

Elektromagnetická indukce

Elektromagnetická indukce je jev, kdy se v časově proměnném (tedy nestacionárním) magnetickém poli vytváří pole elektrické. Umístíme-li do nestacionárního magnetického pole vodič, naměříme mezi jeho konci napětí, které závisí na rychlosti změny magnetického indukčního toku (Faradayův zákon elektromagnetické indukce). Pokud se v nestacionárním magnetickém poli nachází vodivý obvod, začne jím v důsledku vzniku elektrického pole procházet elektrický proud, tzv. indukovaný proud. Jeho směr určíme pomocí Lenzova zákona. Ačkoli se jedná o poměrně jednoduché a názorné principy, ukazuje se, že pro řadu žáků je toto téma problematické (pokud tedy nevyžadujeme pouhé memorování bez hlubšího porozumění). Přitom právě elektromagnetická indukce má široké praktické využití, žáci se s ní setkávají takřka na každém kroku.

Tato část praktik je věnována základním pokusům, které demonstrují vznik indukovaného napětí, směr indukovaného proudu, a to včetně účinků tzv. Foucaultových vířivých proudů. V další části jsou uvedeny pokusy, které demonstrují vzájemnou a vlastní indukci a některé aplikace, se kterými se žák může bezprostředně setkat.

1) Základní pokusy

Vznik indukovaného napětí při vzájemné změně polohy cívky a magnetu, závislost na rychlosti této změny.

Varianta A – s LED (motivační)

Pomůcky

Cívka 12 000 z, neodymový magnet, 2x LED spojené antiparalelně

Příprava a provedení

LED diody spojíme antiparalelně (při změně polaritity svítí vždy jedna dioda, barvou můžeme odlišit i polaritu připojeného napětí). Je vhodné si tyto diody předem připravit, např. napájet na destičku s mosaznými hřebíčky. K této „sondě“ připojíme cívku s 12 000 z. Vsouváním a vysouváním magnetu ukážeme, že při vzájemné změně polohy se diody rozsvěcují, přičemž při přibližování svítí jedna dioda, při vzdalování druhá. Magnet je možno cívku proházovat, měnit velikost rychlosti apod.

Závěr

Při relativním pohybu cívky a magnetu vzniká v cívce napětí (indukované elektromotorické napětí). Při rychlejší změně vzájemné polohy cívky a magnetu se indukuje v cívce větší napětí. Indukované napětí tedy závisí na rychlosti změny magnetického indukčního toku.

Poznámky

Tato varianta pokusu je pro žáky velmi názorná, vidí „že se něco v obvodu děje“. Odpadají zde problémy se setrvačností ručky měřidla, jako je tomu v klasické variantě (Varianta B), ke které přistoupíme později, tedy po tomto základním seznámení.

Varianta B – s voltmetrem

Pomůcky

ss voltmetr s ukazatelem uprostřed, tyčový magnet, cívka 600 z, spojovací vodiče

Příprava a provedení

Cívku připojíme přímo k voltmetru a položíme ji na stůl tak, aby byla její osa svislá.

- a) Tyčový magnet vsuneme jedním koncem do cívky a pozorujeme velikost a směr výchylky ručky voltmetru. Počkáme, až se ukazatel voltmetru vrátí do nulové polohy. Teprve pak vysuneme magnet z cívky přibližně stejně rychle, jako jsme ho do cívky vsouvali. Napětí na cívce vzniká jen při pohybu magnetu, při vysouvání a vsouvání magnetu je výchylka opačná.
- b) Pokus opakujeme několikrát s různou rychlostí při stejné počáteční a koncové poloze magnetu vzhledem k cívce. Pozorujeme, že při rychlejším pohybu magnetu vzniká větší výchylka, tedy vzniká větší indukované napětí.
- c) Tytéž pokusy provedeme se vsouváním a vysouváním druhého konce magnetu. Výchylky jsou nyní opačného směru než v předchozích případech.
- d) V další části předvedeme, že je podstatný relativní pohyb. Magnet tedy držíme v ruce (případně postavíme na stůl) a cívku na něj nasouváme. Voltmetr ukáže výchylku. Opět počkáme, až se ručka ustálí v nulové poloze. Pak cívku stejně rychle vzdálíme. Při vzdalování pozorujeme výchylku ručky voltmetru opačným směrem.
- e) Abychom zdůraznili, že je podstatná změna vzájemné polohy, můžeme pohybovat celou cívku se vsunutým magnetem, tak aby se jejich vzájemná poloha neměnila.

Závěr

Při relativním pohybu cívky a magnetu vzniká v cívce napětí (indukované elektromotorické napětí). Při rychlejší změně vzájemné polohy cívky a magnetu se indukuje v cívce větší napětí. Indukované napětí tedy závisí na rychlosti změny magnetického indukčního toku.

Poznámky a varianty pokusu

- 1) Při dostatečně velké rychlosti pohybu magnetu se již výchylka voltmetru s rychlostí nezvětšuje (případně se dokonce zmenšuje). To je způsobeno setrvačností ručky (ručka prostě „nestíhá“). Proto si chce pokus nejdříve nacvičit tak, aby demonstroval to, co potřebujeme předvést.
- 2) Můžeme s žáky také diskutovat, jak docílit co největší rychlosti, co se stane např., když magnet bude propadávat dutinou cívky. I zde se projeví setrvačnost ručky.
- 3) Máme-li k dispozici ploché magnety, které se vejdou do dutiny cívky, můžeme prozkoumat i závislost na velikosti magnetické indukce. Nejdříve do cívky zasouváme a vysouváme pouze jeden magnet přibližně stejnou rychlostí, pak pokus provedeme se dvěma magnety vedle sebe (a to, jsou-li k sobě přitisknuty jak souhlasnými, tak opačnými póly).

Závislost indukovaného napětí na časové změně magnetického indukčního toku¹

Pomůcky

ss voltmetr s ukazatelem uprostřed, tyčový magnet, cívka 600 z, spojovací vodiče

Příprava a provedení

Cívku připojíme přímo k voltmetru a položíme ji na stůl tak, aby její osa byla vodorovná.

- Ze vzdálenosti asi 40 cm přibližujeme magnet jedním koncem k dutině cívky (tedy rovnoběžně s osou), magnetický indukční tok se při tom zvětšuje, voltmetr ukazuje výchylku. Při vzdalování se magnetický indukční tok zmenšuje, výchylka voltmetru je opačná.
- Pokus opakujeme s tím rozdílem, že se ke středu cívky přibližujeme kolmo k její ose, tedy rovnoběžně se závitů cívky. Podobně se s magnetem od cívky vzdalujeme. Magnetický indukční tok cívku je stále nulový, voltmetr neukazuje žádnou výchylku.

Závěr

Indukované napětí vzniká v cívce jen tehdy, mění-li se s časem magnetický indukční tok. Pouhá časová změna magnetického pole nestačí, závisí i na orientaci magnetických indukčních čar vzhledem k ploše cívky.

Poznámky

Pochopitelně magnetické pole kolem tyčového magnetu není homogenní, a tedy magnetický indukční tok v druhém případě není zcela nulový. Je však poměrně malý, a tedy i indukované napětí je nepatrné (při větší citlivosti přístroje nebo při rychlejším pohybu je tedy detekovatelné). Z počátku je tedy lepší vhodně nastavit citlivost a nacvičit rychlost pohybu, aby byl pokus přesvědčivý. Později je možné (nebo dokonce vhodné) s žáky prokonzultovat i tyto detaily.

