

P. HÉMARDINQUER

Ingénieur-Conseil

Chargé de Cours de l'Enseignement Technique

PROBLÈMES DE RADIOÉLECTRICITÉ

ACCOMPAGNÉS DE LEURS SOLUTIONS
ET D'EXERCICES D'APPLICATION

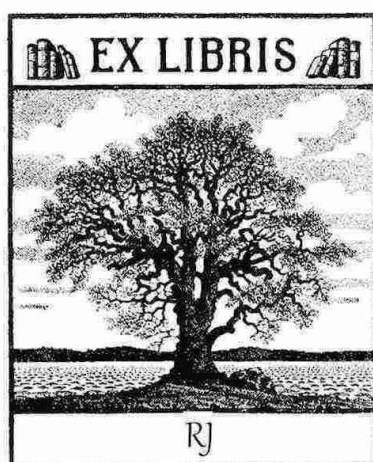
TOME I

ÉLECTROTECHNIQUE
ET
RADIOTECHNIQUE GÉNÉRALES

Sixième Édition

Revue et complétée

Étienne CHIRON, éditeur



numérisé en février 2026 par Serge Laffont , 300dpi

PROBLÈMES
DE
RADIOTECHNIQUE GÉNÉRALE

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

PROBLÈMES DE RADIOÉLECTRICITÉ

ACCOMPAGNÉS DE LEURS SOLUTIONS
ET D'EXERCICES D'APPLICATION

TOME I

ÉLECTROTECHNIQUE
ET
RADIOTECHNIQUE GÉNÉRALES

Sixième Édition
Revue et complétée

Étienne CHIRON, éditeur

LE PRÉSENT OUVRAGE
est le complément
du TOME I de
LA T. S. F. EN 30 LEÇONS
— ÉLECTROTECHNIQUE —
ET RADIOTECHNIQUE GÉNÉRALES

Chaque fascicule du cours « **La T. S. F. en 30 leçons** » est accompagné d'une série importante de problèmes et d'exercices, dont les sujets correspondent aux sujets mêmes traités dans les leçons. *Le fascicule du cours contient les énoncés des problèmes* ; des fascicules séparés renferment les corrigés détaillés des différents problèmes en même temps que des conseils nombreux pour leur solution, et des formulaires-mémentos des notions les plus indispensables.

L'étude et la solution de ces problèmes constituent pour tous ceux qui veulent étudier sérieusement les principes de la radioélectricité, quel que soit le but cherché, un travail efficace et nécessaire, n'exigeant, d'ailleurs, qu'un minimum de temps et de peine.

La solution des problèmes proposés peut aussi intéresser, évidemment, un élève ayant déjà suivi un autre cours, et qui pourra ainsi augmenter et préciser ses connaissances antérieures. Les corrigés détaillés sont très explicites, et permettent à l'élève de constater immédiatement la qualité des résultats trouvés par lui et de discerner les points faibles de ses connaissances.

*Tous droits de traduction et de reproduction,
même partielle, réservés.*

PRÉFACE

On peut distinguer entre les carrières administratives et les carrières industrielles de la radiotechnique. Parmi les premières, on peut citer celles d'opérateurs des P. T. T., de la marine marchande, de l'aviation commerciale pour le service aérien ou terrestre, de la police, etc. Les carrières industrielles sont encore plus nombreuses ; si l'ingénieur qui conçoit un type d'appareil et le met au point, doit évidemment être un radiotechnicien, le dépanneur, le monteur, le contremaître de fabrication, le vérificateur, et, même, le vendeur, doivent posséder aussi, à côté des connaissances manuelles, des connaissances techniques indispensables leur permettant de trouver plus aisément un emploi rémunérateur.

La radiotélégraphie et la radiophonie sont les applications les plus essentielles de la radiotechnique, mais ce ne sont plus les seules. L'amplification par les appareils à lampes à vide est utilisée pour la diffusion sonore (public-address), l'enregistrement des sons, la phonographie, et surtout la cinématographie sonore. Pour être ingénieur du son, ou opérateur projectionniste, il faut ainsi être également radiotechnicien.

Les cours nécessaires sont organisés dans des écoles spécialisées, mais l'accès à ces écoles, et, par conséquent, l'enseignement direct, sont rendus malheureusement souvent difficiles par l'éloignement des élèves, les difficultés de transport, et les conditions matérielles de séjour dans les villes où se trouvent ces établissements. Les artisans qui désirent perfectionner leurs connaissances ne peuvent, d'ailleurs, quitter leur travail, et se rendre à la ville uniquement dans ce but ; la seule solution réside alors dans l'adoption d'un *cours par correspondance*.

Pour qu'un cours de ce genre ait quelque valeur, il faut qu'il soit établi suivant des règles rationnelles, et bien adapté à l'esprit et aux connaissances antérieures de l'élève éventuel. Ce dernier, à son tour, doit consacrer à l'étude un temps limité par ses possibilités, mais un effort attentif et régulier.

Un cours par correspondance ne doit pas être seulement un exposé plus ou moins complet, mais impersonnel ; il doit comporter tout un ensemble d'exercices et de problèmes de *caractère pratique* qui obligent l'élève à mettre immédiatement en application les notions étudiées, à les condenser, en quelque sorte, dans son esprit, en lui permettant de se rendre compte s'il les a bien assimilées, et s'il peut, grâce à elles, résoudre toutes les questions posées journallement dans la pratique.

Il y a plusieurs années, « *La T. S. F. en Trente Leçons* » offrait aux pra-

ticiens de la T. S. F. le cours complet professé au Conservatoire National des Arts et Métiers. Les très nombreuses éditions qui se sont succédé chaque année, jusqu'à la guerre de 1939, n'avaient pas épuisé le succès immédiat qui accueillit cet ouvrage remarquable ; tous les exemplaires disponibles étaient complètement épuisés au commencement de 1940.

Le principe de ce livre était donc excellent, mais la radiotechnique a été transformée, elle est devenue plus complexe, et souvent plus difficile à exposer ; les matières à étudier sont beaucoup plus nombreuses. Il a donc fallu complètement refondre le texte primitif, et ce travail a été réalisé par des techniciens spécialisés.

Le nouveau cours complet de radioélectricité technique et pratique, constitué par la nouvelle « *T. S. F. en Trente Leçons* », divisée elle-même en paragraphes bien distincts qui en rendent plus facile la compréhension et l'étude, forme ainsi un ouvrage-type de cours par correspondance, pour tous ceux qui se destinent aux carrières de la radiotechnique, et peut servir à titre préparatoire ou de perfectionnement.

L'étude d'un tel cours, ou d'ouvrages analogues, n'est cependant pas suffisante en soi ; elle doit être accompagnée de l'examen d'exercices et de problèmes, dont les sujets se rapportent aux questions exposées dans la leçon correspondante. L'élève peut ainsi appliquer immédiatement les connaissances acquises, et se rendre compte s'il les a bien assimilées. La nécessité des exercices pratiques et des applications numériques illustrés de schémas se rapportant aux matières exposées est apparue indispensable à tous ceux qui ont enseigné ou étudié la radiotechnique.

Nous avons ainsi jugé utile de composer des *recueils de problèmes et d'exercices* se rapportant à toutes les questions étudiées dans un cours normal de radioélectricité technique et pratique, mais n'exigeant pour leurs solutions aucune connaissance de mathématiques supérieures.

L'étude et la solution de ces problèmes constituent pour tous ceux qui veulent étudier sérieusement les principes de la radioélectricité, quel que soit le but recherché, un travail efficace et nécessaire, n'exigeant, d'ailleurs, qu'un minimum de temps et de peine.

Les trois recueils de problèmes constituant cet ensemble comportent des sujets se rapportant aux fascicules correspondants de « *La T. S. F. en Trente Leçons* », mais la solution des problèmes posés peut évidemment être trouvée d'après les indications offertes par tout autre cours de radioélectricité un peu complet.

Le lecteur qui possède déjà un ouvrage technique et pratique de T. S. F. peut aussi utiliser ces fascicules de problèmes séparés, sans avoir à consulter spécialement « *La T. S. F. en Trente Leçons* ».

Les corrigés détaillés permettent à l'élève de vérifier immédiatement les solutions trouvées par lui.

Pour faciliter le travail, les problèmes sont classés par chapitres ou leçons correspondant chacun à un sujet déterminé, et, en tête de chaque chapitre, se

trouve un memento des principales formules essentielles à appliquer pour la solution des problèmes proposés.

Ce livre n'est, d'ailleurs, aucunement destiné à remplacer les séries de devoirs composés par les écoles de T. S. F. par correspondance spécialisées, pas plus que « *La T. S. F. en Trente Leçons* » n'en remplace les cours. Il peut servir, au contraire, à rendre plus facile et plus efficace le travail des élèves inscrits à ces écoles.

P. H.

CHAPITRE PREMIER

NOTIONS PRÉLIMINAIRES NOTATIONS ET SYMBOLES

ABRÉVIATIONS RADIOÉLECTRIQUES.

Les abréviations utilisées en radioélectricité sont indiquées dans le tableau ci-dessous ; le tableau suivant indique, d'autre part, les symboles des *grandeurs* habituellement employées.

A.	Antenne.	H. T.	Haute tension.
Ah.	Ampère-heure.	M. F.	Moyenne fréquence.
At.	Ampère-tour.	Micro.	Microphone.
Atm.	Atmosphère.	mn.	Minute.
B. F.	Basse fréquence.	N.	Pôle Nord, ou négatif.
B. T.	Basse tension.	O.	Centre ou origine.
C. O.	Circuit oscillant.	O. A.	Ondes amorties.
C. V.	Condensateur variable.	O. C.	Ondes courtes.
D.	Diamètre.	O. E.	Ondes entretenues.
d. d. p.	Différence de potentiel.	O. T. C.	Ondes très courtes.
E. M.	Électromagnétique, ou électromotrice.	P. O.	Petites ondes.
E. S.	Électrostatique.	P. U.	Pick-Up.
F. E. M.	Force électromotrice.	T. M. G.	Temps moyen de Greenwich.
G. O.	Grandes ondes.	T. P. S.	Télégraphie par le sol.
H. F.	Haute fréquence.	Tr.	Transformateur.
H. P.	Haut-parleur.	U. S. E.	Union des Syndicats de l'Élec- tricité.
A,	Travail (ou W).	S,	Pente des lampes (conductance mu- tuelle).
B,	Induction magnétique.	t,	Temps.
C,	Capacité.	T,	Période.
E,	Force électromotrice.	V,	Différence de potentiel.
f,	Fréquence.	W,	Énergie.
H,	Champ magnétique.	X,	Réactance.
I,	Courant.	Z,	Impédance.
K,	Constante diélectrique.	α, β, γ ,	Angles.
k,	Coefficient d'amplification.	λ ,	Longueur d'onde.
L,	Self-inductance.	μ ,	Perméabilité.
l,	Longueur.	ρ ,	Résistance interne des lampes.
m,	Masse.	ρ ,	Résistivité.
M,	Inductance mutuelle.	φ ,	Déphasage.
n,	Nombre de tours par unité de temps.	Φ ,	Flux magnétique.
N,	Nombre de spires d'un enroulement.	$\omega, \left(\frac{2\pi}{T}\right)$,	Pulsation.
°,	Température centigrade.		
P,	Puissance.		
Q,	Quantité d'électricité.		
R,	Résistance.		

ALPHABET GREC.

Un certain nombre de lettres grecques figurent comme symboles des grandeurs courantes. L'alphabet grec, avec les lettres romaines, et la prononciation correspondante, est indiqué dans le tableau ci-dessous.

Lettres romaines	Lettres grecques		Appellation
	Majuscules	Minuscules	
<i>a</i>	A	α	alpha
<i>b</i>	B	β	bêta
<i>g</i>	Γ	γ	gamma
<i>d</i>	Δ	δ	delta
<i>e</i>	E	ε	epsilon
<i>z</i>	Z	ζ	dzêta
<i>ê</i>	H	η	êta
<i>th</i>	Θ	θ	thêta
<i>i</i>	I	ι	iôta
<i>k, c</i>	K	κ	kappa
<i>l</i>	Λ	λ	lambda
<i>m</i>	M	μ	mu
<i>n</i>	N	ν	nu
<i>x</i>	Ξ	ξ	ksi
<i>o</i>	O	ο	omicron
<i>p</i>	Π	π	pi
<i>r</i>	P	ρ	ro
<i>s</i>	Σ	σ	sigma
<i>t</i>	T	τ	tau
<i>u, y</i>	Υ	υ	upsilon
<i>ph, f</i>	Φ	φ	phi
<i>ch</i>	X	χ	khi
<i>ψ</i>	Ψ	ψ	psi
<i>ω</i>	Ω	ω	oméga

SYMBOLES DES UNITÉS.

Les symboles des unités employés normalement en radioélectricité, électricité et acoustique, sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

A,	Ampère.	kVA,	Kilovolt-ampère.
mA,	Milliampère.	kWh,	Kilowatt-heure.
μA,	Microampère.	H,	Henry.
Ω ou Ω,	Ohm.	mH,	Millihenry.
MO ou MΩ,	Mégohm.	μH,	Microhenry.
μO ou μΩ,	Microhm.	C/s ou C : s,	Cycle par seconde.
KO ou KΩ,	Kilohm (mille ohms).	p : s,	Période par seconde.
F,	Farad.	Hz,	Hertz.
μF,	Microfarad.	Kc/s,	Kilocycle par seconde.
μμF,	Micromicrofarad.	KHz,	Kilohertz.
V,	Volt.	b,	Bel.
KV,	Kilovolt.	db,	Décibel.
mV,	Millivolt.	n,	Néper.
μV,	Microvolt.	dn,	Décinéper.
V : m,	Volt par mètre.	C,	Coulomb.
W,	Watt.	J,	Joule.
mW,	Milliwatt.	μ,	Micron (millième de mm.).
μW,	Microwatt.	Å,	Angstrom (dix millionième de mm.).
kW,	Kilowatt.	lu,	Lumen.
Wh,	Watt-heure.	lx,	Lux.
VA,	Volt-ampère.	bd,	Bougie décimale.
Ah,	Ampère-heure.		

RÈGLES DE FORMATION DES SYMBOLES COMPOSÉS.

1° Observer exactement les indications des tableaux précédents, en particulier pour le choix des lettres, et pour l'emploi des majuscules et des minuscules (Exemple : gr = grade, et non pas gramme ; M = Méga, et non pas mètre ; C = Coulomb, et non pas centime).

2° Écrire les symboles sans « s » au pluriel et sans point final (Exemples : 7 kg et non 7 kgs ; la lettre « s » est, en effet, réservée pour les secondes de temps).

3° Ne pas séparer le symbole du préfixe de celui de l'unité (Exemple : mm et non m/m ou m.m. D'après la règle n° 5, le symbole m/m représente une pente en mètre par mètre).

4° Lorsqu'un symbole composé représente le *produit* de deux symboles, séparer les deux symboles des composants par un point, signe de la multiplication (Exemples : couples en m.k.g. ; travail ou énergie en kg.m ou en k. W.h).

5° Lorsqu'un symbole composé représente le *quotient* de deux symboles, séparer les deux symboles composants par une barre inclinée, signe de la division (Exemples : pressions en kg/cm² ; vitesses en km/h).

6° Lorsqu'une grandeur est *à la fois le produit et le quotient* de deux autres, appliquer les deux règles précédentes (Exemples : consommation en g/ch.h ; puissance en kg.m/s).

7° N'inscrire les symboles qu'après les nombres, et non dans le corps du nombre (Exemples : 1,70 m et non 1, m 70 ; 57,25 f et non 57, f 25).

8° Pour les nombres entiers : séparer les tranches de trois chiffres à partir de la droite, par un espace blanc, et non par un point (Exemple 46 572, et non 46.572).

9° Pour les nombres fractionnaires : séparer la fraction décimale par une virgule, et séparer les tranches de trois chiffres, à partir de la virgule, par un espace blanc, et non par un point (Exemple : 0,325 76, et non 0,325.76).

10° Écrire en mêmes caractères, et sur une même ligne, les chiffres d'un nombre entier ou fractionnaire (Exemple : 3,75 et non 3,⁷⁵ ou 3⁷⁵). Les nombres décalés vers le haut représentent des exposants.

11° Ne jamais écrire les parties fractionnaires sous forme de fraction (Exemple : 0,5 et non 1/2).

ABRÉVIATIONS DANS LES FORMULES.

Parmi les lettres et signes les plus employés dans les formules, il est essentiel de rappeler les suivants :

$$= 3,1416 ; \quad \frac{1}{\pi} = 0,318 ; \quad \frac{\pi}{2} = 1,570 ; \quad \frac{\pi}{4} = 0,785.$$

$$e = 2,71828 ; \quad \log \cdot e = 0,4324 ; \quad \frac{1}{e} = 0,3678.$$

$$a^n = \overbrace{a \times a \times a \times a \times \dots}^n$$

L'exposant n indique combien de fois il faut multiplier par eux-mêmes les lettres ou les nombres correspondants.

$$a^{-2} = \frac{1}{a^2} \quad (a \text{ puissance moins } 2).$$

$$a^{-6} = \frac{1}{a^6} \quad (a \text{ puissance moins } 6).$$

$\sqrt{\dots}$ = racine carrée de... ; $\sqrt{a} = x$ parce que $x \times x = a$.

∞ signifie l'*infini* ou une quantité tellement grande qu'on ne peut lui assigner une valeur finie.

$\pm$ signifie plus ou moins.

$\neq$ signifie différent de.

$>$, $<$ signifie plus grand ou plus petit que, la pointe du signe étant dirigée vers la quantité la plus petite.

$\geq$, $\leq$ signifie plus grand ou égal à..., plus petit ou égal à...

$\cdot$ (entre les lettres) signifie multiplié par...

$:$ (entre les lettres) signifie divisé par...

$\approx$ signifie à peu près égal à...

LOGARITHMES.

Dans un système de base a , le logarithme par rapport à $a = x$ lorsque $y = a^x$, et on écrit $x = \log_a y$.

Les *logarithmes vulgaires* sont les systèmes à base 10, et les logarithmes népériens les systèmes à base $e = 2,71828$.

y , par définition $= e^x$ et $x = \log_e y$ (logarithme par rapport à e de y).

Pour passer d'un logarithme vulgaire au logarithme népérien, on multiplie le logarithme vulgaire par l'inverse du logarithme vulgaire de e , soit 2,3026.

La partie décimale, ou *mantisse*, est trouvée dans des tables. La caractéristique est déterminée par le nombre de chiffres précédant la virgule moins 1 pour les nombres plus grands que 1, et par la place occupée par la virgule pour les nombres plus petits que 1.

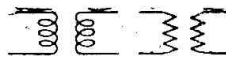
LECTURE DES SCHÉMAS.

Les symboles graphiques employés ne sont pas encore complètement uniformes dans les différents pays, ou même suivant les dessinateurs. On trouve cependant ci-dessous les tableaux indiquant les symboles les plus couramment employés dans les schémas français et américains.

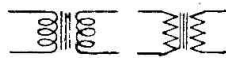
TABLEAU DES SYMBOLES GRAPHIQUES UTILISÉS DANS LES SCHÉMAS RADIOÉLECTRIQUES

Antenne.	
Ampèremètre.	
Batterie (électrode positive représentée par ligne longue).	
Condensateur fixe.	
Condensateur fixe blindé	
Condensateur variable.	
Condensateur variable (avec indication de la plaque mobile).	
Condensateur variable blindé.	
Contrepoids.	
Détecteur à cristal.	
Galvanomètre.	
Terre.	
Inductance.	
Inductance variable.	
Inductance variable (par bonds).	
Bobinage à noyau de fer.	
Jack.	
Cadre.	
Haut-parleur.	
Résistance.	
Résistance variable.	
Résistance ajustable par bonds.	
Récepteur téléphonique.	
Thermocouple.	

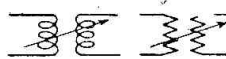
Transformateur sans fer.



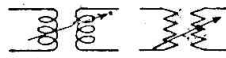
Transformateur à fer.



Transformateur à couplage variable.



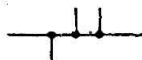
Le même avec indication de la bobine mobile.



Voltmètre.



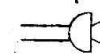
Fils connectés.



Fils non connectés.



Microphone.



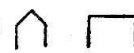
Ampoule de lampe à vide.



Ampoule de lampe à gaz.



Cathode chauffée directement ou filament de chauffage.



Cathode froide.



Cathode chauffée indirectement.



Cathode photo-électrique.



Cathode étendue à mercure.



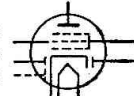
Grille.



Plaque.



EXEMPLES. — Duo-diode pentode à chauffage indirect avec connexion interne entre les grilles 1 et 3. Les plaques de la diode peuvent être placées d'un côté ou de l'autre de la cathode.



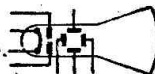
Tube à gaz à grille de contrôle avec cathode à mercure.



Cellule photo-électrique à gaz.



Tube à rayons cathodiques à déviation électrostatique.



APPLICATIONS

1. — Traduire en langage clair l'exposé suivant :

Le poste récepteur à étages M.F. établi suivant les règles de l'U.S.E. était muni d'un combinateur à quatre positions G.O., P.O., O.C., O.T.C., d'une prise P.U., et d'une prise pour H.P. supplémentaire.

Il était alimenté par une batterie B.T. d'une F.E.M. de 2 volts, et par une batterie H.T., d'une F.E.M. de 100 volts, d'une capacité de 20 A.H. L'accord était obtenu par un C.V. double à éléments de 0,5/1.000 de microfarad accordant les C.O. d'antenne et d'oscillatrice. La réception fut obtenue à 8 heures T.M.G.

SOLUTION. — Reportons-nous à un tableau des abréviations radioélectriques, nous trouvons immédiatement le sens des abréviations figurant dans l'exposé donné, qui devient ainsi :

Le poste récepteur à étages moyenne fréquence établi suivant les règles de l'Union des Syndicats de l'Électricité était muni d'un combinateur à 4 positions, grandes-ondes, petites-ondes, ondes-courtes, ondes-très-courtes, d'une prise de pick-up, et d'une prise pour haut-parleur supplémentaire.

Il était alimenté par une batterie basse tension, d'une force électromotrice de 2 volts, et une batterie haute tension d'une force électromotrice de 100 volts, et d'une capacité de 20 ampères-heure.

L'accord était obtenu par un condensateur variable double à éléments de 0,5/1.000 de microfarad accordant les circuits oscillants d'antenne et d'oscillatrice. La réception fut obtenue à 8 heures, temps moyen de Greenwich.

2. — Indiquer les différences existant entre les symboles suivants :

l et L, m et M, α et λ , φ et Φ , ρ et μ , t et T, n et N, k et K, V et W.

SOLUTION. — Il est facile de voir sur un tableau les différences demandées existant entre les divers symboles de grandeurs électriques et radioélectriques.

l est le symbole de longueur, et *L* le symbole de self-inductance, ou coefficient de self-induction.

m est le symbole de masse, et *M* le symbole d'inductance mutuelle ou coefficient d'induction mutuelle.

α est le symbole d'un angle, et λ de la longueur d'onde.

φ est le symbole de déphasage d'un phénomène périodique, et Φ le symbole de flux magnétique.

ρ est le symbole de résistivité (coefficient spécifique de résistance) ou de résistance interne d'une lampe, μ est le symbole de perméabilité magnétique pour les noyaux de fer.

t est le symbole de temps, *T* est le symbole de période, dans les mouvements vibratoires périodiques.

De même, n est le symbole du nombre de tours par unité de temps, ou du nombre de spires par centimètre, N le symbole du nombre de spires total d'un enroulement.

k est le symbole de coefficient d'amplification d'une lampe, K le pouvoir inducteur spécifique, ou constante diélectrique, des isolants ; V , enfin, le symbole de différence de potentiel ou de tension, W le symbole d'énergie électrique ou de travail.

On voit, par ces exemples, combien les significations de symboles analogues peuvent être différentes.

3. — *Comment se lit la formule arbitraire suivante :*

$$\lambda = 2\pi\mu - 4\Omega\theta \times \varphi\delta ?$$

SOLUTION. — Un tableau de l'alphabet grec nous indique comment on doit lire, et prononcer, la formule arbitraire indiquée contenant des lettres grecques :

Lambda égale deux pi mu moins quatre oméga thêta multiplié par ro delta.

4. — *La phrase suivante vous semble-t-elle écrite correctement ? Sinon, indiquer les fautes commises.*

Le poste, pesant 6 Kgs, avait une largeur de 1/2 M, et une hauteur de 0 m 30 ; l'épaisseur du boîtier était de 10 m/m. La consommation était de 1 H.w.H., ce qui correspondait à une dépense de 20 Cs par heure.

SOLUTION. — Rappelons-nous les règles exactes d'écriture des symboles des unités, et de formation des symboles composés, ou considérons les tableaux qui les indiquent.

En lisant attentivement les phrases proposées, nous nous apercevons ainsi que les expressions : 6 Kgs, 1/2 M, 0 m 30, 10 m/m, 1 H.w.H, 20 Cs, sont incorrectes.

D'après la règle n° 2 de formation et d'écriture des symboles des unités, on doit écrire : 6 kg et non 6 Kgs.

De même, d'après la règle n° 1, on doit écrire pour le symbole du mètre : m, et non M, qui signifie méga, et la règle n° 11 nous indique qu'il faut écrire : 0,5 m et non 1/2 M. Il faut, de même, écrire : 0,30 m (règle n° 7).

La règle n° 3 montre qu'il faut écrire : 10 mm et non 10 m/m. De même, toujours d'après la règle n° 1, il faut écrire : 1 hWh.

Enfin, 20 Cs signifierait 20 coulombs, et, encore, il faudrait supprimer l's, d'après les règles 1 et 2.

La phrase proposée doit donc s'écrire finalement, d'une manière correcte :

Le poste, pesant 6 kg, avait une longueur de 0,50 m, et une hauteur de 0,30 m ; l'épaisseur du boîtier était de 10 mm. La consommation était de 1 hWh, ce qui correspondait à une dépense de 0,20 f par heure.

5. — Calculer les expressions : π^{-3} , 10^{-4} , e^{-1} .

SOLUTION. — Ces petits calculs constituent des applications immédiates de la définition des exposants indiquée au paragraphe 4 de la leçon n° 1.

Par définition, $\pi^{-3} = \frac{1}{\pi^3}$, et nous savons que $\pi = 3,1416$.

$$\pi^3 = 3,1416 \times 3,1416 \times 3,1416 = 31,006$$

$$\frac{1}{\pi^3} = \frac{1}{31,006} = 0,032.$$

De même : $10^{-4} = \frac{1}{10^4} = \frac{1}{10.000} = 0,0001.$

Enfin : $e^{-1} = \frac{1}{e}.$

Nous savons que : $e = 2,71828$

$$\frac{1}{e} = \frac{1}{2,718} = 0,3678.$$

6. — On étudie les variations d'intensité du courant produit par une machine électrique, au cours d'une expérience de 2 heures, et l'on trouve les résultats suivants :

2 heures : 4 ampères ; 2 heures 1/4 : 4,5 ampères ; 2 heures 1/2 : 4,3 ampères ;
2 heures 45 : 4,2 ampères ; 3 heures : 4,1 ampères ; 3 heures 15 : 4 ampères ;
3 heures 30 : 4 ampères ; 3 heures 45 : 3,7 ampères ; 4 heures : 3,5 ampères.

Tracez la courbe représentant les conditions de l'expérience, et interprétez ces résultats en langage clair. — Quelle est l'intensité du courant obtenu à 3 heures 40 ?

SOLUTION. — Nous tracerons sur une feuille de papier deux axes rectangulaires. Sur l'axe horizontal, nous indiquerons les graduations du temps en heures et quarts d'heure, en prenant une unité arbitraire, 2 cm par heure, par exemple.

L'origine de la graduation sera fixée en O, à l'intersection des deux axes ; elle correspondra donc à 1 heure 30 par exemple. Sur l'axe horizontal des temps, nous marquerons ainsi 9 points représentatifs des moments où la mesure électrique d'intensité a été faite.

