

Název: Transformátor

Téma: Střídavý proud, transformátor

RVP: využití zákona elektromagnetické indukce k řešení problémů a k objasnění funkce elektrických zařízení

Úroveň: střední škola

Tematický celek: Praktické aplikace přírodovědných a technických poznatků

Předmět (obor): fyzika

Doporučený věk žáků: třídy čtyřletého gymnázia, nebo vyšší stupeň víceletého gymnázia

Doba trvání: 2 vyučovací hodiny

Specifický cíl: naučit žáky naplánovat a provést badatelskou činnost a vyhodnotit její výsledky

Seznam potřebného materiálu:

Pro každou dvojici: 2 cívky (např. se 600 a 1200 závitů), 4 spojovací vodiče, 2 voltmetry (analogové nebo digitální, se střídavým rozsahem), lístkové U-jádro, lístkové krátké jádro (I-jádro), plné U-jádro, zdroj střídavého napětí

Seznam praktických (badatelských) aktivit:

Zjištění vlivu vazby mezi cívkami transformátoru na účinnost transformace

Zjištění vlivu počtu závitů cívek na výstupní napětí

Zjištění vlivu typu jádra transformátoru na účinnost transformace

Anotace:

Tato aktivita volně navazuje na aktivitu Elektromagnetická indukce, v níž žáci zjistili, že při změně proudu procházejícího cívkou se na druhé cívce, která je v její bezprostřední blízkosti (či s ní na společném jádře), indukuje napětí. Zde žáci sestaví transformátor a budou zjišťovat, jak počty závitů obou cívek ovlivňují napětí na sekundární cívce. V závěru se též dotkneme problematiky vířivých proudů a zjistíme, jak se liší výsledky měření při použití lístkového a plného jádra.

V průběhu práce žáci zaznamenávají své nápady, hypotézy, výsledky jejich ověřování a závěry do pracovního listu.

Harmonogram výuky:

	náplň práce	čas	potřebné vybavení a pomůcky	činnost učitele	činnosti žáků
Úvod do tématu – motivace	Seznámení s účelem transformátorů	5 min.	Pracovní list – úvod (motivační text)	Učitel zodpovídá eventuelní dotazy.	Žáci čtou motivační text z pracovního listu.
Předlaboratorní příprava	Nakreslení schématu a zapojení obvodu	5 min.	2 cívky, 4 spojovací vodiče, 2 voltmetry, lístkové U-jádro, lístkové krátké jádro (I-jádro), zdroj střídavého napětí	Dohlíží na činnost žáků.	Žáci nakreslí schéma zapojení a podle něj zapojí elektrický obvod; nastaví vhodné rozsahy měřících přístrojů.
Praktická (badatelská) činnost	1. Zjišťování vlivu vazby mezi cívkami transformátoru na účinnost transformace 2. Zjišťování vlivu počtu závitů cívek na výstupní napětí 3. Zjišťování vlivu typu jádra transformátoru na účinnost transformace	43 min.	cívky (žáci si je vzájemně zapůjčují), 4 spojovací vodiče, 2 voltmetry, lístkové U-jádro, lístkové krátké jádro (I-jádro), plné U-jádro, zdroj střídavého napětí	Učitel dohlíží na činnost žáků, konzultuje problémy a nejasnosti, klade jim otázky.	1. Mění vzájemnou konfiguraci cívek a zjišťují, kdy je sekundární napětí největší. 2. Sestavují transformátory z různých cívek a měří napětí. 3. Použijí plné jádro místo lístkového a měří napětí.
Vyhodnocení výsledků	Diskuse výsledků ve skupinách a ve třídě	17 min.	Pracovní listy s výsledky měření	Moderuje diskusi, popřípadě vhodně volenými otázkami pomáhá žákům dospět k závěrům.	Diskutují v menších a posléze větších skupinách, formulují závěry.
Prezentace výsledků	Formulace závěrů a transformátorové rovnice	5 min.	Pracovní listy s výsledky měření	Dohlíží na správnost závěrů, případně pomáhá s jejich formulací.	Žáci formulují závěry.

Domácí úkol pro žáky: Úlohy na transformátory

Přípravy pro učitele

Podrobný časový plán:

- přečtení motivačního textu v pracovním listě – 5 min.
- úkol č. 1: práce žáků ve skupinách – 10 min.; diskuse – 5 min. (celkem 15 min.)
- úkol č. 2: tvorba hypotéz – 8 min.; práce ve skupinách – 20 min.; diskuse a shrnutí – 7 min. (celkem 35 min.)
- úkol č. 3: práce ve skupinách (nebo demonstrační pokus) – 10 min.; diskuse a shrnutí – 10 min. (celkem 20 min.)

