 4 \cdot 10^{-10}} - \frac{2,56}{36\pi^2 \times 10^{12} \times 4 \cdot 10^{-10}} \text{ henrys} \\ &= \frac{10^{-2} \times 6,44}{9 \times 16\pi^2} \text{ henrys} = 45,5 \text{ microhenrys.} \end{aligned}$$

2° Assimilons l'ensemble de l'antenne et du bobinage d'accord à un circuit accordé ; au moment de l'accord, le courant dans le bobinage a pour valeur :

$$I = \frac{e}{R}$$

e étant la force électromotrice induite, et R la résistance totale ; d'où :

$$I = \frac{50}{20} = 2,5 \text{ microampères.}$$

La différence de potentiel V_{L_1} aux bornes du bobinage d'accord a pour expression :

$$V_{L_1} = L_1 \omega I.$$

D'où, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$V_{L_1} = 45,5 \cdot 10^{-6} \times 2\pi \cdot 10^6 \times 2,5 = 720 \text{ microvolts.}$$

171. — *On veut recevoir une émission en ondes entretenues sur 2.600 mètres de longueur d'onde par la méthode hétérodyne.*

1° *Sur quelle fréquence faut-il accorder l'oscillateur local pour que les signaux soient reçus sur une note musicale de 500 périodes-seconde ?*

2° *Le bobinage de cet oscillateur a un coefficient de self-induction de 300 microhenrys. Quelles sont les valeurs du condensateur de réglage qui permettront d'obtenir le résultat cherché ?*

SOLUTION. — 1° La fréquence de l'onde reçue correspondant à l'émission entretenue sur une longueur d'onde a pour valeur :

$$F_i = \frac{3 \cdot 10^8}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{2.100} = \frac{10^6}{7}.$$

La fréquence de battement que l'on doit obtenir, différence entre la fréquence incidente et la fréquence de l'hétérodyne locale, a pour valeur ± 500 . La fréquence F_l de l'hétérodyne doit donc avoir pour valeur :

$$F_l = F_i + 500 = \frac{10^6}{7} + 500 = \frac{1.003.500}{7} = 143.350$$

ou :

$$F_l = F_i - 500 = \frac{10^6}{7} - 500 = \frac{996.500}{7} = 142.350.$$

2° La valeur de la capacité nécessaire pour obtenir la première fréquence locale dans le circuit de l'oscillateur peut être déduite de l'expression classique :

$$T = \frac{1}{F} = 2\pi \sqrt{LC}.$$

D'où l'on tire :

$$C = \frac{1}{4\pi^2 \times F^2 \times L}.$$

Pour la première fréquence, nous aurons alors :

$$C_1 = \frac{49 \times 10^6}{40 \times 1.003.500^2 \times 300} = 4/1.000 \text{ de microfarad.}$$

Pour la deuxième fréquence, on aura de même :

$$C_2 = \frac{49 \times 10^6}{40 \times 996.500^2 \times 300} = 4,5/1.000 \text{ de microfarad.}$$

172. — *On utilise une antenne d'une longueur propre de 200 mètres, et d'une capacité de 6/10.000 de microfarad.*

On couple, avec cette antenne, un circuit oscillant accordé sur une longueur d'onde de 600 mètres, et comportant une capacité de 10/1.000 de microfarad.

1° *Calculer le coefficient de self-induction propre de l'antenne, et la valeur du bobinage à placer à la base pour obtenir l'accord ;*

2° *Calculer le maximum du coefficient de couplage réalisable entre l'antenne et le circuit oscillant.*

SOLUTION. — 1° L'antenne peut être assimilée à un circuit oscillant

de coefficient de self-induction L et de capacité propre C . Au moment de la résonance, on doit avoir :

$$(1) \quad \omega^2 LC = 1 \quad \text{ou} \quad L = \frac{1}{\omega^2 C}.$$

Pour une longueur d'onde propre de 200 mètres, cherchons la valeur de ω ; nous avons :

$$\omega = 2\pi F = 2\pi \times \frac{3 \times 10^8}{2 \times 10^2} = 2\pi \times \frac{3}{2} \times 10^6 = 3\pi \cdot 10^6.$$

D'après l'énoncé, la capacité propre de l'antenne a pour valeur : $C = 6 \cdot 10^{-10}$ farad ; nous avons donc :

$$L = \frac{1}{9\pi^2 \cdot 10^{12} \times 6 \cdot 10^{-10}} = 18,8 \text{ microhenrys.}$$

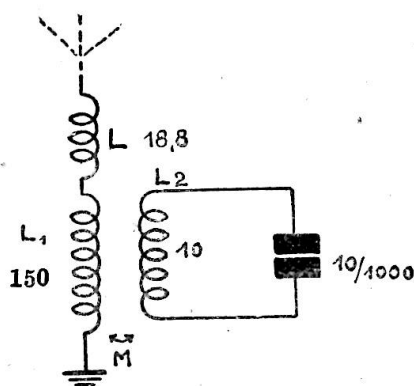


FIG. 23

Pour accorder l'antenne sur une longueur d'onde de 600 mètres, c'est à-dire sur une longueur d'onde trois fois plus grande, correspondant à une fréquence 3 fois plus faible, la self-induction totale devra être 9 fois plus grande. Le bobinage de self-induction disposé à la base devra donc avoir pour coefficient de self-induction :

$$L_1 = L \times 8 = 18,8 \times 8 = 150 \text{ microhenrys.}$$

2° Le coefficient de couplage de deux bobines L_1 et L_2 est indiqué par la relation :

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}.$$

Dans laquelle, M est le coefficient d'induction mutuelle (fig. 23). Le maximum sera obtenu lorsqu'on aura :

$$\frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} = 1 \quad \text{ou} \quad M = \sqrt{L_1 L_2}.$$

Le bobinage du circuit oscillant, lorsque celui-ci est accordé sur 600 mètres, doit avoir pour self-induction, d'après la formule donnée plus haut en (1) :

$$L_2 = \frac{1}{\omega^2 C_2} = \frac{1}{4\pi^2 F^2 C_2}.$$

Pour $\lambda = 600$ mètres, $F = 5.10^5$, et, d'après l'énoncé, $C_2 = 10^{-8}$ farad ; d'où :

$$L_2 = \frac{1}{4\pi^2 \times 25 \cdot 10^{10} \times 10^{-8}} = 10 \text{ microhenrys.}$$

La self-induction du primaire du montage d'accord a pour valeur, en réalité :

$$L + L_1.$$

On a donc :

$$K = \frac{\sqrt{L_1 L_2}}{\sqrt{L_2(L_1 + L)}} = \frac{\sqrt{1.500}}{\sqrt{10(150 + 18,8)}} = \frac{\sqrt{1.500}}{\sqrt{1.688}}$$

$$K = 0,94.$$

173. — *On utilise une antenne d'une longueur d'onde propre de 150 mètres et d'une capacité de $\frac{4}{10.000}$ de microfarad. On veut recevoir une émission sur une longueur d'onde de 300 mètres.*

1° On demande la valeur du bobinage primaire d'accord, du bobinage et de la capacité secondaires. Le rapport $\frac{L}{C}$ est de 400.000, L étant exprimé en microhenrys, et C en microfarads.

2° Le circuit primaire d'antenne a une résistance de 50 ohms, et le secondaire une résistance de 10 ohms.

Quelle est la valeur de l'induction mutuelle donnant un maximum de courant secondaire pour un accord individuel du primaire et du secondaire ?

SOLUTION. — 1° Calculons d'abord le coefficient de self-induction propre de l'antenne. Au moment de la résonance, si L est ce coefficient, et C la capacité propre, on a la relation :

$$\omega^2 LC = 1 \quad \text{ou} \quad L = \frac{1}{\omega^2 C}$$

ω étant la pulsation d'accord.

Pour une longueur d'onde propre de 150 mètres, la fréquence F a pour expression :

$$F = \frac{3 \times 10^8}{150} = 2 \times 10^6 \text{ c/s.}$$

D'où :

$$\omega = 2\pi F = 2\pi \times 2 \times 10^6.$$

Nous savons que $C = 4 \times 10^{-10}$ farad ; en remplaçant les lettres par leurs valeurs, il vient :

$$\begin{aligned} L &= \frac{1}{4\pi^2 \times 4 \times 10^{12} \times 4 \times 10^{-10}} \text{ henrys} \\ &= \frac{10^4}{64\pi^2} = 15,8 \text{ microhenrys.} \end{aligned}$$

Nous assimilons l'antenne à un circuit oscillant, et nous voulons la faire résonner sur une longueur d'onde de 300 mètres, soit deux fois plus grande que sa longueur d'onde propre. La self-induction totale doit ainsi être multipliée par 4 ; nous en déduirons que la self-induction du bobinage d'accord monté à la base doit être le triple de la self-induction propre de l'antenne, soit :

$$L_1 = 15,8 \times 3 = 47,4 \text{ microhenrys.}$$

Calculons maintenant les valeurs de la self-induction et de la capacité secondaires L_2 et C_2 .

Au moment de la résonance, nous avons encore :

$$L_2 C_2 \omega^2 = 1 \quad \text{soit} \quad L_2 C_2 = \frac{1}{\omega^2}.$$

Nous avons vu plus haut que :

$$\omega = 2\pi \times 10^6.$$

Donc :

$$(1) \quad L_2 C_2 = \frac{1}{4\pi^2 \times 10^{12}}.$$

D'après l'énoncé, d'autre part :

$$(2) \quad \frac{L_2}{C_2} = 400.000 = 4 \cdot 10^5.$$

Multiplions les équations 1) et 2) membre à membre, il vient :

$$\begin{aligned} L_2^2 &= \frac{10^5}{\pi^2 \cdot 10^{12}} = \frac{10^{-7}}{\pi^2} = \text{environ } 10^{-8} \\ L_2 &= 10^{-4} \text{ henrys} = 100 \text{ microhenrys.} \end{aligned}$$

Divisons ces mêmes équations membre à membre, il vient :

$$\begin{aligned} C_2^2 &= \frac{1}{16\pi^2 \times 10^{17}} = \frac{1}{1,6\pi^2 \times 10^{18}} \\ C_2 &= \frac{10^{-9}}{\pi\sqrt{1,6}} \text{ farad} = \frac{0,2}{1.000} \text{ microfarad.} \end{aligned}$$

2° Le courant dans le secondaire est maximum lorsque le couplage des circuits présente une valeur critique M_0 indiquée par la relation :

$$M_0^2 \omega^2 = R_1 R_2.$$

D'où :

$$M_0 = \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{\omega}.$$

Dans laquelle, R_1 et R_2 sont les résistances primaire et secondaire. Nous avons, d'autre part :

$$\omega = 2\pi \times 10^6.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs, il vient :

$$M_0 = \frac{\sqrt{50 \times 10}}{2\pi \times 10^6} = \frac{\sqrt{500}}{6,28 \times 10^6} = 3,5 \text{ microhenrys.}$$

174. — Une antenne ayant une longueur propre de 120 mètres est utilisée avec un condensateur variable et un circuit bouchon d'accord en dérivation. Sa capacité propre est de $\frac{6}{10.000}$ de microfarad, sa self-induction propre de 6,7 microhenrys.

On demande :

1° Quelle est la gamme de longueurs d'onde qu'il est possible de recevoir avec cette antenne ;

2° Quelle est la valeur maximum de la capacité variable que l'on peut utiliser ;

3° Quel est le bobinage qu'il faut adopter pour couvrir la gamme considérée, sachant que la capacité résiduelle du condensateur variable est égale au $1/20$ de la capacité maximum.

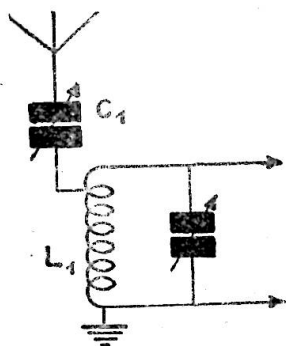


FIG. 24

SOLUTION. — 1° La longueur d'onde propre de l'antenne est de 120 mètres ; en employant le montage pour ondes moyennes, on peut couvrir une gamme de longueurs d'onde comprises entre $0,7 \lambda_0$ et $15 \lambda_0$ environ, λ_0 étant la longueur d'onde propre de l'antenne (fig. 24).

