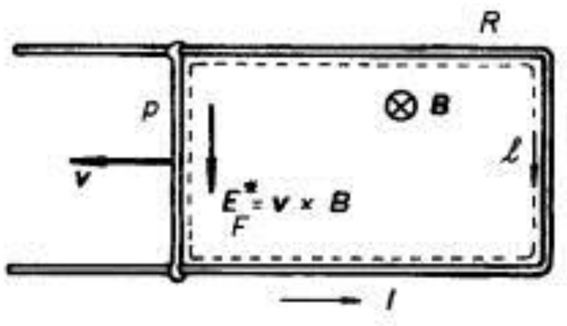
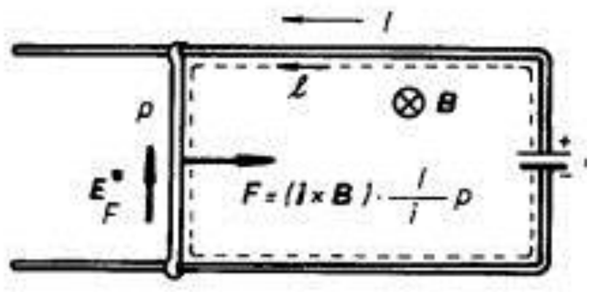
Princip elektrického stroje - generátor



- Vodivá smyčka ve tvaru obdélníka, zhotovená z homogenního vodiče vyhovujícího Ohmovu zákonu.
- Smyčka je vložena do homogenního magnetického pole ***B***.
- Příčka *p* se pohybuje působením vnější síly rychlostí *v*.
- Na náboje působí síla: $\boldsymbol{E}_{\mathrm{F}}^{*} = \boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}$.

- Tato intenzita může nahradit vtištěnou intenzitu: $\boldsymbol{j} = \gamma\left(\boldsymbol{E} + \boldsymbol{E}^{*}\right)$ O. z.
- Integrace podél smyčky: $RI = \oint_{l} (\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}).\mathrm{d}\boldsymbol{l}$
- označíme $\mathcal{E}_F'$: $\mathcal{E}_F' = \oint_{l} (\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}).\mathrm{d}\boldsymbol{l} = \int_{p} (\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}).\mathrm{d}\boldsymbol{l} = Bvp = -\Delta\Psi/\Delta t.$
- Vtištěná síla koná práci, která se přeměňuje na Jouleovo teplo, které vzniká průchodem proudu obvodem.

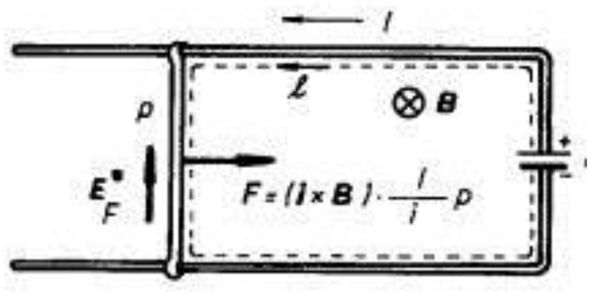
Princip elektrického stroje - elektromotor



- Vodivá smyčka ve tvaru obdélníka, zhotovená z homogenního vodiče vyhovujícího Ohmovu zákonu.
- Smyčka je vložena do homogenního magnetického pole ***B***.
- Do smyčky nechť je zapojen vnější zdroj elektromotorického napětí $\mathcal{E}$, který v ní vzbudí proud *I*.
- Na příčku působí síla *F*.

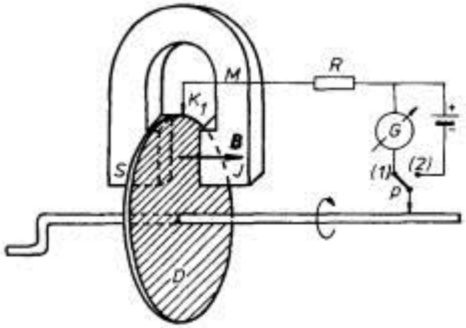
- Práce za jednotku času: $$N_\mathrm{m} = \boldsymbol{F}.\boldsymbol{v}' = \frac{I}{j} p\left[(\boldsymbol{j} \times \boldsymbol{B}).\boldsymbol{v}'\right] = IBpv'.$$
- Tato práce je konána na úkor energie dodané soustavě zdrojem elektromotorického napětí $\mathcal{E}$.
- Zákon zachování energie: $$\mathcal{E} I = RI^2 + N_\mathrm{m} = RI^2 + IBpv'.$$
- Indukované el.-mot. napětí v příčce: $$\mathcal{E}_F' = \oint_l \boldsymbol{E}_\mathrm{F}^*.\mathrm{d}\boldsymbol{l} = -Bpv' < 0.$$
- Energetická bilance: $$\mathcal{E}I = RI^2 - \mathcal{E}_F' I$$

