

Elektromagnetická indukce

Čím je indukované napětí ovlivňováno?

Obsah

Úvod	2
Cíle	2
Teoretický úvod	3
Elektromagnetická indukce	3
Faradayův zákon elektromagnetické indukce	3
Motivace studentů	3
Doporučený postup	4
Příprava úlohy	4
Materiály pro studenty	4
Záznam dat	4
Analýza dat	4
Syntéza a závěr	5
Hodnocení	5
Internetové odkazy a další zdroje	5
Pracovní návod	7
Zadání úlohy	7
Pomůcky	7
Bezpečnost práce	8

Teoretický úvod	8
Elektromagnetická indukce	8
Faradayův zákon elektromagnetické indukce	8
Příprava úlohy (praktická příprava)	8
Postup práce	9
Nastavení HW a SW	9
Příprava měření	9
Vlastní měření (záznam dat)	9
Analýza naměřených dat	10
Pracovní list učitele	11
Slovníček pojmů	11
Teoretická příprava úlohy	12
Vizualizace naměřených dat	12
Vyhodnocení naměřených dat	14
Závěr	14
Pracovní list studenta	15
Slovníček pojmů	15
Teoretická příprava úlohy	15
Vizualizace naměřených dat	16
Vyhodnocení naměřených dat	17
Závěr	17

Zařazení do výuky

Experiment je vhodné zařadit v rámci učiva o elektřině a magnetismu. Nestacionární magnetické pole.

Časová náročnost

Dvě hodiny (2 × 45 minut)

Slovníček pojmů

NESTACIONÁRNÍ
MAGNETICKÉ POLE

MAGNETICKÁ INDUKCE

MAGNETICKÝ INDUKČNÍ TOK

Přehled pomůcek

- PASPORT Xplorer
- PASPORT Magnetic field senzor
- PASPORT Voltage/Current senzor
- 2 nebo více cívek s různým počtem závitů
- 2 různé magnety
- *pracovní návod*
- *pracovní list*
- *ochranné pracovní pomůcky*

Úvod

V tomto laboratorním cvičení studenti zkoumají podmínky, které ovlivňují velikost indukovaného napětí při elektromagnetické indukci. Během experimentu měří změnu magnetického pole při pohybu magnetu v okolí cívky a změnu velikosti indukovaného napětí.

Cíle

Studenti by měli zvládnout:

- používat Magnetic field senzor a Voltage senzor,
- číst a analyzovat data z grafů, určit velikost indukovaného proudu,
- na základě daných dat zjistit, které okolnosti ovlivňují výslednou velikost indukovaného napětí.

Teoretický úvod

Elektromagnetická indukce

Nestacionární magnetické pole je příčinou vzniku **indukovaného elektrického pole** a tento jev nazýváme **elektromotorická indukce**. Mezi konci vodiče je **indukované elektromotorické napětí** U_i a uzavřeným obvodem prochází **indukovaný proud** I_i .

V našem případě bude vodivý obvod cívka v klidu a časově proměnné magnetické pole vzniká pohybem magnetu. Elektromagnetická indukce však nastane i v případě, že magnet bude v klidu a bude se pohybovat cívka.

Faradayův zákon elektromagnetické indukce

Elektromagnetickou indukci objevil M. Faraday na základě Oerstedova pokusu, kterým bylo prokázáno, že elektrický proud vytváří magnetické pole. Faraday naopak usiloval o důkaz, že magnetické pole vytváří elektrický proud. Úspěchu dosáhl, když navinul na společné jádro dvě cívky a při změně proudu v jedné z nich vznikl proud i ve druhé cívce.

Indukované elektromotorické napětí U_i je rovno záporně vzaté změně **magnetického indukčního toku**.

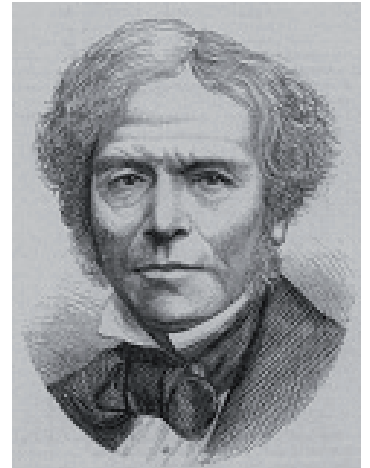
Matematicky vyjádřeno:

$$U_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Motivace studentů

Nejprve proběhne debata, které zdroje nestacionárního pole známe. Následně seznámíme studenty s poznatkem J. C. Maxwella z druhé poloviny 19. století.

Michael Faraday



James Clerk Maxwell

Již v druhé polovině 19. století prokázal J. C. Maxwell (1831 až 1879) následující poznatek:

Děje v nestacionárním magnetickém poli jsou vždy spojeny se vznikem nestacionárního magnetického pole. Jsou to děje elektromagnetické, při nichž nestacionární elektrické a magnetické pole jsou navzájem neoddělitelná a vytvářejí jediné pole elektromagnetické.

