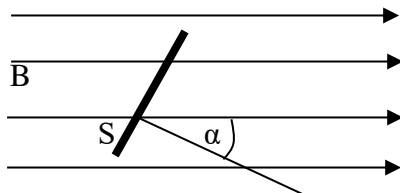


## 19. Elektromagnetická indukce

**Nestacionární magnetické pole** – časově proměnné. Existuje kolem nehybných vodičů s proměnným proudem, kolem pohybujících se vodičů s konstantním nebo proměnným proudem nebo kolem pohybujících se permanentních magnetů nebo elektromagnetů.

**Magnetický indukční tok  $\Phi$**  je skalární veličina určující tok magnetické indukce  $B$  plochou  $S$ , kterou obepíná vodič. Představa – tok odpovídá počtu mag. indukčních čar



$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha \quad [\Phi] = \text{Wb}$$

$$\alpha = 0 \rightarrow \Phi - \text{max.}$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \rightarrow \Phi = 0 \text{ Wb}$$

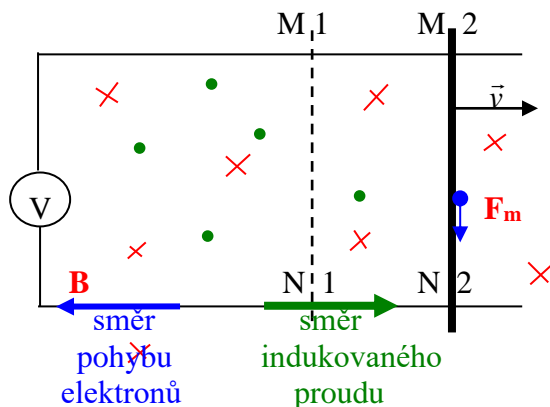
**Elektromagnetická indukce** je jev vzniku indukovaného elektrického pole v místech, kde je přítomno nestacionární magnetické pole. Nachází-li se v tomto poli uzavřený elektrický obvod, může jím protékat tzv. indukovaný elektrický proud.

Nachází-li se v tomto poli samostatný vodič, indukuje se na jeho koncích napětí.

**Faradayův zákon elektromagnetické indukce:** Změní-li se magnetický indukční tok uzavřeným vodičem za dobu  $\Delta t$  o hodnotu  $\Delta \Phi$ , indukuje se ve vodiči elektromotorické napětí,

jehož střední hodnota je  $U_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ .

(Znaménko ve vztahu pro indukované napětí popisuje Lenzův zákon.)

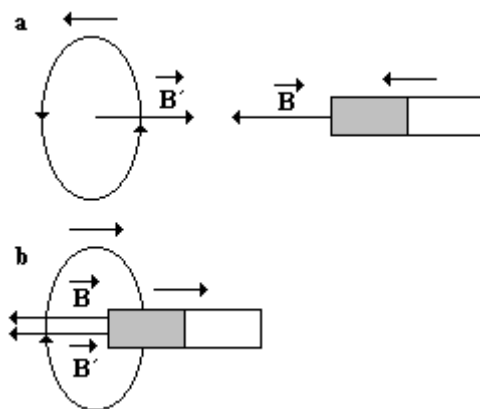


Pohyb vodiče MN v magnetickém poli z polohy 1 do polohy 2 rychlostí  $v$  – uvedený vztah pro  $U_i$  lze odvodit na základě pozorování jednoho volného elektronu ve vodiči MN.

Obrázek vlevo lze rovněž využít pro demonstraci platnosti Lenzova zákona.

### Indukované napětí:

- čím rychleji se mění magnetické pole v cívce, tím větší napětí se indukuje na jejích vývodech;
- při stejné rychlosti změny magnetického pole se vyšší napětí indukuje na cívce, která je umístěna v silnějším magn. poli a má průřez o větší ploše;
- i na nepohyblivé cívce v homogenním magn. poli se může indukovat napětí; stačí, když se s časem mění průřez cívky;
- čím více závitů cívka má, tím je indukované napětí větší;



**Lenzův zákon** určuje orientaci indukovaného proudu ve vodiči: Indukovaný proud má vždy takový směr, že svými účinky působí proti změně, která ho vyvolala. (viz obrázek)

- Při přibližování magnetu ke kruhovému závitu (narůstání mag. pole v místě závitů) se v závitě podle Lenzova zákona indukuje takový elektrický proud, aby jeho magnetické pole působilo proti narůstání mag. pole od tyčového magnetu. Magnetické indukce mají opačný směr.
- Při oddalování magnetu od závitů vytváří indukovaný el. proud mag. pole působící proti klesání mag. pole od tyčového magnetu, tj. směr mag indukce je stejný.