Z uvedených orientačních časů vyplývá, že tuto aktivitu lze realizovat ve dvou vyučovacích hodinách. Pokud máte dvouhodinové laboratorní práce, bude celá aktivita námětem jedné práce. Máte-li laboratorní práce jednohodinové, je možno provést úkoly č. 1 a 2 během laboratorní práce a úkol č. 3 s celou třídou během následující vyučovací hodiny.

Motivační text: Jeho celé znění najdete v pracovním listu pro žáky.

Úkoly pro žáky:

Po přečtení motivačního úvodu začnou žáci pracovat na následujících úkolech.

1. Již víte, že při změně proudu v cívce – elektromagnetu se na druhé cívce, která je v její bezprostřední blízkosti či s ní na společném jádře, indukuje napětí. Pokud se proud elektromagnetem mění neustále, na druhé cívce vzniká neustále napětí. Jak je velikost indukovaného napětí ovlivněna těsností vazby mezi cívkami? Jak uspořádat cívky, aby bylo indukované napětí co největší?
2. Nyní jste sestavili zařízení zvané transformátor. Cívka připojená ke zdroji se nazývá primární cívka, cívka připojená k voltmetru (obecně ke spotřebiči) je sekundární cívka. Na čem závisí napětí na sekundární cívce?
3. Co se stane, když místo lístkového jádra (se kterým jsme dosud pracovali) použijeme plné jádro? Proč?

Poznámky pro učitele:

1. Skupinky žáků dostanou všechny pomůcky s výjimkou plného jádra. Jednu cívku připojí na zdroj střídavého napětí (na napětí přibližně 3 V) a druhou k voltmetru. Potom se snaží cívky uspořádat tak, aby napětí na druhé cívce bylo co největší. Před začátkem měření je voltmetr potřeba nastavit na největší střídavý rozsah (hodnota napětí na druhé cívce není žákům ani přibližně předem známa) a na základě změřené hodnoty pak rozsah adekvátně snížit. Žáky upozorníme, že napětím u střídavého proudu budeme rozumět napětí efektivní.

Poznámka k cívkám: Tento úkol lze splnit s použitím téměř libovolných cívek (ta, kterou připojujeme ke zdroji, musí však mít dostatečný odpor – viz dále). Čím více má sekundární cívka závitů proti primární, tím je indukované napětí větší. V další práci, kdy budou žáci zkoumat závislost napětí na sekundární cívce na počtech závitů cívek, je třeba disponovat cívkami s různým počtem závitů. Dobře lze použít cívky ze školního rozkladného transformátoru (použitelné jsou cívky se 60, 300, 600, 1200 závitů), které si žáci mezi sebou budou půjčovat. Lze ale použít i jiné sady cívek, pokud je máte (měla by být k dispozici i jádra příslušné velikosti). Je jen třeba dát pozor na odpor cívky připojované ke zdroji napětí, aby proud v primárním obvodu nepřekročil maximální hodnotu přípustnou pro součástky v obvodu (použít cívku s minimálně 300 závitů s jádrem – tou při napětí 3 V protéká proud cca 1 A).

Dá se předpokládat, že žáci zkusí položit cívky těsně vedle sebe, pak je dají na společné krátké jádro nebo U-jádro a celkem rychle přijdou na to, že nejlepší vazba je mezi cívkami na společném uzavřeném jádře. Na tomto závěru se skupiny shodnou.

2. Na čem závisí napětí na sekundární cívce?

Nejdříve žáci vytvářejí hypotézy, na čem závisí napětí vzniklé na sekundární cívce. Hypotézy napřed tvoří každý žák samostatně (nemluví a dělá si poznámky). Po asi dvou minutách se žáci sdruží do dvojic, prodiskutují své nápady vzájemně a shodnou se na společných stanoviscích, po dalších dvou minutách se opět sdruží dvě dvojice, krátce prodiskutují nápady a nakonec se všechny čtveřice pokusí shodnout na hypotézách, které budou následně ověřovat.

Pokud předpokládají, že cívky jsou na společném uzavřeném jádře, přijdou asi na jediný ověřitelný nápad, že napětí závisí na počtech závitů cívek (při konstantním efektivním napětí zdroje).