Maxwellovy rovnice

Jsou to čtyři základní zákony v makroskopické teorii elektromagnetického pole, které zformuloval James Clerk Maxwell v roce 1865. Lze je zapsat buď v integrálním, nebo diferenciálním tvaru. V integrálním tvaru popisují elektromagnetické pole v jisté oblasti, kdežto v diferenciálním tvaru v určitém bodu této oblasti.

- Zákon celkového proudu, zobecněný Ampérův zákon
- Zákon elektromagnetické indukce, Faradayův indukční zákon
- Gaussův zákon elektrostatiky
- Zákon spojitosti indukčního toku

**Tip**

Pokud budete při měření používat Magnetic field senzor, proveďte vždy jen jedno měření a uložte do paměti Xploreru. Při více měřeních, dochází k chybě měření změny magnetického pole (senzor měří nesmyslné hodnoty).

 **Gauss**

Gauss (případně v německé literatuře **Gauß**, zkratka **G** nebo **Gs**) je fyzikální jednotka magnetické indukce **B** v soustavě CGS. Je pojmenována po německém vědci C. F. Gaussovi. Její velikost je rovna

$$1\text{G} = 1\text{cm}^{-1/2}\text{g}^{1/2}\text{s}^{-1}$$

a převodní vztah do jednotek soustavy SI Tesla je

$$1\text{G} = 10^{-4}\text{T}.$$

Formálně je **gauss** roven jednotce **oersted**, ta se však v soustavě CGS používá pro vyjádření intenzity magnetického pole **H** a pouze ve vakuu platí $B = H$.

Doporučený postup

1. Každá pracovní skupina obdrží „pracovní návod“ a každý student dostane „pracovní list“. Studenti si nejprve přečtou návod a teprve pak začnou s přípravou vlastního experimentu.
2. Dopoučujeme, aby každý člen pracovní skupiny dostal svůj specifický úkol. Pro čtyřčlennou skupinu například:
 - *student 1* – vedoucí týmu – ručí za to, že skupina bude při práci postupovat podle pracovního návodu,
 - *student 2* – koordinuje vyplňování pracovních listů a vyplněné pracovní listy vybírá (každý student si vyplní svůj pracovní list),
 - *student 3, 4* – mají na starosti sestavení/nastavení a obsluhu použitých přístrojů.

Příprava úlohy

Nechte studenty vyplnit (za domácí úkol nebo na začátku práce) slovníček v „pracovním listě“. Je nezbytné, aby studenti tyto části vypracovali před vlastní experimentální činností.

Zjistěte, jak studenti přípravnou část úlohy vypracovali.

Materiály pro studenty

„Pracovní návod“ postupně provede studenty („krok za krokem“) celou úlohou.

„Pracovní list“ slouží studentům k zaznamenání získaných dat, jejich analýze a pochopení.

Záznam dat

Postup při zaznamenávání dat je popsán v „pracovním listu“. Upozorněte studenty na to, že před vlastním započítáním měření je třeba úloze opravdu porozumět.

Analýza dat

Naměřená data použijí studenti k zodpovězení otázek v „pracovním listu“.

V učitelské verzi pracovního listu jsou uvedeny typické odpovědi studentů.

Syntéza a závěr

Poté, co studenti vyplní své „pracovní listy“, společně shrneme získané poznatky a z naměřených dat vyvodíme závěr, které skutečnosti ovlivňují výslednou velikost indukovaného napětí.

Hodnocení

(Viz dříve uvedené cíle.)

- Sestavili a použili studenti laboratorní zařízení správně?
- Postupovali korektně podle pracovního postupu?
- Vypracovali studenti správně své pracovní listy?
- Odečetli hodnoty indukovaného napětí správně?
- Jsou studenti schopni správně formulovat závěr?

Internetové odkazy a další zdroje

Zákon elektromagnetické indukce

http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A1_indukce

Maxwellovy rovnice

http://cs.wikipedia.org/wiki/Maxwellovy_rovnice

Literatura

E. Svoboda a kolektiv: Přehled středoškolské fyziky



Pasco zdroje

Na stránkách www.pasco.com a www.pasco.cz naleznete řadu dalších zdrojů.



FYZIKA

laboratorní cvičení č. 5

5

• FYZIKA

Elektromagnetická indukce (návod)

Zadání úlohy

Zjistěte velikost indukovaného napětí v obvodu, které vzniká při pohybu magnetu v okolí cívky. Určete, které skutečnosti ovlivňují naměřenou hodnotu.