La gamme couverte s'étend donc entre :

$$0,7 \times 120 = 84 \text{ mètres} \quad \text{et} \quad 15 \times 120 = 1.800 \text{ mètres.}$$

2° La valeur maxima de la capacité variable est, de préférence, voisine de la capacité propre de l'antenne, soit $6/10.000$ de microfarad.

D'après l'énoncé, la capacité résiduelle est de :

$$\frac{6}{10.000} \times \frac{1}{20} = \frac{3}{100.000} \text{ de microfarad.}$$

3° Pour l'accord sur la longueur d'onde minima de 84 mètres, la capacité variable utilisée est au minimum, soit 3/100.000 de microfarad, et la capacité totale est voisine de cette valeur. Soit L_1 la self-induction du bobinage utilisé à la base, on a, au moment de la résonance :

$$\lambda_0 = 1.885 \sqrt{L_t C_t} \quad L_t \text{ et } C_t \text{ étant la self et la capacité totales.}$$

$$84 = 1.885 \sqrt{(6,7 + L_1) \frac{3}{100.000}}.$$

D'où, l'on tire :

$$L_1 = 59 \text{ microhenrys.}$$

En conservant ce bobinage, on peut obtenir une longueur d'onde maxima d'accord, lorsque la capacité variable est de 6/10.000 de microfarad. La longueur d'onde obtenue est alors de :

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 1.885 \sqrt{(59 + 6,7) \frac{6}{10.000}} \\ &= 278 \text{ mètres.} \end{aligned}$$

Pour couvrir une gamme supérieure, il faudrait utiliser une autre bobine choisie de telle sorte qu'il y ait recouvrement, c'est-à-dire que la longueur d'onde minima obtenue soit inférieure à 278 mètres, et de l'ordre de 250 mètres, par exemple.

Cette bobine devrait donc avoir une self-induction L'_1 définie par la relation :

$$250 = 1.885 \sqrt{(6,7 + L'_1) \frac{3}{100.000}}.$$

On en tire :

$$L'_1 = 590 \text{ microhenrys.}$$

Avec ce bobinage, on peut atteindre une longueur d'onde indiquée par la relation :

$$\begin{aligned} \lambda_2 &= 1.885 \sqrt{(590 + 6,7) \frac{3}{100.000}} \\ &= 820 \text{ mètres.} \end{aligned}$$

On trouverait, de même, que pour couvrir la bande comprise entre 700 mètres environ, et la longueur d'onde maxima de 1.800 mètres, il faut

choisir un bobinage ayant une self-induction de l'ordre de 4.000 microhenrys.

175. — *Une antenne a une self-induction propre de 13,5 microhenrys, et elle est reliée à la terre.*

1° *On intercale à la base un bobinage d'un coefficient de self-induction de 300 microhenrys. Calculez la longueur d'onde et la fréquence du système obtenu.*

2° *On veut accorder l'antenne sur des longueurs d'onde de 450 et de 900 mètres. Quelles sont les caractéristiques du bobinage à monter en série ?*

3° *On veut accorder l'antenne sur une longueur d'onde de 85 mètres, et on sait que sa capacité propre est de $3/10.000$ de microfarad. Quelle capacité faut-il monter en série pour accorder le système ?*

4° *On monte en série à la base un circuit bouchon formé par un bobinage de 500 microhenrys et un condensateur variable de $1/1.000$ de microfarad.*

On recueille un signal de 250 microvolts, lorsque le circuit est accordé sur une longueur d'onde de 1.300 mètres. Quel est le courant qui parcourt le circuit lorsque l'accord est réalisé sur cette longueur d'onde ?

SOLUTION. — 1° Lorsqu'on intercale à la base de l'antenne un bobinage d'un coefficient de self-induction de 300 microhenrys, la self-induction totale devient :

$$300 + 13,5 = 313,5 \text{ microhenrys.}$$

La capacité propre est restée la même, la longueur d'onde obtenue est donc :

$$\lambda = 1.885 \sqrt{313,5 \times \frac{3}{10.000}} = 575 \text{ mètres.}$$

La fréquence correspondante est donnée par l'expression :

$$F = \frac{3 \times 10^8}{575} = 522.000 \text{ cycles} = 522 \text{ kilocycles.}$$

2° Les fréquences correspondant aux longueurs d'onde désirées sont indiquées par les expressions :

$$F_1 = \frac{3 \times 10^8}{450} = 667.000 \text{ cycles}$$

$$F_2 = \frac{3 \times 10^8}{900} = 333.333 \text{ cycles.}$$

Pour trouver les self-inductions nécessaires pour obtenir la résonance, nous pouvons utiliser la formule :

$$L = \frac{1}{40F^2C}.$$

Dans laquelle, F = fréquence en cycles/seconde, L = self en henrys, C = capacité en farads.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs, nous avons :

$$L_1 = \frac{1}{40 \times 667^2 \times 10^6 \times \frac{3}{10^{10}}} = \frac{1.000}{12 \times 667^2} = \frac{1.000}{12 \times 444.889}$$

$$= \frac{1}{5.340} \text{ henry} = 188 \text{ microhenrys.}$$

Pour 450 mètres, la self à ajouter est donc de :

$$188 - 13,5 = 174,5 \text{ microhenrys.}$$

Pour 900 mètres, la longueur d'onde est deux fois plus grande, donc la self-induction totale est 4 fois plus grande ; elle est de :

$$188 \times 4 = 752 \text{ microhenrys.}$$

La self à ajouter est donc de :

$$752 - 13,5 = 738,5 \text{ microhenrys.}$$

3° Pour trouver la valeur de la capacité totale C que doit posséder l'antenne pour être accordée sur une longueur d'onde de 85 mètres, on peut encore utiliser la formule :

$$\lambda = 1.885 \sqrt{LC}.$$

D'où :

$$85 = 1.885 \sqrt{13,5 \times C}.$$

On en tire :

$$C = \frac{1,5}{10.000} \text{ de microfarad.}$$

Puisque la capacité propre de l'antenne est de $3/10.000$ de microfarad, il faut donc ajouter une capacité égale de $3/10.000$ en série.

4° Au moment de la résonance, l'intensité d'un courant I parcourant le bobinage et le condensateur a pour expression :

$$I = \frac{V}{L\omega}.$$

V étant la tension aux bornes, L la self-induction, et ω la pulsation.

La fréquence F pour la longueur d'onde de 1.300 mètres a pour valeur :

$$F = \frac{3 \cdot 10^8}{1.300}$$

et la pulsation :

$$\omega = 2\pi \times \frac{3 \cdot 10^8}{1.300}.$$

L'intensité sera donc exprimée par la relation :

$$I = \frac{250}{500 \times 10^{-6} \times \frac{3 \cdot 10^8}{1.300}} = 0,35 \text{ microampère.}$$

176. — *Un condensateur d'une capacité de $\frac{25}{36} \times 10^{-7}$ farads est chargé sous une tension de 72.000 volts et déchargé 500 fois par seconde dans un circuit comportant un bobinage et un éclateur. La résistance effective étant de 12.500 ohms, on demande :*

1° *La puissance emmagasinée dans le circuit.*

2° *L'intensité efficace du courant de décharge.*

SOLUTION. — 1° La puissance emmagasinée dans un condensateur de capacité C, en fonction de la tension de charge V, a pour expression :

$$P = \frac{1}{2} CV^2.$$

Si le condensateur se charge et se décharge N fois par seconde, l'expression de la puissance devient :

$$P = \frac{1}{2} NCV^2.$$

D'où, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{2} 500 \times \frac{25}{36} \times 10^{-7} \times 72^2 \times 10^6 \\ &= \frac{5 \times 10^8 \times 25 \times 4 \times 18}{10^7} = 9 \times 10^4 = 90 \text{ kilowatts.} \end{aligned}$$

Si I est l'intensité efficace du courant dans le circuit, et R la résistance effective, cette puissance a aussi pour expression :

$$P = RI^2.$$

D'où :

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs, il vient :

$$I = \sqrt{\frac{9 \times 10^4}{12.500}} = \frac{3 \times 10^2}{\sqrt{12.500}} = \frac{30}{\sqrt{125}} = 2,7 \text{ ampères.}$$

177. — Une antenne est formée d'un fil horizontal de 20 mètres de long et d'une descente verticale de 5 mètres. Sa capacité est de $1/10.000$ de microfarad.

1° Calculer sa longueur d'onde propre approximative, et sa self-induction propre.

2° Quel est le bobinage qu'il faut monter en série pour accorder l'antenne sur une longueur d'onde de 600 mètres ?

3° Avec l'antenne précédente, on veut recevoir des émissions sur une longueur d'onde de 80 mètres. Quel montage peut-on employer dans ce but, et quels sont les caractéristiques de l'élément à ajouter ?

SOLUTION. — 1° La longueur d'onde propre du système est approximativement indiquée par la relation :

$$\lambda_0 = 4(20 + 5) = 100 \text{ mètres.}$$

La self-induction propre de l'antenne est indiquée par la relation :

$$\lambda_0 = 1.885 \sqrt{L_0 \times C_0}.$$

L_0 et C_0 étant la capacité et la self-induction propres.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$100 = 1.885 \sqrt{L_0 \times \frac{1}{10.000}}.$$

On en tire :

$$L_0 = 28 \text{ microhenrys.}$$

2° Pour accorder l'antenne sur une longueur d'onde de 600 mètres, il faut réaliser une self-induction totale L_t satisfaisant à la relation :

$$600 = 1.885 \sqrt{\frac{1}{10.000} \times L_t}.$$

On en tire :

$$L_t = 1.008 \text{ microhenrys (fig. 25).}$$

La self-induction L_1 du bobinage à monter à la base a donc pour valeur :

$$L_1 = L_t - L_0 = 1.008 - 28 = 980 \text{ microhenrys.}$$

3° On peut théoriquement accorder l'antenne sur une longueur d'onde inférieure à sa longueur d'onde propre en plaçant en série un condensateur C_1 (fig. 25).

La capacité totale du système est formée par l'ensemble de la capacité

propre C de l'antenne et de la capacité additionnelle ; elle a donc pour expression :

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C_1}.$$

On en tire :

$$C_t = \frac{C \times C_1}{C + C_1}.$$

Nous savons que :

$$C = \frac{1}{10^4} \text{ microfarad,}$$

done :

$$C_t = \frac{C_1 \times \frac{1}{10^4}}{C_1 + \frac{1}{10^4}}.$$

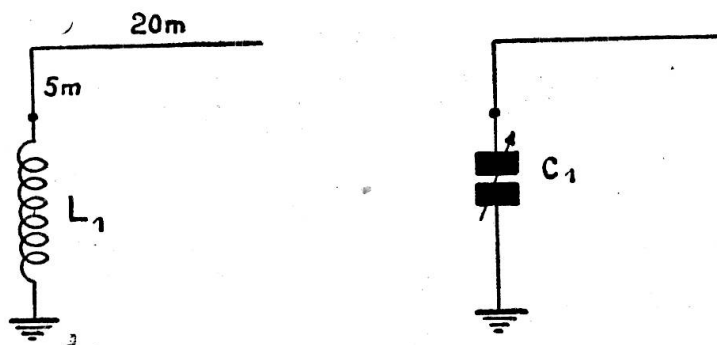


FIG. 25

La capacité C_1 doit permettre d'obtenir l'accord, et satisfait à la relation :

$$80 = 1.885 \sqrt{L_0 C_t}.$$

En remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$80 = 1.885 \sqrt{28 \times \frac{C_1 \times \frac{1}{10^4}}{C_1 + \frac{1}{10^4}}}.$$

On en tire :

$$C_1 = \frac{3,5}{10.000} \text{ de microfarad environ.}$$

178. — *Un condensateur de poste d'émission, d'une capacité de $2/10$ de microfarad, est chargé à un potentiel de 20.000 volts et déchargé dans un bobinage de 50 microhenrys. La résistance totale du circuit est de 2 ohms.*

1° On demande la période, la fréquence, la longueur d'onde propre, et la pulsation du circuit oscillant.

