EURELEC

FORMULAIRE

COURS DE BASE

ELECTRONIQUE

ELECTROTECHNIQUE 2

Ce formulaire est divisé en deux parties : dans la première, nous continuerons le recueil des formules d'électrotechnique générale se rapportant aux leçons théoriques (de la *Théorie 4* à la *Théorie 9* comprise) ; dans la seconde nous présentons une nouvelle méthode de calcul (nouvelle pour notre Cours), soit une méthode graphique à laquelle nous avons déjà fait allusion dans l'introduction au *Formulaire 1.*

FORMULE 102 - Calcul de la *capacité électrique* d'un corps, connaissant la *quantité d'électricité* et le *potentiel* de ce même corps.

Enoncé : La capacité électrique, exprimée en *farad,* s'obtient en divisant la quantité d'électricité, exprimée en *coulomb*, par le potentiel, exprimé en *volt (Théorie 4, Paragraphe 2 - 1).*

$$C = \frac{Q}{V}$$

C = capacité électrique en F (farad)

Q = quantité d'électricité en C (coulomb)

V = potentiel en V (volt)

Exemple

Données : Q = 0,00002 C, V = 10 V.

Capacité électrique : $C = \dfrac{0{,}00002}{10} = 0{,}000002$ F .

OBSERVATION — Puisque la capacité électrique calculée est relativement petite, on peut exprimer le résultat en microfarad (μF; 1 μF = 0,000001 F) :

$$0{,}000002 \text{ F} = 2 \ \mu\text{F}.$$

FORMULE 103 - Calcul de la *capacité* d'un condensateur, connaissant la *quantité d'électricité* présente sur une des armatures et la *différence de potentiel* entre les armatures.

Enoncé : La capacité d'un condensateur, exprimée en *farad,* s'obtient en divisant la quantité d'électricité exprimée en *coulomb,* présente sur l'une ou l'autre armature, par la différence de potentiel entre ces armatures, exprimée en volt *(Théorie 4, Paragraphe 2-2).*

$$C = \frac{Q}{V}$$

C = capacité du condensateur en F (farad)

Q = quantité d'électricité en C (coulomb)

V = différence de potentiel en V (volt)

(La présente formule est semblable à la *formule 102* et les grandeurs qu'elle contient sont exprimées dans les mêmes unités de mesure ; pour cette raison les procédés de calcul sont identiques dans les deux cas).

Exemple

Données : Q = 0,000008 C, V = 200 V.

Capacité du condensateur : $C = \frac{0{,}000\,008}{200} = 0{,}000\,000\,04$ F.

OBSERVATION – D'une façon générale, les capacités des condensateurs sont très petites par rapport à l'unité de mesure, qui est le farad, et pour cette raison on utilise couramment les sous-multiples du farad, soit le *microfarad* (µF ; 1 µF = 0,000001 F) et le *kilopicofarad* ou *nanofarad* (kpF, nF ; 1 kpF=1 nF=0,000000001 F) et le *picofarad* (pF ; 1 pF=0,000000000001F) En exprimant le résultat de l'exemple précédent, en utilisant les divers sous-multiples du farad, on obtient :

0,00000004 F = 0,04 µF = 40 kpF = 40 nF = 40.000 pF.

FORMULE 104 - Calcul de la *quantité d'électricité* présente sur l'une ou l'autre armature d'un condensateur, connaissant la *différence de potentiel* entre les armatures et la *capacité* du condensateur.

$$Q = C\,V$$

Q = quantité d'électricité en C (coulomb)

C = capacité en F (farad)

V = différence de potentiel en V (volt)

(La présente formule a été tirée de la *formule 103,* en suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1).*

Exemple

Données : C = 20.000 pF = 0,00000002 F (pour l'équivalence entre le sous-multiple picofarad, pF, et l'unité farad, F, voir l'observation qui suit la *formule 103*) V = 500 V.

Quantité d'électricité présente sur une armature du condensateur:

$$Q = 0{,}000\,000\,02 \times 500 = 0{,}000\,001 \text{ C}.$$

FORMULE 105 - Calcul de la *différence de potentiel (tension)* existant entre les armatures d'un condensateur, connaissant la *quantité d'électricité* présente sur une armature et la *capacité* du condensateur.

$$V = \frac{Q}{C}$$

V = différence de potentiel en V (volt)

Q = quantité d'électricité en C (coulomb)

C = capacité en F (farad)

(La présente formule a été tirée de la *formule 103* en suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemple

Données : Q = 0,0006 C, C = 5 μF = 0,000005 F (pour l'équivalence entre le sous-multiple microfarad, μF, et l'unité de mesure farad, F, voir l'observation qui suit la *formule 103*).

Différence de potentiel existant entre les armatures du condensateur:

$$V = \frac{0{,}0006}{0{,}000005} = 120 \text{ V}.$$

FORMULE 106 Calcul de la *constante diélectrique absolue* d'un matériau, connaissant la *constante diélectrique absolue du vide* (ou de l'air) et la *constante diélectrique relative au vide* (ou à l'air) de ce même matériau.

Enoncé : La constante diélectrique absolue d'un matériau, exprimée en *picofarad par mètre*, s'obtient en multipliant la constante diélectrique relative au vide (ou à l'air) du matériau par la constante diélectrique absolue du vide (ou de l'air), exprimée en *picofarad par mètre (Théorie 4, Paragraphe 2-4)*

ϵ = constante diélectrique absolue d'un matériau en pF/m (picofarad par mètre)

$\epsilon = \epsilon_o \, \epsilon_r$ ϵ_o = constante diélectrique absolue du vide (8,86pF/m picofarad par mètre).

ϵ_r = constante diélectrique relative du matériau (tableau VI - *figure 1*).

Exemple

Données : ϵ_o = 8,86 pF/m, ϵ_r = 5 (constante diélectrique relative au carton bakélisé, voir le *tableau VI, figure 1*).

Constante diélectrique absolue du carton bakélisé : ϵ = 8,86×5= 44,3 pF/m.

OBSERVATION - Dans la *Théorique 4, paragraphe 2 - 4,* la constante diélectrique absolue du vide et de l'air est exprimée en *picofarad par centimètre* (pF/cm) ; parfois, dans les livres de physique et dans les manuels techniques, cette même constante diélectrique absolue est exprimée en *farad par mètre* (F/m). Le farad par mètre est l'unité de mesure adoptée dans le système International, le picofarad par centimètre et le picofarad par mètre sont des sous-multiples de la même unité :

1 pF/cm = 0,000 000 000 1 F/m, 1 F/m = 10.000.000.000 pF/cm ;

1 pF/m = 0,000 000 000 001 F/m, 1 F/m = 1.000.000.000.000 pF/m ;

1 pF/cm = 100 pF/m, 1 pF/m = 0,01 pF/cm.

En utilisant la dernière des précédentes équivalences on obtient donc: ϵ_o = 8,86 pF/m = 0,0886 pF/cm (valeur reportée dans *Théorie 4*).

Sur le *tableau VI, figure 1,* on a indiqué les constantes diélectriques relatives au vide, ou à l'air sec, de quelques matériaux isolants qui peuvent présenter un motif d'intérêt pour le radiotechnicien.

TABLEAU VI

MATERIAUX	CONSTANTE DIELECTRIQUE RELATIVE ($\mathcal{E}$ r)	RIGIDITE DIELECTRIQUE (kV/cm)
Air sec	1	21 ÷ 24
Alcool éthylique	24 ÷ 27	50 ÷ 100
Ambre	2,8 ÷ 2,9	-
Bakélite C	5 ÷ 7	100 ÷ 280
Bakélite pressée	2 ÷ 6	100 ÷ 200
Benzène	2 ÷ 3	-
Bois paraffiné	2,5 ÷ 7,7	80 ÷ 300
Caoutchouc (vulcanisé)	3 ÷ 4,5	150 ÷ 250
Caoutchouc - laque	2,6 ÷ 3,7	100 ÷ 400
Carton	3 ÷ 5	80 ÷ 120
Celluloïde	2 ÷ 7	100 ÷ 300
Cire d'abeilles	1,9	100
Cire laque	4 ÷ 5	-
Colophane	2,5 ÷ 2,8	100
Eau distillée	78 ÷ 81	50 ÷ 100
Galalithe	-	250
Gutta - percha	2,6 ÷ 4	60 ÷ 140
Huile de lin (cuite)	3 ÷ 3,5	80 ÷ 190
Huile de paraffine	3,15	160 ÷ 215
Huile de térébenthine	2,2	110 ÷ 160
Huile minérale	2 ÷ 2,5	100 ÷ 160
Marbre	6 ÷ 8,3	10 ÷ 20
Mica	5 ÷ 6	600 ÷ 1800
Papier (sec)	1,6 ÷ 2,6	60 ÷ 110
Papier bakélisé	5	50 ÷ 150
Papier paraffiné	2,5 ÷ 4	400 ÷ 500
Paraffine (solide)	2 ÷ 2,5	140 ÷ 450
Pétrole	2 ÷ 2,3	-
Porcelaine (vernie)	4,5 ÷ 6,5	200 ÷ 400
Presspan	2,5 ÷ 5	70 ÷ 130
Toile bakélisée	4,5 ÷ 6	100 ÷ 200
Toile sterlinguée	3,5 ÷ 5,5	250 ÷ 500
Vapeur d'eau	1,007	-
Vaseline	2,17	60 ÷ 90
Verre	4,5 ÷ 10	100 ÷ 400
	(le signe ÷ veut dire "de... à ...")	

CONSTANTE DIELECTRIQUE RELATIVE ET RIGIDITE DIELECTRIQUE DE QUELQUES MATERIAUX A LA TEMPERATURE DE 20° C

Figure 1

FORMULE 107 - Calcul de la *constante diélectrique relative* d'un matériau, connaissant les *constantes diélectriques absolues* du vide (ou de l'air) et du matériau.

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

ϵ_r = constante diélectrique relative du matériel

ϵ = constante diélectrique absolue du matériau en pF/m (picofarad par mètre)

ϵ_0 =constante diélectrique absolue du vide (8,86 pF/ m (picofarad par mètre).

(La présente formule a été tirée de la formule 106 en suivant les règle du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemple

Données : ϵ = 16,834 pF/m (constante diélectrique absolue de la cire d'abeilles).