Pomůcky

- PASPORT Xplorer
- PASPORT Magnetic field senzor
- PASPORT Voltage/Current senzor
- 2 nebo více cívek s různým počtem závitů
- 2 různé magnety
- *pracovní návod*
- *pracovní list*
- *ochranné pracovní pomůcky*

PRACOVNÍ NÁVOD



Bezpečnost práce

Pracujte pečlivě a v souladu s pracovním návodem. V laboratoři používejte laboratorní plášť a případně další pomůcky v souladu se správnou laboratorní praxí.

Teoretický úvod

Elektromagnetická indukce

*Nestacionární magnetické pole je příčinou vzniku **indukovaného elektrického pole** a tento jev nazýváme **elektromotorická indukce**. Mezi konci vodiče je **indukované elektromotorické napětí** U_i a uzavřeným obvodem prochází **indukovaný proud** I_i .*

V našem případě bude vodivý obvod cívka v klidu a časově proměnné magnetické pole vzniká pohybem magnetu. Elektromagnetická indukce však nastane i v případě, že magnet bude v klidu a bude se pohybovat cívka.

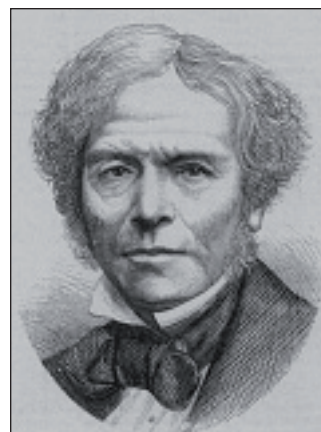
Faradayův zákon elektromagnetické indukce

Elektromagnetickou indukci objevil M. Faraday na základě Oerstedova pokusu, kterým bylo prokázáno, že elektrický proud vytváří magnetické pole. Faraday naopak usiloval o důkaz, že magnetické pole vytváří elektrický proud. Úspěchu dosáhl, když navinul na společné jádro dvě cívky a při změně proudu v jedné z nich vznikl proud i ve druhé cívce.

Indukované elektromotorické napětí U_i je rovno záporně vzaté změně **magnetického indukčního toku**.

Matematicky vyjádřeno:

$$U_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$



Obrázek 1 – Michael Faraday

Příprava úlohy (praktická příprava)

Nejprve zpracujte slovníček a teoretickou přípravu na „pracovním listě“ a teprve potom začněte pracovat v laboratoři.

Postup práce

Nastavení HW a SW

Zapněte GLX a otevřete soubor nazvaný „indukce“. Měření je nastaveno s frekvencí 20 Hz. Na displeji GLX se objeví dva grafy. První graf – měření změny magnetického pole v závislosti na čase. Veličina měřená v jednotkách Gauss. Druhý graf – měření změny indukovaného napětí v závislosti na čase.

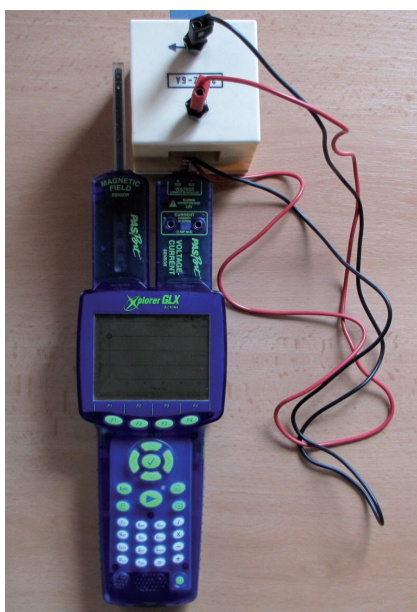
Příprava měření

1. Vložte Magnetic field sensor do portu 1.
2. Do portu 2 vložte Voltage sensor.
3. Voltage sensor spojte s cívkou a do cívky vložte magnet (viz obr. 2).

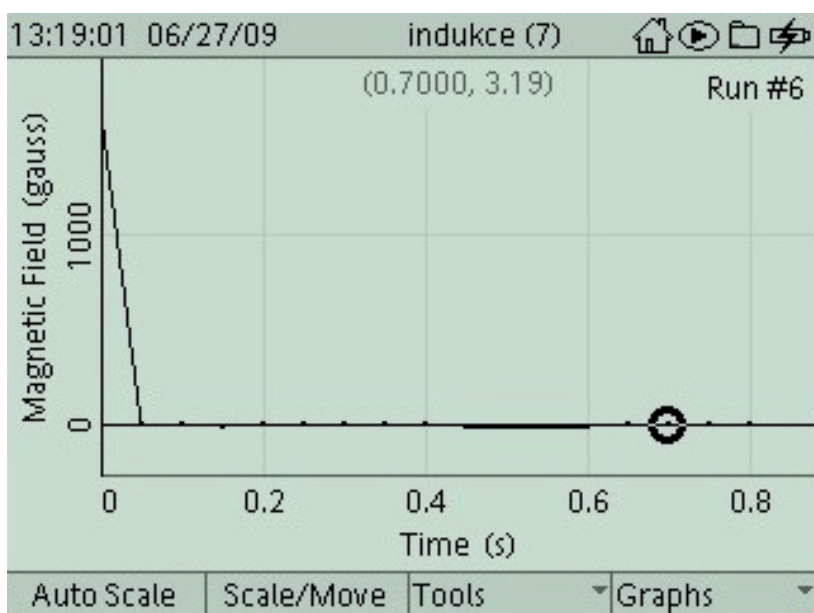
Vlastní měření (záznam dat)

