

TD N°1

Exercice 1-1 :

A l'aide de l'équation aux dimensions vérifier l'homogénéité des formules suivantes :

- 1) La fréquence de résonance d'un circuit RLC série :

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

L étant l'inductance et C la capacité.

- 2) L'épaisseur de peau (couche superficielle où circulent les courants de hautes fréquences dans les conducteurs) :

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu\sigma\omega}}$$

Où μ est la perméabilité magnétique, σ est la conductivité électrique et ω la pulsation.

Exercice 1-2 :

- 1) Une boîte de capacités est constituée de 10 condensateurs de 0,1 μF montés en parallèle et connus avec une précision de 2%. Calculer l'incertitude relative sur la boîte de capacités.

- 2) Calculer l'incertitude relative totale si les condensateurs précédents étaient montés en série.

Exercice 1-3 : Pour mesurer un courant de 70 mA on dispose d'un ampèremètre (classe 0,5, calibre 150 mA, cadran 150 divisions) et d'un ampèremètre (classe 1, calibre 100 mA, cadran 100 divisions). Lequel faut-il utiliser si on apprécie $\frac{1}{2}$ division.

Exercice 1-4 : On utilise un voltmètre de résistance interne 10 $\text{k}\Omega/\text{V}$ et de classe 0,5 pour mesurer la f.e.m. d'une batterie de résistance interne 4 Ω . Sur le calibre 10V (100 divisions) on lit 89 divisions et sur le calibre 30 V (30 divisions) on lit 8,5 divisions. Dans les 2 cas :

- 1) Calculer la f.e.m.
2) Calculer l'erreur relative totale si on apprécie $\frac{1}{2}$ division.

Exercice 1-5 :

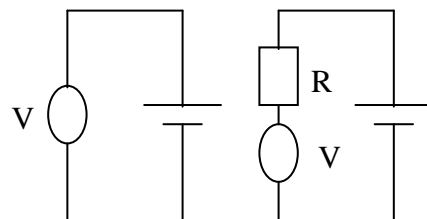
Pour mesurer la résistance interne d'un voltmètre R_V sur le calibre 30 V qui correspond à 60 divisions, on utilise une source continue de 24 V et de résistance interne $r = 50 \Omega$ et une résistance de 15 $\text{k}\Omega$ de 2 % de précision.

On réalise les 2 montages suivants :

Sans la résistance R on mesure $U_1 = 23,9 \text{ V}$

Avec « « « $U_2 = 12 \text{ V}$.

- 1) Calculer R_V
2) Calculer $\Delta R_V / R_V$ si le voltmètre est de classe 1 et qu'on apprécie $\frac{1}{2}$ division. La résistance interne de la source est connue à 1 % près.



TD N°2

Exercice 2.1 : On dispose d'un cadre carré de 4 Cm de côté, d'un aimant permanent de 0,2 Tesla et d'un ressort en spirale de raideur 10^{-7} N.m / degré pour réaliser un galvanomètre.

- 1) Quel est le nombre de spires nécessaire pour obtenir une sensibilité de $0,5 \mu\text{A} / \text{degré}$.
- 2) Calculer la résistance du cadre si le fil de diamètre 0,1 mm est en cuivre (résistivité = $1,72 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$).

Exercice 2.2 : Un élément moteur magnétoélectrique est constitué d'un cadre (500 spires, $5 \text{ k}\Omega$, 10 cm^2) pouvant tourner dans une induction $B = 0,2$ Tesla et relié à un ressort de rappel $D = 10^{-7}$ N.m/deg.

- 1) Calculer sa sensibilité.
- 2) Quel est le courant maximal qu'on peut mesurer s'il est utilisé avec un cadran de 100 divisions de 1 degré chacune.
- 3) On utilise cet élément moteur pour réaliser un voltmètre de calibre 10 V. Calculer la résistance nécessaire. Quel est le résultat de mesure de la tension $U_1 = 5,5 + 4 \sin(100\pi t)$ V.
- 4) Calculer l'incertitude si le voltmètre est de classe 1.5 et on apprécie $\frac{1}{4}$ de division. On suppose que le voltmètre a les calibres standards 1, 3, 10, 30... V.
- 5) Quel est le résultat de mesure de la tension U_1 avec un voltmètre ferromagnétique.

