

4.5.8 Elektromagnetická indukce

Předpoklady: 4502, 4504

důležitý jev stojící v samých základech moderní civilizace všude kolem je spousta elektrických spotřebičů, ale zatím jsme neprobrali žádný ekonomicky možný způsob výroby elektrické energie zatím známe:

- výroba elektřiny třením - z vypětím všech sil vyrobíme jiskřičku
- galvanické články – prodávají se v obchodech, ale energie z nich je drahá, rozhodně by se na nich nedal za rozumnou cenu uvařit oběd

⇒ musí existovat jiný způsob, jak elektřinu vyrábět a tím způsobem je elektromagnetická indukce

Michael Faraday: 1821 – Oersted zjistit, že elektrický proud budí ve svém okolí magnetické pole
⇒ nebylo by možné z magnetického pole vyrobit elektřinu?

Pedagogická poznámka: Pokus s elektromagnetickou indukcí v cívce (cca 600 z) zapojenou na demonstrační ampérmetr provádím jako druhý díl televizního seriálu o fyzikálních objevech. Přeneseme se do roku 1831, kdy se Faraday již desátý rok snaží přeměnit magnetismus v elektřinu. Farady si mumlá, že to musí jít, že manželka bude koukat až na to přijde bude slavný. Příkládá magnet různými k cívce, poté cívku připojí k ampérmetru a čeká, kdy se objeví proud (kvůli tomu, že připojuje ampérmetr vždy až ve chvíli, kdy magnet vůči cívce stojí, samozřejmě nic nenaměří). Farady propadá s každým dalším pokusem větší beznaději. Když ho napadne nová poloha magnetu vůči cívce objeví se v jeho chování záchvěv naděje, ale nakonec propadá naprosté beznaději. V záchvatu bezmoci popadá magnet, který je zrovna uvnitř cívky (zapojené od minulého neúspěšného pokusu v ampérmetru) a se slovy „to se na to můžu klidně ...“ ho odhazuje v dále. Zatím vždycky si někdo ze studentů všiml, že ručička ampérmetru se pohne. Smyslem představení je jednak trochu srandy a jednak upozornění na to, že elektrický proud vzniká v cívce pouze, když se magnetické pole mění.

Položíme do cívky magnet a připojíme ji k ampérmetru ⇒ ampérmetrem neprochází žádný proud
Začneme magnet z cívky vyndávat ⇒ ampérmetrem začne procházet elektrický proud ⇒ při pohybu magnetu v okolí cívky v ní vzniká napětí (přesně to, co jsme potřebovali)

Kdy vzniká v cívce napětí?

- když pohybují v okolí cívky magnetem
- když pohybují cívkou v okolí magnetu
- když v blízkosti cívky zapínám nebo vypínám elektromagnet

⇒ napětí v cívce vzniká vždy, když se v okolí cívky mění magnetické pole

Právě objevený fyzikální děj se nazývá **elektromagnetická indukce**. Říkáme, že při změně magnetického pole v okolí cívky se v cívce **indukuje elektrické napětí**.

Př. 1: Pomocí zákona zachování energie se pokus vysvětlit, proč pouhá přítomnost magnetu v okolí cívky nemůže stačit ke vzniku elektrického proudu v cívce.

Zákon zachování energie = energie nemůže vznikat z ničeho, pokud nějaké zařízení vyrábí libovolný druh energie (cívka, ve které se indukují elektrické napětí vyrábí elektrickou energii), musí odebírat energii jinému předmětu (to se v případě magnetu stojícího vedle cívky evidentně neděje).

Jakmile se magnet začne pohybovat, musí existovat něco, co ho k pohybu přinutí a zřejmě i udrží (zdá se, že v případě, že bychom z cívky indukovaný proud odebírali, by měla cívka, zřejmě svým magnetickým polem, které vznikne průtokem indukovaného proudu, brzdit pohyb magnetu).

Na čem závisí velikost indukovaného napětí?