1. Stiskněte **Start** (▶) a začněte měřit.
2. Při prvním měření vysouvejte magnet pomalým pohybem.
3. Po úplném vysunutí ukončete měření opětovným stiskem tlačítka **Start** (▶).
4. V dalších měřeních vysouvejte magnet rychleji, popř. otočte magnet a vysouvejte opačným pólem.
5. Po několika měřeních vyměňte cívkou za jinou.
6. Měření opakujte i pro jiný magnet.

Při měření může nastat situace, kdy Magnetic field sensor měří chybně. Hodnota je velmi vysoká. Uložte dané měření. Stiskněte „domeček“ poté (✓) pro potvrzení volby. Nyní stiskněte **F4** a **Save as**. Volbu potvrďte **F2**. Soubor se uloží jako indukce (1, popř. 2, 3). Nyní opět otevřete soubor „indukce“ a pokračujte v měření.



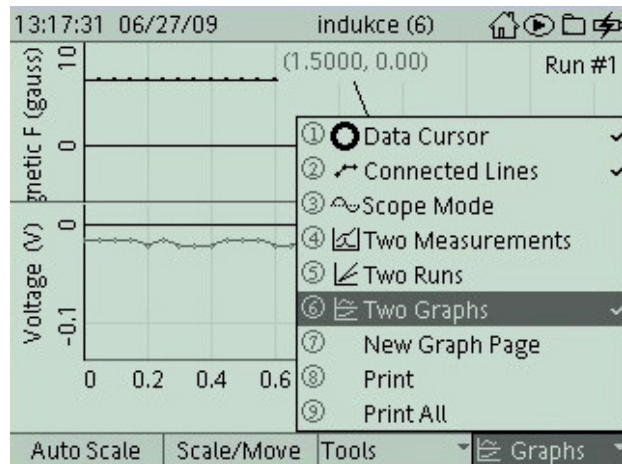
Obrázek 2



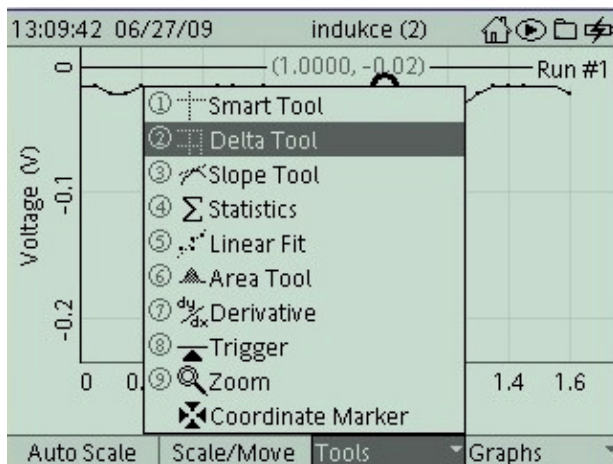
Obrázek 3

Analýza naměřených dat

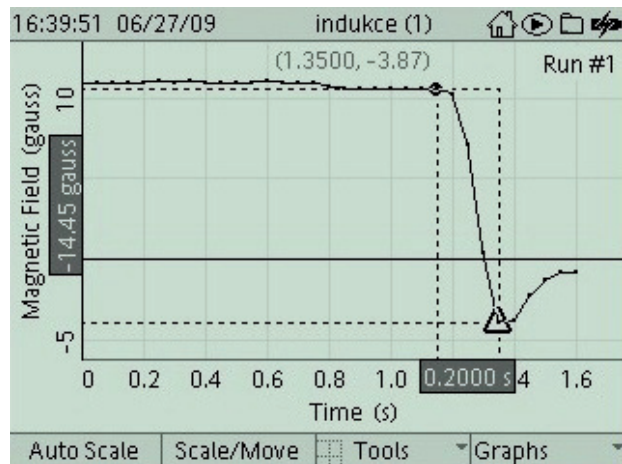
1. Změnu velikosti zobrazených dat proveďte stiskem tlačítka **F1**.
2. Určení velikosti změny magnetického pole je lepší provést v samostatném grafu. Stiskněte **F4** a v nabídce zrušte „Two graphs“. K pohybu použijte šipky a k potvrzení volby stiskněte \odot .
3. K určení velikosti změny magnetického pole použijte nástroj **Delta tool**. Nejprve se pomocí šipek posuňte na nejmenší, popř. nejvyšší hodnotu. Stiskněte **F3** a v menu zvol „Delta tool“, stiskněte \odot pro potvrzení volby. Použijte šipky k pohybu po grafu a posuňte se na vrchol. Na svislé ose odečtěte hodnotu změny magnetického pole.