Princip elektrického stroje - elektromotor



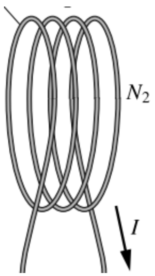
- Vnější zdroj elektromotorického napětí budí v obvodu proud, který vyvolává silové účinky na vodič *p.*
- Počne-li se vodič v důsledku těchto sil pohybovat, počne soustava konat mechanickou práci.
- V pohybující se smyčce se indukuje elektromotorické napětí $\mathcal{E}_F'$, které působí proti vnějšímu napětí $\mathcal{E}$, a způsobí tedy zmenšení proudu.
- Mechanická práce konaná při pohybu vodiče je konána na úkor energie dodané vnějším zdrojem elektromotorického napětí.
- Energie dodávaná vnějšími zdroji se spotřebovává na udržování proudu proti směru indukovaného elektromotorického napětí.

Barlowovo kolečko



- Reálná obdoba popisované smyčky.
- Vodivý (nejčastěji měděný) disk *D* upevněný na otočném hřídeli je umístěn mezi póly trvalého magnetu *M*.
- Při otáčení hřídelem můžeme měřicím přístrojem *G* detekovat indukovaný proud (přepínač *P* v poloze (*1*).
- Zapojíme-li do obvodu vnější zdroj el.-mot. napětí $\mathcal{E}$ tak, aby obvodem protékal proud stejného směru (přepínač *P* v poloze (*2*)), počne se kolečko otáčet opačným směrem.

Princip fluxmetru



- Klasický přístroj, který se dříve hojně užíval k měření magnetického pole.
- Převedení měření změny magnetického toku plochou vodivé smyčky na měření náboje prošlého obvodem.
- Pp. rovinnou cívku o *N* závitech umístěnou ve vnějším magnetickém poli B, malého průřezu *S*, abychom v celém jejím objemu mohli magnetické pole považovat za homogenní.
- Cívka je zapojena do obvodu o celkovém odporu *R*.
- Měřidlo měří celkový prošlý náboj *q*.
- Změna magnetické pole z počáteční hodnoty B_i na konečnou hodnotu B_f.
- Počáteční a konečná hodnota celkového magnetického toku cívkou:

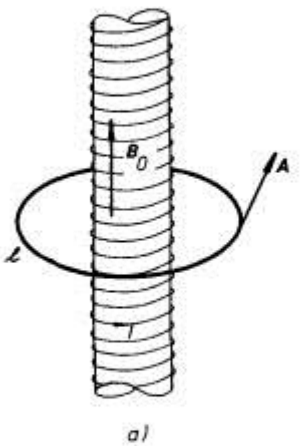
$$\Psi_{\mathrm{i}} = N(\boldsymbol{B}_{\mathrm{i}}.\boldsymbol{S}), \quad \Psi_{\mathrm{f}} = N(\boldsymbol{B}_{\mathrm{f}}.\boldsymbol{S})$$

- *I(t)* je okamžitá hodnota proudu indukovaného v obvodu cívky při změně mg. pole:

$$q = \int_0^\infty I(t)\mathrm{d}t = \frac{1}{R}\int_0^\infty \varepsilon_F(t)\mathrm{d}t = -\frac{1}{R}\int_0^\infty \frac{\mathrm{d}\Psi}{\mathrm{d}t}\mathrm{d}t = -\frac{1}{R}\int_{\Psi_{\mathrm{i}}}^{\Psi_{\mathrm{f}}} \mathrm{d}\Psi = \frac{\Psi_{\mathrm{f}} - \Psi_{\mathrm{i}}}{R}$$

- Celkový náboj *q* prošlý obvodem při změně pole nezávisí na charakteru této změny, ale jen na počáteční (Ψ_i) a konečné (Ψ_f) hodnotě magnetického toku.