Exercice 2.3 : On considère 3 tensions d'amplitude 10 V, de période 20 ms et de forme sinusoïdale, triangulaire et carrée.

- 1) Calculer les valeurs moyennes, les valeurs moyennes redressées double alternance et les valeurs efficaces de 3 tensions.
- 2) En déduire les résultats de mesure avec les voltmètres suivants :
 - Magnétoélectrique en continu,
 - « alternatif (avec redresseur à diodes),
 - Ferromagnétique,
 - Numérique (RMS).

Exercice 2.4: Un élément moteur magnétoélectrique ($5 \text{ k}\Omega, 50 \mu\text{A}$) est utilisé pour réaliser un multimètre.

- 1) Faire les schémas des circuits voltmètre et ampèremètre avec plusieurs calibres pour chacun.
- 2) Trouver les formules permettant de calculer les composants nécessaires pour obtenir les différents calibres (V, A). Faire l'application numérique pour les calibres 30 mA, 1A, 3 V et 100V.
- 3) Quel est le résultat de mesure de la tension en dents de scie $U = 1000t$ (V) de période 10ms et de la tension $U_2 = (2 + 4 \sin 100\pi t)$ V.
- 4) On utilise un voltmètre ferromagnétique pour mesurer ces tensions. Quels sont les résultats de mesure.
- 5) Quels sont les résultats de mesure lorsqu'on utilise un voltmètre électronique puis un voltmètre numérique pour mesurer ces tensions.
- 6) Calculer les résistances internes du voltmètre et de l'ampèremètre pour les calibres précédents.

TD N°3

Exercice III.1: On désire mesurer une résistance de valeur approximative 100 ohms en utilisant un ampèremètre (1A, 0.5 Ω) et un voltmètre (100 V, 10000 Ω). Les 2 appareils sont de classe 1.

- 1) Quel est le meilleur montage à utiliser (amont ou aval).
- 2) Dans le montage précédent on obtient les lectures suivantes: $I = 0.32$ A et $U = 45.5$ V.
En déduire la valeur de la résistance et l'erreur de mesure.

Exercice III.2: Pour mesurer une résistance R_x on utilise un pont de WEATSTONE avec 2 résistances fixes, une résistance variable, une source de tension de 9 V et un galvanomètre ($R_g = 80$ ohms, sensibilité = 0.1 μ A/mm, minimum perceptible 0.5 mm).

- 1) Etablir la formule du courant de déséquilibre et déduire la relation à l'équilibre.
- 2) Calculer ce courant lorsque $R_1 = R_2 = R_3 = R_x = 1000$ Ω et une variation de R_3 de 0.5 Ω .
- 3) Calculer l'erreur due à la sensibilité du galvanomètre.

Exercice III.3 : On dispose de 2 résistances $R_1 = 1$ K Ω , $R_2 = 10$ K Ω , d'une résistance R et d'une capacité C variables, d'une source (10 V, 1 KHz) et d'un détecteur de zéro. On désire mesurer une inductance (L_x, r_x).

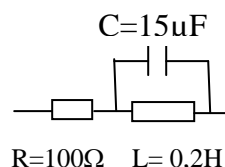
- 1) Quelles sont toutes les méthodes susceptibles d'être utilisées.
- 2) Lorsqu'on utilise le pont à résonance, trouver les formules donnant L_x et r_x .
- 3) Calculer L_x et r_x si à l'équilibre $R = 800$ Ω et $C = 0,8$ μ F
- 4) Calculer l'incertitude relative sur L_x et r_x si les précisions sont : 0,2 % sur R_1, R_2, R
2 % sur C et 1 % sur f
- 5) Calculer le coefficient de qualité de L_x . Comment le mesurer.

Exercice III.4 : Pour mesurer la mutuelle inductance entre 2 bobines identiques (L, r), on dispose d'une source continue (5 V), d'une source alternative (10 V, 50 Hz), d'un ampèremètre ($r_a = 2$ Ω) et d'un voltmètre ($R_v = 10$ K Ω).