Obrázek 4

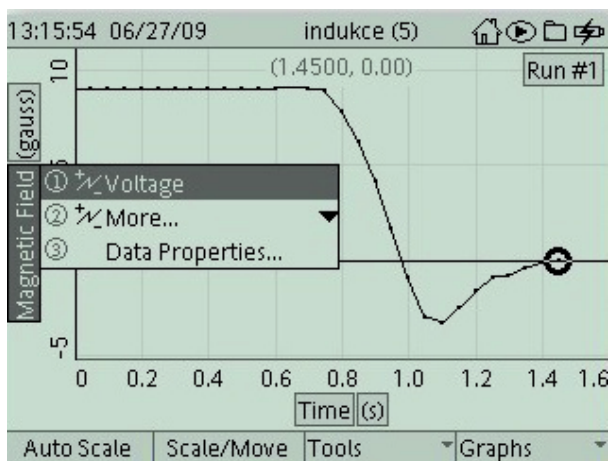


Obrázek 5

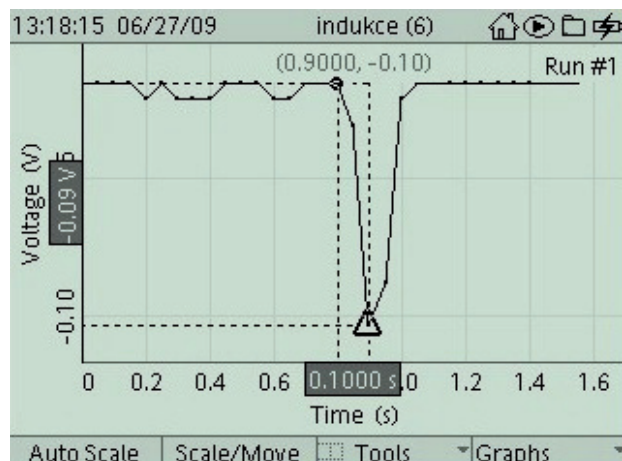


Obrázek 6

4. Určení velikosti indukovaného napětí. Nyní dvakrát stikněte \odot a „Magnetic field“ změňte na „Voltage“ opětovným stisknutím \odot (viz obr. 7).
5. Použijte šipky k pohybu po grafu a posuňte se na vrchol. Na svislé ose odečtěte hodnotu indukovaného napětí (viz obr. 8).



Obrázek 7



Obrázek 8

FYZIKA

laboratorní cvičení č. 5

5

• FYZIKA

**Elektromagnetická indukce
pracovní list (učitel)****Slovníček pojmů**

Použijte dostupné zdroje a najděte definice níže uvedených fyzikálních termínů.

**Faradayův zákon elektromagnetické indukce:**

Indukované elektromotorické napětí U_i je rovno záporně vzaté změně magnetického indukčního toku. Matematicky vyjádřeno:

$$U_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Teoretická příprava úlohy

Hypotéza

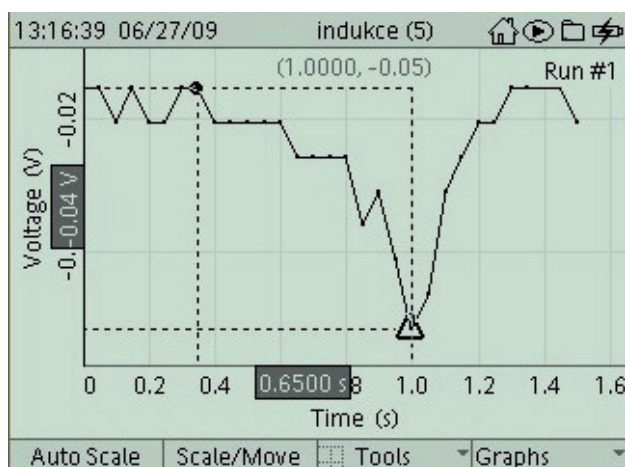
Závisí velikost indukovaného napětí na rychlosti změny magnetického pole? Jakou roli hraje počet závitů cívky? Existují další skutečnosti, které mohou ovlivnit výslednou velikost indukovaného napětí?