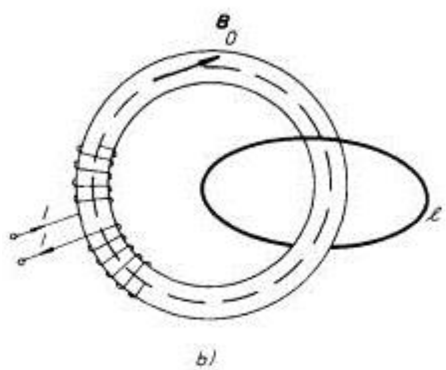
Obecnější pohled na el.-mg. indukci



- El.-mg. indukce nemůže být vždy vyložena na základě silových účinků mg. pole na pohybující se náboje.
- Pp. kruhovou vodivou smyčku *l* poloměru *r*, obepínající nekonečně dlouhý solenoid o poloměru *a* < *r.*
- Smyčka *l* prochází celá prostorem s $B = 0 \Rightarrow$ mg. pole vytvořené solenoidem nemůže na nositele proudu ve smyčce silově působit.

$$\mathcal{E}_F(t) = -\pi a^2 \frac{\partial \boldsymbol{B}_0}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t}\oint_l \boldsymbol{A}.\mathrm{d}\boldsymbol{l} = -\oint_l \frac{\partial \boldsymbol{A}}{\partial t}.\mathrm{d}\boldsymbol{l}$$

- ***A*** má reálný smysl i v místech, kde je $B = 0$.
- Reálná demonstrace s toroidem

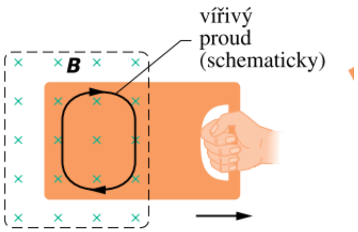


Elektrická kytara

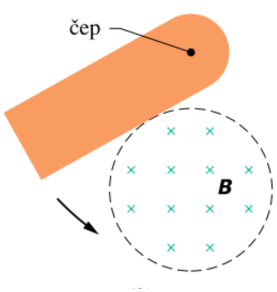
- Nemá dutou část, která by rezonovala.
- 3 x 6 elektrických snímačů

- Cívka navinutá na malý permanentní magnet, jehož magnetické pole indukuje severní a jižní pól v části kovové struny, která je právě nad magnetem.
- Pokud začne struna kmitat, její pohyb vůči cívce mění indukční magnetický tok cívkou a tím se v cívce indukuje proud.
- Indukovaný proud mění směr se stejnou frekvencí jako kmity struny a přenáší tyto kmity do zesilovače a reproduktoru.
- Citlivost snímače je daná počtem závitů snímací cívky.

Vířivé proudy



- Pp.: vytahujeme kovovou desku z magnetického pole.
- V desce se indukuje proud - dráha elektronů je méně uspořádaná - neexistuje jediná smyčka = vířivý proud.
- Při tažení desky je nutné konat práci!
- Platí obecně pro vkládání či vyjímání vodivých těles do/z magnetického pole.
- Princip indukčního ohřevu.



- Vodivá deska, otáčivá kolem vodorovné osy jako kyvadlo, prochází magnetickým polem.
- Vždy během vstupu do pole a výstupu z něj se část mechanické energie kyvadla disipuje.
- Po několika kmitech mechanická energie klesne na nulu, deska
- se přestane kývat a zastaví se v dolní rovnovážné poloze.

Obecné vlastnosti kvazistacionárního el.-mg. pole

- V kvazistacionárním přiblížení připouštíme "pomalé" časové změny příslušných charakteristik soustavy.
- objemová hustota volných nábojů $\rho(\mathrm{r}, t)$ i objemová hustota vázaných nábojů $\rho_{\mathrm{p}}(\mathrm{r},t)$ mohou být explicitní funkce času.
- „Pomalost“ časových změn: $\frac{\partial \rho}{\partial t} \doteq 0.$
- Rovice kontinuity proudu:

$$\boxed{\oint_S \boldsymbol{j}(\boldsymbol{r}, t).\mathrm{d}\boldsymbol{S} \doteq 0,}$$

- Málo se uplatní vázané proudy, včetně posuvného proudu v dielektrikách:

$$\boldsymbol{j}_P = \frac{\partial \boldsymbol{P}}{\partial t} \doteq 0$$

- Zanedbávají magnetické účinky posuvných proudů .

