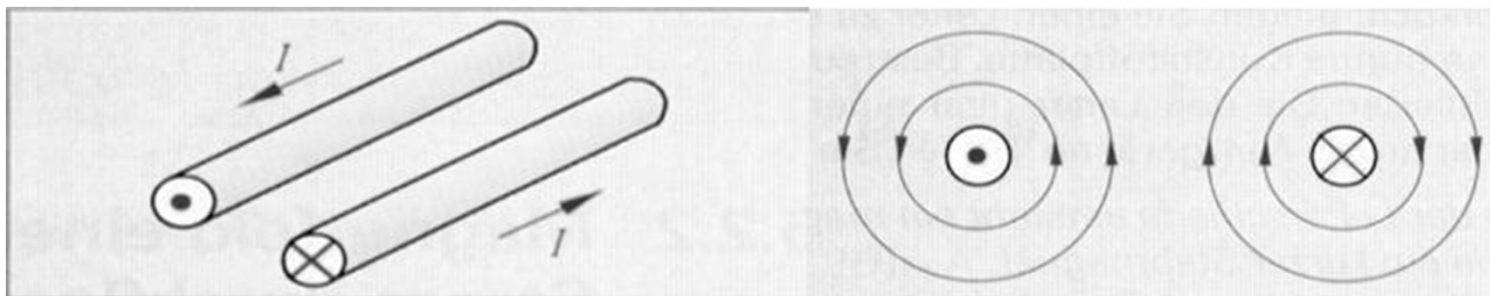


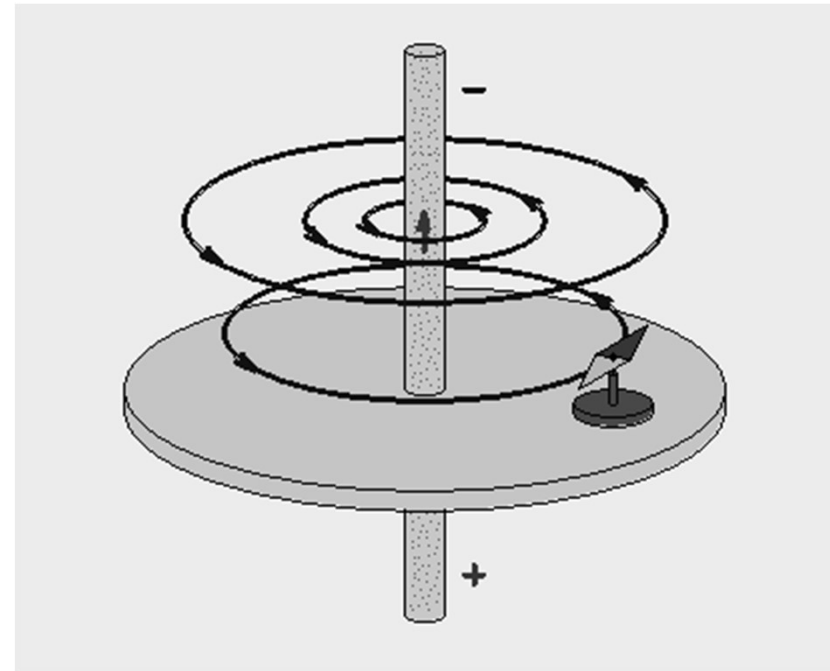
# ELEKTROMAGNETIZAM

## OSNOVNE POJAVE MAGNETIZMA

- Jedan od osnovnih učinaka električne struje je stvaranje magnetskog polja u okolišu vodiča i u samome vodiču kroz koji prolazi struja.
- Magnetsko polje kao i električno nastaje kao posljedica električnih naboja. Kod elektrostatike, električno polje stvaraju naboji u mirovanju, a kod gibanja naboja stvara se magnetsko polje.