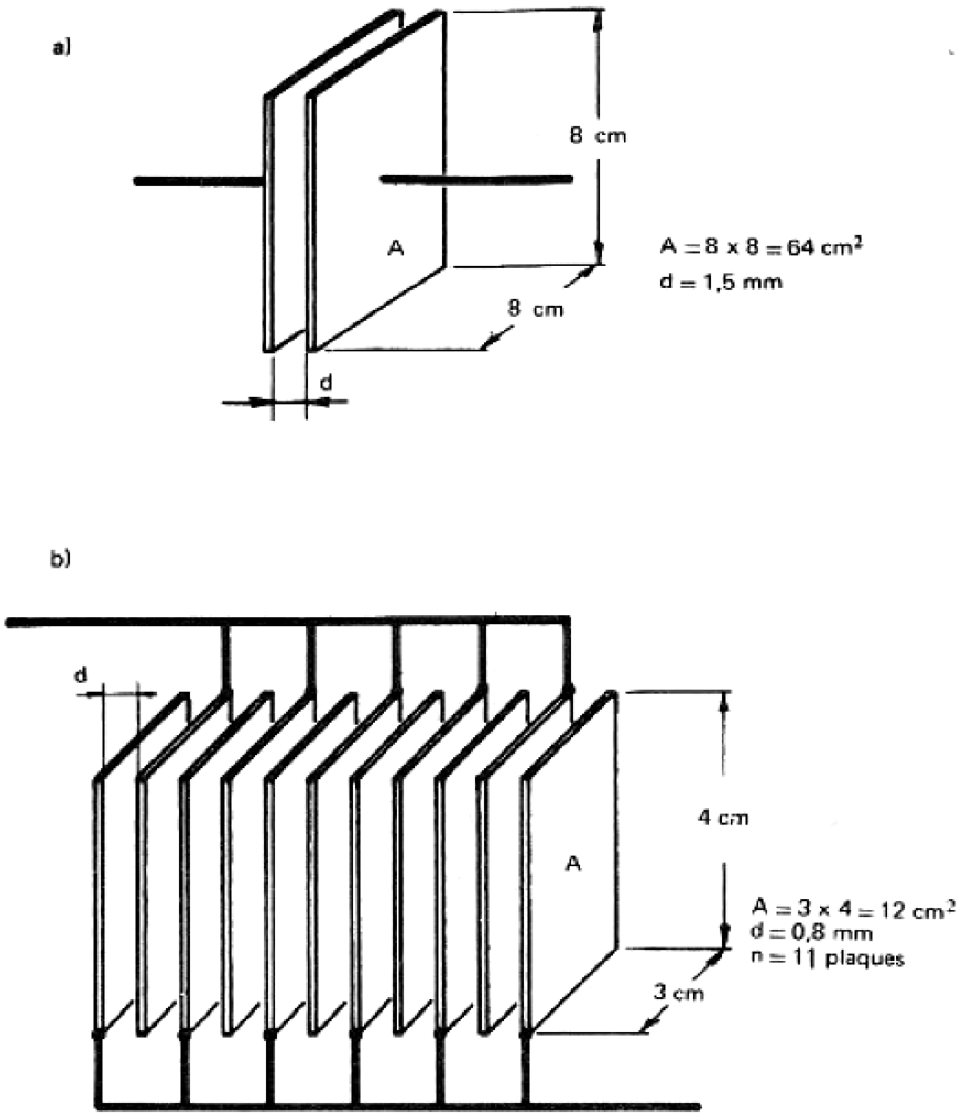
ϵ_0 = 8,86 pF/m (constante diélectrique absolue du vide ; voir l'observation qui suit la *formule 106)*

Constante diélectrique relative à la cire d'abeilles : $\epsilon_r = \frac{16,834}{8,86} = 1,9.$

(valeur indiquée au *tableau VI, figure 1*).

FORMULE 108 - Calcul de la *capacité* d'un condensateur à air, formé par deux plaques égales, planes et paralléles, connaissant la *surface* de ces plaques, la *distance* entre les superficies en présence et la *constante diélectrique absolue* de l'air.

Enoncé : La capacité du condensateur à air, *(figure 2 - a),* exprimée en *picofarad,* s'obtient en multipliant la constante diélectrique absolue de l'air (8,86 pF/m ; *formule 106*) par la surface d'une plaque, exprimée en *centimètres carrés,* et en divisant le produit obtenu par la distance entre les plaques, exprimée en *millimètres* et multipliée par 10 *(Théorie 4,Paragraphe 2 - 4).*



CONDENSATEURS PLANS A AIR

Figure 2

$$C = \frac{\epsilon A}{10\ d}$$

C = capacité du condensateur en pF (picofarad)

ϵ = constante diélectrique absolue de l'air (8,86 pF/m, picofarad par mètre)

A = surface d'une plaque en cm^2

d = distance entre les plaques en mm.

Exemple (figure 2 - a)

Données : ϵ = 8,86 pF/m, A = 64 cm^2, d = 1,5 mm.

Capacité du condensateur : $C = \dfrac{8{,}86 \times 64}{10 \times 1{,}5} = \dfrac{567{,}04}{15} \approx 37{,}8$ pF

FORMULE 109 - Calcul de la *capacité* d'un condensateur à air formé par trois ou plusieurs plaques égales, planes et parallèles, reliées comme montré à la *figure 2 - b*, connaissant la *surface des plaques*, la *distance* entre l'une et l'autre plaque, le *nombre de plaques* et la *constante diélectrique absolue de l'air.*

Enoncé : La capacité d'un condensateur à air *(figure 2 - b)* s'obtient en multipliant la capacité de deux plaques adjacentes, calculée au moyen de la *formule 108,* par le nombre de plaques moins une.

$$C = \frac{\epsilon\ A}{10\ d}\ (n-1)$$

C = capacité du condensateur en pF (picofarad)

ϵ = constante diélectrique absolue de l'air (8,86 pF/m, picofarad au mètre)

A = surface d'une plaque en cm^2

d = distance entre les plaques en mm

n = nombre de plaques

Exemple

Données : ϵ = 8,86 pF/m, A = 12 cm², d = 0,8 mm, n = 11 plaques

Capacité du condensateur : $C = \dfrac{8{,}86 \times 12}{10 \times 0{,}8} \times (11-1) =$

$$= \frac{106{,}32}{8} \times 10 = 13{,}29 \times 10 = 132{,}9 \text{ pF.}$$

FORMULE 110 - Calcul de *l'énergie électrique* emmagasinée par un condensateur, connaissant la *quantité d'électricité* présente sur l'une ou l'autre armature et la *tension* existante entre ces mêmes armatures.

Enoncé : L'énergie emmagasinée par un condensateur, exprimée en joule, s'obtient en multipliant la quantité d'électricité présente sur une armature, exprimée en coulomb, par la tension entre les armatures, exprimée en volt, et en divisant par 2 le produit obtenu *(Théorie5, Paragraphe 1 - 1).*

$$W = \frac{QV}{2}$$

W = énergie électrique en J (joule)

Q = quantité d'électricité en C (coulomb)

V = tension en V (volt)

Exemple

Données : Q = 0,0004 C (quantité d'électricité présente sur une armature du condensateur), V = 200 V (tension entre les armatures du condensateur).

Energie électrique emmagasinée par le condensateur :

$$W = \frac{0{,}0004 \times 200}{2} = \frac{0{,}08}{2} = 0{,}04 \text{ J.}$$

FORMULE 111 - Calcul de la *quantité d'électricité* présente sur l'armature d'un condensateur, connaissant la valeur de l'*énergie emmagasinée* par le condensateur et la *tension* existant entre ses armatures.

$$Q = \frac{2\,W}{V}$$

Q = quantité d'électricité en C (coulomb)

W = énergie électrique en J (joule)

V = tension en V (volt)

(La présente formule a été tirée de la *formule 110* en suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemple

Données : W = 0,08 J (énergie emmagasinée par le condensateur).

V = 160 V (tension entre les armatures du condensa - teur)

Quantité d'électricité présente sur une armature du condensateur :

$$Q = \frac{2 \times 0{,}08}{160} = \frac{0{,}16}{160} = 0{,}001 \text{ C.}$$

FORMULE 112 - Calcul de la *tension* existant entre les armatures d'un condensateur, connaissant la valeur de *l'énergie emmagasinée* et la *quantité d'électricité* présente sur une armature.

$$V = \frac{2W}{Q}$$

V = tension en V (volt)

W = énergie électrique en J (joule)

Q = quantité d'électricité en C (coulomb)

(La présente formule a été tirée de la *formule 110* suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemple

Données : $W = 1{,}5$ J (énergie emmagasinée par le condensateur).
$Q = 0{,}06$ C (quantité d'électricité présente sur une armature du condensateur)

Tension entre les armatures du condensateur : $V = \frac{2 \times 1{,}5}{0{,}06} =$

$$= \frac{3}{0{,}06} = 50 \text{ V}.$$

FORMULE 113 - Calcul de l'*énergie électrique* emmagasinée par un condensateur, connaissant la *capacité* et la *tension existant* entre les armatures.

Enoncé : L'énergie emmagasinée par un condensateur, exprimée en *joule*, s'obtient en multipliant la capacité, exprimée en *farad*, par le carré de la tension, exprimée en *volt*, et en divisant par 2 le produit obtenu *(Théorie 5 - Paragraphe 1 - 1)*.

$$W = \frac{C\ V^2}{2}$$

W = énergie électrique en J (joule)

C = capacité en farad (F)

V = tension en V (volt)

Exemple

Données : C = 400 μF (microfarad) = 0,0004 F, V = 50 V.

Energie électrique emmagasinée : $V = \frac{0{,}0004 \times 50^2}{2} =$

$$= \frac{0{,}0004 \times 2.500}{2} = \frac{1}{2} = 0{,}5 \text{ J}.$$

FORMULE 114 - Calcul de la *capacité* d'un condensateur, connaissant la valeur de l'*énergie emmagasinée* et la *tension* existant entre les armatures.

$$C = \frac{2\,W}{V^2}$$

C = capacité en F (farad)

W = énergie électrique en J (joule)

V = tension en V (volt)

(La présente formule a été tirée de la *formule 113* suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemple

Données : W = 0,05 J (énergie emmagasinée par le condensateur).

V = 500 V (tension entre les armatures du condensateur)

Capacité : $C = \frac{2 \times 0{,}05}{500^2} = \frac{0{,}1}{250.000} = 0{,}0000004\ F = 0{,}4\,\mu F$ (microfarad).

FORMULE 115 - Calcul de la *tension* existant entre les armatures d'un condensateur, connaissant la valeur de l'*énergie emmagasinée* et la *capacité* du condensateur.

Enoncé : La tension existante entre les armatures d'un condensateur, exprimée en *volt*, s'obtient en divisant le double de l'énergie emmagasinée, exprimée en *joule*, par la capacité, exprimée en *farad*, et en extrayant la racine carrée du quotient obtenu.

$$V = \sqrt{\frac{2W}{C}}$$

V = tension en V (volt)

W = énergie électrique en J (joule)

C = capacité en F (farad)

Exemple

Données : W = 4,9 J (énergie électrique emmagasinée par le condensateur).

C = 80 µF = 0,00008 F (capacité du condensateur).

Tension existante entre les armatures du condensateur :

$$V = \sqrt{\frac{2 \times 4,9}{0,00008}} = \sqrt{\frac{9,8}{0,00008}} = \sqrt{122.500} = 350 \text{ V}.$$

FORMULE 116 - Calcul de *l'intensité du champ électrique* existant dans le diélectrique d'un condensateur, connaissant la *tension* et la *distance* entre les armatures.

Enoncé : L'intensité du champ électrique existante dans le diélectrique d'un condensateur, exprimée en *kilovolt par mètre*, s'obtient en divisant la tension existant entre ses armatures, exprimée en *volt*, par la distance entre ces mêmes armatures, exprimée en *millimètres (Théorie 5, Paragraphe 1 - 3).*

$$E = \frac{V}{d}$$

E = intensité du champ électrique en kV/m (kilovolt par mètre)

V = tension en V (volt)

d = distance entre les armatures en mm.