- ***E**(r, t)* můžeme s dobrou přesností považovat za pole potenciální:

$$\boxed{\oint_l \boldsymbol{E}(\boldsymbol{r}, t).\mathrm{d}\boldsymbol{l} = 0,}$$

$$\boxed{\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r}, t) = -\operatorname{grad}\varphi(\boldsymbol{r}, t).}$$

$$\boxed{\operatorname{rot}\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r}, t) = \boldsymbol{0}.}$$

Obecné vlastnosti kvazistacionárního el.-mg. pole 2

$$\boxed{\boldsymbol{D}(\boldsymbol{r},t) = \varepsilon_0\varepsilon_r\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r},t) = \varepsilon_0\boldsymbol{E}(\boldsymbol{r},t) + \boldsymbol{P}(\boldsymbol{r},t)}$$

- Gaussův zákon v látkovém prostředí:

$$\boxed{\oint_S \boldsymbol{D}(\boldsymbol{r},t).\mathrm{d}\boldsymbol{S} = Q} \qquad \boxed{\operatorname{div}\boldsymbol{D}(\boldsymbol{r},t) = \rho(\boldsymbol{r},t).}$$

- Za zdroje magnetického pole mohou být (vedle zmagnetovaných látek) považovány jen volné proudy $\Rightarrow$ platnost Ampérova zákona:

$$\boxed{\oint_l \boldsymbol{H}(\boldsymbol{r},t).\mathrm{d}\boldsymbol{l} = I,} \qquad \boxed{\operatorname{rot}\boldsymbol{H}(\boldsymbol{r},t) = \boldsymbol{j}(\boldsymbol{r},t),}$$

- Pp: $$\boldsymbol{H}(\boldsymbol{r},t) = \frac{1}{\mu_0}\left(\boldsymbol{B}(\boldsymbol{r},t) - \boldsymbol{P}_{\boldsymbol{m}}(\boldsymbol{r},t)\right) = \frac{\boldsymbol{B}(\boldsymbol{r},t)}{\mu_0} - \boldsymbol{M}(\boldsymbol{r},t)$$

Obecné vlastnosti kvazistacionárního el.-mg. pole 2

- Vektorový potenciál: $\boxed{\boldsymbol{B} = rot\boldsymbol{A}}$
- *kalibrační* podmínka: $\boxed{div\boldsymbol{A} = 0}$
- Platí vztahy pro bezzdrojovost mg. pole:

$$\boxed{\oint_S \boldsymbol{B}(\boldsymbol{r}, t).\mathrm{d}\boldsymbol{S} = 0.} \qquad \boxed{\mathrm{div}\, \boldsymbol{B}(\boldsymbol{r}, t) = 0}$$

- Zákon el.-mg. indukce: $$\mathscr{E} = -\frac{\mathrm{d}\Phi_B}{\mathrm{d}t}$$
- Tato čas. závislost se nezanedbává!!!
- Vesměs stejné rovnice jako stacionární el. a mg. pole, nové okrajové podm. - musí se brát v úvahu navíc pole indukované vtištěné intenzity $\boldsymbol{E}^*_\mathrm{F}(\boldsymbol{r})$

Obecné vlastnosti kvazistacionárního el.-mg. pole 3

- Materiálové konstanty - pro pomalu se měnící pole - stále konstanty.
- Ohmův zákon - včetně vtištěné intenzity: $\boldsymbol{j} = \gamma\left(\boldsymbol{E} + \boldsymbol{E}^*\right).$
- Naopak neplatí:

$$\rho = \operatorname{div}\boldsymbol{D} = \varepsilon \operatorname{div}\boldsymbol{E} = \frac{\varepsilon}{\gamma}\operatorname{div}\boldsymbol{j} = 0$$

$$\rho_P = -\operatorname{div}\boldsymbol{P} = -\chi_e \operatorname{div}\boldsymbol{E} = -\frac{\chi_e}{\gamma}\operatorname{div}\boldsymbol{j} = 0.$$

- Při uplatnění elektromagnetické indukce může být i v homogenním prostředí nenulová hustota volných či vázaných nábojů.

