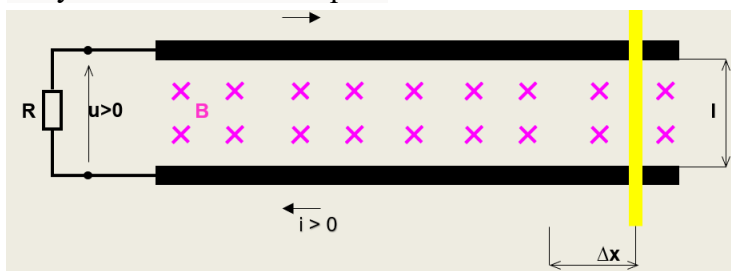


### Téma č. 3 Elektromagnetická indukce, indukční zákon, vlastní a vzájemná indukčnost, činitel vazby, cívky, ztráty v magnetických materiálech

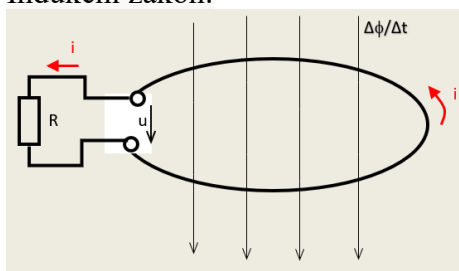
- Elektromagnetická indukce  
Při časové změně magnetického pole (zapnutí, vypnutí nebo změna velikosti) se ve vodiči indukuje napětí  $-u$ . Je-li obvod uzavřen, začne vodičem procházet elektrický proud. Jevu říkáme elektromagnetická indukce.  
Elektromagnetická indukce patří k nejčastějšímu způsobu získávání elektrické energie.
- možnosti vzniku indukovaného napětí – transformační a pohybové napětí
  - a) při pohybu vodiče v konstantním magnetickém poli
  - b) při pohybu konstantního magnetického pole přes vodič (změna plochy  $S$ )  
–pohybové indukované napětí
  - c) při časové změně magnetického pole (při změně proudu ve vodiči)  
–transformační indukované napětí

Pohybové indukované napětí:



Na dvou holých vodičích, které jsou na konci propojeny přes rezistor, je položena vodivá pohyblivá spojka. Vzdálenost vodičů je  $l$  (m). Plochou ohraničenou vodiči prochází stacionární magnetické pole s magnetickou indukcí  $B$  (T).

Indukční zákon:



1. Plochou uzavřenou smyčkou prochází časově proměnný magnetický indukční tok
2. Ve vodiči se indukuje napětí
3. Je-li vodič uzavřený, začne vodičem procházet proud
4. Magnetické pole indukovaného proudu brání změně původního pole (působí proti změně).

- matematický zápis indukčního zákona pro transformační napětí
  - pro jeden vodič
  - pro cívku

$$u = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

$$u = N * \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

- Lencův zákon
  - Lencův zákon: Smysl indukovaného napětí je takový, aby jím vyvolaný indukovaný proud působil svým magnetickým polem proti změně magnetického pole, která ho vyvolala.
- velikost indukovaného pohybového napětí
  - při rovnoměrném pohybu
  - indukční čáry jsou kolmé k ohraničené ploše

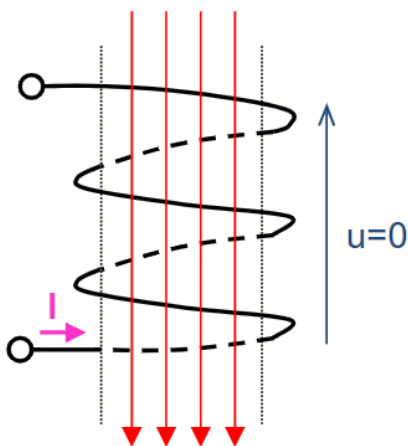
$$u = B * l * v$$

kde: B-magnetická indukce (T)  
l-délka vodiče v magnetickém poli (m)  
v-rychlost pohybu vodiče (m/s)

- určení směru indukovaného napětí a proudu – pravidlo pravé ruky
  - Určení směru indukovaného napětí a proudu –pravidlo pravé ruky. Pravá ruka je v magnetickém poli, indukční čáry vstupují do dlaně, palec ukazuje směr pohybu, natažené prsty ukazují směr indukovaného proudu.