¹ Magnetický indukční tok Φ , který prochází orientovanou plochou S v poli o magnetické indukci B je definován jako

$$\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}.$$

Je-li magnetické pole homogenní a plocha S rovinná, pak platí, že

$$\Phi = B S \cos \alpha$$

kde α je úhel, který svírá normála plochy s vektorem magnetické indukce.

Závislost indukovaného napětí na počtu závitů cívky

Pomůcky

ss voltmetr s ukazatelem uprostřed, tyčový magnet, cívky 300 z, 600 z, 1200 z, spojovací vodiče

Příprava a provedení

Varianta 1.

Jednotlivé cívky připojujeme k voltmetru a přibližně stejnou rychlostí do nich vsouváme magnet. Sledujeme a porovnáme výchylky voltmetru při různých cívkách v obvodu. Největší výchylka ručky voltmetru bude u cívky s největším počtem závitů, nejmenší u cívky s nejmenším počtem závitů. S žáky můžeme dále diskutovat, zda jsou obvody stejné, resp. zda se liší skutečně jen počtem závitů a jak by bylo možné zajistit srovnatelnější podmínky. Na to, že se nejedná o zcela stejné podmínky (krom rychlosti zasouvání magnetu), mohou žáci přijít sami a sami tak iniciovat zapojení podle 2. varianty.

Varianta 2.

Tři cívky 300 z, 600 z a 1200 z postavíme osami svisle vedle sebe a spojíme je do série spolu s voltmetrem. Magnet zasouváme postupně do jednotlivých cívek zhruba stejnou rychlostí a sledujeme výchylky voltmetru. Největší výchylka ručky voltmetru bude u cívky s největším počtem závitů, nejmenší u cívky s nejmenším počtem závitů.

Nemáme-li k dispozici dostatečně citlivý demonstrační voltmetr, zapojíme místo něj do série s cívkami demonstrační miliampérmetr s rozsahem (3-0-3) mA, tj. s ručkou uprostřed. Vycházíme přitom z toho, že mezi indukovaným proudem a indukovaným napětím v cívce je přímá úměrnost.

Závěr

Indukované napětí v cívce je tím větší, čím větší je počet závitů cívky (samozřejmě při stejné časové změně indukčního toku jednotlivými závity).

Poznámky

- 1) Protože se zatím zabýváme indukovaným napětím, je zřejmě vhodnější použít variantu 1., tedy k cívkám zapojit voltmetr. Na druhou stranu se mění odpory jednotlivých cívek, a proto je metodicky čistší (ale pro žáky méně přehledné) použít sériové zapojení cívek. Nemáme-li k dispozici vhodně citlivý demonstrační voltmetr (především jde o cívku 300 z), můžeme použít demonstrační miliampérmetr (viz varianta 2).
- 2) Někdy se pojmově rozlišuje magnetický indukční tok ϕ_0 jedním závitem a tzv. cívkový indukční tok celou cívkou (tedy N závitů) $\phi = N \cdot \phi_0$. Indukované napětí je pak dáno vztahem:

$$U_i = -\frac{d\phi}{dt} = -N \frac{d\phi_0}{dt}$$

Cívka v homogenním magnetickém poli

Experiment vznikl na základě výzkumu, ze kterého vyplynulo, že studenti často nevnímají, že při deformaci cívky poblíž magnetu se v ní indukuje el. napětí. Naopak, pokud cívka rotuje kolem osy kolmé na plochu magnetu, jsou často přesvědčeni, že se el. napětí indukuje.

Experiment by tak měl sloužit k lepšímu pochopení pojmu magnetický indukční tok a tomu, co je plocha v definici magnetického indukčního toku.

Pomůcky

destička s nalepenými magnety, voltmetr (nastavit na co nejcitlivější rozsah), vodiče, lístkové I jádro

Příprava a provedení

Cívku připojíme k voltmetru a umístíme na destičku s magnety.

Postupně vyzkoušíme, že se v cívce indukuje napětí, jestliže:

- cívku zdeformujeme a změníme tak velikost její plochy
- cívku pohybujeme směrem k a od destičky (jestliže jsme dostatečně daleko od destičky, aby pole už nebylo homogenní)
- cívku vysouváme mimo destičku s magnety (čímž měníme plochu, ve které magnetické indukční čáry prochází cívku)
- otáčíme cívku okolo vodorovné osy a měníme tak úhel mezi plochou cívky a směrem magnetických indukčních čar

Naopak, napětí se v cívce neindukuje, pokud:

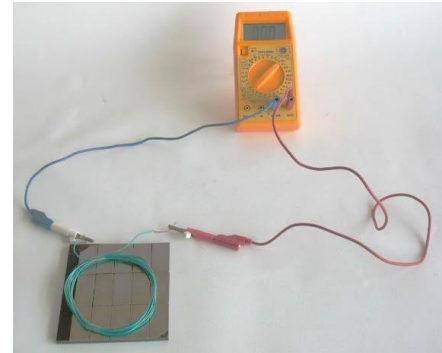
- cívka je v klidu (cívku sice teče magnetický indukční tok, ale ten se nemění)
- cívku otáčíme okolo svislé osy (vzhledem k tomu, že pole je v podstatě homogenní, opět nedochází ke změně magnetického indukčního toku)
- do cívky umístíme jádro a poté cívku deformujeme. V tomto případě prochází většina magnetických indukčních čar jádrem, takže důležitá „plocha“ je plocha podstavy jádra; zbytek plochy cívky má spíše zanedbatelný vliv.

Závěr

V cívce se indukuje napětí, pokud se v čase mění magnetický indukční tok – tj. pokud se mění plocha cívky, velikost magnetické indukce nebo úhel mezi směrem magnetické indukce a plochou cívky.

Poznámka

Magnety jsou na destičce nalepeny stejnými póly směrem nahoru, vzniklé magnetické pole je tak (v blízkosti destičky) homogenní. To lze ověřit např. železnými pilinami.



Vznik indukovaného napětí otáčením cívky v magnetickém poli – základní princip vzniku střídavého napětí

Pomůcky

Podkovovitý magnet, kotva s mnoha závity (bez jádra a s jádrem), pólové nástavce, ss voltmetr s ukazatelem uprostřed, sběrací kartáčky, spojovací vodiče

Příprava a provedení

Na podkovový magnet nasadíme pólové nástavce a mezi ně umístíme kotvu s cívkou. Ke kroužkům (nepřerušovaným) přitlačíme sběrací kartáčky (na každý z kroužků je vyveden vždy jeden konec cívky). Svorky kartáčků připojíme k demonstračnímu stejnosměrnému voltmetru s ukazatelem uprostřed. Otáčením cívky v magnetickém poli se mění magnetický indukční tok tak, že se na cívce indukuje střídavé napětí, ručka se vychyluje na obě strany.

Závěr

Při otáčení cívky v magnetickém poli vzniká na cívce časově proměnné napětí. To je princip průmyslové výroby elektrické energie. Jde pochopitelně o jednoduchou verzi, cílem tohoto pokusu je však jen základní seznámení a předvedení souvislostí. Hlavním cílem tohoto pokusu je předvedení další možnosti, jak dosáhnout změny magnetického indukčního toku. Indukované napětí tedy závisí na rychlosti změny magnetického indukčního toku (tj. změny magnetické indukce, plochy – počtu závitů a úhlu mezi magnetickými indukčními čarami a plochou).

