Магнетско поље у присуству материјала (Уопштени Амперов закон). Једначине сталних електромагнетских поља.

Основи електротехнике 2

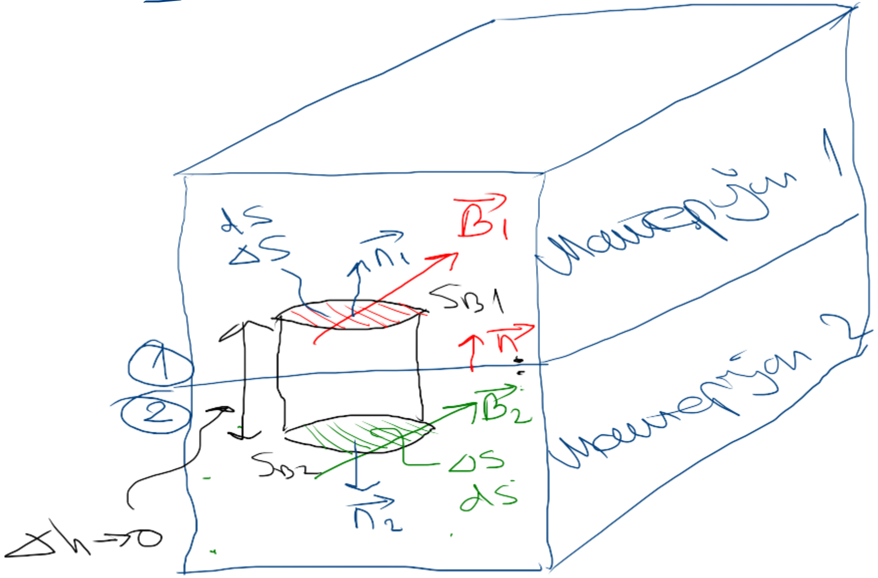
Предавање: 4. блок

ГРАНИЧНИ УСЛОВИ

1. феромагнетик – неферомагнетик
2. феромагнетик – феромагнетик

– Нормалне компоненте вектора $\vec{B}$

$$\oint_S \vec{B}\, d\vec{S} = 0$$



$$\int_{S_{B1}} \vec{B}_1\, d\vec{S} + \int_{S_{B2}} \vec{B}_2\, d\vec{S} + \cancel{\int_{\substack{омотач \\ \Delta h \to 0}} \vec{B}\, d\vec{S}}^{\,\to 0} = 0$$

$\vec{B}_1 = const.$ на суделу $S_{B1} = dS$

$\vec{B}_2 = const$ — || — $S_{B2} = dS$

$$\vec{B}_1 d\vec{S} + \vec{B}_2 d\vec{S} = 0$$

$$\vec{B}_1 dS \cdot \vec{n}_1 + \vec{B}_2 dS\, \vec{n}_2 = 0$$

Уводимо јед. нормалу из ② у ①

$$\vec{B}_1 dS\, \vec{n} - \vec{B}_2 dS\, \vec{n} = 0$$

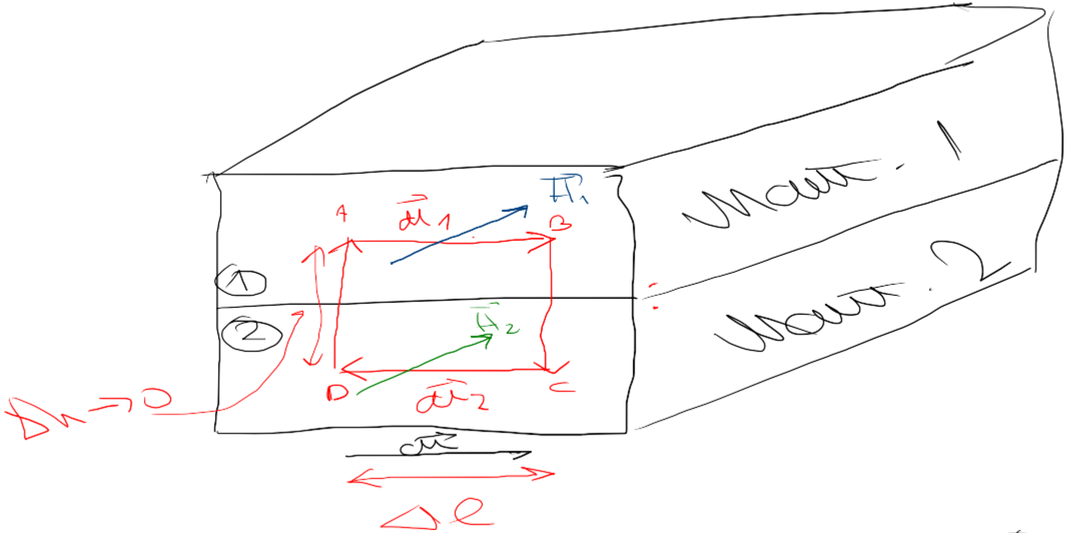
$S_{B1} = dS = S_{B2}$ $\Rightarrow$ $\vec{B}_1 \vec{n} = \vec{B}_2 \vec{n}$

$$\vec{B}_1 \vec{n} - \vec{B}_2 \vec{n} = 0$$

Нормалне компоненте вектора $\vec{B}$ су исте у обе средине у тачки близу гр.обл.

- тангенцијалне компоненте вектора $\vec{H}$

$$\oint_C \vec{H}\, d\vec{l} = \sum_C I$$



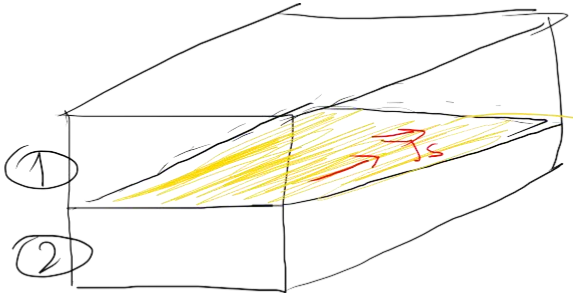
$$\oint_{ABCDA} \vec{H}\, d\vec{l} = \int_A^B \vec{H}_1 \cdot d\vec{l} + \underbrace{\cancel{\int_B^C \vec{H}\, d\vec{l}}}_{\Delta h \to 0} + \int_C^D \vec{H}_2\, d\vec{l} + \underbrace{\cancel{\int_D^A \vec{H}\, d\vec{l}}}_{\Delta h \to 0} = \vec{H}_1 \cdot d\vec{l}_1 + \vec{H}_2\, d\vec{l}_2$$

$$d\vec{l} = d\vec{l}_1 = -d\vec{l}_2 \Rightarrow \vec{H}_1 \cdot d\vec{l} - \vec{H}_2\, d\vec{l} = \sum_C I$$

$$\sum_C I = 0 \Rightarrow \vec{H}_1 \cdot d\vec{l} = \vec{H}_2\, d\vec{l} \qquad \boxed{H_{1t} = H_{2t}}$$

$$\vec{H}_1 \cdot \vec{dl} - \vec{H}_2 \cdot \vec{dl} = \vec{J}_s \cdot \vec{dl}$$

