

Electricité

Induction électromagnétique

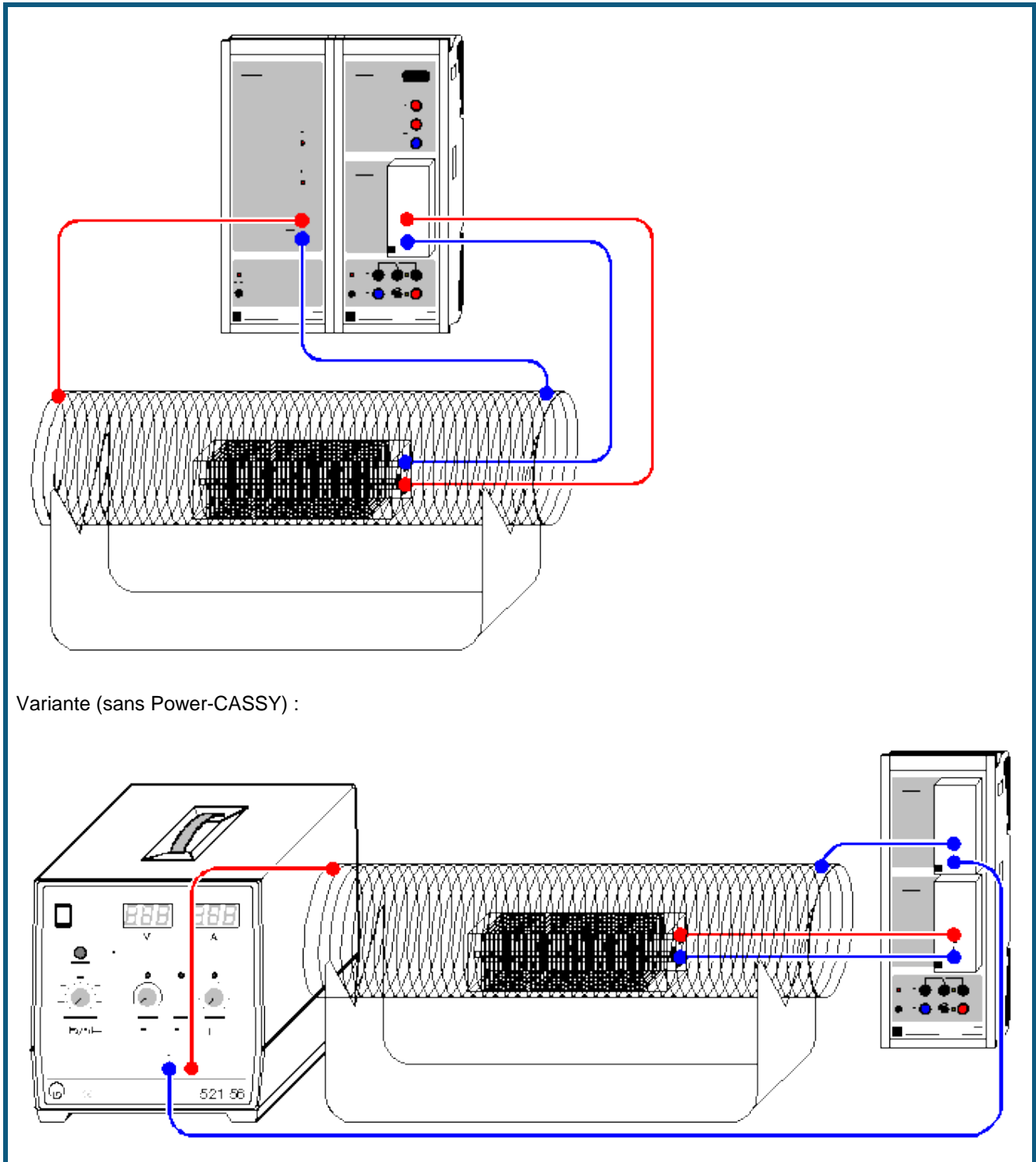
Induction par variation du champ magnétique

Mesure de la force électromotrice induite dans une boucle conductrice pour un champ magnétique variable - avec Power-CASSY comme source de courant variable

Description tirée de CASSY Lab 2

Pour charger des exemples et des paramètres, merci de bien vouloir utiliser l'aide de CASSY Lab 2.

