

→ Nestacionární magnetické pole - mění se

→ vzniká v okolí

- vodiče, kterým prochází časově proměnný proud
- pohybujícího se vodiče s proudem
- pohybujícího se magnetu

→ Elektromagnetická indukce

→ fyzikální jev

Podle vyvolám nest. pole

a) do cívky zasouvám magnet ↑

b) zapnu obvod ⇒ jádro cívky se magnetuje, ale chvilu to nabíhá ⇒ to m. pole se mění (chvilově)

→ nestacionární m. pole je příčinou vzniku indukovaného elektromagnetického napětí na koncích vodiče cívky a indukovaného elektrického proudu cívkou

⇒ mezi konci cívky vznikne indukované elektrické pole

→ magnetický indukční tok - $\Phi = \Phi'$

→ fyzikální veličina popisující elektromagnetickou indukci a nestacionární mag. pole

→ plocha S - ohraničena daným vodičem / káblíkem

• n = normála = kolmice k ploše S

• α = úhel, který svírá n s mag. indukcí \vec{B}

⇒ $\Phi \sim$ množství m. i. čar, které protékají plochou S

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos(\alpha) \quad [\Phi] = T \cdot m^2 = Wb = \text{Weber}$$

→ změna mag. ind. toku

- při změně magnetické indukce

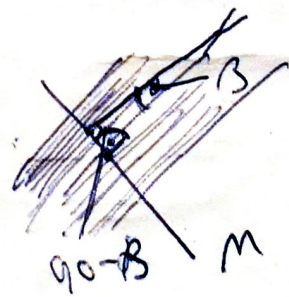
- při změně velikosti plochy

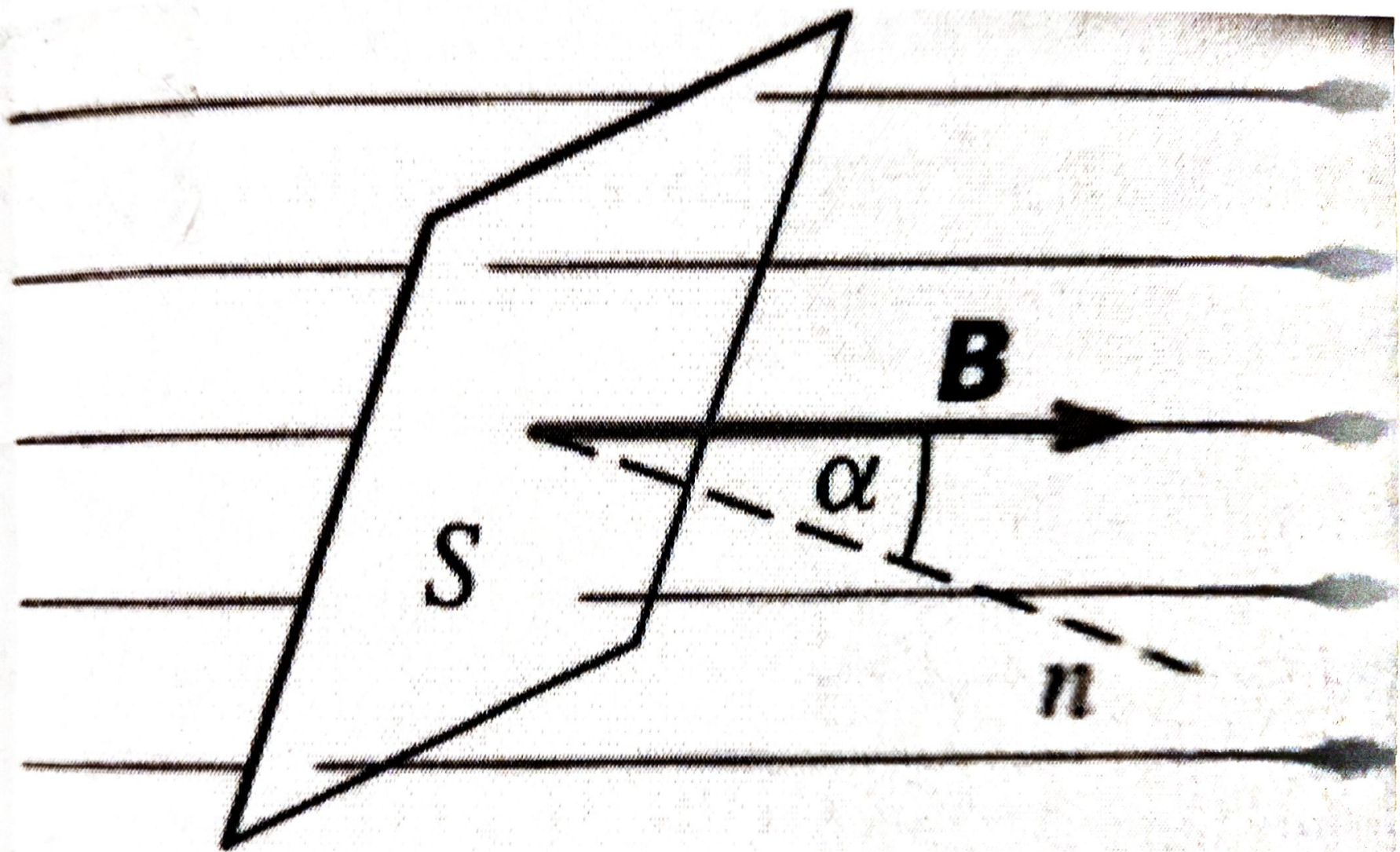
- při změně polohy plochy

$$\cos(\alpha) = \sin(90 - \alpha)$$

$$\Phi = B \cdot S \cdot \sin \beta$$

β úhel, který svírá rovina S s čarou





8-3 K výkladu pojmu magnetického indukčního toku