подужна густина површинске струје



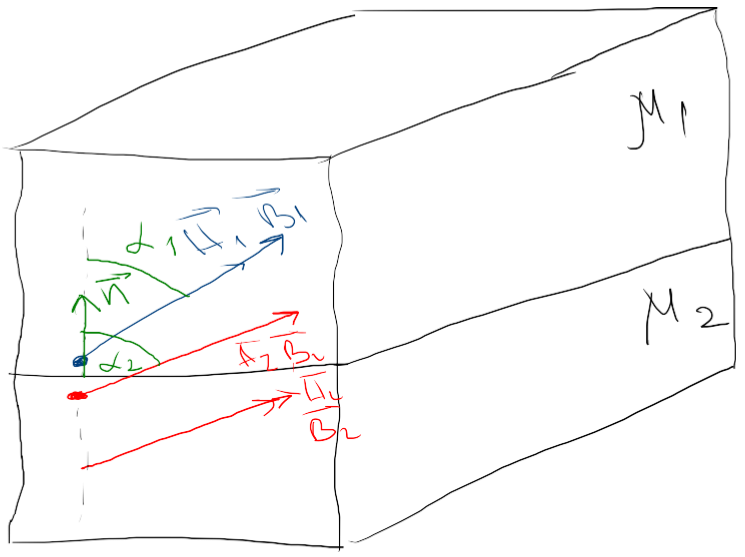
проводна фолија са конц. струјом

Уводи нормалу из ② у ①: $\vec{n} \times \vec{H}_1 - \vec{n} \times \vec{H}_2 = \vec{J}_s$

Такође,

$\vec{B}_1 \cdot \vec{n} = \vec{B}_2 \cdot \vec{n} \Rightarrow$

$B_{1n} = B_{2n}$	Увијек
$H_{1t} = H_{2t}$	ако нема конц. струја



$$B_1 = \mu_0(1+\chi_m) = \mu_1 \cdot H_1$$

$$B_2 = \mu_2 H_2$$

$\vec{n}$ из ② у ①

$$\frac{\operatorname{tg}\alpha_1}{\operatorname{tg}\alpha_2} = \frac{\frac{H_{1t}}{H_{1n}}}{\frac{H_{2t}}{H_{2n}}} = \frac{H_{2n}}{H_{1n}}$$

$$\frac{\operatorname{tg}\alpha_1}{\operatorname{tg}\alpha_2} = \frac{\frac{B_{2n}}{\mu_2}}{\frac{B_{1n}}{\mu_1}} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \Rightarrow \boxed{\frac{\operatorname{tg}\alpha_1}{\operatorname{tg}\alpha_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2}}$$

Ако нема конд струја

Пример:

μ_1 $\quad \vec{n} \uparrow \quad$ $\mu_1 = \mu_0$ (немаг. средина, нпр. ваздух)

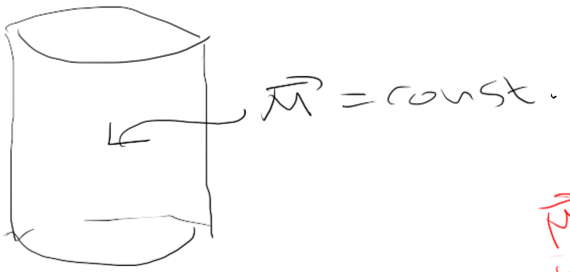
$\mu_2 = \mu_{r2} \cdot \mu_0$ добар феромагнетик

$\mu_{r2} \gg 1$

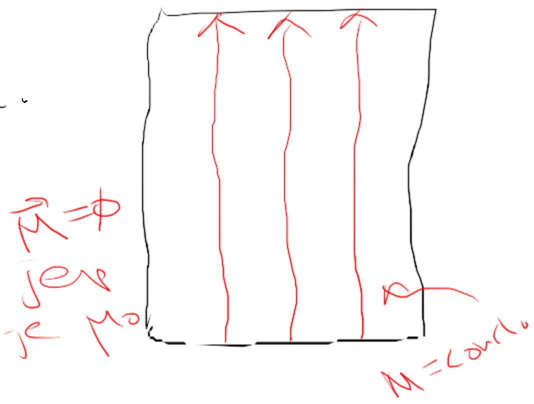
$$\frac{tg\alpha_1}{tg\alpha_2} \simeq \frac{1}{\mu_{r2}} \longrightarrow 0 \Rightarrow tg\alpha_1 = 0 \text{ или } \alpha_1 = \emptyset$$

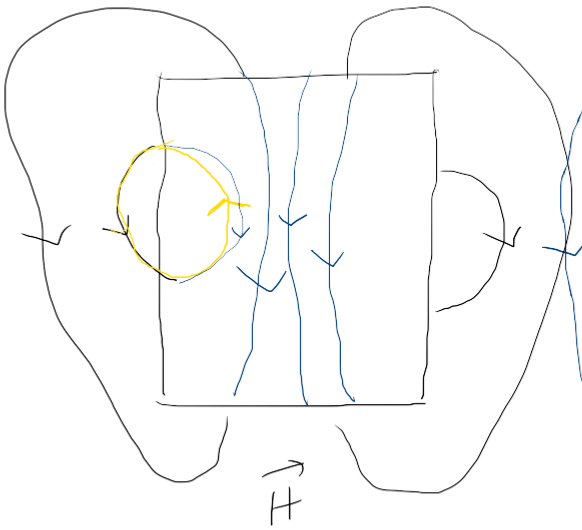
Линије маг. поља излазе из феромаг. у немагнетну средину скоро под правим углом.

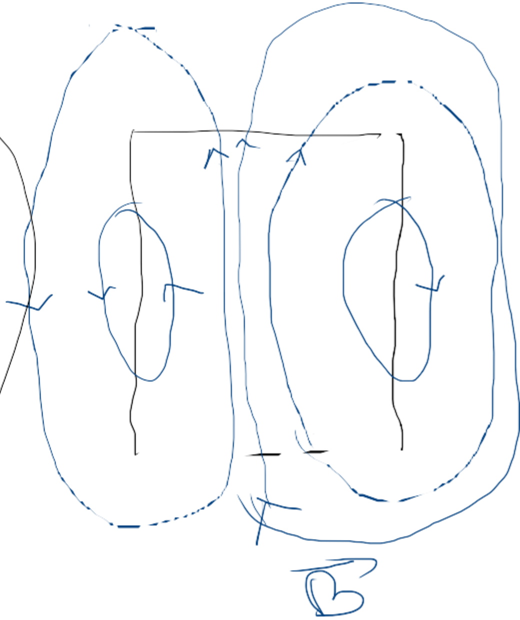
ЛИНИЈЕ ВЕКТОРА ЈАЧИНЕ МАГ. ПОЉА



магнет – шипка







$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M})$$

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$

у μ_0: $\vec{M} = 0$ $\quad \vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{H}$