Sur l'axe vertical, nous indiquerons les intensités variant entre 3,5 et 4,5 ampères ; nous pouvons considérer l'origine O de la graduation à 3 ampères, par exemple (fig. 1).

Nous choisirons également une unité arbitraire qui représentera une variation de 1 ampère, 40 mm, par exemple, et nous tracerons ainsi une échelle verticale des intensités comprenant 8 points.

Au début de l'expérience, à 2 heures, l'intensité est de 4 ampères. Nous traçons une droite parallèle à l'axe vertical par le point de l'axe horizontal correspondant à 2 heures ; nous traçons également une droite parallèle à l'axe

horizontal, passant par le point de l'axe vertical correspondant à 4 ampères. Le point d'intersection de ces deux droites correspond à l'instant 2 heures, et à l'intensité 4 ampères ; il forme le premier point du graphique.

On obtient, de la même manière, 8 autres points, pour les autres résultats de l'expérience ; on réunit ces points par des droites, et on obtient finalement une ligne brisée, qu'on peut plus ou moins assimiler à une courbe continue, en supposant qu'entre les moments où la mesure est effectuée, l'intensité varie proportionnellement au temps écoulé.

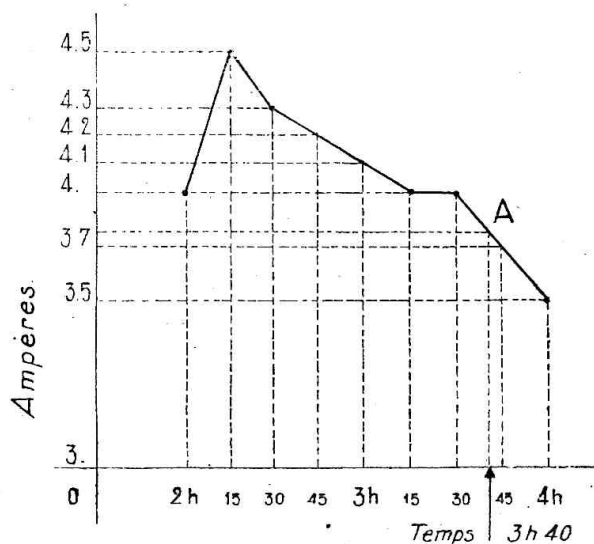


FIG. 1.

La courbe nous montre immédiatement une progression très rapide de l'intensité au début de l'expérience, jusqu'au maximum 4,5 ampères, puis, une décroissance progressive, avec un palier d'arrêt suivi finalement d'un abaissement rapide.

Le graphique permet de connaître approximativement l'intensité à des heures où la mesure n'a pas été faite. Pour déterminer cette intensité à 3 heures 40, on trace une verticale par le point représentatif de 3 heures 40 sur l'axe horizontal ; cette verticale rencontre le graphique en un point A. En traçant une horizontale par ce point, l'intersection avec l'axe vertical nous indique l'intensité 3,8 ampères cherchée.

7. — *Comment indique-t-on sur un schéma l'organe mobile d'un condensateur variable, ou d'un transformateur à couplage variable ? Comment distingue-t-on sur les schémas une résistance variable progressivement d'une résistance ajustable par bonds ? Tracez le symbole graphique d'une double-diode-triode, à cathode chauffée directement.*

SOLUTION. — Un tableau des symboles graphiques montre comment on distingue sur un schéma les lames mobiles d'un condensateur variable, ou la

bobine mobile d'un transformateur à couplage variable. Cette distinction est effectuée au moyen d'un point appliqué sur une armature, ou sur une bobine, à l'intersection de cette armature ou d'une bobine, avec la flèche oblique indiquant la variation de la capacité ou du couplage (fig. 2A et 2B).

De même, nous voyons sur le tableau la différence existant entre le symbole d'une résistance variable progressivement, et d'une résistance ajustable par bonds. Le premier symbole comprend une flèche oblique indiquant la variation, et le deuxième une flèche verticale, dont la pointe s'appuie le long de la ligne brisée symbole de la résistance (fig. 2C).

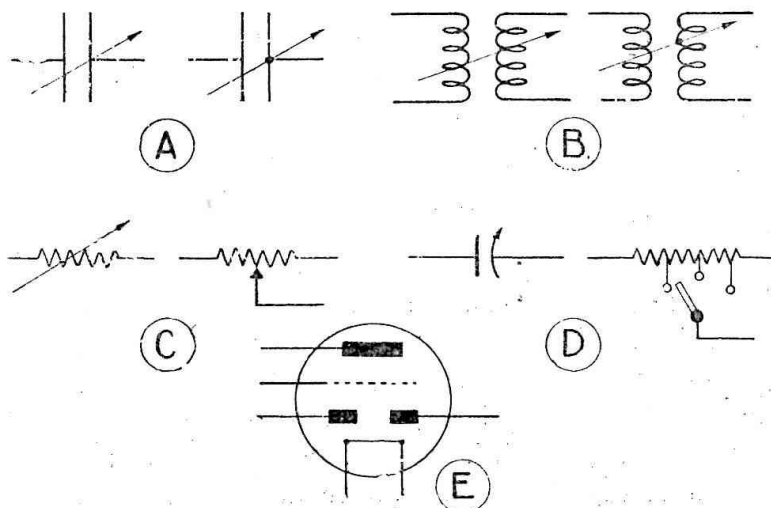


FIG. 2.

Nous remarquerons, d'ailleurs, que, sur certains schémas français, la partie mobile du condensateur variable est représentée par une ligne courbe, et la partie fixe par une ligne droite. De même, une résistance variable par bonds peut être représentée à l'aide de prises sur la résistance et de plots reliés à ces prises, pouvant être mis en contact par une manette, comme il est indiqué par la figure ci-contre 2D.

Pour tracer, enfin, le symbole graphique d'une lampe duo-diode-triode, à cathode chauffée directement, il faudrait sans doute connaître d'abord la définition d'une telle lampe, qui sera donnée dans un fascicule suivant de cet ouvrage. Nous pouvons cependant tracer, dès à présent, ce symbole, d'après l'exemple donné dans la troisième partie du tableau, et se rapportant à une duo-diode-pentode à chauffage indirect.

Puisque la lampe que nous voulons représenter est à chauffage direct, nous supprimerons simplement le trait horizontal avec connexion verticale représentant la cathode chauffée indirectement, et nous considérerons seulement la cathode (filament) chauffée directement et représentée par un trait horizontal avec deux connexions verticales à chaque extrémité.

L'élément pentode est remplacé, d'autre part, par l'élément triode, de sorte que les grilles 2 et 3 sont supprimées, comme le montre la figure 2E.

CHAPITRE II

PHÉNOMÈNES VIBRATOIRES

CARACTÉRISTIQUES DU MOUVEMENT VIBRATOIRE PÉRIODIQUE.

La période est l'intervalle de temps mis par le corps vibrant pour effectuer son mouvement complet, soit deux vibrations simples.

On a l'habitude de considérer le nombre de périodes par seconde, auquel on donne le nom de *fréquence*, et qui définit la rapidité de la vibration. Elle se mesure en *périodes par seconde*, *cycles par seconde*, *kilocycles*, et *mégacycles* par seconde ($1 \text{ Kc/s} = 1\,000 \text{ c/s}$; $1 \text{ Mc/s} = 1\,000\,000 \text{ c/s}$).

Si l'on appelle, en général, T la période d'un mouvement vibratoire, et F la fréquence, celle-ci représente le nombre de périodes pendant une seconde, d'où :

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

La fréquence est l'inverse de la période.

La pulsation ω est égale, d'autre part, à 2π fois la fréquence, et l'on a donc :

$$\omega = 2\pi F = \frac{2\pi}{T} = 6,28 F.$$

COMPOSITION DES OSCILLATIONS.

Si deux vibrations de fréquence F_1 et F_2 et d'amplitudes A_1 et A_2 se composent, l'oscillation complexe résultante a pour fréquence $F = \frac{F_1 + F_2}{2}$, et son amplitude varie dans le temps entre $A_1 + A_2$ et $A_1 - A_2$.

Une vibration complexe peut toujours être considérée comme la résultante d'une série de vibrations simples, et un phénomène non périodique de fréquence F peut être assimilé à la somme de plusieurs phénomènes simples sinusoïdaux de fréquences $2F$, $3F$, etc... kF , k étant un nombre entier.

DÉPHASAGE.

Si deux oscillations sont en phase, la différence de phase est nulle, égale à une période entière, ou à un nombre entier de périodes.

Si la différence de phase est de $\frac{T}{4}$, les oscillations sont en quadrature ; si elle est de $\frac{T}{2}$, les vibrations sont en opposition.

APPLICATIONS

8. — *Un ressort vibre avec une fréquence de 100 oscillations complètes par seconde. Quelle est la période du mouvement vibratoire, et quelle est la pulsation ? Combien y a-t-il d'alternances par seconde ?*

SOLUTION. — La solution du problème est immédiate, en nous reportant aux définitions des caractéristiques du mouvement oscillatoire périodique.

La période T est l'intervalle de temps mis par le corps vibrant pour effectuer son mouvement complet, et la fréquence F est définie, d'autre part, comme le nombre de périodes par seconde. La fréquence est ainsi représentée par un nombre inverse de la période.

Si le ressort vibre avec une fréquence de 100 oscillations complètes, c'est-à-dire de 100 périodes par seconde, la période du mouvement vibratoire est évidemment de $1/100^e$ de seconde.

La pulsation du mouvement vibratoire est définie, d'autre part, par rapport à F et à T , et cette pulsation ω est, par définition :

$$\omega = 2\pi F = \frac{2\pi}{T} = \text{environ } 6,28 F.$$

La pulsation est donc ici : $6,28 \times 100 = 628$.

Enfin, toujours d'après les mêmes définitions, le ressort dans son mouvement d'oscillation complet, pendant chaque période, c'est-à-dire le temps au bout duquel en se déplaçant il repasse à la même position, et dans le même sens, décrit deux vibrations simples ; il se produit ainsi deux alternances par période. La durée d'une alternance est la moitié de celle d'une période, et, par seconde, il y a deux fois plus d'alternances qu'à périodes, soit ici 200 par seconde.

CHAPITRE III

NOTIONS D'ACOUSTIQUE

SONS SIMPLES ET COMPLEXES.

Les *sons musicaux complexes* comportent une série d'*harmoniques* accompagnant le son fondamental, et dont la fréquence est un multiple simple de la fréquence de ce son fondamental. Tout son musical complexe de fréquence déterminée peut être décomposé en sons simples élémentaires.

PROPAGATION DU SON. ET ONDES SONORES.

La vitesse de propagation du son dans l'air à 15° est d'environ 340 mètres à la seconde. Dans l'eau, elle est quatre fois plus forte que dans l'air. En espace libre, et pour un son simple, l'intensité du son est inversement proportionnelle au carré de la distance parcourue par l'onde depuis le point d'origine.

En général, si l'on appelle λ la longueur d'onde d'une radiation, V la vitesse de propagation de la radiation, et T la durée d'une période complète, ces trois grandeurs sont liées les unes aux autres par la formule

$$\lambda = V T \text{ ou encore } \lambda = \frac{V}{F}, \text{ si } F \text{ est la fréquence de la vibration sonore.}$$

On en déduit la *longueur d'onde sonore* correspondant à tout son de hauteur donnée, d'après la période ou la fréquence et la vitesse de propagation du son dans l'air, soit 340 mètres à la seconde.

Lorsque les fréquences f_1 et f_2 de deux ondes sonores sont légèrement différentes, il peut se produire une suite de renforcements et d'extinctions du son, ou *battements*, dont la fréquence est égale à la différence des fréquences des deux ondes sonores :

$$F = f_1 - f_2.$$

INTENSITÉ MÉCANIQUE ET INTENSITÉ AUDITIVE DU SON.

L'effet mécanique d'un son en un point donné peut se mesurer par la valeur de la pression efficace en ce point :

$$P_{\text{eff}} = \frac{P_{\text{max}}}{\sqrt{2}}.$$

Plus généralement, on détermine l'intensité mécanique par la puissance rayonnée à travers l'unité de surface :

$$P' \text{ (microwatts)} = \frac{p^2}{415} \text{ (baryes).}$$

Enfin, l'énergie rayonnée pendant une seconde par une source d'intensité P' et de surface S est égale à :

$$P' \times S \text{ (centimètres carrés) évaluée en microwatts.}$$

L'intensité mécanique du son est reliée à l'intensité auditive par la loi de Fechner, suivant laquelle la sensation varie comme le logarithme de l'excitation.

Soient S_0 et S les intensités auditives de deux sons, P_0 et P les intensités mécaniques correspondantes, cette relation s'exprime par la formule :

$$\frac{S}{S_0} = \log \cdot \frac{P}{P_0}.$$

DÉFINITION DU BEL ET DU DÉCIBEL.

Deux sons diffèrent de 1 bel lorsque leurs intensités mécaniques sont dans le rapport de 10 à 1, et deux sons diffèrent de n bels lorsque leurs intensités mécaniques sont dans le rapport de 10 n .

Si P_0 et S_0 sont l'intensité mécanique et l'intensité auditive d'un premier son de référence, P et S les intensités respectives d'un deuxième son, cette définition s'exprime par la formule :

$$\frac{S}{S_0} = \log \cdot \frac{P}{P_0} = n \text{ (bels).}$$

Deux sons diffèrent de 1 décibel lorsque leurs intensités physiques sont dans le rapport de 1 à $10^{0,1}$ ($\sqrt[10]{10}$ ou 1,259) ; deux sons diffèrent de 10 ($\log. n$) décibels, lorsque leurs intensités sont dans le rapport n .

Cette définition s'exprime avec les mêmes notations, par la formule :

$$\frac{S}{S_0} = \log \cdot \frac{P}{P_0} = n \text{ (décibels).}$$

Le neper est le rapport de logarithmes obtenus en prenant pour base $e = 2,71828$; on emploie aussi le *décineper*, et le tableau de correspondances ci-dessous donne les valeurs utiles pour la conversion des différentes unités acoustiques.

Multipliez les valeurs exprimées en unités ci-dessous par les nombres du tableau, pour avoir les valeurs en :

	Népers	Décinépers	Bels	Décibels
Népers	—	10	0,8686	8,686
Décinépers	0,1	—	0,08686	0,8686
Bels	1,151	11,51	—	10
Décibels	0,1151	1,151	0,1	—

USAGES DU DÉCIBEL.

Si deux sons ont des intensités auditives de n_1 et n_2 bels par rapport à une base conventionnelle, le rapport de leurs intensités mécaniques correspondantes en microwatts/centimètre carré est égal à $\frac{10^{n_2}}{10^{n_1}}$.

Si l'on considère les pressions sonores p et p_0 en baryes, au lieu des puissances rayonnées, le rapport des pressions est égal à :

$$n \text{ (décibels)} = 20 \log \cdot \frac{p}{p_0}.$$

Si un amplificateur permet d'obtenir un gain d'amplification de n décibels, cela veut dire que le rapport des puissances électriques P_0 et P à l'entrée et à la sortie, est exprimé par la formule :

$$n \text{ (décibels)} = 10 \log \cdot \frac{P}{P_0}.$$

INTERVALLE DE PUISSANCE SONORE.

L'intervalle de puissance sonore est l'intervalle entre les intensités du son le plus faible et du son le plus fort que l'oreille puisse percevoir, ou qui existe dans un système d'enregistrement ou de restitution des sons. Cet intervalle s'évalue en bels ou en décibels.

APPLICATIONS

9. — *Quelles sont les longueurs d'onde sonore pour des sons des différentes hauteurs suivantes :*

20 périodes-seconde, 100 périodes-seconde, 200 périodes-seconde, 500 périodes-seconde, 2.000 périodes-seconde, 20.000 périodes-seconde ?

SOLUTION. — Par définition, si l'on appelle λ la longueur d'onde sonore, V la vitesse de propagation du son, et T la durée d'une période complète, ces trois grandeurs sont reliées entre elles par la formule :

$$\lambda = VT.$$

Nous connaissons ici la vitesse de propagation dans l'air, qui est de 340 mètres à la seconde, nous pouvons donc déterminer immédiatement la longueur d'onde correspondant à tout son de hauteur donnée. Appliquons au cas actuel :

$$\lambda_1 = \frac{340}{20} = 17 \text{ mètres}$$

$$\lambda_2 = \frac{340}{100} = 3,4 \text{ mètres}$$

$$\lambda_3 = \frac{340}{200} = 1,7 \text{ mètres}$$

$$\lambda_4 = \frac{340}{500} = 0,68 \text{ mètre}$$

$$\lambda_5 = \frac{340}{2.000} = 0,17 \text{ mètre}$$

$$\lambda_6 = \frac{340}{20.000} = 0,017 \text{ mètre.}$$

10. — Dans un récepteur de T. S. F., le régulateur d'intensité sonore permet de faire varier la puissance de sortie entre 0,1 watt et 5 watts. — Indiquez l'intervalle de puissance sonore correspondant en décibels.

SOLUTION. — Les formules à utiliser sont déduites des formules mêmes de définition du bel et du décibel.

Soient P et P_0 les puissances de sortie dans la position d'intensité minima et d'intensité maxima du régulateur de volume sonore ; le rapport de ces puissances est, d'après l'énoncé :

$$\frac{P}{P_0} = \frac{5}{0,1} = 50.$$

Pour connaître l'intervalle de puissance sonore correspondant en décibels, il faut utiliser la formule :

$$n \text{ (décibels)} = 10 \log \cdot \frac{P}{P_0}.$$

D'où :

$$n = 10 \log \cdot 50 = 10 \times 1,69 = 16,9.$$

L'intervalle de puissance obtenu est donc de 16,9 décibels.

11. — En étudiant un poste au laboratoire, on constate que le commencement de l'audibilité (audition la plus faible possible) est obtenu pour une intensité physique sonore correspondant à une pression de $3 \cdot 10^{-3}$ baryes.

Le régulateur d'intensité sonore permet d'obtenir une variation de 40 décibels. Quelle est l'intensité physique la plus élevée que l'on peut obtenir exprimée en baryes ?

SOLUTION. — Si nous appelons p et p_0 les pressions sonores maxima et minima correspondant aux intensités physiques minima et maxima à obtenir, nous pouvons nous reporter à la formule bien connue concernant les pressions sonores en baryes, et donnant le rapport correspondant en décibels.

$$n \text{ (décibels)} = 20 \cdot \frac{p}{p_0}.$$

La variation d'intensité sonore prévue est ici de 40 décibels ; on a donc, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$40 = 20 \log \cdot \frac{p}{p_0} \quad \log \cdot \frac{p}{p_0} = \frac{40}{20} = 2.$$

D'après la définition même des logarithmes vulgaires de base 10 :

$$\frac{p}{p_0} = 10^2 \quad p = p_0 10^2 = 100 p_0.$$

D'après l'énoncé, l'intensité physique sonore minima correspond à une pression p_0 de $3 \cdot 10^{-3}$ baryes. L'intensité maxima obtenue sera donc 100 fois plus forte, soit $3 \cdot 10^{-1}$ baryes = 0,3 barye.

CHAPITRE IV

ÉLECTROSTATIQUE. — CONDENSATEURS

FORMULES ÉLÉMENTAIRES DES CAPACITÉS.

La capacité des condensateurs s'évalue en *farads* (F) ou plutôt en *microfarads* ($1/1.000.000$ de F : μF) ou *micromicrofarads* ($1/1.000.000$ de microfarad : $\mu\mu\text{F}$). La capacité est évaluée également en unités électrostatiques C. G. S., ou *centimètres*.

Le centimètre est un peu plus grand que le micromicrofarad, et la correspondance est donnée par la table ci-dessous.

Centimètres	Micro-microfarads	Millièmes de microfarad	Dix millièmes de microfarad
1.000	1.111	1,111	11,11
750	833	0,833	8,33
500	555	0,555	5,55
250	277	0,277	2,77
200	222	0,222	2,22
150	160	0,160	1,60
100	110	0,110	1,10
75	83,3	0,083	0,83
50	55	0,055	0,55
25	27	0,027	0,27
20	22,2	0,022	0,22
15	16	0,016	0,16
10	11	0,011	0,10
5	5,5	0,0055	0,055
2	2,2	0,0022	0,022
1	1,1	0,0011	0,011

La capacité C d'un condensateur en *centimètres C. G. S.* est indiquée par la formule suivante :

$$C = \frac{KS}{4\pi e} = \frac{KS}{12,5 e}.$$

Dans cette formule :

S = surface des armatures en regard en centimètres carrés.

e = épaisseur du diélectrique en centimètres.

K = pouvoir inducteur spécifique ou *constante diélectrique*.

Pour l'air $K = 1$. Pour le mica $K = 5$ à 8 .

La capacité C en *microfarads* est donnée par la formule :

$$C = \frac{KS}{4\pi e} \times \frac{1}{9 \times 10^5} = \frac{KS}{12,5e} \times \frac{1}{9 \times 10^5}.$$

Ce qui peut également s'écrire :

$$C = 0,0885 K \frac{S}{e} \times \frac{1}{10^6}.$$

CHARGE D'UN CONDENSATEUR.

Un condensateur d'une capacité C en farads, aux bornes duquel on établit une différence de potentiel égale à V en volts, absorbe une quantité d'électricité Q en coulombs indiquée par la formule :

$$Q = CV.$$

COUPLAGE DES CONDENSATEURS.

Les condensateurs peuvent être couplés en série, en parallèle, ou en série-parallèle.

Lorsque les condensateurs sont combinés en parallèle, la capacité totale C est la somme des capacités $c_1, c_2, c_3...$ réunies en parallèle. Ceci s'exprime par la formule :

$$C = c_1 + c_2 + c_3 + \dots$$

Quand les condensateurs sont groupés en série, l'inverse de la capacité de l'ensemble C est égal à la somme des inverses des capacités élémentaires : $c_1, c_2, c_3...$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3} + \dots$$

La capacité totale est plus petite que la plus petite des capacités élémentaires, et la plus petite capacité supporte la plus forte tension.

CAPACITÉ DES CONDENSATEURS DE FORMES SIMPLES.

Pour un condensateur formé de plaques métalliques semblables, empilées, séparées par des lames diélectriques, la capacité totale C en *microfarads* est donnée par la formule :

$$C = \frac{2N \times KS}{4\pi e} \times \frac{1}{9 \times 10^5}.$$

De même, la capacité totale en microfarads est aussi donnée par la formule :

$$C = 0,0885 \times \frac{K(N-1)S}{e} \times \frac{1}{10^6}.$$

Dans ces formules :

N = dans le premier cas, le nombre des armatures de chaque lame, et dans le deuxième le nombre total des lames.

S = surface des armatures en regard en centimètres carrés.

e = épaisseur du diélectrique en centimètres.

K = coefficient d'induction spécifique.

De même, pour un condensateur variable à lames semi-circulaires, la capacité C en microfarads est indiquée par la formule :

$$C = 0,139 K \frac{(N - 1)(r_1^2 - r_2^2)}{e}$$

dans laquelle :

N = nombre total des lames.

r_1, r_2 = rayons extérieur et intérieur des lames fixes, en centimètres.

e = épaisseur du diélectrique en centimètres.

K = coefficient spécifique.

Pour un condensateur à variation linéaire de longueur d'onde, la capacité maximum en micromicrofarads est donnée, de même, par la formule et avec les mêmes notations :

$$C = 0,0695 \frac{K(N - 1)(r_1^2 - r_2^2)}{e}$$

APPLICATIONS

12. — On veut utiliser trois condensateurs C_1, C_2, C_3 de capacités respectives de 150 centimètres, 155 micromicrofarads et 1,6 dix-millième de microfarad. Quel est le condensateur de plus forte capacité ? Convertir les trois capacités en millièmes de microfarad.

SOLUTION. — Reportons-nous, par exemple, à un tableau nous donnant les correspondances existant entre les différents systèmes d'unités de capacité.

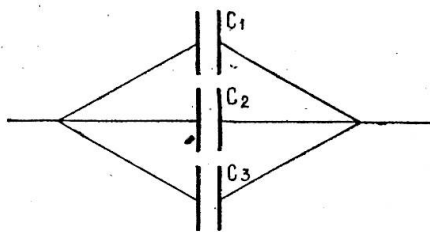


FIG. 3.

Nous constatons immédiatement les correspondances suivantes :

$C_1 = 150 \text{ cm.} = 0,160 \text{ millième de microfarad.}$

$C_2 = 155 \text{ micromicrofarads} = 0,155 \text{ millième de microfarad.}$

$C_3 = 1,6 \text{ dix-millième de microfarad} = 0,160 \text{ millième de microfarad.}$

Nous voyons donc que les condensateurs C_1 et C_3 ont, en réalité, la même capacité, et que le condensateur C_2 a une capacité un peu plus faible.

13. — *Les trois condensateurs précédents sont montés en parallèle. Quelle est la capacité totale obtenue en millièmes de microfarad, dix-millièmes de microfarad et micromicrofarads ?*

SOLUTION. — Montons les trois condensateurs C_1 , C_2 , C_3 en parallèle, comme le montre la figure 3. La capacité totale C est la somme des capacités des condensateurs en parallèle ; elle est donc de :

$$\begin{aligned} C &= 0,160 + 0,155 + 0,160 = 0,475 \text{ millème de microfarad.} \\ &= 4,75 \text{ dix-millièmes de microfarad.} \\ &= 475 \text{ micromicrofarads.} \end{aligned}$$

14. — *On monte en série 3 condensateurs C_1 , C_2 , C_3 de capacités respectives de $\frac{4}{1.000}$, $\frac{5}{1.000}$ et $\frac{8}{1.000}$ de microfarad. Quelle est la capacité résultante ?*

SOLUTION. — Montons en série les trois condensateurs C_1 , C_2 , C_3 , comme le montre la figure 4. Quand des condensateurs sont montés en série, l'inverse

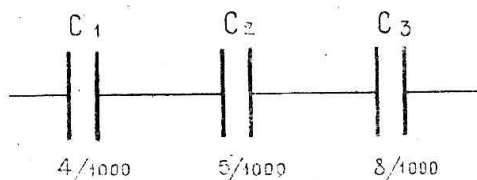


FIG. 4.

de la capacité C de l'ensemble est égal à la somme des inverses des capacités élémentaires, il est donc de :

$$\begin{aligned} \frac{1}{C} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \\ \frac{1}{C} &= \frac{1}{\frac{4}{1.000}} + \frac{1}{\frac{5}{1.000}} + \frac{1}{\frac{8}{1.000}} \\ \frac{1}{C} &= \frac{10 + 8 + 5}{40} = \frac{23}{40} \\ C &= \frac{40}{23} = 1,73 \text{ millième de microfarad.} \\ &= 17,3 \text{ dix-millièmes de microfarad.} \\ &= 1.730 \text{ micromicrofarads.} \end{aligned}$$

Nous vérifions bien que la capacité résultante est plus petite que la plus petite capacité composante C_1 , de $4/1.000$ de microfarad.

15. — Une batterie de condensateurs est formée de 10 séries de deux condensateurs de $2/1.000$ de microfarad en série, et montées en parallèle. Quelle est la capacité totale de la batterie formée par ce montage en série-parallèle ?

SOLUTION. — Nous avons affaire ici à un montage en série-parallèle d'une batterie de condensateurs, représentée sur la figure 5.

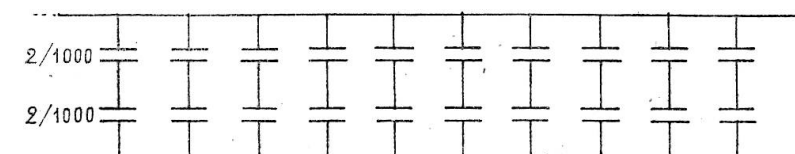


FIG. 5.

Soit C la capacité totale de l'ensemble de deux condensateurs identiques de $2/1.000$ en série. Cette capacité C est égale à celle d'un seul condensateur divisé par 2, soit $1/1.000$ de microfarad.