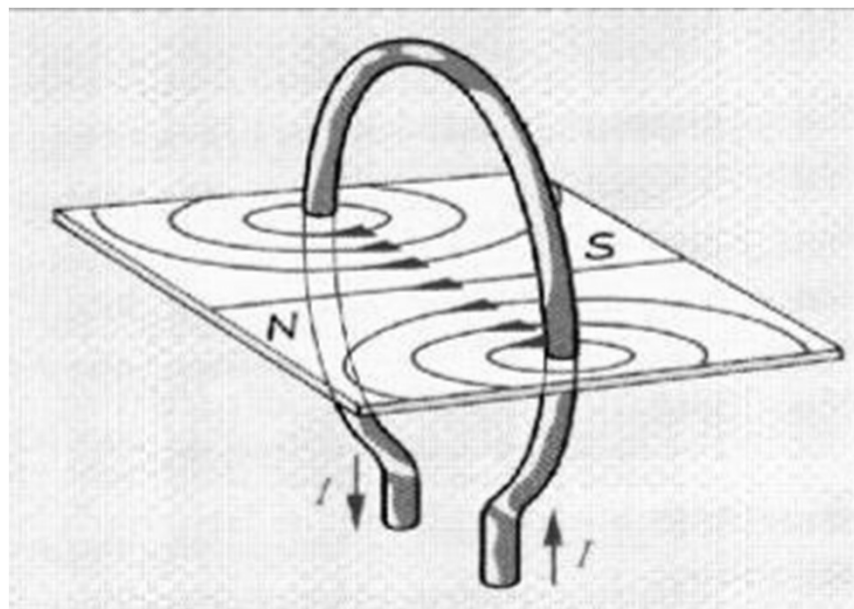
- Smjer djelovanja magnetskog polja oko vodiča je kružnog oblika a određuje se pravilom desne ruke za ravni vodič:



Desnu ruku postavimo tako da nam ispruženi palac pokazuje smjer struje u vodiču, a savijeni prsti će tada pokazivati smjer magnetskog polja.

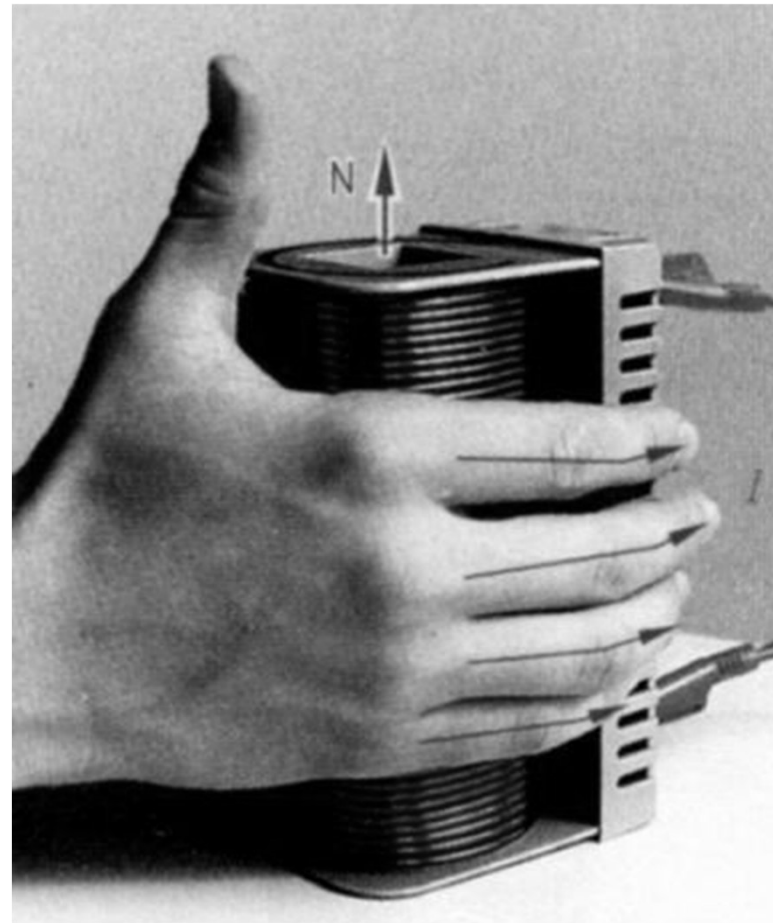
- Magnetske silnice su zamišljene crte kojima pokazujemo smjer magnetskog polja.
  - Silnice su u sebe zatvorene konture
  - Imaju svoj smjer povezan sa smjerom struje
  - Za jače polje crtaju se gušće silnice
  - Silnice se zatvaraju u sebe najkraćim mogućim putem linijom manjeg otpora.