**Vířivé proudy:** Indukované el. pole vytváří indukované proudy nejen ve vodičích ve tvaru drátu, ale i ve vodivých materiálech ve tvaru plechů, desek, hranolů apod. Tyto uzavřené proudy se nazývají vířivé nebo Foucaultovy a představují ztrátu energie, protože se jimi přeměňuje elektrická energie na vnitřní energii (teplo).

Užití: - indukční ohřev

- Varná zóna vařiče obsahuje cívku, která je napájena velkým střídavým elektrickým proudem. Cívka je z měděného drátu, což je velmi dobrý elektrický vodič a nedochází v něm k velkým ztrátám. Působením proměnného magnetického pole na elektricky vodivé dno nádoby se v nádobě indukují vířivé proudy, které se díky elektrickému odporu nádoby mění na teplo.
- tlumení pohybu systémů elektrických měřicích přístrojů,
- elektromagnetické brzdy
  - Jsou tvořeny vodivým kotoučem, který je umístěn mezi pólovými nástavci elektromagnetu. Prochází-li cívkami elektromagnetu proud a kroužek se otáčí, indukují se v něm vířivé proudy a brzdí jeho pohyb.

*Nežádoucí vznik vířivých proudů:* v jádrech transformátorů nebo elektromotorů – tato jádra se sestavují z navzájem izolovaných plechů.

**Vlastní indukce** – jev vzniku indukovaného elektromotorického napětí v cívce, která se nachází ve vlastním proměnném magnetickém poli (při jakékoliv změně proudu v cívce).

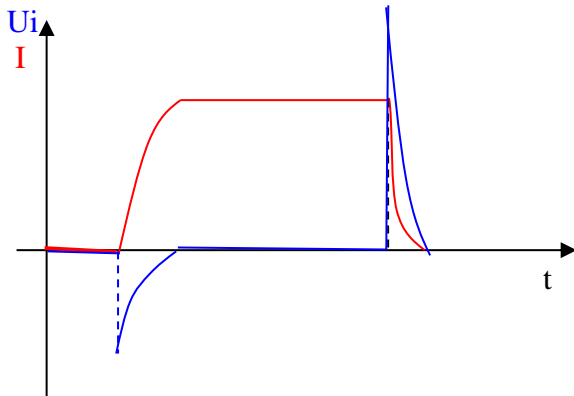
$\Phi = L \cdot I$ , kde  $L$  je **indukčnost cívky** – veličina závisící na geometrických rozměrech, počtu závitů a na tom, zda je nebo není opatřena jádrem.  $[L] = H$

Pozn. 1: Indukčnost dlouhé válcové cívky  $L = \mu \cdot \frac{N^2 \cdot S}{l}$ , kde  $\mu$  je permeabilita jádra,  $N$  je počet závitů,  $S$  obsah plochy závitů,  $l$  je délka cívky.

Cívký s uzavřeným feromagnetickým jádrem (**tlumivky**) mají indukčnost  $L \sim 0,1 \text{ H}$  až  $1 \text{ H}$  (mají široké uplatnění v elektrotechnice).

$$\text{Indukované napětí na cívce: } \Delta\Phi = L \cdot \Delta I \quad \rightarrow \quad U_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = - \frac{L \cdot \Delta I}{\Delta t}$$

Časový průběh proudu a indukovaného napětí v cívce při zapnutí a vypnutí stejnosměrného proudu:



**Vlastní indukce (popis grafu)** - Připojíme-li cívku do el. obvodu, začne proud, který jí prochází, vytvářet mag. pole. Proud při zapojení nemá hodnotu, kterou udává odpor cívky, okamžitě, ale roste až na ni.

