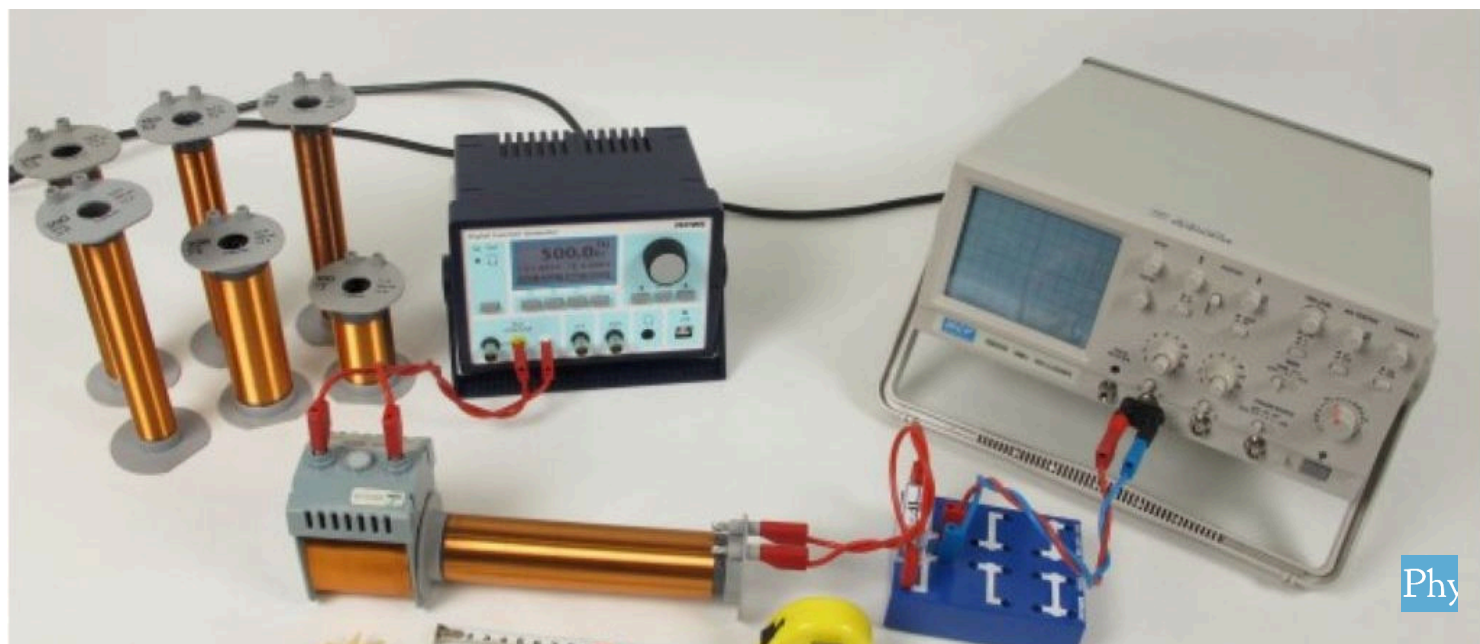


Inductance de solénoïdes avec oscilloscope



Le but de cette expérience est d'étudier l'inductance des solénoïdes.

Physique

Électricité et magnétisme

Magnétisme et champ magnétique

science appliquée

Ingénierie

Électrotechnique

Propriétés de composants électriques



Niveau de difficulté

dur



Taille du groupe

-



Temps de préparation

45+ minutes



Temps d'exécution

45+ minutes



Informations générales

Application



Mise en place

Lorsqu'un courant électrique alternatif circule dans le fil d'un solénoïde, il crée un champ magnétique variable à l'intérieur du solénoïde.

Ce champ magnétique changeant crée un flux magnétique changeant qui induit une force électromotrice à l'intérieur des boucles de fil (connue sous le nom d'inductance).

