

Nestacionární magnetické pole

- magnetické pole, které se s časem mění

Vznik nestacionárního magnetického pole:

- nepohybující se vodič s časově proměnným proudem
- pohybující se vodič s proudem
- pohybující se permanentní magnet nebo elektromagnet

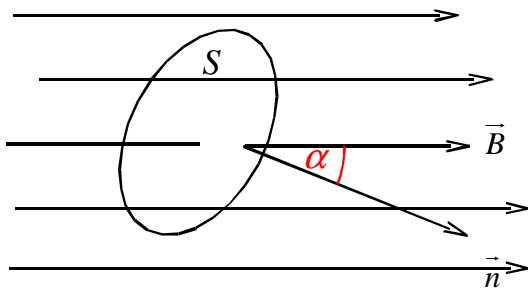
Magnetický indukční tok

Rovinný závit (smyčka) obsahu S v mgn. poli s vektorem mgn. indukce \vec{B} :

Skalární veličina $\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$ se nazývá magnetický indukční tok – udává úhrnný tok magnetické indukce plochou závitu

α – úhel, který svírá normála plochy s vektorem mgn. indukce

$$[\Phi] = \text{T} \cdot \text{m}^2 = \text{Wb} \dots \text{weber}$$



je-li $\alpha = 0$ $\Phi = B \cdot S$

je-li $\alpha = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \Phi = 0$

Časová změna Φ nastane při časové změně alespoň jedné z veličin B , S , α

→ Časová změna magnetického indukčního toku Φ :

$$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Magnetický indukční tok pro válcovou cívku o N závitů a průřezu S :

$$\Phi = N \cdot B \cdot S \cdot \cos \alpha \quad \dots \alpha - \text{úhel mezi osou cívky a } \vec{B}$$

Elektromagnetická indukce 1831 Faraday

- obvod s cívkou a voltmetrem s nulou uprostřed; tyčový magnet přibližujeme a vzdalujeme od cívky

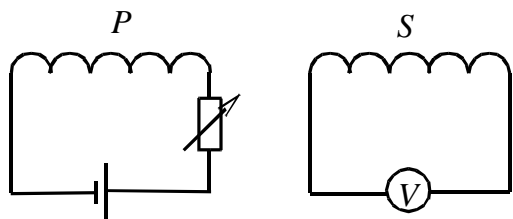


Při přibližování magnetu ukáže voltmetr výchylku, při vzdalování ukáže opačnou výchylku. Rychlejší pohyb magnetu odpovídají větší výchylky voltmetru. Stejně

FYZIKA – 3. ROČNÍK

výsledky dostaneme, necháme-li magnet v klidu a pohybujeme cívkou. Na cívce se v uvedených případech indukuje elektromotorické napětí a obvodem prochází tzv. indukovaný proud.

Magnet nahradíme cívkou, kterou připojíme přes reostat k akumulátoru. Vznikne primární obvod P , kterým protéká proud a sekundární obvod S .



V sekundární cívce se indukuje elm. napětí při jakékoliv změně proudu v primární cívce nebo při změně vzájemné polohy cívek. Při zmenšení nebo vypnutí proudu ukáže voltmetr opačnou výchylku než při zapnutí nebo zvětšení proudu (to samé při přibližování a vzdalování cívek).

Ke vzniku indukovaného elektromotorického napětí obecně dochází pouze tehdy, dojde-li k časové změně magnetického indukčního toku. (nestačí pouze změna \vec{B} !)

Indukované elektromotorické napětí vzniká v těchto případech:

- 1) Ve vodiči, který se pohybuje v časově neproměnném mgn. poli,
- 2) v nepohybujícím se vodiči v časově proměnném mgn. poli,
- 3) ve vodiči pohybujícím se v časově proměnném mgn. poli.