Exemple

Données : V = 350 V. d = 0,7 mm.

Intensité du champ électrique : $E = \frac{350}{0,7} = 500$ kV/m.

OBSERVATION - L'intensité maximum du champ électrique admise par un diélectrique est appelée *rigidité diélectrique (Théorie5, Paragraphe*

1 - 3). Au *tableau VI, figure 1,* à côté des valeurs de la constante diélectrique relative à quelques matériaux isolants (diélectriques), sont portées les valeurs de la rigidité diélectrique. On observera que la rigidité diélectrique, dans le tableau cité plus haut, est exprimée en *kilovolt par centimètre* (kV/cm), au lieu de *kilovolt par mètre* (kV/m), comme c'est indiqué dans la *formule 116* et dans *Théorie 5.* Le kilovolt par centimètre et le kilovolt par mètre sont des multiples du *volt par mètre* (V/m), unité de mesure de l'intensité du champ électrique :

$$1 \text{ kV/m} = 1.000 \text{ V/m} \; ; \; 1 \text{ kV/cm} = 100.000 \text{ V/m} \; ;$$

$$1 \text{ kV/m} = 0{,}01 \text{ kV/cm} \; ; \; 1 \text{ kV/cm} = 100 \text{ kV/m}.$$

FORMULE 117 - Calcul de *l'épaisseur* d'une couche isolante, connaissant la *rigidité diélectrique* du matériau et la *tension électrique* qu'il devra soutenir entre l'une et l'autre superficie de l'épaisseur.

Enoncé : L'épaisseur de la couche isolante, exprimée en *millimètres,* s'obtient en divisant la tension, exprimée en *volt,* par la rigidité diélectrique du matériau, exprimée en *kilovolt par centimètre (tableau VI, figure 1)* et multipliée par 100.

$$d = \frac{V}{100\, R_D}$$

d = épaisseur de l'isolant en mm

V = tension en V (volt)

R_D = rigidité diélectrique en kV/cm (kilovolt par centimètre)

Exemple

Données : V = 12.000 V (tension à appliquer entre les surfaces opposées du diélectrique), R_d = 600 kV/cm (rigidité diélectrique minimum du mica ; voir le *tableau VI, figure 1).*

Epaisseur de la couche de mica nécessaire pour obtenir l'isolement à la tension indiquée :

$$d = \frac{12.000}{100 \times 600} = \frac{12.000}{60.000} = 0{,}2 \text{ mm} .$$

FORMULE 118 - Calcul de la *tension* qu'une épaisseur de matériau isolant pourra supporter, connaissant la valeur de *l'épaisseur* et la *rigidité diélectrique* du matériau.

$$V = 100\ R_D\ d$$

V = tension en V (volt)

R_D = rigidité diélectrique en kV/cm (kilovolt par centimètre)

d = épaisseur en mm.

(La présente formule a été tirée de la *formule 117* suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemple

Données : R_D = 400 kV/cm (rigidité diélectrique minimum du papier paraffiné, voir le *tableau VI, figure 1)*, $d = 0{,}025$ mm (épaisseur d'une feuille de papier paraffiné).

Tension que l'on peut appliquer entre les deux pages d'une feuille de papier paraffiné : $V = 100 \times 400 \times 0{,}025 = 1.000$ V.

FORMULE 119 - Calcul de la *capacité totale* de deux ou de plusieurs condensateurs reliés en parallèle, connaissant la *capacité de chaque condensateur.*

Enoncé : La capacité d'ensemble de deux ou plusieurs condensateurs reliés en parallèles s'obtient en additionnant leurs capacités (*Théorie 5, Paragraphe 1 - 4*).

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

C_t = capacité totale

C_1 = capacité du premier condensateur

C_2 = capacité du second condensateur

C_3 = capacité du troisième condensateur

C_n = capacité du dernier condensateur

Les valeurs de capacité doivent être exprimées toutes dans la même unité de mesure.

Exemple

a) Données : $C_1 = 10$ pF (picofarad), $C_2 = 18$ pF, $C_3 = 8$ pF ,
$C_n = C_4 = 24$ pF.
Capacité totale : $C_t = 10 + 18 + 8 + 24 = 60$ pF.

b) Données : $C_1 = 50$ nF (nanofarad), $C_2 = 30$ nF, $C_3 = 15$ nF,
$C_4 = 60$ nF, $C_n = C_5 = 5$ nF.
Capacité totale : $C_t = 50 + 30 + 15 + 60 + 5 = 160$ nF .

c) Données : $C_1 = 2$ µF (microfarad), $C_2 = 5$ µF, $C_3 = 5$ µF .
Capacité totale : $C_t = 2 + 5 + 5 = 12$ µ F.

FORMULE 120 - Calcul de la *capacité équivalente* de deux ou plusieurs condensateurs de valeur égale, reliés en série, connaissant leur *capacité.*

Enoncé : La capacité équivalente de deux ou de plusieurs condensateurs ayant la même capacité, reliés en série, s'obtient en divisant la capacité d'un condensateur par le nombre des condensateurs *(Théorie 5, Paragraphe 1 - 4).*

$$C_e = \frac{C}{n}$$

C_e = capacité équivalente

C = capacité de chaque condensateur

n = nombre de condensateurs

La capacité équivalente sera exprimée dans la même unité de mesure que celle utilisée pour indiquer la capacité des condensateurs.

Exemple

a) Données : $C = 420$ pF (picofarad), $n = 2$.

Capacité équivalente : $C_e = \dfrac{420}{2} = 210$ pF.

b) Données : C = 40 nF (nanofarad), n = 4.

Capacité équivalente : $C_e = \dfrac{40}{4} = 10$ nF.

c) Données : C = 2 μF (microfarad), n = 3 .

Capacité équivalente : $C_e = \dfrac{2}{3} \approx 0{,}666\ \mu F = 666$ nF.

FORMULE 121 - Calcul de la *capacité équivalente* de deux condensateurs de valeur différente, reliés en série, connaissant leur *capacité respective*

Enoncé : La capacité équivalente de deux condensateurs reliés en série s'obtient en multipliant la capacité des deux condensateurs et en divisant le produit par la somme de ces capacités *(Théorie 5, Paragraphe 1 - 4).*

$$C_e = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

C_e = capacité équivalente

C_1 = capacité d'un condensateur

C_2 = capacité de l'autre condensateur

Les valeurs de capacité doivent être exprimées toutes dans la même unité de mesure.

Exemple

Données : C_1 = 40 nF (nanofarad) , C_2 = 60 nF.

Capacité équivalente des deux condensateurs reliés en série :

$$C_e = \frac{40 \times 60}{40 + 60} = \frac{2{,}400}{100} = 24 \text{ nF.}$$

FORMULE 122 - Calcul de la *capacité* d'un condensateur à relier en série à un *autre condensateur de capacité connue*, pour obtenir une *capacité équivalente* donnée.

Enoncé : La capacité d'un condensateur à relier en série à un autre condensateur, pour obtenir une capacité équivalente donnée, se calcule en multipliant la capacité du condensateur connu par la capacité équivalente et en divisant le produit par la différence de ces mêmes valeurs.

$$C_i = \frac{C \times C_e}{C - C_e}$$

C_i = capacité inconnue

C = capacité du condensateur disponible

C_e = capacité équivalente que l'on veut obtenir

Les valeurs de capacité doivent être exprimées toutes dans la même unité de mesure.

Exemple

Données : $C = 500$ pF (picofarad), $C_e = 400$ pF.

Capacité inconnue : $C_i = \frac{500 \times 400}{500 - 400} = \frac{200.000}{100} = 2.000$ pF.

FORMULE 123 - Calcul de la *capacité équivalente* de plusieurs condensateurs reliés en série, connaissant *leur capacité.*

Enoncé : La capacité équivalente de plusieurs condensateurs reliés en série, s'obtient en exécutant les calculs en trois temps : on calcule d'abord l'inverse de la capacité de chaque condensateur, ce qui revient à diviser le nombre 1 par la valeur de la capacité. Ensuite, on additionne les valeurs des réciproques. Enfin, on calcule la capacité équivalente en divisant le nombre 1 par la somme des réciproques.

$$C_e = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots + \frac{1}{C_n}}$$

C_e = capacité équivalente

C_1 = capacité du premier condensateur

C_2 = capacité du second condensateur

C_3 = capacité du troisième condensateur

C_n = capacité du dernier condensateur

Les valeurs de capacité doivent toutes être exprimées dans la même unité de mesure.

Exemple

Données : C_1 = 500 pF (picofarad), C_2 = 2.000 pF, C_3 = 400 pF,
$C_n = C_4$ = 200 pF.

Capacité équivalente : $C_e = \frac{1}{\frac{1}{500} + \frac{1}{2.000} + \frac{1}{400} + \frac{1}{200}} =$

$$= \frac{1}{0{,}002 + 0{,}0005 + 0{,}0025 + 0{,}005} = \frac{1}{0{,}01} = 100 \text{ pF.}$$

OBSERVATION - Si l'on doit calculer la capacité équivalente de deux condensateurs reliés en série, on peut utiliser la *formule 123,* mais il convient, en général, de recourir à la *formule 121 ;* en outre, dans le cas où les capacités des condensateurs reliés en série sont égales entre elles, il convient alors de recourir à la *formule 120.*

FORMULE 124 - Calcul de la *force magnétomotrice* (appelée aussi *tension magnétique*) produite par une bobine parcourue par un courant, connaissant le *nombre de spires* de l'enroulement et *l'intensité du courant.*

Enoncé : La force magnétomotrice, exprimée en ampère-tour, s'obtient en multipliant le nombre de spires par l'intensité du courant, exprimée en ampère *(Théorie 6, Paragraphe 2 - 2).*

$$\mathcal{F} = N\,I$$

$\mathcal{F}$ = force magnétomotrice en At (Ampère-tour)

N = nombre de spires

I = intensité du courant en A (ampère)

Exemple

Données : N = 1.600 (nombre de spires d'une bobine) I = 0,05 A (intensité du courant qui parcourt l'enroulement de la bobine).

Force magnétomotrice produite par la bobine : $\mathcal{F} = 1600 \times 0{,}05 =$

$= 80$ At.

FORMULE 125 - Calcul du *nombre de spires* d'une bobine, connaissant la *force magnétomotrice* qu'elle doit produire et *l'intensité du courant* qui parcourt l'enroulement.

$$N = \frac{\mathcal{F}}{I}$$

N = nombre de spires de l'inducteur

$\mathcal{F}$ = force magnétomotrice en At (ampère-tour)

I = intensité du courant en A (ampère)

(La présente formule a été tirée de la *formule 124,* en suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1).*

Exemple

Données : = 100 At, I =0,025 A.

Nombre de spires de l'enroulement : $N = \dfrac{100}{0{,}025} = 4.000$

FORMULE 126 - Calcul de *l'intensité du courant* qui doit parcourir l'enroulement d'une bobine , connaissant la *force magnétomotrice* de la bobine et le *nombre de spires* de l'enroulement.

$$I = \frac{\mathcal{F}}{N}$$

I = intensité du courant en A (ampère)

$\mathcal{F}$ = force magnétomotrice en At (Ampère-tour)

N = nombre de spires de la bobine

(La présente formule a été tirée de la *formule 124* en suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1).*

Exemple

Données : = 50 At, N = 800.