2° On admet qu'une décharge est pratiquement terminée après 10 oscillations, et on demande de calculer l'intervalle entre deux décharges consécutives, sachant qu'il y a 1.000 décharges par seconde.

SOLUTION. — 1° La période propre T_0 du circuit comportant une capacité C et une self-induction L est indiquée par la relation (fig. 26) :

$$T_0 = 2\pi \sqrt{LC}.$$

Ou, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{50}{10^6} \times \frac{2}{10^7}} = \frac{20}{10^6} \text{ seconde environ.}$$

La fréquence propre correspondante a pour expression :

$$F_0 = \frac{1}{T} = \frac{10^6}{20} = 50.000 \text{ cycles-seconde.}$$

La longueur d'onde propre est de :

$$\lambda_0 = 3 \times 10^8 \times T_0 = 3 \times 10^8 \times \frac{20}{10^6} = 6.000 \text{ mètres.}$$

La pulsation propre, enfin, a pour valeur :

$$\omega_0 = 2\pi F_0 = 6,28 \times 50 \times 10^3 = 314.000.$$

2° Un train d'ondes amorties se produit pendant la durée de 10 oscillations, soit :

$$10 \times \frac{20}{10^6} = \frac{20}{10^5} \text{ seconde} \quad \text{ou} \quad \frac{2}{10^4} \text{ seconde.}$$

Il y a 1.000 décharges par seconde; la durée d'une décharge est donc de $1/1000$ de seconde, et le temps qui sépare deux trains d'ondes d'oscillations est de :

$$t = \frac{1}{10^3} - \frac{20}{10^5} = \frac{100}{10^5} - \frac{20}{10^5} = \frac{80}{10^5} \quad \text{ou} \quad \frac{8}{10^4} \text{ seconde.}$$

179. — *Une antenne de réception possède une capacité effective de 2×10^{-3} microfarads, une self effective de 50 microhenrys, et une hauteur effective de 10 mètres.*

On dispose en série, à la base, un bobinage et une capacité d'une valeur maxima de $1/1.000$ de microfarad.

1° Quelle doit être la valeur du coefficient de self-induction additionnel pour que la longueur d'onde maxima soit de 900 mètres ?

2° La capacité résiduelle du condensateur variable étant le 1/10 de la capacité maxima, on demande la longueur d'onde minima d'accord sans changement du bobinage ?

SOLUTION. — 1° Pour réaliser l'accord de l'antenne sur la longueur d'onde maxima, on utilise le condensateur variable à sa valeur maxima, soit 1/1.000 de microfarad.

La capacité totale C_t , formée par la capacité propre C_0 et la capacité d'accord C_1 , a alors pour valeur :

$$C_t = \frac{C_0 \times C_1}{C_0 + C_1} = \frac{2 \times 1}{(2 + 1)10^3} = \frac{2}{3.000} \text{ microfarad.}$$

Pour obtenir l'accord sur 900 mètres de longueur d'onde, le coefficient de self-induction total peut être indiqué par la formule simplifiée :

$$\lambda = 60 \sqrt{L_t \text{ (microhenrys)} \times C \text{ (millièmes de microfarad)}}.$$

Soit, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$900 = 60 \sqrt{L_t \times \frac{2}{3}}$$

$$15 = \sqrt{L_t \times \frac{2}{3}} \quad 225 = \frac{2}{3} L_t \quad \text{ou} \quad L_t = 337,5 \text{ microhenrys.}$$

La self-induction à ajouter à la base a donc pour valeur :

$$337,5 - 50 = 287,5 \text{ microhenrys.}$$

2° Lorsque le condensateur est dans la position 0, la capacité d'accord a pour valeur, d'après l'énoncé, $\frac{0,1}{1.000}$ de microfarad. La capacité totale a donc pour valeur :

$$\frac{2 \times 0,1}{2 + 0,1} = \frac{0,2}{2,1} = \frac{2}{21.000} \text{ de microfarad.}$$

La longueur d'onde d'accord obtenue sera indiquée par la relation :

$$\begin{aligned} \lambda' &= 60 \sqrt{337,5 \times \frac{2}{21}} \\ &= 60 \times 5,6 = 336 \text{ mètres.} \end{aligned}$$

180. — Une antenne de réception, dont la hauteur effective est de 10 mètres, et la capacité de 1/1.000 de microfarad, est utilisée pour recevoir une

émission de 300 mètres de longueur d'onde, dont le champ est de 100 microvolts par mètre.

1° Quelle self doit-on monter à la base pour obtenir un courant maximum et quelle sera la force électromotrice induite ?

2° Quelle sera la tension recueillie aux bornes d'un circuit bouchon accordé établi avec le bobinage additionnel ?

SOLUTION. — 1° Le coefficient de self-induction propre de l'antenne n'est pas indiqué dans l'énoncé ; on supposera qu'on peut le négliger par rapport à celui du bobinage d'accord à monter à la base.

Pour déterminer ce dernier, on utilisera la formule simplifiée :

$$\lambda \text{ (mètres)} = 60 \sqrt{L \text{ (microhenrys)} \times C \text{ (millièmes de microfarad)}}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$300 = 60 \sqrt{L \times 1}$$

$$5 = \sqrt{L} \quad L = 25 \text{ microhenrys.}$$

Le champ étant de 100 microvolts par mètre, et la hauteur effective de l'antenne de 10 mètres, la force électromotrice induite dans l'antenne est, d'autre part :

$$100 \times 10 = 1.000 \text{ microvolts.}$$

2° La tension aux bornes du bobinage a pour expression $L\omega I$, ω étant la pulsation d'accord, et I l'intensité du courant induit. Ce courant a pour expression au moment de la résonance :

$$I = \frac{E}{R}.$$

E étant la tension induite de 1.000 microvolts, et R la résistance de rayonnement, les autres résistances étant négligeables.

Celle-ci a pour expression :

$$R_r = \frac{160\pi^2 h^2}{\lambda^2} = \frac{160 \times 10 \times 100}{300^2}$$

$$R_r = \frac{16 \times 10^4}{9 \times 10^4} = \frac{16}{9} \text{ d'ohm.}$$

D'où :

$$I = \frac{1.000}{\frac{16}{9}} = \frac{9.000}{16} \text{ microampère} = \frac{9}{16 \times 10^3} \text{ ampère.}$$

D'autre part, pour une longueur d'onde de 300 mètres :

$$\begin{aligned} F &= 10^6 \quad \text{et} \quad \omega = 2\pi \times 10^6 \\ V_L &= L\omega I = \frac{25}{10^8} \times 2\pi \times 10^6 \times \frac{9}{16 \times 10^3} \\ &= \frac{25 \times 4 \times 2\pi \times 9}{16 \times 4 \times 10^3} = \frac{100 \times 2\pi \times 9}{16 \times 4 \times 10^3} \\ &= \frac{18\pi}{640} = \frac{9\pi}{320} = 0,08 \text{ volt} = 80.000 \text{ microvolts.} \end{aligned}$$

181. — *Un émetteur à ondes amorties à impulsion comprend un circuit de charge avec une capacité de 15/1.000 de microfarad. Les étincelles éclatent 500 fois par seconde dans l'éclateur réglé pour une tension de rupture de 10.000 volts.*

1° *Calculez la puissance fournie par l'alternateur de charge.*

2° *Les pertes dans le primaire étant de 20 % de l'énergie fournie, quelle est la puissance dans le secondaire ?*

SOLUTION. — 1° Si N est le nombre de décharges par seconde, C la capacité du condensateur, et V la tension de rupture, la puissance fournie au circuit oscillant a pour expression :

$$P = \frac{1}{2} N C V^2.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$P = \frac{1}{2} 500 \times \frac{15}{10^9} \times 10.000^2 = 375 \text{ watts.}$$

2° Les pertes dans le primaire étant de 20 % soit 75 watts, l'énergie initiale est de 120/100 de l'énergie fournie au circuit oscillant, soit :

$$375 + 75 = 450 \text{ watts.}$$

Si la perte de transmission entre le circuit oscillant et le circuit d'antenne est également de 20 %, l'énergie transmise à l'antenne est de :

$$375 - 75 = 300 \text{ watts.}$$

182. — *On utilise un alternateur de 500 pôles, pour alimenter un circuit avec un bobinage de 5 millihenrys, et une capacité de 2/100 de microfarad.*

1° *A combien de tours par minute doit tourner l'alternateur ?*

2° *Quelle sera la longueur d'onde de l'émission transmise ?*

SOLUTION. — 1° Soient L et C le coefficient de self-induction propre et

la capacité propre du circuit d'antenne, la période propre T a pour expression :

$$T = 2\pi \sqrt{LC}$$

et la fréquence propre F :

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

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$F = \frac{1}{2 \times 3 \sqrt{\frac{5}{1.000} \times \frac{2}{10^8}}} = \frac{1}{6 \sqrt{\frac{10}{10^{11}}}} = \frac{1}{6 \times \frac{1}{10^5}} = \frac{10^5}{6}$$

L'alternateur possède $500/2 = 250$ paires de pôles, la fréquence des oscillations produites en fonction de la vitesse de rotation N a pour expression :

$$F' = 250 \times N ; \quad \text{d'où} \quad N = \frac{F'}{250}$$

Pour obtenir l'accord, on doit avoir $F' = F$, d'où :

$$\begin{aligned} N &= \frac{10^5}{6 \times 250} = \frac{10^5 \times 4}{6 \times 250 \times 4} = \frac{400}{6} = \frac{2}{3} \times 10^2 \text{ par seconde} \\ &= \frac{2}{3} \times 60 \times 10^2 = 4.000 \text{ tours par minute.} \end{aligned}$$

2° La longueur d'onde correspondant à la fréquence F a pour expression :

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{F} = \frac{3 \times 10^8}{\frac{10^5}{6}} = \frac{3 \times 6 \times 10^8}{10^5} = 18.000 \text{ mètres.}$$

183. — Une antenne d'émission a une longueur d'onde propre de 2.000 mètres ; sa capacité propre est de $13/1.000$ de microfarad, et sa self effective de 80 microhenrys. Sa hauteur effective est de 50 mètres.

1° Quelle est la valeur de la self à disposer à la base de l'antenne pour obtenir la résonance sur 6.600 mètres ?

2° L'intensité dans l'antenne étant de 591 ampères, calculez la différence de potentiel aux bornes de la self d'antenne.

3° Calculez la résistance de rayonnement, la puissance rayonnée, et le rendement de l'antenne, si la puissance alimentation est de 315 Kilowatts.

SOLUTION. — 1° Pour obtenir la résonance sur la longueur d'onde λ ,

la self-induction totale L , et la capacité totale C du système doivent satisfaire à la relation :

$$\lambda \text{ (mètres)} = 60 \sqrt{L \text{ (microhenrys)} \times C \text{ (millièmes de microfarad)}}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs, nous devons avoir :

$$6.600 = 60 \sqrt{L \times 13} \quad 110 = \sqrt{13L} \quad 13L = 10.100$$

$$L = 784 \text{ microhenrys.}$$

La self-induction à ajouter est donc de :

$$L_1 = 784 - 80 = 704 \text{ microhenrys.}$$

2° La différence de potentiel aux bornes du bobinage d'antenne a pour expression :

$$V_{L_1} = L_1 \omega I.$$

ω étant la pulsation de résonance, et I l'intensité du courant d'antenne.