Na volné el. ve vodiči ve výše uvedených případech působí:

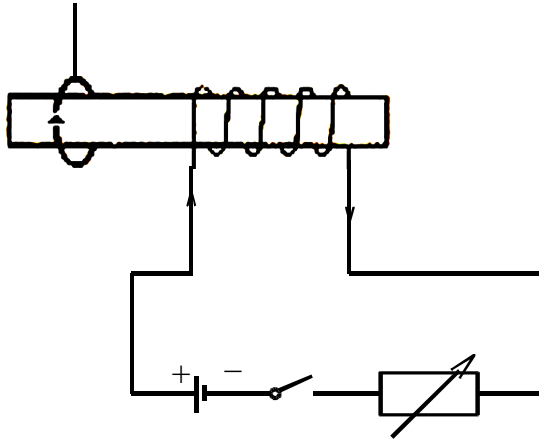
ad 1) mgn. síla, ad 2) el. síla tzv. indukovaného el. pole, které vznikne časovou změnou mgn. pole, ad 3) mgn i el. síla.

Vznik indukovaného elektromotorického napětí a indukovaného proudu nazýváme **elektromagnetická indukce**.

Lenzův zákon

Na čem závisí směr indukovaného proudu?

- mějme následující obvod: cívka s dlouhým jádrem připojená k akumulátoru přes reostat a vypínač a volně zavěšený hliníkový prstenec, který se nedotýká jádra (viz. obrázek ↓)



Při sepnutí obvodu (zvýšení proudu v obvodu) se prstenec od cívky odpuzuje, prochází jím tedy nesouhlasný proud (viz vzájemné působení vodičů s proudy), mgn. pole prstence je namířeno proti mgn. poli cívky.

Při vypnutí (snížení proudu v obvodu) se prstenec k cívce přitahuje, prochází jím souhlasný proud, mgn. pole prstence je stejného směru jako mgn. pole cívky.

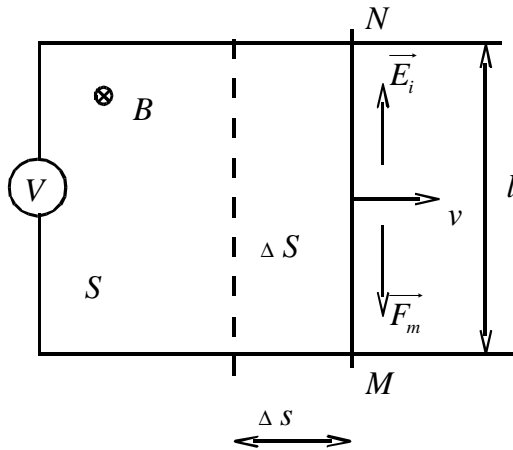
⇒ Indukovaný proud v prstenci má vždy směr takový, že svým magnetickým polem zmenšuje uvnitř prstence změnu magnetického pole cívky, a tím i změnu mgn. ind. toku plochou prstence.

Lenzův zákon: Indukovaný proud působí svými účinky proti změně, která ho vyvolala.

Foucaultovy (vířivé) proudy - vznikají v masivních vodičích (plechy, desky, hranoly) pohybujících se v mgn. poli nebo ve vodičích, které jsou v časově proměnném mgn. poli – svými účinky tyto proudy brzdí pohyb vodiče v mgn. poli
užití - např. elektromagnetická brzda u tramvají, metra, lokomotiv...

Faradayův zákon elmg. indukce

- Mějme homogenní mgn. pole o mgn. indukci \vec{B} , jehož ind. čáry jsou kolmé k nákrešně a orientované za nákrešnu. V rovině nákrešny jsou znázorněny dva přímé rovnoběžné a nepohyblivé vodiče připojené k voltmetru, jejichž vzdálenost je l . Po těchto vodičích se pohybuje rychlostí \vec{v} další vodič.