Intensité du courant qui parcourt l'enroulement de la bobine :

$$I = \frac{50}{800} = 0{,}0625 \text{ A.}$$

FORMULE 127 -Calcul de la *perméabilité magnétique absolue* d'un matériau, connaissant la *perméabilité absolue du vide* et la *perméabilité relative du matériau.*

Enoncé : La perméabilité magnétique absolue d'un matériau, exprimée en *microhenry par mètre,* s'obtient en multipliant la perméabilité magnétique absolue du vide, exprimée en *microhenry par mètre*, par la perméabilité relative du matériau *(Théorie 6, Paragraphe 2 - 4).*

TABLEAU VII

	MATERIAUX	PERMEABILITE MAGNETIQUE RELATIVE (μr)	
DIAMAGNETIQUES	EAU	0, 999991	
	ARGENT	0, 999981	
	BISMUTH	0, 999830	
	CUIVRE	0, 999990	
PARAMAGNETIQUES	ALUMINIUM	1, 000022	
	AIR	1, 0000004	
	PLATINE	1, 000360	
FERROMAGNETIQUES (Alliages magnétiques de Fer, Nickel, Silicium etc...)	FER SILICIUM	7 000	Valeur Maxim.
	HIPERNIK (50 % Fe - 3, 5 % Ni, Si, Mn)	100 000	Valeur Maxim.
	HIPERSIL (96, 5 % Fe - 3, 5 % Si)	35 000	Valeur Maxim.
	MEGAPERM 45-10 (45 % Fe - 45 % Ni - 10 % Mn)	55 000	Valeur Maxim.
	MEGAPERM 65-10 (25 % Fe - 65 % Ni - 10 % Mn)	25 000	Valeur Maxim.
	MOPERMALLOY 4-79 (17 % Fe - 79 % Ni - 4 % Mo)	75 000	Valeur Maxim.
	MUMETAL (16 % Fe - 77 % Ni - 5 % Cu - 2 % Cr)	100 000	Valeur Maxim.
	PERMALLOY 45 (55 % Fe - 45 % Ni)	23 000	Valeur Maxim.
	PERMALLOY 65 (35 % Fe - 65 % Ni)	600 000	Valeur Maxim.
	PERMALLOY 78 (21, 4 % Fe - 78 % Ni - 0, 6 % Mn)	100 000	Valeur Maxim.
	PERMINVAR 45-25 (30 % Fe - 45 % Ni - 25% Co)	2 000	Valeur Maxim.
	SUPERMALLOY (16 % Fe - 79 % Ni - 5 % Mo)	1 000 000	Valeur Maxim.

PERMEABILITE MAGNETIQUE RELATIVE A QUELQUES MATERIAUX A LA TEMPERATURE DE 20° C

Figure 3

μ = perméabilité magnétique absolue du matériau en μH/m (microhenry par mètre)

$\mu = \mu_o \mu_r$ μ_o= perméabilité magnétique absolue du vide (1,256 μH/m, microhenry par mètre)

μ_r=perméabilité magnétique relative du matériau (*tableau VII, figure 3*).

Exemple

Données : μ_o =1,256 μH/m, μ=2.000 (valeur maximum de la perméabilité relative de l'alliage magnétique perminvar *45 - 25*).

Perméabilité magnétique absolue du perminvar 45-25 (valeur max) :

$$\mu = 1{,}256 \times 2.000 = 2.512\ \mu\text{H/m}.$$

OBSERVATION - Au *tableau VII* de la *figure 3*, on a donné les valeurs de la perméabilité magnétique relative à quelques matériaux diamagnétiques, paramagnétiques et ferromagnétiques. On notera qu'en général, les matériaux diamagnétiques ont une valeur de perméabilité relative légèrement inférieure à 1, et que les matériaux paramagnétiques ont des valeurs de perméabilité relative légèrement supérieures à 1 ; ces valeurs peuvent se considérer pratiquement égales à 1 dans toutes les applications techniques ; pour cela, voulant déterminer au moyen de la *formule 127* la perméabilité absolue des matériaux diamagnétiques et paramagnétiques, on trouve que celle-ci est pratiquement égale à celle du vide :

$$\mu = \mu_o\mu_r = 1{,}256 \times 1 = 1{,}256\ \mu\text{H/m}.$$

La perméabilité des matériaux ferromagnétiques n'est pas constante mais varie selon la variation de l'intensité de magnétisation ; pour cette raison on a indiqué au *tableau VII* les valeurs maximum. Ces valeurs ne suffisent pourtant pas à caractériser le comportement magnétique des matériaux ferromagnétiques ; dans ce but, il faudrait fournir des graphiques particuliers, appelés *courbes de magnétisation ;* par ces graphiques (qui présentent peu d'intérêt pour le radiotechnicien et qui ne seront donc pas pris en considération dans le formulaire), on peut établir la valeur de la perméabilité absolue des matériaux ferromagnétiques en relation avec les diverses valeurs de l'intensité de magnétisation de ces mêmes matériaux.

FORMULE 128 - Calcul de la *perméabilité magnétique relative* d'un matériau, connaissant la *perméabilité absolue* du vide et du matériau.

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_o}$$

μ_r = perméabilité magnétique relative

μ = perméabilité absolue du matériau en μH/m (microhenry par mètre)

μ_o = perméabilité absolue du vide (1,256 μH/m, microhenry par mètre).

(La présente formule a été tirée de la *formule 127* en suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemple

Données : μ = 8.792 μH/m (perméabilité magnétique absolue du fer silicium)

μ_o = 1,256 μH/m.

Perméabilité relative du fer silicium : $\mu_r = \dfrac{8.792}{1,256} = 7.000$

(voir *tableau VII, figure 3*).

FORMULE 129 - Calcul de l'*inductance* d'une bobine à une seule couche, sans noyau, connaissant la *perméabilité absolue de l'air*, la *section des spires*, le *nombre de spires* et la *longueur de la bobine.*.

Enoncé : L'inductance d'une bobine à une seule couche, sans noyau, exprimée en *millihenry*, s'obtient en multipliant la perméabilité absolue de l'air, exprimée en *microhenry par mètre*, par la section des spires, exprimée en *centimètres carrés*, par le carré du nombre de spires, et divisant le produit obtenu par la longueur de la bobine , exprimée en *centimètres* et multipliée par 100.000 *(Théorie 6, Paragraphe 2 - 4).*

$$L = \frac{\mu S N^2}{100.000\ l}$$

L = inductance en mH (millihenry)

μ = perméabilité absolue de l'air en μH/m (microhenry par mètre)

S = section des spires en cm²

N = nombre de spires

l = longueur de la bobine en cm.

Exemple

Données : $\mu \approx 1{,}256$ μH/m (valeur de la perméabilité absolue de l'air; l'air est une substance paramagnétique ; voir à ce propos le *tableau VII, figure 3* et l'observation qui suit la *formule 127*), S = 7,068cm² (section d'une bobine cylindrique à spires jointives de diamètre de 3;cm ; pour le calcul de la section, connaissant le diamètre, voir la *formule 19* du *Formulaire 1*), N = 120 spires, 1 = 3,6 cm (longueur de la bobine).

Inductance de la bobine : $L = \dfrac{1{,}256 \times 7{,}068 \times 120^2}{100.000 \times 3{,}6} =$

$$= \frac{1{,}256 \times 7{,}068 \times 14400}{100.000 \times 3{,}6} \approx \frac{127.834}{360.000} \approx 0{,}355 \text{ mH.}$$

OBSERVATION - La *formule 129* pour le calcul de l'inductance est valable en théorie, quand on admet que tout le flux magnétique produit par le courant est embrassé par les spires de l'enroulement ; en pratique, il arrive pourtant qu'une partie du flux magnétique produit soit dispersé ; pour cette raison, devant tenir compte du flux dispersé, on a recours à des formules empiriques pour les calculs de projets, formules que nous prendrons en considération dans les prochains formulaires de radiotechnique.

FORMULE 130 - Calcul du *flux embrassé* par les spires d'un enroulement, connaissant *l'inductance* et *l'intensité du courant.*

Enoncé : Le flux embrassé par les spires d'un enroulement, exprimé en weber, s'obtient en multipliant l'inductance, exprimée en henry, par l'intensité du courant qui parcourt l'enroulement, exprimé en *ampère.*

$$\Phi_c = L\,I$$

Φ_c = flux embrassé par les spires d'un enroulement en Wb (weber)

L = inductance en H (henry)

I = intensité du courant en A (ampère)

Exemple

Données : $L = 2{,}5$ H, $I = 0{,}03$ A.

Flux embrassé par les spires de l'enroulement : $\Phi_c = 2{,}5 \times 0{,}03 =$

$= 0{,}075$ Wb.

OBSERVATION - La *formule 130* se réfère à un inducteur idéal, c'est-à-dire une bobine dans laquelle tout le flux magnétique produit par le courant est embrassé par les spires de l'enroulement.

FORMULE 131 - Calcul de *l'inductance* d'une bobine, connaissant le *flux embrassé* par les spires de l'enroulement et *l'intensité du courant* qui parcourt ce même enroulement.

$$L = \frac{\Phi_c}{I}$$

L = inductance en H (henry)

Φ_c = flux embrassé en Wb (weber)

I = intensité du courant en A (ampère)

(La formule présente a été tirée de la *formule 130* en suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemple

Données : $\Phi_c = 0{,}002$ Wb, $I = 0{,}05$ A.

Inductance : $L = \dfrac{0{,}002}{0{,}05} = 0{,}04$ H.

FORMULE 132 - Calcul de l'*intensité du courant* qui parcourt une bobine, connaissant *l'inductance* et le *flux embrassé* par les spires de l'enroulement.

$$I = \frac{\Phi_c}{L}$$

I = intensité du courant en A (ampère)

Φ_c = flux embrassé en Wb (weber)

L = inductance en H (henry)

(La présente formule a été tirée de la *formule 130* en suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemple

Données : $\Phi_c = 0{,}6$ Wb, $L = 250$ mH (millihenry) $= 0{,}25$ H.

Intensité du courant : $I = \dfrac{0{,}6}{0{,}25} = 2{,}4$ A.

FORMULE 133 - (loi de Neumann) - Calcul de la *force électromotrice induite* dans une spire, connaissant la *variation du flux magnétique* embrassé par la spire et le *temps* pendant lequel s'accomplit cette formation.

Enoncé : La force électromotrice induite, exprimée en *volt*, s'obtient en divisant la variation du flux embrassé exprimée en *weber*, par le temps pendant lequel survient cette variation, exprimée en *secondes (Théorie 7, Paragraphe 1 - 2)*.

$$E = \frac{\Phi_c'' - \Phi_c'}{t'' - t'}$$

E = force électromotrice induite en V (volt)

Φ_c'' = valeur du flux embrassé à la fin de l'intervalle considéré

Φ_c' = valeur du flux embrassé au début de l'intervalle considéré

$\Phi_c'' - \Phi_c'$ = variation du flux en Wb (weber).

t'' = instant final

t' = instant initial

$t'' - t'$ = intervalle du temps en seconde.