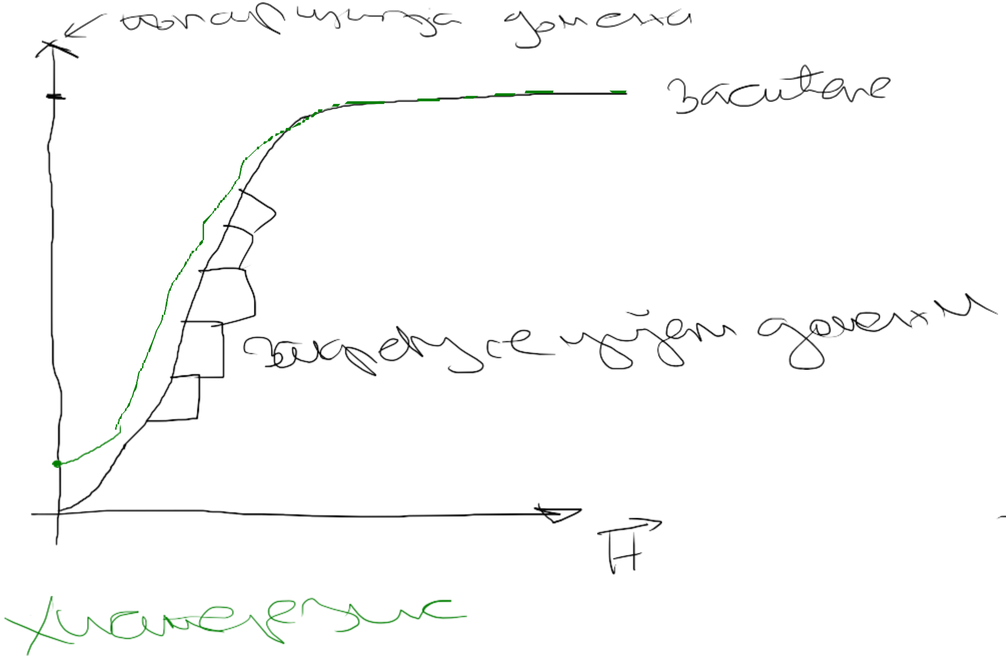
$$B = \mu_0 H$$

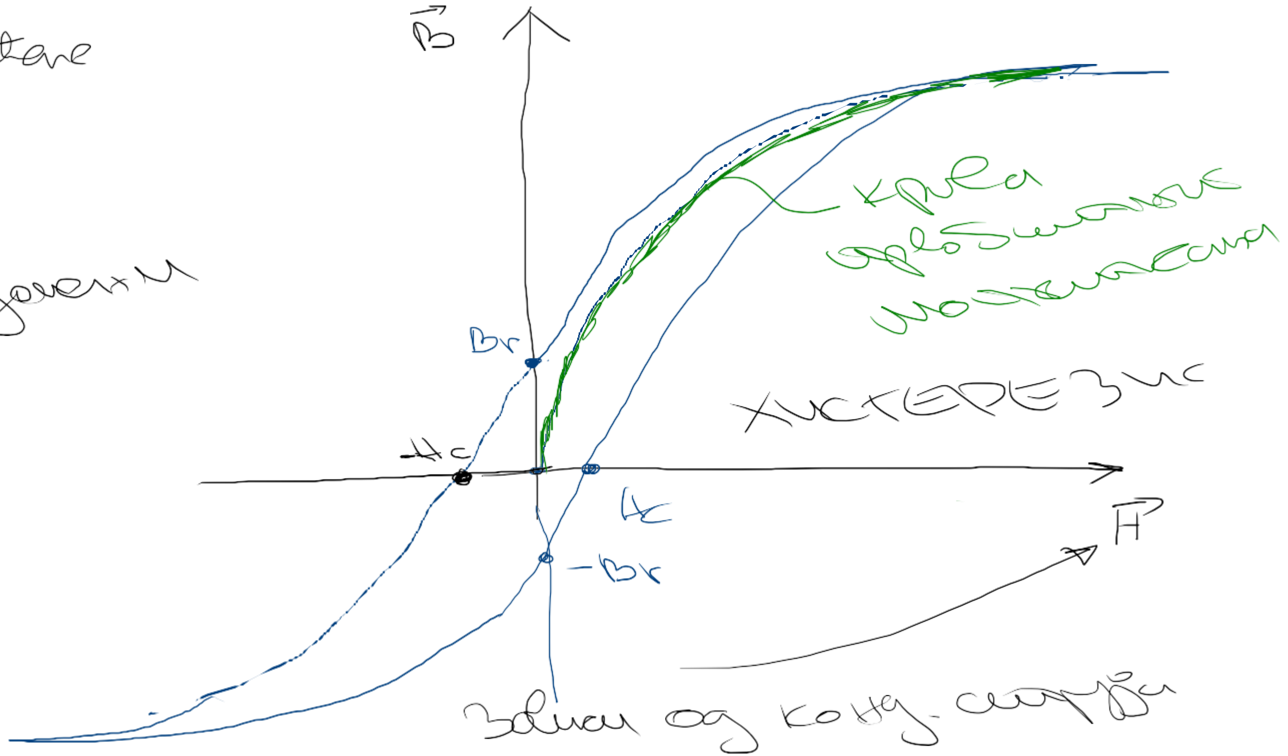
$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$$

$\oint \vec{H} d\vec{l} = 0$ ако је $\sum_c I = 0$

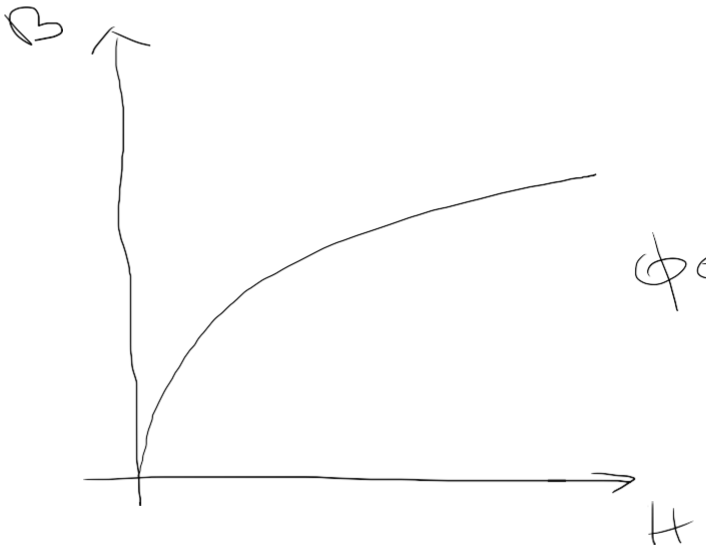
$B < \mu_0 M$

КРИВЕ МАГНЕТИСАЊА ФЕРОМАГНЕТСКИХ МАТЕРИЈАЛА

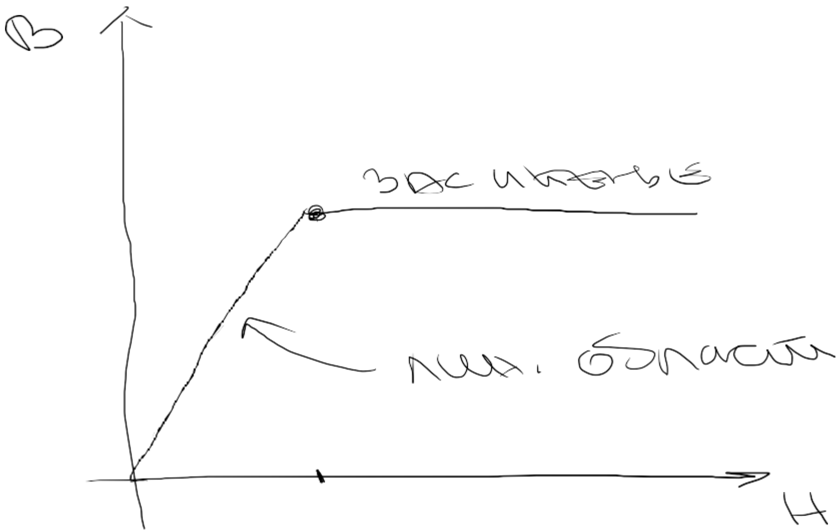




ВА – сарак



ферomаг.