La fréquence de résonance F a pour valeur :

$$F = \frac{3 \times 10^8}{6,6 \times 10^4} = 5.000 \text{ environ.}$$

La pulsation a donc pour expression $2\pi \times 5.000$, et la différence de potentiel demandée :

$$V_{L_1} = \frac{704}{10^6} \times 2\pi \times 5.000 \times 591 = 12.700 \text{ volts environ.}$$

La résistance de rayonnement a pour expression :

$$R_r = \frac{160\pi^2 h_e^2}{\lambda^2}.$$

Dans laquelle, h_e est la hauteur effective de l'antenne, et λ la longueur d'onde d'émission. Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$R_r = \frac{1.600 \times 5.000^2}{6.600^2} = \frac{9}{100} \text{ d'ohm environ.}$$

La puissance rayonnée a pour expression :

$$P_r = R_r \times I^2.$$

I étant l'intensité du courant parcourant l'antenne, d'où :

$$P_r = \frac{9}{100} \times 591^2 = 31,5 \text{ Kilowatts.}$$

La puissance d'alimentation étant de 315 kilowatts ; le rendement est alors de :

$$\frac{31,5}{315} = 10 \, \%.$$

184. — *Un poste émetteur à ondes amorties est formé d'un alternateur à 500 périodes agissant par l'intermédiaire d'un transformateur sur un condensateur de 1/100 de microfarad disposé dans un circuit oscillant accordé sur 600 mètres. Il se produit une étincelle par alternance ; la différence de potentiel de charge est de 5.000 volts.*

Quelle est la puissance dépensée dans le circuit oscillant ?

SOLUTION. — Puisque l'alternateur est à 500 périodes, et si l'on suppose une étincelle à l'alternance, le nombre de trains d'ondes à la seconde est de :

$$500 \times 2 = 1.000.$$

Si N est le nombre de décharges par seconde, C la capacité du condensateur de charge, et V la différence de potentiel de charge, nous savons que la puissance mise en jeu dans l'émission a pour expression :

$$P = \frac{1}{2} N C V^2.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{2} \times 1.000 \times \frac{1}{10^8} \times 5.000^2 \\ &= \frac{1}{2} \times \frac{10^3 \times 25 \times 10^6}{10^8} = \frac{25}{2} \times 10 = 125 \text{ watts.} \end{aligned}$$

185. — *Un condensateur de 7/10 de microfarad d'un poste émetteur est chargé à une tension de 80.000 volts. Il est chargé et déchargé 30 fois par seconde au travers d'un éclateur.*

1° *Quelle est l'énergie en kilogrammètres emmagasinée dans le condensateur ?*

2° *Quelle est l'intensité moyenne du courant traversant le circuit ? On prendra pour simplifier $\pi = 3$.*

SOLUTION. — 1° L'énergie emmagasinée dans un condensateur de capacité C, chargé à une tension V, a pour expression :

$$W \text{ (joules)} = \frac{1}{2} C V^2.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$W = \frac{1}{2} \times \frac{7}{10^7} \times 80.000^2 = \frac{7 \times 64 \times 10^8}{2 \times 10^7} \\ = 7 \times 32 \times 10 = 2.240 \text{ joules.}$$

Convertissons cette énergie en kilogrammètres, nous savons que :

$$1 \text{ kilogrammètre} = 9,81 \text{ joules.}$$

Donc :

$$W = \frac{2.240}{9,81} = 228 \text{ kilogrammètres.}$$

2° La quantité d'électricité contenue dans un condensateur de capacité C chargé à une tension V a pour expression :

$$Q = CV.$$

Elle a aussi pour expression :

$$Q = IT.$$

I étant l'intensité moyenne et T le temps de la charge.

Dans le cas de charges et de décharges successives en nombre N, l'expression de Q devient :

$$Q = NCV.$$

D'où :

$$I = \frac{NCV}{T} = \frac{NCV}{1}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$I_{\text{moy.}} = 30 \times \frac{7}{10} \times 10^{-6} \times 80.000 \\ = \frac{3 \times 7 \times 8}{10^2} = 1,68 \text{ ampère.}$$

186. — *Un poste émetteur à ondes amorties transmet sur 600 mètres de longueur d'onde. Le circuit oscillant et le circuit d'antenne ont des coefficients de self-induction de 10 et de 83 microhenrys respectivement.*

On demande de calculer le coefficient de couplage et le coefficient d'induction mutuelle pour que les deux ondes émises diffèrent de 1/100 de l'onde propre.

SOLUTION. — Si la longueur d'onde propre λ_0 est de 600 mètres, la longueur d'onde λ_1 différant de 1/100 a pour valeur 606 mètres.

Cette longueur d'onde λ_1 a pour expression, en fonction du coefficient de couplage :

$$\lambda_1 = \lambda_0 \sqrt{1 + K}$$

D'où :

$$606 = 600 \sqrt{1 + K} \quad \text{et} \quad \frac{606}{600} = \sqrt{1 + K}$$

$$\frac{606^2}{600^2} = 1 + K \quad 1 + K = 1,02$$

$$K = 0,02 = 2 \, \%.$$

En fonction des self-inductions des circuits L_1 et L_2 , le coefficient d'induction mutuelle est exprimé par la relation :

$$M = K \sqrt{L_1 L_2}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$M = 0,02 \sqrt{10 \times 83} = 0,02 \sqrt{830}$$

$$= 0,02 \times 28 = 0,56 \text{ microhenrys.}$$

187. — *Le secondaire d'un Tesla d'accord comporte un bobinage de 10 microhenrys et une capacité de 1/1.000 de microfarad.*

1° *Quelle est la longueur d'onde que l'on peut obtenir ?*

2° *Quelle capacité faut-il ajouter à la première pour recevoir une émission de longueur d'onde double ? Comment doit être montée cette capacité additionnelle ?*

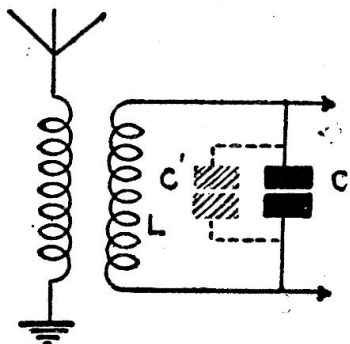


FIG. 26

SOLUTION. — 1° La longueur d'onde propre du Tesla d'accord, formé avec une capacité C et une self-induction L , est déterminée par la formule simplifiée :

$$\lambda \text{ (mètres)} = 60 \sqrt{L \text{ (microhenrys)} \times C \text{ (millièmes de microfarad)}}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$\lambda = 60 \sqrt{10 \times 1} = 188,5 \text{ mètres.}$$

2° Pour doubler la longueur d'onde d'accord, il faut ajouter en parallèle sur celle qui existe une capacité C' telle que l'on ait :

$$188,5 \times 2 = 60 \sqrt{L(C + C')} \text{ (fig. 26).}$$

Nous avons, d'autre part :

$$188,5 = 60 \sqrt{LC}.$$

Divisons membre à membre :

$$\frac{188,5 \times 2}{188,5} = \frac{60 \sqrt{L(C + C')}}{60 \sqrt{LC}}.$$

$$2 = \frac{\sqrt{C + C'}}{\sqrt{C}} \quad \text{ou} \quad 4 = \frac{C + C'}{C}$$

$$4C = C + C' \quad C' = 3C = 3/1.000 \text{ de microfarad.}$$

Il faut donc ajouter une capacité de 3/1.000 de microfarad en parallèle sur la première capacité de 1/1.000.

188. — *Une antenne de 15 mètres de long, reliée à la terre est couplée à un secondaire comprenant une capacité variable, et un bobinage fixe de 10 microhenrys.*

Pour quelle valeur de la capacité obtient-on la résonance ?

SOLUTION. — L'antenne reliée à la terre vibre en quart d'onde; sa longueur d'onde propre est donc :

$$\lambda_0 = 4 \times 15 = 60 \text{ mètres.}$$

Le secondaire comportant une capacité C et une self-induction L est accordé sur une longueur d'onde indiquée par l'expression simplifiée :

$$\lambda \text{ (mètres)} = 60 \sqrt{L \text{ (microhenrys)} \times C \text{ (millièmes de microfarad)}}.$$

A la résonance, on doit avoir :

$$\lambda_0 = \lambda.$$

D'où :

$$60 = 60 \sqrt{10C} \quad \sqrt{10C} = 1$$

$$10C = 1 \quad C = \frac{1}{10.000} \text{ de microfarad.}$$

189. — *On veut recevoir une émission en ondes entretenues sur 3.000 mètres de longueur d'onde par la méthode hétérodyne, avec un circuit d'accord, et une hétérodyne reliés à un détecteur. Les courants à obtenir ont une fréquence comprise entre 20 et 6.000 périodes-seconde.*

1° *On demande l'écart maximum en longueur d'onde entre l'oscillation locale et l'oscillation incidente pour que les signaux soient perçus.*

2° *On monte, à la place du récepteur téléphonique, un circuit accordé.*

On demande quelles sont les deux longueurs d'onde de réglage de l'hétérodyne pour lesquelles le courant sera maximum dans ce circuit.

SOLUTION. — 1° La fréquence correspondant à la longueur d'onde de 3.000 mètres a pour expression :

$$F_0 = \frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^3} = 10^5 \text{ périodes-seconde.}$$

Soit F_1 la fréquence de l'onde émise par l'hétérodyne ; pour que les signaux soient audibles, il faut que les battements obtenus aient une fréquence comprise entre 20 et 6.000 périodes-seconde. On doit donc avoir :

$$F_0 - F_1 \quad \text{ou} \quad F_1 - F_0 < 6.000 \quad \text{et} \quad > 20.$$

La plus grande différence entre l'oscillation locale et l'oscillation incidente sera obtenue pour une valeur de ± 6.000 . Les fréquences extrêmes de l'hétérodyne seront donc :

$$F_1' = 10^5 + 6.000 = 106.000$$

$$F_1'' = 10^5 - 6.000 = 94.000.$$

La longueur d'onde qui différera le plus de l'onde incidente correspondra à la fréquence de 94.000 ; elle aura donc pour valeur :

$$\frac{3 \cdot 10^8}{94 \times 10^3} = 3.191 \text{ mètres.}$$

La différence sera de 191 mètres avec l'onde reçue.

2° Les deux fréquences de l'hétérodyne pour lesquelles le courant sera maximum dans le circuit, seront celles qui seront les plus voisines de la fréquence propre de ce circuit accordé sur 3.000 mètres, soit sur une fréquence de 10^5 périodes/seconde.

Le décalage est donc de ± 20 périodes-seconde, et les deux fréquences seront $10^5 \pm 20$. Les longueurs d'onde correspondantes seront :

$$\lambda_1 = \frac{3 \cdot 10^8}{10^5 + 20} = 2.999,68 \text{ mètres}$$

$$\lambda_2 = \frac{3 \cdot 10^8}{10^5 - 20} = 3.000,60 \text{ mètres.}$$

190. — *Une antenne en L est accordée par un bobinage sur la longueur d'onde de 3.000 mètres. On monte à la base un condensateur de 10/1.000 de microfarad ; la longueur d'onde est réduite à 2.690 mètres.*

1° Calculez la capacité antenne-terre avant l'adjonction du condensateur additionnel.

2° Évaluez la surface de la nappe d'antenne, dont la hauteur est de

75 mètres au-dessus du sol, sachant que l'on peut approximativement l'assimiler à un condensateur plan.