Vizualizace naměřených dat

Cívka 300 závitů:

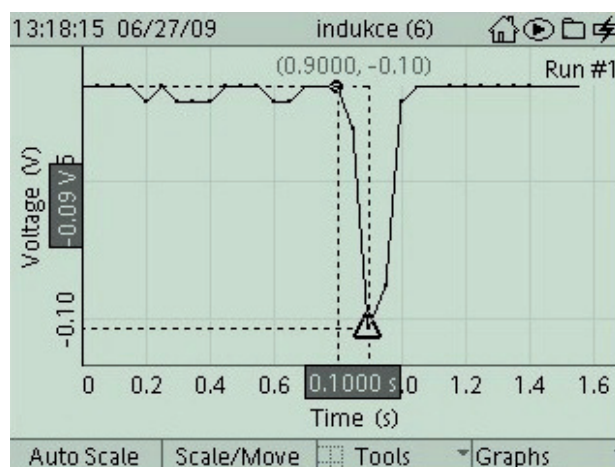
magnet s menší magnetickou indukcí:

pomalý pohyb magnetu



Obrázek 9

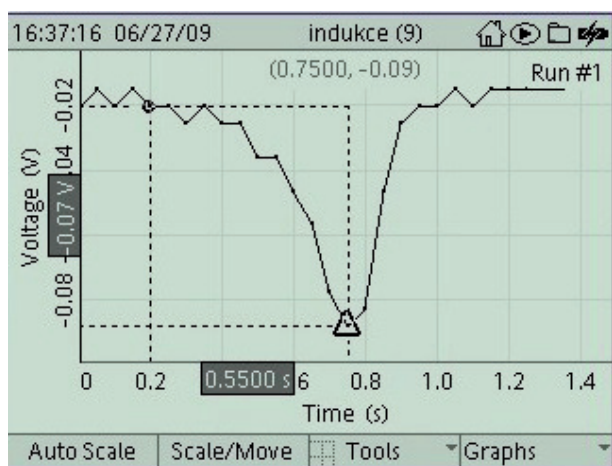
rychlý pohyb magnetu



Obrázek 8

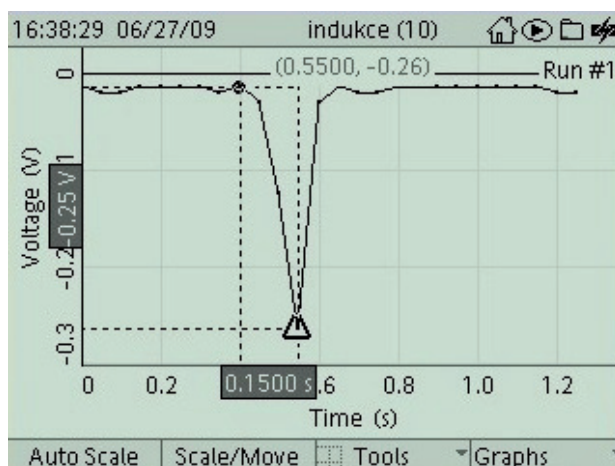
magnet s větší magnetickou indukcí:

pomalý pohyb magnetu



Obrázek 10

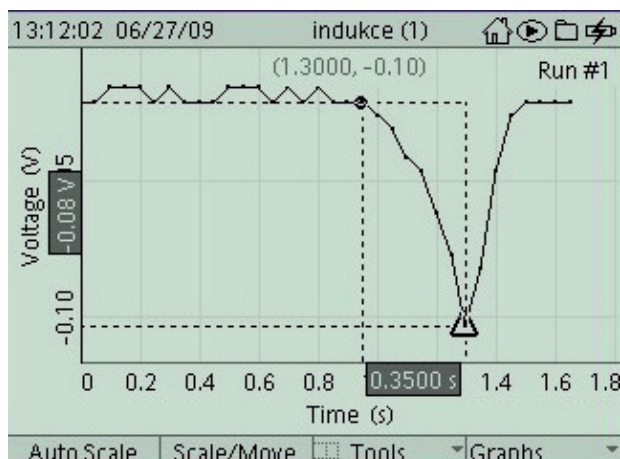
rychlý pohyb magnetu



Obrázek 11

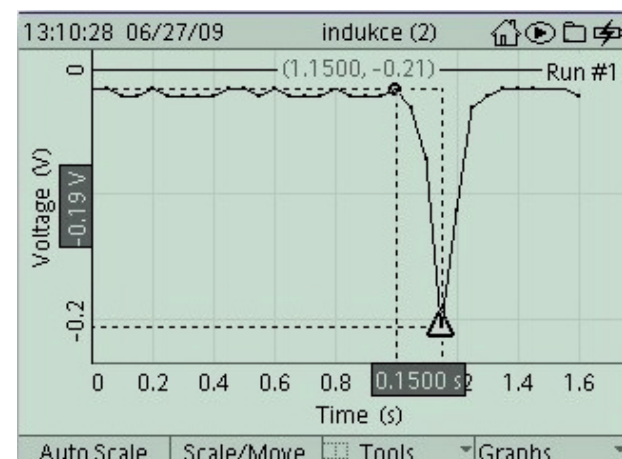
Cívka 600 závitů:

pomalý pohyb magnetu



Obrázek 12

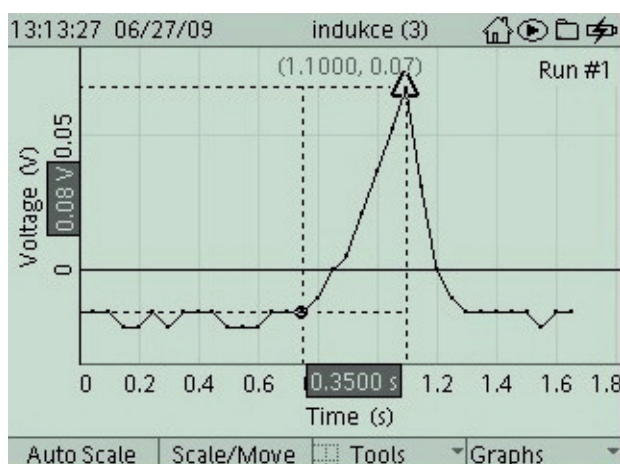
rychlý pohyb magnetu



Obrázek 13

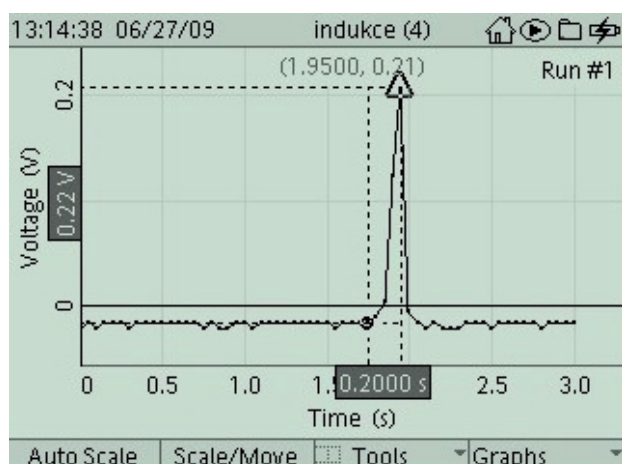
otočení pólů magnetu:

pomalý pohyb magnetu



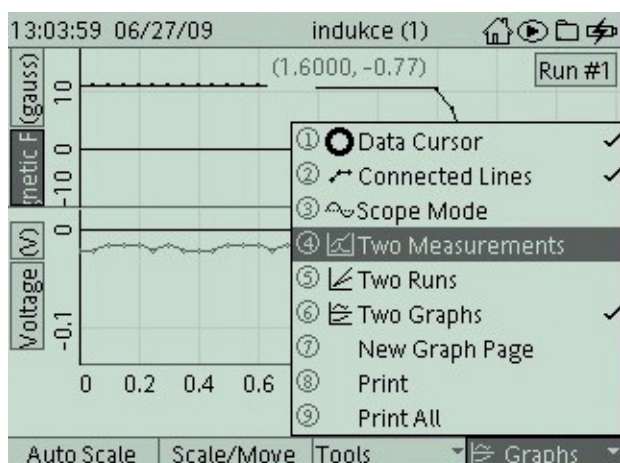
Obrázek 14

rychlý pohyb magnetu

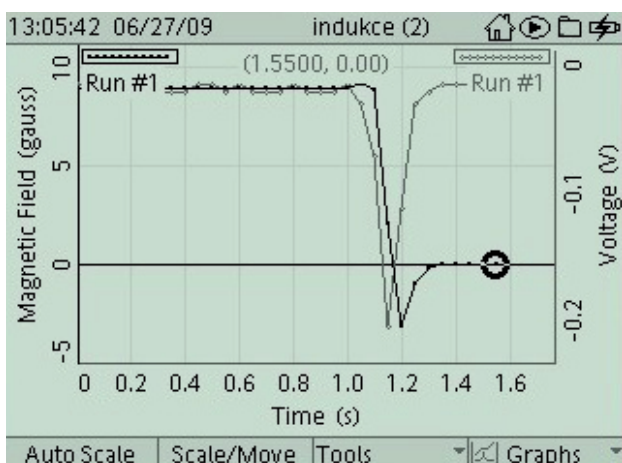


Obrázek 15

Data mohou být také zobrazena v jednom grafu. Zde je možné demonstrovat průběh elektromagnetické indukce.