→ Farradayův zákon

- jestliže magnetický indukční tok plochou ohraničenou vodičem se za čas Δt změní o $\Delta \Phi$, pak se na koncích vodiče indukuje elektromagnetická napětí

$$U_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \rightarrow \ominus \text{ vůči orientaci}$$

$$\Rightarrow \text{velikost: } |U_i| = \frac{|\Delta \Phi|}{\Delta t}$$

- přímý vodič délky l v homogenním mag. poli s mag. indukcí \vec{B}
- tento přímý vodič se dotýká dvou rovnoběžných vodičů, připojených k voltmetru a pohybuje se do prava rychlostí \vec{v}
- pohybují se i volné elektrony ve vodiči \rightarrow kolmo k indukčním čarám

$$\Rightarrow F_m = B \cdot e \cdot N$$

\rightarrow doprava

VIZ OBRÁZEK

\rightarrow směr F_m "dolů" - FPPR \Rightarrow vodič dole má \ominus náboj

\rightarrow podobně: vodič nahoře má kladný náboj

\rightarrow mezi vodiči se vytvoří elektrické pole

\Rightarrow intenzita elektrického pole - E

$$E = \frac{F_e}{Q} \wedge Q = \text{elektron} \Rightarrow E = \frac{F_e}{e} = \frac{F_m}{e}$$

$$U = E \cdot l = \frac{B \cdot e \cdot N}{e} \cdot l = B \cdot N \cdot l \rightarrow N = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

\rightarrow dráha, kterou vodič urazí za dobu Δt

$$U = B \cdot \frac{\Delta S \cdot l}{\Delta t} = B \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t} \rightarrow \text{tuto plochu se zmenšila plocha ohraničená vodičem}$$