- 1) Comment procéder pour déterminer les différentes grandeurs r, L et M .
- 2) Avant de brancher le voltmètre, l'ampèremètre indique 0,5 A aussi bien en continu qu'en alternatif. Lorsque le voltmètre est branché il indique 4 V. Déterminer r, L et M .

Exercice III.5 : On considère la charge ci-contre :

- 1) Calculer son impédance $Z = R + j X$ à 50 Hz.
- 2) Quelles sont les méthodes qu'on peut utiliser pour la mesurer.
- 3) Pour quelles fréquences se comporte-t-elle comme une résistance
- 4) Pour quelles fréquences peut-on utiliser le pont de Maxwell pour la mesurer ?
- 5) On l'alimente par une tension continue de 60 V.



- a) Calculer la puissance ($P=UI$) mesurée par un wattmètre de classe 0,5, de bobine tension (200 Ω/V , 100 mH) et de calibres 5A , 60 V et 120 V. (indiquer le calibre approprié)
- b) Calculer l'erreur relative de classe et de montage.
- 6) On l'alimente par une tension alternative d'amplitude 71 V et de fréquence 50 Hz.
Calculer la puissance ($P=UI\cos\phi$) mesurée par le wattmètre précédent.

Exercice III.6 : 1) Faire le schéma d'un fréquencemètre numérique avec 3 temps de mesure 0,1 ; 1, 10 s et un affichage à 4 décades.

- 2) Trouver les capacités nécessaires lorsqu'on utilise un monostable de coefficient 0,3 et une résistance $R=1$ K Ω .
- 3) Quelles seront les valeurs affichées avec les 3 portes lorsqu'on applique une fréquence de 854 Hz
- 4) Lorsqu'on admet une incertitude de ± 1 sur le dernier chiffre, calculer les précisions de mesure dans les 3 cas.

TD N° 4

Exo IV-1 : La résistance d'un capteur peut varier de 100Ω en absence de mesurande à 120Ω au maximum. Trouver le conditionneur nécessaire et l'alimentation à utiliser pour obtenir une tension de sortie qui varie de 0 à 1V avec une dissipation maximale du capteur de 100 mW.

Exo IV- 2 : On effectue une série de 20 mesures de la période de rotation d'un moteur et on trouve : 961, 965, 962, 961, 961, 960, 959, 955, 960, 954, 961, 960, 957, 959, 960, 962, 956, 964, 957, 960.

- 1) Calculer la valeur moyenne, l'écart standard et l'intervalle de confiance à 99 %.
- 2) Tracer l'histogramme des mesures et déduire à quelle loi obéissent ces résultats.

Exo IV-3 : Pour mesurer la température, on utilise 3 capteurs : une sonde de platine, une thermistance CTN et une paire de thermocouples dont une soudure est à la température ambiante. Pour étalonner ces capteurs, on effectue 2 séries de mesures :

$\theta = 0 \text{ }^\circ\text{C}$: $R_{pt} = 100 \Omega$, $R_{CTN} = 200 \text{ k}\Omega$, $U_{th} = - 1 \text{ mV}$

$\theta = 100 \text{ }^\circ\text{C}$: $R_{pt} = 140 \Omega$, $R_{CTN} = 2 \text{ k}\Omega$, $U_{th} = 4 \text{ mV}$

- 1) Trouver les relations de variation en fonction de la température des 3 capteurs.
- 2) On met la résistance de platine dans un pont de Wheatstone. Calculer les éléments du pont (R_1, R_2, R_3, E) pour avoir une tension de déséquilibre du pont qui varie de 0 à 400 mV lorsque θ varie de 0 à 40 $^\circ\text{C}$.
- 3) Calculer l'erreur relative maximale qu'on commet en approximant la variation de la tension du pont par une relation linéaire.
- 4) Comment réaliser un capteur de même sensibilité que le précédent en utilisant le thermocouple.
- 5) On désire utiliser la thermistance pour mesurer θ de 0 à 40 $^\circ\text{C}$. Calculer la résistance de linéarisation nécessaire et déduire la relation linéaire par laquelle elle est approximée.
- 6) Quels sont les résistances nécessaires pour mettre la thermistance linéarisée dans un pont de Wheatstone. Calculer la sensibilité du pont si on garde la tension d'alimentation précédente trouvée à la 2^{ème} question.