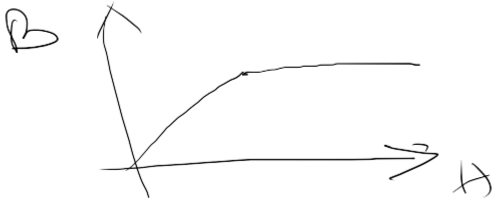
уочуваме општо за феромаг. немамо $\mu_r = const.$

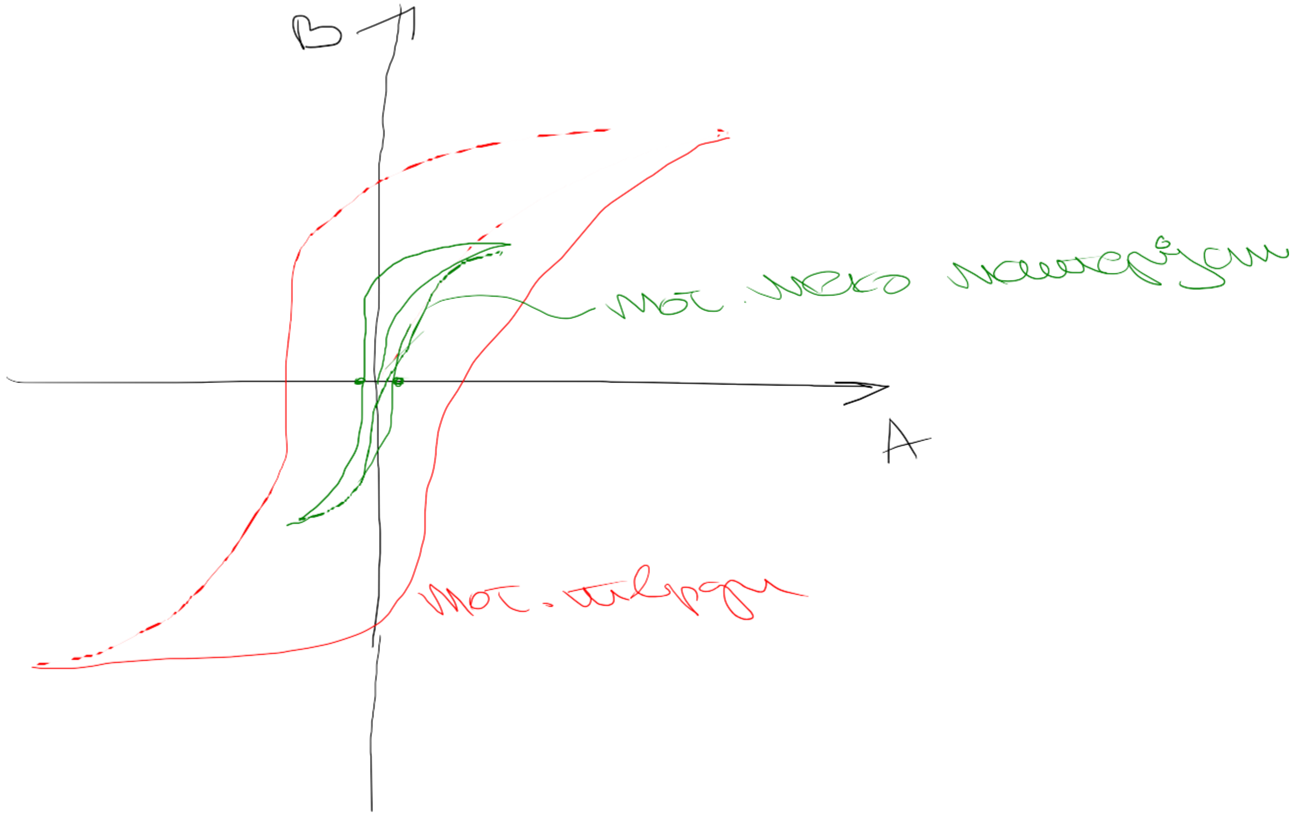
BH - карак. се може дадени и

- аналитички: $B = \dfrac{2 \cdot H}{100 + H}$

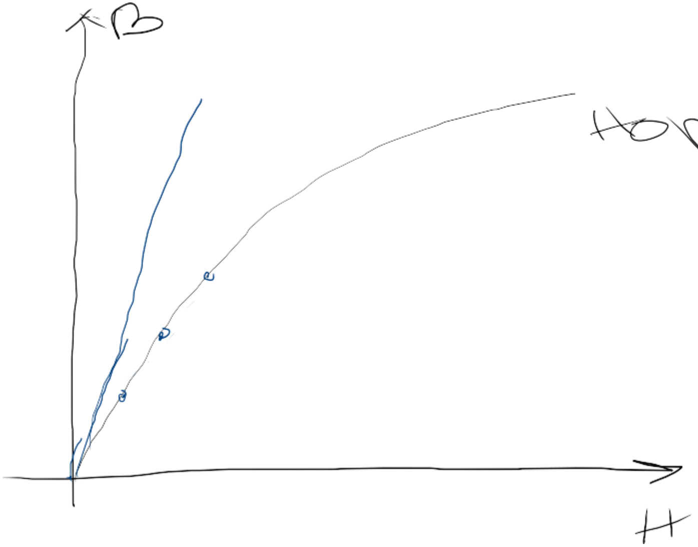
- табеларно

B [T]	0	0,2	0,23	0,25
H [A/m]	0	100	200	9000




B
A
мат. тврди

Дефиниције пермеабилности маг. материјала



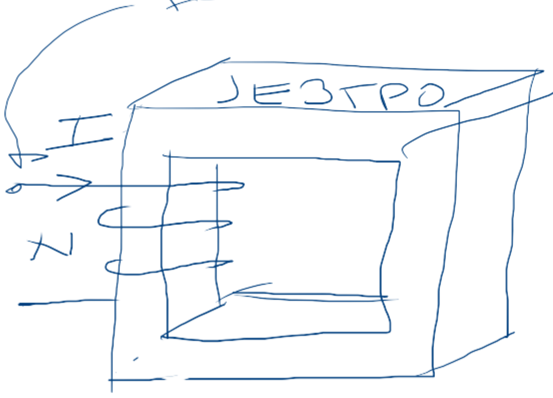
Нормална крива маг.