SOLUTION. — 1° Soit C la capacité antenne-terre, la capacité résultante obtenue après mise en série de la capacité additionnelle, a pour expression :

$$\frac{10 \times C}{10 + C}.$$

Si L est la self-induction du bobinage d'accord, on a, d'autre part, la relation simplifiée :

$$3.000 = 60 \sqrt{LC}.$$

On a également, en mettant la capacité additionnelle en série :

$$2.690 = 60 \sqrt{L \times \frac{10C}{10 + C}}.$$

Divisons membre à membre :

$$\frac{3.000}{2.690} = \frac{\sqrt{C}}{\sqrt{\frac{10C}{10 + C}}} \quad \frac{300^2}{269^2} = \frac{C(10 + C)}{10C}$$

$$\frac{9 \times 10^4}{269^2} = \frac{10 + C}{10} \quad \frac{9 \times 10^5}{269^2} - 10 = C$$

$$C = \frac{2}{1.000} \text{ de microfarad environ.}$$

2° La capacité antenne-terre pourrait aussi être calculée en assimilant la nappe d'antenne à un condensateur plan par la formule :

$$C \text{ (millièmes de microfarad)} = \frac{KS}{4\pi e \times 9 \times 10^2}.$$

S étant la surface, e la hauteur au-dessus du sol ; $K = 1$ puisque le système est dans l'air. On en tire donc :

$$\begin{aligned} S &= C \times 4\pi e \times 9 \times 10^2 \\ &= 2 \times 4\pi \times 7.500 \times 9 \times 10^2 \\ &= 8\pi \times 75 \times 9 \times 10^4 \\ &= 1.620 \times 10^5 \text{ cm}^2 \quad \text{ou} \quad 16.200 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

191. — Une antenne a une longueur d'onde fondamentale λ_1 de 580 mètres. On intercale à la base une capacité C de 2/1.000 de microfarad ; la longueur d'onde propre λ_2 s'abaisse à 505 mètres.

1° Quelle est la formule qui permet de trouver dans ces conditions la capacité effective de l'antenne en fonction de C , λ_1 et λ_2 ?

2° Quelle est cette capacité dans l'exemple numérique considéré ?

SOLUTION. — 1° Soit x la capacité effective de l'antenne cherchée, la capacité résultante a pour expression :

$$C_r = \frac{Cx}{C + x}.$$

D'après les formules générales :

$$T = 2\pi \sqrt{LC} \quad \text{et} \quad \lambda = 2\pi V \sqrt{LC}.$$

V étant la vitesse des ondes hertziennes, les deux longueurs d'onde λ_1 et λ_2 ont pour expressions :

$$\lambda_1 = 3 \times 10^8 \times 2\pi \sqrt{Lx}$$

$$\lambda_2 = 3 \times 10^8 \times 2\pi \sqrt{L \times \frac{Cx}{C + x}}.$$

L étant la self-induction effective de l'antenne.

Divisons membre à membre :

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{3 \times 10^8 \times 2\pi \sqrt{L \times \frac{Cx}{C + x}}}{3 \times 10^8 \times 2\pi \sqrt{Lx}}$$

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{\sqrt{L \times \frac{Cx}{C + x}}}{\sqrt{Lx}}$$

$$\frac{\lambda_2^2}{\lambda_1^2} = \frac{L \times \frac{Cx}{C + x}}{Lx} = \frac{Cx}{x(C + x)} = \frac{C}{C + x}$$

$$\lambda_2^2 (C + x) = \lambda_1^2 C \quad x = \frac{C(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)}{\lambda_2^2}.$$

2° Dans l'exemple considéré $\lambda_1 = 580$ et $\lambda_2 = 505$; d'où :

$$x = \frac{2(580^2 - 505^2)}{505^2} = \frac{0,63}{1.000} \text{ de microfarad.}$$

192. — *Considérons un condensateur chargé avec une différence de potentiel V ; on décharge ce condensateur dans un circuit de période propre T et de facteur d'amortissement δ (δ étant très petit par rapport à ω^2). La charge et la décharge sont répétées n fois par seconde.*

1^o Calculez l'intensité moyenne du courant de décharge.

2^o Déterminez l'intensité efficace de ce courant.

Appliquez pour les valeurs numériques suivantes :

$$\begin{aligned} C &= 9 \times 10^5 \text{ cm.} & V &= 8 \times 10^{12} \text{ unités C. G. S.} \\ \delta &= 10^4 & T &= 2\pi \times 10^{-6} & n &= 25. \end{aligned}$$

Les résultats demandés seront donnés en ampères.

SOLUTION. — La capacité considérée est de 9×10^5 cms : exprimons-la en microfarads :

$$C = \frac{9 \times 10^5}{9 \times 10^{11}} = 10^{-6} \text{ farad.}$$

La différence de potentiel de charge a, de même, pour valeur en volts :

$$V = \frac{8 \times 10^{12}}{10^8} = 8 \times 10^4 \text{ volts.}$$

Le facteur d'amortissement, en fonction de la résistance R et de la self-induction L du circuit, a pour expression :

$$\delta = \frac{R}{2L} = 10^4 \quad \text{d'où :} \quad R = 10^4 \times 2L.$$

D'autre part, la période T a pour expression :

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Et d'après l'énoncé :

$$\begin{aligned} T &= 2\pi\sqrt{LC} = 2\pi \times 10^{-6} & \sqrt{LC} &= 10^{-6} \\ CL &= 10^{-12}. \end{aligned}$$

Remplaçons C par sa valeur :

$$L = \frac{10^{-12}}{C} = \frac{10^{-12}}{10^{-6}} = 10^{-6} \text{ henry.}$$

D'où :

$$R = 10^4 \times 2L = 10^4 \times 2 \times 10^{-6} = \frac{2}{100} \text{ d'ohm.}$$

D'après la formule :

$$Q = IT = nCV \quad \text{pour} \quad T = 1.$$

L'intensité moyenne a pour expression :

$$I_{\text{moy.}} = nCV,$$

n étant le nombre de décharges par seconde. Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$I_{\text{moy.}} = 25 \times \frac{1}{10^6} \times 8 \times 10^4 = 2 \text{ ampères.}$$

2° La puissance fournie au condensateur a pour expression :

$$P = \frac{1}{2} n C V^2 = \frac{1}{2} \times 25 \times \frac{1}{10^6} (8 \times 10^4)^2 = 8 \times 10^4 = R I_{\text{eff.}}^2.$$

D'où :

$$I_{\text{eff.}} = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{8 \times 10^4}{\frac{2}{100}}} = 2.000 \text{ ampères.}$$

193. — On considère un poste émetteur à ondes amorties à étincelles, transmettant sur une longueur d'onde $\lambda = 1.885$ mètres.

Le condensateur d'émission est chargé par l'intermédiaire d'un transformateur T sans fuites, de rapport n , à l'aide d'un alternateur de force électromotrice 100 volts, et de fréquence 1.000, dont le courant de court-circuit $I_{\text{cc}} = 500$ ampères.

La capacité du condensateur $C = 4/100$ de microfarad, et la résistance du circuit primaire $R = 20$ ohms.

Pour obtenir la résonance, il faut ajouter un bobinage extérieur, de coefficient de self-induction :

$$L = \frac{291}{270} \times 10^{-3} \text{ henrys.}$$

On demande, dans ces conditions :

1° Le rapport n du transformateur correspondant à la résonance primaire.

2° Le coefficient de surtension aux bornes du primaire étant de 3 au moment de la résonance, on demande la tension obtenue aux bornes de ce primaire, et la tension aux bornes du secondaire.

SOLUTION. — 1° Si la force électromotrice de l'alternateur est E , et ω la pulsation de résonance, la self extérieure l de l'alternateur satisfait à la relation :

$$E = l \omega I_{\text{cc.}}$$

D'où :

$$\begin{aligned} l &= \frac{E}{\omega I_{\text{cc.}}} = \frac{100}{2 \times 3 \times 1.000 \times 500} = \frac{1}{30} \times 10^{-3} \text{ henry} \\ &= \frac{9}{270} \times 10^{-3} \text{ henry.} \end{aligned}$$

La self-induction totale du circuit est donc :

$$\begin{aligned} L_t &= L + l = \frac{291}{270} \times 10^{-3} + \frac{9}{270} \times 10^{-3} \\ &= \frac{300}{270} \times 10^{-3} = \frac{1}{9} \times 10^{-3} \text{ henry.} \end{aligned}$$

Si le rapport du transformateur est n , la relation de résonance s'écrit :

$$LCn^2\omega^2 = 1.$$

D'où :

$$n = \frac{1}{\omega \sqrt{LC}}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$n = \frac{1}{2 \times 3 \times 1.000 \sqrt{\frac{4}{10^8} \times \frac{1}{9 \times 10^2}}} = 25.$$

2° Le coefficient de surtension s étant de 3, la tension aux bornes du primaire est de :

$$100 \times 3 = 300 \text{ volts.}$$

Puisque le rapport du transformateur est de 25, la tension aux bornes du secondaire est théoriquement de :

$$300 \times 25 = 7.500 \text{ volts.}$$

194. — *Une antenne unifilaire verticale a une longueur de 15 mètres, et vibre en quart d'onde ; sa capacité effective est de 0,15/1.000 de microfarad. On introduit à la base de l'antenne un condensateur de 0,1/1.000 de microfarad. Quelle est la longueur d'onde propre du système ?*

SOLUTION. — La longueur d'onde propre de l'antenne avant introduction du condensateur est :

$$\lambda_0 = 15 \times 4 = 60 \text{ mètres.}$$

Lorsqu'on introduit la capacité de 0,1/1.000 en série, elle est montée, en quelque sorte, en série avec la capacité effective de l'antenne de 0,15/1.000 de microfarad. La capacité résultante a alors pour valeur :

$$\frac{0,15 \times 0,1}{0,15 + 0,1} = \frac{0,015}{0,25} = \frac{0,06}{1.000} \text{ de microfarad.}$$

La self-induction effective de l'antenne L satisfait à la relation simplifiée :

$$60 = 60 \sqrt{L \times 0,15} \quad \sqrt{L \times 0,15} = 1$$

$$L = \frac{1}{0,15} = \frac{100}{15} \text{ de microhenry.}$$

Lorsque la capacité résultante est de 0,06/1.000, la longueur d'onde d'accord est devenue :

$$\lambda = 60 \sqrt{\frac{100}{15} \times \frac{6}{100}} = 60 \sqrt{\frac{6}{15}}$$

$$\lambda^2 = 3.600 \times \frac{6}{15} = 3.600 \times 0,4 = 1.440$$

$$\lambda = 37 \text{ mètres.}$$

195. — *Une antenne de 20 mètres de long vibre en quart d'onde. Le circuit secondaire d'accord comprend une capacité variable, et un bobinage fixe d'un coefficient de self-induction de 10 microhenrys. Quelle capacité doit présenter le condensateur pour produire l'accord à la résonance ?*

SOLUTION. — La longueur d'onde propre de l'antenne est indiquée par l'expression :

$$\lambda_0 = 20 \times 4 = 80 \text{ mètres.}$$

La longueur d'onde propre du secondaire de capacité C et de self-induction L est, d'autre part, exprimée par la formule simplifiée :

$$\lambda = 60 \sqrt{LC}.$$

Au moment de l'accord, on doit avoir $\lambda_0 = \lambda$; d'où :

$$80 = 60 \sqrt{10C} \quad \frac{80}{60} = \sqrt{10C}$$

$$\frac{4}{3} = \sqrt{10C} \quad 10C = \frac{16}{9}$$

$$C = \frac{16}{90} = \frac{0,17}{1.000} \text{ microfarad.}$$

196. — *Une antenne, d'une capacité de 0,3/1.000 de microfarad, et d'un coefficient de self-induction propre de 13 microhenrys, a une longueur d'onde propre de 120 mètres.*

Quel est le coefficient de self-induction du bobinage qu'il faut placer à la base de l'antenne, pour l'accorder sur une longueur d'onde de 425 mètres ?

