

Faraday'sches Induktionsgesetz

ERZEUGUNG EINES SPANNUNGSSTOßES IN EINER LEITERSCHLEIFE MIT HILFE EINES BEWEGTEN PERMANENTMAGNETEN

- Beobachtung der Bewegung eines Permanentmagneten durch mehrere in Reihe geschaltete Induktionsspulen.
- Messung des zeitlichen Verlaufs der induzierten Spannung.
- Berechnung des zeitlichen Verlaufs des magnetischen Flusses.

UE3040100

12/23 UD

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Jede Änderung des magnetischen Flusses durch eine geschlossene Leiterschleife induziert in dieser eine elektrische Spannung. Eine solche Änderung wird z.B. hervorgerufen, wenn ein Permanentmagnet durch eine feststehende Leiterschleife bewegt wird (Fig. 2).

In diesem Fall ist es lehrreich, neben der zeitabhängigen induzierten Spannung

$$(1) \quad U(t) = -\frac{d\Phi}{dt}(t),$$

Φ : Magnetischer Fluss

auch den sogenannten Spannungsstoß

$$(2) \quad \int_{t_1}^{t_2} U(t) \cdot dt = \Phi(t_1) - \Phi(t_2)$$

zu betrachten. Er entspricht der Differenz des magnetischen Flusses am Anfang (t_1) und am Ende (t_2) eines betrachteten Vorgangs.

Im Experiment fällt ein Permanentmagnet durch ein Rohr mit sechs baugleichen, in Reihe geschalteten Induktionsspulen. Aufgezeichnet wird der zeitliche Verlauf der induzierten Spannung (grüne Kurve in Fig. 3).

Deren Amplitude wird mit von Spule zu Spule fortschreitender Bewegung des Magneten größer, da die Geschwindigkeit des Magneten immer mehr zunimmt.

Die Flächen unter allen positiven und negativen Spannungssignalen sind dem Betrage nach gleich. Sie entsprechen dem maximalen Fluss Φ des Permanentmagneten im Inneren einer einzelnen Spule.



Fig. 1: Messanordnung

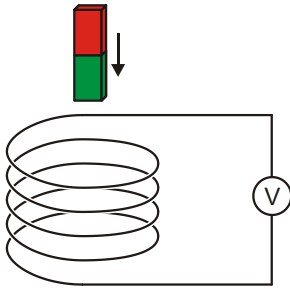


Fig. 2: Messprinzip

GERÄTELISTE

1	Fallröhre mit 6 Induktionsspulen	1001005 (U8511200)
1	Spannungssensor 500 mV, differenziell	1021681 (UCMA-BT32i)
1	Sensorkabel	1021514 (UCMA-BTsc1)
1	Datenlogger WiLab	1022284
1	Software Coach 7	

Weitere Informationen zum digitalen Messen sind auf der Webseite des Experiments im 3B Webshop zu finden.

AUFBAU UND INBETRIEBNAHME

Fallröhre

Hinweis:

Schläge und Stöße, sowie seitlich wirkende Kräfte auf die Fallröhre können zur Beschädigung führen.

- Die Fallröhre keinen mechanischen Belastungen aussetzen.
- Den Sockel auf einer horizontalen, ebenen Arbeitsfläche platzieren.
- Die Fallröhre unter leichtem Druck in den Sockel einsetzen.
- Die Korkplatte unter den Sockel legen.

Datenlogger, Spannungssensor und Software

- Die Software auf dem Messrechner installieren.
- Den Datenlogger an den Messrechner anschließen.
- Den Spannungssensor mit Hilfe des roten und schwarzen 4-mm-Experimentierkabels an die entsprechenden 4-mm-Buchsen der Fallröhre und mit Hilfe des Sensorkabels an den Datenlogger anschließen.
- Die Software starten. Die Schaltfläche anklicken, in dem sich öffnenden Fenster „Anmelden“ den Benutzernamen „Autor“ aus dem Drop-down-Menü auswählen, das Autorenpasswort eingeben und mit OK bestätigen.
- Die Schaltfläche anklicken. In dem sich öffnenden Fenster „Einstellungen für Aktivitäten“ die Vor-Auswahlen durch Anklicken von OK bestätigen.

Die Software stellt die Verbindung zum Datenlogger her. Ein Bild des Datenloggers mit dem Piktogramm des angeschlossenen Spannungssensors erscheint im linken unteren der vier Fenster.

- In dem Fenster, das den Datenlogger zeigt, das Piktogramm für den Spannungssensor mit der rechten

Maustaste anklicken. In dem sich öffnenden Menü „Null setzen“ anklicken und mit „OK“ bestätigen.

- Die Schaltfläche anklicken, folgende Parameter eingeben und anschließend mit OK bestätigen:

Methode

Art: Zeitgesteuert

Messdauer: 0,3 Sekunden

Frequenz: 1000 pro Sekunde

Anzahl Messungen: 300

Triggerung

Triggerkanal: Differentialvoltmeter

Triggerschwelle: 0,1 mV

Richtung: aufwärts

Vortriggerzeit: 0,01 Sekunden

Hinweis:

Im Hinblick auf die Auswertung ist es wichtig, insbesondere die Messdauer (hier: 0,3 s) schon bei der Eingabe der Messparameter optimal zu wählen.

- Die Schaltfläche anklicken.

Die Datentabelle erscheint im rechten oberen Fenster. Sie enthält (noch leere) Spalten für die Zeit t und die Spannung U .

- Die Schaltfläche anklicken. In dem sich öffnenden Menü „Neu hinzufügen“ auswählen, den Mauszeiger in das linke obere Fenster bewegen und in das Fenster klicken.

Im Fenster erscheint ein (noch leeres) Diagramm.

- In der Datentabelle das Zeitsymbol „t(s)“ in der Überschrift der ersten Spalte anklicken, mit gedrückter Maustaste in die untere Diagramm-Schaltfläche ziehen, und bei Erscheinen eines blauen Rahmens in den Rahmen klicken. Das Spannungssymbol „U(mV)“ in der Überschrift der zweiten Spalte anklicken, mit gedrückter Maustaste in die linke Diagramm-Schaltfläche ziehen, und bei Erscheinen eines blauen Rahmens in den Rahmen klicken.

Der x-Achse des Diagramms ist jetzt die Zeit, der y-Achse die Spannung zugeordnet.

Datenlogger und Software sind jetzt fertig für die Messung konfiguriert.

DURCHFÜHRUNG

Das Vorzeichen der Spannung wird so festgelegt, dass während der Eintauchphase des Magneten in die Leiterspule eine positive Spannung induziert wird. Dazu muss der im Folgenden beschriebene Messablauf ggf. zwei Mal durchgeführt werden, da das Vorzeichen der Spannung davon abhängt, wie herum der Magnet in die Röhre fallen gelassen wird, d.h. mit dem Nord- oder dem Südpol voran (Fig. 2).

- Die Messung in der Software durch Anklicken der Schaltfläche starten. Es öffnet sich ein Fenster „Warte auf Triggerung“.
- Den Magnet in die obere Öffnung der Röhre halten und loslassen. Die Messung startet automatisch, wenn die eingestellte Triggerschwelle erreicht ist und stoppt automatisch nach der eingestellten Messdauer.

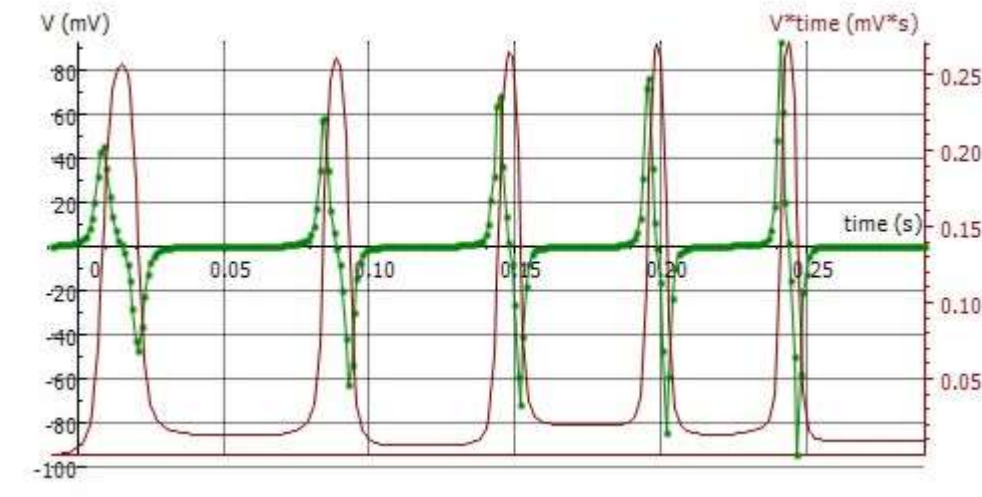


Fig. 3: Zeitliche Verläufe der induzierten Spannung U und des magnetischen Flusses Φ


MESSBEISPIEL UND AUSWERTUNG

Induktionsspannung

Die grüne Kurve in Fig. 3 zeigt den aufgenommenen Spannungsverlauf.