Tout se passe donc comme si l'on avait dix condensateurs C identiques, de $1/1.000$ de microfarad, montés en parallèle.

La capacité de l'ensemble a pour valeur la capacité d'un seul élément multiplié par le nombre des éléments, soit $1/1.000 \times 10 = 10/1.000$ de microfarad, ou $1/100$ de microfarad.

16. — Un condensateur variable à air servant à l'émission a une capacité de $2/10.000$ de microfarad. On le place dans une cuve isolante contenant de l'huile qui pénètre entre les lames.

La capacité varie-t-elle ? — Pourquoi ? — S'il y a variation, indiquez la nouvelle capacité, sachant que le pouvoir inducteur spécifique de l'huile est de 4.

SOLUTION. — La capacité d'un condensateur dépend du pouvoir inducteur spécifique, ou constante diélectrique, du diélectrique séparant les armatures.

Le pouvoir inducteur spécifique de l'air est de 1. Mais, si l'on plonge le condensateur variable à air proposé dans une cuve contenant de l'huile, celle-ci vient s'interposer entre les armatures à la place de l'air, et le diélectrique varie.

La capacité varie donc aussi. Comme le pouvoir inducteur spécifique de l'huile est de 4, la capacité initiale est multipliée par 4, et devient :

$$\frac{2 \times 4}{10.000} = \frac{8}{10.000} = \frac{0,8}{1.000} \text{ de microfarad.}$$

17. — On désire établir un condensateur fixe de liaison d'une capacité de $10/1.000$ de microfarad, avec des feuilles de mica de $2/10$ de millimètre d'épaisseur, et des armatures en papier d'étain.

Sachant que le pouvoir inducteur spécifique du mica employé est de 8, on demande quelle est la surface totale des armatures en regard nécessaire et le nombre de feuilles d'étain utilisées, sachant que la surface utile de chaque feuille est de $2,5 \times 4$ cm.

SOLUTION. — Calculons d'abord la surface totale des armatures en regard, nécessaire pour obtenir la capacité demandée avec les lames de diélectrique indiquées ; nous utiliserons la formule :

$$C = 0,0885 K \times \frac{S}{e} \times \frac{1}{10^6}.$$

Dans laquelle C : = Capacité en microfarads, K = pouvoir inducteur spécifique, S = surface en centimètres carrés des armatures en regard, e = épaisseur des lames de diélectrique en centimètres.

Si nous évaluons la capacité en millièmes de microfarad, cette formule devient :

$$C = 0,0885 K \times \frac{S}{e} \times \frac{1}{10^3}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$10 = 0,0885 \times 8 \times \frac{S}{2/100} \times \frac{1}{10^3}; \quad \text{d'où :} \quad 10 = \frac{0,0885 \times 4 \times S}{10}$$

On en tire :

$$S = \frac{100}{0,0885 \times 4} = 280 \text{ cm}^2 \text{ environ.}$$

Suivant la disposition classique et comme le montre la figure 6, les lames de l'armature A sont toutes comprises entre les lames de l'armature B. Il faut

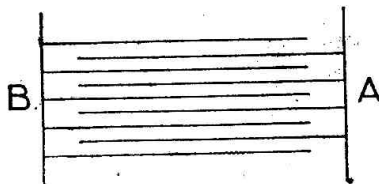


FIG. 6.

donc considérer deux fois la surface des lames en regard l'une de l'autre au-dessus et en dessous, et qui jouent un rôle utile.

Si nous appelons n le nombre des feuilles d'étain de l'armature A, et puisque nous savons que pour chaque armature la surface en regard est de $4 \times 2,5 = 10$ cm², la surface totale des armatures en regard est de $2n \times 10$ cm².

C'est cette surface totale qui doit, d'après le résultat trouvé plus haut, être égale à 280 cm². Nous en déduisons donc :

$$2n \times 10 = 280 \quad 2n = 28 \quad n = 14.$$

L'ensemble des armatures A comporte donc 14 lames, et l'ensemble des armatures B, qui, par construction, comporte une lame de plus, $14 + 1 = 15$ lames. Au total, il faut donc 29 lames.

18. — *Un condensateur au papier paraffiné comporte 15 feuilles d'étain au total, 7 pour un ensemble d'armatures, 8 pour l'autre. Les dimensions en regard pour chaque armature sont $3,75 \times 20$ cm. Les feuilles de papier intercalées ont $2/10$ mm. d'épaisseur, le pouvoir inducteur spécifique du papier est de 2,1. Quelle est la capacité du condensateur ?*

SOLUTION. — Le condensateur est établi comme le modèle précédent, et il nous suffit d'appliquer la formule :

$$C = 0,0885 \frac{K(N-1)S}{e} \times \frac{1}{10^6}.$$

Dans laquelle :

C = capacité en microfarads, N = nombre total des lames, S = surface en regard d'une lame d'un seul côté évaluée en centimètres carrés, e = épaisseur du diélectrique entre deux lames en centimètres. Il est facile d'évaluer la surface $S = 3,75 \times 2 = 7,5$ centimètres carrés. Le nombre total des lames N est égal à $8 + 7 = 15$; d'où $N-1 = 14$.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs ; il vient :

$$C = 0,0885 \frac{2,1 \times 14 \times 7,5}{\frac{2}{100}} \times \frac{1}{10^6}.$$

$C = 1/1.000$ de microfarad environ.

19. — *Un condensateur à air comporte 10 lames de 10 cm^2 , de surface utile, écartées de $5/10$ de mm. Quelle est sa capacité ?*

SOLUTION. — Nous utiliserons encore la formule employée pour résoudre le problème précédent, et qui s'écrit :

$$C = 0,885 \frac{(N-1)S}{e} \times \frac{1}{10^6}.$$

Les conventions restent les mêmes que précédemment, mais ici :

$$N = 10 \text{ cm}^2 \quad e = 0,5 \text{ mm.} = 5/100 \text{ cm.}$$

En remplaçant les lettres par leurs valeurs, il vient :

$$C = 0,885 \frac{9 \times 10}{\frac{5}{100}} \times \frac{1}{10^6} = 0,159/1.000 \text{ de microfarad} \\ = 159 \text{ micromicrofarads.}$$

20. — *Un condensateur de 1 microfarad est soumis à une différence de potentiel de 100 volts. Quelle est la quantité d'électricité absorbée ?*

SOLUTION. — La quantité d'électricité Q absorbée par un condensateur de capacité C , aux bornes duquel on établit une différence de potentiel V est indiquée par la formule :

$$Q \text{ (coulombs)} = C \text{ (farads)} \times V \text{ (volts)}.$$

Remplaçons ici les lettres par leurs valeurs :

$$Q = 1 \times 100 = 100 \text{ coulombs}.$$

21. — *Deux condensateurs C_1 et C_2 , respectivement de 1/1.000 et 2/1.000 de microfarad, sont montés en série dans un circuit, et sont soumis à une tension de 300 volts. On demande la tension supportée par chacun des condensateurs.*

SOLUTION. — Les deux condensateurs C_1 et C_2 sont réunis en série, et, la tension totale appliquée V se partage entre eux, C_1 supportant la tension V_1 , et C_2 la tension V_2 .

La quantité d'électricité Q absorbée est la même pour les deux condensateurs. On a donc :

$$Q = C_1 V_1 = C_2 V_2 = CV ; C \text{ et } V \text{ étant la capacité et la tension totales.}$$

On en tire :

$$V_1 = V \times \frac{C}{C_1} \quad V_2 = V \times \frac{C}{C_2}.$$

Les condensateurs étant en série, la capacité totale C est donnée par la formule :

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \text{d'où :} \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{\frac{1}{1.000}} + \frac{1}{\frac{2}{1.000}} = \frac{2.000 + 1.000}{2}$$

$$C = \frac{3.000}{2}.$$

On en tire :

$$V_1 = 300 \frac{\frac{2}{3.000}}{\frac{1}{1.000}} = 300 \times \frac{2}{3} = 200 \text{ volts}$$

$$V_2 = 300 \frac{\frac{2}{3.000}}{\frac{2}{1.000}} = 300 \times \frac{1}{3} = 100 \text{ volts.}$$

Nous vérifions bien que la plus petite capacité supporte la plus faible tension, et le problème aurait pu sans doute être résolu plus rapidement, si nous n'avions voulu exposer la manière générale de le résoudre dans tous les cas.

CHAPITRE V

LE COURANT CONTINU

QUANTITÉ ET INTENSITÉ ÉLECTRIQUES.

L'*intensité d'un courant électrique* est la quantité d'électricité circulant dans un conducteur pendant une seconde.

La *quantité d'électricité* se mesure en *coulombs* ou, en pratique, en *ampères-heure*, qui est la quantité d'électricité fournie par un courant de un ampère pendant une heure.

Si l'on désigne par Q la quantité d'électricité fournie par un courant d'intensité I en t secondes, on a, par définition de l'intensité :

$$Q \text{ (coulombs)} = I \text{ (ampères)} \times t \text{ (secondes)}.$$

Par analogie, on a également :

$$Q \text{ (ampères-heure)} = I \text{ (ampères)} \times t' \text{ (heures)}.$$

Une heure valant 3.600 secondes, un ampère-heure vaut donc 3.600 coulombs.

L'intensité, se mesure en ampères (A) en milliampères ou 1/1.000 d'ampère (mA), en microampères ou 1/1.000.000 d'ampère (μ A).

L'ampère est l'intensité d'un courant qui débite un coulomb par seconde.

RÉSISTANCE.

La *résistance électrique* est la propriété que possède un conducteur de se laisser traverser plus ou moins facilement par le courant électrique.

La résistance se mesure en ohms (O ou Ω), microhms ou 1/1.000.000 d'ohm (μ O ou $\mu\Omega$), en kilohms ou 1.000 ohms (KO) ou en mégohms, c'est-à-dire 1.000.000 d'ohms (MO ou $M\Omega$).

La résistance d'un conducteur est directement proportionnelle à sa longueur, inversement proportionnelle à sa section ; elle dépend d'un coefficient de *résistivité*, ou *résistance spécifique*, différent suivant la nature du conducteur.

La résistance R du conducteur à 0°, en fonction de la longueur l en centimètres, de la section S en centimètres carrés, et de la résistance spécifique en microhms/centimètres, est indiquée par la formule :

$$R = \rho \times \frac{l}{S}.$$

La résistivité est, par définition, la résistance d'un conducteur de la ma-

tière, d'une longueur de 1 centimètre et d'une section de 1 centimètre carré. Elle s'exprime en microhms/centimètre pour les corps relativement bons conducteurs, et en mégohms/centimètre pour les corps isolants.

Voici quelques chiffres indiquant la résistivité des métaux usuels en microhms/centimètre.

Argent : 1,5.

Constantan : 50.

Cuivre : 1,6.

Ferronickel : 80.

Fer : 13,3.

Plomb : 19.

Maillechort : 30.

Aluminium : 2,9.

La résistivité augmente pour les métaux avec la température, et diminue pour le charbon et les résistances agglomérées à base de graphite.

La *conductance* est l'inverse de la résistance, et la *conductivité* est l'inverse de la résistivité, soit $\frac{1}{\rho}$.

L'unité de conductance est le Mho.

Un Mho = 1 ohm.

10 Mhos = 0,1 ohm.

100 Mhos = 0,01 ohm.

0,1 Mho = 10 ohms.

0,01 Mho = 100 ohms.

LOI D'OHM.

Pour que le courant puisse circuler entre deux points d'un conducteur, il faut qu'il existe entre ces points *une différence de potentiel* produite sous l'action de la force électromotrice d'une source.

La différence de potentiel est mesurée en volts (symbole V), en millivolts ou millièmes de volt (symbole mV), en microvolts ou millionièmes de volt (symbole μ V).

La *loi d'Ohm* exprime que l'intensité I du courant dans un conducteur est directement proportionnelle à la différence de potentiel E aux extrémités de ce conducteur, et inversement proportionnelle à la résistance R.

Cette loi peut s'exprimer par la formule :

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

De cette expression, on déduit les valeurs respectives de E et de R :

$$E = IR \quad \text{et} \quad R = \frac{E}{I}.$$

La chute de tension dans une résistance est ainsi exprimée par la formule :

$$E = IR.$$

Les formules de la loi d'Ohm dérivées de l'expression $I = \frac{E}{R}$, ne sont

applicables qu'aux circuits dans lesquels ne se trouvent pas des appareils susceptibles d'introduire une force contre-électromotrice.

Dans les circuits comportant une force contre-électromotrice E' , la formule générale à utiliser devient :

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

ACTION DE LA TEMPÉRATURE SUR LES RÉSISTANCES.

Dans un grand nombre de cas, il faut tenir compte de l'influence de la température sur la résistance des conducteurs. La résistance augmente avec la température pour les métaux, diminue pour le carbone et les compositions à base de carbone.

La résistance à chaud R_t lorsqu'on connaît la résistance à froid R_0 est donnée par l'expression :

$$R_t = R_0[1 + \alpha(t - t_0)].$$

Le coefficient α est un coefficient de température qui varie suivant la nature du conducteur, et qui est donné pour certains corps usuels par le tableau suivant :

Cuivre = 0,0043.

Laiton = 0,0025.

Fer = 0,006.

Ferro-nickel = 0,09.

TRAVAIL ET PUISSANCE.

Le *travail mécanique* est une forme d'énergie mesurée normalement en *kilogrammètres*. Le kilogrammètre est le travail permettant de soulever verticalement un poids de un kilogramme à un mètre de hauteur.

La mesure du travail électrique s'effectue en joules (1 joule = 0,102 kilogrammètre).

1 kilogrammètre = 9,81 joules. 1.000 joules = 102 kilogrammètres.

La puissance est la quantité de travail produite pendant une seconde. Les unités de puissance sont le kilogrammètre par seconde, et en électricité le watt (W), qui correspond à un travail de un joule par seconde. Les multiples les plus employés sont l'hectowatt 100 watts (hW), le kilowatt 1.000 watts (kW).

1 kilogrammètre = 9,81 joules. 1 kilogrammètre par seconde = 9,81 watts.

Un cheval-vapeur = 75 kilogrammètres par seconde = 736 watts.

1 kilowatt = $\frac{1.000}{736}$ = 1,36 cheval-vapeur.

Dans la pratique industrielle, on emploie comme unités de travail le *watt-heure* (Wh), l'*hectowatt-heure* (hWh), et le *kilowatt-heure* (kWh).

Un watt-heure = 367,2 kilogrammètres. Un kilowatt-heure = 367,200 kilogrammètres.

UNITÉS DE CHALEUR.

La *grande calorie* est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de un degré la température d'un kilogramme d'eau. La *petite calorie* est le 1/1.000^e de la grande calorie.

Les équivalences de l'énergie mécanique en énergie thermique sont de :

1 petite calorie = 4,18 joules.

1 grande calorie = 4,180 joules.

1 joule = 0,24 petite calorie.

Le *rendement* d'une machine quelconque est, d'autre part, le rapport entre l'énergie utilisable à l'énergie totale fournie à la machine.

TRAVAIL ET PUISSANCE ÉLECTRIQUES.

Une quantité d'électricité de un coulomb traversant un conducteur entre les extrémités duquel il existe une différence de potentiel de un volt produit, par définition, un travail de un joule.

D'après la définition de la quantité d'électricité, le travail W en joules produit par un courant d'une intensité I dans un conducteur, entre les extrémités duquel il existe une différence de potentiel E , et pendant un temps t , est égal à :

$$W \text{ (joules)} = E \text{ (vols)} \times I \text{ (ampères)} \times t \text{ (secondes)}.$$

Ce travail est aussi égal à :

$$W \text{ (joules)} = E \text{ (vols)} \times Q \text{ (coulombs)}.$$

Et, d'après la loi d'Ohm, en remplaçant E par IR , il devient :

$$W \text{ (joules)} = R \text{ (ohms)} \times I^2 \text{ (ampères)} \times t \text{ (secondes)}.$$

Ce travail peut également s'exprimer en watts-heure, en hectowatts-heure, ou en kilowatts-heure, suivant la formule :

$$W \text{ (watts-heure)} = P \text{ (watts)} \times t' \text{ (heures)}.$$

La puissance d'un courant électrique est le travail que ce courant fournit en une seconde. On a donc :

$$P \text{ (watts)} = \frac{W \text{ (joules)}}{t \text{ (secondes)}}.$$

Et, en remplaçant W par sa valeur :

$$P = E \times I = R \times I^2.$$

LOI DE JOULE.

La quantité de chaleur dégagée dans un conducteur est directement proportionnelle à la résistance R , au carré de l'intensité I du courant, et au temps de passage t de ce courant.

Si toute l'énergie du courant électrique se transforme en chaleur dans le conducteur, la puissance dépensée P est, d'après l'expression précédente :

$$P \text{ (watts)} = R \text{ (ohms)} \times I^2 \text{ (ampères)}.$$

Et l'énergie dépensée pendant un temps t est également :

$$W \text{ (joules)} = R \text{ (ohms)} \times I^2 \text{ (ampères)} \times t \text{ (secondes)}.$$

Cette puissance et cette énergie dépensées correspondent à des quantités de chaleur :

$$Q \text{ (calories)} = R \text{ (ohms)} \times I^2 \text{ (ampères)} \times t \text{ (secondes)} \times 0,24.$$

Et, par seconde, à la quantité de chaleur :

$$Q \text{ (calories)} = R \text{ (ohms)} \times I^2 \text{ (ampères)} \times 0,24.$$

COURANTS DÉRIVÉS. — LOI DE KIRCHHOFF.

Dans un circuit électrique comprenant une ou plusieurs dérivations, la somme des courants dans les branches de dérivation est égale au courant principal avant et après la dérivation :

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

Si l'on considère les résistances dans les branches de dérivation, les intensités des courants dans les branches sont inversement proportionnelles aux résistances de ces branches :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad \frac{I_2}{I_3} = \frac{R_3}{R_2}, \text{ etc...}$$

La chaleur développée dans la plus petite résistance est la plus élevée.

RÉSISTANCE INTERNE DES SOURCES D'ÉLECTRICITÉ.

La force électromotrice qui produit le courant déterminant une différence de potentiel dans un conducteur donne naissance à un courant d'intensité I .

La tension V obtenue aux bornes d'un générateur de force électromotrice E est égale à la force électromotrice nominale diminuée de la chute de tension interne indiquée par la loi d'Ohm correspondant à la résistance interne r :

$$V = E - rI.$$

Une source d'électricité de résistance intérieure r , de force électromotrice E ,

détermine dans un circuit de résistance extérieure R , un courant d'intensité I indiqué par la formule :

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

APPLICATIONS

22. — *Un poste de T.S.F. est alimenté par un courant continu de 1 ampère. Il est utilisé pour une réception de 3 heures. Quelle est la quantité d'électricité absorbée par le poste durant ce temps, en coulombs et en ampères-heure ?*

SOLUTION. — La quantité d'électricité Q en coulombs produite pendant t secondes par un courant d'intensité I en ampères a pour valeur :

$$Q = I \times t.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$I = 1 \text{ ampère} \quad t = 3 \text{ heures} = 3 \times 3.600 = 10.800 \text{ secondes,}$$

d'où :

$$Q = 10.800 \text{ coulombs.}$$

Comme un ampère-heure = 3.600 coulombs, $Q = 3$ ampères-heure, résultat qu'on pouvait évidemment trouver directement.

23. — *Le courant fourni par une pile permet d'obtenir 540 coulombs en 10 minutes. Quelle est l'intensité de ce courant ?*

SOLUTION. — La formule précédente :

$$Q(\text{coulombs}) = I(\text{ampères}) \times t(\text{secondes}),$$

doit encore être utilisée ; on en tire :

$$I = \frac{Q}{t}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$t = 10 \text{ minutes} = 600 \text{ secondes} \quad I = \frac{540}{600} = 0,9 \text{ ampère.}$$

24. — *Deux fils métalliques ont la même résistance ; le diamètre du premier est de $\frac{2}{10}$ de millimètre, et celui du deuxième de $\frac{4}{10}$ de millimètre. La longueur du premier est de 5 mètres ; quelle est la longueur du deuxième ?*

SOLUTION. — La résistance R d'un conducteur s'exprime par la formule :

$$R = \rho \times \frac{l}{S}$$

ρ étant la résistivité, l la longueur, et S la section du fil.

On voit ainsi que la résistance est inversement proportionnelle à la section. Cette surface étant proportionnelle au carré du diamètre, la résistance est inversement proportionnelle au carré du diamètre ; elle est, de même, proportionnelle à la longueur.

Les deux fils considérés ont la même résistance, mais le diamètre de l'un est la moitié de celui de l'autre. Le deuxième fil doit donc avoir une longueur quatre fois plus grande, soit $5 \times 4 = 20$ mètres.

25. — On veut établir un rhéostat de 4 ohms pour régler le courant d'alimentation en chauffage d'un poste-batterie à 5 lampes en parallèle, dont chacune exige 0,2 ampère. On emploie du fil de maillechort, dont la résistivité est de 30 microhms/centimètre, et pouvant supporter une densité de courant de 5 ampères par millimètre carré de section. Calculez le diamètre du fil à adopter et sa longueur.

SOLUTION. — Les lampes étant montées en parallèle, le courant total d'alimentation de chauffage nécessaire est de $0,2 \times 5 = 1$ ampère.

D'après l'énoncé, la densité de courant admissible est de 5 ampères par millimètre carré de section, la section normale est donc de $1/5$ de millimètre carré, et cette surface correspond à un diamètre d tel que :

$$\frac{\pi d^2}{4} = 1/5 \quad d^2 = \frac{4}{5\pi} \quad d = \sqrt{0,27} = 0,5 \text{ millimètre.}$$

Le fil à employer devra avoir un diamètre de $5/10$ de millimètre.

La résistance R du fil est déterminée, comme précédemment, par la formule donnée plus haut :

$$R \text{ (ohms)} = \rho \times \frac{l \text{ (centimètres)}}{S \text{ (centimètres carrés)}}$$

La résistivité ρ est ici, d'après l'énoncé, de 30 microhms/centimètre, soit $30/10^{-6}$; la résistance R doit être de 4 ohms ; la surface S , nous l'avons vu, plus haut, est de $1/5$ de millimètre carré, soit $1/500 \text{ cm}^2$.

De la formule précédente, nous tirons :

$$l = R \frac{S}{\rho}$$

et, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$l = 4 \frac{\frac{1}{500}}{\frac{30}{10^6}} = \frac{4 \times 10^3}{5 \times 3} = \frac{4.000}{15} = 266 \text{ cm.,} \quad \text{soit} \quad 2,66 \text{ mètres.}$$

26. — Quelle est la résistance d'un fil de constantan de 1 mm^2 de section, et de 10 mètres de longueur ?

SOLUTION. — La résistivité du constantan est de 50 microhms-centimètre. D'après la définition même de la résistivité, un cylindre de constantan d'un centimètre de long et d'un cm^2 de section a une résistance de 50 microhms.

Un morceau du fil de constantan d'un centimètre de long aurait une résistance cent fois plus grande, puisque sa section est de un millimètre carré, et le morceau de fil proposé de 10 mètres de long a une résistance mille fois plus grande ; sa résistance R est donc en ohms :

$$R = \frac{50 \times 100 \times 1.000}{1.000.000} = 5 \text{ ohms.}$$

27. — On veut établir une résistance bobinée de 200 ohms en fil d'argentan de 2/100 de millimètre. Quelle est la longueur du fil à utiliser, sachant que la résistivité de l'argentan est de 40 microhms-centimètre ?

SOLUTION. — Nous pourrions résoudre ce problème comme le précédent ; mais on peut aussi utiliser la formule classique :

$$R = \rho \times \frac{l}{S} ; \quad \text{d'où :} \quad l = R \times \frac{S}{\rho}. \quad (1)$$

Puisque le diamètre du fil est de 2/100 de millimètre, ou 2/1.000 de centimètre, sa section S est de :

$$S = \frac{\pi \times \left(\frac{2}{10^3}\right)^2}{4}$$

et, en remplaçant les lettres par leurs valeurs dans l'égalité précédente (1) :

$$l = 200 \times \frac{\pi \times \left(\frac{2}{10^3}\right)^2}{4}$$

$$l = 200 \times \frac{\pi \times 4}{\frac{10^6 \times 4}{40}} = \frac{200\pi}{40} = 15 \text{ centimètres environ.}$$

28. — Un bobinage de T. S. F. massé par couches superposées, est formé de fil de cuivre de 12/100 de mm., soit 15/100 avec isolant, dont la résistance totale est de 1.200 ohms. La longueur du mandrin est de 150 mm., le diamètre intérieur de 60 mm. ; le diamètre intérieur du bobinage est de 140 mm.

On demande la longueur du fil utilisé, et le nombre de spires de la bobine.

SOLUTION. — Appliquons encore ici la formule :

$$R = \rho \times \frac{l}{S} \quad \text{ou} \quad l = R \times \frac{S}{\rho}$$

avec les mêmes conventions que précédemment, dans le problème 27, en particulier.

La surface $S = \frac{\pi d^2}{4}$, si d est le diamètre, soit ici : $\frac{0,785 \times 12^2}{10^6}$.

$\rho = \frac{1,6}{10^6}$, comme l'indique le tableau de la page 38.

Enfin $R = 1.200$ ohms, d'où :

$$l \text{ (en centimètres)} = \frac{1.200 \times 0,785 \times 12^2 \times 10^6}{10^6 \times 1,6}$$

$$l \text{ (en mètres)} = \frac{12^3 \times 0,785}{1,6} = 850 \text{ mètres environ.}$$

Le diamètre le plus grand d'une spire est de 140 millimètres, et le diamètre le plus petit de 60 mm. (fig. 7). Le diamètre moyen est ainsi de :

$$\frac{140 + 60}{2} = 100 \text{ mm.}$$

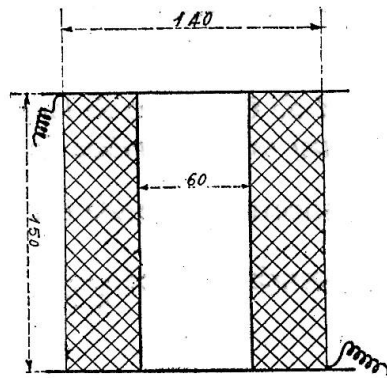


FIG. 7.

La spire moyenne a donc pour longueur :

$$\pi \times 100 = 314 \text{ mm.}$$

Le nombre de spires est de :

$$\frac{850}{0,314} = 2.707 \text{ spires.}$$

29. — Deux plaques métalliques de 10×5 centimètres plongent dans une solution d'eau salée, dont la résistivité est de 20 ohms/centimètre. Les plaques sont distantes de 10 cm. Quelle est la résistance du rhéostat improvisé ainsi constitué ?

SOLUTION. — Nous savons que la résistivité du liquide est de 20 ohms/centimètre. Par définition, la résistivité est la résistance d'un cube ayant une section de 1 centimètre carré et une longueur de un centimètre.

Tout se passe comme si le rhéostat était constitué, en réalité, par un prisme

du liquide ayant 10 centimètres de long, et une section de $10 \times 5 = 50 \text{ cm}^2$ (fig. 8).

La résistance de ce prisme est donc dix fois plus grande d'une part, mais

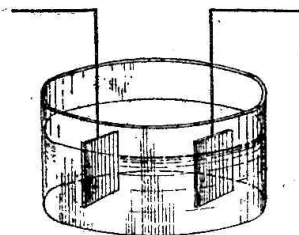


FIG. 8.

50 fois plus petite de l'autre, que celle du cube précédent, d'après la relation $R = \rho \times \frac{l}{S}$. On a donc ici :

$$R = \frac{20 \times 10}{50} = 4 \text{ ohms.}$$

L'application immédiate de la formule classique donnerait évidemment le même résultat.