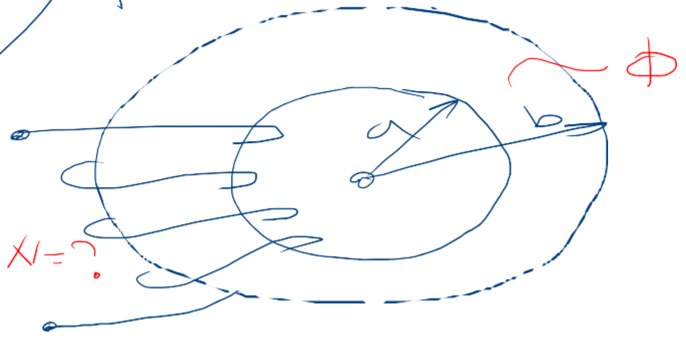
$\mu_{poč}$ – почетна пермеабилност

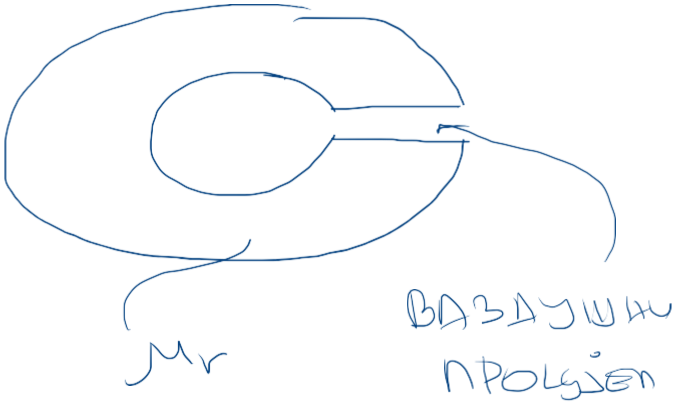
$$\mu_n = \frac{B}{H}$$

МАГНЕТСКА КОЛА

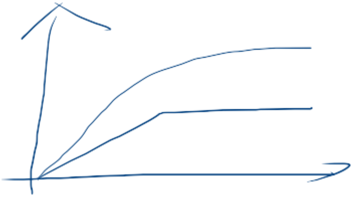
1.
2.







B H карак. материјала од кога је језгро начињено



$$\frac{B}{H}$$

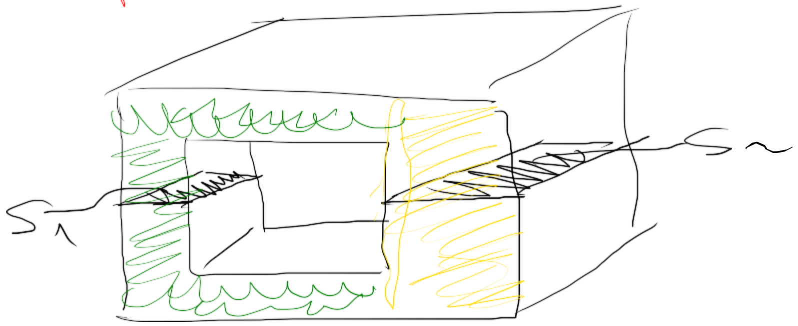
$$B(H) =$$

$$\oint_S \vec{B}\,d\vec{S} = 0$$

$$\oint_C \vec{H}\,d\vec{l} = \sum_C I$$

BH карак.

1. Занемарујемо маг. расипање: маг. флукс је исти кроз сваки попречни пресек ако нема гранања.
2. Сматрамо да је маг. коло танко и да је маг. поље хомогено по попречном пресеку маг. кола
3. $\vec{B}$ и $\vec{H}$ су нормални на површ попречног пресека
4. Гране

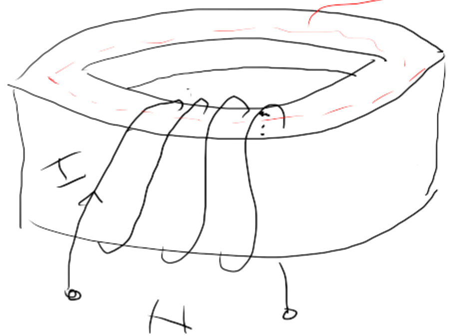


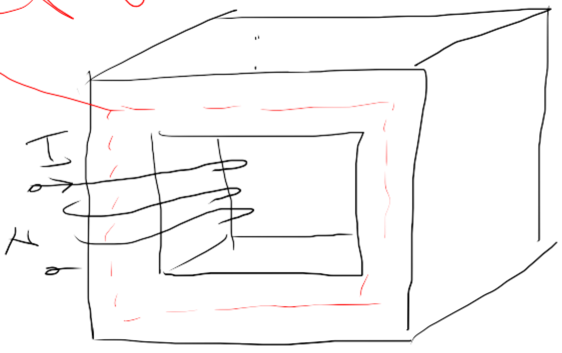
M_{r1} — грана 1

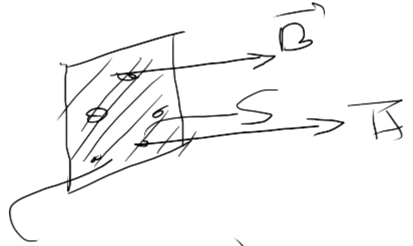
M_{r2} — грана 2

Проста маг. кола

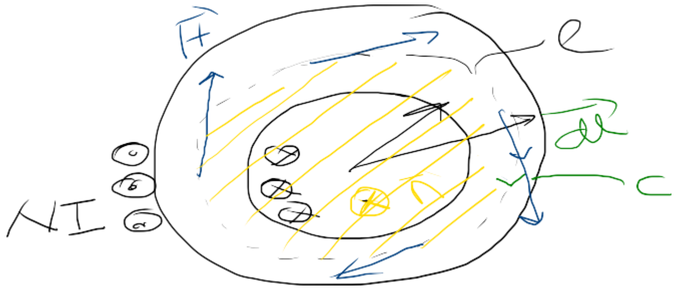
Пример: μ_r







B = const.
H = const.