Wie in der Durchführung festgelegt, wird während der Eintauchphase des Magneten in die Leiterspule eine positive Spannung induziert. Die induzierte Spannung geht auf Null zurück, wenn der Magnet das Zentrum der Spule erreicht. Während der anschließenden Austrittsphase des Magneten wird eine negative Spannung induziert. Da die Geschwindigkeit des Magneten mit von Spule zu Spule fortschreitender Bewegung immer mehr zunimmt, werden die Spannungssignale einerseits dem Betrage nach immer höher, andererseits immer schmäler, d.h. die Flächen unter allen positiven und negativen Spannungssignalen sind dem Betrage nach gleich.

Magnetischer Fluss

- Im Diagramm die Schaltfläche  anklicken, und in dem sich öffnenden Menü „Integrieren“ wählen. In dem sich öffnenden Fenster „Integral“ auf die Schaltfläche „Start“ klicken.

In dem Diagramm im Fenster „Integral“ wird die Größe „ $U \cdot t$ “ in der Einheit „ $mV \cdot s$ “ dargestellt (violette Kurve in Fig. 3). Diese entspricht nach Gleichung (2) dem magnetischen Fluss Φ .

- Das Fenster „Integral“ durch Klicken auf „OK“ schließen.

In der Datentabelle erscheint eine dritte Spalte „ $U \cdot t$ ($mV \cdot s$)“, und am Cursorpfeil das Symbol  „ $U \cdot t$ “.

- In das noch leere der vier Fenster rechts unten klicken.

Die Zeitabhängigkeit der Größe „ $U \cdot t$ ($mV \cdot s$)“ wird als Diagramm dargestellt. Für die gemeinsame Darstellung von Induktionsspannung und magnetischem Fluss in dem Diagramm im Fenster links oben wie folgt vorgehen:

- In der Datentabelle die Größe „ $U \cdot t$ ($mV \cdot s$)“ in der Überschrift der dritten Spalte anklicken, mit gedrückter Maustaste in die rechte Diagramm-Schaltfläche ziehen, und bei Erscheinen eines blauen Rahmens in den Rahmen klicken.

Der rechten y-Achse des Diagramms ist jetzt der magnetische Fluss zugeordnet. Zur optimalen Darstellung der zugehörigen Kurve wie folgt vorgehen:

- Rechtsklick in den Diagrammhintergrund und in dem sich öffnenden Menü „Auschnitt anpassen“ wählen.

Die Achsenskalierung wird automatisch so gewählt, dass die Kurve optimal dargestellt wird. Bei weiteren Messungen werden sowohl die Induktionsspannung als auch der magnetische Fluss automatisch im Diagramm dargestellt.

Der magnetische Fluss nimmt seinen Maximalwert an, wenn die induzierte Spannung auf Null zurückgeht (Fig. 3), d.h. der Magnet das Zentrum der Spule erreicht hat. Die Flächen unter allen positiven und negativen Spannungssignalen sind dem Betrage nach gleich (siehe oben). Sie entsprechen dem maximalen magnetischen Fluss Φ des Permanentmagneten im Inneren einer einzelnen Spule. Der maximale magnetische Fluss erreicht deshalb für alle Spulen im Rahmen der Messgenauigkeit den gleichen Wert $\Phi_{\max} \approx 250 \mu Vs$.

Faraday's Law of Induction

GENERATING A VOLTAGE PULSE IN A CONDUCTING LOOP BY THE MOTION OF A PERMANENT MAGNET

- Observing the motion of a permanent bar magnet through a set of induction coils connected in series.
- Measuring the induced voltage as a function of time.
- Calculating the magnetic flux as a function of time.

UE3040100

12/23 UD

GENERAL PRINCIPLES

Any change of the magnetic flux through a closed conducting loop induces in it an electrical voltage. Such a change is produced, for example, when a permanent bar magnet moves through a stationary conducting loop. (Fig. 2).

In this case it is instructive to consider not only the time-dependent induced voltage

$$(1) \quad U(t) = -\frac{d\Phi}{dt}(t),$$

where Φ : magnetic flux

but also its integral over time, viz. the voltage pulse

$$(2) \quad \int_{t_1}^{t_2} U(t) \cdot dt = \Phi(t_1) - \Phi(t_2)$$

This corresponds to the difference between the magnetic flux at the beginning (t_1) and that at the end (t_2) of the observed process.

In the experiment, a permanent bar magnet is allowed to fall through six identical induction coils that are connected in series. The induced voltage is recorded as a function of time (green curve in Fig. 3).

The voltage amplitude increases from coil to coil as the magnet moves through each coil, because the velocity of the magnet increases steadily.

The areas under all the positive and negative voltage signals are equal. They correspond to the maximum flux Φ produced by the permanent magnet inside each individual coil.



Fig. 1: Experiment set-up

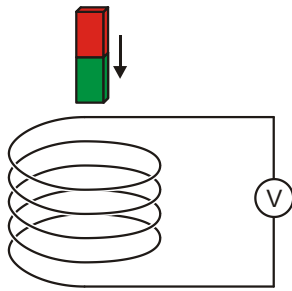


Fig. 2: Principle for measurement

LIST OF EQUIPMENT

1	Induction Tube Apparatus with 6 Coils	1001005 (U8511200)
1	Voltage Sensor 500 mV, Differential	1021681 (UCMA-BT32i)
1	Sensor Cable	1021514 (UCMA-BTsc1)
1	Data Logger WiLab	1022284
1	Software Coach 7	

More information about digital measurement can be found on the experiment's webpage in the 3B Webshop.

SET-UP AND CONFIGURATION



Induction Tube Apparatus

Note:


Bumps, knocks or any lateral forces acting on the tube may damage the instrument.


- Do not subject the tube to any mechanical stress.
- Put the base on a horizontal, level working surface.
- Set up the tube in the socket of the plinth using gentle pressure.
- Place the cork board under the base.

Data Logger, Voltage Sensor and Software

- Install the software on the computer you will be using for the measurement.
- Connect the data logger to the computer.
- Connect the voltage sensor to the appropriate 4-mm sockets of the induction tube with the help of the 4-mm experiment lead and use the sensor cable to connect it to the data logger.
- Start the software. Press the  button and select the "User level: Author" from the drop-down menu in the "Log-in" window which opens. Enter the password for "Author key" and confirm it with OK.
- Click the  button. The "Activity Options" window will open. Confirm the pre-selected settings by clicking OK.

The software will establish a connection to the data logger. A graphic representing the data logger with a pictogram of the voltage sensor connected to it will appear in the bottom left of the four windows.

- In the window displaying the data logger graphic click the  icon for the voltage sensor with the right mouse button. In the menu which opens select "Set to zero" and confirm with "OK".

- Click the  button, enter the following parameters and then confirm with OK:

Method

Type: Time-based

Duration of measurement: 0.3 seconds

Frequency: 1000 per second

Number of measurements: 300

Triggering

Trigger channel: Differential voltmeter



Trigger level: 0.1 mV

Direction: up

Pre-trigger time: 0.01 seconds

Note:

For The purposes of evaluation, it is particularly important to select an optimum duration for the measurement (here: 0.3 s) while the measurement parameters are being entered.

- Click the  button.
- The data table will appear in the top right window. It will have columns for time t and voltage U , both initially empty.
- Click the  button. In the menu which opens select "Add new", then move the mouse cursor to the top left window and click on it.

The window will then display a trace plot (initially blank)


- Click the time symbol "t(s)" in the header for the first column of the data table and, keeping the mouse button down, drag it to the axis button for the bottom of the plot, then click on the border when it lights up blue. Click the voltage symbol "V(mV)" in the header for the second column and, again keeping the mouse button held down, drag it to the axis button for the left of the plot, then click on the border when it lights up blue.