Poznámky

- 1) Pokud ukazatel voltmetru neukazuje žádnou výchylku, je nejběžnější závadou špatný kontakt mezi sběracími kartáčky a kroužky.
- 2) Pokud je výchylka voltmetru příliš malá (zejména při malém počtu závitů cívky), použijeme místo voltmetru miliampérmetr s rozsahem (3-0-3) mA a měříme proud v obvodu.
- 3) Pomocí daného zařízení můžeme demonstrovat i závislost na počtu závitů a rychlosti otáčení, porovnat indukované napětí v otáčející se cívce s jádrem a bez jádra apod. V tomto pokusu nám zde však stačí ukázat, že změny magnetického indukčního toku můžeme dosáhnout otáčením cívky v magnetickém poli. Při provádění dalších variant je třeba zdůraznit, že při velké rychlosti otáčení se může projevit setrvačnost ručky voltmetru, a také, že při jednom otáčejícím se závitě je indukované napětí velmi malé – je třeba použít velmi citlivý rozsah (na druhou stranu je nutné rozsah měnit pro další cívky, čímž je pro žáky srovnání „na první pohled“ složitější) apod.
- 4) Tento pokus je možné upravit také tak, že zdrojem magnetického pole není permanentní magnet (jako je v této základní variantě ukázáno), ale elektromagnet. Místo permanentního magnetu tvaru podkovy pak použijeme lístkové U jádro, přičemž na každé z ramen nasuneme cívku 600 z. Cívky spojíme do série tak, aby se jejich vliv navzájem nerušil, ale aby se pole zesilovalo. Cívky připojíme na zdroj ss napětí 6-12 V. Na U-jádro pak nasadíme pólové nástavce a mezi ně umístíme kotvu s cívkou. Dále pak pokračujeme jako v původní variantě.

2) Směr indukovaného proudu. Lenzův zákon.

Podle Lenzova zákona má indukovaný elektrický proud v uzavřeném obvodu takový směr, že svým magnetickým polem působí proti změně magnetického indukčního toku, který je jeho příčinou.

Nachází-li se v časově proměnném magnetickém poli masivní vodič, vytváří se vlivem elektromagnetické indukce pole elektrické a následkem toho proudy (tzv. Foucaultovy vířivé proudy), které podle Lenzova zákona mají takový směr, že jejich magnetické pole potlačuje proměnnost vnějšího magnetického pole (tedy jejich účinky působí proti změně, která je vyvolala).

Foucaultovy proudy

- působí brzdícími účinky na vodiče, jejichž pohybem v magnetickém poli vznikly, nebo naopak
- brzdí pohyb magnetů, které se kolem takových masivních vodičů pohybují, případně
- se svými silovými účinky snaží vodič uvést do pohybu, pokud se v jeho blízkosti pohybuje zdroj magnetického pole.

Pohybující se magnet nad vodivou deskou

Pomůcky

Vodivá (ale neferomagnetická) deska (hrnec, víčko od ešusu apod.), neodmyslový magnet, závěs na magnet, stojan

Příprava a provedení

Pokus můžeme provést na několika úrovních.

- a) První je spíše pocitová a musí si jí každý žák vyzkoušet sám. Pohybujeme magnetem např. nad víčkem od ešusu. Zjišťujeme při tom, že je pohyb nepatrně brzděn, ačkoli je víčko „nemagnetické“, tedy magnet se k němu zřetelně nepřitahuje. V této variantě pokusu jde o to, aby žáci „na vlastní kůži“ pocítili vliv indukovaných proudů. (Další pocitovou variantou je pouhé přibližování magnetu k desce – přibližování se pak jeví tak, jakoby měl magnet pod sebou polštář.)
- b) Magnet necháme klouzat po nakloněné rovině (např. liště) z vodivého, ale neferomagnetického, materiálu. Pozorujeme, že magnet po liště klouže prakticky rovnoměrně, a to téměř nezávisle na náklonu lišty.
- c) Nad vodivou (ale „nemagnetickou“) deskou zavěsíme magnet a necháme ho nad ní kývat. Poté desku vysuneme a pokus provedeme ještě jednou (přičemž počáteční vychýlení magnetu je přibližně stejné, jako když kýval nad vodivou deskou). Zjistíme, že v prvním případě je kyvadlo více tlumeno a že vykoná méně kmitů. Máme-li dostatečně silný magnet a podaří-li se ho vhodně přiblížit k vodivé ploše, může se dokonce jednat o aperiodický pohyb a kyvadlo nevykoná ani jeden kmit.

Závěr

V masivním vodiči (desce), který je v časově proměnném magnetickém poli, se indukují proudy, které podle Lenzova zákona vytvářejí magnetické pole, jež brzdí magnet, který je příčinou elektromagnetické indukce (a tedy příčinou vzniku těchto proudů).

Magnet v trubce

Pomůcky

Vodivá (ale neferomagnetická) trubka (hliníková, měděná), neodymový magnet (který projde trubkou), případně plastová trubka

Příprava a provedení

Nejprve necháme propadnout trubkou např. matičku či kamínek. Pak necháme trubkou padat neodymový magnet. Je vhodné předem ukázat, že se magnet s trubkou zřetelně nepřitahuje (podobně jako matička). Doba, po kterou magnet padá v trubce, je zřetelně delší než doba, po kterou trubkou padá matička. Totéž je možno provést s trubkou z jiného materiálu a časy případně porovnat. Je možno srovnat i s trubkou z plastu.

Závěr

Padající magnet kolem sebe vytváří časově proměnné magnetické pole, následkem čehož se v trubce indukují proudy, které podle Lenzova zákona vytvářejí magnetické pole bránící pohybu magnetu, tedy změně, která je vyvolala. Proudů nad magnetem vytvářejí magnetické pole, které se snaží magnet přitáhnout vzhůru, naopak proudy pod magnetem vytvářejí magnetické pole, které magnet odpuzuje, tedy brání jeho vniknutí níže. Výsledná síla působí tedy proti síle tíhové.

Magnet nad desetníkem

Pomůcky

Hliníková mince, která plove na hladině vody (např. desetník, padesátník), nádobka na vodu, neodymový magnet

Příprava a provedení

Hliníkovou minci položíme na hladinu vody tak, aby na hladině (díky povrchovým silám) plovla. Pohybujeme-li nad mincí magnetem sem a tam (jakoby po kružnici umístěné ve vodorovné rovině), mince se dá do pohybu za magnetem.

Závěr

Pohybující se magnet vytváří díky elektromagnetické indukci v minci Foucaultovy proudy takového směru, aby svým magnetickým polem zamezily změně magnetického pole, tedy, aby vzájemná rychlost mezi magnetem a mincí byla co nejmenší – mince se díky proudům k magnetu přitahuje.

Varianty pokusu

- 1) Podobnou variantou pokusu je roztočení lehkého víčka (např. na zavařovačky) umístěného na hrotu ve středu víčka. Pohybem magnetu nad víčkem ho lze nepatrně roztočit (v závislosti na

tření mezi víčkem a hrotem). Při troše šikvosti je možné nacvičit toto roztočení, je-li mezi víčkem a magnetem tenká vrstva skla, a tak rozptýlit pochybnosti o tom, že víčko roztočil jen vzduch vířící kolem roztočeného magnetu.