$$\oint_C \vec H\, d\vec l = \sum_C I$$

$$\oint_C H\, dl \cos\angle(\vec H, d\vec l) = \pm NI$$

$$H \oint_C dl = H \cdot l = NI$$

$$H = \frac{NI}{l}$$

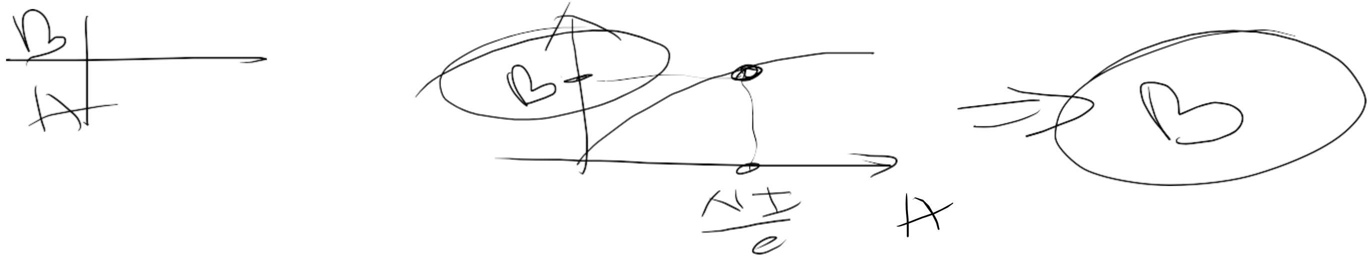
Али мат. $B = \mu_0 \mu_r H$

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r N I}{l}$$

- ако је материјал језгра нелинеаран, онда не може

$$B = \mu_0 \mu_r \cdot H$$

Исто израчунамо $H = \frac{NI}{l}$ => убацамо у B H



$$B = \frac{B H}{H + K}$$

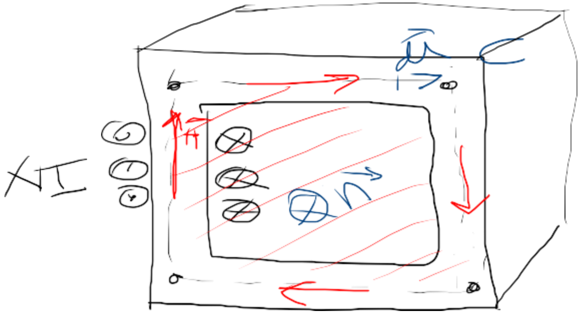
$\frac{NI}{l}$

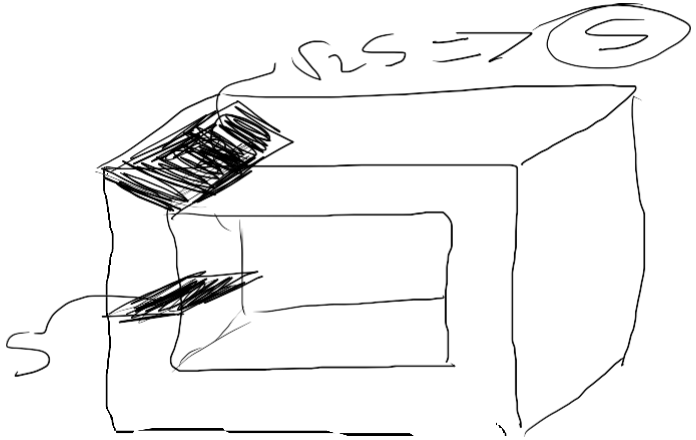
$$\Phi = \int_{S_{језгра}} \vec{B}\, d\vec{S} = \vec{B} \cdot \vec{S}_{pp} = B \cdot S_{pp}$$

$\angle(\vec{B}, \vec{S}_{pp}) = 0$

увијек

$$\Phi = \frac{\mu_0 \mu_r N I S}{l}$$





правимо апрокси-мации

$$\oint_C \vec{H}\, d\vec{l} = \sum_C I$$

$$H \cdot l = NI$$

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r N I}{l}$$

$$\phi = B \cdot S$$

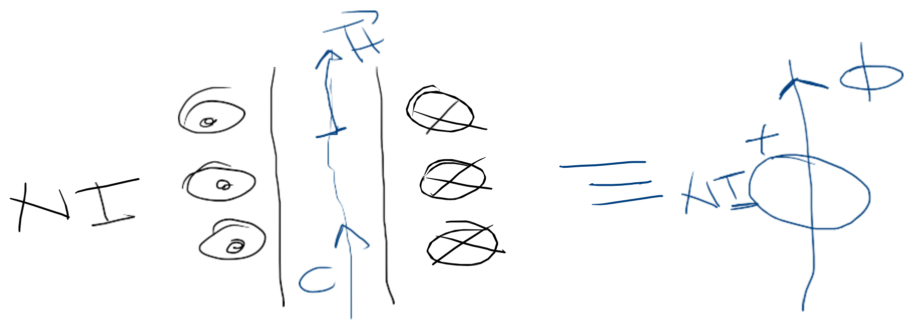
$$\phi = \frac{\mu_0 \mu_r N I S}{l}$$

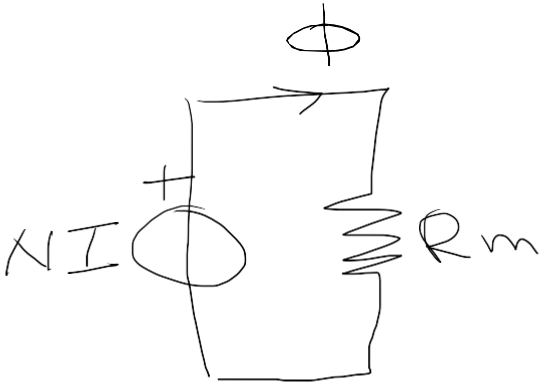
$$\Phi = \frac{\mu N I S}{l} = \frac{NI}{R_m}$$

$$R_m = \frac{l}{\mu S}$$ магнетска отпорност (РЕЛУКТАНСА)

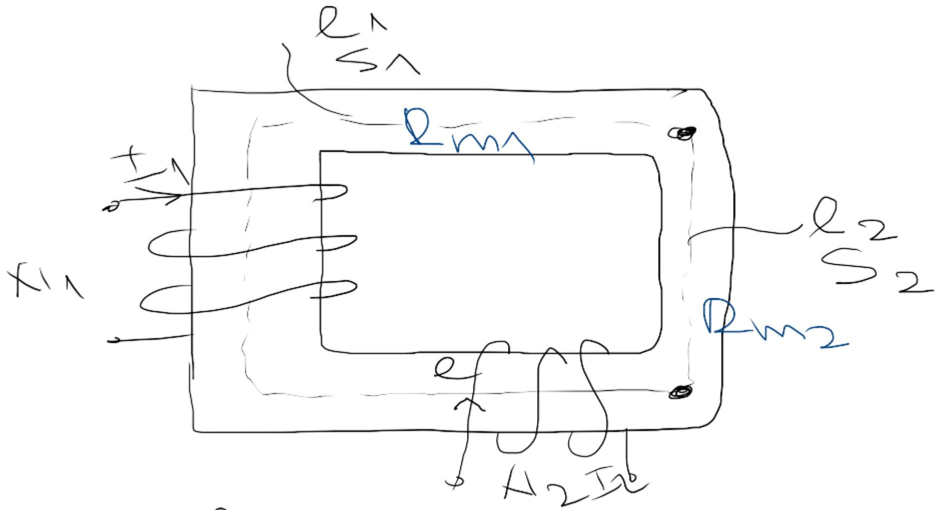
$$U_m = \int_l \vec{H}\,d\vec{l}$$ магнетски напон