SOLUTION. — La longueur d'onde propre d'une antenne est indiquée

en fonction de sa capacité propre C et de sa self-induction L , par l'expression simplifiée :

$$\lambda \text{ (mètres)} = 60 \sqrt{L \text{ (microhenrys)} \times C \text{ (millièmes de microfarad)}}.$$

Pour obtenir une longueur d'onde d'accord de 425 mètres, on doit donc avoir la relation :

$$\begin{aligned} 425 &= 60 \sqrt{L \times 0,3} & \frac{425}{60} &= \sqrt{L \times 0,3} \\ \frac{425^2}{60^2} &= 0,3L & L &= \frac{425^2}{60^2 \times 0,3} = 167 \text{ microhenrys.} \end{aligned}$$

Il faut donc utiliser un bobinage d'accord en série ayant une self-induction de :

$$167 - 13 = 154 \text{ microhenrys.}$$

197. — *Un circuit-bouchon, formé d'un bobinage de 500 microhenrys monté en parallèle avec un condensateur variable, est disposé à la base d'une antenne d'émission, parcourue par le courant d'un alternateur d'une force électromotrice de 250 microvolts, de fréquence correspondant à 1.000 mètres de longueur d'onde.*

1° *On demande pour quelle valeur de la capacité on obtient la résonance.*

2° *Quelle est, à ce moment, la valeur de la différence de potentiel aux bornes du circuit-bouchon ?*

3° *Quelle est la valeur du courant, à ce moment, dans le bobinage et dans le condensateur ?*

SOLUTION. — 1° La résonance doit être obtenue pour une longueur d'onde de 1.000 mètres.

Pour trouver la valeur de la capacité C que l'on doit utiliser pour accorder le circuit, on peut utiliser, par exemple, la formule :

$$\lambda = 1.885 \sqrt{LC}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$\begin{aligned} 1.000 &= 1.885 \sqrt{500C} \\ \sqrt{500C} &= 1,885 & C &= \frac{0,6}{1.000} \text{ de microfarad.} \end{aligned}$$

2° Au moment de la résonance, la différence de potentiel aux extrémités du circuit-bouchon est maximum, et a pour valeur 250 microvolts (fig. 27).

A ce moment, on sait aussi que le courant fourni par l'alternateur est nul.

3° L'intensité du courant dans le bobinage au moment de la résonance a pour expression :

$$I = \frac{V}{L\omega}.$$

V étant la tension appliquée en microvolts, L la self-induction, et ω la pulsation, soit $2\pi F$. D'où :

$$I = \frac{250}{\frac{500}{10^6} \times 2\pi \times \frac{3 \cdot 10^8}{1.000}} = \frac{25}{5 \times 2\pi \times 3} = 0,27 \text{ microampère.}$$

On retrouve le même résultat en calculant le courant traversant la capacité suivant l'expression :

$$I = VC\omega = 250 \times \frac{0,6}{10^9} \times 2\pi \times \frac{3 \cdot 10^8}{1.000}.$$

198. — Une antenne unifilaire verticale de 20 mètres de haut, mise à la terre à sa base, a une capacité propre de $3/10.000$ de microfarad, et une self-induction propre de 27 microhenrys.

1° Quelle est la valeur du bobinage à disposer à la base pour obtenir l'accord sur une longueur d'onde de 300 mètres ?

2° Quelle est la hauteur effective de l'antenne avec bobinage à la base ?

SOLUTION. — 1° La fréquence correspondant à la longueur d'onde de 300 mètres est de :

$$F = \frac{3 \times 10^8}{300} = 10^6 \text{ cycles-seconde.}$$

Pour trouver la self nécessaire à la résonance, utilisons la formule :

$$L = \frac{1}{40F^2C}.$$

D'où :

$$L = \frac{1}{40 \times 10^{12} \times \frac{3}{10^{10}}} = \frac{1}{12.000} \text{ henry} = 83,5 \text{ microhenrys.}$$

La self-induction propre étant de 27 microhenrys, il faut ajouter un bobinage de :

$$83,5 - 27 = 56,5 \text{ microhenrys.}$$

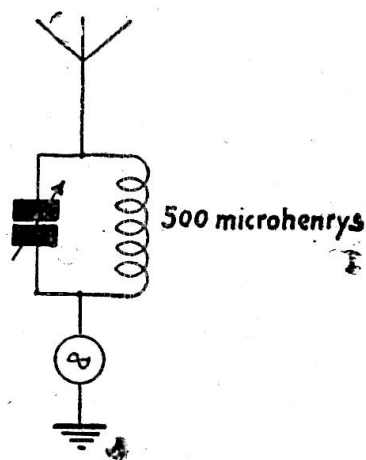


FIG. 27

Nous aurions pu aussi utiliser la formule directe :

$$\lambda = 1.885 \sqrt{LC},$$

soit :

$$300 = 1.885 \sqrt{\frac{3}{10^4} \times L} \quad L = 83,5 \text{ microhenrys.}$$

2° La hauteur effective de l'antenne avec bobinage à la base est égale pratiquement à la moitié de la hauteur du fil, soit 10 mètres; le courant croît proportionnellement à la distance à partir du sommet (Voir formulaire).

199. — *Un poste émetteur renferme un circuit oscillant d'accord réglé sur 600 mètres de longueur d'onde, et comportant une capacité de 10/1.000 de microfarad.*

1° *On demande de calculer le coefficient de self-induction du bobinage de ce circuit.*

2° *On couple avec ce circuit une antenne dont la capacité est de 0,6/1.000 de microfarad, et dont la longueur d'onde propre est de 200 mètres.*

On demande de calculer le coefficient de self-induction propre de l'antenne et la valeur du bobinage à placer à la base pour accorder cette antenne sur une onde de 600 mètres.

3° *Calculez le maximum du coefficient de couplage pouvant être établi entre l'antenne et le circuit oscillant.*

SOLUTION. — 1° Pour calculer la self-induction du circuit oscillant, on peut utiliser la formule de résonance :

$$\omega^2 LC = 1 \quad L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{4\pi^2 F^2 C} = \frac{1}{40 F^2 C}$$

Dans laquelle, C est la capacité, et F la fréquence de résonance.

Pour la longueur d'onde de 600 mètres :

$$F = \frac{3 \times 10^8}{600} = 5 \cdot 10^5 \text{ cycles-seconde}$$

et nous savons que :

$$C = \frac{10}{10^9} \text{ farad.}$$

D'où :

$$L = \frac{1}{40 \times 25 \times 10^{10} \times \frac{10}{10^9}} = \frac{1}{40 \times 25 \times 10^2} = 10 \text{ microhenrys.}$$

2° L'antenne peut être assimilée à un circuit oscillant de longueur d'onde propre égale à 200 mètres, et d'une capacité C de 0,6/1.000 de microfarad.

La self-induction L_1 satisfait donc encore à la formule :

$$L_1 = \frac{1}{\omega'^2 C_1}$$

ω' étant la pulsation correspondant à une longueur d'onde de 200 mètres, soit à une fréquence de :

$$F' = \frac{3 \times 10^8}{200} = \frac{3}{2} 10^6$$

$$\omega' = 2\pi \times \frac{3}{2} \times 10^6 = 3\pi \times 10^6.$$

Il vient :

$$L_1 = \frac{1}{9\pi^2 \times 10^{12} \times \frac{6}{10^{10}}} = 18,8 \text{ microhenrys.}$$

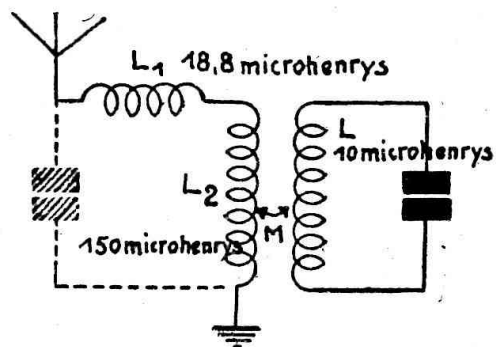


FIG. 28

On veut accorder l'antenne, assimilée encore à un circuit oscillant, sur une longueur d'onde trois fois plus grande, c'est-à-dire sur une fréquence trois fois plus faible. La self-induction totale du système doit donc être neuf fois plus grande.

Le bobinage d'accord disposé à la base doit avoir une self-induction de :

$$L_2 = 18,8 \times 8 = 150,4 \text{ microhenrys.}$$

3° Le coefficient de couplage K de deux bobinages de coefficients de self-induction L_1 et L_2 a pour expression :

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

M étant le coefficient d'induction mutuelle. Le maximum est obtenu pour :

$$M = \sqrt{L_1 L_2}.$$

Soit L_1 la self-effective de l'antenne, L_2 le bobinage d'accord, L la self du circuit secondaire, on aura :

$$K = \frac{\sqrt{L L_2}}{\sqrt{L(L_2 + L_1)}} \text{ (fig. 28)}$$

$$K = \sqrt{\frac{L_2}{(L_2 + L_1)}} = \sqrt{\frac{150}{150 + 18,8}} = 0,94.$$

CHAPITRE XIX

LA DÉTECTION ET LES DÉTECTEURS

CARACTÉRISTIQUES DES DÉTECTEURS.

Lorsqu'on étudie le courant traversant un conducteur en fonction de la différence de potentiel appliquée, en ayant recours à la méthode graphique, on obtient une droite représentative si le conducteur suit la loi d'Ohm.

Si R est la résistance du conducteur, V la tension appliquée, I le courant, l'équation de la loi d'Ohm est de la forme :

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1}{R} V.$$

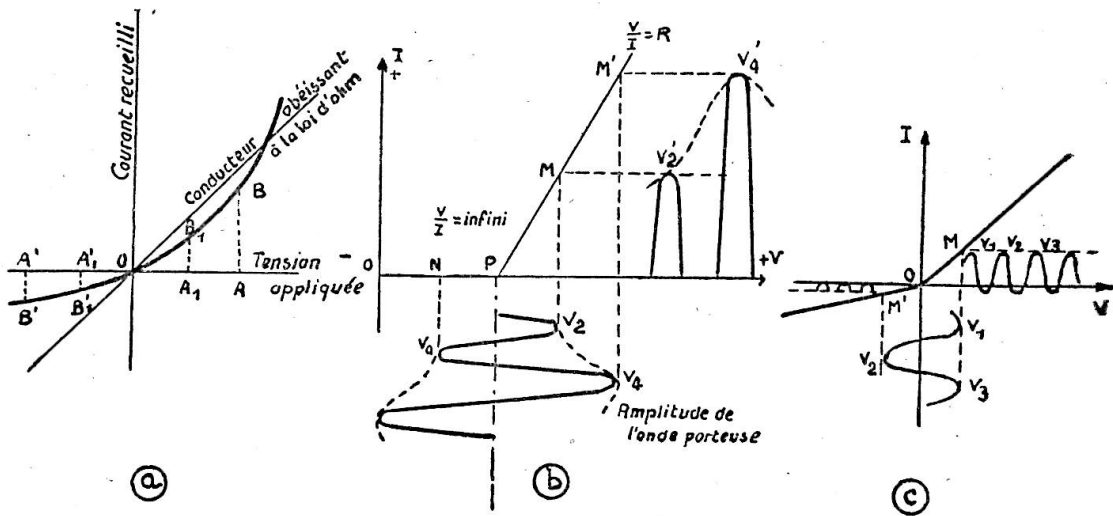


FIG. 29

Équation d'une droite ($y = ax$) dont le coefficient angulaire est $\frac{1}{R}$.

Lorsqu'on applique une tension sinusoïdale à ce conducteur, les deux alternances sont reproduites de la même façon ; les tensions à la sortie sont proportionnelles à celles appliquées à l'entrée.

Avec un détecteur, le courant n'est pas proportionnel à la différence de potentiel ; la différence de potentiel au passage du courant n'est pas la même suivant le sens du courant.

Un système détecteur est reconnaissable à ce qu'il ne suit pas la loi d'Ohm.

La caractéristique du détecteur est la courbe tracée en étudiant les variations du courant moyen correspondant aux variations de tension.

Un détecteur parfait, ou *linéaire*, aurait une caractéristique formée de deux droites dont l'une constituée par l'axe des abscisses (fig. 29), et, en pratique, par deux demi-droites.

Un détecteur parabolique quadratique a pour caractéristique une courbe parabolique d'équation $y = ax^2$; les tensions recueillies sont alors proportionnelles au carré des tensions appliquées.

FORMULES DES DÉTECTEURS.