- 2) Na druhou stranu nepotřebujeme ani nádobku s vodou. Stačí prudce trhnout silným neodýmovým magnetem vodorovně nad desetníkem položeným na hladké lavici. Při trochu cviku se desetník nejen posune, ale dokonce i trochu nadskočí.

Směr indukovaného proudu v cívce tvaru prstence

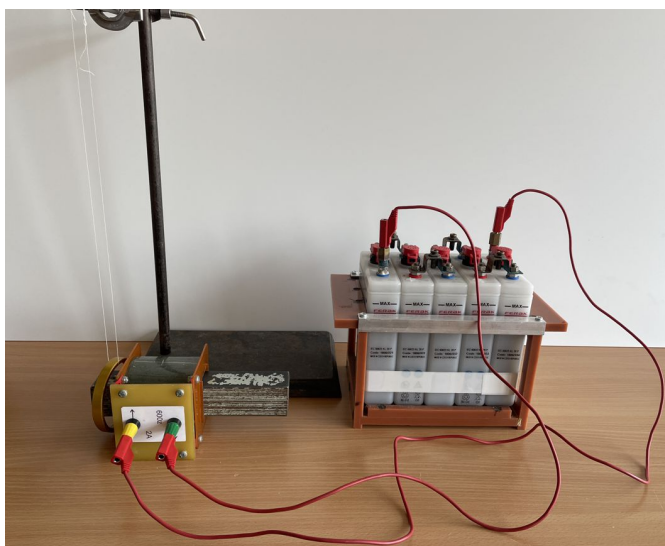
Pomůcky

Cívka 600 z, dlouhé jádro, hliníkový prstenek na niti, stojan, akumulátor, spínač, spojovací vodiče

Příprava

Spojíme obvod podle schématu na obrázku. Primární obvod tvoří akumulátor, ampérmetr, cívka 600 z, reostat a spínač v sérii. Do cívky zasuneme dlouhé jádro. Sekundární obvod je tvořen hliníkovým prstencem (tedy jedním závitem) nasunutým na jádro a zavěšeným bifilárně na niti tak, aby se mohl pohybovat převážně v ose závitů. Jeho rovnovážnou polohu zvolíme asi 1,5 cm od cívky tak, aby se mohl pohybovat po jádře od cívky i k cívce. Uspořádání je patrné z následujícího obrázku.

Poznámka: Do primárního obvodu lze v případě potřeby přidat sériově reostat, který reguluje velikost proudu v obvodu. Dále je možné zapojit do primárního obvodu demonstrační ampérmetr, aby bylo zřejmé, že obvodem prochází (nemalý) proud. Na druhou stranu může ampérmetr odvádět pozornost od toho, co je nejdůležitější, tedy od vychylující se cívky (pohyb ručky je mnohem výraznější).



Provedení

- 1) Prstenek uklidníme a obvod sepneme. Při zapnutí proudu v obvodu se prstenek od cívky vychýlí a pak se vrátí do rovnovážné polohy. (Při diskusi o tom, proč a jak se prstenek pohybuje, využijeme poznatků o vzájemném působení vodičů s proudem.)
- 2) Když se prstenek uklidní, vypneme proud v obvodu. Prstenek se vychýlí na opačnou stranu, tedy k cívce, a pak se vrátí do rovnovážné polohy.

- 3) Obě fáze několikrát zopakujeme. S žáky můžeme i diskutovat o to, čím by se dala výchylka kroužku zvětšit.
- 4) Při vhodné frekvenci spínání a vypínání obvodu můžeme docílit i rezonančního zesílení kmitů prstence.
- 5) Při sepnutém obvodu zkuste opatrně vytahovat jádro z cívky, a tím i z prstence, přičemž cívku držíme pevně na původním místě. Prstenec se pohybuje za jádrem.

Závěr

Při zapnutí primárního obvodu se závit (tedy sekundární cívka) ocitá ve vznikajícím magnetickém poli. Dojde k elektromagnetické indukci a následkem toho vzniká v prstenci proud, který (podle Lenzova zákona) má takový směr, aby jeho magnetické pole zeslabilo vznikající pole cívky (závit před tím totiž v magnetickém poli nebyl). Rozmyslíme-li si tyto směry proudů a polí, zjistíme, že závit se od cívky odpuzuje. Proud v závitě má opačný směr než směr proudu v cívce, proudy nesouhlasných směrů se odpuzují. To je potvrzeno našim pokusem. Při přerušení proudu v obvodu s cívkou se v prstenci indukuje proud téhož směru, jaký má zanikající proud v cívce (proudy souhlasných směrů se přitahují). Podobně v části 5) se v prstenci indukuje proud stejného směru, jako teče cívkou (proudy stejného směru se přitahují). Tento proud vytváří magnetické pole, které zmenšuje úbytek indukčního toku plochou prstence, způsobený vytahováním jádra.

3) Vzájemná indukce

Vzájemná indukce je jev, kdy magnetický indukční tok jedné cívky zasahuje do cívky druhé, a tím ji ovlivňuje. Jde o jeden z jevů elektromagnetické indukce. Dojde-li tedy k poklesu magnetického indukčního toku v první cívce, dojde k poklesu magnetického indukčního toku cívkou druhou. Díky tomu se ve druhé cívce indukuje napětí, a tedy i proud, jehož směr je určen Lenzovým zákonem. Tohoto jevu se využívá zejména u transformátorů. Již minulý pokus je vlastně demonstrací vzájemné indukce, kdy jeden obvod (s cívkou) ovlivňuje obvod druhý (tedy prstenec) prostřednictvím elektromagnetické indukce².

V této části jde o demonstraci vzájemného ovlivňování dvou obvodů, které jsou spojeny jen indukční vazbou. Jde o to opět zdůraznit, že k elektromagnetické indukci dochází jen při změně magnetického indukčního toku.

² Pochopitelně i sekundární cívka ovlivňuje primární, neboť primární cívka je ve vznikajícím magnetickém poli cívky sekundární; v pravém slova smyslu jde o vzájemné „ovlivňování se“ obou cívek, tedy vzájemnou indukci.

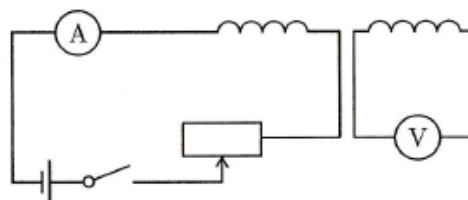
Jednoduchá demonstrace vzájemné indukce

Pomůcky

Dvě cívky 600 z, spínač, demonstrační voltmetr s ukazatelem uprostřed, ampérmetr, akumulátor, reostat 100 Ω /2 A, dlouhé jádro, U-jádro, krátké lístkové jádro, spojovací vodiče

Příprava a provedení

K cívce přes reostat a spínač připojíme akumulátor. Abychom prokázali, že obvodem prochází proud, zařadíme do obvodu demonstrační ampérmetr. Tím vytvoříme primární obvod. Reostat nastavíme tak, aby jezdec byl zhruba uprostřed. Druhý (sekundární) obvod je tvořen pouze cívkou a voltmetrem. Dále se budeme zabývat tím, kdy primární obvod ovlivňuje obvod sekundární a jak tuto vazbu zvýšit. (Místo voltmetru je možné zapojit i demonstrační ampérmetr.)