Exemple

Données : $\Phi_c'' - \Phi_c' = 2{,}2$ Wb, $t'' - t' = 0{,}02$ sec.

Force électromotrice induite : $E = \dfrac{2{,}2}{0{,}02} = 110$ V.

FORMULE 134 - Calcul de la *force électromotrice d'auto-induction,* connaissant *l'inductance* de l'enroulement, la *variation de l'intensité du courant* qui parcourt cet enroulement et le *temps* pendant lequel survient cette variation.

Enoncé : La force électromotrice d'auto-induction, exprimée en *volt,* s'obtient en multipliant l'inductance, exprimée en *henry,* par la variation de l'intensité du courant, exprimée en *ampère,* et en divisant le produit obtenu par le temps durant lequel survient cette variation, exprimée en *secondes* *(Théorie 7, Paragraphe 1 - 3).*

$$E = \frac{L\,(I'' - I')}{t'' - t'}$$

E = force électromotrice d'auto-induction en V (volt)

L = inductance en H (henry)

I'' = intensité finale du courant

I' = intensité initiale du courant

$I'' - I'$ = variation de l'intensité du courant en A (ampère)

t'' = instant final

t' = instant initial

$t'' - t'$ = intervalle de temps en seconde

Exemple

Données : $L = 2{,}5$ H (inductance d'un enroulement avec noyau).

$I'' - I' = 0{,}6$ A, $t'' - t' = 0{,}01$ sec.

Force électromotrice d'auto-induction : $E = \dfrac{2,5 \times 0,6}{0,01} =$

$$= \frac{1,5}{0,01} = 150 \text{ V}.$$

FORMULE 135 - Calcul de *l'inductance* d'un enroulement, connaissant la *force électromotrice d'auto-induction*, la *variation de l'intensité du courant*, et le *temps* pendant lequel survient cette variation.

$$L = \frac{E\,(t''-t')}{I''-I'}$$

L	=	inductance en H (henry)
E	=	force électromotrice d'auto-induction en V (volt)
t''	=	instant final
t'	=	instant initial
$t''-t'$	=	intervalle de temps en seconde
I''	=	intensité finale du courant
I'	=	intensité initiale du courant
$I''-I'$	=	variation de l'intensité du courant en A (ampère)

(La présente formule a été tirée de la *formule 134* en suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemple

Données : $E = 120$ V, $t''-t' = 0,01$ sec, $I''-I' = 0,8$ A.

Inductance de l'enroulement : $L = \dfrac{120 \times 0,01}{0,8} = \dfrac{1,2}{0,8} = 1,5$ H.

FORMULA 136 - Calcul de *l'inductance totale* présentée par deux ou plusieurs bobines reliées en série et non couplées entre elles, connaissant *l'inductance de chacune des bobines.*

Enoncé : L'inductance présentée en même temps par deux ou plusieurs bobines reliées en série s'obtient en additionnant les inductances des bobines *(Théorie 7. Paragraphe 1 - 4).*

$$L_t = L_1 + L_2 + L_3 + \ldots + L_n$$

L_t = inductance totale

L_1 = inductance de la première bobine

L_2 = inductance de la seconde bobine

L_3 = inductance de la troisième bobine

L_4 = inductance de la dernière bobine

Les diverses inductances doivent toutes être exprimées dans la même unité de mesure.

Exemples

a) Données : $L_1 = 0{,}5$ H (henry), $L_2 = 0{,}5$ H, $L_3 = 1{,}5$ H, $L_n = L_4 = 2$ H.

Inductance totale : $L_t = 0{,}5 + 0{,}5 + 1{,}5 + 2 = 4{,}5$ H.

b) Données : $L_1 = 20$ mH (millihenry; 1 mH=0,001 H), $L_2 = 5$ mH.

Inductance totale : $L_t = 20 + 5 = 25$ mH.

c) Données : $L_1 = 300\ \mu$H (microhenry; 1μH = 0,000001 H).

$L_2 = 50\ \mu$H, $L_3 = 150\ \mu$H.

Inductance totale : $L_t = 300 + 50 + 150 = 500\ \mu$H.

FORMULE 137 - Calcul de *l'inductance équivalente* présentée par deux ou plusieurs bobines de valeur égale, reliées en parallèle et non couplées entre elles, connaissant leur *inductance.*

Enoncé : L'inductance présentée par deux ou plusieurs bobines égales reliées en parallèle, s'obtient en divisant leur inductance par le nombre de bobines *(Théorie 7, Paragraphe 1 - 4).*

$$L_e = \frac{L}{n}$$

L_e = inductance équivalente

L = inductance de chaque bobine

n = nombre de bobines reliées en parallèle.

L'inductance équivalente sera exprimée dans la même unité de mesure, que celle utilisée pour indiquer l'inductance des bobines.

Exemples

a) Données : $L = 2$ H (henry), $n = 4$.

Inductance équivalente : $L_e = \dfrac{2}{4} = 0{,}5$ H.

b) Données : $L = 50$ mH (millihenry; 1 mH = 0,001 H), $n = 2$.

Inductance équivalente : $L_e = \dfrac{50}{2} = 25$ mH.

c) Données : $L = 600\ \mu$H (microhenry ; 1 μH = 0,000001 H), $n = 3$

Inductance équivalente : $L_e = \dfrac{600}{3} = 200\ \mu$H.

FORMULE 138 - Calcul de *l'inductance équivalente* de deux bobines de valeur différente, reliées en parallèle et non couplées entre elles, connaissant leur inductance .

Enoncé : La somme des inductances présentées par deux bobines de différente inductance, reliées en parallèle, s'obtient en multipliant les deux valeurs et en divisant le produit obtenu par la somme de ces mêmes valeurs. *(Théorie 7, Paragraphe 1 - 4).*

$$L_e = \frac{L_1\ L_2}{L_1 + L_2}$$

L_e = inductance équivalente

L_1 = inductance d'une bobine

L_2 = inductance de l'autre bobine.

Les valeurs d'inductance doivent toutes être exprimées dans la même unité de mesure.

Exemple

Données : L_1 = 12 mH (millihenry), L_2 = 6 mH.

Inductance équivalente : $L_e = \frac{12 \times 6}{12 + 6} = \frac{72}{18} = 4$ mH.

FORMULE 139 - Calcul de *l'inductance* d'une bobine à relier en parallèle à une *autre bobine de valeur connue*, pour obtenir une *inductance équivalente* connue (les deux bobines ne doivent pas être couplées entre elles).

Enoncé : L'inductance d'une bobine à relier en parallèle à une autre bobine, pour obtenir une inductance équivalente donnée, se calcule en multipliant la valeur de la bobine connue par l'inductance équivalente et en divisant le produit par la différence de ces valeurs.

$$L_i = \frac{L\ L_e}{L - L_e}$$

L_i = inductance inconnue

L = valeur de la bobine disponible

L_e = inductance équivalente que l'on veut obtenir

Les valeurs d'inductance doivent toutes être exprimées dans la même unité de mesure.

Exemple

Données : $L = 800\ \mu H$ (microhenry), $L_e = 600\ \mu H$.

Inductance inconnue : $L_i = \dfrac{800 \times 600}{800 - 600} = \dfrac{480.000}{200} = 2400 \mu H$

FORMULE 140 - Calcul de *l'inductance équivalente* de plusieurs bobines reliées en parallèle et non couplées entre elles, connaissant leur inductance.

Enoncé : L'inductance équivalente de plusieurs bobines reliées en parallèle, s'obtient en exécutant les calculs en trois temps : d'abord, on calcule l'inverse de l'inductance de chaque bobine, ce qui revient à diviser le nombre 1 par la valeur de la bobine ; ensuite, on additionne les valeurs des inverses ; enfin, on calcule l'inductance équivalente en divisant le nombre 1 par la somme des inverses.

$$L_e = \frac{1}{\dfrac{1}{L_1} + \dfrac{1}{L_2} + \dfrac{1}{L_3} + \ldots\ldots\ldots\ldots + \dfrac{1}{L_n}}$$

L_e = inductance équivalente

L_1 = inductance de la première bobine

L_2 = inductance de la seconde bobine

L_3 = inductance de la troisième bobine

L_n = inductance de la dernière bobine

Les valeurs d'inductance doivent toutes être exprimées dans la même unité de mesure.

Exemple

Données : $L_1 = 2$ mH (millihenry), $L_2 = 4$ mH, $L_3 = 4$ mH.

Inductance équivalente : $L_e = \cfrac{1}{\cfrac{1}{2}+\cfrac{1}{4}+\cfrac{1}{4}} = \cfrac{1}{0{,}5+0{,}25+0{,}25} =$

$= \cfrac{1}{1} = 1$ mH.

OBSERVATION - Si l'on doit calculer l'inductance équivalente de deux bobines reliées en parallèle, on peut utiliser la *formule 140,* mais il convient généralement de recourir à la *formule 138 ;* en outre, dans le cas où les inductances des bobines reliées en parallèle sont égales entre elles, il convient de recourir à la *formule 137.*

FORMULE 141 - Calcul de *l'énergie emmagasinée* par une bobine, parcourue par un courant, connaissant *l'inductance* et *l'intensité du courant.*

Enoncé : L'énergie emmagasinée par une bobine, exprimée en joule, s'obtient en multipliant l'inductance, exprimée en henry, par le carré de l'intensité du courant, exprimée en ampère, et en divisant par 2 le produit obtenu *(Théorie 7, Paragraphe 2).*

$$W = \frac{L\ I^2}{2}$$

W = énergie électrique en J (joule)

L = inductance en henry (H)

I = intensité du courant en A(ampère)

Exemple

Données : L = 50 mH (millihenry) = 0,05 H, I =100 mA(milliampères).
= 0,1 A.

Energie électrique emmagasinée : $W = \frac{0{,}05 \times 0{,}1^2}{2} = \frac{0{,}05 \times 0{,}01}{2} =$

$= \frac{0{,}0005}{2} = 0{,}00025$ J.

FORMULE 142 - Calcul de la *fréquence* d'une grandeur périodique (par exemple, d'un courant avec allure sinusoïdale), connaissant la *période,* c'est-à-dire la durée de chaque cycle.

Enoncé : La fréquence, exprimée en *hertz,* s'obtient en divisant le nombre 1 par la période, exprimée en *secondes (Théorie 8, Paragraphe 3).*

$$f = \frac{1}{T}$$

f = fréquence en Hz (hertz)

T = période en secondes.

Exemple

Données : T = 0,02 sec.

$$\text{Fréquence : } f = \frac{1}{0{,}02} = 50 \text{ Hz.}$$

OBSERVATION - Si, dans la *formule 142,* la période est exprimée en *millisecondes* (msec ; 1 msec = 0,001 sec) la fréquence sera exprimée en *kilohertz,* (kHz ; 1 kHz = 1.000 Hz) ; si au contraire la période est exprimée en *microsecondes* (µsec ; 1 µsec = 0,000001 µsec) la fréquence sera exprimée en *mégahertz* (MHz ; 1 MHz = 1.000.000 Hz).