This assigns the x-axis of the trace to be time and the y-axis to be voltage.

The data logger and the software are now fully configured for the measurement.

EXPERIMENT PROCEDURE

The experiment set-up is such that the induced voltage is positive when the magnet is introduced into the coil. It may be necessary to carry out the measurement procedure described below twice, since the sign of the voltage is dependent on the orientation of the magnet as it falls down the tube, i.e. with the north or south pole facing down (Fig. 2).

- Start the measurement in the software by clicking the  button. A "Waiting for trigger event" window opens.
- Hold the magnet in the opening at the top of the tube and then let it go. Measuring starts automatically as soon as the set trigger level is reached and stops automatically once the configured measurement duration has elapsed.

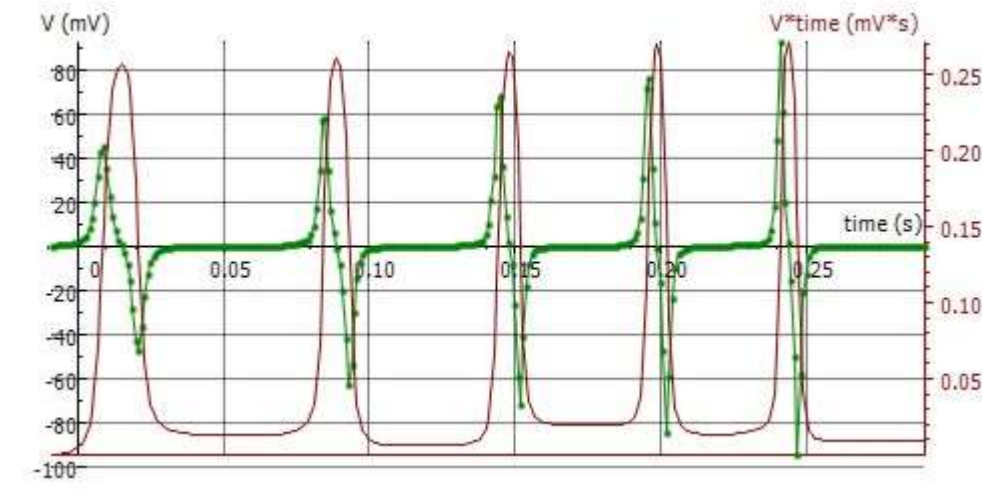


Fig. 3: Change in induced voltage U and magnetic flux Φ over time


SAMPLE MEASUREMENT AND EVALUATION

Induced Voltage

The green curve in Fig. 3 shows the trace of how voltage changes over time.


As described in the procedure, a positive voltage is induced as the magnet enters an induction coil. This induced voltage goes back to zero when the magnet reaches the centre of the coil. During the subsequent exit of the magnet from the coil, a negative voltage is induced. Since the speed of the magnet increases as it progresses from coil to coil along the tube, the magnitude of the voltage signals gets higher and higher, but the width of the peaks becomes narrower, i.e. the area of the surfaces under all the positive and negative signal peaks remains the same in absolute terms.

Magnetic Flux

- Click the  button for the trace and choose "Integral" from the menu. In the "Integral" window which opens click "Plot".

The plot in the "Integral" window shows the variable " $V \cdot t$ " in units of " $\text{mV} \cdot \text{s}$ " (violet curve in Fig. 3). This corresponds to the magnetic flux Φ in equation (2)

- Close the "Integral" window by clicking "OK".

A third column " $V \cdot t$ ($\text{mV} \cdot \text{s}$)" appears in the data table and the symbol  " $V \cdot t$ " is shown beneath the cursor.

- Click on the still empty window at the bottom right.

A plot of the variable " $V \cdot t$ ($\text{mV} \cdot \text{s}$)" will now be shown as a trace. To show the induced voltage and magnetic flux simultaneously in the top left window, proceed as follows:

- Click the symbol " $V \cdot t$ ($\text{mV} \cdot \text{s}$)" in the header for the third column of the data table and, keeping the mouse button

held down, drag it to the active axis region for the right of the plot, then click on the border when it lights up blue.

The y-axis on the right-hand side of the plot is now assigned to the magnetic flux. To display the curve in optimum fashion, proceed as follows:

- Click with the right mouse button on the background of the trace and select "Zoom to Fit" from the menu which opens.

Scaling of the axes is modified automatically in such a way that the curve is optimally displayed. For subsequent measurements both the induced voltage and magnetic flux will be displayed at their best automatically on the trace.

The magnetic flux reaches a maximum when the induced voltage returns to zero (Fig. 3), i.e. when the magnet has reached the centre of the coil. The area of the surfaces under all the positive and negative signal peaks remains the same in absolute terms (see above). This corresponds to the maximum magnetic flux Φ of the permanent magnet inside an individual coil. The maximum magnetic flux therefore reaches the same value of $\Phi_{\text{max}} \approx 250 \mu\text{Vs}$ within the given measurement tolerances.

Ley de inducción de Faraday

PRODUCCIÓN DE UN IMPULSO DE TENSIÓN EN UN BUCLE CONDUCTOR POR MEDIO DE UN IMÁN PERMANENTE EN MOVIMIENTO

- Observación del movimiento de un imán permanente a través de varias bobinas de inducción conectadas en serie.
- Medición del curso temporal de la tensión inducida.
- Cálculo del curso temporal del flujo magnético.

UE3040100

12/23 UD

FUNDAMENTOS GENERALES

Cada cambio del flujo magnético a través de un bucle conductor cerrado induce en éste una tensión eléctrica. Un cambio como tal se puede producir, por ejemplo, cuando un imán permanente se mueve a través de un bucle conductor fijo (Fig. 2).

En este caso es muy instructivo, además de observar la tensión inducida dependiente del tiempo,

$$(1) \quad U(t) = - \frac{d\Phi}{dt}(t),$$

Φ : Flujo magnético

también el llamado impulso de tensión

$$(2) \quad \int_{t_1}^{t_2} U(t) \cdot dt = \Phi(t_1) - \Phi(t_2)$$

Éste corresponde a la diferencia del flujo magnético al principio (t_1) y al final (t_2) de un proceso observado.

En el experimento, un imán permanente cae por un tubo que lleva seis bobinas de inducción de igual construcción conectadas en serie. Se representa el curso temporal de la tensión inducida (curva verde en la figura 3), cuya amplitud se hace cada vez mayor por el movimiento progresivo del imán, porque la velocidad del imán aumenta continuamente.

El área bajo las señales de tensión tanto positivas como negativas son iguales en valor absoluto. Éstas corresponden al máximo flujo Φ del imán permanente dentro de cada una de las bobinas.



Fig. 1: Disposición de medición

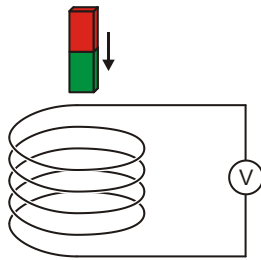


Fig. 2: Principio de medición

LISTA DE APARATOS

1	Tubo con 6 bobinas de inducción	1001005 (U8511200)
1	Sensor de tensión diferencial de 500 mV	1021681 (UCMA-BT32i)
1	Cable de sensor	1021514 (UCMA-BTsc1)
1	Data Logger WiLab	1022284
1	Software Coach 7	

Encontrará más información sobre la medición digital en el sitio web del experimento, en la tienda virtual de 3B.

MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA



Tubo con 6 bobinas de inducción

Nota:



¡Golpes y sacudidas así como fuerzas que actúen lateralmente sobre el tubo pueden producir daños del aparato!

- Evite exponer el tubo a esfuerzos mecánicos.
- Emplace el zócalo sobre una superficie de trabajo horizontal y plana.
- Se inserta el tubo en la placa zócalo haciendo una presión leve.
- Coloque la placa de corcho por debajo del zócalo.

Data logger, sensor de tensión y software

- Instale el software en el PC que vaya a emplear para la medición.
- Conecte el data logger al PC de medición por medio del cable USB.
- Conecte el sensor de tensión por medio de los cables de experimentación de 4 mm rojo y negro a los casquillos también de 4 mm correspondientes del tubo y, a través del cable del sensor, al data logger.
- Inicie el software. Pulse el botón  de la ventana de inicio de sesión «Login» que se abre, seleccione el nombre de usuario «Nivel de Usuario: Autor» del menú desplegable, introduzca la contraseña «Clave de Autor:» y confirme con OK.
- Pulse el botón . En la ventana de ajuste de actividades «Opciones de Actividad» que se abre, confirme con «OK» las preselecciones.