30. — *Un fil de maillechort de 60 mètres de long a une résistance de 1 ohm dans les conditions normales. Quel est le diamètre de ce fil ?*

SOLUTION. — Appliquons encore la formule classique :

$$R \text{ (ohms)} = \rho \text{ (ohms/centimètre)} \times \frac{l \text{ (centimètres)}}{S \text{ (centimètres carrés)}}$$

D'où l'on peut tirer :

$$S = \rho \times \frac{l}{R}$$

Avec les conventions admises précédemment.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$\rho = 30 \text{ microhms/centimètre} = \frac{30}{10^6} \text{ ohms/centimètre}$$

$$l = 60 \text{ mètres} = 6.000 \text{ centimètres}$$

$$R = 1 \text{ ohm.}$$

D'où :

$$S = \frac{30}{10^6} \times \frac{6.000}{1} = 3 \times \frac{6}{10^2} = 18 \text{ millimètres carrés.}$$

Si d est le diamètre d'une circonférence, la surface du cercle $S = \frac{\pi d^2}{4}$, et, puisque $\frac{\pi}{4} = 0,785$:

$$d^2 = \frac{S}{0,785} = \frac{18}{0,785} = 23 \quad d = \sqrt{23} = 4,7 \text{ mm.}$$

31. — *On mesure aux bornes d'une résistance de 1.000 ohms intercalée dans un circuit une différence de potentiel de 100 volts. Quelle est l'intensité du courant parcourant cette résistance ?*

SOLUTION. — Pour résoudre la question, il suffit d'appliquer immédiatement la formule fondamentale de la loi d'Ohm.

$I = \frac{E}{R}$, dans laquelle I est l'intensité exprimée en ampères, E la différence de potentiel en volts, R la résistance en ohms. D'où, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$I = \frac{100}{1.000} = 0,1 \text{ ampère} = 100 \text{ milliampères.}$$

32. — *Une résistance de 70.000 ohms est placée dans le circuit d'une lampe de T. S. F. parcourue par un courant de 2 milliampères. Quelle est la chute de tension produite dans ce circuit ?*

SOLUTION. — Nous appliquons la deuxième formule de la loi d'Ohm :

$$E = IR$$

avec les mêmes notations que précédemment. En remplaçant les lettres par leurs valeurs, il vient :

$$E = 0,002 \times 70.000 = 140 \text{ volts.}$$

La chute de tension est de 140 volts.

33. — *Pour alimenter un poste de T. S. F. directement sur le secteur, il faut abaisser la tension du courant employé de 110 à 60 volts; en utilisant une résistance.*

L'intensité du courant nécessaire étant de 1 ampère, quelle est la valeur de la résistance à adopter ?

SOLUTION. — Pour trouver la valeur de la résistance à employer, nous appliquerons la troisième forme de la formule de la loi d'Ohm également indiquée à la page 39.

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

avec les mêmes notations que pour les problèmes précédents. La chute de tension E à obtenir dans la résistance est de $110 - 60 = 50$ volts. En remplaçant les lettres par leurs valeurs, il vient :

$$R = \frac{50}{1} = 50 \text{ ohms.}$$

34. — *Le filament d'une lampe de T. S. F. absorbe un courant de 0,2 ampère, lorsqu'on établit à ses extrémités une différence de potentiel de 2 volts.*

Quelle est la résistance de ce filament ?

SOLUTION. — Appliquons encore simplement la loi d'Ohm, en utilisant la troisième forme de la formule classique :

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

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$R = \frac{2}{0,2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ ohms.}$$

35. — *Un poste-secteur est alimenté sur le secteur 110 volts. Le courant d'alimentation est de 0,7 ampère. Quelles sont la puissance consommée et la dépense d'électricité pour une audition de 2 heures, le prix du kilowatt-heure étant de 2 fr. 70 ?*

SOLUTION. — La puissance P évaluée en watts, en fonction de l'intensité I en ampères, et de la tension E en volts, est indiquée par la formule :

$$P = EI.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$P = 110 \times 0,7 = 77 \text{ watts} = 0,77 \text{ hectowatt.}$$

L'énergie W dépensée pendant le temps t est donnée par la formule :

$$W = EIt = Pt = 77 \times 2 = 154 \text{ watts-heure} = 1,54 \text{ hectowatt-heure.}$$

Le prix de l'hectowatt-heure étant de $\frac{2,7}{10}$, soit 0,27 fr., la dépense d'électricité est de :

$$1,54 \times 0,27 = 0,41 \text{ fr.}$$

36. — *Quelle est l'énergie transformée sous forme de chaleur, pendant 2 heures, dans une résistance de 1 mégohm parcourue par un courant de 10 milliampères ?*

SOLUTION. — L'énergie W transformée en chaleur dans une résistance R parcourue par un courant I pendant un temps t est exprimée par la formule :

$$W \text{ (watts-heure)} = R \text{ (ohms)} \times I^2 \text{ (ampères)} \times t \text{ (heures).}$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$W = 1.000.000 \times \left(\frac{10}{1.000}\right)^2 \times 2 = 200 \text{ watts-heure} = 2 \text{ hectowatts-heure.}$$

37. — *Calculez la puissance dissipée sous forme de chaleur dans le filament*

de la lampe de T. S. F. indiquée au problème 34 absorbant un courant de 0,2 ampère, et dont la résistance est de 10 ohms. Quelle est l'énergie dépensée pendant 30 minutes ?

SOLUTION. — Nous utiliserons encore la formule :

$$P = EI = RI^2$$

Dans laquelle, P = puissance dissipée en watts, R = résistance en ohms, I = intensité en ampères.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$I = 10 \times (0,2)^2 = 10 \times 0,0004 = 4 \text{ milliwatts.}$$

L'énergie W dépensée sous forme de chaleur pendant un temps t est indiquée par la formule :

$$\begin{aligned} W (\text{joules}) &= R (\text{ohms}) \times I^2 (\text{ampères}) \times t (\text{secondes}) \\ &= P (\text{watts}) \times t (\text{secondes}). \end{aligned}$$

Nous avons ici :

$$P = 0,004 \quad t = 30 \times 60 = 1.800 \text{ secondes}$$

d'où :

$$W = 0,004 \times 1.800 = 7,2 \text{ joules.}$$

38. — Quelle est la puissance dissipée sous forme de chaleur par un courant de 30 milliampères, dans des résistances respectivement de 100 ohms, 1.000 ohms, et 1 mégohm ?

SOLUTION. — Utilisons encore la formule employée pour le problème 37, et indiquant la puissance dissipée dans une résistance :

$$P = RI^2$$

Dans laquelle, P = puissance dissipée en watts, R = résistance en ohms, I = intensité en ampères.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs, et, soient respectivement P_1 , P_2 , P_3 les puissances dissipées dans les résistances respectives :

$$P_1 = 100 \times \left(\frac{30}{1.000} \right)^2 = 0,09 \text{ watt.}$$

$$P_2 = 1.000 \times \left(\frac{30}{1.000} \right)^2 = 0,9 \text{ watt.}$$

$$P = 1.000.000 \times \left(\frac{30}{1.000} \right)^2 = 900 \text{ watts.}$$

39. — Une lampe de T. S. F. a un élément de chauffage alimenté par un courant de 0,2 ampère, sous une tension de 6 volts. Pour faire une expérience

d'étanchéité, on plonge cette lampe pendant une heure dans un récipient contenant un litre d'eau à 10°. Calculez la quantité de chaleur dégagée, et la température finale de l'eau.

SOLUTION. — Nous utiliserons la formule exprimant la loi de Joule :

$$Q = RI^2t \times 0,24$$

Dans laquelle, Q = quantité de chaleur en calories produite dans le conducteur par le passage du courant, R = résistance du conducteur en ohms, I = intensité du courant en ampères, t = durée de l'expérience, en secondes (fig. 9).

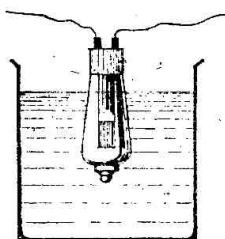


FIG. 9.

Nous pouvons aisément calculer la résistance R de l'élément de chauffage puisque nous connaissons la tension E , et l'intensité I d'alimentation :

La formule d'Ohm nous donne :

$$R = \frac{E}{I} = \frac{6}{0,2} = 30 \text{ ohms.}$$

La formule traduisant la loi de Joule devient alors :

$$W = 30 \times (0,2)^2 \times 3.600 \times 0,24 = 30 \times 0,04 \times 3.600 \times 0,24 = 1.036,8 \text{ calories.}$$

D'après la définition même de la calorie, cette quantité de chaleur peut élever la température d'un litre d'eau, soit de 1.000 grammes, de 1°0368. La température de l'eau est donc portée ainsi à 11°0368.

40. — *On veut alimenter un appareil d'émission de T. S. F. placé à la campagne dans un pavillon éloigné de l'habitation principale, au moyen d'une ligne en dérivation, dont la résistance est de 1,5 ohm. La tension du secteur est de 220 volts, l'intensité du courant d'alimentation de 5 ampères.*

On demande la puissance perdue dans le conducteur, la proportion par rapport à l'énergie totale, et la variation de tension produite à l'arrivée.

SOLUTION. — Pour déterminer la puissance perdue dans la ligne, nous utiliserons la formule fondamentale :

$$P = RI^2$$

dans laquelle P est la puissance en watts, R la résistance en ohms, I l'intensité en ampères. Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$P = 1,5 \times 5^2 = 1,5 \times 25 = 37,5 \text{ watts.}$$

La puissance d'alimentation totale en watts P_1 est donnée par la formule :

$$P_1 = EI \quad E \text{ étant la tension du secteur}$$

d'où :

$$P_1 = 220 \times 5 = 1.100 \text{ watts.}$$

La proportion de la puissance perdue est donc de :

$$\frac{P}{P_1} = \frac{37,5}{1.100} = 3,4 \text{ \%}$$

La chute de tension U est, d'autre part, donnée par la formule :

$$U = RI.$$

En remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$U = 1,5 \times 5 = 7,5 \text{ volts.}$$

Le courant parvenant à l'émetteur aura une tension de :

$$220 - 7,5 = 212,5 \text{ volts.}$$

41. — Une batterie de piles fournit un courant total de 0,25 ampère pour l'alimentation des filaments de deux lampes de T. S. F. montés en parallèle. L'un des filaments a une résistance de 10 ohms, l'autre de 5 ohms. Quelle est l'intensité du courant dans chacun des filaments ?

SOLUTION. — Soient i_1 et i_2 les intensités cherchées, r_1 et r_2 les résistances correspondantes, et I l'intensité totale, la formule des courants dérivés nous donne (fig. 10) :

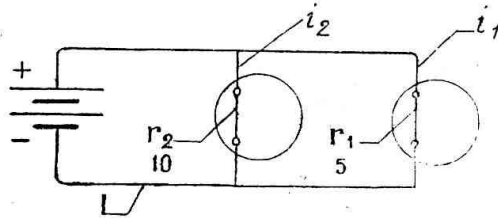


FIG. 10.

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_2}{r_1}.$$

On en déduit :

$$\frac{i_1}{i_1 + i_2} = \frac{r_2}{r_1 + r_2}$$

mais, $i_1 + i_2 = I$
et l'on a :

$$\frac{i_1}{I} = \frac{r_2}{r_1 + r_2}$$

d'où l'on déduit :

$$i_1 = I \times \frac{r_2}{r_1 + r_2}$$

et, par analogie :

$$i_2 = I \times \frac{r_1}{r_1 + r_2}$$

Appliquons, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$i_1 = 0,25 \times \frac{10}{10 + 5} = \frac{2,5}{15} = 0,166 \text{ ampère}$$

$$i_2 = 0,25 \times \frac{5}{10 + 5} = \frac{1,25}{15} = 0,083 \text{ ampère.}$$

L'intensité dans une dérivation est donc égale à l'intensité totale multipliée par le rapport de la résistance de l'autre dérivation à la somme des résistances.

Plus simplement, les intensités des courants dans les branches des circuits en dérivation sont inversement proportionnelles aux résistances de ces branches.

L'une des résistances ayant ici une valeur deux fois plus petite que l'autre, le courant qui la traverse est deux fois plus grand.

Il passe donc dans cette résistance $2/3$ du courant, soit $\frac{0,25 \times 2}{3} = 0,166$ ampère, et, dans l'autre branche, $1/3$ du courant total, soit $\frac{0,25 \times 1}{3} = 0,083$ ampère.

Nous retrouvons évidemment les résultats précédents par ce raisonnement plus rapide, mais moins général.

42. — Une batterie de piles, d'une force électromotrice de 2 volts, a une résistance intérieure de 1 ohm. Elle alimente un récepteur de T.S.F.-batteries, dont les filaments ont une résistance totale de 10 ohms.

On demande l'intensité du courant débité par la pile, et la différence de potentiel obtenue aux bornes du circuit d'alimentation.

SOLUTION. — Soit E la force électromotrice de la pile en volts, r sa résistance interne, et R la résistance extérieure en ohms. Le courant I en ampères débité par la pile a pour valeur (fig. 11) :

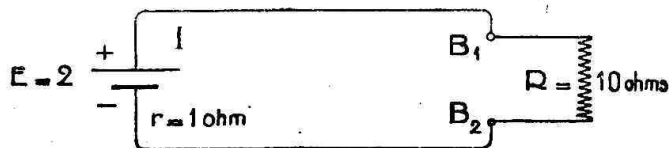


FIG. 11.

$$I = \frac{E}{R + r}$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs, il vient :

$$I = \frac{2}{10 + 1} = \frac{2}{11} = 0,182 \text{ ampère.}$$

La différence de potentiel V en volts, aux bornes $B_1 B_2$ du circuit d'utilisation a pour valeur :

$$V = RI = 10 \times 0,182 = 1,82 \text{ volts.}$$

43. — *Considérons encore la pile précédente. Quelle est la perte de puissance dans la pile, et la puissance fournie ?*

SOLUTION. — La puissance P_1 en volts dissipée dans la pile a pour valeur :

$$P_1 = rI^2 = 1 \times (0,182)^2 = 0,0331 \text{ watt.}$$

La puissance P fournie au total est donnée par la formule :

$$P = EI = 2 \times 0,182 = 0,364 \text{ watt.}$$

La puissance dissipée dans le circuit est égale à la différence entre la puissance fournie au total, et la puissance dissipée dans la pile, c'est-à-dire $0,364 - 0,0331 = 0,331$ (par excès).

Nous pouvons vérifier que cette même valeur se retrouve bien en appliquant la formule :

$$P_2 = RI^2 = 10 \times (0,182)^2 = 0,331 \text{ watt.}$$

44. — *Une batterie de piles, d'une force électromotrice de 200 volts et d'une résistance intérieure de 10 ohms, alimente un circuit, dont la résistance est de 2.000 ohms.*

On demande quelle est la tension réellement obtenue aux bornes de ce circuit.

SOLUTION. — Le problème est identique au problème précédent 42. Si E est la force électromotrice de la batterie, r la résistance interne, R la résistance du circuit d'utilisation, le courant débité I en ampères a pour valeur :

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

Remplaçons les lettres par leurs valeurs (fig. 12) :

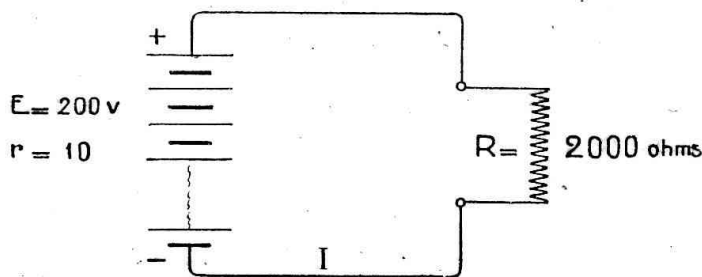


FIG. 12.

$$I = \frac{200}{2.000 + 10} = \frac{200}{2.010} = 0,0995 \text{ ampère} = 99,5 \text{ milliampères.}$$

La perte de tension V dans la batterie est donc :

$$V = rI = 10 \times \frac{99,5}{1.000} = \frac{99,5}{100} = 0,995 \text{ volt.}$$

La différence de potentiel aux bornes est la différence entre la force électromotrice et la chute de tension dans la batterie, soit :

$$200 - 0,995 = 199,005 \text{ volts.}$$

La tension, aux bornes du générateur peut être, d'ailleurs, déterminée par l'expression :

$$V_1 = RI = 2.000 \times \frac{99,5}{1.000} = 199 \text{ volts.}$$

On retrouve évidemment le même résultat.

45. — Une batterie de 2 volts, de résistance intérieure négligeable, alimente 5 lampes de T.S.F. montées en parallèle, dont chaque filament a une résistance intérieure de 10 ohms.

Calculez la résistance totale d'utilisation, l'intensité du courant dans chaque lampe, la puissance absorbée dans chacune d'elles.

Quelle est la quantité d'électricité fournie par la batterie, pour alimenter le poste pendant 10 jours, à raison de 3 heures par jour.

SOLUTION. — Les filaments étant montés en parallèle, les inverses de leurs

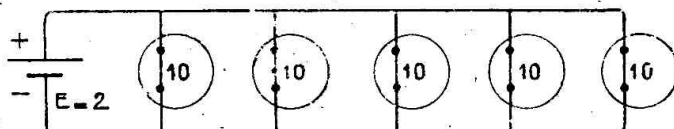


FIG. 13.

résistances s'ajoutent, et si R est la résistance totale, r la résistance de chaque filament, on a, d'après la formule fondamentale (fig. 13) :

$$\frac{1}{R} = \frac{5}{r}.$$

D'où :

$$R = \frac{r}{5}.$$

La résistance totale R est ainsi 5 fois plus faible que celle de chaque filament ; elle est donc de :

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

Le courant I traversant chaque filament de résistance r , alimenté sous une tension E , est de :

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

Soit, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$I = \frac{2}{10} \text{ d'ampère} = 0,2 \text{ ampère.}$$

Soit P la puissance en watts absorbée dans chaque filament ; elle est donnée par la formule fondamentale :

$$P = RI^2 = EI$$

D'où, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$P = 2 \times \frac{2}{10} = \frac{4}{10} = 0,4 \text{ watt.}$$

La consommation totale des cinq filaments montés en parallèle est évidemment de :

$$5 \times 0,2 = 1 \text{ ampère.}$$

La quantité d'électricité nécessaire pour le fonctionnement pendant 3 heures par jour, pendant 10 jours, soit pendant 30 heures, est donc de :

$$1 \times 30 = 30 \text{ ampères-heures.}$$

46. — La force électromotrice d'une pile est de 2 volts. On la connecte à un récepteur ; on constate que l'intensité du courant est de 1 ampère, et la tension aux bornes s'abaisse à 1,80 volt.

On demande quelle est la résistance intérieure de la pile, et la résistance du récepteur.

SOLUTION. — La force électromotrice de la pile étant de 2 volts, et la ten-

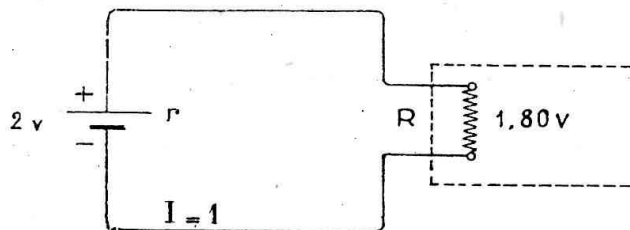


FIG. 14.

sion mesurée aux bornes de 1,8 volt, on en déduit que la chute de tension dans la pile est de (fig. 14) :

$$2 - 1,8 = 0,2 \text{ volt.}$$

L'intensité I du courant étant de 1 ampère, la résistance intérieure de la pile r est donnée par la formule :

$$r = \frac{e}{I}.$$

Soit, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$r = \frac{0,2}{1} = 0,2 \text{ ohm.}$$

La résistance extérieure R est, de même, si V est la tension aux bornes :

$$R = \frac{V}{I} = \frac{1,8}{1} = 1,8 \text{ ohm}$$

CHAPITRE VI

MONTAGES ÉLECTRIQUES

GROUPEMENT DES SOURCES ÉLECTRIQUES.

Les sources d'électricité peuvent être groupées en série, en parallèle, ou en série parallèle.

Si E_1 , E_2 , E_3 sont les forces électromotrices d'éléments montés en série, la force électromotrice totale de la batterie a pour valeur :

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \text{etc...}$$

Si plusieurs éléments identiques, au nombre de n , de résistance intérieure r , de force électromotrice E , sont montés en série, une résistance extérieure du circuit R est parcourue par un courant :

$$I = \frac{nE}{nr + R}.$$

La batterie peut être considérée comme un générateur d'électricité unique, de force électromotrice nE égale à la somme des forces électromotrices de chacun des éléments, et de résistance intérieure nR égale à la somme des résistances intérieures.

Si la résistance extérieure R est très grande vis-à-vis de la somme des résistances des éléments, l'intensité du courant est proportionnelle au nombre de piles en série :

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

Dans le montage en parallèle, la batterie formée de n éléments identiques, peut être considérée comme un générateur unique de force électromotrice E , de résistance intérieure égale à la résistance intérieure d'un élément divisée par le nombre des éléments associés, soit $\frac{r}{n}$.

Si l'on considère une batterie dont les éléments sont montés en parallèle et qui débite dans un circuit de résistance extérieure R , l'intensité du courant I traversant la résistance extérieure est égale à :

$$I = \frac{e}{\frac{r}{n} + R} = \frac{e}{\frac{r + Rn}{n}} = \frac{ne}{R + Rn}.$$

Les groupements mixtes peuvent également être réalisés en couplant en parallèle des ensembles d'éléments montés en série et de même force électromotrice.

Dans le cas de fortes résistances extérieures, l'intensité la plus grande est obtenue avec le couplage en série, et, dans le cas de faibles résistances extérieures, avec le couplage en dérivation.

MONTAGE DES RÉSISTANCES.

Quand les résistances sont en série, la résistance de l'ensemble est égale à la somme des résistances.

$$R = r_1 + r_2 + r_3 + \dots$$

La somme de toutes les chutes de tension dans le circuit extérieur est égale à la tension aux bornes de la source.

Si l'on relie en parallèle plusieurs résistances, la résistance de l'ensemble est telle que son inverse, ou conductance, est égale à la somme des inverses ou conductances des résistances partielles ; les conductances de résistances en parallèle s'additionnent.

D'une manière générale, on peut écrire :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} = \frac{r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_1 r_3}{r_1 r_2 r_3}$$

d'où :

$$R = \frac{r_1 r_2 r_3}{r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_1 r_3}$$

Dans le cas de deux résistances seulement en dérivation, on a, de même :

$$R = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$$

COUPLAGES PARTICULIERS.

Si l'on couple en série n résistances égales à r , la résistance totale R est donnée par l'expression :

$$R = n \times r.$$

Si l'on monte, de même, en dérivation un nombre de résistances n égales à r , la résistance totale R est donnée par l'expression :

$$\frac{1}{R} = \frac{n}{r} \quad \text{d'où :} \quad R = \frac{r}{n}.$$

Si l'on couple un nombre N de résistances disposées suivant un nombre p de dérivations comportant chacune un nombre n de résistances en série, l'ensemble R est indiqué par l'expression :

$$R = \frac{r \times n}{p}.$$

APPLICATIONS

47. — Trois éléments de piles identiques, de force électromotrice égale à 2 volts, de résistance intérieure de 0,5 ohm, sont montés en série. La batterie est reliée à un poste à lampes, dont le circuit a une résistance totale de 5 ohms.

On demande la force électromotrice, et la résistance intérieure de la batterie, l'intensité du courant, la différence de potentiel aux bornes de la batterie, la puissance fournie par celle-ci.

SOLUTION. — Puisque les éléments sont montés en série, la batterie peut être considérée comme un générateur d'électricité unique, dont la force électromotrice est la somme des forces électromotrices de chacun des éléments, et la résistance intérieure est la somme des résistances intérieures des éléments (fig. 15).

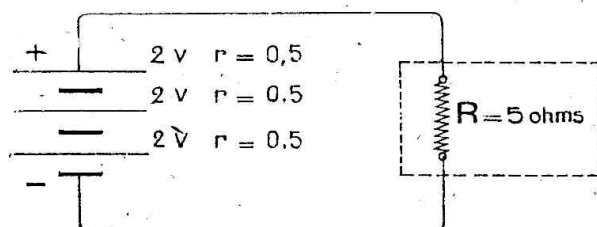


FIG. 15.

La batterie a donc une force électromotrice E de :

$$2 \times 3 = 6 \text{ volts.}$$

et une résistance intérieure r de :

$$0,5 \times 3 = 1,5 \text{ ohm.}$$

Si R est la résistance extérieure du poste, le courant I débité par la batterie est donné par l'expression :

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{6}{5 + 1,5} = \frac{6}{6,5} = 0,92 \text{ ampère.}$$

La différence de potentiel V dans le circuit extérieur est alors :

$$V = RI = 5 \times 0,92 = 4,60 \text{ volts.}$$

Enfin, si E est la force électromotrice, la puissance fournie P est donnée par l'expression :

$$P = EI = 6 \times 0,92 = 5,52 \text{ watts.}$$

En recherchant la puissance par la formule :

$$P = R_1 I^2.$$

R_1 étant la résistance totale du circuit, on retrouverait évidemment le même résultat.

43. — On veut utiliser les éléments de piles précédents montés en parallèle pour alimenter un poste à lampes-batteries fonctionnant sous une tension de l'ordre de 2 volts, et la résistance totale du poste est alors de 10 ohms.

On demande de calculer encore la force électromotrice, et la résistance intérieure de la batterie, l'intensité du courant fourni dans le circuit d'utilisation, la différence de potentiel aux bornes de la batterie, ainsi que la puissance.

SOLUTION. — Si r est la résistance intérieure de chacun des éléments, et E la force électromotrice de chaque élément, la batterie est équivalente à une source électrique unique, de force électromotrice égale à 2 volts, et dont la résistance intérieure r , est égale à la résistance intérieure d'un élément divisé par le nombre des éléments associés, soit $\frac{r}{3}$ c'est-à-dire $\frac{0,5}{3} = 0,16$ ohm (fig. 16).

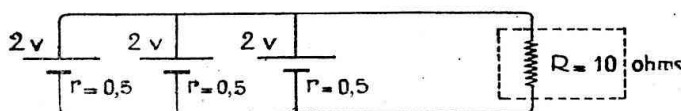


FIG. 16.

Le courant I débité par la batterie, si R est la résistance extérieure de l'appareil utilisé, est encore donné par l'expression :

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{2}{10 + 0,16} = \frac{2}{10,16} = 0,196 \text{ ampère.}$$

La différence de potentiel V dans le circuit extérieur, est alors, comme précédemment :

$$V = RI = 10 \times 0,196 = 1,96 \text{ volts.}$$

Enfin, si E est la force électromotrice, la puissance fournie P est donnée par l'expression :

$$P = EI = 2 \times 0,196 = 0,392 \text{ watt.}$$

On trouverait le même résultat en recherchant la puissance par la formule :

$$P = RI^2,$$

R étant la résistance totale du circuit, c'est-à-dire la somme de la résistance intérieure, et de la résistance du circuit d'utilisation.

49. — On veut employer une batterie d'accumulateurs pour alimenter un petit poste émetteur à lampes exigeant une tension d'alimentation de 200 volts. Chaque élément possède une force électromotrice de 1,9 volt, et l'on considère que la résistance intérieure est négligeable.

On demande le nombre d'éléments à monter en série qu'il faut adopter, et la puissance fournie par cette batterie, pour un fonctionnement de 10 jours, à raison de 2 heures par jour, avec un courant de 100 milliampères. On demande également la quantité d'électricité fournie par la batterie pendant ce temps.

SOLUTION. — La batterie constituée par les éléments en série a une force électromotrice égale, en principe, à la somme des forces électromotrices des éléments. Si n est le nombre d'éléments à employer, e la force électromotrice de chacun des éléments, E la force électromotrice totale désirée, le nombre n des éléments employés est donné par l'expression $n = \frac{E}{e}$.

