

## Lei da indução de Faraday

### PRODUÇÃO DE UM AUMENTO ABRUPTO DA TENSÃO ELÉTRICA EM UM LAÇO CONDUCTOR 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

05/18 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,

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

$\Phi$ : 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  $\Phi$  do ímã permanente no interior de uma única bobina.



Fig. 1: Disposição de medição.

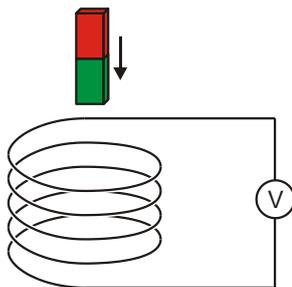


Fig. 2: Princípio de medição.

## LISTA DE APARELHOS

1	Tubo de queda 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	€Lab	1021478 (UCMA-008)
1	Coach 7, licença escolar 5 anos	1021522 (UCMA-18500)
ou		
1	Coach 7, licença universitária 5 anos	1021524 (UCMA-185U)

## MONTAGEM E COLOCAÇÃO EM OPERAÇÃO

### Tubo de queda

#### 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.

### €Lab, sensor de voltagem e Coach 7

- Instalar o software Coach 7 no computador de medição.
- Conectar o €Lab 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 de queda e, com auxílio do cabo de sensor, na entrada analógica 1 do €Lab.
- Iniciar o Coach 7. 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 "Activity type: Measurement (tipo atividade: Medição)" e "Interface: EuroLab", clicando nelas e confirmar com OK.

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

- Na janela mostrada pelo €Lab, 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): Canal: Differential voltmeter (Voltímetro diferencial)

Trigger threshold (Limiar de trigger): 0,1 mA

Edge direction (Direção): Rising (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 €Lab e o Coach 7 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 Coach 7 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.

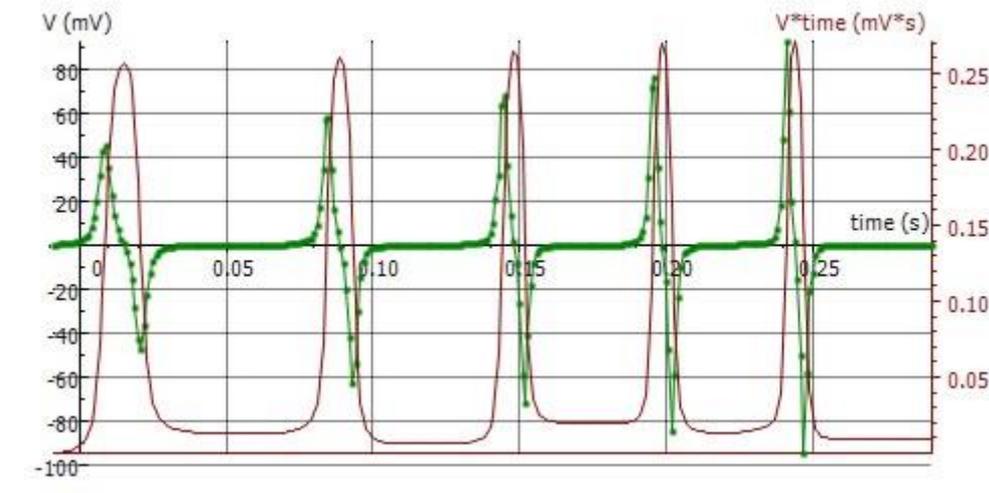


Fig. 3: Decursos temporais da tensão induzida  $U$  e do fluxo magnético  $\Phi$  (foto da tela do Coach 7).

## EXEMPLO DE MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO

### Voltagem de indução

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

Como determinado na execução, uma tensão positiva é induzida na bobina condutora durante a fase de imersão do ímã. A tensão induzida retorna a zero quando o ímã alcança o centro da bobina. Durante a fase subsequente de saída do ímã, uma tensão negativa é induzida. Como a velocidade do ímã aumenta como movimento progressivo de bobina para bobina, por um lado, os sinais da tensão possuem valores cada vez maiores, por outro, eles ficam cada vez mais estreitos, ou seja, as áreas sob todos os sinais de tensão 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 " $V*t$ " é representada na unidade " $mV*s$ " (curva violeta na Fig. 3). Esta corresponde, conforme a equação (2), ao fluxo magnético  $\Phi$ .

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

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

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

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

- Na tabela de dados, clicar na grandeza " $V*t$  ( $mV*s$ )" 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 tensão de indução, quanto o fluxo magnético são representados automaticamente no diagrama.

O fluxo magnético assume seu valor máximo quando a tensão induzida volta a zero (Fig. 3), ou seja, quando o ímã alcança o centro da bobina. As áreas sob todos os sinais positivos e negativos da tensão são iguais em termos de valor (vide acima). Elas correspondem ao fluxo magnético máximo  $\Phi$  do ímã 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  $\Phi_{\max} \approx 250 \mu Vs$ .