- na síle magnetu (silnější magnet \Rightarrow větší indukované napětí)
- na rychlosti pohybu (rychlejší pohyb \Rightarrow větší indukované napětí – ale indukuje se po kratší dobu)
- počtu závitů cívky (více závitů \Rightarrow větší indukované napětí)

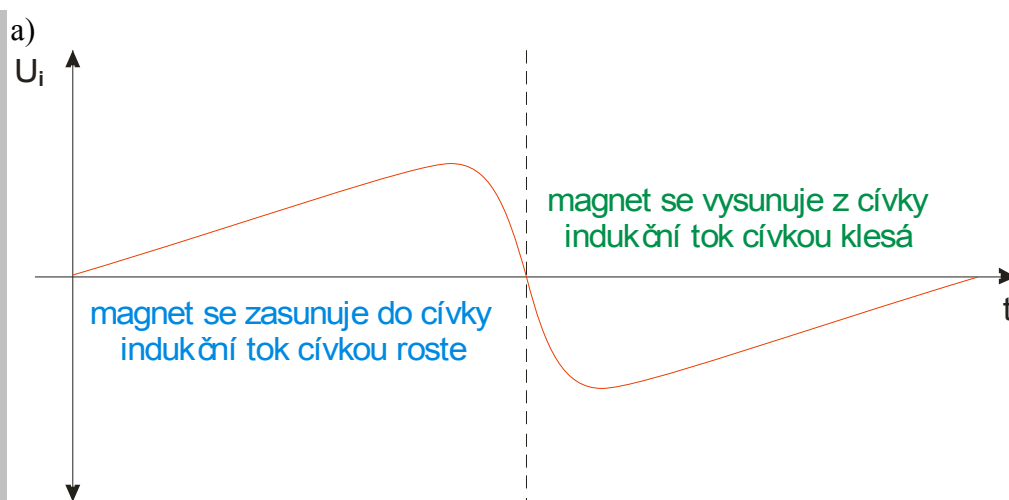
Pedagogická poznámka: Všechny předchozí návrhy ihned experimentálně testujeme. Největším oříškem je testování závislosti na počtu závitů, protože měřený proud závisí kromě indukovaného napětí na odporu cívky, který je samozřejmě u cívky s větším počtem závitů větší \Rightarrow studenti mají najít řešení této situace, které spočívá v tom, že všechny cívky zapojíme do obvodu sériově najednou (tím zajistíme konstantní elektrický odpor) a magnet střídavě vkládáme do jedné z nich.

Úvahy se nám zjednoduší, pokud budeme napětí indukované na cívce počítat jako součet napětí vzniklých na jednotlivých závitech (tím pádem bude platit $U_c = N \cdot U_{iz}$, kde U_c je indukované napětí na cívce, N je počet závitů cívky a U_{iz} napětí indukované na jednom závitě)

\Rightarrow indukované napětí na jednom závitě závisí na tom, jak rychle a jak moc se změní „počet magnetických indukčních čar procházejících tímto závitěm“

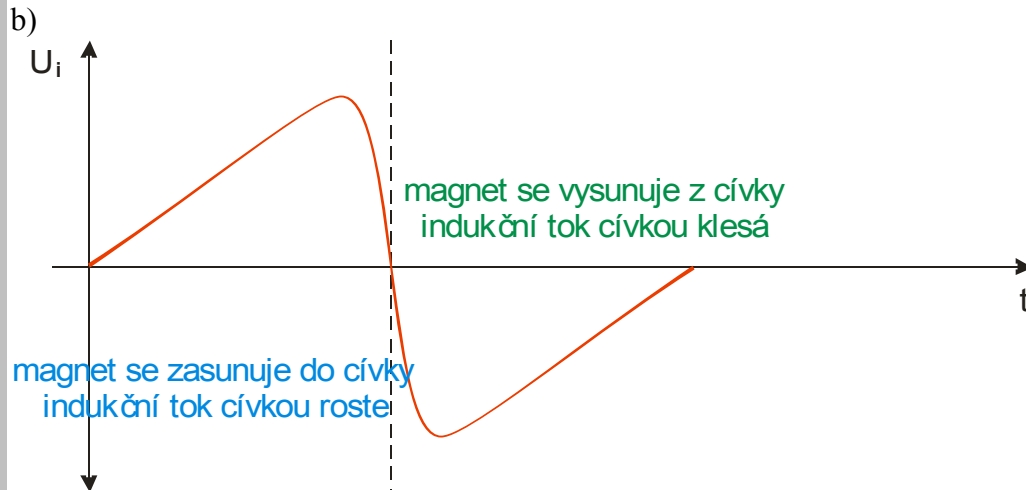
Př. 2: Cívka upevněná tak, že její osa je svislá a je možné její dutinou nechat propadnout tyčový magnet, je připojena k milivoltmetru. Načrtni přibližný tvar časové závislosti indukovaného napětí:

- a) pokud prostrčíme dutinou rovnoměrně tyčový magnet
- b) pokud prostrčíme dutinou rovnoměrně tyčový magnet vyšší rychlostí než v předchozím případě
- c) pokud se tyčový magnet bude pohybovat dutinou volným pádem



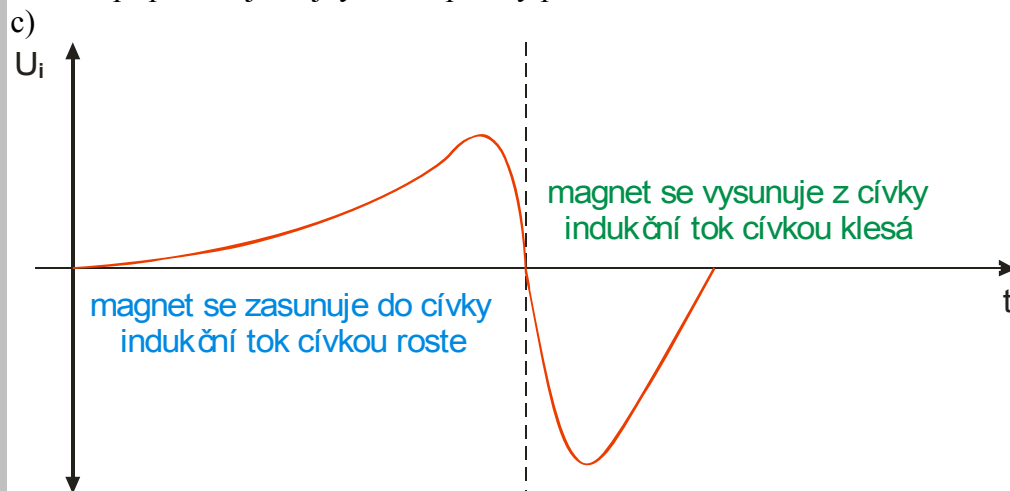
Při poklesu indukčního toku cívkou je jeho změna opačná než při jeho růstu \Rightarrow

indukované napětí musí mít opačnou orientaci



Podobný průběh jako v předchozím případě, jenom pohyb je rychlejší \Rightarrow napětí se bude indukovat kratší čas (magnet rychleji projde cívkou) a bude mít větší maximální hodnotu (časová změna magnetického indukčního toku je rychlejší)

V obou případech je stejný obsah plochy pod křivkou.



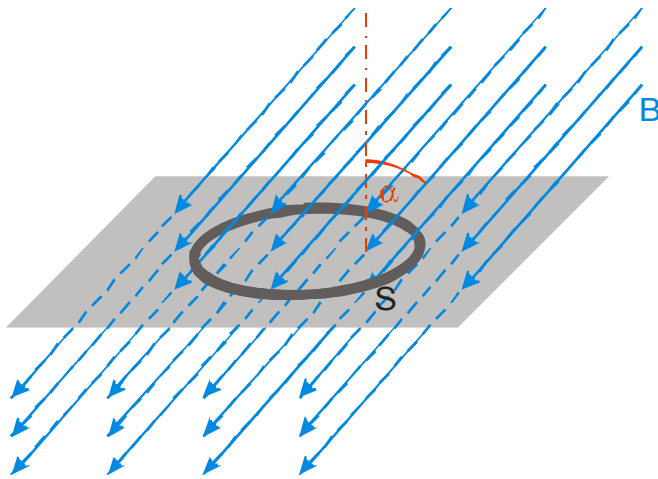
Při zasunování se cívka pohybuje pomaleji, kladné napětí se bude indukovat delší doby, ale s menší výchylkou.