FORMULE 143 - Calcul de la *période* d'une grandeur périodique (par exemple, d'un courant alternatif avec allure sinusoïdale) connaissant la *fréquence,* c'est-à-dire le nombre de cycles accomplis dans l'unité de temps.

Enoncé : La période, exprimée en *secondes,* s'obtient en divisant le nombre 1 par la fréquence, exprimée en *hertz (Théorie 8, Paragraphe 3).*

$$T = \frac{1}{f}$$

T = période en sec.

f = fréquence en Hz (hertz)

(La présente formule peut aussi s'obtenir en appliquant à la *formule 142* les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemple

Donnée : f = 1.000 Hz.

$$\text{Période : } T = \frac{1}{1.000} = 0{,}001 \text{ sec.}$$

OBSERVATION - Si, dans la *formule 143*, la fréquence est exprimée en *kilohertz* (kHz ; 1 kHz = 1.000 Hz) la période sera exprimée en millisecondes (msec ; 1 msec = 0,001 sec) ; si, au contraire la fréquence est exprimée en *mégahertz* (MHz, 1 MHz = 1.000.000 Hz) la période sera exprimée , en *microsecondes* (µsec ; 1 µsec = 0,000001 sec).

FORMULE 144 - Calcul de la *valeur efficace* d'un courant ou tension de type alternatif et sinusoïdal, connaissant *la valeur maximum.*

Enoncé : La valeur efficace d'un courant ou tension alternatif sinusoïdal s'obtient en divisant la valeur maximum par le nombre fixe 1,41 *(Théorie 8, Paragraphe 4 - Théorie 9, Paragraphe 1).*

Le nombre fixe 1,41 représente la valeur de la racine carrée de 2 ($\sqrt{2}$ = 1,4142...). En pratique, au lieu de diviser la valeur maximum par 1,41 il convient de multiplier la même valeur maximum par le nombre fixe 0,707 qui s'obtient en divisant le nombre 1 par la racine carrée de 2, soit par 1,4142...

$$v_{eff} = 0{,}707\ v_{max}$$

v_{eff} = valeur efficace

v_{max} = valeur maximum

Exemples

a) Données : Valeur maximum du courant alternatif, $v_{max} = I_{max} =$ = 0,8 A (ampère).

Valeur efficace du courant alternatif : $v_{eff} = I = 0{,}707 \times 0{,}8 = 0{,}5656$ A.

b) Données : Valeur maximum de tension alternative, $v_{max} = V_{max} =$
$= 311$ V (volt).

Valeur efficace de la tension alternative : $v_{eff} = V = 0{,}707 \times 311 =$
≈ 220 V.

OBSERVATION - La valeur efficace d'un courant ou tension alternatif dépend aussi de la forme d'onde. En effet, si l'onde est sinusoïdale, (*figure 4 - a*), la valeur efficace est égale au produit de la valeur maximum par le nombre fixe 0,707 ; par contre l'onde est rectangulaire *(figure 4 - b)* la valeur efficace est égale à la valeur maximum; ou alors l'onde est triangulaire *(figure 4 - c)* la valeur efficace est égale au produit de la valeur maximum par le nombre fixe 0,577 (*tableau VIII, figure 5).* En général, un nombre fixe correspond à chaque forme d'onde, nombre compris entre zéro et 1, qui multiplié par la valeur maximum permet d'obtenir la valeur efficace.

FORMULE 145 - Calcul de la *valeur maximum* d'un courant ou tension alternatif sinusoïdal , connaissant la *valeur efficace.*

$$v_{max} = \frac{v_{eff}}{0{,}707} \approx 1{,}41\, V_{eff}$$

v_{max} = valeur maximum

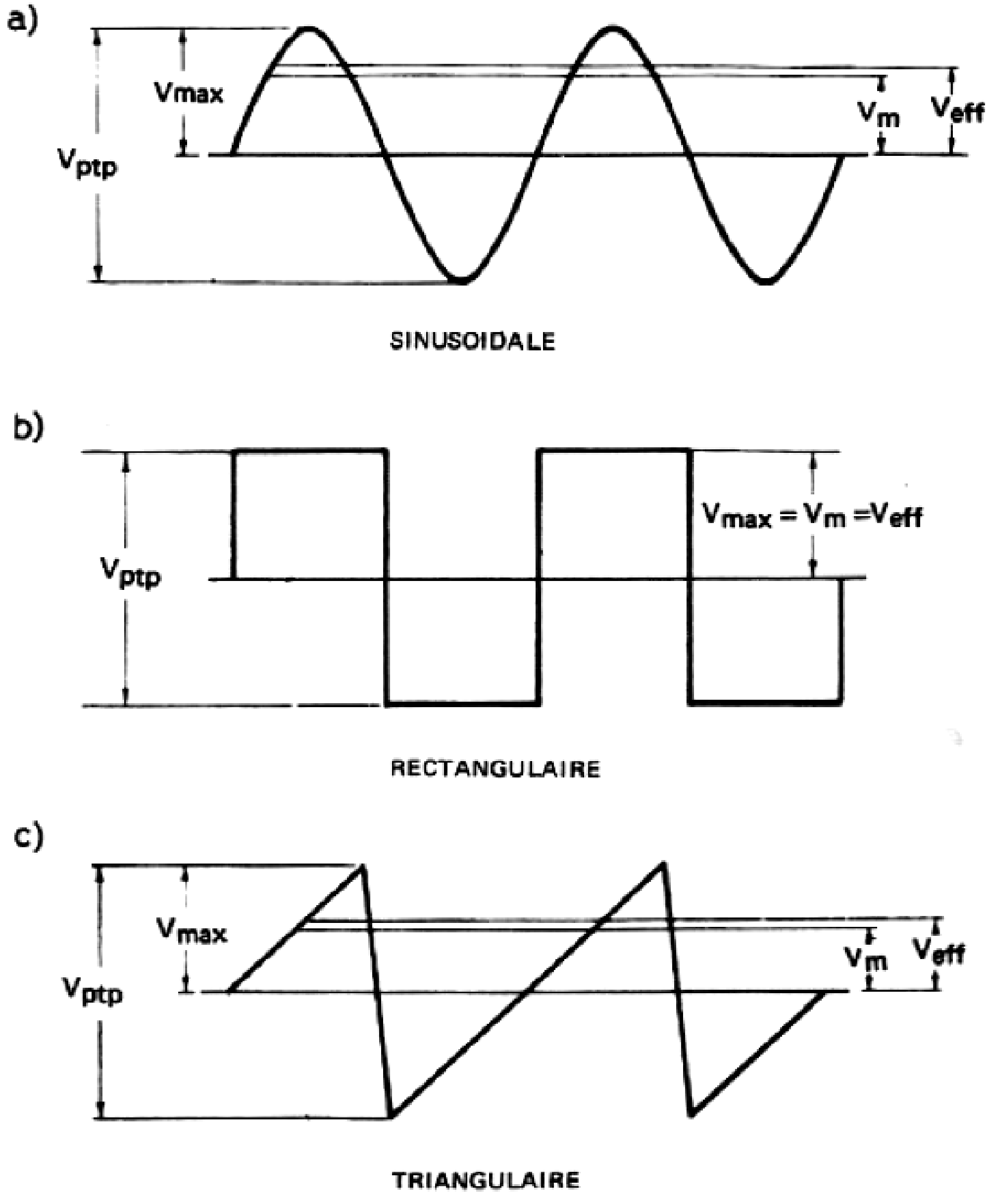
v_{eff} = valeur efficace

(La présente formule a été tirée de la *formule 144* en suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemples

a) Données : valeur efficace du courant alternatif, $v_{eff} = I = 2{,}5$ A (ampère)
Valeur maximum du courant alternatif : $v_{max} = I_{max} =$
$= 1{,}41 \times 2{,}5 = 3{,}525$ A.

b) Données : valeur efficace de tension alternative, $v_{eff} = V = 160$ V (volt)
Valeur maximum de la tension alternative : $v_{max} = V_{max} =$
$= 1{,}41 \times 160 = 225{,}6$ V.



FORMES D'ONDES

Figure 4

TABLEAU VIII

TYPES D'ONDES ET VALEURS RELATIVES		FACTEURS			
		X V_{eff}	X V_{max}	X $V_{c\,à\,c}$	X V_m
ONDE SINUSCIDALE	Valeur Efficace	1	0, 707	0, 353	1, 11
	Valeur Maximum	1,41	1	0, 5	1. 57
	Valeur de Crête à Crête	2, 82	2	1	3, 14
	Valeur Moyenne	0, 9	0, 636	0, 318	1
ONDE RECTANGULAIRE	Valeur Efficace	1	1	0, 5	1
	Valeur Maximum	1	1	0, 5	1
	Valeur de Crête à Crête	2	2	1	2
	Valeur Moyenne	1	1	0, 5	1
CNDE TRIANGULAIRE	Valeur Efficace	1	0, 577	0, 288	1, 154
	Valeur Maximum	1, 73	1	0, 5	2
	Valeur de Crête à Crête	3, 46	2	1	4
	Valeur Moyenne	0, 866	0, 5	0, 25	1

FACTEURS DE CONVERSION DES VALEURS RELATIVES AUX ONDES DE FORMES SINUSOIDALE, RECTANGULAIRE, TRIANGULAIRE.

Figure 5

OBSERVATION - Le nombre fixe qui multiplie la valeur efficace dépend de la forme d'onde. En effet, si l'onde est sinusoïdale *(figure 4 - a)* on utilisera le facteur 1,41 ; mais si l'onde est rectangulaire *(figure 4 - b)* on utilisera le facteur 1 et la valeur maximum sera donc égale à la valeur efficace ; en outre, si l'onde est triangulaire *(figure 4 - c)* on utilisera le facteur 1,73 *(tableau VIII, figure 5)*.

FORMULE 146 - Calcul de la *valeur de crête à crête* d'une tension alternative sinusoïdale, connaissant sa *valeur efficace*.

Enoncé : La valeur de crête à crête d'une tension alternative sinusoïdale, s'obtient en multipliant la valeur efficace par le nombre fixe 2,82.

$$v_{cc} = 2{,}82\ v_{eff}$$

v_{cc} = valeur de crête à crête

v_{eff} = valeur efficace

Exemple

Données : valeur efficace de tension alternative, $v_{eff} = V = 220V$(volt)

Valeur de crête à crête de la tension : $v_{cc} = v_{cc} = 2{,}82 \times 220 =$

$= 620{,}4$ V.

OBSERVATION - Le nombre fixe qui multiplie la valeur efficace dépend de la forme d'onde. En effet, si l'onde est sinusoïdale *(figure 4 - a)* on utilisera le facteur 2,82 ; mais si l'onde est rectangulaire *(figure 4 - b)* on utilisera le facteur 2 *(tableau VIII, figure 5)* ; si au contaire l'onde est triangulaire *(figure 4 - c)* on utilisera le facteur 3,46 *(tableau VIII, figure 5)*.

FORMULE 147 - Calcul de la *valeur moyenne* d'un courant ou tension alternatif sinusoïdal, connaissant la *valeur efficace*.

Enoncé : La valeur moyenne d'un courant ou tension alternatif sinusoïdal s'obtient en multipliant la valeur efficace par le nombre fixe 0,9.