D'où, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$n = \frac{200}{1,9} = 105,5 \text{ éléments, soit } 106 \text{ éléments en pratique.}$$

La batterie étant employée deux heures par jour pendant 10 jours, soit 20 heures au total, et débitant 100 milliampères, la quantité d'électricité fournie est de :

$$20 \times \frac{1.000}{100} = 2 \text{ ampères-heure.}$$

La puissance ou consommation fournie pendant le même temps est de :

$$W = EIt = 200 \times \frac{100}{1.000} \times 20 = 400 \text{ watts-heure} = 4 \text{ hectowatts-heure.}$$

50. — *On veut alimenter un appareil de réception comportant 5 lampes disposées en parallèle, et nécessitant chacune une intensité de 0,2 ampère, sous une tension de 6 volts. A cet effet, on emploie des accumulateurs d'une force électromotrice de 1,8 volt, et de résistance intérieure négligeable. Une résistance réglable de de 0 à 4 ohms permet d'adapter la tension à la valeur nécessaire.*

Combien faut-il utiliser d'éléments d'accumulateurs pour obtenir les meilleurs résultats ?

SOLUTION. — La résistance réglable permet de régler exactement le courant à la valeur nécessaire, mais il y a intérêt à ce que la résistance en circuit soit la plus faible possible, pour diminuer les pertes correspondantes.

Le courant fourni par la batterie doit être égal à $0,2 \times 5 = 1$ ampère, et la résistance totale du circuit est égale à la somme des résistances des filaments en parallèle et de la résistance du rhéostat.

Si l'on veut, par exemple, maintenir cette résistance aux environs de 0,5 ohm, et si E est la force électromotrice de la batterie nécessaire, R la résistance totale, I l'intensité du courant dans le circuit, on peut toujours appliquer la formule fondamentale :

$$E = RI.$$

D'où, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$E = \left(0,5 + \frac{60}{10}\right) \times 1 \quad E = 6,5 \times 1 = 6,5 \text{ volts.}$$

Nous savons que la force électromotrice de chaque accumulateur est de 1,8 volt, il faut donc employer :

$$\frac{6,5}{1,8} = 3,8 = 4 \text{ éléments d'accumulateur, en pratique.}$$

Il est clair ici que ce résultat était presque évident, mais la méthode employée serait la même dans tous les cas que nous pourrions avoir à considérer.

51. — Deux éléments de piles ont une force électromotrice de 1,8 volt et une résistance intérieure de 2 ohms. Ils sont reliés à un circuit de récepteur présentant une résistance de 7 ohms.

Quelle est la résistance à mettre en série pour régler l'intensité du courant à 300 milliampères ? — Quelle sera la tension obtenue aux bornes du récepteur ?

SOLUTION. — Soient I le courant débité par la batterie, E la force électromotrice, r la résistance intérieure de la batterie, R la résistance extérieure, R_1

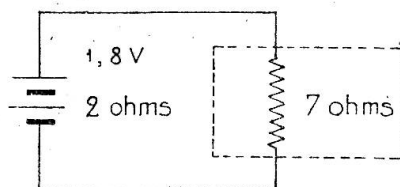


FIG. 17.

la valeur de la résistance supplémentaire cherchée, nous pouvons encore utiliser la formule déjà employée plus haut (fig. 17)

$$I = \frac{E}{R + r + R_1}.$$

On en tire :

$$R_1 = \frac{E}{I} - (R + r).$$

Puisque les éléments de piles sont montés en série, les forces électromotrices s'ajoutent :

$$E = 1,8 \times 2 = 3,6 \text{ volts.}$$

De même, les résistances intérieures s'additionnent :

$$r = 2 \times 2 = 4 \text{ ohms.}$$

En remplaçant les lettres par leurs valeurs, il vient :

$$R_1 = \frac{3,6}{\frac{300}{1.000}} - (7 + 4).$$

$$R = \frac{36}{3} - 11 = 12 - 11 = 1 \text{ ohm.}$$

La résistance extérieure à employer est donc de 1 ohm.

La chute de tension dans cette résistance est de :

$$V_1 = 1 \times \frac{300}{1.000} = 0,3 \text{ volts.}$$

La chute de tension dans la pile est, d'autre part :

$$V_2 = 4 \times \frac{300}{1.000} = 1,2 \text{ volt.}$$

La chute de tension totale est ainsi de :

$$1,2 + 0,3 = 1,5 \text{ volt.}$$

Et la tension appliquée sur le poste de :

$$3,6 - 1,5 = 2,1 \text{ volts.}$$

On retrouve évidemment le même résultat directement en calculant la chute de tension V_3 aux bornes de la résistance d'utilisation :

$$V_3 = 7 \times \frac{300}{1.000} = 2,1 \text{ volts.}$$

52. — Un dispositif composé de deux bobinages identiques en parallèle est monté en série dans un circuit de récepteur. Ce système est traversé par un courant continu de 60 milliampères.

On mesure aux bornes A B du système une différence de potentiel de 20 volts. Quelle est la résistance de chaque bobine ?

SOLUTION. — Soient R la résistance totale des deux bobines, I le courant

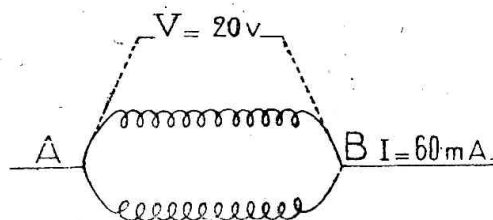


FIG. 18.

qui les traverse, et V la différence de potentiel aux bornes A B. On a, d'après la loi d'Ohm (fig. 18) :

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

D'où, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$R = \frac{20}{\frac{60}{1.000}} = 333,33 \text{ ohms.}$$

Les deux résistances des bobines étant montées en parallèle et égales, on sait que leur combinaison a une valeur égale à la moitié de la résistance de chacune d'elles.

Chaque bobine a donc une résistance de :

$$333,33 \times 2 = 666,66 \text{ ohms.}$$

53. — Dans un appareil de mesure, on utilise une résistance montée en A B. Par suite des variations de température, la valeur de cette résistance est de 10,5 ohms, alors qu'il est nécessaire de disposer d'une résistance exactement de 10 ohms.

On ne peut démonter cette résistance, et on demande la valeur de la résistance supplémentaire à monter en dérivation, pour rétablir l'appareil dans son état de fonctionnement exact.

SOLUTION. — Soient r_2 la résistance additionnelle, r_1 la résistance initiale

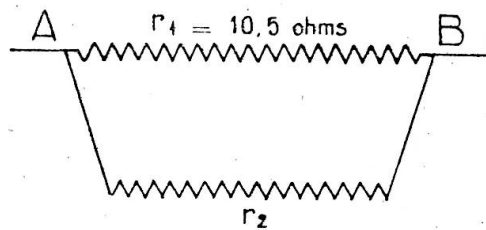


FIG. 19.

et R la valeur de la résistance totale formée par l'ensemble des deux résistances en parallèle. Cette résistance est donnée par la formule (fig. 19) :

$$R = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}.$$

D'où, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$\begin{aligned} 10 &= \frac{r_2 \times 10,5}{r_2 + 10,5} \\ 10 r_2 + 105 &= 10,5 r_2 & 105 &= 0,5 r_2 \\ r_2 &= \frac{105}{0,5} = 210 \text{ ohms.} \end{aligned}$$

54. — Ne possédant pas de résistances assez robustes, ni assez élevées, on a monté 6 résistances de 50 ohms en série parallèle deux à deux, soit trois ensembles de deux résistances en série.

Quelle est la résistance de l'ensemble ainsi formé ?

SOLUTION. — Chaque groupe de deux résistances en série a pour valeur, puisque les résistances s'additionnent (fig. 20) :

$$50 + 50 = 100 \text{ ohms.}$$

Puisque les trois groupes de résistances en parallèle sont identiques, la résistance totale de l'ensemble est égale au tiers de la résistance de chaque groupe, soit :

$$\frac{100}{3} = 33,33 \text{ ohms}$$

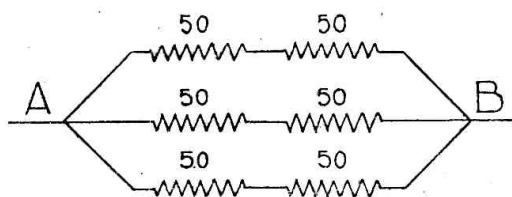


FIG. 20.

55. — Dans le circuit d'alimentation d'un récepteur à lampes multiples, on utilise trois résistances r_1 , r_2 , r_3 montées en série, et qui ont pour valeurs respectives, 20.000, 30.000 et 50.000 ohms.

On mesure à l'aide d'un voltmètre la chute de tension aux extrémités A et B du système, et l'on trouve une valeur de 100 volts. On ne peut mesurer directement les chutes de tension aux bornes de ces résistances dont les extrémités ne sont pas accessibles ; on demande donc de calculer les différences de potentiel aux bornes de ces résistances.

SOLUTION. — Les trois résistances du système servant à l'alimentation des lampes étant montées en série, la résistance totale du système est égale à la somme des résistances composantes ; elle est ainsi de :

$$R = r_1 + r_2 + r_3$$

soit, en remplaçant les lettres par leurs valeurs (fig. 21) :

$$20.000 + 30.000 + 50.000 = 100.000 \text{ ohms.}$$

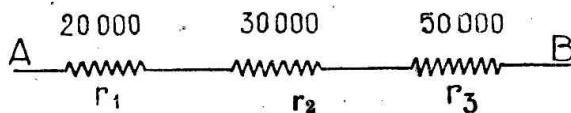


FIG. 21.

La chute de tension constatée aux bornes extrêmes A et B du système à l'aide du voltmètre, est de 110 volts ; nous pouvons en déduire l'intensité du courant I traversant le système, d'après la formule fondamentale $I = \frac{E}{R}$, E étant la chute de tension en volts, et R la résistance en ohms.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs, il vient :

$$I = \frac{100}{100.000} = 1 \text{ milliampère.}$$

Nous pouvons en déduire les différences de tension aux bornes des résistances.

Pour la première r_1 de 20.000 ohms, nous appliquons la formule $V_1 = IR$, soit, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$V_1 = 20.000 \times \frac{1}{1.000} = 20 \text{ volts.}$$

Nous trouvons, de même, aux bornes de la résistance r_2 de 30.000 ohms une chute de tension V_2 de :

$$V_2 = 30.000 \times \frac{1}{1.000} = 30 \text{ volts.}$$

De même, pour la troisième résistance de 50.000 ohms, la chute de tension V_3 est de :

$$V_3 = 50.000 \times \frac{1}{1.000} = 50 \text{ volts.}$$

56. — Dans le circuit d'alimentation d'un récepteur, on dispose en parallèle trois résistances, r_1 , r_2 , r_3 , respectivement de 200.000 ohms, 50.000 ohms et 40.000 ohms. Aux bornes A et B de l'ensemble, on mesure avec un voltmètre une chute de tension de 50 volts.

On ne possède pas d'ampèremètre pour mesurer l'intensité du courant total, et on demande de calculer cette dernière.

SOLUTION. — Le système comporte un ensemble de résistances montées en parallèle. Pour déterminer la résistance totale formée par ces trois résistances combinées, r_1 , r_2 , r_3 , on applique la formule (fig. 22) :

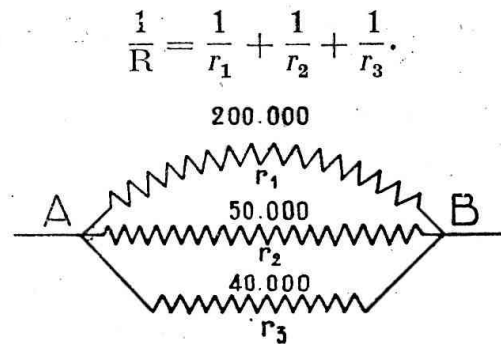


FIG. 22.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs, il vient :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{200.000} + \frac{1}{50.000} + \frac{1}{40.000} = \frac{1 + 4 + 5}{200.000} = \frac{10}{200.000}$$

D'où :

$$R = \frac{200.000}{10} = 20.000 \text{ ohms.}$$

La chute totale de tension mesurée aux bornes AB est de 50 volts d'après

l'énoncé. En appliquant la formule $I = \frac{E}{R}$, nous en déduirons l'intensité cherchée $I = \frac{50}{20.000} = \frac{5}{2.000} = 2,5$ milliampères.

57. — Trois résistances r_1 , r_2 , r_3 , respectivement de 100.000, 50.000 et 25.000 ohms, sont montées en parallèle entre deux bornes A et B d'un circuit, entre lesquelles on constate une différence de potentiel de 200 volts.

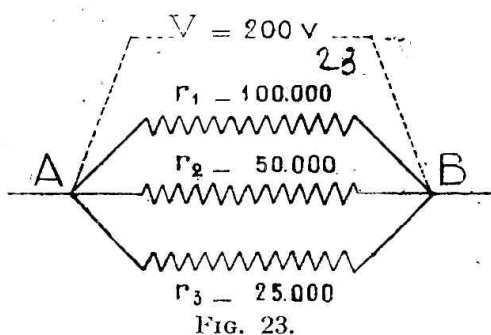
On demande les puissances absorbées par les différentes résistances. Quelle est celle qui chauffe le plus ?

La résistance obtenue n'étant pas assez élevée, on monte ces résistances en série. Est-ce toujours la même résistance qui chauffe le plus ?

S'il y a un changement, quelle est sa raison ? Si la chute de tension aux bornes A et B est de 350 volts, quelle est la puissance absorbée par chacune des résistances ?

SOLUTION. — Soit R la résistance totale de la combinaison formée par les résistances r_1 , r_2 , et r_3 en parallèle on a, comme précédemment, puisque les inverses des résistances s'ajoutent (fig. 23) :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}$$



D'où, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{100.000} + \frac{1}{50.000} + \frac{1}{25.000} = \frac{1 + 2 + 4}{100.000} = \frac{7}{100.000}$$

$$R = \frac{100.000}{7} = 14.285 \text{ ohms.}$$

Puisque la différence de potentiel V aux bornes AB est de 200 volts, l'intensité du courant i_1 traversant la résistance r_1 est donnée par l'expression représentant la loi d'Ohm :

$$i_1 = \frac{V}{r_1} = \frac{200}{100.000} = 2 \text{ milliampères.}$$

De même, l'intensité i_2 du courant traversant la résistance r_2 est :

$$i_2 = \frac{V}{r_2} = \frac{200}{50.000} = 4 \text{ milliampères.}$$

On aurait, de même :

$$i_3 = \frac{V}{r_3} = \frac{200}{25.000} = 8 \text{ milliampères.}$$

L'intensité totale du courant est donc :

$$2 + 4 + 8 = 14 \text{ milliampères.}$$

On peut bien vérifier ainsi que la chute de tension produite par le courant total aux bornes de la résistance totale est égale à la valeur donnée. On a, en effet :

$$\frac{14}{1.000} \times 14.285 = 199,99 \text{ volts, soit pratiquement 200 volts.}$$

La chute de tension aux bornes A B étant de 200 volts, les puissances absorbées par les différentes résistances sont de :

$$P_1 = 200 \times \frac{2}{1.000} = 0,4 \text{ watt.}$$

$$P_2 = 200 \times \frac{4}{1.000} = 0,8 \text{ watt.}$$

$$P_3 = 200 \times \frac{8}{1.000} = 1,6 \text{ watt.}$$

C'est donc la résistance r_3 la plus faible qui absorbe la plus grande puissance, et, par conséquent, chauffe le plus.

Lorsqu'on monte les trois résistances en série, la résistance totale R_1 est égale à la somme des résistances r_1 , r_2 , r_3 , soit (fig. 24) :

$$100.000 + 50.000 + 25.000 = 175.000 \text{ ohms.}$$

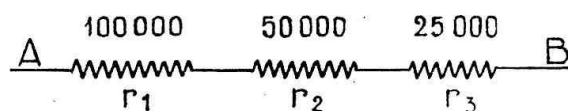


FIG. 24.

Puisque la différence de potentiel mesurée aux bornes A B est de 350 volts, l'intensité du courant traversant l'ensemble des résistances est, d'après la loi d'Ohm :

$$I = \frac{E}{R} = \frac{350}{175.000} = 2 \text{ milliampères.}$$

La puissance absorbée dans les différentes résistances au total est de :

$$P' = 350 \times \frac{2}{1.000} = 0,7 \text{ watt.}$$

C'est la résistance la plus élevée qui absorbe, dans ce cas, la plus forte puissance, puisque toutes les résistances sont parcourues par la même intensité. La puissance absorbée dépend donc directement de la résistance. Au contraire,

dans le cas des résistances en parallèle, c'est la résistance la plus faible qui est parcourue par l'intensité la plus grande.

Les puissances absorbées respectivement par les différentes résistances en série, sont de :

$$P_1 = 0,35 \text{ watt.}$$

$$P_2 = 0,20 \text{ watt.}$$

$$P_3 = 0,15 \text{ watt.}$$

Ces résultats pourraient être retrouvés directement par les formules :

$$P_1 = r_1 \times I^2, \quad P_2 = r_2 \times I^2, \quad P_3 = r_3 \times I^2.$$

58. — Un potentiomètre a une résistance totale de 90.000 ohms. On mesure à ses bornes une différence de potentiel de 90 volts. On demande à quelle position doit se trouver le curseur, pour obtenir une différence de potentiel de 60 volts, les valeurs des deux résistances partielles ainsi formées, et les puissances absorbées.

SOLUTION. — Le courant dans la résistance A B est, d'après la loi d'Ohm :

$$I = \frac{90}{90.000} = 1 \text{ milliampère.}$$

Nous devons placer le curseur du potentiomètre en un point C, tel que dans la résistance r_1 , se trouvant entre A et C, nous obtenions une chute de tension de 60 volts (fig. 25).

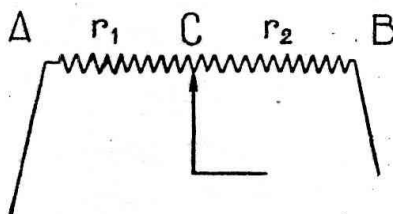


FIG. 25.

Nous devons donc avoir :

$$60 = r_1 \times \frac{1}{1.000} \quad \text{d'où} \quad r_1 = 60.000 \text{ ohms.}$$

L'autre portion de résistance r_2 est alors égale à :

$$90.000 - 60.000 = 30.000 \text{ ohms.}$$

Ce résultat était évident, puisque nous devons obtenir une chute de tension égale aux $\frac{2}{3}$ de la différence de potentiel totale aux bornes. La résistance devait être aussi égale aux $\frac{2}{3}$ de la résistance totale, soit :

$$\frac{90.000 \times 2}{3} = 60.000 \text{ ohms.}$$

La puissance absorbée dans la résistance r_1 est :

$$P_1 = 60 \times \frac{1}{1.000} = 0,06 \text{ watt.}$$

Dans l'autre portion r_2 :

$$P_2 = 30 \times \frac{1}{1.000} = 0,03 \text{ watt.}$$

Et, enfin, dans la résistance totale, la puissance absorbée est :

$$P = 90 \times \frac{1}{1.000} = 0,09 \text{ watt.}$$

59. — *Un bobinage de haut-parleur en fil de cuivre a une résistance de 4 ohms à 0°. Après un fonctionnement de longue durée, la résistance est devenue de 4,8 ohms. Quelle est alors sa température ?*

SOLUTION. — Soient R_0 la résistance de la bobine à 0°, R_t la résistance à la température cherchée, on sait qu'on peut utiliser la formule :

$$R_t = R_0(1 + \alpha t).$$

α est un coefficient de température égal à 0,0043 pour le cuivre.

On en tire :

$$R_t - R_0 = R_0 \alpha t$$

et :

$$t = \frac{R_t - R_0}{R_0 \alpha}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$t = \frac{4,8 - 4}{4 \times 0,0043} = \frac{0,8}{0,016} = 46^{\circ}5.$$

CHAPITRE VII

PILES ET ACCUMULATEURS

CARACTÉRISTIQUES DES PILES.

La *force électromotrice* d'une pile est la différence de potentiel aux bornes en circuit ouvert ; elle est indépendante des dimensions de la pile, et ne dépend que de la nature des éléments en présence.

La *résistance intérieure* d'une pile dépend des dimensions des éléments, de leur disposition et du degré de concentration de l'électrolyte ; elle est de l'ordre de 0,1 à 1 ohm.

La *puissance totale* est évaluée en fonction de la force électromotrice E , et de l'intensité I en ampères, par la formule :

$$P \text{ (watts)} = E \text{ (volts)} \times I \text{ (ampères)}.$$

La *puissance utile* est donnée, d'autre part, en fonction de la différence de potentiel V en circuit fermé, par la formule :

$$P \text{ (watts)} = V \text{ (volts)} \times I \text{ (ampères)}.$$

La *capacité de la pile* est la quantité d'électricité qu'elle peut fournir jusqu'à usure de ses éléments ; elle dépend des dimensions des électrodes et de la nature de l'électrolyte ; on l'évalue en ampères-heure.

Le *débit normal* de la pile est le courant maximum fourni sans irrégularités de fonctionnement et sans effet de polarisation accentué.

CARACTÉRISTIQUES DES ACCUMULATEURS.

La *force électromotrice* de l'accumulateur ne dépend que du système considéré, et du degré de charge. Pour un accumulateur au plomb et un élément chargé, elle est voisine de 2,1 volts.

La *résistance intérieure* dépend des dimensions et de la disposition des électrodes, ainsi que de la conductibilité de l'électrolyte ; elle est de l'ordre du 1/100 ou du 1/1.000 d'ohm pour un élément normal.

La *capacité* est la quantité d'électricité évaluée en ampères-heure que l'élément peut normalement débiter, sans qu'il soit nécessaire de le recharger. Elle varie normalement entre quelques ampères-heure à quelques milliers d'ampères-heure.

Lorsque les éléments sont montés en série, la capacité de la batterie est celle d'un élément ; la force électromotrice E , les éléments étant identiques, est donnée par l'expression :

$$E = n \times e.$$

Lorsque les éléments sont montés en parallèle, la capacité est égale à celle d'un élément multipliée par le nombre des éléments. Dans ce cas, la force électromotrice est égale à celle d'un élément.

L'énergie utilisable W fournie par une batterie est égale au produit de la quantité d'électricité Q pendant la décharge en ampères-heure, multipliée par la différence de potentiel E au moment de la décharge :

$$W = Q \times E.$$

L'énergie fournie à un élément est égale au produit de la quantité d'électricité fournie pendant la charge en ampères-heure multipliée par la différence de potentiel au moment de la charge en volts :

$$W \text{ (watts-heures)} = Q \text{ (ampères-heure)} \times V \text{ (volts)}.$$

Le *rendement* d'une batterie est ainsi le rapport entre la quantité d'électricité recueillie à la décharge, et la quantité absorbée pour la charge. Il est de l'ordre de 80 à 90 %.

On peut également distinguer le rendement en énergie, qui est le rapport entre la quantité d'énergie par l'accumulateur à la décharge et la quantité d'énergie fournie à la charge.

APPLICATIONS

60. — Une batterie d'accumulateurs a une capacité utile de 100 ampères-heure pour une décharge de 10 heures. On demande l'intensité normale du courant de décharge et l'intensité du courant de charge nécessaire pendant 20 heures, si le rendement est de 70 %.

SOLUTION. — Si la capacité pratique est de 100 ampères-heure pour une décharge de 10 heures, l'intensité de décharge normale est évidemment de :

$$\frac{100}{10} = 10 \text{ ampères.}$$

Puisque le rendement de la batterie est de 70 %, pour obtenir une quantité d'électricité de 100 ampères-heure à la décharge, il faut employer à la charge une quantité d'électricité de :

$$100 \times \frac{100}{70} = 142,85 \text{ ampères-heure.}$$

L'intensité du courant de charge normal pour une durée de 20 heures est donc de :

$$\frac{142,85}{20} = 7,1425 \text{ ampères.}$$

61. — *Combien de jours peut-on utiliser sans recharge une batterie d'accumulateurs d'une capacité pratique de 200 ampères-heure, qui est employée pendant 5 heures par jour, et débite un courant de 1 ampère.*

SOLUTION. — La quantité d'électricité débitée par jour par la batterie est de :

$$1 \times 5 = 5 \text{ ampères-heure.}$$

La batterie peut donc être utilisée pendant :

$$\frac{200}{5} = 40 \text{ jours.}$$

62. — *Une batterie d'accumulateurs de tension plaque de 200 volts pour émission, fournissant un courant de 100 milliampères, est utilisée 5 heures par jour et ne peut être rechargée que tous les 10 jours.*

Quelle doit être sa capacité utilisable ?

SOLUTION. — La batterie débite 100 milliampères et doit alimenter le poste émetteur 5 heures par jour pendant 10 jours, soit pendant 50 heures, sans être rechargée.

Pendant ce temps, elle doit donc fournir une quantité d'électricité de :

$$\frac{100}{1.000} \times 50 = 5 \text{ ampères-heure.}$$

La capacité utilisable de la batterie doit donc être de 5 ampères-heure.

63. — *Trois éléments de piles sèches, d'une force électromotrice de 1,5 volt, d'une résistance intérieure de 0,9 ohm, sont montés en série pour l'alimentation d'un poste. La résistance du circuit d'alimentation est de 10,8 ohms.*

Quelle est l'intensité du courant fourni par la batterie ?

SOLUTION. — Ce problème a déjà été étudié précédemment sous une autre forme. Les éléments de piles étant en série, leurs forces électromotrices s'additionnent, ainsi que leurs résistances intérieures (fig. 26).

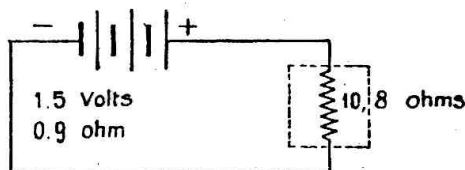


FIG. 26.

La batterie a donc une force électromotrice de $1,5 \times 3 = 4,5$ volts et une résistance intérieure de $0,9 \times 3 = 2,7$ ohms.

La résistance totale du circuit est ainsi de :

$$10,8 + 2,7 = 13,5 \text{ ohms.}$$

L'intensité I du courant fourni par la pile est alors, d'après la formule exprimant la loi d'Ohm :

$$I = \frac{4,5}{13,5} = \frac{1}{3} = 0,333 \text{ ampère.}$$

64. — Les trois éléments précédents sont montés en parallèle, et débitent sur un appareil de mesure d'une résistance de 30 ohms. Quelle sera l'intensité du courant obtenu ?

SOLUTION. — Les éléments étant montés en parallèle et identiques, la force électromotrice de la batterie formée sera égale à la force électromotrice

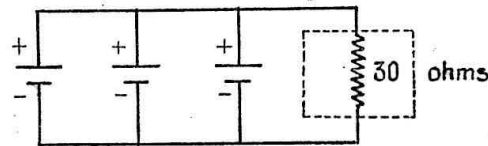


FIG. 27.

d'un élément, soit 1,5 volt, et la résistance intérieure égale à celle d'un élément divisé par le nombre de ces éléments, soit (fig. 27) :

$$\frac{0,9}{3} = 0,3 \text{ ohm.}$$

La résistance totale du circuit est ainsi de :

$$30 + 0,3 = 30,3 \text{ ohms.}$$

et l'intensité du courant fourni par la batterie :

$$I = \frac{1,5}{30,3} = 0,05 \text{ ampère environ.}$$

65. — Une batterie de piles est formée de 6 éléments d'une force électromotrice de 1,5 volt, d'une résistance intérieure de 0,9 ohm, montés en série-parallèle, avec trois groupes en parallèle de 2 éléments en série.

Quelle est l'intensité du courant obtenu dans une résistance extérieure de 5 ohms du circuit d'un appareil de mesure ?

SOLUTION. — Chaque groupe de 2 éléments de piles a une force électromotrice de $1,5 \times 2 = 3$ volts, et une résistance intérieure de $0,9 \times 2 = 1,8$ ohm puisque ces éléments sont montés en série (fig. 28).