Vlastní a vzájemná indukčnost vodičů

- Pp. vodivou smyčku protékanou proudem *I*(*t*) , která je uložena ve vakuu.
- Mg. pole B(r, *t*) v daném bodě vybuzené touto smyčkou je lineární funkcí proudu *I*(*t*) - z Biot-Savartova zákona:

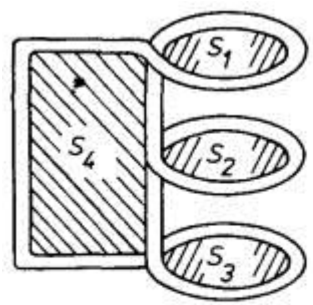
$$\boldsymbol{B}(\boldsymbol{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int_l \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{l} \times \boldsymbol{R}}{R^3}, \quad \boldsymbol{A}(\boldsymbol{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int_l \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{l}}{R}$$

- Směr vektoru ***B*** zůstává v každém bodě stálý; se změnami proudu se mění pouze jeho velikost.
- Magnetický tok *Ψ* libovolnou plochou *S* je proto také lineární funkcí proudu *I.*
- Linearita zůstane zřejmě zachována i v případě, kdy bude prostor vyplněn lineárním hmotným prostředím (tj. dia- a paramagnetické látky).
- Pp., že za plochu *S* zvolíme některou z ploch ohraničenou uvažovanou proudovou smyčkou *l*

$$\Psi = L I,$$

- L - indukčnost smyčky
- závisí pouze na geom. tvaru a příp. na permeabilitě prostředí.
- [L] = H = Wb/A = Vs/A   Henry

Elektromagnetická indukce



- Mg. tok složitějším obvodem: součet toků jednotlivými smyčkami.

Vlastní a vzájemná indukčnost vodičů 2

- Vlastní indukčnost vodiče vyjadřuje jeho schopnost vytvářet magnetické pole.
- cf. kapacita
- Vlastní indukčnost může být zavedena nejen pro uzavřenou smyčku konečných rozměrů, ale i pro libovolný vodič či jeho úsek.

- Obecnější soustava: N smyček $l_1, l_2, \ldots, l_N$, protékaných proudy $I_1, I_2, \ldots, I_N$.
- Celkový magnetický tok Ψ_i, protékající i-tou smyčkou, bude obecně záviset na proudech ve všech uvažovaných N smyčkách.
- Příspěvek Ψ_{ik} k-té smyčky k celkovému toku Ψ_i: $\Psi_{ik} = L_{ik} I_k$,

- Celkový tok Ψ_i libovolné z uvažovaných smyček ($i = 1, \ldots, N$) $$\Psi_i = \sum_k L_{ik} I_k$$

- L_{kk} ($k = 1, \ldots, N$) - vlastní indukčnost smyčky k
- L_{ik} ($i, k = 1, \ldots, N;\ i \neq k$) - vzájemná indukčnosti smyček i, k
- $L_{ik} = L_{ki}$
- $L_{kk} \geq 0$

- - statická definice

Vlastní a vzájemná indukčnost vodičů 3

- dynamická definice - pomocí vztahu pro el.-mg. indukci

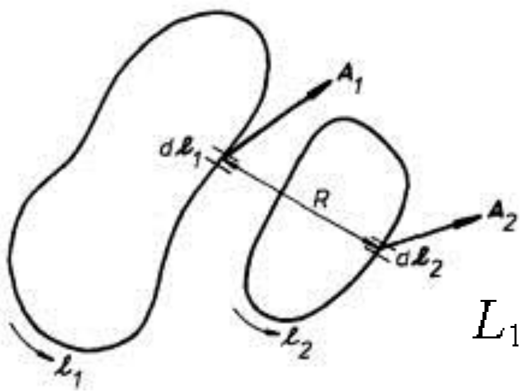
$$\mathcal{E}_{F,i} = -\frac{\mathrm{d}\Psi_i}{\mathrm{d}t} = -\sum_{k=1}^{N} L_{ik} \frac{\mathrm{d}I_k}{\mathrm{d}t}.$$

- pomocí el.-mot. napětí indukovaných v jednotlivých smyčkách

- Pro jednu smyčku:

$$\boxed{\mathcal{E}_F = -\frac{\mathrm{d}\Psi}{\mathrm{d}t} = -L\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}t}}.$$

Vlastní a vzájemná indukčnost vodičů 4



- symetrie $L_{ik} = L_{ki}$
- dvojice smyček l_1, l_2

$$\Psi = \int_S \boldsymbol{B}.\mathrm{d}\boldsymbol{S} = \int_S \mathrm{rot}\,\boldsymbol{A}.\mathrm{d}\boldsymbol{S} = \oint_l \boldsymbol{A}.\mathrm{d}\boldsymbol{l}$$