- Kod strujne petlje sa jednim ili više zavoja snop silnica na jednoj strani ulazi (južni pol), a na drugoj strani izlazi (sjeverni pol).

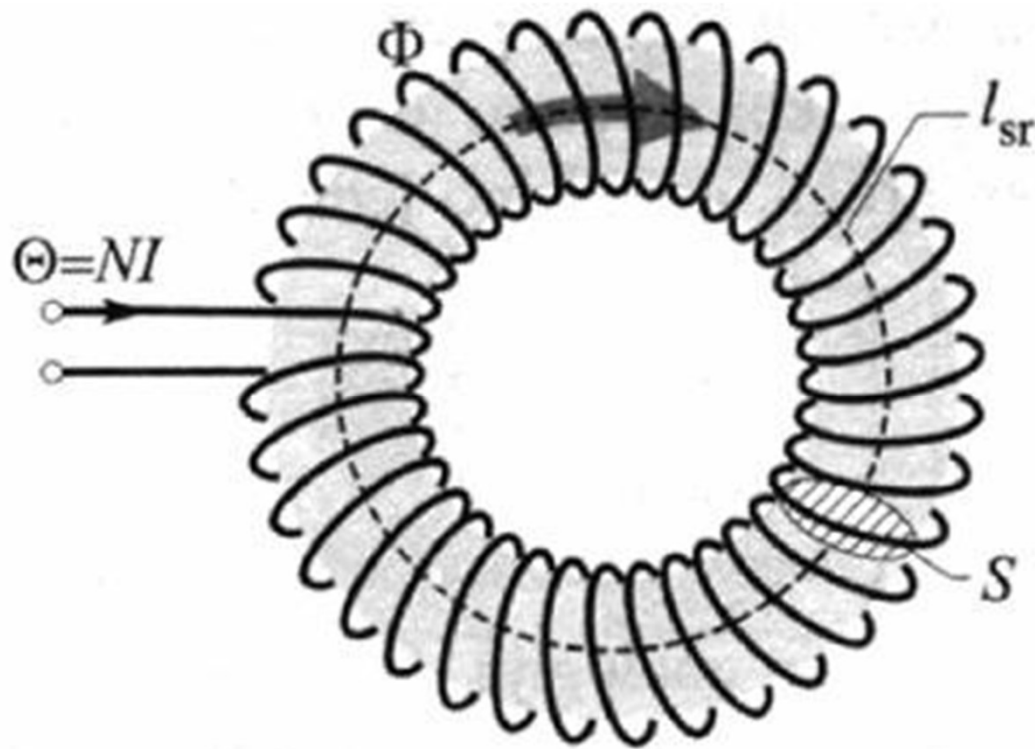


- Smjer magnetskog polja svitka određuje se pravilom desne ruke za svitak:

Obuhvatimo svitak desnom rukom tako da savijeni prsti pokazuju smjer struje kroz svitak, tada će nam ispruženi palac pokazivati smjer mag. polja (sjeverni pol)



# MAGNETSKO POLJE KRUŽNOG SVITKA



$\Theta$  ..protok ili magnetomotorna sila (A)

$\Phi$ .. Magnetski tok (Wb ili Vs)

$S$ ..poprečni presjek mag. kruga ( $m^2$ )

$l_{sr}$  .. srednja duljina magnetskog kruga (m)