La batterie formée de trois groupes en parallèle a une force électromotrice de 3 volts, et une résistance intérieure de $\frac{1,8}{3} = 0,6$ ohm.

La résistance totale du circuit est donc de :

$$5 + 0,6 = 5,6 \text{ ohms.}$$

L'intensité du courant débité par la batterie est de :

$$I = \frac{3}{5,6} = 0,535 \text{ ampère} = 535 \text{ milliampères.}$$

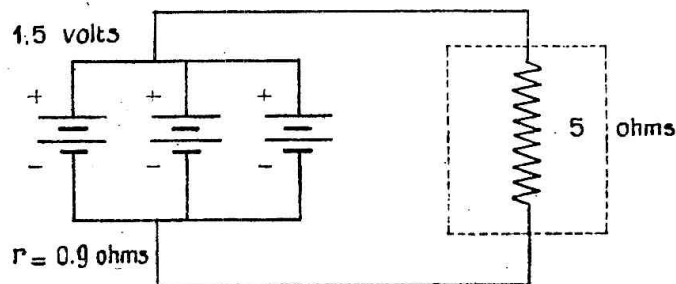


FIG. 28.

66. — 100 éléments d'accumulateurs sont utilisés pour alimenter en courant plaque un poste émetteur. Le courant de charge normal d'un élément est de 0,5 ampère, et le courant de décharge de 0,7 ampère.

On monte ces éléments en série, puis en parallèle, et, enfin, en série-parallèle par groupes de 5 en série. — Quels sont les courants de charge et de décharge des batteries ainsi formées ?

SOLUTION. — Lorsque les éléments sont montés en série, la capacité de la batterie est la même que celle d'un élément. Les courants de charge et de décharge sont donc les mêmes que pour un élément séparé, soit 0,5 ampère pour la charge et 0,7 ampère pour la décharge.

Lorsque les éléments sont montés en parallèle, les capacités des éléments s'additionnent ; les courants de charge et de décharge sont augmentés dans la même proportion.

Les 100 éléments étant montés en parallèle, le courant de charge devient $0,5 \times 100 = 50$ ampères, et le courant de décharge, $0,7 \times 100 = 70$ ampères.

Dans le montage en série-parallèle, enfin, il y a $\frac{100}{5} = 20$ groupes d'éléments montés en parallèle. La capacité du système est donc 20 fois plus grande que celle d'un seul élément ; les courants de charge et de décharge sont augmentés dans les mêmes proportions ; ils deviennent $0,5 \times 20 = 10$ ampères et $0,7 \times 20 = 14$ ampères.

CHAPITRE VIII

MAGNÉTISME ET ÉLECTROMAGNÉTISME

CHAMP MAGNÉTIQUE ET FLUX MAGNÉTIQUE.

L'intensité du *champ magnétique* H est la grandeur de la force magnétique en un point de l'espace traversé par les lignes de force du champ.

L'intensité du champ magnétique est évaluée en *gauss*.

Dans un champ magnétique uniforme, d'une intensité H en gauss, une surface S en centimètres carrés, perpendiculaire à la direction des lignes de force est traversée par un *flux magnétique* Φ tel que :

$$\Phi = H \times S \text{ (maxwells).}$$

Si la surface considérée est inclinée d'un angle α sur le plan perpendiculaire à la direction des lignes de force du champ, le flux magnétique Φ est exprimé par la valeur :

$$\Phi = H \times S \times \cos \alpha.$$

Dans un barreau aimanté situé dans un champ magnétique, l'intensité du champ en un point d'une section de surface S est l'*induction magnétique* B évaluée en gauss, et le flux magnétique est indiqué par l'expression :

$$\Phi \text{ (maxwells)} = B \text{ (gauss)} \times S \text{ (centimètres carrés).}$$

La perméabilité magnétique du fer, de la fonte, et de l'acier est plus grande que celle de l'air, et l'intensité H du champ magnétique en un point augmente si l'on place un noyau de métal magnétique.

Le coefficient de perméabilité μ varie avec la composition du métal considéré, et l'intensité du champ. L'induction B dans le noyau devient alors :

$$B = \mu H.$$

FORCE PORTANTE D'UN AIMANT.

La force portante d'un aimant ou d'un électro-aimant S en grammes-poids, est exprimée par la formule :

$$F_1 = \frac{B^2 \times S}{8\pi \times 981} \quad \text{et en kilogrammes,} \quad F_2 = \frac{1}{981.000} \times \frac{B^2 S}{8\pi}$$

B étant l'induction en gauss, et S la section en centimètres carrés de l'armature au collage.

CHAMP MAGNÉTIQUE ET SOLÉNOÏDE.

Dans un solénoïde, l'intensité du champ magnétique en gauss est donnée par l'expression :

$$H = \frac{4 \cdot NI}{10l} = 1,25 \frac{NI}{l},$$

l étant la longueur du solénoïde en centimètres, N le nombre de tours du bobinage, I l'intensité du courant parcourant le bobinage.

Le produit NI constitue le nombre d'ampères-tours, et l'expression $\frac{NI}{l}$ le nombre d'ampères-tours spécifiques, ou d'ampères-tours par centimètre.

L'intensité du champ magnétique peut encore être exprimée par la relation équivalente :

$$H = 1,25 \times nI$$

avec les mêmes notations que précédemment, si n est le nombre de tours par centimètre.

L'induction B dans un noyau d'électro-aimant est donnée comme précédemment par l'expression :

$B = \mu H$, et, en remplaçant H par sa valeur :

$$B \text{ (gauss)} = \frac{1,25NI}{l} \times \mu.$$

Le flux d'induction Φ en maxwells dans le solénoïde dont la spire a comme surface S en centimètres carrés, est donné, de même, par l'expression :

$$\Phi = B \times S = \frac{1,25NI}{l} \times \mu \times S.$$

TORE MAGNÉTIQUE.

Le champ H en gauss, à l'intérieur d'un tore de longueur développée l en centimètres, comportant un bobinage de N spires, a pour valeur :

$$H = \frac{4\pi NI}{10l} = 1,25 \frac{NI}{l}.$$

CHAMP MAGNÉTIQUE AUTOUR D'UN FIL ET D'UNE SPIRE.

Le champ H en gauss produit en un point situé à une distance d en centimètres d'un conducteur rectiligne parcouru par un courant I en ampères a pour valeur :

$$H = \frac{2I}{10d}.$$

Au centre d'un conducteur circulaire de rayon R parcouru par un courant I , le champ a pour valeur :

$$H = \frac{2\pi I}{10R}.$$

APPLICATIONS

67. — *Quelle est la valeur du flux magnétique agissant sur une surface de 50 cm² disposée perpendiculairement à la direction d'un champ magnétique homogène d'intensité 2.000 gauss ?*

SOLUTION. — Le flux magnétique Φ , à travers une surface normale au champ, est le produit de l'intensité H du champ en un point par cette surface S :

$$\Phi \text{ (maxwells)} = H \text{ (gauss)} \times S \text{ (cm}^2\text{)}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$\Phi = 2.000 \times 50 = 100.000 \text{ maxwells.}$$

68. — *Un bobinage, d'une section de 5 cm², est placé dans un champ magnétique perpendiculaire au plan des spires, et de 200 gauss ; le nombre des spires est de 50.*

Calculez le flux à travers une spire et à travers toute la bobine.

SOLUTION. — Appliquons la formule :

$$\Phi = H \times S$$

dans laquelle Φ , = flux magnétique en maxwells, H = intensité du champ en gauss, S = surface en cm² traversée par le flux.

Le flux magnétique traversant une spire du bobinage est ainsi :

$$\Phi = 200 \times 5 = 1.000 \text{ maxwells.}$$

Puisque le nombre des spires est de 50, le flux total à travers la bobine est 50 fois plus grand, soit :

$$50 \times 1.000 = 50.000 \text{ maxwells.}$$

69. — *Un bobinage de 25 centimètres de longueur comportant 1.500 spires est parcouru par un courant de 1 ampère.*

Quel est le nombre d'ampères-tours, et l'intensité du champ magnétique dans ce solénoïde ?

SOLUTION. — Dans un bobinage de longueur l (en centimètres), traversé par un courant d'intensité I , et comportant un nombre de spires N , le champ en gauss H dans la région moyenne est donné par l'expression :

$$H = 1,25 \times \frac{NI}{l}.$$

Le produit NI indique le nombre d'ampères-tours ; il est ici égal à :

$$1.500 \times 1 = 1.500.$$

Le champ est égal, d'autre part, en remplaçant les lettres par leurs valeurs dans l'expression précédente à :

$$H = 1,25 \times \frac{1.500}{25} = 75 \text{ gauss.}$$

70. — *Le bobinage précédent est muni d'un noyau en fer, dont le coefficient de perméabilité dans les conditions données est de 200.*

Quelle est l'induction magnétique dans l'électro-aimant ainsi formé ?

SOLUTION. — Si μ est le coefficient de perméabilité, H le champ dans un solénoïde, l'induction magnétique B exprimée en gauss est donnée par l'expression :

$$B = \mu H.$$

Nous avons trouvé dans le problème précédent que le champ H dans le bobinage était de 75 gauss, nous avons donc :

$$B = 75 \times 200 = 15.000 \text{ gauss.}$$

71. — *Un tore magnétique comporte 500 spires, et sa circonférence moyenne a 200 millimètres de diamètre.*

Quelle doit être l'intensité du courant traversant le système, pour que le champ à l'intérieur du tore soit de 10 gauss ?

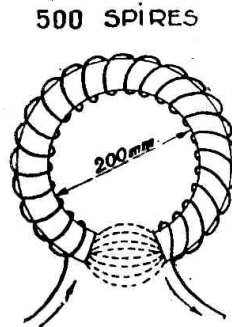


FIG. 29.

SOLUTION. — Le champ H en gauss à l'intérieur d'un tore est exprimé par la formule (fig. 29) :

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

Dans laquelle, N = nombre de spires, l = longueur du tore développé en centimètres, I = intensité en ampères du courant parcourant les spires.

Ici, $l = 20 \times \pi$, et il vient, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$10 = \frac{4\pi \times 500 \times I}{10 \times 20 \times \pi}.$$

On en tire :

$$I = \frac{10 \times 10 \times 20 \times \pi}{4\pi \times 500} = \frac{100 \times 20}{2.000} = 1 \text{ ampère.}$$

72. — *Un électro-aimant a une section circulaire de 1 cm^2 ; l'induction magnétique produite dans cette surface est de 1.000 gauss .*

Quelle est la force attractive de ce dispositif utilisé dans un relais ?

SOLUTION. — La force attractive F d'un électro-aimant en kilogrammes est donnée par l'expression :

$$F = \frac{1}{981.000} \times \frac{B^2 S}{8\pi},$$

Dans laquelle B = induction en gauss dans l'armature au collage, S = surface de cette armature en centimètres carrés (fig. 30).

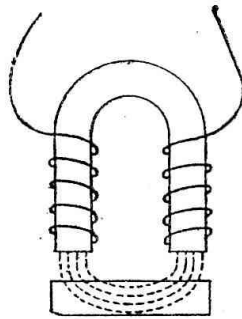


FIG. 30.

D'où, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$F \text{ (kilogrammes)} = \frac{1}{981.000} \times \frac{(1.000)^2 \times 1}{8\pi} = 0,408 \text{ kg.} = 408 \text{ grs.}$$

CHAPITRE IX

INDUCTION ET SELF-INDUCTION

FORCE ÉLECTROMOTRICE D'INDUCTION.

La force électromotrice moyenne d'induction dans une bobine comportant N spires est directement proportionnelle à la variation de flux magnétique, au nombre de spires, et inversement proportionnelle au temps ; elle est indiquée par l'expression :

$$E_{\text{moy.}} \text{ (volts)} = \frac{(\Phi_1 - \Phi_2) \times N}{t(\text{sec.}) \times 10^8}.$$

Dans cette expression, t est évalué en secondes, Φ_1 et Φ_2 sont le flux initial et le flux final à la fin de l'expérience.

D'après la loi d'Ohm, on peut déduire de cette formule l'intensité moyenne du courant d'induction :

$$I_{\text{moy.}} = \frac{(\Phi_1 - \Phi_2) \times N}{R \times t \times 10^8}.$$

L'intensité est évaluée en ampères, et la résistance du circuit en ohms.

Enfin, la quantité d'électricité Q en coulombs, passant dans le circuit induit est, de même, donnée par l'expression :

$$Q = It = \frac{(\Phi_1 - \Phi_2) \times N}{R \times 10^8}.$$

COEFFICIENT DE SELF-INDUCTION.

Φ étant le flux engendré par un courant d'intensité I dans un solénoïde, le nombre qui le mesure représente la variation de flux pendant le courant de rupture ou de fermeture du circuit.

Ce flux Φ est proportionnel à l'intensité I du courant, et à *un coefficient L dit de self-induction*, qui dépend de la forme et des dimensions du bobinage, et on peut écrire :

$$\Phi = L \times I ; \quad \text{d'où} \quad L = \frac{\Phi}{I}.$$

Si Φ est exprimé en maxwells, I en ampères, L en henrys : $\Phi = LI \ 10^8$.

Si N est le nombre de spires, S la section du solénoïde en centimètres carrés

l la longueur du bobinage en centimètres, le coefficient de self-induction L en unités C. G. S. est donné par l'expression :

$$L = \frac{4\pi N^2 S}{l}.$$

L'unité pratique de coefficient de self-induction, le *henry*, vaut 10^9 unités C. G. S.

Le coefficient de self-induction L en henrys est donné dans ces conditions par l'expression :

$$L = \frac{4\pi N^2 S}{l \times 10^9}.$$

Si la bobine comporte un noyau de fer doux de coefficient de perméabilité μ , il faut multiplier le coefficient de self-induction par μ ; dans ce cas, le coefficient de self-induction varie avec le flux d'induction, et, par suite, avec l'intensité du courant traversant le bobinage.

INDUCTION MUTUELLE ET COUPLAGE.

Deux bobinages, ou deux portions de circuit, présentent entre elles une certaine induction mutuelle M , exprimée en henrys ou en microhenrys.

Deux bobines, ayant respectivement pour coefficients de self-induction L_1 et L_2 , présentent entre elles une *induction mutuelle* M , et un *coefficient de couplage* K , tel que :

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

Le maximum de ce coefficient est égal à 1, si M égale $\sqrt{L_1 L_2}$. Ce maximum est théorique, et, si les deux bobines sont distinctes, K varie de 0 à 0,6.

COMBINAISONS DES BOBINAGES.

Si l'on considère des bobinages en série $L_1, L_2, L_3, \dots$, dans une position telle qu'il n'y ait pas de couplage entre eux, le coefficient total de self-induction L est égal à la somme des coefficients composants :

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + \dots$$

Dans le cas général, s'il y a couplage, et si l'on considère deux bobines de coefficients de self-induction L_1 et L_2 , présentant une induction mutuelle M , le coefficient de self-induction total L est :

$$L = L_1 + L_2 \pm 2M.$$

En supposant toujours qu'il n'y ait pas couplage, si l'on associe plusieurs bobinages en parallèle, l'inverse du coefficient résultant est la somme des inverses des composants :

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots$$

Si l'on associe en parallèle deux bobinages identiques de coefficient de self-induction l , on a :

$$L = \frac{l}{2}.$$

Et, en général, si l'on considère un nombre n de bobinages, de même coefficient de self-induction l , la self-induction de l'ensemble :

$$L = \frac{l}{n}.$$

Dans le cas où il y a couplage, si l'on monte deux bobines en parallèle, l'ensemble présente un coefficient de self-induction L tel que :

$$L = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 \pm 2M}.$$

ÉNERGIE DE SELF-INDUCTION.

Lorsqu'un conducteur rectiligne se déplace perpendiculairement à un champ uniforme, et d'un mouvement uniforme, la force électromotrice d'induction E dans le conducteur a pour expression :

$$E = \frac{Hlv}{10^8}.$$

Dans laquelle, H est le champ en gauss, l la longueur du conducteur en centimètres, v la vitesse de déplacement du conducteur en centimètres par seconde.

FORMULES DE CALCUL DES BOBINAGES.

L'unité pratique de coefficient de self-induction est le henry qui vaut 10^9 unités électromagnétiques C. G. S., ou centimètres.

Le millihenry ou $1/1.000$ d'henry = 10^6 centimètres C. G. S.

Le microhenry, ou $1/1.000.000$ d'henry = 10^3 centimètres C. G. S.

Le coefficient de self-induction d'un bobinage est proportionnel au carré du nombre de ses spires, et au carré de son diamètre.

Pour une bobine cylindrique à une couche, on emploie la formule :

$$L \text{ (microhenrys)} = \frac{(\pi dn)^2 l K}{10^3},$$

dans laquelle, d est le diamètre de la bobine, et l la longueur en centimètres de la partie bobinée, n le nombre de spires par centimètre, K un coefficient de correction dépendant du rapport $\frac{d}{l}$ du diamètre à la longueur de la bobine, et indiqué par le tableau ci-dessous :

$\frac{d}{l}$	K	$\frac{d}{l}$	K	$\frac{d}{l}$	K
0,01	0,995169	0,70	0,760886	3,00	0,429199
0,10	0,958807	0,80	0,735079	3,50	0,394401
0,20	0,920093	0,90	0,710969	4,00	0,365538
0,30	0,883803	1,00	0,688423	4,50	0,340898
0,40	0,849853	1,50	0,595045	5,00	0,319825
0,50	0,818136	2,00	0,525510	10,00	0,202215
0,60	0,788525	2,50	0,471865		

Lorsque la longueur du bobinage est relativement grande par rapport au diamètre, la formule peut se mettre sous la forme :

$$L \text{ (microhenrys)} = \frac{4\pi N^2 S}{10l}.$$

Dans laquelle, S est la section en centimètres carrés, l la longueur en centimètres et N le nombre des spires.

Pour calculer rapidement le coefficient de self-induction des bobinages massés ou en nid d'abeilles, et, plus spécialement en fond de panier, on peut utiliser la formule très simplifiée :

$$L \text{ (microhenrys)} = \frac{2N^2 r}{100}.$$

Dans laquelle, r est le rayon de la spire moyenne en centimètres, et N le nombre des spires.

Cette formule peut évidemment être remplacée par la formule équivalente $L = \frac{N^2 d}{100}$, dans laquelle N est encore le nombre de spires de la bobine, et d le diamètre moyen des spires en centimètres.

On emploie plutôt pour calculer les bobinages en nid d'abeilles, une formule également simplifiée, mais un peu plus complète, qui tient compte de l'épaisseur du bobinage et qui s'écrit :

$$L = \frac{0,315 r^2 N^2}{6r + 9l + 10h}.$$

Dans laquelle, N est le nombre total de spires de la bobine, r le rayon de la spire moyenne, l la longueur de l'enroulement, h son épaisseur parallèlement à son axe.

Le coefficient de self-induction L en henrys d'un bobinage à fer est, de même, indiqué par la formule :

$$L = \frac{1,25 \times N^2}{\frac{1}{\mu S}}.$$

Dans laquelle, N est le nombre de tours du bobinage, l la longueur des lignes de force en centimètres, S la section du noyau, et μ la perméabilité.

COURANTS DE FOUCAULT.

Les courants de Foucault parasites sont des courants induits qui prennent naissance dans les masses métalliques se trouvant dans un champ magnétique.

L'énergie dissipée par les courants de Foucault est exprimée par la formule :

$$W = \frac{KV(eNB)^2}{10^{10}} \text{ (watts).}$$

Le coefficient K est de l'ordre de 2 à 2,5, V est le volume de la masse magnétique en décimètres cubes, e l'épaisseur des tôles en millimètres, N la fréquence du courant induit, et B l'induction maximum.

APPLICATIONS

73. — *Un bobinage de 50 spires d'un appareil de mesure, d'un diamètre moyen de 2 centimètres, se déplace dans un champ magnétique constant d'une intensité de 2.000 gauss. Au début de son mouvement, son plan est perpendiculaire à la direction des lignes de force, et la vitesse de déplacement est de 20 tours par seconde.*

Quelle est la force électromotrice d'induction moyenne dans la bobine, après qu'elle a tourné d'un quart de tour ?

SOLUTION. — La force électromotrice moyenne d'induction E est indiquée par l'expression :

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

Dans laquelle, Φ_1 = flux initial, Φ_2 = flux à la fin du mouvement en gauss, N = nombre de spires du bobinage, t = temps de variation du flux en secondes.

Le bobinage a pour section :

$$0,785 \times 2^2 = 3,14 \text{ cm}^2 \quad (\text{puisque } \frac{\pi}{4} = 0,785).$$

Le flux maximum, Φ_1 lorsque le plan des spires est perpendiculaire aux lignes de force du champ est de :

$$\Phi_1 = 2.000 \times 3,14 = 6.280 \text{ maxwells.}$$

Le flux minimum, lorsque le plan de la bobine est parallèle aux lignes de force, est nul, donc $\Phi_2 = 0$.

La bobine se déplaçant à raison de 20 tours par seconde, la durée de rotation d'un tour est de $1/20$ de seconde, et, pour un quart de tour, de $1/80$ de seconde.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs dans la formule précédente :

$$E = \frac{6.280 \times 50}{\frac{1}{80} \times 10^8} = \frac{6.280 \times 50 \times 80}{10^8} = \frac{628 \times 5 \times 8}{10^5} = \frac{2.512}{10^4} = 0,2512 \text{ volt.}$$

74. — Quel est le coefficient de self-induction d'un bobinage cylindrique à une couche de 20 centimètres de longueur, 2,26 centimètres de diamètre, et comportant 100 spires ?

On place dans la bobine un noyau de fer de coefficient de perméabilité $\mu = 200$; que devient le coefficient de self-induction ?

SOLUTION. — La longueur du bobinage étant assez grande par rapport au diamètre, pour trouver le coefficient de self-induction L , nous pouvons utiliser la formule (fig. 31) :

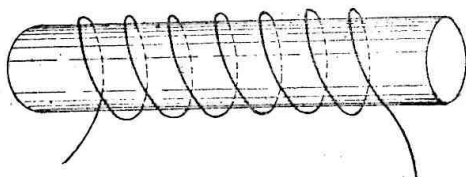


FIG. 31.

$$L \text{ (microhenrys)} = \frac{4\pi N^2 S}{10^3 l},$$

Dans laquelle S = section en cm^2 , l = longueur en centimètres, N = nombre de spires.

La section S en cm^2 est ici égale à :

$$S = 0,785 \times 2,26^2 = 4 \text{ cm}^2 \quad \left(\frac{\pi}{4} = 0,785 \right).$$

En remplaçant les lettres par leurs valeurs, il vient :

$$L = \frac{4 \times 3,14 \times 10.000 \times 4}{10^3 \times 20} = \frac{4 \times 3,14 \times 4}{2} = 25 \text{ microhenrys.}$$

Si l'on place dans la bobine un noyau de fer d'un coefficient de perméabilité $\mu = 200$, le flux dans la bobine devient théoriquement 200 fois plus grand et le coefficient de self-induction devient :

$$25 \times 200 = 5.000 \text{ microhenrys.}$$

75. — Calculer rapidement le coefficient de self-induction d'une bobine en nid d'abeille de 50 spires, de 25 millimètres de diamètre intérieur, d'une épaisseur de 25 millimètres, d'une longueur de bobinage de 40 millimètres.

SOLUTION. — Puisqu'on nous demande un calcul rapide, nous pouvons utiliser pour trouver le coefficient de self-induction L en microhenrys, la formule simplifiée :

$$L = \frac{2n^2 R}{100},$$

Dans laquelle, n = nombre de spires de la bobine, et R = rayon de la spire moyenne en centimètres (fig. 32).

Ce rayon est ici égal à :

$$1,25 + 2 = 3,25 \text{ centimètres.}$$

On a donc, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$L = \frac{2 \times 2.500 \times 3,25}{100} = 172,5 \text{ microhenrys.}$$

Faisons le même calcul avec une formule plus complète, par exemple :

$$L = \frac{0,315 R^2 n^2}{6R + 9l + 10h},$$

Dans laquelle, h = épaisseur de la bobine, les autres lettres ayant les mêmes significations que précédemment. Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$L = \frac{0,315 \times (3,25)^2 \times 50^2}{6 \times 3,25 + 9 \times 0,4 + 10 \times 2,5}$$

$$L = \frac{0,315 \times 10,56 \times 2.500}{19,50 + 3,6 + 25} = \frac{3,32 \times 2.500}{48,10} = \frac{8.300}{48,10} = 172 \text{ microhenrys.}$$

Nous retrouvons le résultat précédent, ce qui prouve que la formule précédente convenait bien.

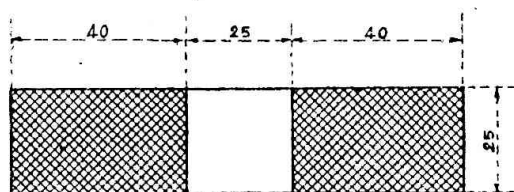


FIG. 32.

76. — Deux bobinages ont respectivement des coefficients de self-induction de 100 et 25 microhenrys.

Quel est le coefficient d'induction mutuelle maximum que l'on peut réaliser en couplant ces deux bobines ?

SOLUTION. — Le coefficient maximum d'induction mutuelle (théorique) M de deux bobinages, de coefficients de self-induction respectifs L_1 et L_2 est $\sqrt{L_1 L_2}$.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$M = \sqrt{100 \times 25} = \sqrt{2.500} = 50 \text{ microhenrys.}$$

77. — Deux bobinages, de coefficients de self-induction respectivement de 200 et 500 microhenrys, sont montés en série, sans effet d'induction mutuelle.

Calculez le coefficient de self-induction de l'ensemble ainsi formé.

SOLUTION. — Soient L_1 et L_2 les coefficients de self-induction des bobi-

nages, le coefficient total de self-induction L est égal à la somme des coefficients composants, s'il n'y a pas induction mutuelle (fig. 33)

$$L = L_1 + L_2.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$L = 200 + 500 = 700 \text{ microhenrys.}$$

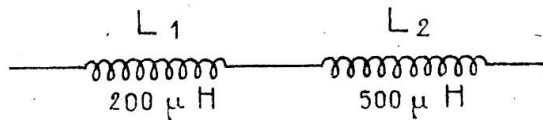


FIG. 33.

78. — Deux bobinages égaux, d'un coefficient de self-induction de 750 microhenrys, sont montés en parallèle sans induction mutuelle. Calculez le coefficient de self-induction du système ainsi formé.

SOLUTION. — Soient A et B les deux bobinages en parallèle, de coefficient de self-induction l , sans induction mutuelle, le coefficient de self-induction de l'ensemble formé L est, puisque les bobinages sont égaux (fig. 34) :

$$L = \frac{1}{2}, \quad \text{soit} \quad \frac{750}{2} = 325 \text{ microhenrys.}$$

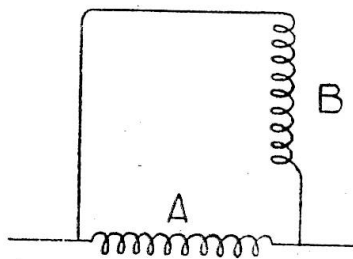


FIG. 34.

79. — Deux bobinages, de coefficients de self-induction respectivement de 125 et 200 microhenrys, sont montés en série, de telle sorte qu'il y a couplage mutuel entre eux, et que l'induction mutuelle peut varier.

Quel est, dans ces conditions, le coefficient de self-induction maximum ou minimum de l'ensemble ainsi formé ?

SOLUTION. — Soient L_1 et L_2 les coefficients de self-induction des bobinages, la valeur maximum théorique de l'induction mutuelle entre eux est :

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

Soit, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$M = \sqrt{125 \times 200} = \sqrt{25.000} = 158 \text{ microhenrys.}$$

Le coefficient de self-induction total des deux bobines varie entre :

$$L_1 + L_2 + 2M \quad \text{et} \quad L_1 + L_2 - 2M.$$

Soit, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$125 + 200 + 158 \times 2 = 325 + 316 = 641 \text{ microhenrys.}$$

Et :

$$125 + 200 - 2 \times 158 = 325 - 316 = 9 \text{ microhenrys.}$$

Ces valeurs sont, d'ailleurs, théoriques, le couplage n'atteignant jamais, en réalité, sa valeur maxima.