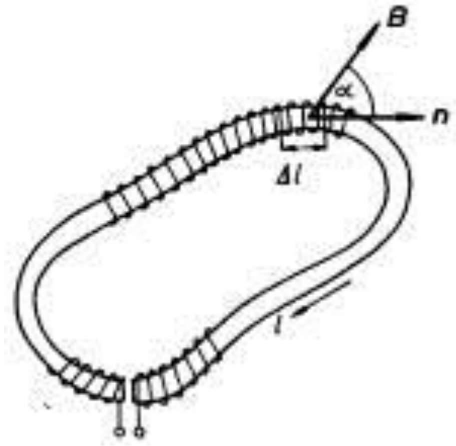
$$L_{12} = \frac{\Psi_{12}}{I_2}, \qquad L_{21} = \frac{\Psi_{21}}{I_1} \qquad \boldsymbol{A}(\boldsymbol{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int_l \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{l}}{R}$$

$$L_{12} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_{l_1} \oint_{l_2} \frac{\mathrm{d}l_1\,\mathrm{d}l_2}{R}.$$

- libovolné pořadí integrace, a tedy $L_{ik} = L_{ki}$
- Věta o vzájemnosti:

Jestliže proud I v k-tém obvodu přispívá k celkovému magnetickému toku i- tého obvodu hodnotou Ψ_{ik}, pak stejný proud v i-tém obvodu přispívá stejnou hodnotou magnetického toku k-tého obvodu.

Příklady - měřící transformátor



- Cívka o velkém počtu závitů (hustota z_0) navinutou na ohebném jádru malého průřezu Δ*S,* zhotoveném z vhodného materiálu (kůže, plastická látka apod.).
- Z této cívky lze vytvořit uzavřenou smyčku *l* velmi obecného tvaru.
- Plocha každého závitu je v podstatě kolmá ke směru křivky *l* v daném místě.
- Cívka je vložena do magnetického pole ***B*** libovolné soustavy vodičů.
- n - jednotkový vektor ve směru tečny *l*, resp. kolmice k ploše závitu Δ*S.*

$$\Delta \boldsymbol{l} = \boldsymbol{n}\Delta l \qquad \Delta \boldsymbol{S} = \boldsymbol{n}\Delta S$$

$$\Delta\Psi = z_0 \Delta l\, \Delta\Phi = z_0 \Delta S (\boldsymbol{B}.\, \Delta \boldsymbol{l})$$

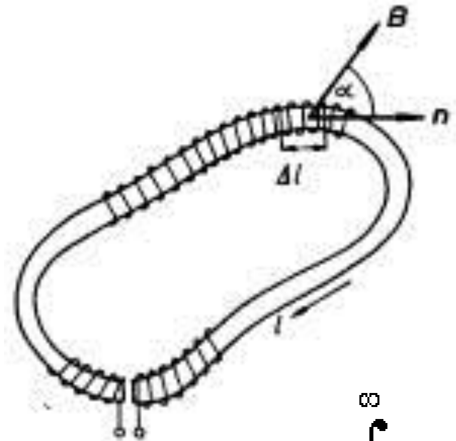
mg. tok na délce Δ*l*

$$\Psi = z_0 \Delta S \oint_l \boldsymbol{B}.\, \mathrm{d}\boldsymbol{l}.$$

mg. tok na celé délce *l*

$$\mathcal{E}_F(t) = -z_0 \Delta S \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \oint_l \boldsymbol{B}.\mathrm{d}\boldsymbol{l}.$$

Příklady - měřící transformátor



- V t = 0 zapneme proud, který narůstá až do rovnovážné hodnoty.

$$Q = \int_0^\infty I(t)\,\mathrm{d}t = \frac{1}{R}\int_0^\infty \mathcal{E}_F(t)\,\mathrm{d}t = -\frac{z_0}{R}\int_0^\infty \frac{\mathrm{d}\Psi}{\mathrm{d}t}\mathrm{d}t = -\frac{z_0 \Delta S}{R}\oint_l \boldsymbol{B}.\mathrm{d}\boldsymbol{l}.$$

- Ampérův zákon: $\boxed{\oint_l \boldsymbol{B}.\mathrm{d}\boldsymbol{l} = \mu_0 I\,.}$

- Můžeme jej ověřit, pokud cívku připojíme k měřiči prošlého náboje.