- 1) Cívky umístíme souose těsně vedle sebe. Sepneme spínač a sledujeme, co se děje v sekundárním obvodu. Pravděpodobně se nic nestane. Zmenšíme rozsah voltmetru, případně zvýšíme proud v primárním obvodu, a pokus zopakujeme. Voltmetr při zapnutí a vypnutí primárního obvodu indikuje malé napětí. Posuneme-li cívky dále od sebe, případně je postavíme osami kolmo k sobě, vzájemné ovlivňování při sepnutí a vypnutí obvodu je menší.
- 2) Do primární cívky vsuneme krátké jádro a pokus opakujeme. Výchylky voltmetru budou tentokrát větší, přitom indukované napětí je měřitelné na větší vzdálenost. Při vzdalování a přibližování cívek se na sekundární cívce indukuje napětí opačné polarity.
- 3) Dalším zvýšením efektivity vzájemného působení je nasunutí obou cívek na společné dlouhé jádro. Účinky zapnutí a přerušení obvodu jsou opět větší.
- 4) Na společném jádře posuneme cívky dále od sebe, pak je zase přiblížíme. Při přiblížení ukáže voltmetr opačnou výchylku než při oddálení (podobně jako při přibližování či vzdalování magnetu). Pokus ukážeme ve dvou provedeních. Posouváme nejprve primární cívkou a sekundární ponecháme v klidu, poté naopak pohybujeme cívkou sekundární.
- 5) Obě cívky umístíme na U-jádro nejdříve otevřené a pak i na jádro uzavřené. Tím se opět zlepší vazba (zvýší magnetický indukční tok), a tedy i velikost indukovaného napětí.
- 6) V další části pokusu nechte spínač sepnutý, zvyšujte a snižujte velikost proudu v primárním obvodu reostatem a sledujte výchylku voltmetru. K indukci opět dojde jen při změnách proudu v primárním obvodu, přičemž polarita napětí závisí na směru této změny.
- 7) Další změnu magnetického indukčního toku můžeme způsobit přerušením magnetického obvodu. U-jádro při zapojeném primárním obvodu uzavřeme jhem (krátkým jádrem). Pozor na prsty!! Pokud jádro neuzavřeme zcela, ale necháme ho uzavřené jen „přes hranu“ U-jádra, podaří se nám jho při sepnutém spínači odtrhnout, a tím způsobit změnu magnetického indukčního toku a tedy výchylku na voltmetru v sekundárním obvodu.

Závěr

Změny proudu v primárním obvodu (při zapnutí, či vypnutí proudu; při zvýšení, či snížení proudu), způsobí změnu magnetického indukčního toku cívkou sekundární, a tedy indukci napětí na této cívce.

Necháme-li primárním obvodem procházet konstantní proud, k indukci nedochází, napětí na sekundární cívce je nulové. Rychlejší časové změně odpovídá větší indukované napětí. Při zmenšování proudu v primárním obvodu se indukuje v sekundárním obvodu napětí opačné polarity, než při zvětšování proudu v primárním obvodu. Vazbu mezi obvody můžeme zvýšit např. zasunutím feromagnetického jádra a uzavřením magnetického obvodu.

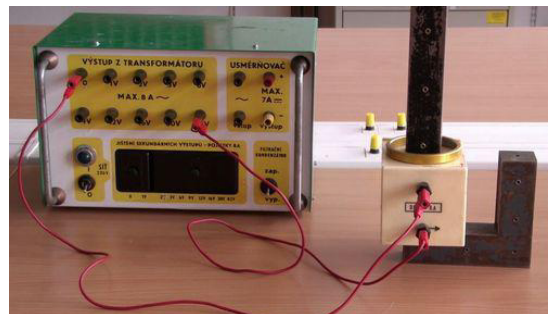
Demonstrace Lenzova zákona pomocí levitujícího kroužku (prstence) – var. I

Pomůcky

Cívka 300 z, U-jádro, dlouhé I-jádro, zdroj střídavého napětí asi 42 V, hliníkový kroužek, spojovací vodiče

Příprava a provedení

Primární obvod sestavíme ze zdroje střídavého napětí, spínače a cívky s U-jádrem, které je na rameni s cívkou prodlouženo dlouhým I-jádrem (ve svislé poloze). Na prodloužené jádro nasadíme hliníkový kroužek (prstenec), který volně leží na cívce a tvoří tak sekundární obvod. Při sepnutí primárního obvodu se prstenec vymrští do vzduchu a vznáší se na dlouhém jádře, dokud cívku neodpojíme od zdroje.



Závěr a vysvětlení

Připojením primárního obvodu se prstenec ocitne ve vznikajícím poli, dojde tedy k elektromagnetické indukci, a následnému vzniku proudu. Tento proud má podle Lenzova zákona takový směr, aby bránil změně, která ho vyvolala (tedy vzrůstu magnetického pole v jádře). Magnetické pole takto vzniklého proudu musí mít tedy opačný směr indukčních čar, než má pole vznikající kolem primární cívky, se vznikajícím polem se tedy odpuzuje. To způsobí vypuzení prstence z magnetického pole cívky, a tedy jeho „vystřelení“. Stručně řečeno: Magnetické pole okolo prstence má opačný směr než magnetické pole okolo cívky, obě pole se proto odpuzují.

Poznámky a varianty

- 1) Po podrobném objasnění je možné předvést stejný pokus, ale s tím rozdílem, že je prstenec přerušen (tedy rozříznut). Tím je přerušen také elektrický obvod a proud, který vytváří magnetické „protipole“ nevzniká. Závít se proto nevznese.
- 2) Další (čistší) variantou je tzv. elektromagnetické dělo, kde se jako zdroj nepoužívá střídavé napětí, ale kondenzátor o velké kapacitě, který nabijeme stejnosměrným napětím na stovky voltů.

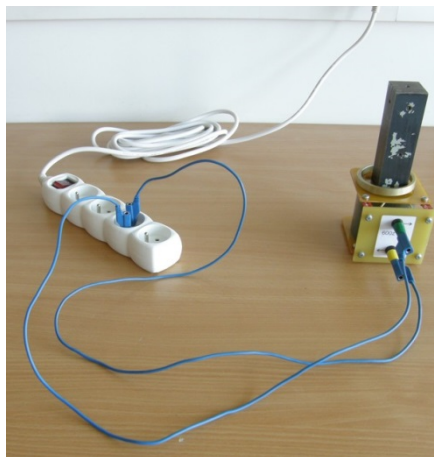
Demonstrace Lenzova zákona pomocí levitujícího kroužku (prstence) – var. II

Jedná se o poměrně efektní variantu předchozí demonstrace, přičemž cívka (tentokrát 600 z) je připojena přímo na 230 V. Vzhledem k připojení na síťové napětí je třeba dbát zvýšené opatrnosti! Dále je třeba dávat pozor na počet závitů cívky. Zapojením cívky o menším počtu závitů obvodem prochází dostatečně velký proud, který spolehlivě vypne jističe (a to mnohdy nejen v učebně). Větší počet závitů naopak nezpůsobí dostatečně pěkný efekt.