Autres informations (1/2)

Priorité

Connaissance



Scientifique

Principe



Les étudiants doivent avoir des connaissances de base sur le circuit de résonance électromagnétique.

Une tension rectangulaire de basse fréquence est appliquée à un circuit oscillant composé d'une bobine et d'un condensateur de capacité connue. La variation soudaine de la tension aux deux extrémités du signal carré induit un champ magnétique dans la bobine primaire, qui se couple ensuite au solénoïde et déclenche une oscillation libre et amortie dans le circuit secondaire. Pour différents solénoïdes, les fréquences naturelles des circuits sont mesurées et les inductances des solénoïdes sont calculées.

Autres informations (2/2)

Objectif

d'apprentissage



Tâches



Le but de cette expérience est d'étudier l'inductance des solénoïdes.

La fréquence propre de l'oscillation induite doit être mesurée pour chaque bobine d'induction. A partir de la fréquence propre et de la capacité connue, calculer les inductances des bobines et déterminer les relations entre

1. l'inductance et le nombre de spires
2. l'inductance et la longueur du solénoïde
3. ainsi que l'inductance et le rayon du solénoïde.

Théorie (1/4)

Si un courant d'intensité I traverse une bobine cylindrique (ou solénoïde) de longueur l , de surface de section $A = \pi \cdot r^2$ et le nombre de spires N , un champ magnétique s'établit dans la bobine. Lorsque $l \gg r$, le champ magnétique est uniforme et l'intensité du champ H est donnée par

$$H = I \cdot \frac{N}{l} \quad (1)$$

Le flux magnétique Φ est donnée par

$$\Phi = \mu_0 \cdot \mu \cdot H \cdot A \quad (2)$$

où μ_0 est la constante du champ magnétique et μ la perméabilité absolue du milieu environnant. Lorsque ce flux change, il induit une tension entre les extrémités de la bobine,

$$U_{\text{ind}} = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = -N \cdot \mu_0 \mu \cdot A \cdot \frac{dH}{dt} = -L \cdot \frac{dI}{dt} \quad (3)$$

Théorie (2/4)

$$\text{où } L = \mu_0 \cdot \mu \cdot \pi \cdot \frac{N^2 \cdot r^2}{l} \quad (4)$$

est le coefficient d'auto-induction (inductance) de la bobine. Dans la pratique, l'inductance des bobines avec $l > r$ peut être calculée avec une plus grande précision par une formule d'approximation

$$L = 2.1 \cdot 10^{-6} \cdot N^2 \cdot r \cdot \left(\frac{r}{l}\right)^{3/4} \quad (5)$$

pour $0 < \frac{r}{l} < 1$

Dans l'expérience, l'inductance des différentes bobines est calculée à partir de la fréquence naturelle d'un circuit oscillant :

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC_{\text{tot}}}}$$

Théorie (3/4)

$C_{\text{tot}} = C + C_i$ est la somme du condensateur connu et de la capacité d'entrée $C_i \approx 30 \text{ pF}$ de l'oscilloscope, qui exerce un effet d'amortissement sur le circuit oscillatoire et provoque un décalage négligeable (environ 1 %) de la fréquence de résonance.

L'inductance est donc représentée par

$$L = (4\pi^2 \nu_0^2 C)^{-1} \quad (6)$$

où $\nu_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{T \cdot 2\pi}$ est la fréquence propre, T étant la période d'oscillation.

Théorie (4/4)

N° de bobine N	2r [mm]	l [mm]	L_{calc} [μH]
1	300	41	160
2	300	33	160
3	300	26	160
4	200	41	105
5	150	41	50
6	100	26	160
7	75	26	160

Tab. 1 : Données de la bobine et inductances calculées (voir eq. 5).

N° de bobine	T [μs]	ν [kHz]	L_{exp} [μH]	L_{calc} [μH]
1	130	7.7	911	830
2	100	10	539	568
3	80	12.5	345	374
4	100	10	539	506
5	64	15.6	221	221
6	40	25	86	93
7	20	50	22	23

Tab. 2 : Fréquences naturelles et inductances mesurées à partir des équations (5) et (6).