- mezi body M a N vznikne při pohybu vodiče v mgn. poli elm. napětí
- na každý elektron působí mgn. síla $F_m = |-e| \cdot v \cdot B \cdot \sin 90^\circ = e \cdot v \cdot b$

Stejně účinky na volné el. by mělo homogenní el. pole o intenzitě $\vec{E}_i = \frac{\vec{F}_m}{-e}$ a pro jeho velikost by platilo:

$$E_i = \frac{F_m}{|-e|} = v \cdot B$$

V tomto el. poli by napětí mezi body M a N , jejichž vzdálenost je l , mělo velikost:

$$|U_i| = E_i \cdot l = v \cdot B \cdot l = B \cdot l \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{B \Delta S}{\Delta t} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t},$$

kde Δs je dráha, kterou urazí vodič za dobu Δt , ΔS je plocha opsaná vodičem za dobu Δt .

$$\rightarrow U_i = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad \text{Faradayův zákon elmg. indukce}$$

Indukované napětí je rovno záporně vzaté časové změně mgn. indukčního toku. (Znaménko minus pochází z Lenzova zákona).

Vlastní indukce

Cívkou prochází časově proměnný proud \rightarrow mění se mgn. pole cívky \rightarrow mění se mgn. indukční tok v cívce \rightarrow v cívce se indukuje elm. napětí

- jev se nazývá vlastní indukce

Mgn. ind. tok cívkou $\Phi = L \cdot I$

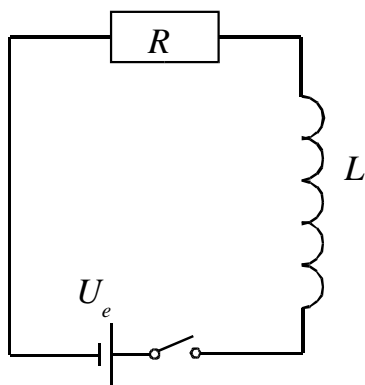
L ... indukčnost cívky, pro danou cívku (ne pro feromgn. jádro!!) je konst.
 $[L] = \text{H}$, Henry řádově $\mu\text{H} - 10 \text{ H}$

$$U_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

L je vedle R a C nejdůležitějším parametrem vodičů.

Mějme obvod na následujícím obrázku:

Zapnutí vypínače



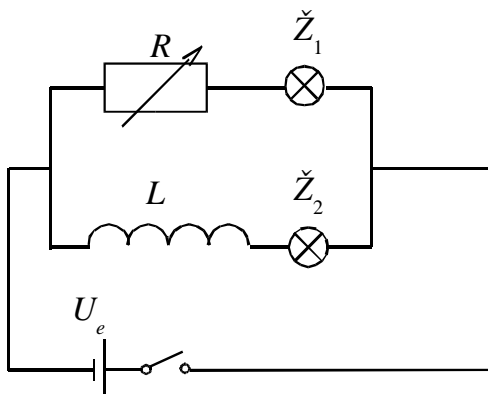
$$I = \frac{U_e + U_i}{R} = \frac{U_e - L\frac{\Delta I}{\Delta t}}{R}$$

Při zapnutí je induk. elm. napětí $U_i = -U_e$ a proud v obvodu je nulový, postupně se ale U_i snižuje (proud neroste už tak rychle)

a po určité době je $I = \frac{U_e}{R}$.

Doba tohoto efektu závisí na velikosti R a L .

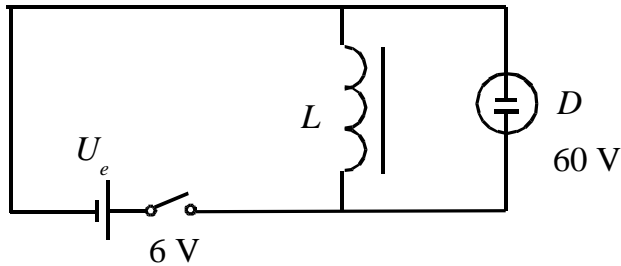
Pokus na ukázání opožděného dosažení konstantní hodnoty proudu $I = \frac{U_e}{R}$:



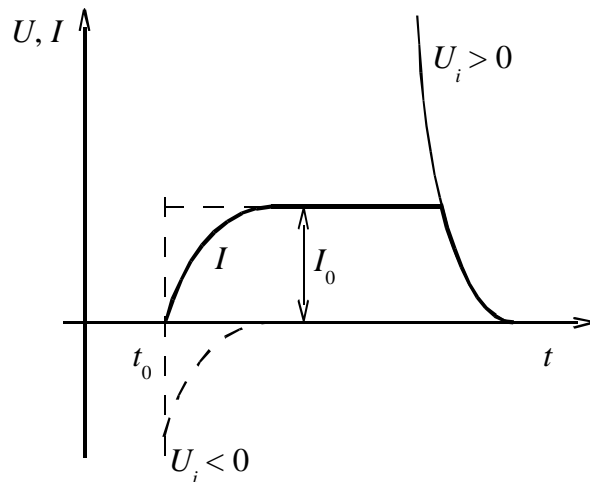
Po zapnutí spínače se žárovka ve větvi s cívkou rozsvítí později než žárovka ve větvi s reostatem.

Vypnutí vypínače: Proud prudce klesá, na cívce se indukuje napětí proti této změně, tj. souhlasné a při vhodných hodnotách R a L U_i mnohonásobně převyší U_e .

Pokus: Při vypnutí proudu doutnavka D září, přestože její zápalné napětí (60 V) je mnohonásobně větší než elm. napětí zdroje (6V).

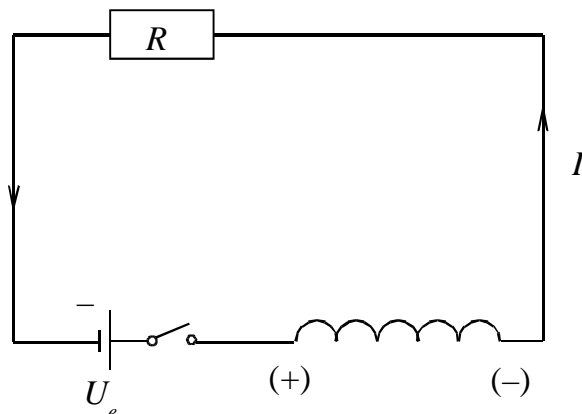


Průběh U a I při zapnutí a vypnutí proudu:



Energie magnetického pole cívky

Mgn. pole je jednou z forem hmoty a má energii.



FYZIKA – 3. ROČNÍK

Zapneme obvod \rightarrow zvyšuje se proud $I \rightarrow$ vytváří se mgn. pole cívky
mgn. ind. tok cívkou roste s proudem podle vztahu $\Phi = L \cdot I$

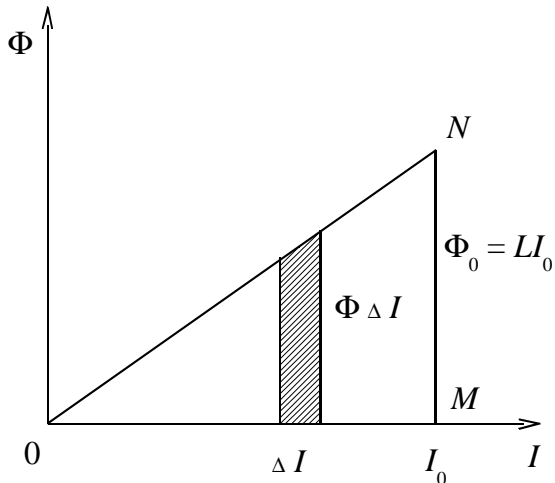
na cívce se přitom indukuje elm. napětí $U_i = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$

Za Δt se proud zvýší o ΔI a energie mgn. pole cívky se zvýší o ΔE_m .

- tato energie se přeměnila z el. energie zdroje napětí:

$$\Delta E_m = |U_i| \cdot I \cdot \Delta t = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} \cdot I \cdot \Delta t = \Phi \cdot \Delta I$$

Průběh Φ :



Energie $\sim \Delta OMN$: $E_m = \frac{1}{2} \Phi_0 I_0 = \frac{1}{2} L I_0^2$

$$E_m = \frac{1}{2} L I^2$$

neplatí pro cívku s feromgn. jádrem ... L není konst., vztah je složitější