$$\underline{U = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}}$$

$\rightarrow U$ je svorkové napětí

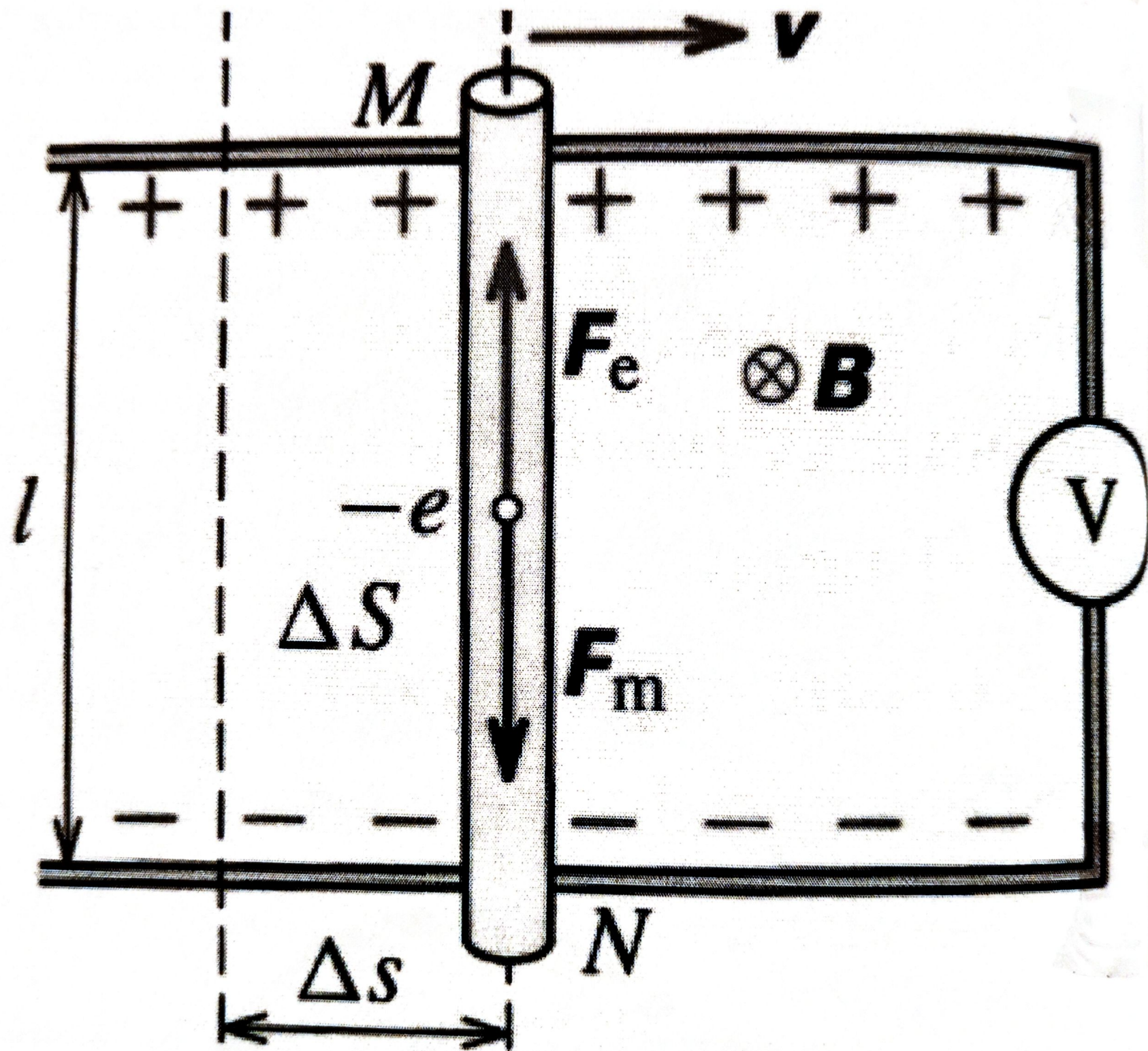
$\rightarrow U_i$ je elektromotorické napětí

\Rightarrow opačná orientace, stejná velikost

$$\vec{U}_i = -\vec{U} \wedge |U_i| = |U|$$

$$\Rightarrow \underline{|U_i| = B \cdot N \cdot l}$$

$$[U_i] = V$$



→ příklady

159) čára svírají s rovinou úhel $30^\circ = \alpha'$

⇒ s normálou svírají úhel $60^\circ = \alpha$

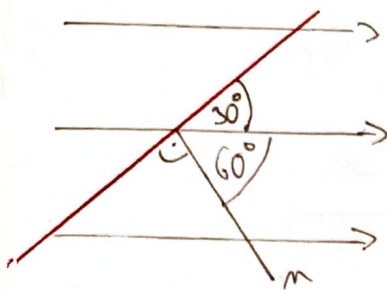
$S = 50 \text{ cm}^2 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$\Delta B = 0,02 \text{ T}$