80. — *Un bobinage de poste récepteur de 500 microhenrys est parcouru par un courant de 3 milliampères. Calculez l'énergie magnétique emmagasinée dans la bobine.*

SOLUTION. — L'énergie magnétique totale W en joules emmagasinée dans un bobinage, lorsque le courant est établi, est donnée par l'expression :

$$W = \frac{1}{2} LI^2,$$

Dans laquelle, L = coefficient de self-induction en henrys, et I = valeur finale du courant en ampères.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs, il vient :

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} \times \frac{500}{10^6} \times \left(\frac{3}{1.000} \right)^2 = \frac{1}{2} \times \frac{500}{10^6} \times \frac{9}{10^6} \\ &= \frac{1}{2} \times \frac{45}{10^4} \times \frac{1}{10^6} = \frac{22,5}{10^4} \text{ microjoules.} \end{aligned}$$

CHAPITRE X

LE COURANT ALTERNATIF

CARACTÉRISTIQUES DU COURANT ALTERNATIF.

La *période* T est le temps nécessaire au courant pour reprendre une même valeur dans le même sens.

La fréquence F est le nombre *de périodes par seconde* ou cycles par seconde. On a donc :

$$T \times F = 1 \text{ seconde,}$$

D'où : $T = \frac{1}{F}$ et $F = \frac{1}{T}$. La fréquence est l'inverse de la période. Elle s'évalue en *kilocycles* (1.000 cycles) ou *mégacycles* (1.000.000 de cycles).

L'intensité et la force électromotrice du courant alternatif sont variables avec le temps.

L'*intensité maxima* et la *force électromotrice maxima* $I_{\max.}$ et $E_{\max.}$ correspondent aux ordonnées maxima des courbes sinusoïdales représentatives.

Les *valeurs moyennes* $I_{\text{moy.}}$ et $E_{\text{moy.}}$ sont les moyennes des valeurs instantanées i et e pendant une demi-période.

Enfin, l'*intensité efficace* et la *force électromotrice efficace* $I_{\text{eff.}}$ et $E_{\text{eff.}}$ correspondent à l'intensité et à la force électromotrice du courant continu produisant le même effet thermique.

La *valeur instantanée* du courant ou de la force électromotrice est la valeur à un moment donné ; l'*amplitude* est la valeur maxima qui demeure constante, si l'oscillation est périodique.

La valeur efficace de l'intensité du courant alternatif, ou *intensité efficace*, est la valeur de l'intensité du courant continu qui, pendant le même temps, correspondant à un nombre entier de périodes, et dans la même résistance, dissiperait en chaleur la même énergie.

Si le courant est sinusoïdal, la relation entre l'intensité efficace $I_{\text{eff.}}$ et l'intensité maximum $I_{\max.}$ du courant alternatif, est la suivante :

$$I_{\text{eff.}} = \frac{I_{\max.}}{\sqrt{2}} = \frac{I_{\max.}}{1,4} = 0,7 I_{\max.}$$

Inversement, $I_{\max.} = I_{\text{eff.}} \times \sqrt{2} = 1,4 I_{\text{eff.}}$

La valeur efficace de la force électromotrice alternative $E_{\text{eff.}}$ est, de même, une force électromotrice variant suivant la même loi, et égale à :

$$\frac{E_{\max.}}{1,4} \quad \text{Inversement,} \quad E_{\max.} = 1,4 E_{\text{eff.}}$$

Les valeurs moyennes d'une intensité et d'une force électromotrice peuvent, de même, être déterminées par rapport à la valeur maximum, ou à la valeur efficace correspondante :

On a :

$$I_{\text{moy.}} = \frac{2}{\pi} I_{\text{max.}} = 0,636 I_{\text{max.}} \quad \text{et} \quad E_{\text{moy.}} = \frac{2}{\pi} E_{\text{max.}} = 0,636 E_{\text{max.}}$$

On peut en déduire les relations entre les valeurs moyennes et efficaces :

$$I_{\text{moy.}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} I_{\text{eff.}} = 0,9 I_{\text{eff.}} \quad E_{\text{moy.}} = \frac{2 \times \sqrt{2}}{\pi} E_{\text{eff.}} = 0,9 E_{\text{eff.}}$$

Le rapport de la valeur efficace à la valeur moyenne $\frac{I_{\text{eff.}}}{I_{\text{moy.}}} = \frac{\pi}{2 \times \sqrt{2}} = 1,11$.

EFFETS DU COURANT ALTERNATIF DANS UN CIRCUIT A RÉSISTANCE NON INDUCTIVE. — La loi d'Ohm est applicable. Si la différence de potentiel aux bornes de la résistance R est V en valeur efficace, l'intensité efficace est donnée par l'expression $I = \frac{R}{V}$.

EFFETS DU COURANT ALTERNATIF DANS UN CIRCUIT A BOBINAGE DE RÉSISTANCE NÉGLIGEABLE. — La force électromotrice E en valeur efficace induite dans le bobinage par la variation du flux alternatif, est indiquée par l'expression :

$$E \text{ (volts)} = L \text{ (henrys)} \times I \text{ (ampères)}.$$

L'intensité du courant parcourant le bobinage est, d'autre part, donnée par l'expression.

$$I = \frac{V}{L\omega}.$$

L'intensité du courant dans l'enroulement est en retard sur la force électromotrice.

EFFETS DU COURANT ALTERNATIF DANS UN CIRCUIT A CONDENSATEUR. — Le condensateur s'oppose au passage du courant continu, mais livre passage au courant alternatif. L'intensité du courant qui le traverse, en valeur moyenne, est indiquée par l'expression :

$$I = 2\pi CFV = 6,28C \times F \times V.$$

C étant la capacité en microfarads, F la fréquence en périodes-seconde, et V la tension appliquée en volts.

La réactance de la capacité, ou encore la *capacitance*, c'est-à-dire la résistance apparente du condensateur au courant alternatif, est indiquée par l'expression :

$$R_c = \frac{1}{6,28FC}.$$

EFFETS DU COURANT ALTERNATIF DANS UN CIRCUIT COMPORTANT UN BOBINAGE EN SÉRIE AVEC UNE RÉSISTANCE. — La différence de potentiel aux bornes du bobinage est de l'ordre de $L\omega I$; la différence de potentiel aux bornes de la résistance est de l'ordre de RI . La différence de potentiel aux bornes de l'ensemble a pour valeur efficace $I \sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$.

Le système comportant une self induction L et une résistance R en série parcouru par un courant alternatif de valeur efficace I , et de pulsation ω présente à ses bornes une différence de potentiel efficace de même période, telle que l'on ait :

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

L'impédance est la quantité $Z = \sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$ évaluée en ohms.

La réactance $S = L\omega = 2\pi FL = 6,28FL$.

On peut ainsi écrire :

$$Z = R + S, \quad \text{et la valeur efficace} \quad I = \frac{V}{Z}.$$

EFFETS DU COURANT DANS UN CIRCUIT COMPRENANT UN BOBINAGE EN SÉRIE AVEC UN CONDENSATEUR. — Un circuit comportant un bobinage de self-induction L en série avec une capacité C est parcouru par un courant alternatif sinusoïdal de valeur efficace I et de pulsation ω , et il se produit à ses bornes une différence de potentiel sinusoïdale de même période et de valeur efficace V , telle que l'on ait :

$$I = \frac{V}{\pm \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)}.$$

La différence de potentiel est déphasée d'un nombre égal à $\frac{\pi}{2}$ sur le courant en avant, si $L\omega > \frac{1}{C\omega}$, et en arrière dans le cas contraire. La quantité $L\omega - \frac{1}{C\omega}$ est la *réactance*, ou résistance apparente, de l'ensemble des bobinages et de la capacité.

CAS GÉNÉRAL. — Le circuit comporte en série un bobinage, un condensateur, et une résistance.

La valeur efficace V de la différence de potentiel mesurée entre les extrémités du système est donnée par l'expression :

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

d'où, on tire :

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

La résistance totale apparente ou *impédance* mesurée en ohms a pour valeur :

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

L'expression $S = L\omega - \frac{1}{C\omega}$ est encore la *réactance*.

PUISSANCE DU COURANT ALTERNATIF.

A chaque instant, la puissance totale dissipée dans le circuit a pour valeur $P = e i$, e et i étant les valeurs instantanées de l'intensité et de la tension.

Pour une certaine durée t correspondant à un nombre entier de périodes, la différence entre l'énergie absorbée et l'énergie restituée au circuit a pour expression $E I \cos \varphi t$ et la puissance dissipée est $P = E I \cos \varphi$.

$\cos \varphi$ est appelé *facteur de puissance*, et φ est l'angle de déphasage entre la force électromotrice et le courant.

CAS D'UN BOBINAGE A NOYAU DE FER.

L'impédance Z pour une pulsation donnée a toujours pour valeur :

$Z = \sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$, L est le coefficient de self-induction par rapport à la pulsation et au courant qui varie sous l'action du noyau de fer.

TRANSFORMATEURS.

Soient E_1 la tension alternative appliquée au primaire, et E_2 la force électromotrice induite dans le secondaire, n_1 et n_2 les nombres de spires du primaire et du secondaire; on a la relation :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2}.$$

Le rapport $\frac{n_1}{n_2}$ est le *rapport du transformateur*.

Si les intensités des courants dans le primaire et le secondaire sont I_1 et I_2 , et les tensions appliquées E_1 et E_2 , l'égalité des puissances dans le primaire et le secondaire est indiquée par la relation :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1}; \quad \text{d'où} \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2}.$$

La formule générale, en tenant compte du facteur de puissance, s'exprime par la relation :

$$\frac{I_1 \cos \varphi_1}{I_2 \cos \varphi_2} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Lorsque le circuit secondaire est ouvert, la valeur efficace du courant primaire est donnée par la relation :

$$I_1 = \frac{V_1}{\sqrt{r_1^2 + (L_1 \omega)^2}}.$$

Dans laquelle, r_1 = résistance du primaire, et L_1 = coefficient de self-induction.

APPLICATIONS

81. — *Un poste émetteur à haute fréquence produit un courant alternatif d'une fréquence de 1.200 kilocycles-seconde.*

Combien de fois ce courant change-t-il de sens, et s'annule-t-il par seconde ? Quelles sont la période et la pulsation du courant ?

SOLUTION. — Puisque la fréquence du courant considéré est de 1.200 kilocycles-seconde, soit 1.200.000 cycles-seconde, le courant change de sens en s'annulant 2.400.000 fois par seconde.

La durée d'une période est, par définition, de : $\frac{1}{1.200.000}$ de seconde.

Par définition, également, la pulsation $\omega = 2\pi F$, si F est la fréquence, en cycles-seconde, et, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$\omega = 2 \times 3,1416 \times 1,2 \times 10^6 = 7,54 \times 10^6 \text{ (par excès).}$$

82. — *Un courant alternatif a une amplitude de 100 milliampères, une force électromotrice maximum de 500 volts.*

Calculez son intensité efficace, et sa force électromotrice efficace.

SOLUTION. — Il y a entre l'amplitude d'un courant alternatif et sa valeur efficace, la relation :

$$I_{\text{eff.}} = \frac{I_{\text{max.}}}{\sqrt{2}} = \frac{I_{\text{max.}}}{1,4} = 0,7 I_{\text{max.}}$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$I_{\text{eff.}} = 0,7 \times 100 = 70 \text{ milliampères.}$$

De même, entre la force électromotrice maximum et la force électromotrice efficace, il y a la relation :

$$E_{\text{eff.}} = \frac{E_{\text{max.}}}{\sqrt{2}} = 0,7 E_{\text{max.}}$$

D'où :

$$E_{\text{eff.}} = 0,7 \times 500 = 350 \text{ volts.}$$

83. — *Quelle est la force électromotrice maximum d'un courant alternatif de 220 volts ?*

SOLUTION. — Il y a entre la force électromotrice maximum et la force électromotrice efficace d'un courant alternatif, la relation :

$$E_{\max.} = 1,4 E_{\text{eff.}}$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$E_{\max.} = 1,4 \times 220 = 308 \text{ volts.}$$

84. — *Un courant alternatif, d'une amplitude de courant de 154 milliampères, d'une fréquence de 50 périodes-seconde, agit dans un circuit comportant une résistance de 200 ohms.*

Quelle est la différence de potentiel recueillie aux bornes de cette résistance ?

SOLUTION. — L'amplitude du courant $I_{\max.}$ étant de 154 milliampères, l'intensité efficace $I_{\text{eff.}}$ est donnée par l'expression :

$$I_{\text{eff.}} = \frac{I_{\max.}}{1,4} = \frac{154}{1,4} = 110 \text{ milliampères.}$$

Dans le cas d'une résistance non inductive, on peut appliquer la loi d'Ohm en utilisant la formule (fig. 35).

$$V = I_{\text{eff.}} R.$$

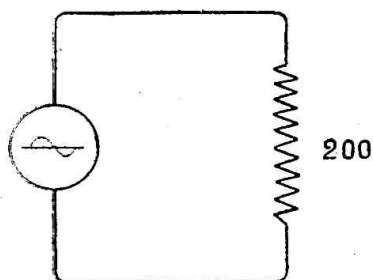


FIG. 35.

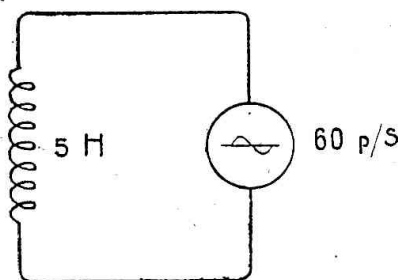


FIG. 36.

D'où, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$V = 200 \times \frac{110}{1.000} = 22 \text{ volts.}$$

La différence de potentiel aux bornes de la résistance est donc de 22 volts.

85. — *Un courant alternatif de 60 périodes-seconde, d'une force électromotrice maximum de 154 volts, d'une amplitude de courant de 100 milliampères, traverse un bobinage de 5 henrys.*

Quelle est la différence de potentiel efficace aux bornes du bobinage ?

SOLUTION. — L'amplitude du courant étant de 100 milliampères, l'intensité efficace $I_{\text{eff.}}$ est donnée par l'expression (fig. 36).

$$I_{\text{eff.}} = \frac{I_{\max.}}{1,4} = 0,7 I_{\max.} = 0,7 \times 100 = 70 \text{ milliampères.}$$

La différence de potentiel efficace aux bornes du bobinage est, d'autre part, indiquée par la relation :

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

Dans laquelle, L = coefficient de self-induction en henrys, et $I_{\text{eff.}}$ = intensité efficace en ampères. Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$\omega = 2\pi F = 6,28F = 6,28 \times 60 = 376,8.$$

$$V = 5 \times 376,8 \times \frac{70}{1.000} = 35 \times 3,768 = 131,188 \text{ volts.}$$

86. — *Un condensateur de 2 microfarads est traversé par un courant alternatif d'une force électromotrice maximum de 154 volts, d'une fréquence de 60 périodes-seconde.*

Quelle est l'intensité efficace du courant traversant le condensateur ? — Quelle serait l'intensité pour 6.000 périodes-seconde ?

SOLUTION. — La force électromotrice maximum E du courant étant de 154 volts, la force électromotrice efficace E est donnée par la relation :

$$E_{\text{eff.}} = \frac{E}{1,4} = \frac{154}{1,4} = 110 \text{ volts.}$$

La valeur efficace de l'intensité du courant traversant le condensateur de capacité C est donnée par la relation :

$$I_{\text{eff.}} (\text{ampères}) = C (\text{farads}) \times \omega \times V_{\text{eff.}} (\text{volts}) \text{ (fig. 37).}$$

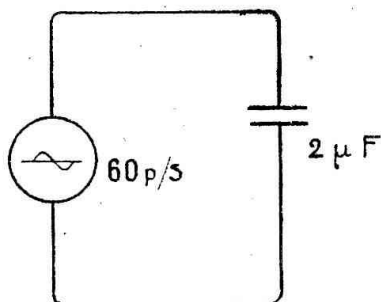


FIG. 37.

Comme dans le problème précédent :

$$\omega = 2\pi F = 6,28F = 6,28 \times 60,$$

et l'on a :

$$I = \frac{2}{1.000.000} \times 6,28 \times 60 \times 110 = 89,58 \text{ milliampères.}$$

Si la fréquence est de 6.000 périodes-seconde, soit 100 fois plus grande, le courant devient aussi 100 fois plus grand, soit de :

$$89,58 \times 100 = 8.958 \text{ milliampères} = 8,958 \text{ ampères.}$$

87. — *Quelle est la capacitance d'un condensateur de 2 microfarads à 50 périodes-seconde, à 50.000 périodes-seconde, à 500.000 périodes-seconde ?*

La différence de potentiel efficace aux bornes du bobinage est, d'autre part, indiquée par la relation :

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

Dans laquelle, L = coefficient de self-induction en henrys, et $I_{\text{eff.}}$ = intensité efficace en ampères. Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$\omega = 2\pi F = 6,28F = 6,28 \times 60 = 376,8.$$

$$V = 5 \times 376,8 \times \frac{70}{1.000} = 35 \times 3,768 = 131,188 \text{ volts.}$$

86. — *Un condensateur de 2 microfarads est traversé par un courant alternatif d'une force électromotrice maximum de 154 volts, d'une fréquence de 60 périodes-seconde.*

Quelle est l'intensité efficace du courant traversant le condensateur ? — Quelle serait l'intensité pour 6.000 périodes-seconde ?

SOLUTION. — La force électromotrice maximum E du courant étant de 154 volts, la force électromotrice efficace E est donnée par la relation :

$$E_{\text{eff.}} = \frac{E}{1,4} = \frac{154}{1,4} = 110 \text{ volts.}$$

La valeur efficace de l'intensité du courant traversant le condensateur de capacité C est donnée par la relation :

$$I_{\text{eff.}} (\text{ampères}) = C (\text{farads}) \times \omega \times V_{\text{eff.}} (\text{volts}) \text{ (fig. 37).}$$

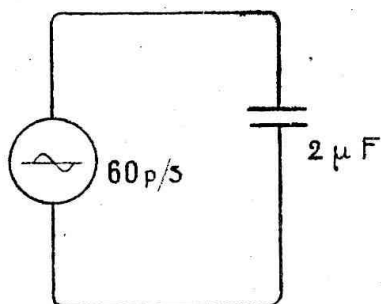


FIG. 37.

Comme dans le problème précédent :

$$\omega = 2\pi F = 6,28F = 6,28 \times 60,$$

et l'on a :

$$I = \frac{2}{1.000.000} \times 6,28 \times 60 \times 110 = 89,58 \text{ milliampères.}$$

Si la fréquence est de 6.000 périodes-seconde, soit 100 fois plus grande, le courant devient aussi 100 fois plus grand, soit de :

$$89,58 \times 100 = 8.958 \text{ milliampères} = 8,958 \text{ ampères.}$$

87. — *Quelle est la capacitance d'un condensateur de 2 microfarads à 50 périodes-seconde, à 50.000 périodes-seconde, à 500.000 périodes-seconde ?*

SOLUTION. — La résistance capacitaire, ou capacitance R_c est donnée par l'expression :

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

C étant la capacité en farads, et ω la pulsation. Exprimons C en microfarads, et ω par rapport à la fréquence F, la formule devient :

$$R = \frac{10^6}{2\pi FC}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$R_c = \frac{10^6}{6,28 \times 50 \times 2} = 1.590 \text{ ohms.}$$

A la fréquence 50.000, la capacitance est 1.000 fois plus faible, soit de $\frac{1.590}{1.000} = 1,590$ ohms et, à la fréquence 500.000, dix mille fois plus faible, soit de $\frac{1.590}{10.000} = 0,1590$ ohm.

88. — Un courant alternatif, d'une fréquence de 100 kilocycles-seconde, d'une amplitude de 10 microampères, traverse un circuit comprenant en série une résistance de 500 ohms, et un bobinage de 100 microhenrys.

Quelle est la différence de potentiel aux bornes du système ainsi formé ?

SOLUTION. — Si l'intensité maximum du courant est de 10 microampères, l'intensité efficace I est donnée par l'expression :

$$I_{\text{eff.}} = 0,7_{\text{eff.}} \times 10 = 7 \text{ microampères.}$$

Dans ces conditions, la différence de potentiel aux bornes du système est donnée par l'expression :

$$V = I_{\text{eff.}} \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}.$$

R étant la résistance en ohms, L le coefficient de self-induction en henrys du bobinage, et ω la pulsation (fig. 38).

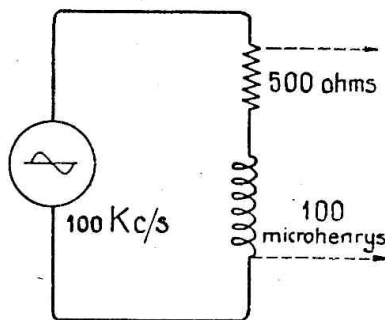


FIG. 38.

Calculons ω en fonction de la fréquence :

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

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$\begin{aligned} V \text{ (microvolts)} &= 7 \sqrt{500^2 + \left(\frac{6,28 \times 100.000 \times 100}{1.000.000} \right)^2} \\ &= 7 \sqrt{500^2 + 62,8^2} = 7 \sqrt{253.943} = 7 \times 503 = 3.521 \text{ microvolts.} \end{aligned}$$

89. — *Un bobinage de 100 microhenrys a une résistance ohmique de 5 ohms. Calculez sa réactance pour des fréquences de 100, 1.000, 10.000, 100.000 périodes-seconde et son impédance pour les mêmes fréquences.*

SOLUTION. — La réactance en ohms R_L d'un bobinage, dont on néglige la capacité propre, est donnée en fonction de la pulsation ω du courant alternatif qui le traverse, ou de la fréquence et du coefficient de self-induction, par l'expression

$$R_L = L\omega = 2\pi FL.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$R_L = \frac{100}{10^6} \times 6,28 \times 100 = 0,0628 \text{ ohm pour la fréquence 100.}$$

$$R'_L = \frac{100}{10^6} \times 6,28 \times 10.000 = 6,28 \text{ ohms pour la fréquence 10.000.}$$

$$R''_L = \frac{100}{10^6} \times 6,28 \times 100.000 = 62,8 \text{ ohms pour la fréquence 100.000.}$$

L'impédance Z de ce bobinage est, d'autre part, la combinaison de sa réactance R_L , et de sa résistance ohmique R :

$$Z = \sqrt{R_L^2 + R^2}.$$

Les impédances correspondantes aux différentes fréquences sont alors :

$$Z = \sqrt{5^2 + (0,0628)^2} = \text{sensiblement 5 ohms pour la fréquence 100.}$$

$$Z = \sqrt{5^2 + (6,28)^2} = 8 \text{ ohms pour la fréquence 10.000.}$$

$$Z = \sqrt{5^2 + (62,8)^2} = 63 \text{ ohms pour la fréquence 100.000.}$$

Pour les basses fréquences et pour ces valeurs du coefficient de self-induction, l'impédance se confond avec la résistance ohmique, et, pour les très hautes fréquences, avec la réactance.

90. — *Un courant alternatif d'une fréquence de 100 kilocycles-seconde, d'une force électromotrice maximum de 154 microvolts, agit dans un circuit comprenant en série une résistance de 100 ohms, un bobinage de 100 microhenrys, une capacité de 2/1.000 de microfarad.*

Calculez l'impédance totale de ce circuit, l'intensité et la différence de potentiel aux bornes du condensateur.

SOLUTION. — La force électromotrice maximum E_{max} étant de 154 microvolts, la force électromotrice efficace est indiquée par l'expression (fig. 39).

$$E_{eff.} = \frac{E}{1,4} = \frac{1,54}{1,4} = 110 \text{ microvolts.}$$

L'impédance totale du circuit Z est, d'autre part, exprimée par la formule :

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

Dans laquelle, R = résistance en ohms, L = coefficient de self-induction en henrys, C = capacité en farads, ω = pulsation.

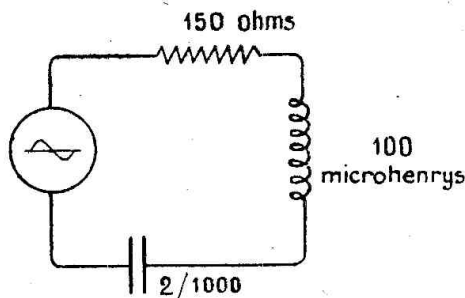


FIG. 39.

Calculons séparément tous les termes de l'expression :

$$R = 500 \text{ ohms.}$$

$$L\omega = L \times 2\pi F = \frac{100}{10^6} \times 2\pi \times 100.000 = 62,8 \text{ ohms.}$$

$$\frac{1}{C\omega} = \frac{1}{\frac{2}{10^9} \times 2\pi \times 100.000} = \frac{10^4}{12,56} = 796,1 \text{ ohms,}$$

$$\text{d'où : } L\omega - \frac{1}{C\omega} = 62,8 - 796,1 = -733,30 \text{ ohms.}$$

L'impédance du circuit a donc pour valeur :

$$Z = \sqrt{500^2 + (733,30)^2} = \sqrt{250.000 + 537.290} = \sqrt{787.290} = 887 \text{ ohms.}$$

La valeur efficace I_{eff} du courant dans le circuit est donnée par l'expression :

$$I_{eff.} = \frac{E_{eff.}}{Z}.$$

D'où, en remplaçant les lettres par leurs valeurs :

$$I_{eff.} = \frac{110}{887} = 0,12 \text{ microampères.}$$

La différence de potentiel V , aux bornes du condensateur est, enfin, donnée par l'expression :

$$V = I_{eff.} \times \frac{1}{C\omega}.$$

CHAPITRE XII

APPAREILS DE MESURE

SHUNTAGE DES APPAREILS.

Connaissant la résistance intérieure R_1 d'un milliampèremètre ou d'un ampèremètre, on en déduit rapidement la résistance R_2 d'un shunt de pouvoir multiplicateur n déterminé.

Si R_1 est la résistance intérieure de l'appareil de mesure, la résistance du shunt R_2 , est donnée par la formule :

$$R_2 = \frac{R_1}{n - 1}.$$

Si le shunt est n fois moins résistant que l'appareil de mesure, la sensibilité de celui-ci est $(n + 1)$ fois plus petite que celle de l'appareil.

On peut déterminer, de même, rapidement *les sensibilités* mises en série avec un voltmètre pour augmenter le champ des mesures.

Si r est la résistance du voltmètre, R la résistance de la sensibilité à mettre en série, et n le facteur de multiplication du voltmètre, c'est-à-dire le rapport entre la gamme de mesures normale et la gamme de mesures cherchée $\frac{V}{v}$, la valeur de la résistance est donnée par la formule :

$$R = r \times (n - 1).$$

MESURE SIMPLIFIÉE DES RÉSISTANCES.

On utilise un voltmètre et une batterie de tension E mesurée sans mettre en série la résistance, dont on cherchera la valeur R . La résistance intérieure du voltmètre est r . Puis, en mettant en série la résistance étudiée, on lit une nouvelle tension e indiquée par le voltmètre.

La résistance R inconnue est alors donnée par la formule :

$$R = r \left(\frac{E - e}{e} \right) = \left(\frac{E}{e} - 1 \right) r.$$

Connaissant la tension d'une batterie dont le courant d'intensité I traverse une résistance, on en déduit également la valeur de cette résistance, d'après la formule :

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

MESURE DES CAPACITÉS ET DES BOBINAGES.

La mesure rapide des capacités supérieures à 1/1.000 de microfarad peut être effectuée en mesurant l'intensité I d'un courant alternatif de tension V et de fréquence F traversant le condensateur.