El software establece la conexión con el data logger. En el marco inferior izquierdo de una de las cuatro ventanas aparece una imagen del data logger con el pictograma del sensor de tensión conectado.

- En la ventana que muestra el data logger, pulse con la tecla derecha del ratón el pictograma  del sensor de tensión. En el menú que se abre, pulse la opción de poner a cero («Llevar a Cero») y confirme con «OK».
- Pulse el botón , introduzca los siguientes parámetros y, a continuación, confirme con «OK»:

Método

Tipo: control por tiempo

Duración de la medición: 0,3 segundos

Frecuencia: 1000 por segundo

Número de mediciones: 300

Disparo:

Canal de disparo: Voltímetro diferencial


Nivel de disparo 0,1 mV

Dirección: Arriba


Tiempo de predisparo: 0,01 segundos

Nota:

Con miras a la evaluación resulta importante, en particular, ya durante la introducción de los parámetros de medición, seleccionar una óptima duración de medición (aquí: 0,3 s).

- Pulse el botón .

En la ventana derecha superior aparece la tabla de datos. Contiene columnas (todavía vacías) para el tiempo t y la tensión U .

- Pulse el botón . En el menú que se abre, seleccione la opción que permite introducir un nuevo diagrama («Agregar nueva»), desplace el cursor del ratón sobre la ventana superior izquierda y pulse en ella.

En dicha ventana aparecerá un diagrama (todavía vacío).


- En la tabla de datos, pulse el símbolo «t(s)» del encabezamiento de la primera columna y llévelo, con la tecla del ratón pulsada, hacia el botón inferior del diagrama y, en cuanto aparezca un marco azul, púlselo. Pulse el símbolo «V(mV)» del encabezamiento de la segunda columna y llévelo, con la tecla del ratón pulsada, hacia el botón izquierdo del diagrama y, en cuanto aparezca un marco azul, púlselo.

Ahora se le ha asignado el eje X del diagrama al tiempo y el Y a la tensión.

El data logger y el software se encuentran ahora configuradas para la medición.

REALIZACIÓN

El signo de la tensión se fija de tal forma que durante la fase de entrada del imán en el bucle conductor se induce una tensión positiva. Para ello, dado el caso, se deberá realizar dos veces la secuencia de medición descrita a continuación puesto que el signo de la tensión depende de cómo se deje caer el imán en el tubo; es decir, con el polo norte o sur por delante (Fig. 2).

- Inicie la medición con el software pulsando el botón . Se abre una ventana de espera por el disparo «Esperando un evento con condición».
- Sostenga el imán en la abertura superior del tubo y suéltelo. La medición se inicia automáticamente una vez que se alcanza el umbral de disparo seleccionado y se detiene también automáticamente en función de la duración de medición ajustada.

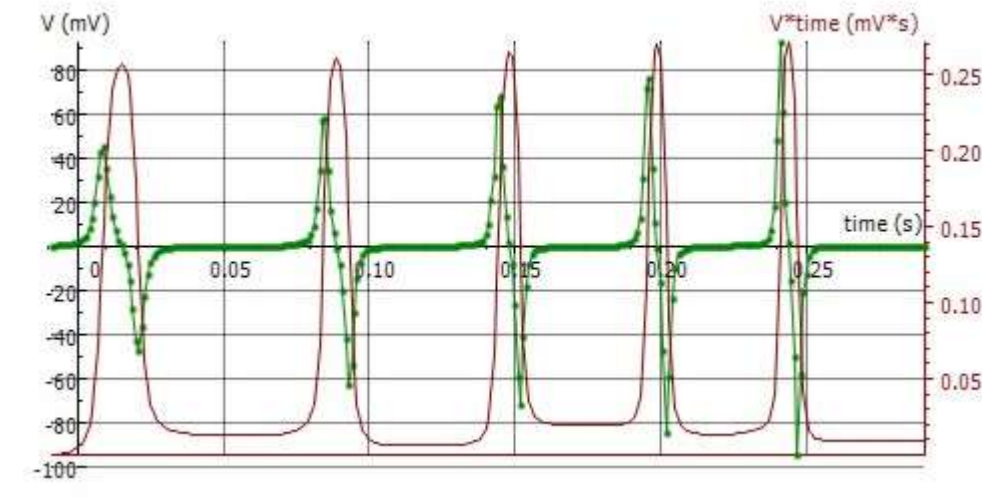


Fig. 3: Curvas en el tiempo de la tensión U inducida y del flujo magnético Φ


EJEMPLO DE MEDICIÓN Y EVALUACIÓN

Tensión de inducción

La curva verde de la figura 3 muestra la curva de tensión registrada.


Cómo se indicó en el apartado dedicado a la realización, durante la fase de inmersión del imán en la bobina del conductor se induce una tensión positiva. Esta tensión llega a cero cuando el imán alcanza el centro de la bobina. Durante la fase de salida del imán se induce una tensión negativa. Dado que la velocidad del imán aumenta al progresar en su movimiento de bobina a bobina, por una parte, aumentarán siempre los valores de las señales de tensión pero el ancho de estos picos se hará más delgado, esto significa que el área de las superficies que se encuentran por debajo de las señales positivas y negativas permanecen iguales en términos de su valor absoluto.

Flujo magnético

- Pulse el botón  del diagrama y, en el menú que se abre, elija la opción de integración («Integral»). En la ventana que se abre pulse la opción de «Integral» en el botón « Graficar».

En la ventana «Integral» del diagrama se muestra la variable « $V*t$ » en la unidad « $mV*s$ » (curva violeta de la Fig. 3). Esta corresponde al flujo magnético Φ según la ecuación (2).

- Cierre la ventana «Integral» pulsando «OK».

En la tabla de datos aparece una tercera columna « $V*t$ ($mV*s$)» y en la punta del cursor el símbolo « $V*t$ ».

- Pulse en la ventana inferior derecha, la única todavía vacía de las cuatro.

Se representa en forma de diagrama la variable « $V*t$ ($mV*s$)» en función del tiempo. Proceda de la siguiente manera para representar en la ventana izquierda de manera conjunta la tensión de inducción y el flujo magnético.

- En la tabla de datos, pulse el símbolo « $V*t$ ($mV*s$)» del encabezamiento de la tercera columna y llévelo, con la tecla del ratón pulsada, hacia el botón derecho del diagrama y, en cuanto aparezca un marco azul, púlselo.

El eje Y del diagrama ha sido asignado ahora al flujo magnético. Para conseguir una representación óptima de la curva correspondiente proceda de la siguiente manera:

- Pulse con la tecla derecha del ratón el fondo del diagrama y, en el menú que se abre, seleccione la opción que permite modificar la sección visualizada («Acercamiento al Ajuste»).

La escala del eje se modifica automáticamente de manera que la curva aparece con una representación óptima. En el caso de otras mediciones, tanto la tensión de inducción como el flujo magnético se representan automáticamente en el diagrama.

El flujo magnético asume su valor mayor si la tensión inducida llega a cero (Fig. 3); es decir, el imán ha llegado al centro de la bobina. El área de debajo de todas las señales positivas y negativas permanece igual en términos de su valor absoluto (véase más arriba). Estas corresponden al flujo magnético Φ máximo del imán permanente en el interior de una sola bobina. Por esto, el flujo magnético máximo, dentro del marco de la precisión de medida, llega en todas las bobinas al mismo valor de $\Phi_{\max} \approx 250 \mu Vs$.

Loi de Faraday sur l'induction

PRODUCTION D'UN PIC DE SURTENSION DANS UNE BOUCLE CONDUCTRICE À L'AIDE D'UN AIMANT PERMANENT EN MOUVEMENT

- Observation du mouvement d'un aimant permanent passant à travers plusieurs bobines d'inductance couplées en série.
- Mesure de l'allure temporelle de la tension induite.
- Calcul de l'allure temporelle du flux magnétique.

UE3040100

12/23 UD

NOTIONS DE BASE GENERALES

Chaque variation du flux magnétique traversant une boucle conductrice fermée induit une tension électrique dans celle-ci. Le mouvement d'un aimant permanent à travers une boucle conductrice fixe provoque par exemple une telle variation (Fig. 2).