$$U_m = NI$$





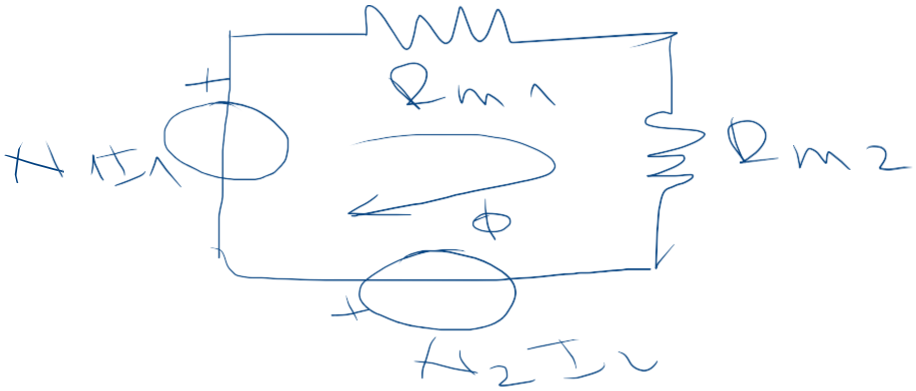
$$\Phi = \frac{NI}{R_m}$$



$$l_1 + l_2 = l$$

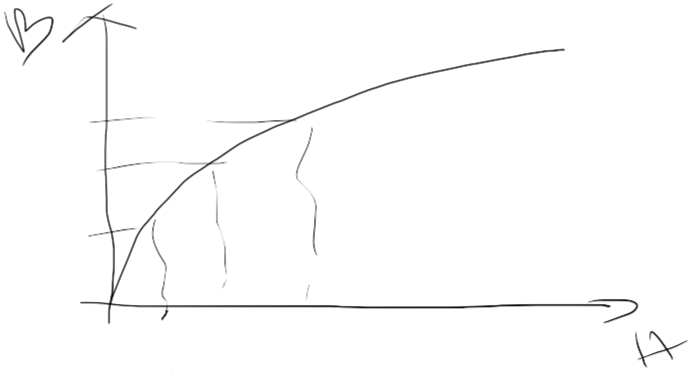
$$R_{m1} = \frac{l_1}{\mu S_1}$$

$$R_{m2} = \frac{l_2}{\mu S_2}$$



$$\phi = \frac{N_1 I_1 + N_2 I_2}{\frac{l_1}{\mu S_1} + \frac{l_2}{\mu S_2}}$$

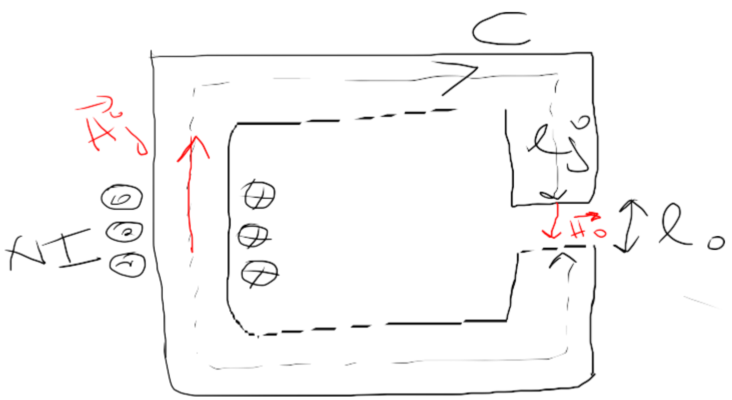
1° $\mu = \mu_0 \mu_r$ лин. материјали

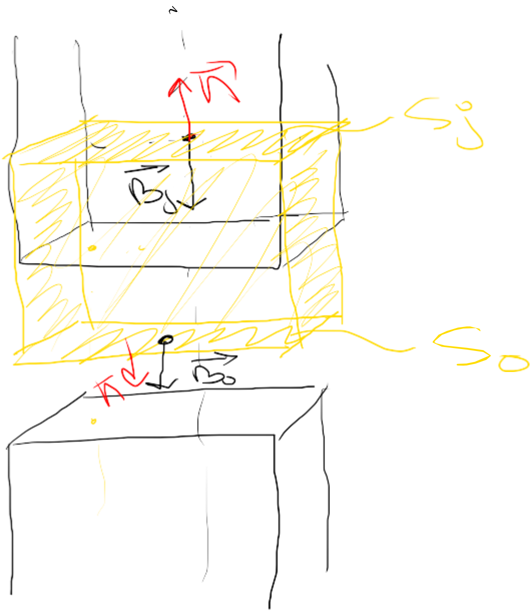
2° 

нелин. мат.

R_m нелинеарна маг. отпорност

Проста маг. кола са ваздушним процепом





$$\oint_S \vec{B}\,d\vec{S} = 0$$

$$S_0 = S_j$$

$$-B_j \cdot S_j + B_0 S_0 = 0$$

$$S_0 = S_j$$

$$B_0 = B_j$$

$$\oint_C \vec{H}\,d\vec{l} = \sum_C I$$

$$H_j \cdot l_j + H_0 l_0 = NI$$

$$H_j \cdot l_j + \frac{B_0}{\mu_0} l_0 = NI$$

језгро — нел. материјал : $B_j = \mu_j \cdot H_j$

$$\frac{B_j}{\mu_j} l_j + \frac{B_o}{\mu_o} l_o = NI$$

$$B_j = B_o$$

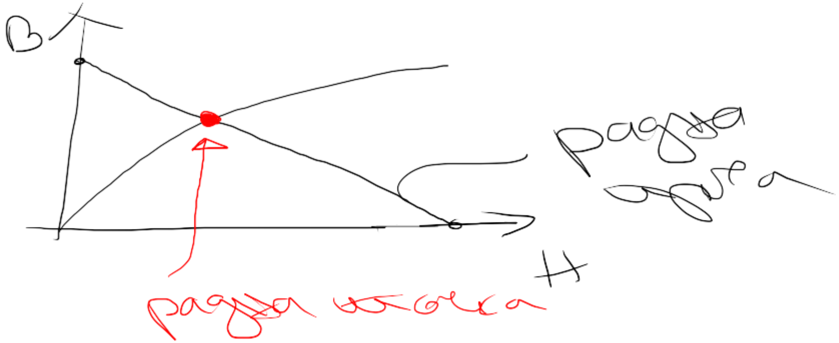
$$B_j \left(\frac{l_j}{\mu_j} + \frac{l_o}{\mu_o} \right) = NI \Rightarrow B_j = B_o = B$$

$$B = \frac{NI}{\frac{l_j}{\mu_j} + \frac{l_o}{\mu_o}} \Rightarrow H_j = \frac{B}{\mu_j}$$