Jak popíšeme indukované napětí vzorcem?

Zatím nemáme veličinu, která by zachycovala „počet magnetických indukčních čar v závitu“. Této veličině se říká **magnetický indukční tok**, značí se Φ a měří se ve Weberech (značka Wb).

Na čem závisí magnetický indukční tok:

- síla magnetického pole = magnetická indukce B (větší B znamená pole s hustšími indukčními čarami)
- plocha závitu S (větší plochou projde více indukčních čar)
- vzájemná poloha závitu a magnetického pole (směřují indukční čáry do závitu nebo jsou s ním rovnoběžné?) - vyjadřujeme pomocí úhlu, který svírají indukční čáry s vektorem, který je kolmý k ploše závitu (normálový vektor)



Jaká bude situace v extrémních případech?

- $\alpha=0$ - indukční čáry jsou kolmé na plochu závitu $\Rightarrow \Phi = BS$
 - $\alpha=90^\circ$ - indukční čáry jsou rovnoběžné s plochou závitu $\Rightarrow \Phi=0$ (žádné indukční čáry neprocházejí přes závit)
- \Rightarrow magnetický indukční tok můžeme vypočítat podle vztahu: $\Phi = BS \cos \alpha$

Pedagogická poznámka: Diskuse o členu $\cos \alpha$ je v této hodině krátká a není nutné, aby ji v tomto okamžiku všichni studenti pochopili. Více se jí budeme věnovat v příští hodině.

Teď už můžeme zapsat vztah pro velikost indukovaného napětí:

Původní věta: indukované napětí na jednom závitě závisí na tom, jak rychle a jak moc se změní „počet magnetických indukčních čar procházejících tímto závitem“

Přeformulujeme pomocí magnetického indukčního toku: indukované napětí na jednom závitě závisí na časové změně magnetického indukčního toku.

Ve skutečnosti se indukované napětí přímo rovná této záporně vzaté změně. Zapišeme vztahem:

časová změna magnetického indukčního toku: $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$

záporně vzatá časová změna magnetického indukčního toku: $-\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = U_i$

tím jsme objevili **Faradayův zákon elektromagnetické indukce:**

Změní-li se magnetický indukční tok uzavřeným vodičem za dobu Δt o $\Delta \Phi$, indukuje se ve vodiči elektromotorické napětí, jehož střední hodnota je $U_i = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$

Pro cívku s N závity získáme vztah: $U_i = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$

Př. 3: Magnetický indukční tok ve vodivé smyčce se rovnoměrně zmenšil za 0,5 sekundu z 0,5 Wb na 0,2 Wb. Urči hodnotu indukovaného napětí. Jaké napětí se na smyčce naindukuje, když se magnetický indukční tok rovnoměrně změní za 2s z 0 Wb na -1 Wb?

V obou příkladech určíme podle vzorce indukované napětí.

a) za 0,5 sekundu z 0,5 Wb na 0,2 Wb $\Rightarrow \Delta \Phi = 0,2 - 0,5 \text{ Wb} = -0,3 \text{ Wb}$, $\Delta t = 0,5 \text{ s}$

$$U_i = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -\frac{-0,3}{0,5} \text{ U} = 0,6 \text{ U}$$

b) za 2s z 0 Wb na -1 Wb $\Rightarrow \Delta \Phi = -1 - 0 \text{ Wb} = -1 \text{ Wb}$, $\Delta t = 2 \text{ s}$

$$U_i = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -\frac{-1}{2} \text{ U} = 0,5 \text{ U}$$

V prvním případě se naindukuje ve smyčce napětí 0,6 V, ve druhém 0,5 V.

Př. 4: Najdi způsob, jak pomocí elektromagnetické indukce určit řádově magnetickou indukci pole školního tyčového magnetu.

Můžeme magnet zasunout do cívky a měřit hodnotu naindukovaného napětí. Dosazením do zákona elektromagnetické indukce získáme změnu magnetického indukčního toku. Z něj pak můžeme za předpokladu homogenosti magnetického pole určit přibližnou hodnotu magnetické indukce.

Shrnutí: Při časové změně magnetického pole se v uzavřených vodičích indukuje elektrické napětí.