Equipement

Position	Matériel	No. d'article	Quantité
1	Générateur de fonction, affichage digital et interface USB	13654-99	1
2	Bobines inductrices, jeu de 7	11007-88	1
3	Bobine, 1200 spires	06515-01	1
4	Condensateur 470 nF / 250 V, boîtier G1	39105-20	1
5	Oscilloscope numérique à mémoire, 20 MHz, 2 canaux, 100 MS/s	EAK-P-1335	1
6	Adaptateur fiche BNC / douilles 4 mm	07542-26	1
7	Boîte de Connexion	06000-00	1
8	Fil de connexion, 32 A, 250 mm, rouge	07360-01	1
9	Fil de connexion, 32 A, 250 mm, bleu	07360-04	1
10	Fil de connexion, 32 A, 500 mm, rouge	07361-01	2
11	Fil de connexion, 32 A, 500 mm, bleu	07361-04	2



Configuration et procédure

Mise en place (1/2)

Effectuer le montage expérimental conformément aux figures 1 et 2. Régler le générateur de fonctions numérique sur une amplitude de 20 V, une fréquence de 500 Hz ou moins et sur le signal carré avec sortie de type signal.

Le solénoïde doit être soigneusement aligné avec la bobine primaire afin que le champ magnétique puisse se coupler efficacement de la bobine primaire au solénoïde.



Fig. 1 : Dispositif expérimental

Mise en place (2/2)

PHYWE
excellence in science

La distance entre les deux bobines doit être maximale afin que l'effet de la bobine d'excitation sur la fréquence de résonance puisse être négligé. Il ne doit pas y avoir de composants en fer à proximité des bobines.

La tolérance de la base de temps de l'oscilloscope est de 4 %. Si une plus grande précision est requise, la base de temps peut être calibrée pour toutes les plages de mesure avec le générateur de fonctions numérique avant ces expériences.

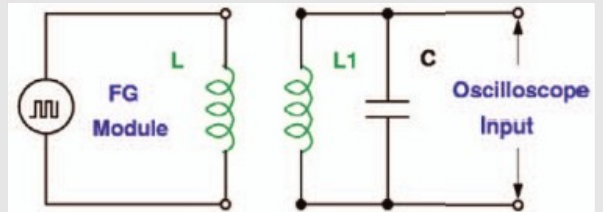


Fig. 2 : Circuit schématique de l'installation. L est la bobine primaire de 1200 tours, L_1 étiqueter le solénoïde dans le circuit secondaire.

Procédure

PHYWE
excellence in science

Pour chaque solénoïde, les réglages de l'oscilloscope doivent être ajustés de manière à ce qu'une oscillation amortie soit entièrement visible sur l'écran et que les pics soient clairement distingués, comme le montre la figure 3.

Le temps entre deux pics de l'oscillation amortie est la période réelle de la fréquence naturelle et peut être facilement lu sur l'écran, en déplaçant l'onde dans les positions appropriées. Les longueurs des solénoïdes doivent être mesurées à l'aide du ruban à mesurer, le rayon (c'est-à-dire le diamètre) doit être déterminé à l'aide du pied à coulisse et le nombre de tours est indiqué.

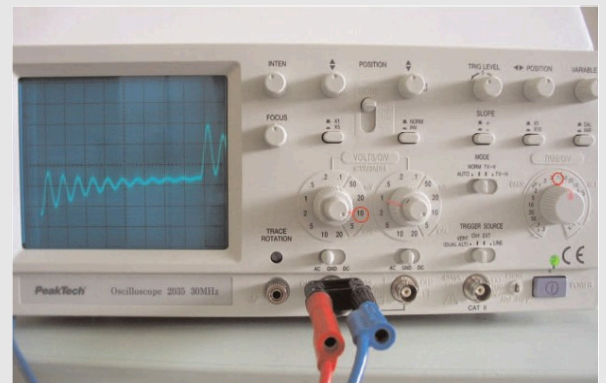


Fig. 3 : Oscillation amortie sur l'oscilloscope. Les réglages réels peuvent varier selon les bobines.