- statická definice vlastní indukčnosti, Hopkinsonův zákon



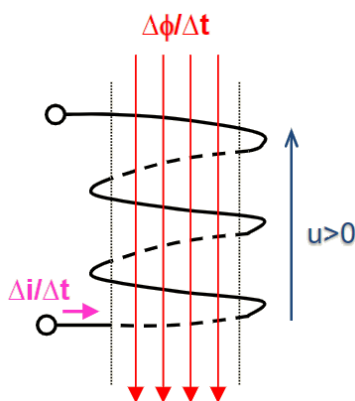
- Při průchodu ustáleného proudu cívkou platí Hopkinsonův zákon:

$$\phi = \frac{F_m}{R_m} = \frac{N * I}{R_m}$$

Dostáváme statickou definici indukčnosti:

$$L = \frac{N * \phi}{I}$$

- dynamická definice vlastní indukčnosti



- Je odvozena z indukovaného napětí na cívce při časové změně proudu:

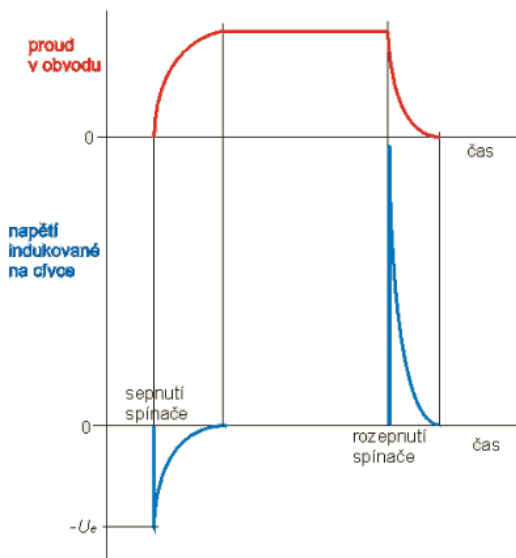
$$u = L * \frac{\Delta i}{\Delta t} \Rightarrow L = \frac{u}{\frac{\Delta i}{\Delta t}}$$

- Slovní definice indukčnosti: cívka má indukčnost 1H, jestliže se při časové změně 1A za 1 sekundu indukuje napětí 1V

- výpočet indukčnosti vzduchové cívky
  - Výpočet indukčnosti vzduchové cívky: Vypočítejte vlastní indukčnost cívky bez jádra ( $N = 2000$  závitů). Cívka je dlouhá 5 cm a dutina cívky má rozměry (2 x 2) cm.

$$R_m = \frac{l_{stř.}}{\mu_0 * S} = \frac{5 * 10^{-2}}{4 * \pi * 10^{-7} * 4 * 10^{-4}} = 10^8 H^{-1} \qquad L = \frac{N^2}{R_m} = \frac{4 * 10^6}{10^8} = 40mH$$

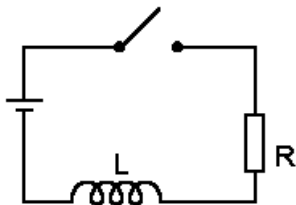
- přechodové jevy – průběh proudu a napětí na cívce při sepnutí a vypnutí obvodu



- Při sepnutí spínače se v cívce indukuje napětí, které v obvodu vyvolává indukovaný proud, který má směr opačný, než je směr proudu procházejícího obvodem (Lencův zákon) Proto se proud v obvodu zvětšuje postupně.

- Při rozepnutí spínače se indukuje napětí opačného směru a indukovaný proud má stejný směr jako proud v obvodu, a tedy proud v obvodu neklesne na nulovou hodnotu skokem, ale postupně. Jevy, nastávající při zapnutí a vypnutí proudu v obvodu, se nazývají přechodové jevy.

- Napěťová špička při rozepnutí spínače je 6-10krát větší než napájecí napětí. Toto přepětí namáhá obvod, elektrickým obloukem se opalují kontakty spínače a ničí se elektronické součástky v obvodu.