Dans ce cas, il est instructif de prendre en compte, outre la tension induite en fonction du temps

$$(1) \quad U(t) = - \frac{d\Phi}{dt}(t),$$

Φ : flux magnétique

ce que l'on appelle le pic de surtension

$$(2) \quad \int_{t_1}^{t_2} U(t) \cdot dt = \Phi(t_1) - \Phi(t_2)$$

Il correspond à la différence entre le flux magnétique initial (t_1) et le flux magnétique final (t_2) du phénomène observé.

Dans le cadre de l'expérience, on fait passer un aimant permanent à travers un tube équipé de six bobines d'inductance identiques couplées en série. On enregistre l'allure temporelle de la tension induite (courbe verte dans la Fig. 3).

L'amplitude de cette tension augmente au passage de l'aimant d'une bobine à l'autre, compte tenu du fait que la vitesse de l'aimant s'accroît sans cesse.

Les surfaces sous tous les signaux de tension positifs et négatifs sont identiques, comme l'indique la valeur. Elles correspondent au flux maximum Φ de l'aimant permanent à l'intérieur d'une seule bobine.



Fig. 1: Disposition pour mesure

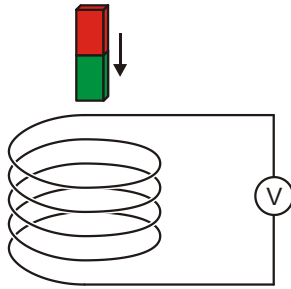


Fig. 2: Principe de mesure

LISTE DES APPAREILS

1	Tube à 6 bobines d'induction	1001005 (U8511200)
1	Capteur de tension 500 mV, différentiel	1021681 (UCMA-BT32i)
1	Câble spécial capteur	1021514 (UCMA-BTsc1)
1	Enregistreur de données WiLab	1022284
1	Logiciel Coach 7	

De plus amples informations sur la mesure numérique sont disponibles sur le site web de l'expérience dans la boutique en ligne 3B.

MONTAGE ET MISE EN SERVICE



Tube à 6 bobines d'induction

Note :



Tout choc ou toute force exercée latéralement sur le tube risque d'endommager l'appareil.

- Ne pas soumettre le tube à des contraintes mécaniques.
- Placer le socle sur une surface plane et horizontale.
- Insérer le tube dans le socle en exerçant une légère pression.
- Placer la plaque en liège sous le socle.

Enregistreur de données, capteur de tension et logiciel

- Installer le logiciel sur l'ordinateur de mesure.
- Avec le câble USB, branchez l'enregistreur de données à l'ordinateur de mesure.
- Brancher le capteur de tension aux douilles 4 mm du tube à l'aide du câble d'expérimentation 4 mm rouge et noir et à l'enregistreur de données à l'aide du câble du capteur.
- Démarrer le logiciel. Cliquer sur la . Dans la fenêtre « Connexion » qui s'ouvre alors, sélectionner « Niveau d'utilisateur : Auteur » dans le menu déroulant, taper le mot de passe d'auteur « Clé de l'auteur : » et confirmer avec OK.
- Cliquer sur la touche . Dans la fenêtre « Options d'activité » qui s'ouvre alors, confirmer les présélections en cliquant sur OK.

Le logiciel établit la liaison avec l'enregistreur de données. Une image de l'enregistreur de données avec le pictogramme du capteur de tension connecté s'affiche dans la fenêtre en bas à gauche.

- Dans la fenêtre qui affiche l'enregistreur de données, effectuer un clic droit sur le pictogramme  pour le capteur de tension. Dans le menu qui s'ouvre alors, cliquer sur « Régler à zéro », puis confirmer avec « OK ».
- Cliquer sur la touche , taper les paramètres suivants, puis confirmer avec OK :

Méthode

Type : commandé dans le temps

Durée de mesure : 0,3 seconde

Fréquence : 1000 par seconde

Nombre de mesures : 300

Synchronisation

Entrée de synchro : voltmètre différentiel


Niveau synchro : 0,1 mV

Sens : haut


Pré-synchronisation : 0,01 seconde

Note :

Pour l'évaluation, il est important de sélectionner le mieux possible, notamment la durée de la mesure (ici : 0,3 s) dès la saisie des paramètres de mesure.

- Cliquer sur la touche .

Le tableau de données s'ouvre dans la fenêtre en haut à droite. Il contient des colonnes (encore vierges) pour la durée t et la tension U .

- Cliquer sur la touche . Dans le menu « Ajouter un nouveau » qui s'ouvre alors, déplacer le pointeur de la souris dans la fenêtre en haut à gauche et cliquer dans la fenêtre.

La fenêtre affiche un diagramme (encore vierge).


- Dans le tableau de données, cliquer sur le symbole de temps « t(s) » dans le titre de la première colonne, maintenir le bouton de la souris pressé et déplacer le symbole dans la touche de diagramme du bas puis, lorsqu'un cadre bleu apparaît, cliquer dans le cadre. Cliquer sur le symbole de tension « V(mV) » dans le titre de la deuxième colonne, maintenir le bouton de la souris pressé et déplacer le symbole dans la touche de diagramme gauche puis, lorsqu'un cadre bleu apparaît, cliquer dans le cadre.

L'axe x du diagramme représente le temps, l'axe y la tension.

À présent, l'enregistreur de données et le logiciel sont configurés pour la mesure.

REALISATION

Le signe de polarité de la tension est défini de manière à ce qu'une tension positive soit induite pendant la phase de passage de l'aimant dans la bobine conductrice. Pour cela, procéder deux fois à la mesure décrite ci-dessous, car le signe de la tension dépend du sens dans lequel l'aimant tombe dans le tube, à savoir avec le pôle nord ou le pôle sud en avant (Fig. 2).

- Démarrer la mesure dans le logiciel en cliquant sur la touche . La fenêtre « En attente d'un événement déclencheur » s'affiche.
- Tenir l'aimant dans l'orifice supérieur, puis le lâcher. La mesure démarre automatiquement lorsque le seuil de déclenchement est atteint et s'arrête automatiquement lorsque le temps de mesure réglé est écoulé.

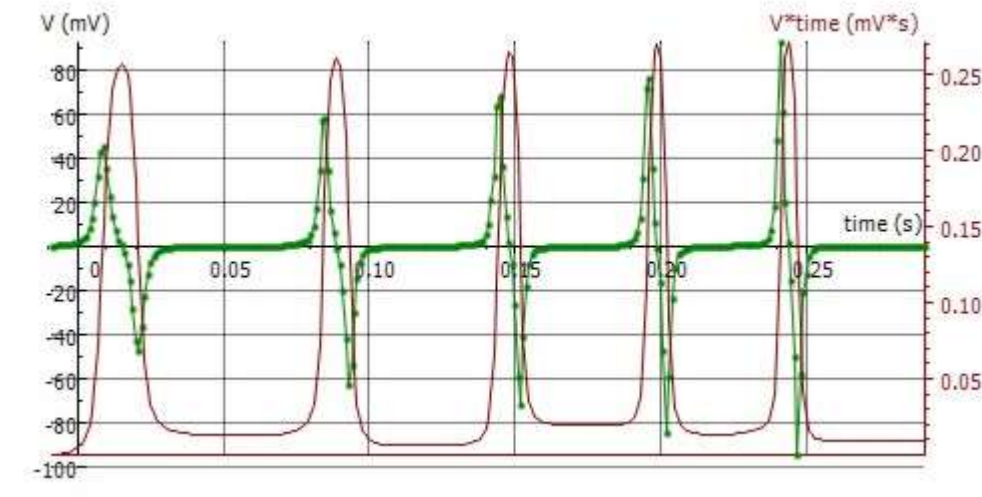


Fig. 3: Courbes de temps de la tension induite U et du flux magnétique Φ


EXEMPLE DE MESURE ET EVALUATION

Tension d'induction

La courbe verte dans la Fig. 3 indique l'évolution de la tension.


Comme nous l'avons déterminé dans la réalisation, une tension positive est induite pendant la phase d'introduction de l'aimant dans la bobine conductrice. La tension induite retourne à zéro lorsque l'aimant atteint le centre de la bobine. Ensuite, une tension négative est induite pendant la phase de sortie de l'aimant. Comme la vitesse de l'aimant augmente au fur et à mesure qu'augmente le mouvement d'une bobine à l'autre, les signaux de tensions deviennent plus importants, mais en même temps plus étroits, c.-à-d. que les surfaces sous tous les signaux de tension positifs et négatifs présentent la même valeur.