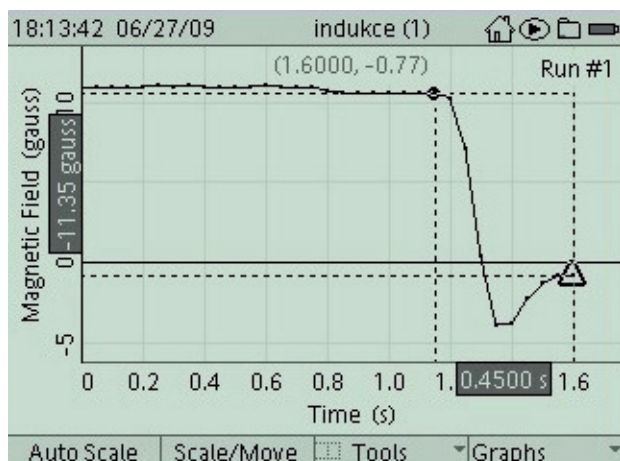
Obrázek 16



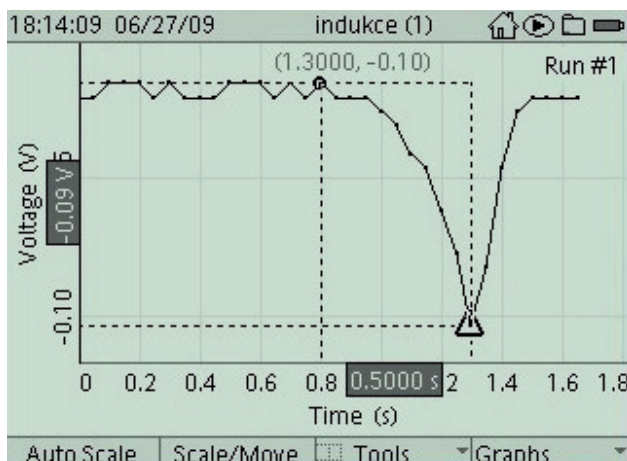
Obrázek 17

Z naměřených dat lze také experimentálně určit již změřenou hodnotu indukovaného napětí.

$$U_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{N \Delta B S}{\Delta t}$$



Obrázek 18



Obrázek 19

Vyhodnocení naměřených dat

Naměřené hodnoty doplňte do následující tabulky:

Cívka 300 závitů – indukované napětí [V]	
pomalý pohyb	rychlý pohyb
0,04	0,09
Cívka 300 závitů (magnet s větší magnetickou indukcí) – indukované napětí [V]	
pomalý pohyb	rychlý pohyb
0,07	0,25
Cívka 600 závitů – indukované napětí [V]	
pomalý pohyb	rychlý pohyb
0,08	0,19

Závěr

- Závisí velikost indukovaného napětí na rychlosti změny magnetického pole?
Ano. Naměřené hodnoty potvrzují danou hypotézu. Rychlejší změna znamená větší hodnotu indukovaného napětí.
- Závisí velikost indukovaného napětí na velikosti magnetické indukce?
Ano. Naměřené hodnoty potvrzují danou hypotézu. Větší hodnota magnetické indukce znamená větší hodnotu indukovaného napětí.
- Závisí velikost indukovaného napětí na počtu závitů cívky?
Ano. Naměřené hodnoty potvrzují danou hypotézu. Čím více závitů, tím větší hodnota indukovaného napětí.
- Pokud se vaše hypotéza nepotvrdila, uveďte, co může být příčinou.
Odpovědi na otázky se mohou lišit.

Pracovní list studenta

skupina:.....

jméno:..... třída:..... datum:.....

Slovníček pojmů

Použijte dostupné zdroje a najděte definice níže uvedených fyzikálních termínů.

Faradayův zákon elektromagnetické indukce:

Teoretická příprava úlohy

Hypotéza

Závisí velikost indukovaného napětí na rychlosti změny magnetického pole? Jakou roli hraje počet závitů cívky? Existují další skutečnosti, které mohou ovlivnit výslednou velikost indukovaného napětí?

Vizualizace naměřených dat

Vyhodnocení naměřených dat

Naměřené hodnoty doplňte do následující tabulky:

Cívka č. 1 (____ závitů) – indukované napětí [V]	
pomalý pohyb	rychlý pohyb
Cívka č. 1 (____ závitů) (magnet s větší magnetickou indukcí) indukované napětí [V]	
pomalý pohyb	rychlý pohyb
Cívka č. 2 (____ závitů) – indukované napětí [V]	
pomalý pohyb	rychlý pohyb

Závěr

1. Závísí velikost indukovaného napětí na rychlosti změny magnetického pole?

2. Závísí velikost indukovaného napětí na velikosti magnetické indukce?

3. Závísí velikost indukovaného napětí na počtu závitů cívky?

4. Pokud se vaše hypotéza nepotvrdila, uveďte, co může být příčinou.