Induction par variation du champ magnétique



Variante (sans Power-CASSY) :



Convient aussi pour [Pocket-CASSY](#) et [Mobile-CASSY](#)

Description de l'expérience

Les tensions et les courants générés par variation de champs magnétiques sont appelés forces électromotrices induites et courants induits, quant au processus en soi, il est caractérisé d'induction magnétique. Si une boucle conductrice se trouve dans un champ magnétique \mathbf{B} , le flux magnétique qui la traverse est donné par l'intégrale de surface de la boucle conductrice :

$$\Phi = \int_A \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A}$$

Si à la place d'une boucle conductrice, il s'agit d'une bobine avec un nombre de spires N_1 , toutes perpendiculaires au champ magnétique, alors le flux magnétique Φ augmente conformément à

$$\Phi = B \cdot A \cdot N_1.$$

Si le champ magnétique B ne change pas, le flux magnétique Φ reste constant lui aussi. En cas de variation temporelle du champ magnétique et donc du flux magnétique à travers la surface de la bobine, une f.é.m. est induite dans la bobine, et avec elle un courant dont l'intensité et la direction dépendent de la nature de cette variation. La loi en vigueur est la loi de Faraday

$$U = - \frac{d\Phi}{dt}$$

et donc

$$U = - \frac{dB}{dt} \cdot A \cdot N_1.$$

Du reste, un courant électrique génère un champ magnétique, par ex. lorsqu'une bobine est traversée par un courant I . Pour le champ magnétique à l'intérieur d'une grande bobine cylindrique de longueur L et avec un nombre de spires N_2 , on a

$$B = \mu_0 \frac{N_2}{L} I$$

avec $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am (constante de champ magnétique).

Dans l'expérience, une grande bobine cylindrique servant de bobine de champ est traversée par un courant $I(t)$ variable qui crée en elle un champ magnétique $B(t)$ variable. Des bobines d'induction rectangulaires de surface A différente et avec un nombre de spires N_1 différent sont placées dans cette bobine de champ. Une tension U est induite dans ces bobines d'induction : elle se calcule comme suit :

$$U = - \frac{dI}{dt} \cdot \mu_0 \cdot A \cdot \frac{N_2}{L} \cdot N_1$$

Dans l'expérience, on vérifie que la force électromotrice induite U est bien proportionnelle à la variation temporelle dI/dt du courant I , à la surface A des bobines d'induction ainsi qu'au nombre de spires N_1 de celles-ci. Le Power-CASSY (524 011) ou le générateur de courant en triangle (521 56) conviennent particulièrement bien étant donné que la courbe temporelle du courant de sortie I peut être commandée de manière à ce que la pente $|dI/dt|$ soit constante. Par ailleurs, trois bobines d'induction de chacune $N_1 = 300$ spires sont à disposition: la bobine 1 de section transversale $A = 50 \times 50 \text{ mm}^2$, la bobine 2 de section $A = 30 \times 50 \text{ mm}^2$ et la bobine 3 de section $A = 20 \times 50 \text{ mm}^2$. La bobine 1 a en plus des prises supplémentaires pour $N_1 = 100$ et $N_1 = 200$ spires.

Matériel requis

1	Sensor-CASSY	524 010 ou 524 013
1	Power-CASSY	524 011
1	CASSY Lab 2	524 220
1	adaptateur μV	524 040
1	bobine de champ $d = 120 \text{ mm}$	516 244
1	support pour tubes et bobines	516 249
1	jeu de bobines d'induction	516 241
2	câbles d'expérience, 100 cm, rouges	501 30
2	câbles d'expérience, 100 cm, bleus	501 31
1	PC avec Windows XP/Vista/7/8	

Variante (sans Power-CASSY)