# OSNOVNE VELIČINE I JEDINICE U MAGNETSKOM POLJU

1. Magnetska uzbuda (protok), struja magnetski uzbuđuje prostor i u njemu stvara magnetsku uzbudu ( $\Theta$ ).

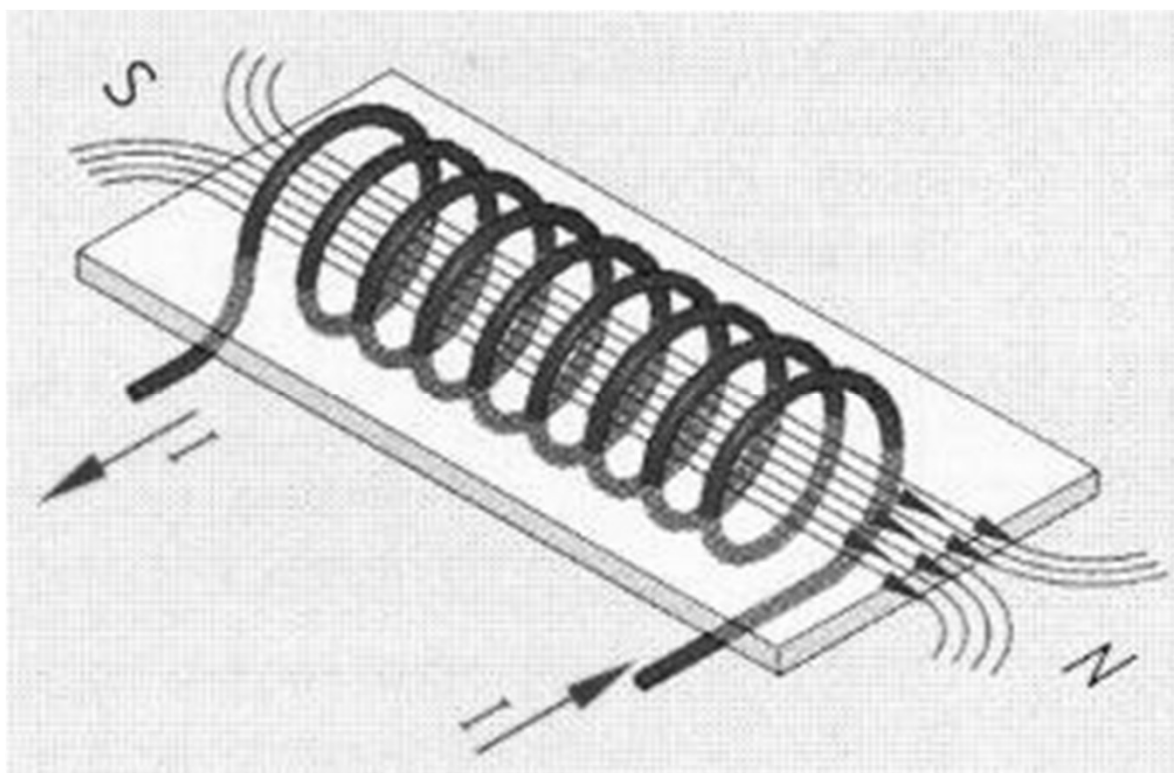
Magnetska uzbuda je to veća što je jača struja ( $I$ ) i što je veći broj zavoja svitka.

$$\Theta = I \times N$$

$I$ ...struja kroz svitak (A)  
 $N$ ...broj zavoja svitka



Umnožak  $I$  i  $N$  zove se magnetomotorna  
sila jer je to izvor magnetske sile.



# MAGNETSKI TOK I NJEGOVA GUSTOĆA

- To je ukupan broj magnetskih silnica polja nekog svitka (ili trajnog magneta).
- Označava se sa “ $\Phi$ ”. Osnovna mu je jedinica V (volt sekunda) ili Wb (veber).
- Ako takav tok prolazi kroz neku površinu, onda kažemo da ima neku svoju gustoću.
- Gustoća magnetskog toka je to veća, što je veći magnetski tok “ $\Phi$ ”, površina “S” kroz koju on prolazi, manja. Ta se veličina zove gustoća magnetskog toka ili magnetska indukcija “B”.

$$B = \frac{\Phi}{S} \left[ \frac{Vs}{m^2} = T \right]$$

# Wilhelm Eduard Weber

- Rođen u Wittenbergu 24. listopada 1804. – Göttingen 23. lipnja 1891.
- Profesor fizike na sveučilištu u Göttingenu, istraživao magnetizam i akustiku.