Pomůcky: Cívka 600 z, dlouhé I-jádro, zdroj střídavého napětí 230 V (síťové napětí), prodlužovačka s vypínačem, hliníkový kroužek, spojovací vodiče

Příprava a provedení

Jde o variantu předchozího pokusu, uspořádání je vidět na obrázku. V této variantě pokusu je prvotní impuls k vystřelení prstence větší, prstenec se vystřelí někdy do výše přibližně 180 cm. Navíc jsou zde výraznější i další efekty, které je možno s žáky prodiskutovat. (cívka má snahu se nasunout na střed I-jádra – vtahování feromagnetika do magnetického pole).



Poznámky a varianty

- 1) Jak už bylo řečeno, při tomto experimentu je nutné použít cívku o 600 závitů (jinak dojde k přetížení obvodu a automatickému vypnutí pomocí jističe).
- 2) Je výhodnější použít dlouhé I-jádro a demonstrovat pouze vystřelení prstence. I zde je však možné ukázat levitaci prstence, ale jádro musí být dostatečně dlouhé. Pozor na převrnutí!!
- 3) Nutné je dodržovat bezpečnostní pokyny. Dále je nutné upozornit žáky na to, aby tento pokus sami neprováděli!!! Právě z důvodu bezpečnosti je vhodné připojit cívku na prodlužovačku s vypínačem.
- 4) Při zapojení obvodu se samotná cívka nepatrně vznese – jako by cívka měla snahu se nasunout na střed jádra (pro magnetické působení je ideální symetrická situace, tj. jádro zasunuté do cívky), proti tomu však působí síla tíhová, proto se cívka vznáší asi 1-2 cm nad podložkou. Chceme-li demonstrovat toto nasouvání cívky na střed jádra (resp. vtahování feromagnetika do magnetického pole), je lepší před zapnutím obvodu cívku orientovat vodorovně, tedy s osou rovnoběžnou se zemí.
- 5) Po vystřelení prstence je ho možné zpět na jádro nasadit a přidržovat ho prsty u cívky. Pozorujeme, že se cívka od prstence odpuzuje, přičemž se prstenec průchodem proudu dosti zahřívá.
- 6) Chceme-li demonstrovat nasouvání cívky na střed jádra (resp. vtahování feromagnetika do magnetického pole), je lepší před zapnutím obvodu cívku orientovat vodorovně, tedy s osou rovnoběžnou se zemí a jádro trochu povysunout. Při sepnutí obvodu se jádro vsune do cívky.
- 7) Aby se cívka při vypnutí obvodu příliš nepoškozovala, je vhodné pod ní dát měkčí podložku (např. kartón). Bohužel se tím na druhou stranu trochu zmenší stabilita. Je tedy vhodné volit jistý kompromis.

4) Vlastní indukce

Vlastní indukce se projevuje, připojíme-li (případně odpojíme) cívku do elektrického obvodu. Jde o jev elektromagnetické indukce, kdy zdrojem proměnného magnetického indukčního toku je cívka sama. Při zapojení cívky do obvodu začne cívku procházet proud, a tedy vzniká magnetické pole. Tím se ale sama cívka nachází v časově proměnném magnetickém poli. Musí se v ní tedy indukovat napětí a následně proud, který podle Lenzova zákona „konzervuje“ předchozí stav. V obvodu s cívku proto proud při připojení ke zdroji narůstá pomalu. Při odpojení vzniká na cívce napětí, a to vlivem rychlosti změn dokonce značně vyšší, než je napětí zdroje. Obdobně je tomu ve střídavém obvodu, což se projevuje zdánlivým odporem cívky zvaným induktance. Veličinu, která charakterizuje, jak moc cívka sebe sama ovlivňuje, nazýváme indukčnost cívky. Je to důležitý parametr, podobně jako je pro rezistor odpor nebo kapacita pro kondenzátor.

Jevy spojené s připojením a odpojením obvodu s cívku od zdroje nazýváme přechodové (případně přechodné) jevy, protože se projevují jen při změnách proudu v obvodu, tedy přechodně (na přechodnou dobu).

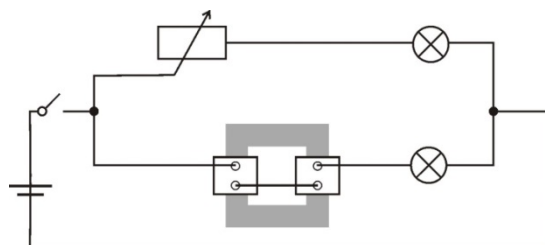
Vliv indukčnosti na vzrůstání proudu

Pomůcky

Dvě cívky 600 z, dvě stejné žárovky cca 3,5 V, listkové U-jádro, reostat 100 Ω /2 A, krátké jádro, spínač, akumulátor, spojovací vodiče

Příprava a provedení

Sestavíme obvod podle schématu. Obě cívky nasuňte na společné uzavřené jádro a propojte do série. Odpor reostatu nastavte tak, aby obě žárovky svítily stejně. Odpor reostatu tedy nahrazuje odpor cívky ve druhé větvi. Překontrolujte, zda krátké jádro drží na U-jádře pevně. V opačném případě změňte směr proudu v jedné cívce. Vypnutím spínače je obvod připraven k demonstraci. Pokus provedeme v několika krocích.



- 1) Sepnutím spínače zapneme proud. Žárovka, která je v sérii s reostatem, se rozsvítí prakticky okamžitě, zatímco žárovka, která je ve větvi s cívku, se rozsvítí s určitým zpožděním.
- 2) Pokus opakujeme s tou změnou, že odstraníme I jádro. Nyní se rozsvítí obě žárovky téměř současně.
- 3) Necháme U-jádro otevřené. Při sepnutém spínači jádro uzavřeme krátkým I jádrem. Pozor, jádro se razantně přitáhne. Jas žárovky na krátkou dobu poklesne.
- 4) Krátké I-jádro nastavíme při vypnutém spínači tak, by ho bylo možné po zapnutí sejmut (tj. spíše na hranu U-jádra). Spínač sepneme a poté odejmeme I-jádro. Při jeho odtržení žárovka jasně zazáří (může dojít i k přepálení vlákna).

Závěr

Po připojení zdroje napětí vzrůstá proud ve větvi s cívkou s jistým zpožděním oproti proudu ve větvi s reostatem (tedy jen s odpory). Toto zpoždění je tím větší, čím větší je indukčnost cívky. Zapojíme-li cívku do obvodu, ocitne se ve vznikajícím magnetickém poli, v cívice začne podle Lenzova zákona vznikat proud, který způsobí zeslabení původního proudu.

Při uzavření jádra se zvětší indukční tok cívkou a v cívice vznikne napětí, působící proti napětí zdroje. Naopak při odtržení I jádra dojde k poklesu indukčního toku, a proto se v cívice indukuje napětí stejné polaroty, jako je polarita zdroje (indukovaný proud tedy způsobí zesílení proudu původního směru).

Napětí indukované v cívice při přerušení obvodu

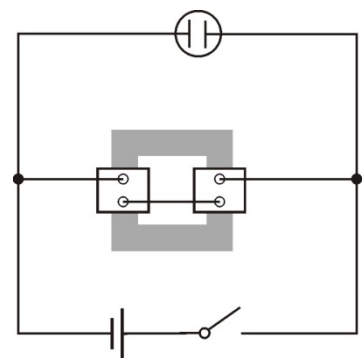
Pomůcky

Dvě cívky 600 z, doutnavka, lístkové U-jádro, krátké jádro, akumulátor, spojovací vodiče, tlačítkový spínač

Příprava a provedení

Cívky nasuneme na U jádro, jádro uzavřeme, cívky spojíme sériově a připojíme přes spínač ke zdroji. Paralelně k cívám připojíme doutnavku. Při zapojení obvodu se doutnavka nerozsvítí. V cívice se indukuje napětí opačné polaroty než napětí zdroje, ale o stejné velikosti, které na rozsvícení doutnavky nestačí.