- V okamžiku zapojení zdroje napětí je  $I = 0$  a indukované napětí  $U_i$  má stejnou hodnotu, ale opačnou polaritu než zdroj ( $U_i = -U_e$ ) – Lenzův zákon. Indukované napětí existuje jen při změnách proudu a je na nich závislé. Jak se proud zvětšuje, zmenšují se jeho změny a zmenšuje se i  $U_i$ . Nakonec nastane ustálený stav, kdy proud má neměnnou hodnotu  $I_0$  a  $U_i$  je nulové.
- Přechodný děj nastane i při přerušení obvodu. Kdyby v obvodu nebyla cívka, klesl by proud okamžitě na nulu jako elektromotorické napětí  $U_e$  (svislá čárkovaná čára vlevo od plné čáry klesajícího proudu). U obvodu s cívkou vzniká indukované napětí stejné polarity, jakou má zdroj napětí (proud se zmenšuje, indukované napětí působí proti této změně, proto má kladné hodnoty – Lenzův zákon). Důsledkem existence indukovaného napětí je, že proud nezaniká okamžitě, ale postupně.
- Když obvod rozpojíme, velmi rychle se zvětší odpor, čímž rychle klesne proud v obvodu. Kvůli tomu je i indukované napětí velmi velké, mnohokrát větší než  $U_e$  ( $U_i \gg U_e$ ).
- Toto velké indukované napětí při přerušení obvodu je příčinou vzniku jiskrového výboje, který někdy nastane v místě přerušení.

Energie magnetického pole cívky, která nemá feromagnetické jádro ( $L = \text{konst.}$ ):

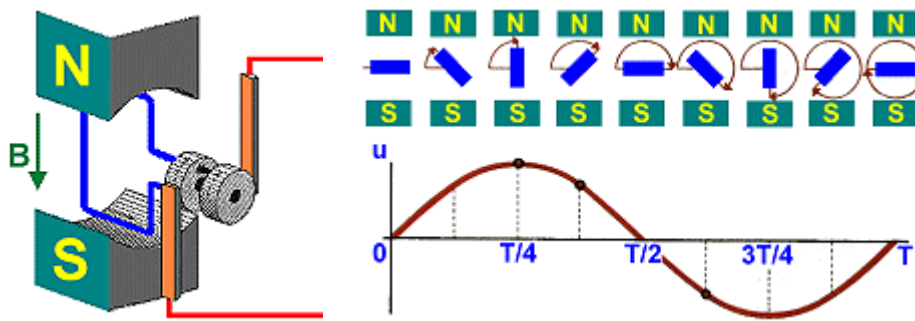
$$E = \frac{L \cdot I^2}{2}$$

Tento vztah nelze použít pro cívku s feromagnetickým jádrem, protože indukčnost cívky s tímto jádrem není konstantní (závisí na proudu v cívce).

Elektromagnetická indukce v praxi:

1) výroba elektrické energie

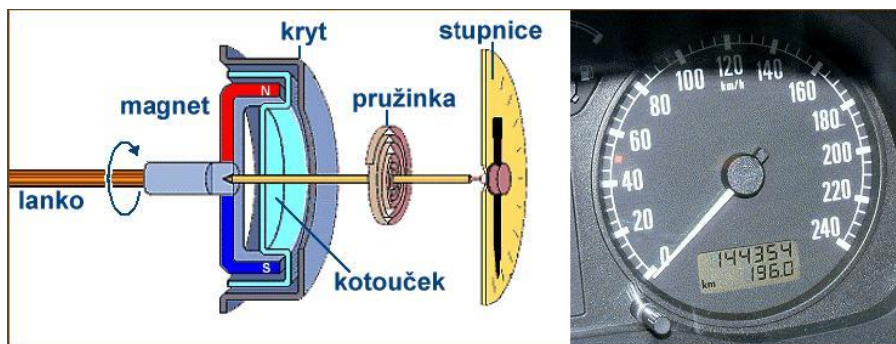
- Generátor střídavého proudu (neboli alternátor) přeměňuje mechanickou energii na energii střídavého elektrického proudu.
- Nejjednodušším generátorem by mohl být obdélníkový závit, otáčející se mezi póly permanentního magnetu. Indukované napětí by však bylo nepatrné a proto se ve skutečných generátorech otáčí mezi póly cívka s mnoha závity. Podstata však zůstává stejná - elektromagnetická indukce.



- Otáčí-li se závit v magnetickém poli (obrázek vlevo), indukuje se na jeho koncích napětí, jehož velikost závisí na úhlu, pod kterým protíná indukční čáry. V obvodu začne procházet proud, jehož velikost a směr závisí na velikosti a polaritě indukovaného napětí.