La capacité C en microfarads est alors donnée par la formule simple :

$$C = \frac{160 \times I}{VF}.$$

On peut également étudier, d'une façon très approximative, le coefficient de self-induction des bobinages en henrys en utilisant un courant alternatif de tension et de fréquences connues, en faisant traverser le bobinage par le courant du secteur, et en déterminant la valeur en ohms de la résistance apparente qui indique l'impédance Z en ohms à la fréquence utilisée F en périodes-seconde.

Le coefficient de self-induction L en henrys, en négligeant la résistance ohmique, est donnée par l'expression :

$$Z = L\omega; \quad \text{d'où,} \quad L = \frac{Z}{\omega} = \frac{Z}{2\pi F} = \frac{Z}{6,28 \times F}.$$

Nous connaissons, d'ailleurs, la tension efficace $E_{\text{eff.}}$ du courant appliqué et l'intensité efficace $I_{\text{eff.}}$ du courant traversant le bobinage, nous en déduisons :

$$Z = \frac{E_{\text{eff.}}}{I_{\text{eff.}}}.$$

APPLICATIONS

96. — *Un milliampèremètre d'une résistance intérieure de 60 ohms est gradué de 0 à 10 milliampères. On veut utiliser cet appareil pour des mesures de 0 à 50, de 0 à 100, et de 0 à 500 milliampères. Quel montage faut-il employer ?*

SOLUTION. — Pour utiliser le milliampèremètre à la mesure d'une inten-

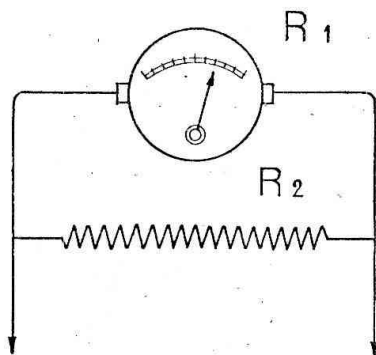


FIG. 43.

sité plus élevée que celle portée sur sa graduation normale, il faut employer une résistance additionnelle en shunt (fig. 43).

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$V = \frac{110}{887} \times 796,1 = 796,1 \times 0,12 = 95,53 \text{ microvolts.}$$

91. — Un transformateur d'alimentation comporte un enroulement de 110 spires au primaire, et 3 enroulements de 6,25, et 800 spires au secondaire.

On applique sur le primaire une tension alternative de 110 volts efficaces. Quelles sont les tensions obtenues dans les secondaires ?

Quels sont les nombres de spires que devraient comporter les enroulements primaires pour permettre d'obtenir les mêmes tensions sur des secteurs de 130, 220, et 250 volts ?

SOLUTION. — Si E_1 est la tension alternative appliquée au primaire, et si les nombres de spires du primaire et du secondaire sont n_1 et n_2 , la tension recueillie au secondaire E_2 est indiquée par la relation (fig. 40).

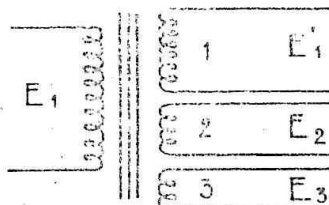


FIG. 40.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2}.$$

Si l'on applique donc sur le primaire une tension de 110 volts, la tension E_3 recueillie dans le secondaire 3 est indiquée par la relation :

$$\frac{110}{E_3} = \frac{110}{6}.$$

Nous en déduisons $E_3 = 6$ volts.

De même, pour le secondaire 2 :

$$\frac{110}{E_2} = \frac{110}{25}. \quad \text{D'où} \quad E_2 = 25 \text{ volts.}$$

Enfin, nous avons, de même, pour le secondaire 1 :

$$\frac{110}{E'_1} = \frac{110}{800}. \quad \text{D'où} \quad E'_1 = 800 \text{ volts.}$$

Pour obtenir les mêmes tensions dans les secondaires, alors que la tension appliquée au primaire sera de 130 volts, 220 volts, ou 250 volts, il faudra que le nombre de spires du primaire soit augmenté dans les mêmes proportions et soit porté à 130, 220 et 250 spires. Le rapport du nombre de tours de chaque enroulement au nombre de volts n'est, d'ailleurs, recommandable que pour une certaine puissance, ici de l'ordre de 1.000 watts, par exemple.

CHAPITRE XI

CIRCUIT OSCILLANT. - RÉSONANCE HAUTE-FRÉQUENCE

DIFFÉRENCES DE POTENTIEL AUX BORNES DES ÉLÉMENTS D'UN CIRCUIT.

Considérons une résistance R , un condensateur C , un bobinage L en série dans un circuit parcouru par un courant alternatif de pulsation ω , d'intensité efficace I_{eff} .

D'après ce qui a été indiqué au chapitre précédent, les valeurs efficaces de la différence de potentiel aux bornes de la résistance, du condensateur, du bobinage, et de l'ensemble sont exprimés par les formules :

$$V_1 = RI.$$

$$V_2 = \frac{I}{C\omega}.$$

$$V_3 = L\omega I.$$

$$V_4 = I\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}.$$

RÉSONANCE SÉRIE.

Un système ouvert comportant une capacité C , un bobinage L et une résistance R en série est parcouru par un courant d'une force électromotrice de valeur efficace E_{eff} et de pulsation ω .

Le courant alternatif de pulsation ω traversant le circuit a alors pour intensité efficace :

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

Au moment de *la résonance*, la fréquence propre est indiquée par l'expression :

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

La condition de résonance s'exprime par la formule :

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

Si F est exprimé en henrys, L est exprimé en périodes-seconde, et C en farads. Si F est en mégacycles, L est en millihenrys, et V en millièmes de microfarad.

CIRCUIT-BOUCHON ET RÉSONANCE PARALLÈLE.

Un circuit formé par un bobinage de self-induction L et une capacité C en parallèle, inséré en série dans un circuit est appelé *circuit-bouchon*.

Aux bornes du bobinage traversé par un courant alternatif d'intensité efficace I , la différence de potentiel est indiquée par l'expression :

$$V = L\omega I.$$

La condition de résonance parallèle s'exprime encore par l'expression :

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

Le courant I traversant le circuit extérieur est nul, mais, dans le circuit, il passe un courant alternatif de grande amplitude dont la valeur efficace est $\frac{V}{L\omega}$ ou $VC\omega$. Ce courant est en sens inverse dans le bobinage et dans la capacité.

Sous certaines conditions, le système est un circuit oscillant, dont la période propre est indiquée par l'expression $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

Au moment de la résonance, le circuit-bouchon se comporte comme une résistance indiquée par l'expression :

$$Z \text{ (ohms)} = \frac{L^2}{R} = \frac{40F^2L^2}{R}.$$

R est évalué en ohms, F en cycles par seconde, L en henrys.

Si F est en mégacycles, L est en microhenrys.

Le phénomène est inverse pour un circuit série ; la réactance est minimum au moment de la résonance.

Pour les fréquences inférieures à la fréquence de résonance, le circuit-bouchon se comporte comme un bobinage de coefficient $\frac{L}{(1 - LC\omega^2)}$ et pour les fréquences supérieures à la fréquence de résonance, par une capacité $\left(C - \frac{1}{L\omega^2}\right)$.

ÉNERGIE DE SELF-INDUCTION.

Une certaine quantité d'énergie magnétique est emmagasinée dans un bobinage. Pour établir dans un bobinage L en henrys un courant d'une intensité I en ampères, il faut dépenser une énergie qui s'exprime en joules par la formule :

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

SURTENSION.

Si un circuit comportant en série un bobinage L , une résistance R et une capacité C est parcouru par un courant alternatif de fréquence F , de pulsation ω et d'amplitude E , la tension aux bornes du condensateur est maximum à la résonance, et son amplitude est supérieure à celle de la tension du courant alternatif.

A la résonance, la tension V recueillie aux bornes du condensateur est donnée par l'expression :

$$V = \frac{1}{C\omega} \times \frac{E}{R},$$

et, puisque $\frac{1}{C\omega} = L\omega$, cette formule peut également s'écrire :

$$V = \left(\frac{L\omega}{R} \right) \times E.$$

Le facteur $\frac{L\omega}{R} = \frac{2\pi FL}{R} = \frac{6,28FL}{R}$ s'exprime en prenant comme unité la période-seconde, l'henry, et l'ohm. C'est la *surtension* du circuit.

CHARGE ET DÉCHARGE D'UN CONDENSATEUR.

Les oscillations du circuit comportant un condensateur, une résistance et un bobinage, ne se produisent que si la résistance $R \leq 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$.

Dans ce cas, la période propre d'oscillation est indiquée par la formule :

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

et l'énergie emmagasinée dans le condensateur est égale à $\frac{1}{2} C \times V^2$.

PERTES DANS LES DIÉLECTRIQUES.

Les coefficients de perte en haute fréquence pour les différents diélectriques sont comparativement les suivants par rapport au quartz.

Pétrole : 4. Verre : 10 à 27. Ébonite : 15 à 25. Bakélite : 80 à 100. Mica : 1,2.

PUISSANCE EN COURANT ALTERNATIF.

Si un circuit comportant en série une résistance R , une capacité C , un coefficient de self-induction L , est parcouru par un courant alternatif d'intensité efficace I , la puissance dégagée sous forme de chaleur est donnée par l'expression :

$$W \text{ (watts)} = R \times I^2.$$

R étant la résistance en ohms, et I l'intensité efficace en ampères.

Si le circuit ne comporte qu'une self-induction et une capacité négligeables, on peut, de même, écrire :

$W = VI$ comme en courant continu, V étant la tension efficace aux bornes du circuit.

Mais, si le circuit comprend un bobinage et une capacité, et que l'impédance soit Z , la formule devient :

$$W = \frac{R}{Z} \times VI.$$

Au moment de la résonance, $Z = R$ et on retrouve la formule précédente.

La puissance consommée se réduit à la chaleur dégagée dans les fils de connexion, et le courant charge et décharge le condensateur.

RÉSISTANCE APPARENTE DES BOBINAGES EN FONCTION DE LA FRÉQUENCE.

Le tableau ci-dessous indique les résistances apparentes de quelques bobinages, en fonction de la fréquence en périodes par seconde, ou en kilocycles. Le tableau indique directement les valeurs pour les coefficients de self-induction en microhenrys. Pour avoir les valeurs en millihenrys, on multiplie la valeur indiquée par 1.000, et, pour avoir les valeurs en henrys, on multiplie la valeur par 1.000.000 :

Self en microhenrys	Fréquences en périodes-seconde				
	50	100	1.000	10.000	100.000
3	0,001	0,002	0,019	0,188	1,88
10	0,003	0,006	0,063	0,628	6,28
30	0,009	0,019	0,188	1,88	18,8
100	0,031	0,063	0,628	6,28	62,8
300	0,094	0,188	1,88	18,8	188
1.000	0,314	0,628	6,28	62,8	628
500.000	157	314	3.140	31.400	314.000

Voici, de même, un tableau indiquant les résistances apparentes de certaines capacités en fonction de la fréquence.

Capacités en microfarads	Fréquences en périodes-seconde				
	50	100	1.000	10.000	100.000
0,1	31.800	15.900	1.590	159	15,9
0,3	10.500	5.300	530	53	5,3
1	3.180	1.590	159	15,9	1,59
2	1.590	800	80	8	0,8
3	1.050	530	53	5,3	0,53
10	318	159	15,9	1,59	0,159
30	105	53	5,3	0,53	0,053

Une lecture directe pour les capacités en microfarads permet la détermination immédiate en ohms des résistances. Pour les capacités en millièmes de microfarad, il faut multiplier les valeurs indiquées par mille.

APPLICATIONS

92. — *Un circuit comporte en série un bobinage d'un coefficient de self-induction de 800 microhenrys, et une capacité de 1/1.000 de microfarad. Sur quelle fréquence est accordé ce circuit ?*

SOLUTION. — La condition de résonance d'un circuit-série est exprimée par la formule (fig. 41) :

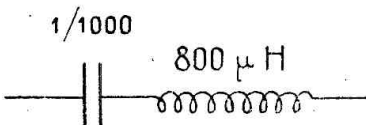
$$F = \frac{1}{\sqrt{40LC}}$$


FIG. 41.

Dans laquelle, F = fréquence en mégacycles, L = coefficient de self-induction en millihenrys, et C = capacité en millièmes de microfarad.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$F = \frac{1}{\sqrt{40 \times 0,8 \times 1}} = \frac{1}{\sqrt{32}} = \frac{1}{5,65} = 0,17 \text{ mégacycle} = 170 \text{ kilocycles.}$$

93. — *On veut accorder un circuit-série d'un filtre sur une fréquence de 100 périodes-seconde. On dispose d'un bobinage de 50 henrys. Quelle capacité faut-il utiliser ?*

SOLUTION. — La condition de résonance d'un circuit-série est exprimée par la formule :

$$40F^2LC = 1 \quad \text{ou :} \quad C = \frac{1}{40LF^2},$$

Dans laquelle, C = capacité en farads, L = coefficient de self-induction en henrys, et F = fréquence en périodes-seconde.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$\begin{aligned} C &= \frac{1}{40 \times 50 \times (100)^2} = \frac{1}{20 \times 10^6} = \frac{1}{20} \text{ de microfarad} \\ &= 0,05 \text{ microfarad} = \frac{50}{1.000} \text{ de microfarad.} \end{aligned}$$

94. — Un circuit-bouchon est formé d'un bobinage d'un coefficient de self-induction de 800 microhenrys et d'une capacité de 1/1.000 de microfarad. La résistance du bobinage est de 10 ohms.

Calculez la fréquence de résonance du circuit, et la résistance du système à la résonance.

SOLUTION. — La condition de résonance est toujours celle indiquée déjà au problème 92, et qui s'exprime par la relation (fig. 42).

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

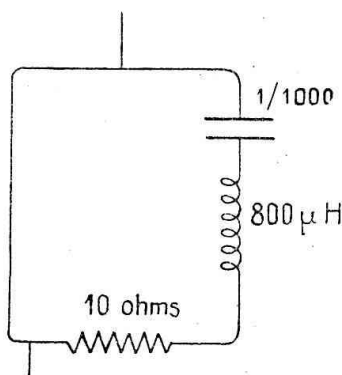


FIG. 42.

F étant exprimé en mégacycles, L en millihenrys, et C en millièmes de microfarad, par exemple.

En remplaçant les lettres par leurs valeurs, nous retrouvons :

$$F = \frac{1}{\sqrt{40 \times 0,8 \times 1}} = \frac{1}{\sqrt{32}} = \frac{1}{5,65} = 0,17 \text{ mégacycles} = 170 \text{ kilocycles.}$$

A la résonance, le circuit-bouchon se comporte comme une résistance de valeur Z en ohms, donnée par l'expression :

$$Z = \frac{L^2 \omega^2}{R} = \frac{40 F^2 L^2}{R},$$

dans laquelle, F est la fréquence en périodes-seconde, L le coefficient de self-induction en henrys, et R la résistance en ohms.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$Z = \frac{40 \times (170.000)^2 \times \left(\frac{800}{10^6}\right)^2}{10} = \frac{40 \times (0,17)^2 \times (800)^2}{10} = 4 \times 64 \times 289 = 73.984 \text{ ohms.}$$

95. — Un circuit-bouchon est formé d'une capacité de 1/1.000 de microfarad d'un bobinage de 800 microhenrys, d'une résistance de 10 ohms. Ce circuit est

accordé sur 170 kilocycles, et l'on fait agir à ses bornes une tension alternative de 500 microvolts de même fréquence.

Quels sont le facteur de surtension du circuit, et la tension aux bornes du condensateur ?

SOLUTION. — Le facteur de surtension d'un circuit-bouchon est donné par l'expression :

$$\frac{6,28 FL}{R},$$

dans laquelle, F est la fréquence de résonance en périodes-seconde, L le coefficient de self-induction en henrys, R la résistance en ohms.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$\frac{6,28 \times 170.000}{10} \times \frac{800}{1.000.000} = 85,40.$$

Si la tension appliquée sur le circuit est de 500 microvolts, la différence de potentiel aux bornes du condensateur est donc, par définition :

$$500 \times 85,40 = 42.700 \text{ microvolts} = 42,70 \text{ millivolts.}$$

Soit R_2 cette résistance, R_1 la résistance intérieure du milliampèremètre, n le pouvoir multiplicateur du shunt, c'est-à-dire le facteur de multiplication de l'intensité normale que l'on veut obtenir, R_2 est donnée par l'expression :

$$R_2 = \frac{R_1}{n - 1}.$$

Pour la sensibilité 50 milliampères, on a :

$$R_2 = \frac{60}{5 - 1} = \frac{60}{4} = 15 \text{ ohms.}$$

Pour la sensibilité 100 milliampères, on a, de même :

$$R_2 = \frac{60}{100 - 1} = \frac{60}{99} = \text{sensiblement } 0,6 \text{ ohm.}$$

Pour la sensibilité 500 milliampères, enfin :

$$R_2 = \frac{60}{500 - 1} = \frac{60}{499} = 0,12 \text{ ohm sensiblement.}$$

97. — *On possède un voltmètre d'une résistance intérieure de 6.000 ohms, gradué pour des mesures comprises entre 0 et 6 volts. On veut utiliser cet appareil pour la mesure des tensions entre 0 et 60 volts. Quel est le montage à employer ?*

SOLUTION. — Pour utiliser le voltmètre à la mesure d'une tension plus élevée que celle indiquée normalement sur son cadran, il faut disposer en série une résistance, ou *sensibilité*.

Si l'on appelle n le facteur de multiplication nécessaire, c'est-à-dire le rapport entre la tension à mesurer, et la tension maxima normale, R la valeur de la résistance additionnelle, et r la résistance du voltmètre, cette résistance additionnelle est exprimée par la formule :

$$R = r \times (n - 1).$$

Le facteur de multiplication est ici de 10, puisque l'on veut mesurer des tensions de 0 à 60, au lieu de 0 à 6 volts, et la résistance intérieure est de 6.000 ohms, on a donc :

$$R = 6.000 \times (10 - 1) = 6.000 \times 9 = 54.000 \text{ ohms.}$$

98. — *On veut mesurer une résistance à l'aide d'un milliampèremètre de 0 à 5 milliampères. On le monte en série avec une batterie de piles de 40 volts, et la résistance inconnue ; l'intensité du courant est de 2 milliampères. Quelle était la valeur de la résistance ?*

SOLUTION. — Nous supposons négligeable la résistance intérieure du milliampèremètre par rapport à la résistance à mesurer, et, dans ces conditions,

nous pouvons simplement appliquer la formule classique de la loi d'Ohm, $R = \frac{E}{I}$, dans laquelle R est la résistance cherchée en ohms, E la tension aux bornes de la pile, et I l'intensité du courant mesurée en ampères.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$R = \frac{40}{\frac{2}{1.000}} = 20.000 \text{ ohms.}$$

99. — *On veut mesurer une résistance par la méthode du voltmètre. On emploie un voltmètre d'une résistance de 60.000 ohms, qu'on branche aux bornes d'une batterie de piles. L'appareil indique une tension de 40 volts.*

Puis, on intercale en série la résistance à étudier, et la différence de potentiel n'est plus que de 20 volts.

Quelle est la valeur de la résistance ?

SOLUTION. — Si l'on appelle R la valeur de la résistance inconnue en ohms, r la résistance intérieure du voltmètre, E la tension primitive, et e la nouvelle tension indiquée, la valeur inconnue nous est donnée par l'expression :

$$R = r \left(\frac{e}{E - e} \right).$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$R = r \left(\frac{40 - 20}{20} \right) = r \times \frac{20}{20} = r.$$

Puisque $r = 60.000$ ohms, $R =$ également 60.000 ohms.

100. — *On veut mesurer la capacité d'un condensateur par une méthode rapide. On le fait traverser par un courant alternatif d'une tension de 110 volts, d'une fréquence de 50 périodes-seconde ; l'intensité est de 50 milliampères. Quelle est la capacité ?*

On veut, de même, étudier sommairement un bobinage à l'aide du même courant, on trouve une résistance apparente de 1.000 ohms. Quel est le coefficient de self-induction ?

SOLUTION. — Nous utiliserons la formule simple :

$C = \frac{160 I}{VF}$, dans laquelle I est l'intensité en milliampères, C la capacité en microfarads, F la fréquence en périodes-seconde, et V la tension en volts.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$C = \frac{160 \times 50}{110 \times 50} = \frac{160}{110} = 1,45 \text{ microfarads.}$$

De même, pour déterminer les coefficients de self-induction du bobinage, nous emploierons la formule :

$$L = \frac{Z}{6,28 F},$$

dans laquelle, Z est la résistance en ohms, F la fréquence en périodes-seconde du courant utilisé, L le coefficient de self-induction en henrys.

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$L = \frac{1.000}{6,28 \times 50} = \frac{1.000}{314} = 3,15 \text{ henrys.}$$

TABLE DES MATIÈRES

Préface	5
<i>Chapitre premier.</i> — NOTIONS PRÉLIMINAIRES. NOTATIONS ET SYMBOLES	9
Abréviations radioélectriques	9
Alphabet grec	10
Symboles des unités	10
Règles de formation des symboles composés	11
Abréviations dans les formules	11
Logarithmes.....	12
Lecture des schémas	12
Applications (Problèmes 1 à 7)	15
<i>Chapitre II.</i> — PHÉNOMÈNES VIBRATOIRES	20
Caractéristiques du mouvement vibratoire périodique	20
Composition des oscillations	20
Déphasage	21
Applications (Problème 8)	21
<i>Chapitre III.</i> — NOTIONS D'ACOUSTIQUE	22
Sons simples et complexes.....	22
Propagation du son et ondes sonores	22
Intensité mécanique et intensité auditive du son	23
Définition du bel et du décibel	23
Usages du décibel	24
Intervalle de puissance sonore	24
Applications (Problèmes 9 à 11)	24
<i>Chapitre IV.</i> — ÉLECTROSTATIQUE. CONDENSATEURS	27
Formules élémentaires des capacités	27
Charge d'un condensateur	28
Couplage des condensateurs.....	28
Capacité des condensateurs de formes simples	28
Applications (Problèmes 12 à 21)	29
<i>Chapitre V.</i> — LE COURANT CONTINU	35
Quantité et intensité électriques.....	35
Résistance.....	35
Loi d'Ohm	36
Action de la température sur les résistances	37
Travail et puissance	37
Unités de chaleur	38
Travail et puissance électriques.....	38

Loi de Joule.....	39
Courants dérivés. — Loi de Kirchhoff	39
Résistance interne des sources d'électricité.....	39
Applications (Problèmes 22 à 46)	40
<i>Chapitre VI — MONTAGES ÉLECTRIQUES.</i>	54
Groupement des sources électriques	54
Montage des résistances	55
Couplages particuliers	55
Applications (Problèmes 47 à 59)	56
<i>Chapitre VII. — PILES ET ACCUMULATEURS</i>	68
Caractéristiques des piles	68
Caractéristiques des accumulateurs	68
Applications (Problèmes 60 à 66)	69
<i>Chapitre VIII. — MAGNÉTISME ET ÉLECTROMAGNÉTISME</i>	73
Champ magnétique et flux magnétique	73
Force portante d'un aimant	73
Champ magnétique et solénoïde	74
Champ magnétique autour d'un fil et d'une spire	74
Applications (Problèmes 67 à 72)	75
<i>Chapitre IX. — INDUCTION ET SELF-INDUCTION</i>	78
Force électromotrice d'induction	78
Coefficient de sel-induction	78
Induction mutuelle et couplage	79
Combinaisons des bobinages	79
Énergie de self-induction	80
Formules de calcul des bobinages	80
Courants de Foucault	82
Applications (Problèmes 73 à 80)	82
<i>Chapitre X. — LE COURANT ALTERNATIF</i>	87
Caractéristiques du courant alternatif	87
Effets du courant alternatif dans un circuit à résistance non inductive..	88
Effets du courant alternatif dans un circuit à bobinage de résistance né- gligeable	88
Effets du courant alternatif dans un circuit à condensateur.....	88
Effets du courant alternatif dans un circuit comportant un bobinage en série avec une résistance	89
Effets du courant dans un circuit comprenant un bobinage en série avec un condensateur	89
Puissance du courant alternatif	90
Transformateurs	90
Applications (Problèmes 81 à 91)	91
<i>Chapitre XI. — CIRCUIT OSCILLANT. — RÉSONANCE. — HAUTE-FRÉ- QUENCE</i>	98
Différence de potentiel aux bornes des éléments d'un circuit	98
Résonance série	98
Circuit-bouchon et résonance parallèle	99
Énergie de self-induction	99

Sur tension	100
Charge et décharge d'un condensateur	100
Pertes dans les diélectriques	100
Puissance en courant alternatif	100
Résistance apparente des bobinages en fonction de la fréquence	101
Applications (Problèmes 92 à 95)	102
 <i>Chapitre XII. — APPAREILS DE MESURE</i>	105
Shuntage des appareils	105
Mesure simplifiée des résistances	105
Mesure des capacités et des bobinages	106
Applications (Problèmes 96 à 100)	106

EXTRAIT DU CATALOGUE DES ÉDITIONS CHIRON

RADIOÉLECTRICITÉ

Abadie. — Les mesures en radioélectricité	80 »
Baize (ing. en chef des P.T.T.). — La loi de protection contre les parasites.	30 »
— Guide de l'électricien pour l'élimination des parasites industriels....	30 »
Boitard. — Dictionnaire technique de la radio anglais-français avec table des unités, jauges, fils, etc.....	96 »
Boursin. — Radio-Guide. Comment installer et régler un poste de T.S.F.	27 »
Chaumat et Lefrand. — Electrotechnique générale préparatoire à la T.S.F..	48 »
Chehère. — Comment construire soi-même un redresseur de courant, nouvelle édition.....	27 »
Chrétien (L.) — L'art de la vérification des récepteurs et des mesures pratiques en T.S.F., édition 1945	120 »
— L'art du Dépannage et de la Mise au point des Postes de T.S.F. 35 ^e édition corrigée. Edition 1946.....	135 »
— *Théorie et Pratique de la Radioélectricité :	
Tome I. — Les Bases de la Radioélectricité (vol. de 362 p.).....	200 »
Tome II. — Théorie de la Radioélectricité (408 pages)	220 »
Tome III. — Pratique de la Radioélectricité (500 pages)	270 »
Tome IV. — Compléments modernes (en préparation).	
— La T.S.F. sans mathématiques (en réimpression).	
— Traité de Physique électronique (1 vol. broché de 368 p.)	450 »
— Ce qu'il faut savoir de la contreréaction (nouvelle édition).	
David. — Les parasites en T.S.F.....	45 »
Gérard. — Avant d'acheter un poste de T.S.F.....	30 »
Giniaux. — Le Réglage automatique des Récepteurs.....	48 »
— Cours pour la formation technique des Radios militaires et civils. 1 vol. broché de 500 pages format 130 x 230.....	240 »
— Les postes à galène. Le premier pas du sans-filiste.....	72 »
— La technique de l'alignement (nouvelle édition).	
— Comment recevoir les ondes courtes (en préparation).	
Guinchan. — Trigonométrie (étude élémentaire des propriétés cinétiques des vibrations), à l'usage des étudiants radioélectriciens.....	150 »
— Algèbre de l'enseignement technique :	
Premier livre. — Le calcul algébrique et problèmes du premier degré	150 »
Second livre. — <i>En préparation.</i>	
P. Hémardinguier. — La T.S.F. en 30 leçons.	
Tome I. — Electrotechnique et radiotechnique générale.....	180 »
Tome II. — Principes essentiels de la radio.....	180 »
Tome III. — Principes et fonctionnement des appareils radio-électriques (en préparation).	
— Problèmes de Radioélectricité accompagnés de leurs solutions, 3 tomes correspondant à ceux de la T.S.F. en 30 leçons. Chaque tome	120 »
Laroche. — L'alphabet morse en 10 minutes.....	15 »
Puckle O. S. — Bases de temps (traduit de l'anglais par M. Rolland. Ing.), en préparation.	
P.-M. Vieillard. — L'émission des ondes amorties.....	45 »
D^r V. K. Zworykin. — L'optique électronique. Les multiplicateurs d'électrons.....	48 »

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