L'évaluation

Généralités

L'évaluation des valeurs obtenues est décrite ci-après à l'aide d'exemples. Vos résultats peuvent différer de ceux présentés ici. L'équation (5) nous permet d'obtenir les valeurs d'inductance théoriques des bobines utilisées. Celles-ci sont répertoriées dans le tableau 1.

Les bobines suivantes fournissent les relations entre l'inductance et le rayon, la longueur et le nombre de spires que nous étudions :

1. no. 3, 6, 7
2. no. 1, 4, 5
3. no. 1, 2, 3

Comme une différence de longueur signifie également une différence dans le nombre de spires, la relation entre l'inductance et le nombre de spires trouvée dans la tâche 1 doit également être utilisée pour résoudre la tâche 2.

Général (2/2)

Le tableau 2 présente les fréquences naturelles mesurées ainsi que les valeurs calculées pour L à partir des relations (5) et (6) respectivement. Les valeurs expérimentales L_{exp} sont en bon accord avec les valeurs théoriques attendues L_{calc} avec un écart-type d'environ 6 %.

Les bobines ayant des inductances plus élevées présentent des écarts assez considérables. Comme l'inductance est proportionnelle au carré de la longueur de la période d'oscillation, cette dispersion est difficile à réduire, car la précision de l'oscilloscope est limitée, en particulier pour les oscillations à longue période.

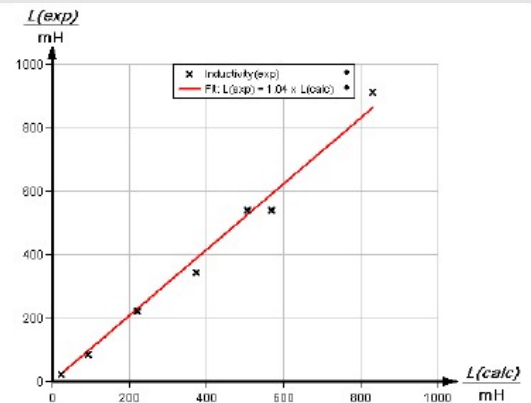


Fig. 4 : Comparaison des inductances L_{calc} avec L_{exp} calculés à partir des équations (5) et (6) respectivement.

Tâche 1

Pour déterminer la relation entre l'inductance et le nombre de spires, considérons des bobines de rayon et de longueur identiques mais de nombre de spires différent. Les bobines no. 3, 6 et 7 répondent à ces exigences.

Dans la figure 5, les inductances correspondantes sont représentées en fonction du nombre de spires.

Ajustement de l'expression $L_{exp} = a \cdot n^b$ aux valeurs expérimentales donne

$$b = 2.0003$$

qui est en excellent accord avec la valeur théorique $b_{theo} = 2$ (voir éq. 5).

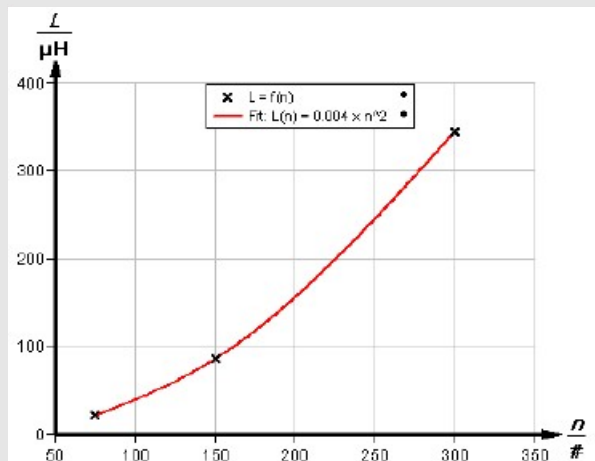


Fig. 5 : Relation entre l'inductance et le nombre de spires.