Flux magnétique

- Dans le diagramme, cliquer sur la touche  et, dans le menu qui s'ouvre, sélectionner « Intégrale ». Dans la fenêtre « Intégrale » qui s'ouvre, cliquer sur la touche « Démarrer ».

La fenêtre « Intégrale » du diagramme affiche la grandeur « $V \cdot t$ » dans l'unité « $mV \cdot s$ » (courbe violette dans la Fig. 3). Selon l'équation (2), elle correspond au flux magnétique Φ .

- Refermer la fenêtre « Intégrale » en cliquant sur « OK ».

Dans le tableau de données, une troisième colonne « $V \cdot t$ ($mV \cdot s$) » s'affiche, ainsi que le symbole «  $V \cdot t$ » sur la flèche du curseur.

- Cliquer dans la fenêtre encore vierge en bas à droite.

Le rapport entre le temps et la grandeur « $V \cdot t$ ($mV \cdot s$) » est représenté sous forme de diagramme. Pour représenter en même temps la tension d'induction et le flux magnétique dans le diagramme dans la fenêtre en haut à gauche, procéder de la manière suivante :

- Dans le tableau de données, cliquer sur la grandeur « $V \cdot t$ ($mV \cdot s$) » dans le titre de la troisième colonne, maintenir le bouton de la souris pressé et déplacer le symbole dans la touche de diagramme de droite puis, lorsqu'un cadre bleu apparaît, cliquer dans le cadre.

À présent, le flux magnétique est assigné à l'axe y droit du diagramme. Procéder de la manière suivante pour obtenir une représentation optimale de la courbe correspondante :

- Clic droit dans le fond du diagramme puis, dans le menu qui s'ouvre alors, sélectionner « Zoomer per ajuster ».

La mise à l'échelle de l'axe est sélectionnée automatiquement pour représenter la courbe de manière optimale. Pour les mesures suivantes, la tension d'induction et le flux magnétique sont représentés automatiquement dans le diagramme.

Le flux magnétique prend sa valeur maximale lorsque la tension induite retourne à zéro (Fig. 3), c.-à-d. que l'aimant atteint le centre de la bobine. Les surfaces sous tous les signaux de tension positifs et négatifs présentent la même valeur (voir plus haut). Elles correspondent au flux magnétique maximal Φ de l'aimant permanent à l'intérieur d'une bobine. C'est pourquoi, dans le cadre de la précision de mesure, le flux magnétique maximal atteint la même valeur $\Phi_{\max} \approx 250 \mu V \cdot s$ pour toutes les bobines.

Legge di induzione di Faraday

PRODUZIONE DI UNA SOVRATENSIONE MOMENTANEA IN UN CONDUTTORE AD ANELLO MEDIANTE L'USO DI UN MAGNETE PERMANENTE IN MOVIMENTO

- Osservazione del movimento di un magnete permanente attraverso diverse bobine d'induzione collegate in serie.
- Misurazione dell'andamento cronologico della tensione indotta.
- Calcolo dell'andamento cronologico del flusso magnetico.

UE3040100

12/23 UD

BASI GENERALI

Qualsiasi variazione del flusso magnetico attraverso un conduttore ad anello chiuso induce in quest'ultimo una tensione elettrica. Una tale variazione viene provocata, per es., quando un magnete permanente viene spostato in un conduttore ad anello fisso (Fig. 2).

In tal caso è istruttivo, oltre alla tensione indotta in funzione del tempo

$$(1) \quad U(t) = -\frac{d\Phi}{dt}(t),$$

Φ : flusso magnetico

considerare anche la cosiddetta sovratensione momentanea

$$(2) \quad \int_{t_1}^{t_2} U(t) \cdot dt = \Phi(t_1) - \Phi(t_2)$$

corrispondente alla differenza del flusso magnetico all'inizio (t_1) e alla fine (t_2) di un processo osservato.

Nell'esperimento, un magnete permanente cade attraverso un tubo con sei bobine d'induzione con caratteristiche costruttive identiche collegate in serie. Viene registrato l'andamento cronologico della tensione indotta (curva verde in Fig. 3), la cui ampiezza aumenta sempre più con il moto progressivo del magnete da una bobina all'altra, in quanto la velocità del magnete aumenta sempre più.

Le superfici su cui agiscono tutti i segnali di tensione positivi e negativi sono identiche di valore e corrispondono al flusso massimo Φ del magnete permanente all'interno di una singola bobina.



Fig. 1: Disposizione per la misurazione

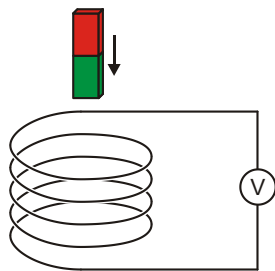


Fig. 2: Principio di misura

ELENCO DEGLI STRUMENTI

1	Tubo con 6 bobine d'induzione	1001005 (U8511200)
1	Sensore di tensione 500 mV, differenziale	1021681 (UCMA-BT32i)
1	Cavo del sensore	1021514 (UCMA-BTsc1)
1	Data logger WiLab	1022284
1	Software Coach 7	

Ulteriori informazioni sulla misurazione digitale sono disponibili sul sito web dell'esperimento, nel webshop 3B.

MONTAGGIO E MESSA IN SERVIZIO



Tubo con 6 bobine d'induzione

Note:


Colpi, urti nonché forze agenti lateralmente sul tubo potrebbero danneggiare l'apparecchio!

- Non esporre il tubo a sollecitazioni meccaniche.
- Collocare la base su una superficie di lavoro orizzontale piana.
- Inserire il tubo nella piastra di base esercitando una leggera pressione.
- Posizionare la piastra in sughero sotto alla base.

Data logger, sensore di tensione e software

- Installare il software sul computer di misurazione.
- Collegare il data logger al computer.
- Collegare il sensore di tensione alle prese da 4 mm del tubo di caduta utilizzando i cavi per esperimenti rosso e nero da 4 mm e al data logger utilizzando il cavo del sensore.
- Avviare il software. Cliccare sul pulsante , e nella finestra di "Login" che si aprirà, selezionare il nome utente "Livello utente: Autore" dall'elenco di riepilogo a discesa, inserire la password autore "Chiave autore:" e confermare con OK.
- Cliccare sul pulsante . Nella finestra aperta "Opzioni attività" confermare con OK le preselezioni.

Il software crea il collegamento al data logger. In basso a sinistra delle quattro finestre compare un'immagine del data logger con i pittogrammi dei sensori di tensione collegati.

- Nella finestra riferita al data logger, fare clic con il tasto destro del mouse sul pittogramma  per il sensore di tensione. Nella finestra che si aprirà, cliccare su "Imposta a zero" e confermare con "OK".

- Cliccare sul pulsante , impostare i seguenti parametri e confermare infine con OK:

Metodo

Tipo: a temporizzazione

Durata misura: 0,3 secondi

Frequenza: 1000 al secondo

Numero di misurazioni: 300

Trigger

Canal di trigger: voltmetro differenziale


Livello di trigger: 0,1 mV

Direzione: in salita


Durata pre-trigger 0,01 secondi

Nota:

Ai fini della valutazione, è importante selezionare con attenzione in particolare la durata di misura (qui: 0,3 s) già all'inserimento dei parametri di misurazione.

- Cliccare sul pulsante .

La tabella dei dati verrà visualizzata nella finestra in alto a destra. Essa contiene colonne (ancora vuote) per il tempo t e la tensione U .

- Cliccare sul pulsante . Nel menù che si aprirà, selezionare "Aggiungi nuovo", portare il cursore del mouse sulla finestra in alto a sinistra e cliccare sulla finestra.

Nella finestra compare un diagramma (ancora vuoto).


- Nella tabella dei dati, cliccare sul simbolo del tempo " $t(s)$ " nel titolo della prima colonna, trascinare sulla parte inferiore del diagramma tenendo premuto il tasto del mouse e, quando appare una cornice blu, cliccare sulla cornice. Cliccare sul simbolo della tensione " $V(mV)$ " nel titolo della seconda colonna, trascinare sulla parte sinistra del diagramma tenendo premuto il tasto del mouse e, quando appare una cornice blu, cliccare sulla cornice.