Následně každá skupina vytvoří vlastní hypotézu o tom, jak napětí závisí na uvedeném jevu. Mohou se opřít o své znalosti získané při zkoumání jevu elektromagnetické indukce, kde se otázka vlivu počtu závitů na indukované napětí řešila.

Nyní budou jednotlivé skupiny ověřovat hypotézy. Cívky si mohou jednotlivé skupiny navzájem půjčovat. Je dobré nechat žáky vytvořit tabulku dle následujícího příkladu, do které budou svá měření zaznamenávat.

Poznámka 1: Tabulka je vytvořena pro případ použití cívek s 60, 300, 600 a 1200 závitů. Rozumné napětí na primární cívce je přibližně 3 V. **Nepoužíváme primární cívku se 60 závitů z důvodu jejího malé impedance!!!**

Poznámka 2: I když neměníme nastavení napětí zdroje, při každé kombinaci primární a sekundární cívky změříme i primární napětí. Proud primární cívkou závisí na počtu závitů této cívky a se změnou proudu se může měnit i napětí zdroje.

Příklad tabulky pro zaznamenání výsledků měření:

Počet závitů primární cívky N_1	300	300	300	300	600	600	600	600	1200	1200	1200	1200
Počet závitů sekundární cívky N_2	60	300	600	1200	60	300	600	1200	60	300	600	1200
Naměřené napětí na primární cívce U_1												
Naměřené napětí na sekundární cívce U_2												
Poznámky												

Poté následuje shrnutí závěrů ve skupinách a nakonec společné shrnutí na tabuli, na kterém by se měly skupiny shodnout.

Na závěr žáci experimentálně ověří na několika kombinacích cívek, že závěry platí i pro jiné napětí na primární cívce (např. 6 V, 9 V). **V tomto případě je třeba použít primární cívku s minimálně 600 závity!!!**

3. Co se stane, když místo lístkového jádra (se kterým jsme dosud pracovali) použijeme plné jádro? Proč?

Máme-li dostatek plných jader, necháme žáky zopakovat předchozí měření z bodu 2 (nebo alespoň některá z nich) s použitím plného U-jádra místo lístkového. Máme-li k dispozici jen málo plných jader, lze měření provést jako demonstrační a žáci si jen zapíší výsledky.

Žáci zjistí, že při použití plného jádra je napětí na sekundární cívce vždy menší než v předchozím případě (a tedy menší, než by odpovídalo získanému teoretickému vztahu). Nyní se zamyslí nad tím, proč tomu tak je. (Opět vytvoří hypotézu napřed každý sám, pak ji diskutují ve dvojici, pak ve čtveřici a nakonec všichni.) Měli by přijít na to, že pokles hodnot mají na svědomí energetické ztráty. Při vysvětlení těchto ztrát se pravděpodobně objeví odpor cívek, který lze „odbýt“ poukázáním na to, že cívky používáme v obou případech stejné. Pak žákům nezbude, než hledat příčinu v jediném rozdílu mezi oběma případy – v U-jádře. Pokud na to nepřijdou sami, je třeba je vhodnými otázkami přivést k tomu, že jádro je vodič a tedy se v něm indukují proudy (vířivé), které „odčerpávají energii určenou pro sekundární cívku a zahřívají jádro“. Je vhodné hned potom demonstrovat působení vířivých proudů se zavěšeným magnetem kývajícím se nad plnou nebo prořezanou hliníkovou destičkou, pokud je tato pomůcka k dispozici.

Pracovní list pro žáky – vyplněný

Transformátor

Úvod: Elektrárny vyrábějí střídavé napětí, jehož efektivní hodnota je několik kilovoltů. Do našich domovů přichází napětí s efektivní hodnotou 230 V, ale v krajině můžete vidět sloupky elektrického vedení nesoucí vodiče pod napětím např. 400 kV, 220 kV, 110 kV, 22 kV. Proč se používá tak vysoké napětí a jak se napětí s nějakou efektivní hodnotou mění na napětí s jinou efektivní hodnotou? Odpověď na první otázku je stručná – čím větší je napětí, tím menší proud je potřebný na přenos požadovaného výkonu a tím menší energetické ztráty nastávají při přenosu elektrické energie.

