**Cvičení – nestacionární magnetické pole (elektromagnetická indukce), obvody střídavého proudu**

**Základní otázky:**

* Na čem závisí velikost napětí indukovaného v cívce při přibližování a oddalování magnetu? Indukuje se proud i v případě, že magnet je umístěn v cívce a nepohybuje se? Indukuje se proud i v případě, že magnet se nepohybuje, ale pohybuje se cívka?
* Jak se značí veličina magnetický indukční tok, jaká je její jednotka, jakým vzorcem se spočítá a jaký je její fyzikální význam?
* Co říká Faradayův zákon elektromagnetické indukce?
* Co je to Lenzův zákon a jak je možné jej experimentálně demonstrovat?
* Určete polaritu magnetického pole cívky a směr proudu v ní při přibližování a oddalování magnetu:

* Vysvětlete pokusy se skákajícím prstencem na <https://www.youtube.com/watch?v=Pl7KyVIJ1iE>
* Co jsou to Foucaltovy vířivé proudy? Mají tyto proudy tepelné účinky? Kde jsou tyto proudy užitečné a kde naopak škodlivé?
* Jak bude záviset napětí indukované v závitu s plochou *S* otáčejícím se úhlovou rychlostí v homogenním magnetickém poli o indukci *B* na čase. Kolik otáček za minutu musí závit udělat, aby vzniklý střídavý proud měl síťovou frekvenci 50 Hz?
* Smyčka se pohybuje rovnoměrně směrem vpravo. Zakreslete do grafu průběh indukovaného napětí ve smyčce v závislosti na poloze jejího středu.

* Která žárovka se po sepnutí spínače rozsvítí dřív? Proč tomu tak je?

* Jak je definována veličina indukčnost a jaká je její jednotka? Jaká je vlastní indukčnost přímého drátu ve srovnání s cívkou?
* Jak se stanoví indukčnost solenoidu?
* Jak se pomocí indukčnosti vyjádří energie magnetického pole cívky?
* Jak se pomocí indukčnosti vyjádří indukované napětí v cívce při změně procházejícího proudu?
* Jaké pravidlo platí pro spojování cívek s nulovou vzájemnou indukčností do série a paralelně? Jak se pravidlo pro sériové spojení odvodí? Jak příslušné pravidlo zní pro rezistor a jak pro kondenzátor?
* Co je to přechodový děj, jak během něj vypadá závislost proudu v obvodu s cívkou na čase uplynulém od sepnutí spínače a jak doba jeho trvání závisí na indukčnosti použité cívky?
* Jak vzniká střídavé napětí a střídavý proud a na čem závisí amplituda střídavého napětí. Na čem závisí frekvence střídavého napětí? Jaká je frekvence síťového napětí?
* Jak se chová samotný rezistor v obvodu střídavého proudu (tj. jaký je fázový rozdíl mezi proudem a napětím a jaký vztah platí mezi amplitudami proudu a napětí)
* Jak se chová samotná cívka v obvodu střídavého proudu (tj. fázový rozdíl proudu a napětí a vztah mezi amplitudami)? Co je příčinou tohoto fázového rozdílu (vysvětlení pomocí přechodového děje v stejnosměrném obvodu)? Co je to induktance, jaká je její jednotka a jak se spočítá? Jaký je rozdíl mezi indukčností a induktancí? Jak se stanoví celkový odpor reálné cívky v obvodu střídavého proudu?
* Jak se chová samotný kondenzátor v obvodu střídavého proudu (tj. fázový rozdíl proudu a napětí a vztah mezi amplitudami)? Co je příčinou tohoto fázového rozdílu (vysvětlení pomocí přechodového děje v stejnosměrném obvodu)? Co je to kapacitance, jaká je její jednotka a jak se spočítá? Jaký je rozdíl mezi kapacitou a kapacitancí? Jak se spočítá kapacita deskového kondenzátoru a jaká je energie kondenzátoru o kapacitě *C* nabitého na napětí *U*?
* Má induktance a kapacitance stejné tepelné účinky jako odpor v obvodu stejnosměrného proudu? V jakém vztahu jsou napětí na cívce (popř. kondenzátoru) v jednoduchém obvodu střídavého proudu (tj. jen cívka nebo jen kondenzátor) s napětím na zdroji v tomto obvodu? Z jakého fundamentálního zákona tento vztah vyplývá?
* Co je to impedance, jaká je její jednotka a jak se stanoví impedance v sériovém RLC obvodu střídavého proudu? Jak se v tomto obvodu stanoví fázový rozdíl proudu a napětí na sérii RLC. K čemu dojde v okamžiku, kdy je tento rozdíl roven nule a jaká podmínka pro to musí být splněna?
* Jakou podmínku musí splňovat součet okamžitých napětí na cívce, kondenzátoru a rezistoru v RLC obvodu. Může nastat situace, že okamžité napětí na některé ze součástek je větší než amplituda napětí na zdroji?