1	Sensor-CASSY	524 010 ou 524 013
1	CASSY Lab 2	524 220
1	adaptateur μV	524 040
1	adaptateur 30 A	524 043
1	bobine de champ $d = 120 \text{ mm}$	516 244
1	support pour tubes et bobines	516 249
1	jeu de bobines d'induction	516 241
1	générateur de courant triangulaire	521 56
1	câble d'expérience, 50 cm, bleu	501 26
2	câbles d'expérience, 100 cm, rouges	501 30
2	câbles d'expérience, 100 cm, bleus	501 31
1	PC avec Windows XP/Vista/7/8	


Montage expérimental (voir schéma)

La grande bobine est alimentée en courant à pente $|dl/dt|$ constante par le Power-CASSY ou par l'alimentation en courant triangulaire. Pour cette dernière, le courant qui circule doit encore être mesuré avec l'adaptateur 30 A à l'entrée A du Sensor-CASSY. La f.é.m. induite des bobines d'induction est saisie par l'adaptateur μV à l'entrée B.

Procédure expérimentale


a) Mesure de la force électromotrice induite U en fonction de la surface A des bobines d'induction

■ Charger les paramètres

- Placer la bobine 1 ($A = 0,0025 \text{ m}^2$, $N_1 = 300$ spires) dans la grande bobine de champ et la brancher à l'adaptateur μV
- Réaliser la mesure avec 
- Recommencer la mesure avec les bobines 2 ($A = 0,0015 \text{ m}^2$) et 3 ($A = 0,0010 \text{ m}^2$)


b) Mesure de la force électromotrice induite U en fonction du nombre de spires N_1 de la bobine

■ Charger les paramètres

- Placer la bobine 1 ($N_1 = 100$ spires) dans la grande bobine de champ et la brancher à l'adaptateur μV
- Réaliser la mesure avec 
- Recommencer la mesure avec $N_1 = 200$ et $N_1 = 300$ de la bobine 1

c) Mesure de la force électromotrice induite U en fonction de dl/dt



■ Charger les paramètres

- Placer la bobine 1 ($N_1 = 300$ spires) dans la grande bobine de champ et la brancher à l'adaptateur μV
- Réaliser la mesure avec 
- Recommencer la mesure avec un courant maximal I_{\max} ou dl/dt réduit; pour ce faire, déplacer l'aiguille de l'instrument d'affichage avec la souris et l'amener à la position souhaitée

Variante (sans Power-CASSY)



a) Mesure de la force électromotrice induite U en fonction de la surface A des bobines d'induction

■ Charger les paramètres

- Placer la bobine 1 ($A = 0,0025 \text{ m}^2$, $N_1 = 300$ spires) dans la grande bobine de champ et la brancher à l'adaptateur μV
- Faire tourner jusqu'à la butée droite le bouton de réglage de la tension de l'alimentation en courant triangulaire, faire tourner le bouton de réglage du courant jusqu'à ce que la limitation de puissance (LED P_{\max}) soit juste sur le point d'être active sans toutefois l'être encore
- Sélectionner un réglage moyen de dl/dt puis appuyer sur le bouton-poussoir pour l'enclenchement du mode de courant triangulaire
- Lancer la mesure avec  (le relevé des valeurs mesurées commence pour un flanc montant de la f.é.m. induite U_{B1} , éventuellement arrêter le [déclenchement](#))
- Au bout de quelques périodes de courant, arrêter avec 
- Recommencer la mesure avec les bobines 2 ($A = 0,0015 \text{ m}^2$) et 3 ($A = 0,0010 \text{ m}^2$)

b) Mesure de la force électromotrice induite U en fonction du nombre de spires N_1 de la bobine