$v_m = 0{,}9\ v_{eff}$

v_m = valeur moyenne

v_{eff} = valeur efficace

Exemples

a) Données : valeur efficace de courant alternatif, $v_{eff} = I = 0{,}35$ A (ampère)

Valeur moyenne du courant alternatif : $v_m = I_m = 0{,}9 \times 0{,}35 =$
$= 0{,}315$ A.

b) Données : valeur efficace de tension alternative, $v_{eff} = V = 220$V (volt)

Valeur moyenne de la tension alternative : $v_m = V_m = 0{,}9 \times 220 =$
$= 198$ V.

OBSERVATION - Le nombre fixe qui multiplie la valeur efficace dépend de la forme d'onde. En effet, si l'onde est sinusoïdale *(figure 4 - a)* on utilisera le facteur 0,9, mais si l'onde est rectangulaire *(figure 4 - b)*, on utilisera le facteur 1 et de ce fait la valeur moyenne sera égale à la valeur efficace; enfin si l'onde est triangulaire *(figure 4 - c)*, on utilisera le facteur 0,866 *(tableau VIII, figure 5).*

FORMULE 148 - Calcul de la *pulsation* d'une grandeur périodique, connaissant sa fréquence.

Enoncé : La pulsation, exprimée en *radians par seconde*, est donnée par le produit du nombre 6,28 par la fréquence, exprimée en *hertz (Théorie 9 Paragraphe 2 - 1).*

$\omega = 2\pi f \approx 6{,}28 f$

ω = pulsation en rd/sec (radians par seconde)

π = symbole du nombre fixe 3,14...

f = fréquence en Hz (hertz)

Exemple

Donnée : f = 400 Hz.

Pulsation : $\omega \approx 6{,}28 \times 400 = 2.512$ rd/sec.

FORMULE 149 - Calcul de la *fréquence* d'une grandeur périodique, connaissant sa *pulsation*.

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \approx 0{,}159\ \omega$$

f = fréquence en Hz (hertz)

ω = pulsation en rd/sec (radians par seconde)

π = symbole du nombre fixe 3,14...

(La présente formule a été produite par la *formule 148* en suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemple

Donnée : $\omega = 2.000$ rd/sec.

Fréquence : $f \approx 0{,}159 \times 2.000 = 318$ Hz.

FORMULE 150 - Calcul de la *pulsation* d'une grandeur périodique, connaissant sa *période*.

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

ω = pulsation en rd/sec (radians par seconde)

π = symbole du nombre fixe 3,14 ...

T = période en sec.

(La présente formule s'obtient en substituant dans la *formule 148*, la fréquence f, par le second membre de la *formule 142*, soit par $\frac{1}{T}$).

Exemple

Donnée : T = 0,02 sec (période du courant alternatif à 50 Hz).

Pulsation : $\omega = \frac{6{,}28}{0{,}02} = 314$ red/sec.

FORMULE 151 - Calcul de la *période d'une grandeur périodique,* connaissant sa *pulsation.*

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

T = période en sec.

π = symbole du nombre fixe 3,14...

ω = pulsation en rd/sec(radians par seconde)

(La présente formule a été tirée de la *formule 150* en suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemple

Données : ω = 628 rd/sec (pulsation d'un courant alternatif à 100Hz)

Période : $T = \frac{6{,}28}{628} = 0{,}01$ sec.

FORMULE 152 - Calcul de la *réactance capacitive* d'un condensateur connaissant la *capacité* du condensateur et la *fréquence* du courant alternatif qui le traverse.

Enoncé : La réactance capacitive, exprimée en *ohm,* s'obtient en divisant le nombre 1 par 6,28 (2π), par la fréquence, exprimée en *hertz,* et par la capacité, exprimée en *farad (Théorie 9, Paragraphe 2 - 1).*

$$X_c = \frac{1}{2\,\pi f C} \approx \frac{1}{6{,}28\,f\,C}$$

X_c = réactance capacitive en Ω (ohm)

π = symbole du nombre fixe 3,14...

f = fréquence en Hz (hertz)

C = capacité en F (farad)

Exemple

Données : f = 3.000 Hz, C = 500 nF (nanofarad) = 0,0000005 F.

Réactance capacitive : $X_c \approx \dfrac{1}{6{,}28 \times 3.000 \times 0{,}0000005} =$

$$= \frac{1}{0{,}00942} \approx 106{,}15\ \Omega$$

OBSERVATION - Souvent, dans les calculs de radiotechnique, il convient de remplacer les unités de mesure de la fréquence et de la capacité par les multiples et sous-multiples correspondants ; en particulier il arrive souvent de trouver la fréquence exprimée en *kilohertz* (kHz) ou bien en *mégahertz* (MHz) et la capacité en *nanofarad* (nF), ou bien en *picofarad* (pF), ou bien en *microfarad* (µF). Dans tous ces cas,on peut utiliser la *formule 152,* en tenant compte de ce qui suit :

– si la fréquence est exprimée en *hertz* et la capacité en *microfarad* , la réactance sera exprimée en *mégohm ;*

– si la fréquence est exprimée en *kilohertz* et la capacité en *nanofarad,* la réactance sera exprimée en *mégohm ;*

– si la fréquence est exprimée en *kilohertz* et la capacité en *microfarad,* la réactance sera exprimée en *kiloohm ;*

– si la fréquence est exprimée en *mégahertz* et la capacité en *nanofarad,* la réactance sera exprimée en *kiloohm ;*

– enfin, si la fréquence est exprimée en *mégahertz* et la capacité en *picofarad*, la réactance sera exprimée en *mégohm*.

FORMULE 153 - Calcul de la *capacité* d'un condensateur, connaissant sa *réactance capacitive* pour une *fréquence* donnée.

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} \approx \frac{1}{6{,}28 f X_c}$$

C = capacité en F(farad)

π = symbole du nombre fixe 3,14...

f = fréquence en Hz (hertz)

X_c = réactance capacitive en Ω (ohm).

(La présente formule a été tirée de la *formule 152* en suivant les régles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemple

Données : $f = 5.000$ Hz, $X_c = 400\ \Omega$.

$$\text{Capacité : } C \approx \frac{1}{6{,}28 \times 5.000 \times 400} = \frac{1}{12.560.000} \approx$$

$$\approx 0{,}000\,000\,079\,617 \text{ F} = 79{,}61 \text{ nF (nanofarad).}$$

FORMULE 154 - Calcul de la *réactance inductive* d'une bobine, connaissant son *inductance* et la *fréquence* du courant alternatif qui la traverse.

Enoncé ; La réactance inductive, exprimée en *ohm*, s'obitent en multipliant le nombre fixe 6,28 (2π) par la fréquence, exprimée en *hertz*, et par l'inductance, exprimée en *henry (Théorie 9, Paragraphe 2 - 2)*.

$$X_L = 2\pi f L \approx 6{,}28 f L$$

X_L = réactance inductive en Ω (ohm)

π = symbole du nombre fixe 3,14...

f = fréquence en hertz (Hz)

L = inductance en H (henry)

Exemple

Données : $f = 250.000$ Hz, $L = 0{,}006$ H.

Réactance inductive : $X_L \approx 6{,}28 \times 250.000 \times 0{,}006 = 9.420\ \Omega$

OBSERVATION - La *formule 154* peut aussi s'utiliser en exprimant la fréquence en *kilohertz* (kHz) et l'inductance en *millihenry* (mH), ou bien la fréquence en *mégahertz* (MHz) et l'inductance en *microhenry* (μH) ; dans l'un et l'autre cas, la réactance inductive sera exprimée en *ohm*.

FORMULE 155 - Calcul de l'*inductance* d'une bobine, connaissant sa *réactance inductive* pour une *fréquence* donnée.

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \approx \frac{X_L}{6{,}28\ f}$$

L = inductance en henry (H)

X_L = réactance inductive en Ω (ohm)

π = symbole du nombre fixe 3,14...

f = fréquence en Hz (hertz)

(La présente formule a été tirée de la *formule 154* en suivant les règles du calcul littéral exposées dans *Mathématiques 1*).

Exemple

Données : $X_L = 20.000\ \Omega$, $f = 700$ kHz (kilohertz) = 700.000 Hz.

$$\text{Inductance : } L = \frac{20.000}{6{,}28 \times 700.000} = \frac{20.000}{4.396.000} \approx 0{,}004549 \text{ H} =$$

$$= 4{,}549 \text{ mH (millihenry).}$$

CALCUL GRAPHIQUE

D'une façon générale, les calculs qui dérivent des formules étudiées jusqu'à présent peuvent s'exécuter également graphiquement, c'est-à-dire au moyen d'opérations géométriques déterminées, simples et rapides, qui demandent seulement l'usage d'une régle et la lecture immédiate d'échelles chiffrées

L'ensemble des échelles nécessaires pour exécuter un calcul graphique est appelé *ABAQUE,* ou quelquefois *NOMOGRAMME* ou aussi *TECHNIGRAMME.*

Les abaques peuvent se révéler très utiles en laboratoire; il faut cependant rendre familière leur utilisation, et il faut surtout apprendre à bien lire les échelles, afin d'établir avec sécurité et précision les valeurs des grandeurs représentées.

Les échelles peuvent se distinguer selon la forme et les subdivisions . On peut avoir :

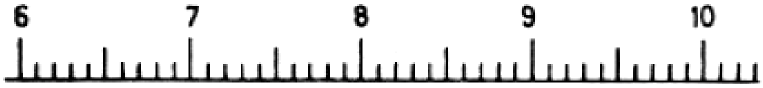
— par rapport à la forme, les échelles *rectilignes, (figure 6 - a* et *6 - c),* les échelles *curvilignes (figure 6 - b) ;*

— par rapport aux subdivisions, les échelles *métriques,* appelées aussi *linéaires* ou *régulières (figure 6 - a* et *6 - c),* les échelles *logarithmiques (figure 6 - c),* les échelles *bilogarithmiques, homographiques,* etc...

D'habitude, on utilise des échelles rectilignes, régulières et logarithmiques, dans les abaques pour radiotechniciens ; pour cette raison, nous examinerons maintenant d'une façon particulière ces deux types d'échelles.

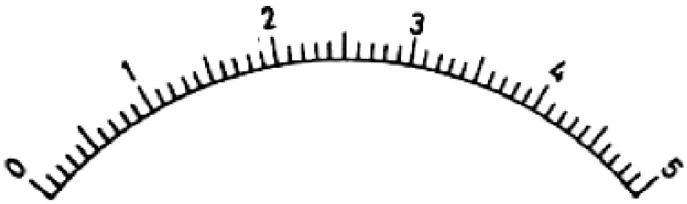
Pour faire une distinction entre l'échelle régulière et l'échelle logarithmique, il suffit d'observer les successions des subdivisions et des chiffres : *si dans une échelle les subdivisions se suivent à des distances égales, et si aux traits égaux de l'échelle, correspondent des intervalles numériques égaux, l'échelle est régulière ; si au contraire, les subdivisions se suivent à des distances inégales et si aux traits égaux et consécutifs de l'échelle, correspondent des intervalles numériques inégaux, tels que le rapport entre les nombres qui sont aux extrémités des traits de l'échelle soit cependant constant, l'échelle est logarithmique.*

a)



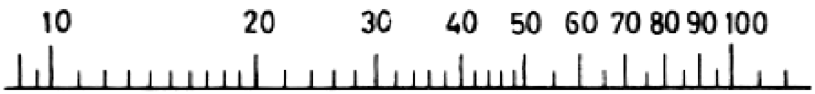
ECHELLE RECTILIGNE REGULIERE

b)



ECHELLE CURVILIGNE REGULIERE

c)



ECHELLE RECTILIGNE LOGARITHMIQUE

TYPES D'ECHELLES

Figure 6

Examinons les trois échelles de la *figure 7* comme base au critère énoncé maintenant.