$B_0 = 0,2 \text{ T}$

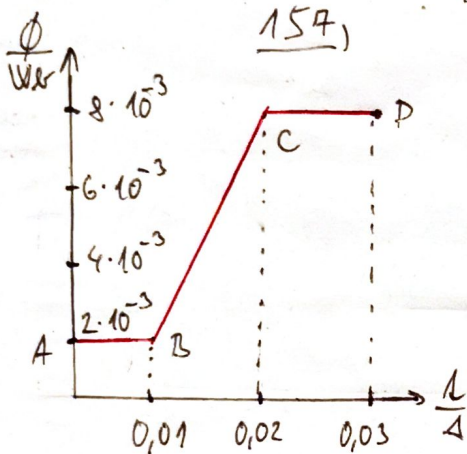
$B = 0 \text{ T}$

$U_i = ?$



$|U_i| = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = S \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot \cos \alpha$

$|U_i| = 5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{10 - 0,2}{0,02} \cdot \frac{1}{2} = \underline{\underline{25 \cdot 10^{-3} \text{ V} = 25 \text{ mV}}}$



• A-B: $\Phi = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$ - konstantní

⇒ $U_i = 0$

• B-C: $\Delta \Phi = 8 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$

⇒ $U_i = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{6 \cdot 10^{-3}}{10^{-2}} = \underline{\underline{0,6 \text{ V}}}$

• C-D: $\Phi = 8 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$ - konstantní

⇒ $U_i = 0$

ϵ_m → Lenzův zákon

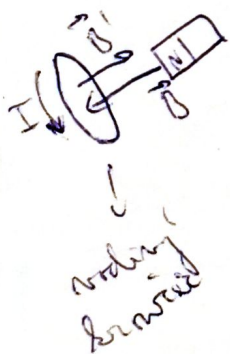
→ změna mag. indukčního toku plochou ohraničenou
klimžovým vodičem vyvolá v závěsu vznik indukovaného
elektrického proudu I_i

→ směr proudu je takový, že svým magnetickým polem působí
proti změně indukčního toku $\Delta \Phi$

a) $\Delta \Phi > 0$ ⇒ potom směr I_i je takový, že \vec{B}' (vlastního
indukovaného mag. pole) je opačný, než \vec{B} (pole
permanentního magnetu) - 8.10 a)

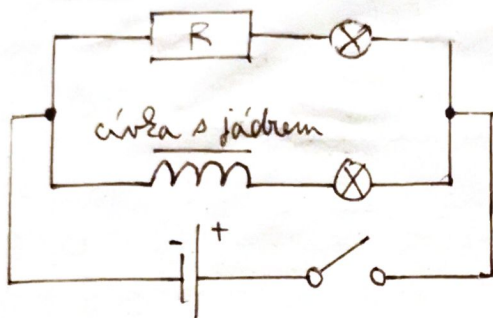
b) $\Delta \Phi < 0$ ⇒ \vec{B}' je sešlásného směru $\Delta \vec{B}$ - 8.10 b)

⇒ $I_i = \frac{|U_i|}{R}$ $[I_i] = A$



→ L. Z.: Indukovaný el. proud I_i v uzavřeném obvodu má takový směr, že svým mag. polem působí proti změně magnetického indukčního toku, která je příčinou jeho vzniku

- Vlastní indukce - fyzikální jev



→ žárovka u rezistoru se rozsvítí okamžitě

→ žárovka u cívky se rozsvítí později
⇒ příčina = vlastní indukce

→ uzavření obvodu ⇒ proud obvodem postupně narůstá

⇒ mag. pole cívky s proudem je chvíli nestacionární

⇒ v cívkě vzniká indukované el. pole

⇒ vzniká U_i opačné polaristy než má zdroj obvodu

⇒ podle Lenzova zákona působí indukované el. pole

proti změně mag. pole cívky, \rightarrow vlastního mag. pole

⇒ cívka sama sobě brání v narůstání proudu cívkou

= vlastní indukce

→ mag. indukční tok cívkou

$$\underline{\Phi = L \cdot I}$$

I = proud cívkou

L = indukčnost cívky

$$\underline{[L] = \text{Wb} \cdot \text{A}^{-1} = \text{H} = \text{Henry}}$$

\hookrightarrow charakterizuje cívku

schopnost cívky
svoiti m. pole

$$\Rightarrow \underline{U_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}} \quad \Rightarrow |U_i| = \frac{|\Delta \Phi|}{\Delta t} = L \cdot \frac{|\Delta I|}{\Delta t}$$