■ Charger les paramètres

- Placer la bobine 1 ($N_1 = 100$ spires) dans la grande bobine de champ et la brancher à l'adaptateur μV
- Faire tourner jusqu'à la butée droite le bouton de réglage de la tension de l'alimentation en courant triangulaire, faire tourner le bouton de réglage du courant jusqu'à ce que la limitation de puissance (LED P_{\max}) soit juste sur le point d'être active sans toutefois l'être encore
- Sélectionner un réglage moyen de dl/dt puis appuyer sur le bouton-poussoir pour l'enclenchement du mode de courant triangulaire
- Lancer la mesure avec  (le relevé des valeurs mesurées commence pour un flanc montant de la f.é.m. induite U_{B1} , éventuellement arrêter le [déclenchement](#))
- Au bout de quelques périodes de courant, arrêter avec 
- Recommencer la mesure avec $N_1 = 200$ et $N_1 = 300$ de la bobine 1

c) Mesure de la force électromotrice induite U en fonction de la fréquence du champ d'excitation

■ Charger les paramètres

- Placer la bobine 1 ($N_1 = 300$ spires) dans la grande bobine de champ et la brancher à l'adaptateur μV

- Faire tourner jusqu'à la butée droite le bouton de réglage de la tension de l'alimentation en courant triangulaire, faire tourner le bouton de réglage du courant jusqu'à ce que la limitation de puissance (LED P_{\max}) soit juste sur le point d'être active sans toutefois l'être encore
- Sélectionner $dl/dt = 0,2$ A/s et appuyer sur le bouton-poussoir pour enclencher le mode de courant triangulaire
- Lancer la mesure avec  (le relevé des valeurs mesurées commence pour un flanc montant de la f.é.m. induite U_{B1} , éventuellement arrêter le [déclenchement](#))
- Pendant la mesure, augmenter dl/dt par pas d'environ 0,4 A/s
- Arrêter à nouveau la mesure avec 

Exploitation

Suivant la partie expérimentale, il est possible de se rendre à la représentation appropriée après la mesure (Cliquer avec la souris sur **Surface**, **Nombre de spires** ou **dl/dt**). Un autre tableau est rempli ici en déterminant la force électromotrice induite U pour chacun des paramètres A , N_1 ou dl/dt (réaliser l'entrée par le clavier, dl/dt peut être définie par une [régression linéaire](#)). La force électromotrice induite U s'obtient par ex. à partir de l'[établissement de la valeur moyenne](#). Elle peut ensuite être amenée de la [ligne d'état](#) vers le tableau à l'aide de la souris (Drag & Drop). Le graphe souhaité est créé pendant l'entrée des données dans le tableau.

Les trois graphes confirment les proportionnalités existant entre la force électromotrice induite U et la surface A , le nombre de spires N_1 ainsi que dl/dt .

Dans l'exemple, on obtient $U/A = 101$ mV/m² (ou 129 mV/m² sans Power-CASSY) comme facteur de proportionnalité entre la force électromotrice induite U et la section de la bobine A . La théorie exige le facteur de proportionnalité

$$\frac{U}{A} = -\frac{dl}{dt} \cdot \mu_0 \cdot \frac{N_2}{L} \cdot N_1.$$

A titre de comparaison, le facteur de proportionnalité $U/A = -110$ mV/m² (ou -131 mV/m²) résulte du nombre de spires $N_1 = 300$ de la bobine à induction et $N_2 = 120$ de la bobine sans fer, de la longueur $L = 0,41$ m de la bobine sans fer, de la hausse déterminée du courant $dl/dt = 1,00$ A/s (ou 1,19 A/s) et de la constante de champ magnétique $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am; il correspond au résultat expérimental. Le signe dépend des deux sens d'enroulement et du raccordement à l'adaptateur μ V.

Remarques

L'adaptateur μ V peut avoir un petit offset qui peut être supprimé dans les [paramétrages UB](#) en sélectionnant **Corriger**, en entrant 0 mV comme valeur prescrite puis en sélectionnant **Corriger l'offset**; mais avant tout, il faut interrompre le circuit électrique de la bobine sans fer.

Le Power-CASSY peut aussi délivrer une fréquence nettement plus élevée et rendre ainsi l'adaptateur μ V superflu. Mais n'oublions pas que la régulation du courant du Power-CASSY a tendance à légèrement surosciller pour des fréquences élevées et des charges inductives, ce qui se manifeste désagréablement dans la force électromotrice induite (1ère dérivée du courant). Une résistance ohmique d'environ 10 Ω branchée en série permet d'y remédier.