Při přerušení obvodu doutnavka jasně zasvítí, současně pozorujeme mezi kontakty spínače vznik elektrické jiskry (resp. oblouku). Oba jevy jsou dokladem vzniku velkého napětí v cívice.



Závěr

Při přerušení obvodu s cívkou o velké vlastní indukčnosti se indukuje v cívice napětí mnohem větší, než je napětí použitého zdroje, protože pokles proudu, a tím i magnetického indukčního toku v cívice je po vypnutí spínače mnohem rychlejší než při jeho zapnutí.

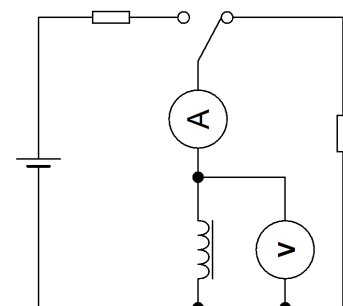
*Přechodový děj pomocí PC

Pomůcky

LabQuest, cívka 1200 z s U-jádrem, 2x rezistor 100 Ω , voltmetr VP-BTA, voltmetr DVP-BTA, ampérmetr DCP-BTA, přepínač, plochá baterie

Příprava a provedení

Obvod zapojíme podle schématu. Voltmetr a ampérmetr připojíme k LabQuestu. V LabQuestu nastavíme frekvenci na 1000 čtení/s, zapneme trigger (vybereme položku „je rostoucí“ a doplníme „přes 0,01 A“). Zapneme měření a přepneme do záložky grafu.



Přepínač v obvodu přepneme do opačné polohy a hned ho přepneme zpět, poté pozorujeme a diskutujeme zobrazený graf.

Závěr

Na časové závislosti napětí na cívce je vidět, že v okamžiku sepnutí se v cívce vytvoří napětí opačné polarity než napětí zdroje a hodnoty kolem 4 V. Toto napětí postupně klesá. Proud v obvodu pozvolna narůstá, až se ustálí na hodnotě dané napětím zdroje a odporem obvodu. Při vypnutí se na cívce indukuje napětí opačné polarity, než tomu bylo v okamžiku sepnutí, přitom jeho hodnota je větší než napětí na zdroji.

Další informace

Výsledky a metodické zpracování je na adrese:

<http://www.vernier.cz/experimenty/pazdera/7.18/index.php>

5) Indukce na vlastní kůži

V této části jsou zařazeny pokusy, které nevyžadují žádná měřidla, ale účinky (především brnění prstů apod.) mohou žáci pocítit tzv. na vlastní kůži. Protože mohou být tyto účinky nepříjemné, je nutné na to žáky předem upozornit. Intenzita účinků závisí na přechodovém odporu kůže, který je u různých lidí a za různých okolností různý. Dále je i subjektivní vnímání různé. Proto raději doporučujeme začít experimentovat šetrněji, a teprve pak zvýšit např. počet závitů, rychlost změn apod. Je lepší držet volné vodiče v jedné ruce než v obou. Je zcela vyloučené, aby tyto pokusy (zejména s přechodovými jevy) prováděli experimentátoři s nemocemi srdce, kardiostimulátorem a většími zdravotními obtížemi obecně.

Změna magnetického indukčního toku

Pomůcky

Cívka s velkým počtem závitů (například 12 000 závitů), U-jádro, podkovovitý magnet (event. plochý neodymový magnet na krátkém I-jádře), propojovací vodiče

Příprava a provedení

Cívku navlékneme na U-jádro. K cívce připojíme vodiče, jejich nezapojené konce necháme držet dobrovolníka rukou. Na U-jádro přiložíme magnet (podkovovitý magnet, případně jeho s neodymovým magnetem umístěným na jeho kraji tak, že po uzavření jádra je magnet v mezeře mezi jhem a U-jádrem) – jádro tak uzavřeme.

Závěr a vysvětlení

Přiložením magnetu dojde k poměrně rychlé změně magnetického indukčního toku cívkou, čímž se v cívce indukuje napětí, které pocitově detekujeme prsty. Intenzita brnění prstů přitom závisí na přechodovém odporu kůže.

Přechodové jevy

Pomůcky

Dvě cívky 600 z, U-jádro, krátké jádro, reostat, plochá baterie (4,5 V), spínač, spojovací vodiče

Příprava a provedení

Cívky navlékneme na U-jádro. Primární cívku připojíme přes reostat a spínač k ploché baterii. Na sekundární cívku připojíme vodiče, které podrží mezi prsty jedné ruky dobrovolník. Spínač sepne a pak zase rozpojíme. V okamžiku sepnutí a rozpojení spínače cítíme slabé brnění mezi prsty. Tento efekt můžeme zvýraznit uzavřením U-jádra. Pocitově je přitom možné odlišit sepnutí a vypnutí obvodu.

Závěr

V okamžiku sepnutí a vypnutí se v cívce indukuje napětí, které způsobí brnění prstů. Toto napětí je přitom větší při vypnutí než při zapnutí proudu.

6) Indukce kolem nás (několik aplikací)

Indukční vařič

Cílem experimentu je ukázat některé výše uvedené principy na běžném spotřebiči, s kterým mají mnozí studenti zkušenost.

Pozor: Experimenty nikdy nedělejte na indukčních varných deskách v domácnosti, hrozí jejich zničení!



Pomůcky

indukční vařič, smaltovaný hrnec, alobal, list papíru nebo tenká knížka, vodič, žárovka např. 3,5 V/0,3 A

Provedení

Postupně proveďte následující experimenty:

1) Ohřev vody

Do hrnce nalijte malé množství vody, zapněte vařič a pozorujte, že se voda za chvíli začne vařit. Dotykem ruky vyzkoušejte, že je vařič stále studený (kromě míst, kde na něm stojí hrnec – tam se zahřál od hrnce!). Zvedněte hrnec několik cm nad vařič a pozorujte, že se voda stále vaří. Podložte hrnec tenkou knížkou nebo několika listy papíru a pozorujte, že i přes papír se voda stále vaří.

2) Rozsvícení žárovky

Okolo hrnce s vodou umístíme žárovku s jedním závitem vodiče. Po zapnutí vařiče se žárovka rozsvítí.

3) Lenzův zákon

Na zapnutý vaříč položíme list alobalu a pozorujeme, že se vznese.

4) Hoření alobalu

Na zapnutém vaříči rukama přidržíme list alobalu, aby se nemohl vznést (ruce jsou pouze na kraji vaříče, jinak hrozí spálení!) a pozorujeme, že alobal začne žhnout a hořet.

Závěr

V hrnci s vodou postaveném na zapnutý indukční vaříč vznikají vířivé proudy, díky kterým se hrnec (a tedy voda v něm) zahřívá. Naopak, pokud na vaříč položíme ruku nebo jiný nevodivý materiál, napětí se v něm neindukuje, proto se nezahřívá.

V jednom závitě vodiče se indukují dost velké napětí (a teče dostatečně velký proud), aby se rozsvítila malá žárovka.