→ Přechodný děj

- obvod se kterým je cívka s indukčností L
- spínač sepnutí \Rightarrow vzrůstá napětí obvodem
 \Rightarrow na cívce se indukuje U_i , které má opačnou polaritu, než elektromotorické napětí zdroje U_e
- proud narůstá nejdrív rychle, poté pomaleji a po dosažení hodnoty I_0 se už nemění \leftarrow pak $U_i = 0$
- s počlesem vzrůstá změny proudu klesá velikost U_i
 $\frac{\Delta I}{\Delta t} = \text{rychlost změny } I \quad \rightarrow U_i = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad \rightarrow \Delta I = 0 \Rightarrow U_i = 0$
- rozpojí se obvod $\Rightarrow \Delta I < 0 \Rightarrow U_i > 0 \wedge U_e = 0 \Rightarrow I = \frac{U_i}{R}$
 $\Rightarrow U_i$ rychle vzroste a pak zase klesá

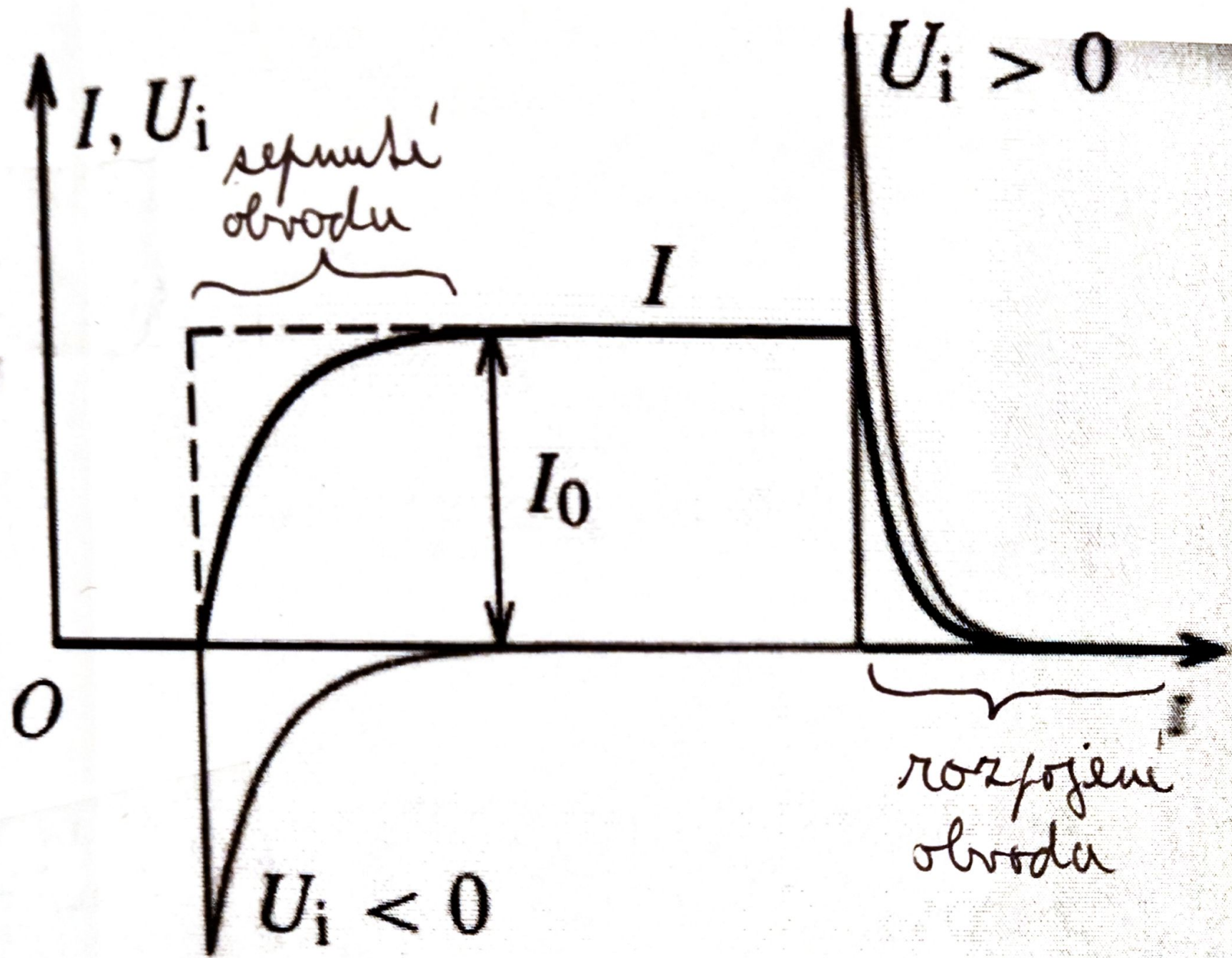
$$I = \frac{U_e + U_i}{R} = \frac{U_e - L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}}{R} \rightarrow \text{rovnice to popisuje}$$