En observant les échelles A et B de la *figure 7,* on remarque que la distance entre chaque graduation est égale à 2 mm pour l'échelle A et de 1,8 mm pour l'échelle B. En outre, en comparant deux portions d'échelle ayant la même longueur, on trouve que les différences numériques entre les deux graduations d'extrémités de chaque portion d'échelle sont égales entre elles. Par exemple, la portion de l'échelle A comprise entre les graduations 200 et 400, et celle comprise entre les graduations 500 et 700 sont égales, mesurant toutes les deux 4 cm. Les différences numériques entre les deux extrémités de chaque portion d'échelle sont aussi égales puisqu'entre 200 et 400 il y a une différence de 200 unités ainsi qu'entre 500 et 700.

De la même façon, la portion de l'échelle B comprise entre 0,300 et 0,350, et celle comprise entre 0,450 et 0,500 sont égales, mesurant toutes les deux 1,8 cm. Les différences numériques entre les graduations de chaque portion d'échelle sont égales puisqu'entre 0,300 et 0,350 il y a une différence de 0,050 ainsi qu'entre 0,450 et 0,500. En se basant sur les précédentes observations on peut affirmer que *l'échelle A et l'échelle B de la figure 7 sont des échelles métriques et régulières.*

Observons maintenant l'échelle C de la *figure 7,* on note à première vue que la distance entre chaque graduation n'est pas toujours la même, mais ceci ne suffit pas encore pour établir qu'il s'agit d'une échelle logarithmique ou non. Dans ce but, il faudra considérer deux portions d'échelle égales et consécutives ; par exemple, la portion d'échelle C comprise entre 100 et 200 et celle comprise entre 200 et 400 ; elles sont égales, mesurant toutes les deux environ 2,4 cm. Maintenant, en faisant le rapport entre les graduations de chaque portion d'échelle, on obtient :

$$\frac{200}{100} = 2 \; ; \qquad \frac{400}{200} = 2 \, .$$

En se basant sur le résultat de ces deux rapports, c'est-à-dire en considérant que tous les deux ont la même valeur (2), on peut affirmer que *l'échelle C de la figure 7 est logarithmique.*

Pour la lecture des échelles, soit régulières ou logarithmiques, on peut suivre un même procédé général.

En premier lieu, on considère le chiffre porté aux côtés des graduati-

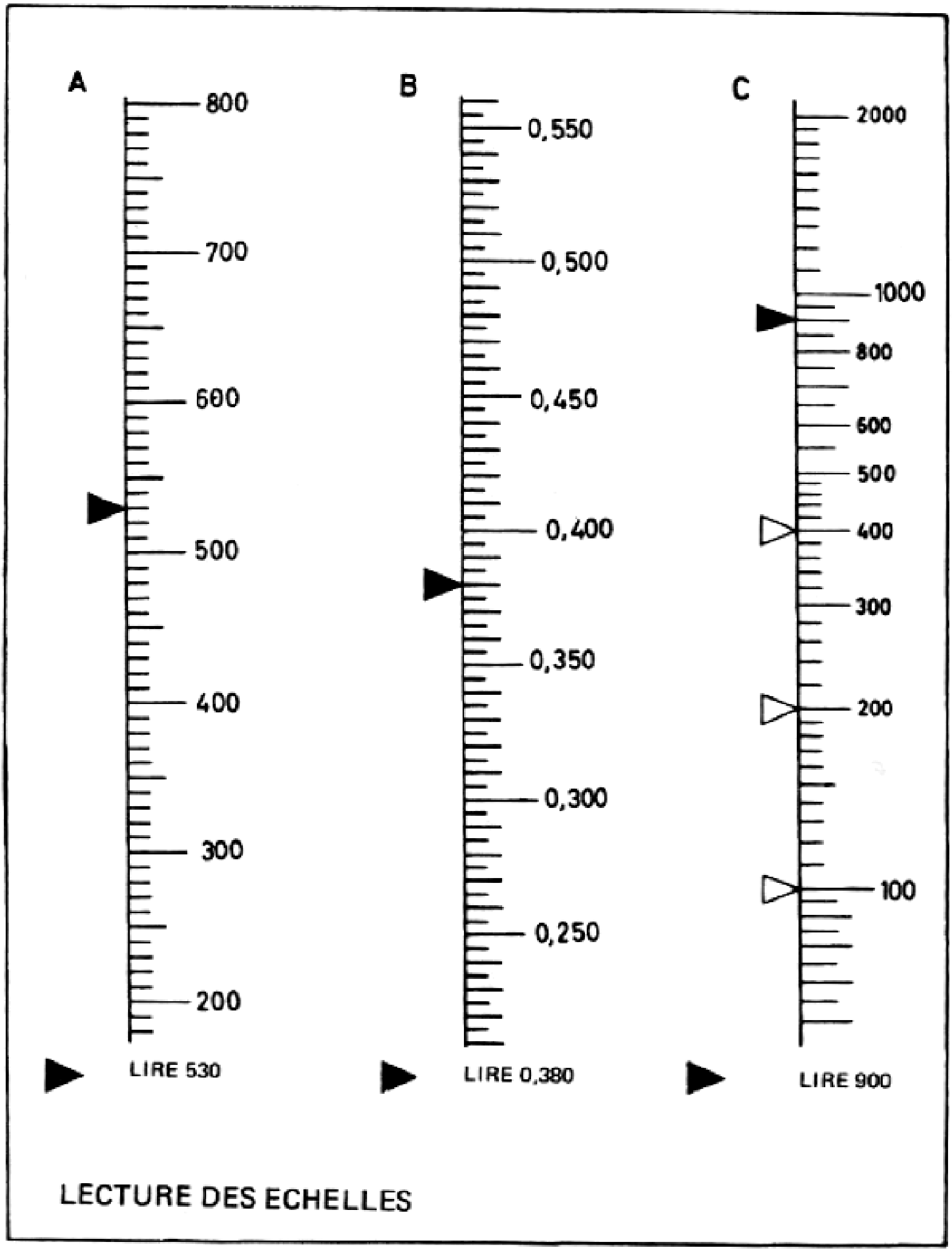

A
800
700
600
500
400
300
200
LIRE 530
B
0,550
0,500
0,450
0,400
0,350
0,300
0,250
LIRE 0,380
C
2000
1000
800
600
500
400
300
200
100
LIRE 900
LECTURE DES ECHELLES

Figure 7

ons et on compte combien de divisions sont comprises entre deux nombres successifs ; par exemple, entre 600 et 700 de l'échelle A il y a 9 divisions, ainsi qu'entre 600 et 500, entre 500 et 400, etc... ; d'une façon analogue, entre 0,500 et 0,450 de l'échelle B il y a 9 divisions, et aussi entre 0,450 et 0,400, entre 0,400 et 0,350, etc... dans l'échelle C,on a au contraire 9 divisions entre 100 et 200 et entre 1.000 et 2.000, 4 divisions entre 200 et 300, entre 300 et 400. et entre 400 et 500.

Une fois établi le nombre de divisions comprises entre les graduations chiffrées. on peut déterminer la valeur représentée par chaque division, non chiffré en appliquant la formule suivante :

FORMULE 156 - Calcul de la *valeur représentée* par une graduation non chiffrée d'une échelle, pris dans un intervalle donné, connaissant les *valeurs représentées aux extrémités de ce même intervalle*, le *nombre de divisions* entre les deux extrémités, et la *position de la graduation* par rapport à l'extrémité inférieure.

$$N = A + \frac{B - A}{n + 1} k$$

N = valeur représentée par une graduation non chiffrée.

A = extrémité inférieure chiffrée de l'intervalle .

B = extrémité supérieure chiffrée de l'intervalle.

n = nombre de divisions à l'intérieur de l'intervalle.

k = nombre d'ordre qui distingue la position de la graduation par rapport à l'extrémité inférieure de l'intervalle.

Exemples

a) Considérons l'une des graduations comprise entre deux chiffres de l'échelle A *(figure 7)* : A = 500, B = 600, n = 9, k = 3 (troisième graduation, après le 500, c'est-à-dire en correspondance avec le triangle noir).

Valeur représentée par la graduation marquée par le petit triangle noir:

$$N = 500 + \frac{600 - 500}{9 + 1} \times 3 = 500 + \frac{100}{10} \times 3 =$$

$$= 500 + 10 \times 3 = 500 + 30 = 530.$$

b) Considérons l'une des graduations comprise entre deux nombres de l'échelle B *(figure 7)* : A = 0,350; B = 0,400; k = 6 (sixième graduation au-dessus de 0,350).

Valeur représentée par la graduation marquée par le petit triangle noir:

$$N = 0{,}350 + \frac{0{,}400 - 0{,}350}{9 + 1} \times 6 = 0{,}350 + \frac{0{,}050}{10} \times 6 =$$

$$= 0{,}350 + 0{,}0050 \times 6 = 0{,}350 + 0{,}030 = 0{,}380.$$

c) Considérons la graduation comprise entre les nombres 800 et 1.000 de l'échelle C *(figure 7)* ; A = 800, B = 1.000, n = 3, k = 2 (seconde graduation au-dessus du chiffre 800).

Valeur représentée par la graduation marquée par le petit triangle noir :

$$N = 800 + \frac{1.000 - 800}{3 + 1} \times 2 = 800 + \frac{200}{4} \times 2 =$$

$$= 800 + 50 \times 2 = 800 + 100 = 900.$$

OBSERVATION - La *formule 156* est valable chaque fois que l'intervalle d'échelle considéré se subdivise en plusieurs intervalles plus petits,*ayant tous la même valeur numérique*. Par exemple, les quatre petits intervalles correspondant aux trois petits traits compris entre 800 et 1.000 sur l'échelle

C *(figure 7)* ont tous une valeur de 50, bien que la distance entre un petit trait et le suivant va en se réduisant progressivement, et pour cette raison il est possible d'appliquer pour la portion d'échelle considérée la *formule 156.* La même formule pourrait aussi s'appliquer pour déterminer la valeur des petits traits compris entre 100 et 200, entre 200 et 300, sur la même échelle ; mais on ne pourrait pas l'utiliser pour l'intervalle s'étendant de 100 à 300, parce que les petits intervalles compris entre 100 et 200 ont une certaine valeur et ceux compris entre 200 et 300 ont une valeur différente du précédent.

Suspendons maintenant l'étude sur la lecture des échelles ; l'argument sera repris dans le prochain formulaire, dans lequel commencera un recueil d'abaques pour l'électronicien.