All'asse x del diagramma è associato il tempo, all'asse y la tensione.

Il data logger e il software sono configurati e pronti per la misurazione.

ESECUZIONE

Il segno della tensione viene stabilito in modo che durante la fase di immersione del magnete venga indotta una tensione positiva nella bobina conduttrice. A tale scopo, è necessario eseguire la procedura di misurazione di seguito descritta anche due volte, poiché il segno della tensione dipende da come il magnete viene lasciato cadere nel tubo, ovvero se prima con il polo nord o con il polo sud (Fig. 2).

- Avviare la misurazione nel software cliccando sul pulsante . Si apre la finestra "In attesa dell'evento trigger".
- Reggere il magnete nell'apertura superiore del tubo e rilasciarlo. La misurazione parte automaticamente quando la soglia trigger impostata viene raggiunta e si arresta automaticamente una volta terminato il tempo di misurazione impostato.

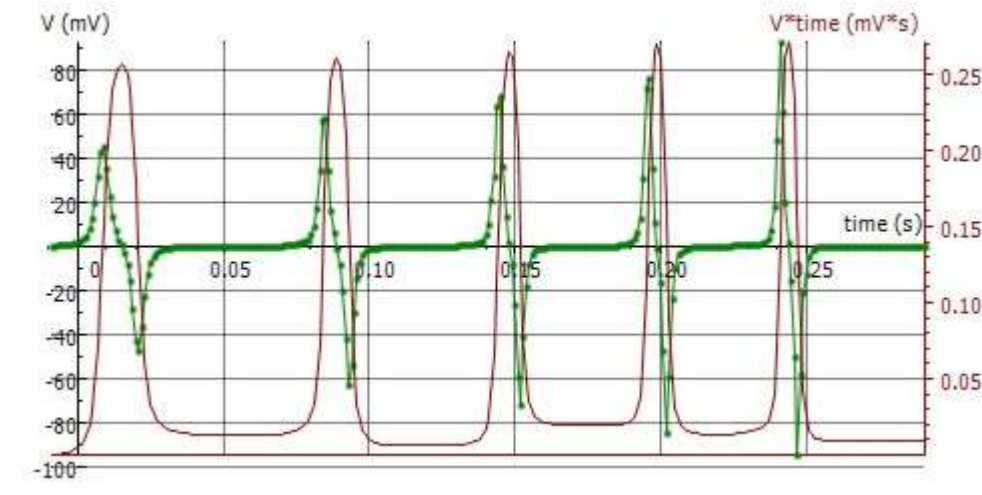


Fig. 3: Andamenti temporali della tensione indotta U e del flusso magnetico Φ


ESEMPIO DI MISURAZIONE E ANALISI

Tensione d'induzione

La curva verde in Fig. 3 mostra l'andamento della tensione registrato.


Come stabilito durante l'esecuzione, durante la fase di immersione del magnete viene indotta nella bobina conduttrice una tensione positiva. La tensione indotta ritorna a zero quando il magnete raggiunge il centro della bobina. Durante la successiva fase di uscita del magnete viene indotta una tensione negativa. Poiché la velocità del magnete aumenta sempre più con il moto progressivo del magnete da una bobina all'altra, i segnali di tensione da un lato assumono un valore sempre maggiore, dall'altro divengono sempre più sottili, ovvero le superfici su cui agiscono tutti i segnali di tensione positivi e negativi sono identiche di valore.

Flusso magnetico

- Nel diagramma cliccare sul pulsante  e, nel menù che si apre, selezionare "Integrale". Nella finestra aperta "Integrale" fare clic sul pulsante "Traccia".

Nel diagramma, nella finestra "Integrale" è rappresentata la grandezza " $V*t$ " nell'unità " $mV*s$ " (curva viola in Fig. 3). In base all'equazione (2) essa corrisponde al flusso magnetico Φ .

- Chiudere la finestra "Integrale" cliccando su "OK".

Nella tabella dei dati compare una terza colonna " $V*t$ ($mV*s$)", e sulla freccia del cursore il simbolo  $V*t$.

- Fare clic sulla quarta finestra, ovvero quella ancora vuota in basso a destra.

La dipendenza dal tempo della grandezza " $V*t$ ($mV*s$)" è rappresentata come diagramma. Per la rappresentazione comune della tensione d'induzione e del flusso magnetico nel diagramma nella finestra in alto a sinistra, procedere come segue:

- Nella tabella dei dati, cliccare sulla grandezza " $V*t$ ($mV*s$)" nel titolo della terza colonna, trascinare sulla parte destra del diagramma tenendo premuto il tasto del mouse e, quando appare una cornice blu, cliccare sulla cornice.

All'asse y destro del diagramma è ora associato il flusso magnetico. Per rappresentare in maniera ottimale la curva corrispondente, procedere come segue:

- Fare clic con il tasto destro del mouse sullo sfondo del diagramma e selezionare nel menù che si apre l'opzione "Adatta alla finestra".

Viene così selezionata la scala dell'asse più adatta a rappresentare al meglio la curva. Nel corso delle successive misurazioni, verranno automaticamente rappresentate nel diagramma sia la tensione d'induzione sia il flusso magnetico.

Il flusso magnetico assumerà il valore minimo quando la tensione indotta torna a zero (Fig. 3), cioè quando il magnete raggiunge il centro della bobina. Le superfici su cui agiscono tutti i segnali di tensione positivi e negativi sono identiche di valore (vedi sopra) e corrispondono al flusso magnetico massimo Φ del magnete permanente all'interno di una singola bobina. Il flusso magnetico massimo raggiunge pertanto per tutte le bobine, nei limiti della precisione di misurazione, il medesimo valore $\Phi_{\max} \approx 250 \mu Vs$.

Lei da indução de Faraday

PRODUÇÃO DE UM AUMENTO ABRUPTO DA TENSÃO ELÉTRICA EM UM LAÇO CONDUTOR COM AUXÍLIO DE UM ÍMÃ PERMANENTE MÓVEL

- Observação do movimento de um ímã permanente através de várias bobinas de indução conectadas em série.
- Medição da progressão no tempo da tensão induzida.
- Cálculo da progressão no tempo do fluxo magnético.

UE3040100

12/23 UD

FUNDAMENTOS GERAIS

Cada modificação do fluxo magnético através de um laço condutor fechado induz nesse laço uma tensão elétrica. Uma modificação assim é provocada, por exemplo, quando um ímã permanente é movimentado através de um laço condutor fixo (Fig. 2).

Neste caso, é instrutivo observar, além da tensão induzida dependente do tempo,

$$(1) \quad U(t) = -\frac{d\Phi}{dt}(t),$$

Φ : Fluxo magnético

também o aumento abrupto da tensão

$$(2) \quad \int_{t_1}^{t_2} U(t) \cdot dt = \Phi(t_1) - \Phi(t_2)$$

Ele está relacionado com a diferença do fluxo magnético no início (t_1) e no final (t_2) de uma ação observada.

No experimento, um ímã permanente cai através de um tubo com seis bobinas idênticas conectadas em série. O curso temporal da tensão induzida é anotado (curva verde na Fig. 3).

A amplitude dessa tensão aumenta de bobina para bobina, à medida que o movimento avança, pois a velocidade do ímã sempre cresce.

As superfícies sob todos os sinais de tensão positivos e negativos são de mesmo valor. Elas correspondem ao fluxo máximo Φ do ímã permanente no interior de uma única bobina.



Fig. 1: Disposição de medição

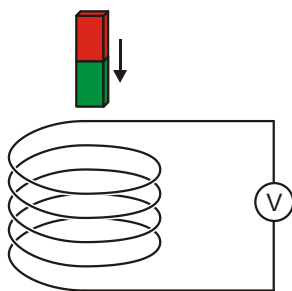


Fig. 2: Princípio de medição

LISTA DE APARELHOS

1	Tubo com 6 bobinas de indução	1001005 (U8511200)
1	Sensor de voltagem 500 mV, diferencial	1021681 (UCMA-BT32i)
1	Cabo de sensor	1021514 (UCMA-BTsc1)
1	Data logger WiLab	1022284
1	Software Coach 7	

Mais informações sobre a medição digital podem ser encontradas no site do experimento na loja virtual da 3B.