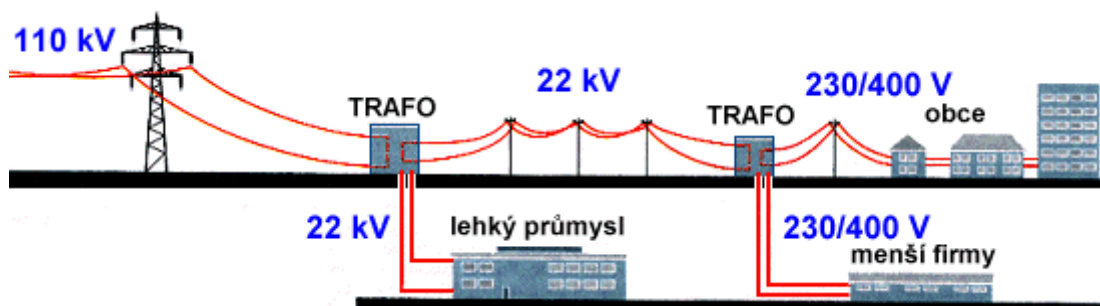
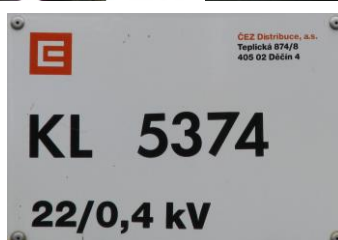


Schéma rozvodné elektrické sítě

(citováno z <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/4-4.htm>)

Přístroj, který mění napětí jedné hodnoty na napětí odlišné hodnoty, se nazývá transformátor. Transformátory najdeme nejen v elektrárnách a rozvodnách, ale i v domácnostech, např. v nabíječkách do mobilních telefonů, ve zdrojích do notebooků apod.



Různé transformátory 22 kV/400 V a označovací štítek

Seznam pomůcek:

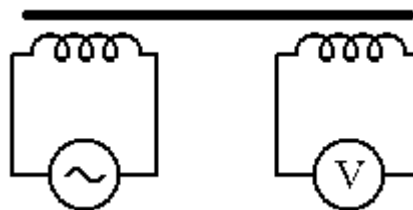
2 cívky, 4 spojovací vodiče, 2 voltmetry, lístkové U-jádرو, lístkové krátké jádro (I-jádرو), zdroj střídavého napětí

Pracovní úkoly:

Úkol č. 1: Již víte, že při změně proudu v cívce – elektromagnetu se na druhé cívce, která je v její bezprostřední blízkosti či s ní na společném jádře, indukuje napětí. Pokud se proud elektromagnetem mění neustále, na druhé cívce vzniká neustále napětí. Jak je velikost indukovaného napětí ovlivněna těsností vazby mezi cívkami? Jak uspořádat cívky, aby bylo indukované napětí co největší?

Provedení: Nakreslete schéma obvodu, se kterým budete pracovat, a sestavte ho.

Sestavíme dva obvody – jeden ze zdroje střídavého napětí a jedné cívky, druhý z druhé cívky a voltmetru. Cívky umístíme blízko u sebe, nejlépe na společné jádro.



Zkoušejte umísťovat cívky a jádra do různých vzájemných poloh a měřte napětí na druhé cívce. Jak musejí být cívky a jádro uspořádány, aby napětí bylo co největší?

Největší napětí na druhé cívce dostaneme, pokud cívky umístíme na společné U-jádرو a to uzavřeme krátkým I-jádrem.

Úkol č. 2: Nyní jste sestavili zařízení zvané transformátor. Cívka připojená ke zdroji se nazývá primární cívka, cívka připojená k voltmetru (obecně ke spotřebiči) je sekundární cívka. Na čem závisí napětí na sekundární cívce?

Provedení: Na čem by podle vás mohlo záviset napětí na sekundární cívce? Každý запиšte sám za sebe své nápady.

Napětí na sekundární cívce by mohlo záviset na:

- napětí na primární cívce (napětí zdroje)
- počtech závitů cívek

Nyní vytvořte hypotézy, jak na daných faktorech vzniklé napětí závisí.

Závislost na

- napětí na primární cívce (napětí zdroje) – čím větší primární napětí, tím větší sekundární napětí
- počtech závitů cívek – čím větší počet závitů na sekundární cívce v porovnání s počtem závitů primární cívky, tím větší napětí

Nyní ověřte hypotézy a запиšte výsledky. Pracujte s konstantním efektivním napětím na primární cívce.

Výsledky měření:

Počet závitů primární cívky N_1	300	300	300	300	600	600	600	600	1200	1200	1200	1200
Počet závitů sekundární cívky N_2	60	300	600	1200	60	300	600	1200	60	300	600	1200
Naměřené napětí na sekundární cívce U_2/V	0,6	3,0	6,0	12,0	0,3	1,5	3,0	6,0	0,15	0,75	1,5	3,0
Poznámky	Je $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$											

Efektivní hodnota napětí na primární cívce (stále stejné) $U_1 = 3 V$

Ověřili jsme závislost napětí na sekundární cívce na počtech závitů cívek – kolikrát je větší počet závitů na sekundární cívce v porovnání s počtem závitů na primární cívce, tolikrát je větší sekundární napětí proti primárnímu.