V alobalu položeném na indukční vaříč se indukují vířivé proudy, jejichž směr je dán Lenzovým zákonem. Vzniklá magnetická pole (od alobalu a od vaříče) se proto odpuzují a alobal se vznese.

Poznámky

Hrnec vhodný pro indukční vaříč musí být vodivý, vhodné jsou proto smaltované hrnce, hliníkové apod. Hrnce určené speciálně na indukční ohřev mají tlusté dno, díky kterému vznikají větší vířivé proudy.

Experiment s ohřevem vody přes papír lze provést i jako motivační tím, že místo papíru použijeme učebnici. Pozor na jazykové učebnice obsahující CD. Vzhledem k rozšíření „gumovacích per“ není vhodné používat sešity studentů – hrozí, že jim text zmizí...

Při provádění experimentů pozor na vodivé náramky, prstýnky apod.

Další informace

Některé další experimenty a podrobnější vysvětlení principu indukčního vaříče jsou dostupné v článku P. Žilavý: Pokusy s indukčním vaříčem. In: Dílny Heuréky 2008, sborník z konference projektu Heuréka. Dostupné na: http://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky_2008.pdf

Indukční nabíječka na mobilní telefon

Experiment je vhodný jako motivační, hodí se i na různé show, předvánoční hodiny apod.

Pomůcky

Indukční nabíječka na mobilní telefon, cívka s přibližně dvaceti závity a připojenou LED



Příprava a provedení

Nabíječku připojíme do zásuvky a položíme na ni cívku s připojenou LED. Pozorujeme, že se LED rozsvítí (v případě některých nabíječek bliká).

Komentář

Indukční nabíječka je na trhu poměrně nová a zatím poměrně málo rozšířená. Kromě ní je k nabíjení telefonu potřeba zakoupit ještě „receiver“ – plochou cívku, která se připojí k baterii mobilního telefonu.

Nabíječka, která je k dispozici v praxi, vysílá cca 0,5 s pulzy, ty jsou tvořeny vysokofrekvenčními pulzy o frekvenci cca 100 kHz. Těmito pulzy nabíječka testuje přítomnost telefonu. Pokud detekuje telefon, začne ho nabíjet kontinuálně (bez pulzů).

Poznámka

Pokud chceme experiment použít jako motivační, lze nabíječku přilepit např. pod stůl – cívka tak bliká na prázdném stole zdánlivě bez přítomnosti zdroje.

„Třepací“ baterka

Úkol

Prohlédněte si baterky, které využívají elektromagnetickou indukci, a prozkoumejte, jak fungují.

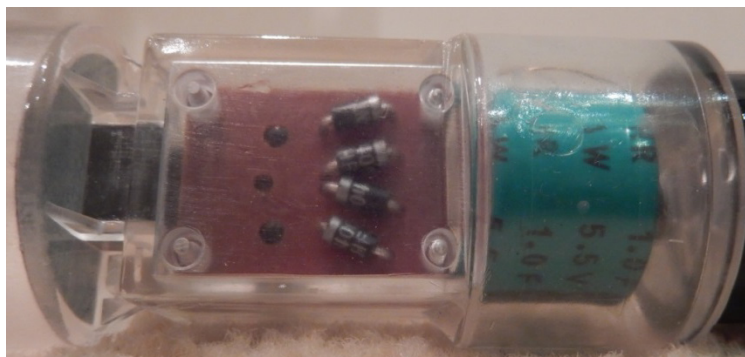
Popis „třepacích“ baterek

Tento druh baterek se prodává pod řadou obchodních značek (věčné světlo, „Faraday star“ apod.) a v různých provedeních. Zdrojem bývá kondenzátor, který se nabíjí díky pohybu magnetu v dutině cívky. Je tedy zřejmé, že čím rychleji třepeme, tím více svítíme. Čím déle třepeme, tím více energie si do kondenzátoru uložíme na pozdější svícení (při zhasnutí svítelně – vypnutém spínači). Je to poměrně pěkné, názorné a pro žáky snadno pochopitelné užití elektromagnetické indukce v praxi. Některé takové baterky se vyrábějí jako průhledné, čímž se dají ještě lépe použít jako výuková pomůcka.



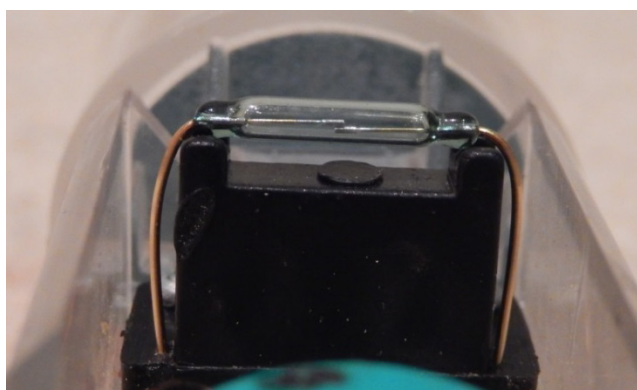
Převzato z: <http://www.svetoutdooru.cz/svet-outdooru/faraday-star-svitilna-bez-baterie/#>

Ale i zde je několik „základností“ a technických zajímavostí, které můžeme s žáky rozebrat. Víme například, že polarita indukovaného napětí závisí na směru pohybu a na polaritě magnetu, zatímco kondenzátor potřebujeme nabíjet jen na jednu polaritu (nemluvě o nutnosti zapojení LED v propustném směru, chceme-li si posvítit). K tomu slouží např. Graetzovo zapojení usměrňovacích diod.



Vnitřek baterky (kondenzátor a diody)

U některých baterek tohoto typu je i zajímavě řešen spínač. Aby byla baterka vodotěsná, je spínač zalit do vnější plastové konstrukce a nijak nezasahuje do vnitřního (tedy chráněného) prostoru. Posunovací spínač je opatřen malým magnetem a uvnitř svítilny je v zapnuté poloze umístěn jazýčkový spínač. Posuneme-li tedy spínač do polohy zapnuto – magnet ve spínači se dostane nad spínač jazýčkový a sepne jazýčkové kontakty.



Jazýčkový spínač

Dalším typem je „mačkáč“ baterka, která se liší pouze technickým řešením. Místo třepání se nejčastěji mačkáním páky roztočí dynamo. Fyzikálně je zde zajímavý setrvačnickový systém.

Další informace

Na několik druhů třepacích baterek se můžete např. podívat na:

https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=6fr4VR3fAuw

Pěkně okomentovaná funkce včetně Graetzova můstku je na:

<https://www.youtube.com/watch?v=fiyaYII7ROA>

Literatura

Při zpracování experimentů jsme vycházeli z následujících zdrojů:

- [1] E. Svoboda a kol.: Pokusy z Fyziky na střední škole 3. Prometheus, Praha 1999.
ISBN: 80-7196-009-8
- [2] Lepil O., Šedivý P.: Fyzika pro gymnázia. Elektřina a magnetismus. Prometheus, Praha 2010. ISBN:
978-80-7196-385-1
- [3] V. Pazdera a kol.: Přejchodný děj. Dostupné online na
<http://www.vernier.cz/experimenty/pazdera/7.18/index.php>

Tento materiál vznikl v rámci opatření na podporu studijních programů zaměřených na přípravu budoucích učitelů na pedagogických i nepedagogických fakultách veřejných vysokých škol (2021).