# JAKOST MAGNETSKOG POLJA

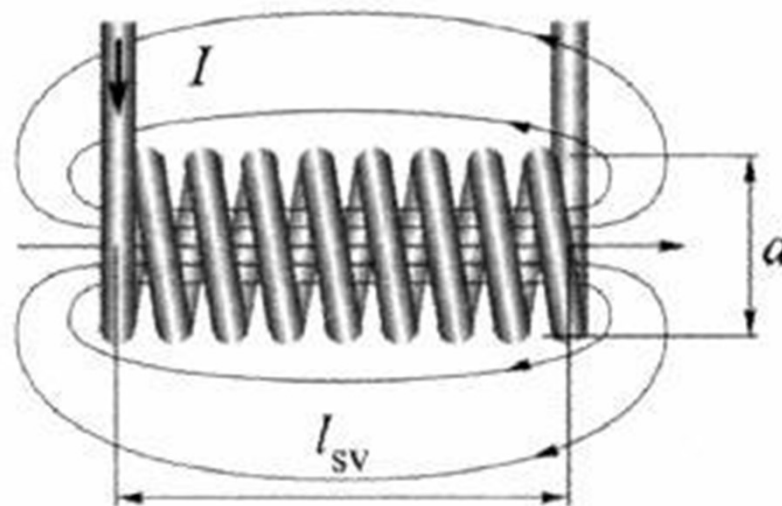
- Jakost magnetskog polja “H” je to veća magnetska uzbuda “ $\Theta$ ”, i što je srednji put silnica “ $l_{sr}$ ” kraći.

$$H = \frac{\Theta}{l_{sr}} = \frac{I \times N}{l_{sr}} \left[ \frac{A}{m} \right]$$

- Pri računanju jakosti magnetskog polja “H”, uvijek je potrebno precizno odrediti duljinu središnje silnice “ $l_{sr}$ ”

- Kod ravnog vodiča, jakost homogenog polja u svitku određujemo obrascem i prema slici:

$$H = \frac{I \times N}{l_{sv}} \left[ \frac{A}{m} \right]$$



# PERMEABILNOST (MAGNETSKA POPUSTLJIVOST)

- To je sposobnost materijala da ima veliku gustoću magnetskog toka “B” uz što manju jakost magnetskog polja “H”.

$$\mu = \frac{B}{H} \left[ \frac{\frac{Vs}{m^2}}{\frac{A}{m}} \right] = \left[ \frac{Vs}{Am} \right]$$

- Permeabilnost zrakopraznog prostora (konstanta) iznosi :