Dans le cas de la détection linéaire parfaite, si l'on fait agir sur le détecteur des oscillations qui sont redressées complètement, et permettent de recueillir uniquement des oscillations positives d'amplitude I_m , la quantité d'électricité traversant le système par seconde a pour valeur :

$$Q = \frac{I_m}{\pi}.$$

Si R est la résistance du détecteur, et V l'amplitude de la tension positive appliquée aux bornes, on a, d'autre part :

$$I_m = \frac{V}{R}.$$

Lorsque le détecteur est traversé par le courant, il y a perte d'énergie électrique par effet Joule ; la puissance perdue dans le détecteur a pour expression :

$$P = \frac{RI_m^2}{4}.$$

Lorsqu'on monte un détecteur en série avec une source de courant alternatif dans un circuit, on démontre que, pour obtenir un rendement maximum, l'impédance de charge doit avoir une valeur comparable à celle du détecteur. Une moitié de la puissance du courant détecté est dissipée dans le détecteur, et l'autre moitié dans l'impédance de charge.

CHOIX DES ÉLÉMENTS DE DÉTECTION.

Dans le circuit de sortie d'un détecteur, se trouve généralement une résistance R , aux bornes de laquelle on recueille la tension détectée. Pour éliminer la composante haute fréquence, on emploie de plus une capacité C (fig. 30).

La constante de temps CR de ce système résistance-capacité de détec-

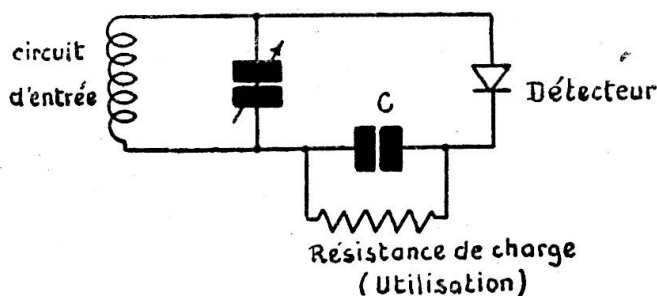


FIG. 30

tion doit être beaucoup plus grande que la période de la tension haute fréquence à redresser.

APPLICATIONS

200. — *Un détecteur présente dans un sens une résistance de 3.000 ohms, et une résistance infinie en sens contraire. On dispose ce détecteur aux bornes d'un bobinage d'accord.*

1° *Quelle est l'intensité du courant traversant le système, lorsque la tension aux bornes du bobinage est de 1.000 microvolts ?*

2° *Quelles sont la quantité d'électricité qui passe par seconde à travers le détecteur, et la puissance dissipée dans celui-ci ?*

SOLUTION. — 1° Le détecteur considéré est, d'après l'énoncé, un détecteur linéaire parfait ; l'amplitude des alternances positives du courant a donc pour expression :

$$I_m = \frac{V}{R}.$$

V étant la tension appliquée, et R la résistance du détecteur. D'où :

$$I_m = \frac{1.000 \sqrt{2}}{3.000} = \frac{1,41}{3} = 0,47 \text{ microampère.}$$

2° La quantité d'électricité qui passe par seconde dans le détecteur a pour expression :

$$Q = \frac{I_m}{\pi} = \frac{0,47}{3} = 0,15 \text{ microcoulomb par seconde.}$$

La puissance dissipée dans le détecteur a pour expression :

$$\begin{aligned} P &= \frac{RI_m^2}{4} = \frac{2.000 \times (0,47)^2}{4} = \frac{2.000 \times 0,22}{4} \\ &= \frac{440}{4} = 110 \text{ microwatts.} \end{aligned}$$

201. — *On dispose en série dans un circuit une source électrique continue de force électromotrice constante, une résistance fixe de 2.000 ohms, et une résistance variable.*

1° *Quelle valeur faut-il attribuer à la résistance variable, pour que la puissance absorbée soit maxima ?*

2° *La résistance fixe est remplacée par un détecteur, et la résistance variable par une résistance d'utilisation. Quelle devra être la valeur de cette résistance pour obtenir le meilleur résultat ? Comment est répartie la puissance du courant détecté ?*

SOLUTION. — 1° Pour que la puissance absorbée soit maximum, il faut que la résistance variable ait la même valeur que la résistance fixe, soit 2.000 ohms.

2° La résistance d'utilisation doit avoir même valeur que celle du détecteur. La moitié de la puissance du courant détecté est dissipée dans le détecteur.

202. — *On utilise deux redresseurs, dont l'un a une résistance de 500 ohms et l'autre de 200 ohms. On redresse un courant alternatif d'une tension efficace de 100 volts, et le courant redressé traverse une résistance d'utilisation de 200 ohms.*

Quelles sont les intensités respectives des courants obtenus avec les redresseurs ?

SOLUTION. — La tension maximum du secteur est de :

$$100 \sqrt{2} = 141 \text{ volts.}$$

Pendant une demi-période, tout se passe comme si la tension appliquée avait une valeur moyenne de :

$$141 \times \frac{2}{\pi} = 94 \text{ volts}$$

puisque la valeur moyenne de $\sin x$ entre $x = 0$ et $x = \pi$ est $\frac{2}{\pi}$.

Le système redressant une alternance sur deux, la valeur moyenne de la tension pendant une période est de :

$$94 : 2 = 47 \text{ volts.}$$

La résistance totale avec le premier redresseur est de $200 + 500$ et avec l'autre de $200 + 200$ ohms. Les intensités respectives sont donc :

$$I_1 = \frac{47}{200 + 500} = 67 \text{ milliampères}$$

$$I_2 = \frac{47}{200 + 200} = 117 \text{ milliampères.}$$

203. — *Un détecteur comporte dans son circuit un système résistance-capacité composé d'une capacité de 0,1/1.000 de microfarad et d'une résistance de 500.000 ohms. On veut redresser une tension haute fréquence de 200 Kcs ; pourra-t-on obtenir ce résultat avec les valeurs de capacité et de résistance choisies ?*

SOLUTION. — La constante de temps du système CR résistance-capacité de détection a pour valeur :

$$CR = \frac{0,1}{10^9} \times 500.000 = \frac{0,5}{10^4} = 5/100.000 \text{ de seconde.}$$

La période :

$$T = \frac{1}{F} = \frac{1}{200.000} \text{ de seconde} = \frac{5}{1.000.000} \text{ de seconde.}$$

La constante de temps est donc 10 fois plus grande que la période des oscillations à redresser, et les valeurs choisies conviennent bien.

204. — *Une antenne unifilaire mise à la terre, de 30 mètres de long, possède une capacité propre de 1,5/1.000 de microfarad. On dispose à la base de cette antenne un bobinage L.*

1° *Quelle doit être la valeur du coefficient de self-induction de ce bobinage pour que le système soit accordé sur une longueur d'onde de 500 mètres ?*

2° *On monte un détecteur aux bornes de ce bobinage.*

Quels sont le courant dans l'antenne, et la différence de potentiel aux bornes du bobinage, la force électromotrice dans l'antenne étant de 200 microvolts, et sa résistance de 100 ohms.

3° *Si l'on suppose que la résistance du détecteur dans un sens est de 2.000 ohms, et qu'elle est infinie dans l'autre, quelle est l'amplitude du courant à travers le détecteur ?*

SOLUTION. — 1° L'antenne a une longueur d'onde propre de :

$$\lambda_0 = 30 \times 4 = 120 \text{ mètres}$$

puisqu'elle vibre en quart d'onde.

La self-induction propre L_e de cette antenne satisfait à la relation :

$$\lambda_0 = 1.885 \sqrt{L_e C_e}$$

C_e étant la capacité propre. D'où :

$$120 = 1.885 \sqrt{L_e \times \frac{1,5}{10.000}}$$

On en tire :

$$L_e = 27 \text{ microhenrys.}$$

Pour obtenir l'accord sur une longueur d'onde de 500 mètres, il faut utiliser une self-induction totale indiquée par la relation :

$$500 = 1.885 \sqrt{L_t \times \frac{1,5}{10.000}}$$

On en tire :

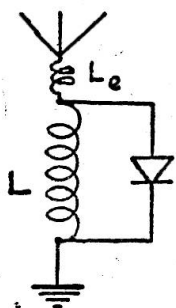
$$L_t = 469,5 \text{ microhenrys.}$$

Il faut donc utiliser un bobinage de :

$$469,5 - 27 = 442,5 \text{ microhenrys.}$$

2° Le courant I dans l'antenne a pour valeur le quotient de la force électromotrice de 200 microvolts par la résistance, soit :

$$I = \frac{200}{100} = 2 \text{ microampères (fig. 31).}$$



La différence de potentiel aux bornes du bobinage a pour expression :

$$V_L = L\omega I$$

ω est la pulsation pour la longueur d'onde de 500 mètres, et a pour valeur :

FIG. 31

$$2\pi \times \frac{3 \times 10^8}{500} = 2\pi \times 600.000.$$

On a donc :

$$V_L = \frac{442,5}{10^6} \times 2\pi \times 600.000 \times 2 = 3.315 \text{ microvolts.}$$

3° Le courant à travers le détecteur a pour expression :

$$I_m = \frac{V}{R}.$$

V étant la tension appliquée, et R la résistance du détecteur :

$$I_m = \frac{3.315 \times \sqrt{2}}{2.000} = 2,2 \text{ microampères environ.}$$

205. — On intercale aux bornes d'un circuit accordé sur 500 mètres de longueur d'onde un détecteur à galène, présentant une résistance de 2.000 ohms dans un sens. Le bobinage est parcouru par un courant de 150 microampères, et son coefficient de self-induction est de 100 microhenrys.

On demande de calculer l'amplitude des alternances traversant le détecteur ?

SOLUTION. — La différence de potentiel aux bornes du bobinage a pour expression :

$$V_L = L\omega I$$

ω étant, comme pour le problème précédent, la pulsation correspondant à 500 mètres de longueur d'onde :

$$\omega = 2\pi \times \frac{3 \times 10^8}{500} = 2\pi \times 600.000.$$

On a donc :

$$\begin{aligned} V_L &= \frac{100}{10^6} \times 2\pi \times 600.000 \times 150 = 2\pi \times 6 \times 1.500 \\ &= 54.000 \text{ microvolts.} \end{aligned}$$

Le courant à travers le détecteur a pour expression :

$$I_m = \frac{V}{R} = \frac{54.000 \times \sqrt{2}}{2.000} = 38 \text{ microampères environ.}$$

206. — *On branche un détecteur aux bornes d'un condensateur monté dans un circuit secondaire d'accord, et aux bornes duquel on recueille une tension de 4 volts pour une longueur d'onde d'accord de 300 mètres. La puissance recueillie est de 0,25 milliwatt.*

Le détecteur présente une résistance de 2.000 ohms dans un sens, et une résistance infinie dans l'autre.

1° *Quelle est la forme du courant théorique dans le détecteur ?*

2° *Quelle est la puissance dissipée dans cet appareil ?*

SOLUTION. — 1° L'amplitude du courant traversant le détecteur a pour expression :

$$I_m = \frac{V}{R}$$

avec les notations précédentes.

Soit :

$$I_m = \frac{4 \times \sqrt{2}}{2.000} = 2\sqrt{2} \text{ milliampères} = 2,8 \text{ milliampères.}$$

La forme théorique de ce courant est indiquée sur la courbe de la figure 32.

2° La puissance dissipée dans le détecteur a pour expression :

$$P = \frac{RI_m^2}{4} = \frac{2.000 \times 2,8^2 \times 10^{-6}}{4} = 4 \text{ milliwatts.}$$

D'après l'énoncé, cette puissance *théorique* correspondant à un détecteur parfait serait donc plus grande que la puissance recueillie aux bornes du condensateur d'accord.