- Naopak, velikost proudu můžeme měřit pomocí magnetických účinků.
- Velkých střídavé proudy se měří pomocí měrných cívek pevného tvaru, zpravidla na feromagnetickém jádru, které se nazývají měřicí trans-formátory.

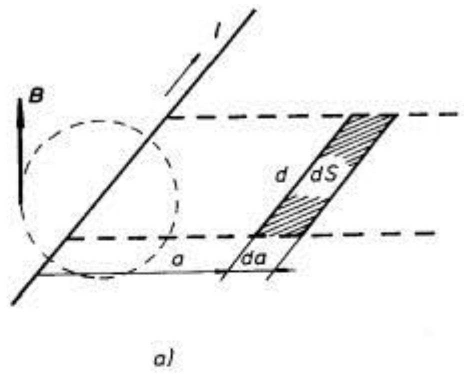
Příklady - měřící transformátor

11.16. <u>Magnetomotorické napětí ss proudu (Sedlákův řemen)</u>

Demonstrací se ověřuje vztah pro magnetické napětí $\oint H ds \approx I$ měřičem magnetického napětí (indukční cívka navinutá na ohebném řemeni) v magnetickém poli stejnosměrného proudu

Obr.11.16. : Magnetomotorické napětí ss proudu (Sedlákův řemen)

Vlastní indukčnost přímých vodičů



- Jediný nekonečně dlouhý velmi tenký vodič protékaný proudem *I* ve vakuu.
- Určíme vlastní indukčnost tohoto vodiče připadající na délku *d.*
- Tok radiální plochou šířky *da*.

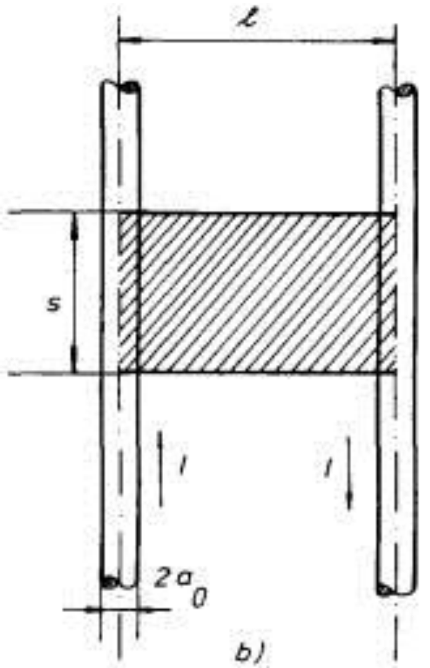
$$d\Psi = BdS = Bd\ da$$

$$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi a}$$

$$L_d = \frac{\Psi_d}{I} = \frac{\mu_0}{2\pi} d \int_0^\infty \frac{\mathrm{d}a}{a}.$$

- Výraz diverguje pro obě meze - nelze najít konečnou hodnotu L_d.

Vlastní indukčnost dvojice přímých vodičů



- Vlastní indukčnosti dvou přímých, rovnoběžných, nekonečně dlouhých vodičů konečného průměru $2a_0$, jejichž osy jsou vzdáleny o *l.*
- Stačí uvažovat část radiální plochy šířky *s* mezi osami obou vodičů.
- Pole vně vodičů: $$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi a}$$

$$L_d = \frac{\Psi'_d}{I} = \frac{\mu_0}{2\pi} d \int_0^\infty \frac{\mathrm{d}a}{a}.$$

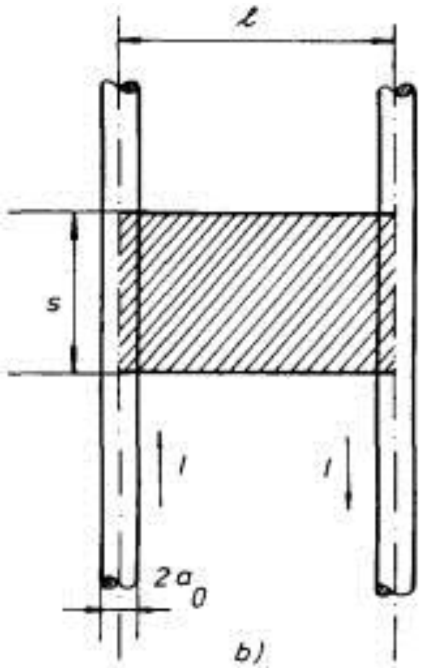
- Uvnitř vodiče (pp. $\mu_r = 1$):