MONTAGEM E COLOCAÇÃO EM OPERAÇÃO

Tubo com 6 bobinas de indução

Observação:

Golpes e choques, assim como forças agindo lateralmente sobre o tubo podem levar a danificação do aparelho!

- Não expor o tubo a cargas mecânicas.
- Posicionar a base sobre área de trabalho horizontal plana.
- Inserir o tubo na placa de base com pressão ligeira.
- Colocar a chapa de cortiça sob a base.

Data logger, sensor de voltagem e software

- Instalar o software no computador de medição.
- Conectar o data logger ao computador de medição com o cabo USB.
- Conectar o sensor de voltagem com auxílio do cabo vermelho e preto de experiências de 4 mm nos respectivos conectores de 4 mm do tubo e, com auxílio do cabo de sensor, ao data logger.
- Iniciar o software. Clicar no botão, selecionar, na janela que se abre "Login (registrar-se)", o nome de usuário "User level: Author (autor)" do menu suspenso, inserir a senha do autor "Author key" e confirmar com OK.
- Clicar no botão . Na janela que se abre "Activity Options (ajustes para atividades)", confirmar as pré-seleções clicando nelas e confirmar com OK.

O software realiza a conexão com o data logger. Uma imagem do data logger com o pictograma do sensor de voltagem conectado surge na janela mais inferior à esquerda das quatro.

- Na janela que mostra o data logger, clicar o pictograma para o sensor de voltagem com o botão direito do mouse. No menu que se abre, clicar em "Set to zero (ajustar para zero)" e confirmar com "OK".

- Clicar no botão , inserir os parâmetros a seguir e, em seguida, confirmar com OK.

Method (Método)

Type (Tipo): Time-based (Comandado por tempo)

Duration of measurement (Duração da medição): 0,3 segundos

Frequency (Frequência): 1000 por segundo

Number of measurements (Número de medições): 300

Triggering (Trigger)

Trigger channel (Canal de trigger): Differential voltmeter (Voltímetro diferencial)

Trigger level (Limiar de trigger): 0,1 mV

Direction (Direção): up (para cima)

Pre-trigger time (Tempo pré-trigger): 0,01 segundos

Observação:

Com relação à avaliação, é importante selecionar de forma ideal sobretudo a duração da medição (aqui: 0,3 s) já na inserção dos parâmetros de medição.

- Clicar no botão .

A tabela de dados aparece na janela superior direita. Ela contém colunas (ainda vazias) para o tempo t e a voltagem U .

- Clicar no botão . No menu que se abre, selecionar "Add new (Adicionar novo)" mover o cursor do mouse para a janela superior esquerda e clicar na janela.

Na janela, aparece um diagrama (ainda vazio).

- Na tabela de dados, clicar no símbolo de tempo "t(s)" da primeira coluna, arrastar com o botão do mouse pressionado para a área inferior do diagrama e, quando aparecer um quadro azul, clicar no quadro. Clicar no símbolo de voltagem "V(mV)" no título da segunda coluna, arrastar com o botão do mouse pressionado para a área esquerda do diagrama e, quando aparecer um quadro azul, clicar no quadro.

O eixo x do diagrama agora é o tempo que atribui a voltagem ao eixo y.

O data logger e o software estão configurados para a medição.

EXECUÇÃO

O sinal da tensão é determinado quando uma tensão positiva é induzida durante a fase de queda do ímã na bobina condutora. Para isto, o procedimento de medição descrito a seguir pode precisar ser realizado duas vezes, pois o sinal da voltagem depende da orientação com a qual o ímã é deixado cair no tubo, ou seja, se com o pólo norte ou sul adiante (Fig. 2).

- Iniciar a medição no software clicando no botão . Abre-se uma janela "Waiting for trigger event (Aguarde Trigger)".
- Segurar o ímã na abertura superior do tubo e largar. A medição se inicia automaticamente, quando o limiar de trigger ajustado tiver sido alcançado e para automaticamente após a duração de medição ajustada.

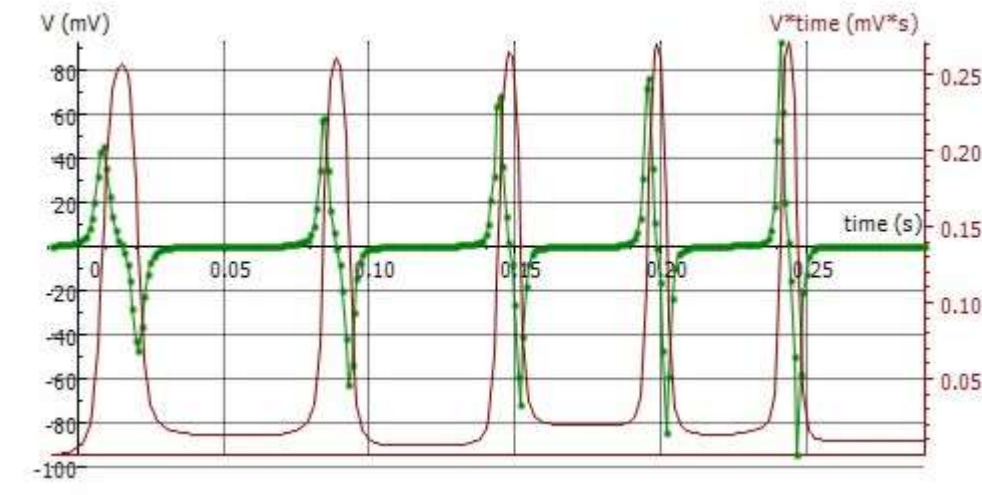


Fig. 3: Decursos temporais da voltagem induzida U e do fluxo magnético Φ


EXEMPLO DE MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO

Voltagem de indução

A curva verde na Fig. 3 mostra o decurso registrado da voltagem.


Como determinado na execução, uma voltagem positiva é induzida na bobina condutora durante a fase de imersão do imã. A voltagem induzida retorna a zero quando o imã alcança o centro da bobina. Durante a fase subsequente de saída do imã, uma voltagem negativa é induzida. Como a velocidade do imã aumenta como movimento progressivo de bobina para bobina, por um lado, os sinais da voltagem possuem valores cada vez maiores, por outro, eles ficam cada vez mais estreitos, ou seja, as áreas sob todos os sinais de voltagem positivos e negativos são iguais em termos de valor.

Fluxo magnético

- No diagrama, clicar no botão , e selecionar "integrar" no menu que se abre. Na janela "integral" que se abre, clicar no botão "Plot (início)".

No diagrama, na janela "Integral", a grandeza " $V \cdot t$ " é representada na unidade " $mV \cdot s$ " (curva violeta na Fig. 3). Esta corresponde, conforme a equação (2), ao fluxo magnético Φ .

- Fechar a janela "Integral", clicando em "OK".

Na tabela de dados, aparece uma terceira coluna " $V \cdot t (mV \cdot s)$ " e, na flecha do cursor, o símbolo  " $V \cdot t$ ".

- Clicar na janela ainda vazia das quatro em baixo, à direita.

A dependência do tempo da grandeza " $V \cdot t (mV \cdot s)$ " é representada como diagrama. Para a representação comum da voltagem de indução e do fluxo magnético no diagrama na janela em cima à esquerda, proceder conforme segue:

- Na tabela de dados, clicar na grandeza " $V \cdot t (mV \cdot s)$ " do título da terceira coluna, arrastar com o botão do mouse pressionado para a área direita do diagrama e, quando aparecer um quadro azul, clicar no quadro.

O fluxo magnético está agora atribuído ao eixo y direito do diagrama. Para a representação ideal da curva pertinente, proceder conforme segue:

- Clicar com o botão direito no fundo do diagrama e selecionar "Zoom to Fit (adequar seção)" no menu que se abre.

A escala do eixo é selecionada automaticamente de forma que a curva seja representada de forma ideal. Para outras medições, tanto a voltagem de indução, quanto o fluxo magnético são representados automaticamente no diagrama.

O fluxo magnético assume seu valor máximo quando a voltagem induzida volta a zero (Fig. 3), ou seja, quando o imã alcança o centro da bobina. As áreas sob todos os sinais positivos e negativos da voltagem são iguais em termos de valor (vide acima). Elas correspondem ao fluxo magnético máximo Φ do imã permanente no interior de cada bobina. Por isto, o fluxo magnético máximo alcança para todas as bobinas no âmbito da precisão de medição o mesmo valor $\Phi_{\max} \approx 250 \mu Vs$.