Tâche 2

Pour déterminer la relation entre l'inductance et la longueur de la bobine, considérons des bobines de rayon identique mais de longueurs différentes. Les bobines no. 1, 4 et 5 répondent à ces exigences. Comme la relation entre l'inductance et le nombre de spires est déjà connue, les inductances peuvent être normalisées par le nombre de spires. Par conséquent, considérons la relation entre l'inductance normalisée par le nombre de spires au carré et la longueur de la bobine. Dans la figure 6, les valeurs correspondantes sont représentées en fonction de la longueur de la bobine.

Ajustement de l'expression $L_{\text{exp}}/n^2 = a \cdot l^b$ aux valeurs expérimentales donne $b = -0,67$, ce qui est en bon accord avec la valeur théorique $b_{\text{theo}} = -0.75$ (voir éq. 5).

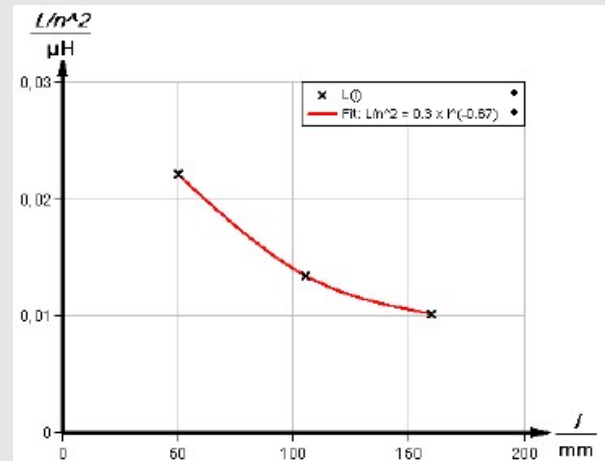


Fig. 6 : Relation entre l'inductance et la longueur de la bobine.

Tâche 3

Pour déterminer la relation entre l'inductance et le rayon de la bobine, considérons des bobines de longueurs identiques mais de rayons différents. Les bobines no. 1, 2 et 3 répondent à ces exigences. Comme la relation entre l'inductance et le nombre de spires est déjà connue, les inductances peuvent être normalisées par le nombre de spires. Par conséquent, considérons la relation entre l'inductance normalisée par le nombre de spires au carré et le rayon des bobines. Dans la figure 7, les valeurs correspondantes sont représentées en fonction du rayon de la bobine.

Ajustement de l'expression $L_{\text{exp}}/n^2 = a \cdot r^b$ aux valeurs expérimentales donne $b = 1,82$ qui est en bon accord avec la valeur théorique $b_{\text{theo}} = 1.75$ (voir éq. 5).

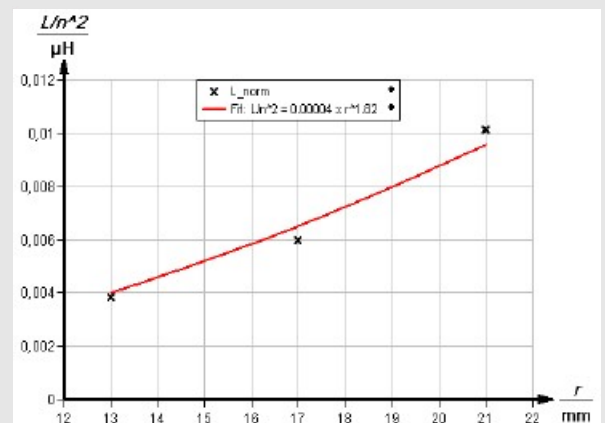


Fig. 7 : Relation entre l'inductance et le rayon de la bobine.