**Příklady:**

1. Zadání i řešení najdete na <http://reseneulohy.cz/477/menici-se-magneticky-tok-solenoidem>
2. Zadání i řešení najdete na <http://reseneulohy.cz/60/pohybujici-se-vodic-v-magnetickem-poli>

3. V magnetickém poli je umístěn závit o ploše a odporu . Rovina závitu je kolmá na směr magnetických indukčních čar. Určete velikost indukce tohoto magnetického pole, jestliže při rychlém vysunutí závitu z tohoto pole prošel závitem náboj .

ŘEŠENÍ: Při vysouvání závitu z magnetického pole se mění magnetický indukční tok závitem, a proto se v něm podle Faradayova zákona indukuje napětí, pro jehož velikost platí vztah  Závitem poté poteče proud



 Uvážíme-li, že proud je časovou změnou elektrického náboje, můžeme psát



Po dosazení za proud se nám změna času zkrátí a jednoduchou úpravou získáme hledanou magnetickou indukci:



 Magnetická indukce má velikost 

4. Zadání i řešení najdete na <http://reseneulohy.cz/64/indukcnost-civky>

1. Zadání i řešení najdete na <http://reseneulohy.cz/63/vlastni-indukce-solenoidu>

**6. Cívka mající  závitů o ploše  rotuje v homogenním magnetickém poli o magnetické indukci  s frekvencí V počáteční poloze je rovina cívky kolmá k magnetickým indukčním čarám. Určete rovnici napětí indukovaného na cívce.**

**ŘEŠENÍ:** Uvědomíme si, že pokud byla na počátku rovina cívky kolmá k indukčním čarám, byl magnetický indukční tok maximální a jeho změna nulová. Tudíž se v tomto počátečním okamžiku neindukovalo podle Faradayova zákona žádné napětí, netekl žádný proud a fáze  v obecném vztahu  pro indukované napětí v cívce rotující v homogenním magnetickém poli je tudíž nulová. Potřebujeme ještě znát úhlovou frekvenci, pro kterou však okamžitě dostáváme výsledek  a amplitudu . Ta je dána vztahem  (musíme si uvědomit, že celková plocha je dána součinem počtu závitů a plochy jednoho závitu). Nyní už můžeme rovnou napsat příslušnou rovnici:



 Hledaná rovnice je 

**7. Určete dobu , za kterou se hodnota střídavého napětí s frekvencí změní z nuly na hodnotu rovnou polovině amplitudy (tj. dosáhne hodnoty  a následně dobu  za kterou dosáhne amplitudy (tj. změní se z  na ).**

**ŘEŠENÍ:** Vyjdeme z rovnice pro střídavé napětí s uvážením toho, že počáteční fáze bude nulová (napětí se mění z nuly směrem do kladných výchylek) a pro úhlovou frekvenci platí  Platí tedy  Nyní dosadíme za *U* hodnotu  a dostaneme s využitím poznatku, že  hledaný čas 



Při určení druhého hledaného času  si musíme uvědomit, že nejde přímo o hodnotu získanou po dosazení amplitudy  do rovnice, ale že od takto získané doby  udávající, za jak dlouho se přesuneme z nuly do amplitudy, musíme odečíst dobu  za kterou se dostaneme do poloviny amplitudy. S využitím poznatku, že  pak dostaneme:



Poloviny amplitudy dosáhne napětí za dobu maximální amplitudy poté za další dobu 

**8. Zadání i řešení najdete na** [**www.realisticky.cz**](http://www.realisticky.cz) **– Fyzika SŠ – Elektřina a magnetismus – Střídavý proud – 040603 Kondenzátor v obvodu střídavého proudu – Příklad 4**

**9. Zadání i řešení najdete na** [**www.realisticky.cz**](http://www.realisticky.cz) **– Fyzika SŠ – Elektřina a magnetismus – Střídavý proud – 040604 Cívka v obvodu střídavého proudu – Příklad 5**

**10. Zadání i řešení najdete na** [**www.realisticky.cz**](http://www.realisticky.cz) **– Fyzika SŠ – Elektřina a magnetismus – Střídavý proud – 040606 Složený sériový RLC obvod střídavého proudu – Příklad 3**

**11.**  Ke zdroji střídavého napětí *U* = 10 V a frekvenci *f* = 50 Hz jsou do série připojeny rezistor o odporu *R* = 5 Ω, ideální cívka o indukčnosti *L* a kondenzátor s proměnnou kapacitou *C*. Při nastavení kapacity kondenzátoru na  teče obvodem stejný proud jako při nastavení kapacity na  Určete indukčnost cívky a spočtete proud tekoucí obvodem při dané kapacitě .

ŘEŠENÍ: Skutečnost, že při daných nastaveních kapacity kondenzátoru teče obvodem stejný proud, znamená, že v obou případech má obvod stejnou impedanci. Pomocí známého vztahu pro impedanci sériově zapojeného RLC obvodu můžeme psát



Snadno zjišťujeme, že tento vztah může být za daných podmínek splněn pouze při platnosti rovnosti

.

Z tohoto vzorce již postupnými úpravami získáme hledanou indukčnost cívky



Při znalosti indukčnosti cívky jsme již snadno schopni spočítat proud tekoucí obvodem při dané kapacitě. Bude platit

.

Indukčnost cívky je  a obvodem teče proud .

**12. Zadání i řešení najdete na** [**www.realisticky.cz**](http://www.realisticky.cz) **– Fyzika SŠ – Elektřina a magnetismus – Střídavý proud – 040607 Rezonance sériového RLC obvodu – Příklad 4**

**Cvičení 1.** Měděný kroužek o poloměru 4,8 cm = 0,048 m je umístěn v homogenním magnetickém poli o magnetické indukci 12 mT = 0,012 T, jehož indukční čáry jsou kolmé k rovině kroužku. Kroužek je rovnoměrným pohybem trvajícím 25 ms = 0,025 s vysunut z magnetického pole. Určete velikost proudu indukovaného v kroužku během vysunutí, víte-li, že kroužek je zhotoven z vodiče o průměru 2 mm = 0,002 m a rezistivita mědi je  **[cca 8 A]**

**Cvičení 2.** Proud procházející cívkou vzrostl rovnoměrně z 0,2 A na 2,4 A za dobu 0,44 s. Indukované napětí v cívce je -0,18 V. Určete indukčnost cívky. Kolik závitů bude tato cívka mít, jedná-li se o solenoid o délce 0,3 m a poloměru 0,01 m? **[0,036 H; cca 9300 závitů]**

**Cvičení 3.** Cívkou v obvodu stejnosměrného proudu prochází při napětí 4 V proud 0,5 A. V obvodu střídavého proudu o amplitudě napětí 9 V je amplituda proudu 180 mA. Určete indukčnost cívky, víte-li, že frekvence střídavého proudu je 50 Hz. **[0,16 H]**

**Cvičení 4.** V sériovém RLC obvodu o střídavého proudu připojeného ke zdroji s maximálním napětím 200 V a frekvenci 50 Hz jsou umístěny rezistor o odporu 150 Ω, kondenzátor o kapacitě 16 μF a cívka o indukčnosti 0,1 H. Určete impedanci obvodu, amplitudu proudu a maximální napětí na rezistoru, kondenzátoru a cívce. Dále určete fázový posun mezi napětím a proudem. **[225 Ω; 0,89 A; 133,5 V; 177 V; 28 Ω; -48,2 °]**