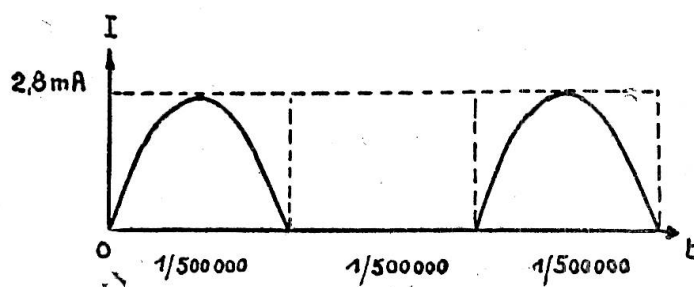


FIG. 32

La longueur d'onde d'accord étant de 300 mètres, la fréquence est de :

$$\frac{3 \times 10^8}{300} = 10^3 \text{ kilocycles} = 10^6 \text{ cycles-seconde.}$$

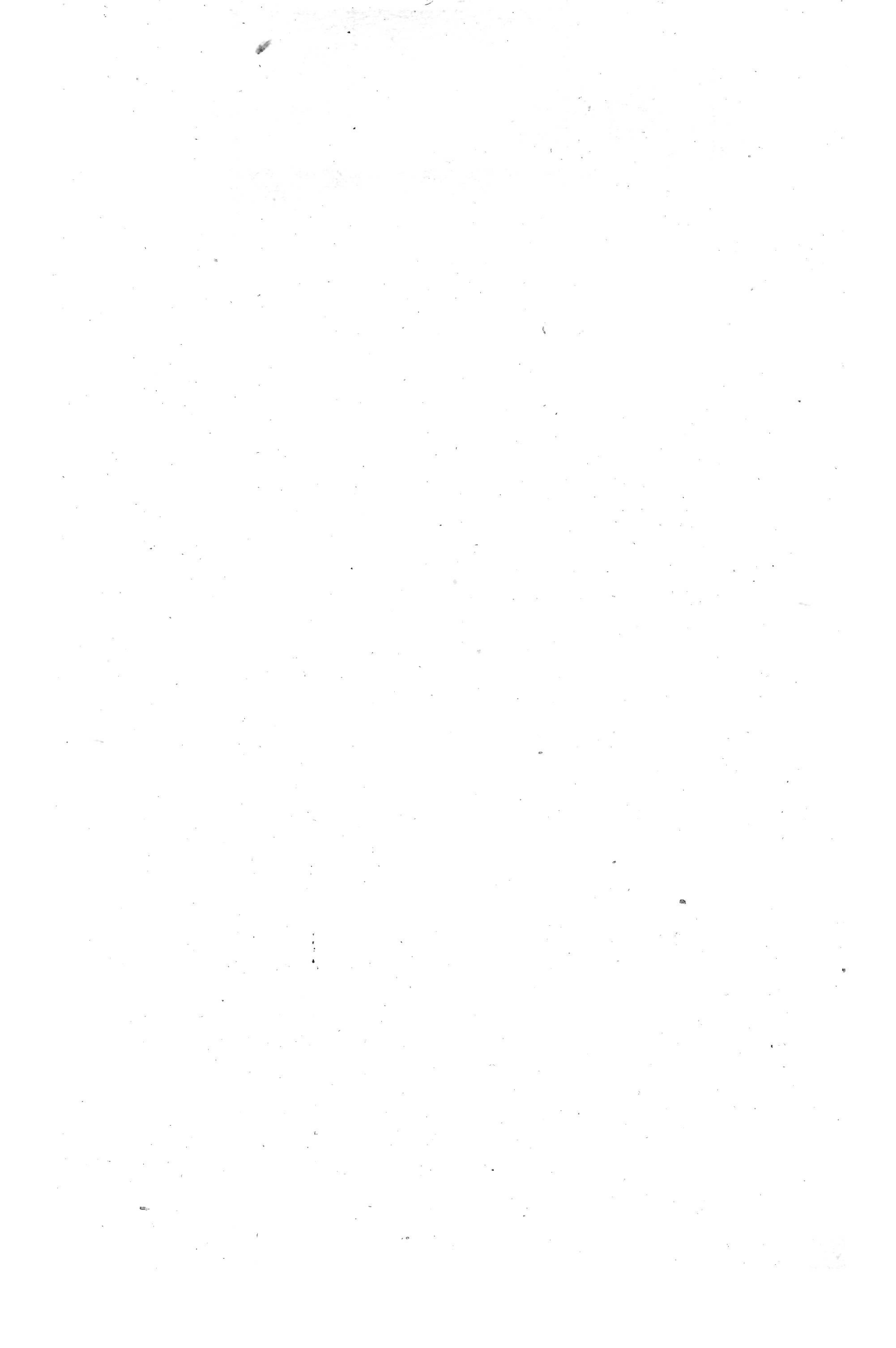
La période est de $1/1.000.000$ de seconde, et une alternance a une durée de $1/500.000$.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE DU TOME II	5
CHAPITRE XIII. — <i>Découverte et définition de l'onde hertzienne</i>	7
Unités de mesure des angles et des arcs	7
Relations entre les lignes trigonométriques	7
Formules générales	8
Valeurs usuelles des lignes trigonométriques	9
Equation de la courbe sinusoïdale et du mouvement vibratoire	9
Equation du mouvement pendulaire	11
Equation du courant alternatif sinusoïdal	11
Superposition des vibrations	12
Longueurs d'onde et fréquences	12
Correspondance entre les longueurs d'onde et les fréquences	13
Echelle des radiations	15
Première classification des ondes électriques	15
Applications (Problèmes 100 à 101)	16
CHAPITRE XIV. — <i>Constitution et propagation des Ondes de T. S. F.</i>	19
Champ magnétique et champ électrique	19
Vitesse de propagation	19
Lois de propagation	20
Applications (Problèmes 102 à 104)	21
CHAPITRE XV. — <i>Le circuit oscillant en T. S. F.</i>	23
Décharge d'un condensateur dans une résistance	23
Décharge oscillante d'un condensateur	23
Amortissement	23
Résonance	25
Impédance des circuits	26
Caractéristiques de résonance	26
Fréquences et longueurs d'onde propres	27
Sélectivité	28
Applications (Problèmes 105 à 137)	29
CHAPITRE XVI. — <i>Couplage et combinaison des circuits oscillants</i>	57
Couplage de deux bobines. Induction mutuelle	57
Couplage de deux circuits	58

Couplage électromagnétique.....	58
Couplage électrostatique.....	58
Couplage par résistance.....	59
Couplage de circuits accordés.....	59
Couplage critique.....	60
Filtres de bande.....	61
Oscillations libres de circuits couplés.....	61
Circuits-filtres.....	62
Applications (Problèmes 138 à 148).....	62
 CHAPITRE XVII. — <i>Collecteurs d'ondes. Antennes et cadres</i>	 73
Action à distance d'une antenne.....	73
Capacité et self-induction d'une antenne.....	74
Capacité et self effectives.....	75
Hauteur effective.....	76
Antenne homogène verticale.....	77
Antenne homogène rectiligne.....	78
Antenne à nappe horizontale.....	78
Antenne en parapluie.....	78
Antenne à fils divergents.....	78
Antenne verticale avec longue bobine de self.....	78
Antenne fictive.....	78
Caractéristiques de rayonnement.....	79
Vibrations d'une antenne.....	80
Longueur d'onde propre.....	82
Rayonnement et pouvoir collecteur d'un cadre.....	84
Hauteur effective d'un cadre.....	84
Calcul d'un cadre.....	85
Applications (Problèmes 149 à 168).....	86
 CHAPITRE XVIII. — <i>Les problèmes de la transmission en T. S. F. Accord et modulation</i>	 101
Problème de l'accord.....	101
Accord de l'antenne.....	101
Couplage indirect.....	103
Accord sur cadre.....	104
Différents montages d'accord.....	105
Production des ondes amorties.....	106
Poste à impulsion.....	107
Production des ondes entretenues.....	108
Taux de modulation.....	108
Bandes de fréquences.....	109
Puissance d'une oscillation modulée.....	110
Modulation à haute fréquence.....	110
Applications (Problèmes 169 à 199).....	110

CHAPITRE XIX. — <i>La détection et les détecteurs</i>	147
Caractéristiques des détecteurs	147
Formules des détecteurs.....	148
Choix des éléments de détection	148
Applications (Problèmes 200 à 206).....	149



Imprimé par R. BUSSIÈRE
à Saint-Amand (Cher), France. — 23-11-1944.

Dépôt légal : 4^e trimestre 1944.
N° d'édition : 2. N° d'impression : 104.

UN OUVRAGE INDISPENSABLE AUX RADIOTECHNICIENS

P.-L. COURIER

TOUTE LA T. S. F. EN 80 ABAQUES

**Cet ouvrage a été conçu suivant un plan
dont voici le sommaire**

	N° des Abaques
I. Circuits électriques à courant continu. Résistances	(1 à 9)
II. Circuits à courant alternatif, condensat	(10 à 14)
III. — — — bobines	(15 à 19)
IV. — — — divers	(30 à 34)
V. Circuits oscillants	(35 à 40)
VI. Tubes de T. S. F.	(41 à 44)
VII. Amplification des tubes	(44 à 45)
VIII. Amplification - Gain - Affaiblissement.....	(45 à 56)
XI. Amplification H. F.	(57 à 62)
X. Amplification B. F. - Haut-parleurs	(63 à 69)
XI. Réglage unique des récepteurs	(70 à 71)
XII. Alimentation des récepteurs.....	(72 à 80)

Un beau volume 220 × 280, cartonné

Prix : 150 francs

Etienne CHIRON, éditeur

40, Rue de Seine, PARIS — Chèq. Post. PARIS 53-35.

EN VENTE A LA MÊME LIBRAIRIE :

Abadie. — Les mesures en Radioélectricité.....	36 »
Baize (ing. en chef des P. T. T.). — La loi de protection contre les parasites.	10 »
— Guide de l'électricien pour l'élimination des parasites industriels	15 »
Chaumat et Lefrand. — Electrotechnique générale préparatoire à la T.S.F.	24 »
Chrétien (L.). — La T. S. F. sans mathématiques (Nouv. édition).....	60 »
— L'art du dépannage et la mise au point des postes de T. S. F. (Nouvelle édition revue et augmentée).....	76 »
— L'art des mesures en T. S. F.	55 »
— Ce que tout auditeur doit savoir des lampes de T. S. F.	24 »
— Etude et réalisation d'un poste à haute fidélité musicale	35 »
— A. B. C. du Radio-Service.....	12 »
— Théorie et Pratique de la Radioélectricité :	
Tome I. — Les Bases de la Radioélectricité, volume de 362 pages, broché.....	115 »
Tome II. — Théorie de la Radioélectricité, volume de 408 pages, broché.....	125 »
Tome III. — Pratique de la Radioélectricité, 500 p.....	125 »
Chrétien (L.) et Giniaux (G.). — Les haut-parleurs.....	27 »
David (P.). — Les parasites.....	18 »
Vegoix. — Cours Elémentaire de T. S. F. Tome I.	
— Le réglage automatique.....	24 »
— Les Postes à galène.....	30 »
Gory. — Comment soigner votre accumulateur.....	18 »
Hémardinquer. — Cours Elémentaire du Radio-Electricien.....	20 »
Laroche. — L'alphabet morse en 10 minutes.....	10 »
Le Corbeiller. — Electroacoustique.	35 »
Mesny. — Radio-Electricité générale.	
Tome I. — Etude des circuits et de la propagation	150 »
Tome II. — Fonctionnement des lampes	150 »
Emission et Réception	150 »

TÉLÉVISION

Kwal. — Les bases physiques de la télévision.....	36 »
La Télévision. — Tome I.....	40 »
— Tome II.....	40 »
Leuwin. — La Télévision expliquée	35 »

PÉRIODIQUES

LA T. S. F. POUR TOUS

Revue mensuelle intéressant
TECHNICIENS - PROFESSIONNELS - AMATEURS
de la Radioélectricité

ABONNEMENT : 90 francs pour 12 numéros