→ Energie magnetického pole cívky

$$E_m = \frac{1}{2} L \cdot I^2 \quad - I = \text{proud obvodem}$$

→ příklady

- proud se zmíní je jestli se něco zvětšilo / zmenšilo
 \Rightarrow počítám s polaritou
- proud jen, že se něco nějak změnilo
 \Rightarrow zapímať má jen velikost



8-14 Časový diagram přechodného děje

18 - Elektromagnetická indukce

- 1) V homogenním magnetickém poli se kolmo k indukčním čárám pohybuje přímý vodič délky 1,8 m rychlostí $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Na koncích vodiče je indukované napětí 1,44 V. Vypočítej magnetickou indukci pole.
- 2) Rovnoměrnou změnou proudu v cívce o 2 A za čtvrt sekundy se na koncích cívky indukovalo napětí 20 mV. Jaká je indukčnost cívky?
- 3) Půlkruhová vodivá smyčka o poloměru 20 cm o elektrickém odporu 2Ω se nachází v homogenním magnetickém poli. Vektor magnetické indukce je kolmý na rovinu smyčky a jeho velikost se zmenšuje každou sekundu o 50 mT.
Vypočítej:
 - a) elektrické napětí indukované ve smyčce
 - b) velikost indukovaného proudu
 - c) množství Joulova tepla uvolněného za 5 s.

ELEKTROMAGNETICKÁ INDUKCE

1) $l = 1,8 \text{ m}$
 $v = 6 \text{ m/s}$

$U_i = 1,44 \text{ V}$
 $B = ?$

$$U_i = \frac{W}{q} = \frac{F_m \cdot l}{q} = q \frac{v B l}{q} = v B l$$

$$B = \frac{U_i}{v l} = \frac{1,44}{6 \cdot 1,8} \text{ T} = \underline{\underline{133 \text{ mT}}}$$

2) $\Delta I = 2 \text{ A}$
 $\Delta \Lambda = 0,25 \text{ A}$

$U_i = 2 \cdot 10^{-2} \text{ V}$
 $L = ?$

$$\Phi = L \cdot I \Rightarrow L = \frac{\Delta \Phi}{\Delta I} = \frac{U_i \Delta \Lambda}{\Delta I}$$

$$L = \frac{2 \cdot 10^{-2} \cdot 0,25}{2} \text{ H} = \underline{\underline{2,5 \text{ mH}}}$$

3) $r = 0,2 \text{ m}$

$R = 2 \Omega$

$\frac{\Delta B}{\Delta t} = -50 \text{ mT/s}$

a) $U_i = ?$

b) $I_i = ?$

c) $\Lambda = 5 \text{ A}$, $Q_J = ?$



$$S = \frac{1}{2} \pi r^2 =$$

$$\begin{aligned} \text{a) } U_i &= - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{\Delta B \cdot S}{\Delta t} = 50 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{2} \pi \cdot 0,2^2 \text{ V} \\ &= 25 \pi \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{25} \text{ V} = \underline{\underline{\pi \text{ mV}}} \end{aligned}$$

$$\text{b) } U = R I \Rightarrow I = \frac{U_i}{R} = \frac{\pi}{2} \text{ mA}$$

$$\text{c) } Q_J = W = Q \cdot U = I \cdot U \cdot \Lambda$$

$$Q_J = \frac{\pi}{2} \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot 10^{-3} \cdot 5 \text{ J} = \underline{\underline{25 \mu\text{J}}}$$