Exo IV-4 : Pour réaliser un capteur de température, on utilise une résistance métallique dont la résistance à 0 $^\circ\text{C}$ est de 50Ω et celle à 100 $^\circ\text{C}$ est 75Ω . On utilise cette résistance métallique avec deux résistances de 56Ω et une résistance variable dans un pont de Wheatstone.

- 1) Trouver la loi de variation linéaire de la résistance en fonction de la température.
- 2) Calculer la valeur de la résistance variable qui procure l'équilibre du pont à 0 $^\circ\text{C}$.
- 3) Calculer la tension d'alimentation du pont pour obtenir une tension de déséquilibre du pont qui varie linéairement de 0 à 1 V lorsque la température varie de 0 à 100 $^\circ\text{C}$.
- 4) Quelle est la température correspondante à 400 mV.
- 5) Calculer l'erreur due à l'auto-échauffement de la résistance métallique si son coefficient de dissipation est de $30 \text{ mW}/^\circ\text{C}$. Déduire la température réelle du milieu lorsque la sortie du pont est 400 mV.

TD N°5

Exo V.1 : Une lampe de 60 W, supposée ponctuelle, a un rendement en éclairage de 8 %. Une photo résistance de 1 cm^2 de surface sensible, placée à 2 m de la source, présente une résistance de 400Ω .

- 1) Trouver la formule de variation de la résistance de la photo résistance en fonction du flux.
- 2) Tracer la courbe $R = f(\Phi)$.
- 3) Comment peut - on effectuer la linéarisation entre $\Phi_1 = 1 \mu\text{W}$ et $\Phi_2 = 10 \mu\text{W}$. Calculer l'erreur maximale de non linéarité.

Exo V.2 : Une photodiode de surface sensible 0.1 cm^2 , ayant un facteur de conversion photons-électrons de 60 % est utilisée pour mesurer le flux lumineux d'une diode électroluminescente rouge ($0.8 \mu\text{m}$) de 10 mW supposée ponctuelle et placée à 10 Cm.

- 1) Calculer le nombre de photons arrivant sur la photodiode si on suppose que le rendement de la LED est égal à 1.
- 2) Calculer le courant engendré dans la photodiode.
- 3) Calculer le rendement de la LED si on mesure un courant de $0.1 \mu\text{A}$.

On donne $h = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ SI}$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ et $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Exo V.3 : On utilise un transformateur différentiel pour réaliser un capteur de position de 10 cm de course.

- 1) Quelles sont les conditions sur les dimensions des bobines et du noyau.
- 2) Quelle est la sensibilité nécessaire pour lire directement la position en mm sur un voltmètre de classe 1, de calibre 1 V et de cadran de 100 divisions.
- 3) Déduire la résolution lorsqu'on apprécie $\frac{1}{2}$ division.
- 4) Calculer la position et l'incertitude relative lorsqu'on lit 0.25 V.
- 5) Quelle est la résolution le transformateur différentiel est utilisé avec un convertisseur analogique – numérique de 10 bits.

Exo V.4 : Pour mesurer une force, on utilise 2 jauges métalliques (20 spires, de 8 Cm de fil de résistance $1\Omega/\text{Cm}$, $k= 2$) collées au milieu d'un corps d'épreuve en Plexiglas ($5 \times 50 \times 200 \text{ mm}^3$, module de Young $Y = 350 \text{ KgF/mm}^2$).

- 1) Calculer la résistance au repos des jauges.
- 2) Trouver la relation entre la variation de résistance et la force appliquée en flexion.
- 3) Comment placer les jauges sur le support et dans le pont de Wheatstone et mesurer une tension de déséquilibre de 0 à 10 mV lorsque la force varie de 0 à 10 N sans erreur de non linéarité.
- 4) Calculer l'erreur due à une variation de température de $10 \text{ }^\circ\text{C}$ si le coefficient de température est de $10^{-3} / ^\circ\text{C}$. Comment la compenser ?
- 5) Comment mesurer la force de 0 à 10 N par la mesure d'une tension de 0 à 10 mV en utilisant un quartz de sensibilité 2 pC/N .