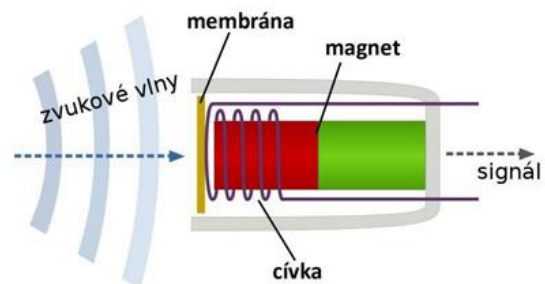
### 2) magnetický otáčkoměr, tachometr

- Jednoduché magnetické otáčkoměry se používají pro přímé měření otáček nebo pro měření v blízkosti otáčející se součástí. Používají se u automobilů jako tachometry a také pro kontrolní měření otáček.
- Základním prvkem otáčkoměru je otočný magnet, hřídelí spojený s rotující součástí. Magnet je obklopen kovovým hrníčkem, který je hřídelí spojen s ukazující ručičkou. Magnet a hrníček nejsou nijak spojeny.
- Rotací magnetu se v hrníčku indukuje elektromotorické napětí, a vzniká tak elektrický proud, který vytváří vlastní magnetické pole. To se snaží ustálit s magnetickým polem magnetu. Hrníček se začne natáčet ve směru otáčení magnetu, přičemž jeho úplnému otáčení brání spirálová pružina. Když je indukovaná magnetická síla v rovnováze se silou spirálové pružiny, ručička otáčkoměru se ustálí.



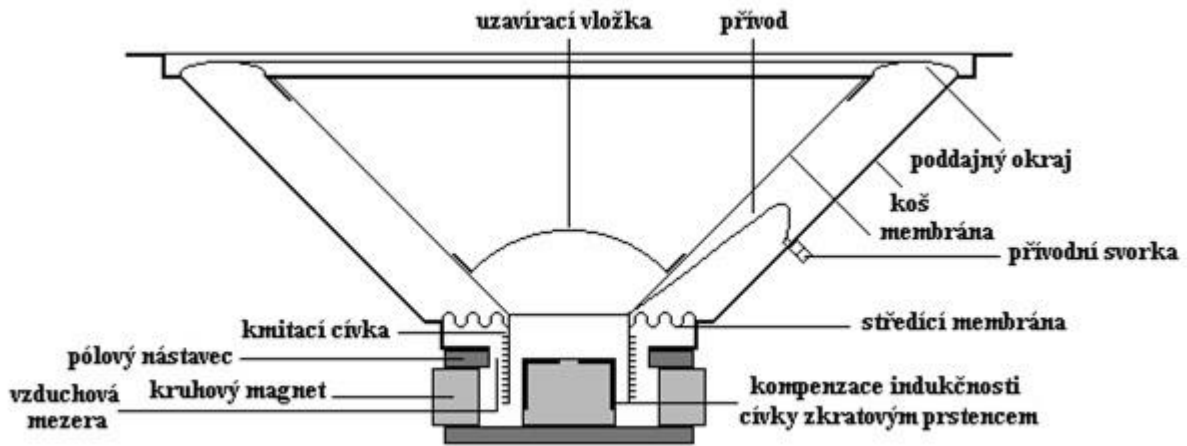
### 3) elektrodynamický mikrofon

- Elektrodynamický mikrofon využívá při své činnosti elektromagnetickou indukci. V magnetickém poli trvalého magnetu se pohybuje vodič (cívka nebo příčně zvlněný hliníkový pásek) spojený s pružnou membránou, na kterou dopadá zvukové vlnění. Kmitání membrány se přenáší na vodič a indukuje se v něm časově proměnné napětí shodného časového průběhu, jaký má akustický signál.
- Pomocí zesilovače se zvětší amplituda proudu (resp. napětí) a dostatečným výkonem se přenáší do dalších částí sdělovací soustavy.



4) *Elektrodynamické reproduktory*

- Základem těchto reproduktorů je cívka a permanentní magnet. Cívka se pohybuje ve válcové šterbině mezi pólovými nástavci magnetického obvodu. Princip činnosti spočívá v působení síly na vodič, kterým protéká elektrický proud v magnetickém poli. Síla se přenáší na membránu a způsobuje její pohyb.



5) *Jiskření spínačů* (viz vlastní indukce)

6) *Transformátor*

- elektrický netočivý stroj, který umožňuje přenášet elektrickou energii z jednoho obvodu do jiného pomocí vzájemné elektromagnetické indukce. Používá se většinou pro přeměnu střídavého napětí (např. z nízkého napětí na vysoké) nebo pro galvanické oddělení obvodů.
- Pro transformátor platí:

$$p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

kde  $U_1$  je napětí na primární cívce,  $I_1$  je proud primární cívkou,  $N_1$  je počet závitů primární cívky. Indexem 2 jsou značeny veličiny sekundární cívky. Písmeno  $p$  značí převod transformátoru při  $p > 1$  jde o zvyšující transformátor (napětí na sekundárním vinutí je nižší) a při  $p < 1$  je transformátor snižující.