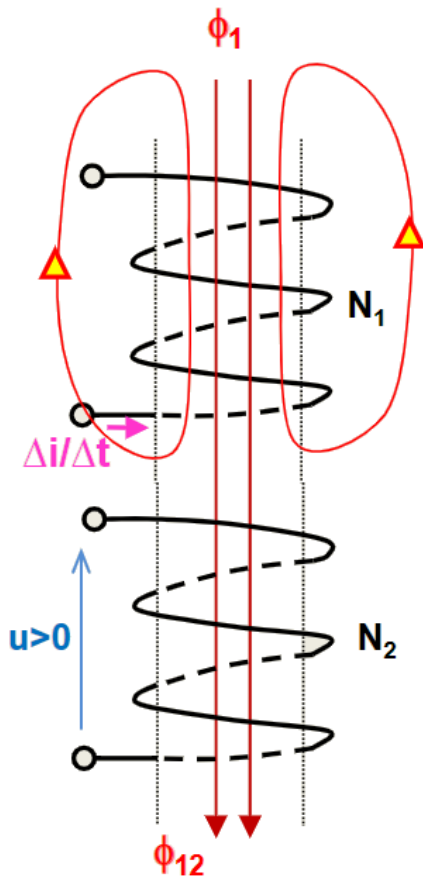
- vzájemná indukčnost vyjádřená pomocí vlastní indukčnosti, činitel vazby
  - Vztah mezi vlastní a vzájemnou indukčností Levou i pravou stranu rovnice pro vzájemnou indukčnost umocníme

$$M = \frac{N_1 * N_2}{R_{m12}} \qquad \Rightarrow \qquad M^2 = \frac{N_1^2 * N_2^2}{R_{m12}^2} = \frac{N_1^2}{R_{m12}} * \frac{N_2^2}{R_{m12}} = L_1 * L_2$$

- Vzájemná indukčnost  $M$  lze vyjádřit pomocí vlastní indukčnosti:

$$M = \sqrt{L_1 * L_2}$$

- Činitel vazby



- Zatím jsme předpokládali, že celý indukční tok první cívky prochází i druhou cívkou. Ve skutečnosti se část indukčního toku první cívky uzavírá mimo druhou cívku  
 $\Rightarrow$  rozptylový indukční tok  $-\phi\sigma$

- Rozptylový indukční tok  $-\phi\sigma$  má za následek nižší indukované napětí na druhé cívce.

- Rozptylový indukční tok lze respektovat pomocí činitele vazby  $-k$  (-).

- Činitel vazby  $k$  se pohybuje v rozsahu  $k = 0-1$ .

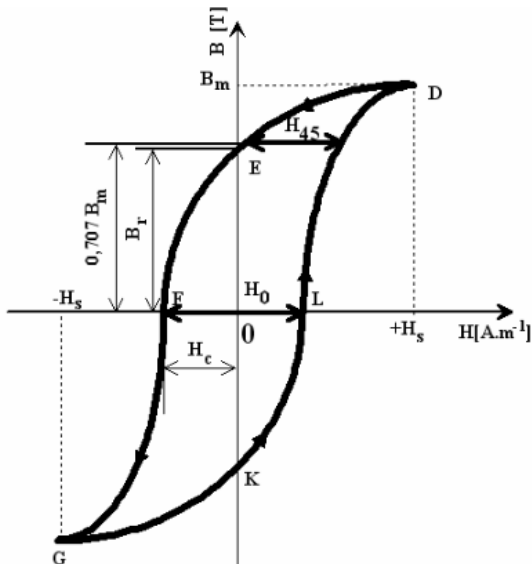
- Skutečná vzájemná indukčnost s respektováním činitele vazby:

$$M = k * \sqrt{L_1 * L_2}$$

- Rozptylový tok se projevuje u všech magnetických obvodů.

- Je způsoben relativně malým rozdílem měrné magnetické vodivosti železa a vzduchu (pro některé indukční čáry je výhodnější, jestliže se uzavřou přes vzduch).

• hysterezní ztráty



- Vznikají ve feromagnetických látkách po vložení do střídavého magnetického pole. Jsou rovny výkonu, který musíme dodat na přemagnetování feromagnetické látky ve střídavém magnetickém poli a, který se v látce přemění na teplo.

- Jsou přímo úměrné ploše hysterezní smyčky a jejich velikost závisí na velikosti  $B_r$  a  $H_c$ . Podle tvaru hysterezní smyčky rozlišujeme magneticky měkké materiály a magneticky tvrdé materiály.

- Magneticky měkké materiály mají úzkou hysterezní smyčku, a tudíž **malé** hysterezní ztráty. Snadno se přemagnetovávají, proto se používají na magnetické obvody elektrických strojů a přístrojů např. transformátory.

- Magneticky tvrdé materiály mají širokou hysterezní smyčku, tudíž velké hysterezní ztráty. Nesnadno se přemagnetovávají a používají se na trvalé magnety.

- ztráty vířivými 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 střídavým elektrickým proudem. Cívka je z měděného drátu. 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 (tenkými plechy tečou menší proudy) a pro zvýšení rezistivity se ocel leguje křemíkem.