$$H_o = \frac{B}{\mu_o}$$

$$\boxed{\Phi = B \cdot S}$$

језгро – нелин. материјал



$$H_j \cdot l_j + \frac{B_0}{\mu_0} l_0 = NI$$

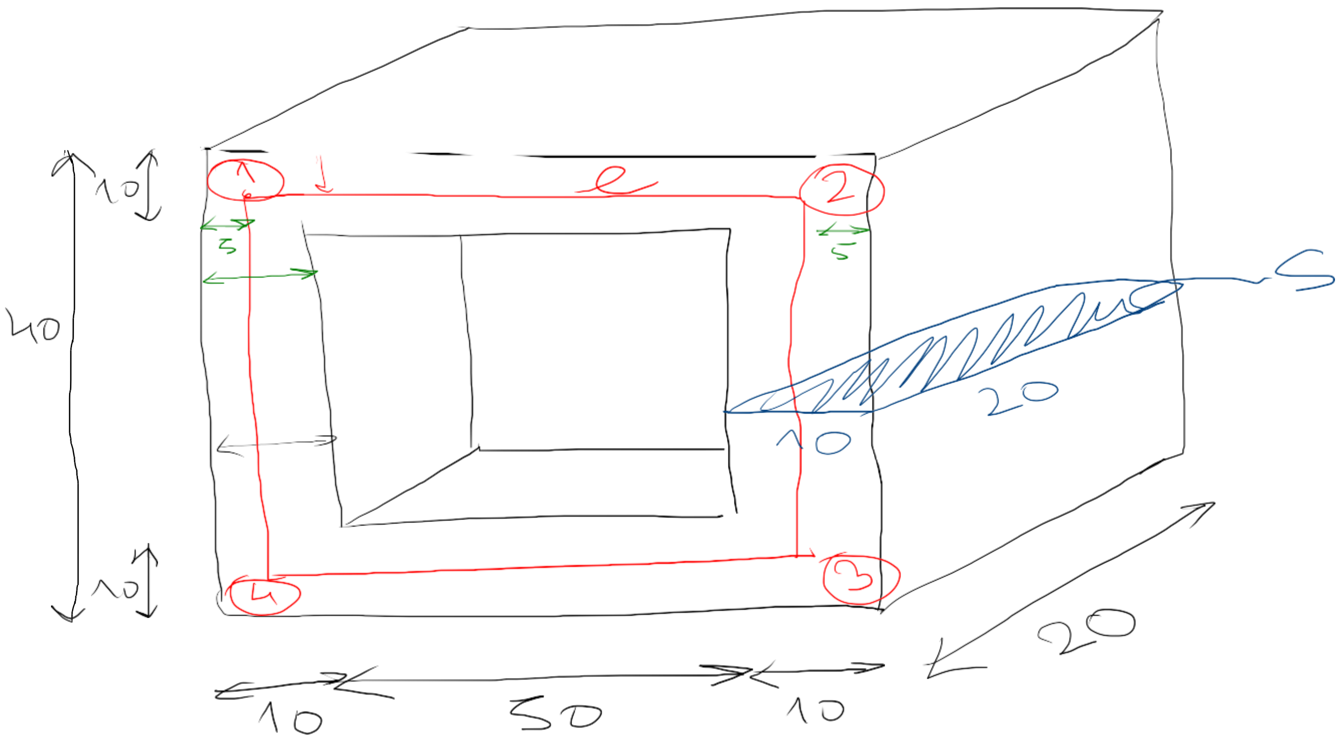
радна права маг. кола

одредимо радну праву: $H_j = 0 \Rightarrow B_0 = B_j = \dfrac{NI\mu_0}{l_0}$

$B_0 = B_j = 0 \Rightarrow H_j = \dfrac{NI}{l_j}$

радна тачка (H_j, B_j)

* de ymm



$$l = \overline{12} + \overline{23} + \overline{34} + \overline{41}$$

$$\overline{12} = 5 + 50 + 5$$

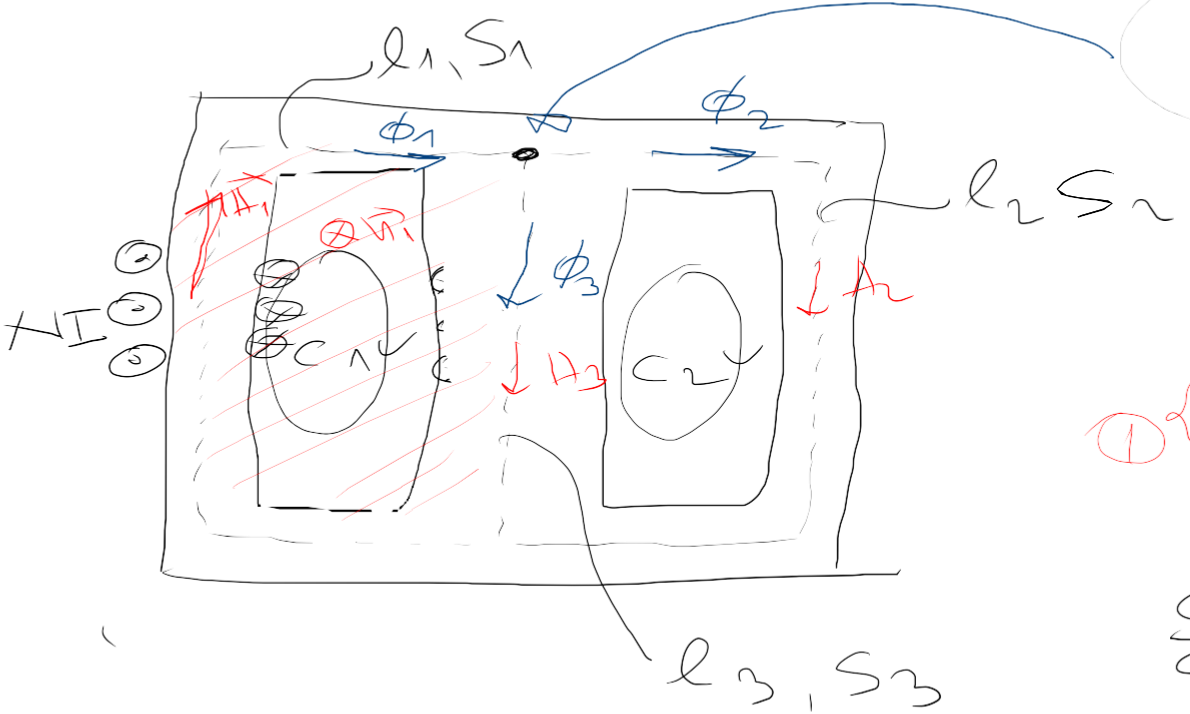
$$\overline{23} = 40 - 5 - 5$$

$$\overline{34} = \overline{12}$$

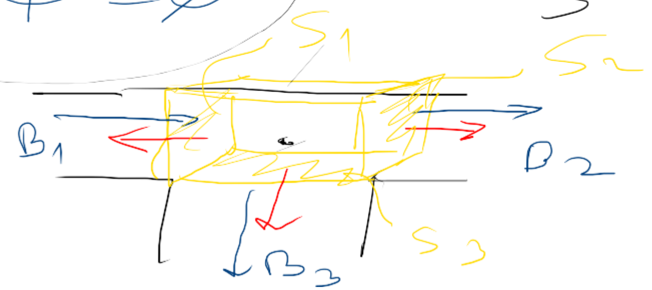
$$\overline{41} = \overline{23}$$

$$S = 10\,mm \cdot 20\,mm$$
$$= 200 \cdot 10^{-6}\ m^2$$

СЛОЖЕНА МАГ. КОЛА



$$\sum_C \Phi = 0 \Leftarrow \oint_S \vec{B}\,d\vec{S} = 0$$



(1) $\begin{cases} -B_1S_1 + B_2S_2 + B_3S_3 = 0 \\ -\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = 0 \end{cases}$

$$\oint_C \vec{H}\,d\vec{l} = \sum_C I \Rightarrow$$ за двата контура

$$\left.\begin{aligned} C_1:&\ H_1 l_1 + H_3 l_3 = NI \\ C_2:&\ H_2 l_2 - H_3 l_3 = 0 \end{aligned}\right\} (2)$$

μ

$B_1 \Leftrightarrow H_1$

$B_2 \Leftrightarrow H_2$

$B_3 \Leftrightarrow H_3$

$$-B_1 S_1 + B_2 S_2 + B_3 S_3 = 0$$

$$\frac{B_1}{\mu} l_1 + \frac{B_3}{\mu} l_3 = NI$$

$$\frac{B_2}{\mu} l_2 - \frac{B_3}{\mu} l_3 = 0$$

3x3

B_1, B_2 и B_3

$\Rightarrow$ Фnyxade