Teď prodiskutujte získané výsledky ve třídě a vytvořte závěry.

Závěry jsou již uvedeny výše.

Nakonec ověřte platnost závěrů i při jiném napětí na primární cívce pro několik vybraných případů.

Výše uvedené závěry zůstávají v platnosti.

Úkol č. 3: Co se stane, když místo lístkového jádra (se kterým jsme dosud pracovali) použijeme plné jádro? Proč?

Provedení: Zopakujte předchozí měření z bodu 2 (nebo alespoň některá z nich) s použitím plného U-jádra místo lístkového a запиšte výsledky.

Výsledky měření:

Počet závitů primární cívky N_1	300	300	300	300	600	600	600	600	1200	1200	1200	1200
Počet závitů sekundární cívky N_2	60	300	600	1200	60	300	600	1200	60	300	600	1200
Naměřené napětí na sekundární cívce U_2/V	0,3	1,5	3,0	6,0	0,1	0,8	1,5	3,0	0,1	0,4	0,8	1,5
Poznámky	$\frac{U_2}{U_1} \neq \frac{N_2}{N_1}$; naměřená sekundární napětí jsou výrazně menší než při použití lístkového jádra.											

Efektivní hodnota napětí na primární cívce (stále stejné) $U_1 = 3 \text{ V}$

Jak se výsledky liší od předchozích?

Naměřená sekundární napětí jsou výrazně menší než při použití lístkového jádra.

Nyní vytvořte hypotézu, proč tomu tak je.

Vzhledem k výsledkům je jasné, že dochází k energetickým ztrátám. Jelikož jsme pouze zaměnili lístkové jádro za plné, je zřejmé, že ztráty nastávají v jádře. Na vině patrně budou vířivé proudy, které se vzhledem k proměnnému magnetickému poli v jádře indukují a v plném jádře se jim daří lépe než v lístkovém (mohou se snáze uzavírat).

Teď prodiskutujte hypotézy ve skupinkách a pak ve třídě a vytvořte závěry.

Závěry jsou uvedeny výše.

Porovnejte sekundární napětí při použití lístkového a plného jádra a vyslovte závěr.

Viz výše.

Závěrečné poznámky

Jiné varianty a další možné úpravy či doporučení

Tuto práci lze uskutečnit i se studenty nižšího stupně gymnázia v rámci probírání elektromagnetické indukce a transformátoru.

Pro oživení a upoutání pozornosti je možné ještě navíc doplnit motivační pokus se dvěma cívkami na uzavřeném jádře (2×300z, U jádro, I jádro, velký válcový monočlánek, 4 vodiče), kdy k první cívce připojíme dva vodiče pro připojení k monočlátku a k druhé cívce další dva vodiče, které jeden z žáků chytne mezi prsty jedné ruky. Při rozpojování obvodu první cívky žák cítí jemné „kopnutí“. Pokus je průkazný, zaujme a není přitom nebezpečný.

Reflexe po hodině

Sestavení transformátoru nečinilo žákům žádné problémy. Žáci opakovaně sestavili transformátor s různým převodem z připravených cívek a jádra a změřili napětí na primární a sekundární cívce. Žáky zjištěné hodnoty poměru napětí na sekundární cívce (bez zatížení) k napětí na primární cívce odpovídaly přibližně poměru počtu závitů cívek. Např. pro cívky 1200z a 600z byla změřena napětí 6,9 V a 3,1 V. Rozdíl lze uspokojivě vysvětlit tím, že ne všechny indukční čáry magnetického pole primární cívky prochází i cívkou sekundární (rozptylové pole).

Na samotné experimentování a badatelskou činnost žáků je někdy problematické vymezit při konkrétním zadání přesný čas. Splnění úkolů zabere různým skupinám různou dobu. Lektor by měl proto přizpůsobit rozsah zadání (počet cívek, různé kombinace atd.) dostupnému času a experimentálním schopnostem žáků.

Navazující a rozšiřující aktivity

Výpočty z transformátorové rovnice, účinnosti reálných transformátorů, vysvětlení ztrát vířivými proudy a jejich aplikace (např. elektrodynamická brzda).