$$I' = \frac{a^2}{a_0^2} I \qquad 2\pi a B = \mu_0 I', \qquad B = \frac{\mu_0}{2\pi a_0^2} I\, a. \qquad L_s = \frac{\mu_0}{2\pi {a_0}^2} s \int_0^{a_0} a \mathrm{d}a$$

$$L_s = \frac{\mu_0}{2\pi {a_0}^2} s \left[\int_0^{a_0} a \mathrm{d}a - \int_{l-a_0}^{l} (l-a) \mathrm{d}a \right] + \frac{\mu_0}{2\pi} s \left[\int_{a_0}^{l-a_0} \frac{1}{a} \mathrm{d}a - \int_{a_0}^{l-a_0} \frac{1}{l-a} \mathrm{d}a \right]$$

Uvnitř Vně

Vlastní indukčnost dvojice přímých vodičů



- po integraci

$$L_s = \frac{\mu_0}{2\pi} s \left(1 + 2\ln \frac{l - a_0}{a_0} \right).$$

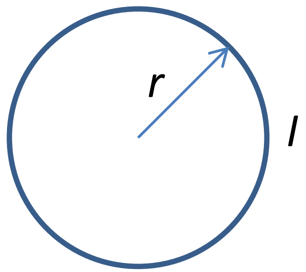
- pro případ dutých vodičů - první člen odpadne.

- *kapacita*

$$C_l = \frac{\pi \varepsilon_0}{\ln \frac{l - R}{R}}$$

$$L_0 C_0 = \varepsilon_0 \mu_0 = \frac{1}{c^2}.$$

Vlastní indukčnost kruhové smyčky



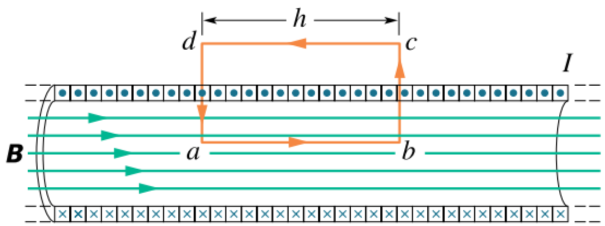
- **kruhová smyčka o poloměru** *r* vložená ve vakuu a protékaná **proudem** *I*
- vodič má **kruhový průřez** o poloměru a_0.
- je třeba vypočítat **magnetický tok kruhovou plochou ohraničenou osovou kružnicí smyčky**
- tok **vně** vodiče + tok **vnitřkem** vodiče
- Pro $r >> a_0$ lze zanedbat zakřivení kružnice $\Rightarrow$
  vnitřní tok: přímý vodič délky 2πr

- **Vnější** část toku: je nutné znát B po celé ploše kruhu.
- Vně smyčky lze smyčku považovat ze nekonečně tenkou osovou kružnici.
- Úloha je ekvivalentní výpočtu vzájemné indukčnosti dvou tenkých koncentrických kruhových smyček o poloměrech *r* a $r - a_0$ ležících v téže rovině.

$$L_{12} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint_{l_1} \oint_{l_2} \frac{\mathrm{d}\,l_1\,\mathrm{d}\,l_2}{R}.$$

- Vlastní integrace obtížná - výsledek: $$L = \mu_0 r \left(\ln \frac{8r}{a_0} - \frac{7}{4} \right).$$

Vlastní indukčnost solenoidu



- Dlouhý solenoid délky *l* a poloměru *R*, na němž je navinuto N_l závitů na jednotku délky.
- Uvnitř pp. homogenní pole $B = \mu_0 I N_l$
- Celkový tok všemi závity ($S = \pi R^2$):

$$\Psi = N_l B S l$$

$$L = \frac{\Psi}{I} = \mu_0 N_l^{\,2} V$$

- $V = Sl$ je objem solenoidu.
- Při zahrnutí okrajových efektů $L = k \mu_0 N_l^{\,2} V$
- kde

$$k = 1 - \frac{8R}{3\pi l} + \frac{R^2}{2l^2} - \frac{R^4}{4l^4}$$