$$\mu_0 = 1,2566 \times 10^{-6} \left[ \frac{Vs}{Am} \right]$$

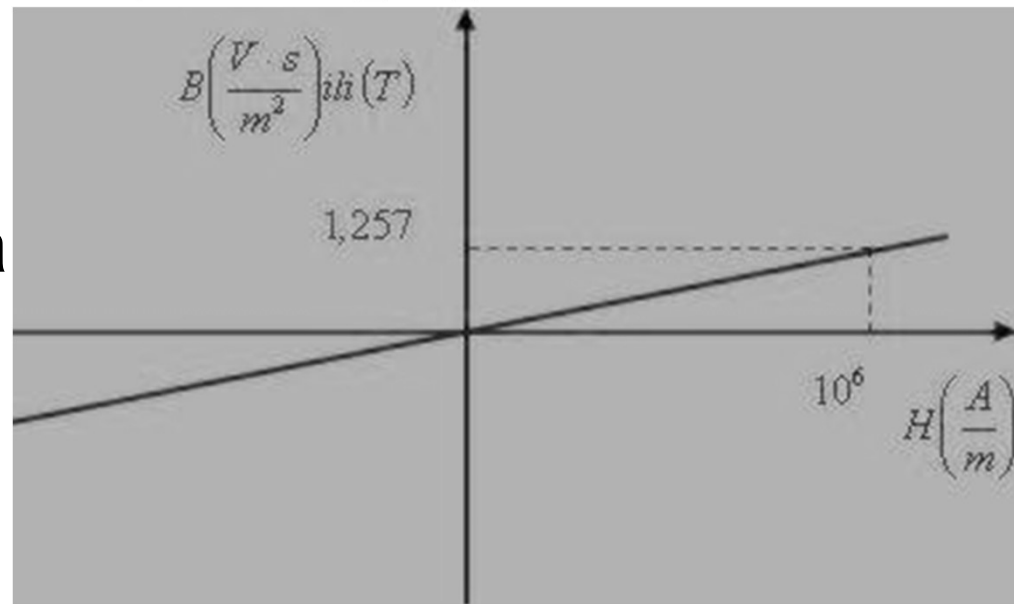
- Ukupna permeabilnost neke tvari “ $\mu$ ” je umnožak permeabilnosti vakuuma “ $\mu_0$ ” i relativne permeabilnosti te tvari:

$$\mu = \mu_0 \times \mu_r \left[ \frac{Vs}{Am} \right]$$

- Za vakuum  $\mu_r=1$ , te je  $\mu = \mu_r$
- Tako se može izračunati gustoća magnetskog toka  $B_0$  u zraku, ako imamo jakost magnetskog polja  $H_0$ :

$$B_0 = \mu_0 \times H [T]$$

BH karakteristika zračnog svitka (prolazi kroz ishodište).



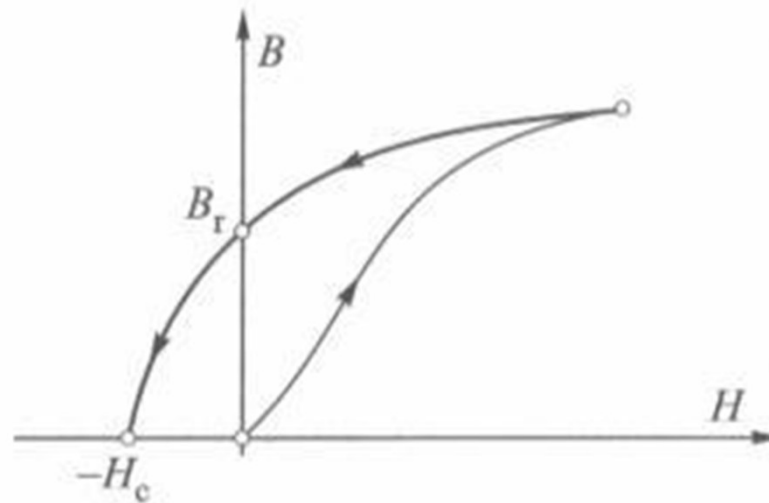


- Vidimo da u zraku gustoća magnetskog toka “B” raste linearno s porasti jakosti magnetskog polja “H”, te je uvijek omjer gustoće magnetskog toka i jakosti polja, isti broj, a to je magnetska konstanta “ $\mu_0$ ”.

$$\mu_0 = \frac{B_0}{H_0} \left[ \frac{Vs}{Am} \right]$$

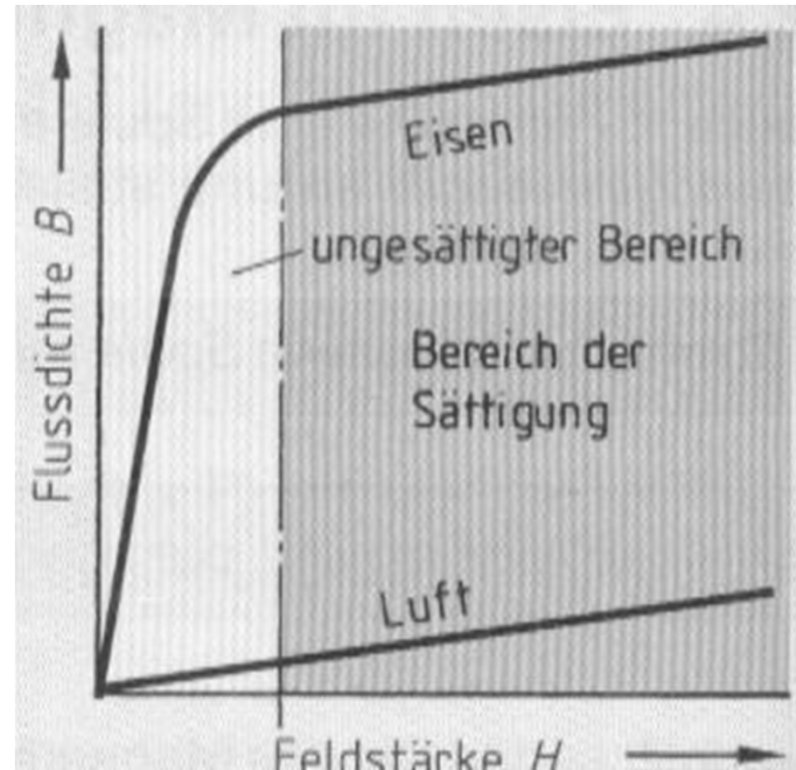
# BH KARAKTERISTIKA

- To je graf za neki materijal koji pokazuje kako se mijenja gustoća magnetskog toka "B", sa porastom jakosti magnetskog polja "H", kojemu je taj materijal izložen.

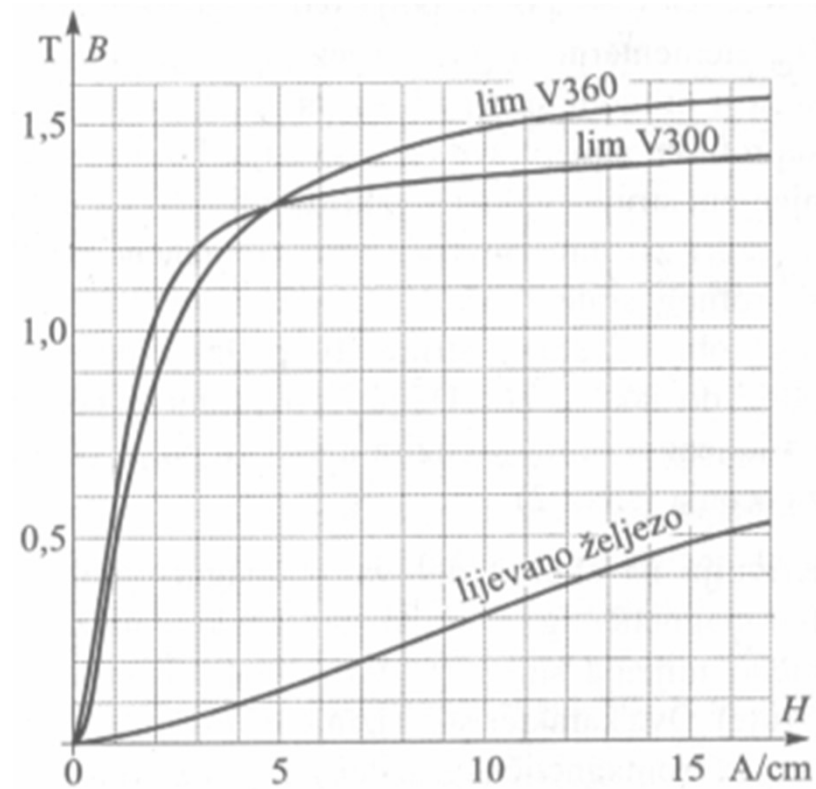


*Magnetiziranje i  
razmagnetiziranje  
željezne jezgre*

- Kod magnetiziranja željeza, karakteristika je nelinearna, i ona ima područja zasićenja u kome više nema smisla povećavati jakost magnetskog polja "H" jer su se svi elementarni magneti u željezu, usmjerili.

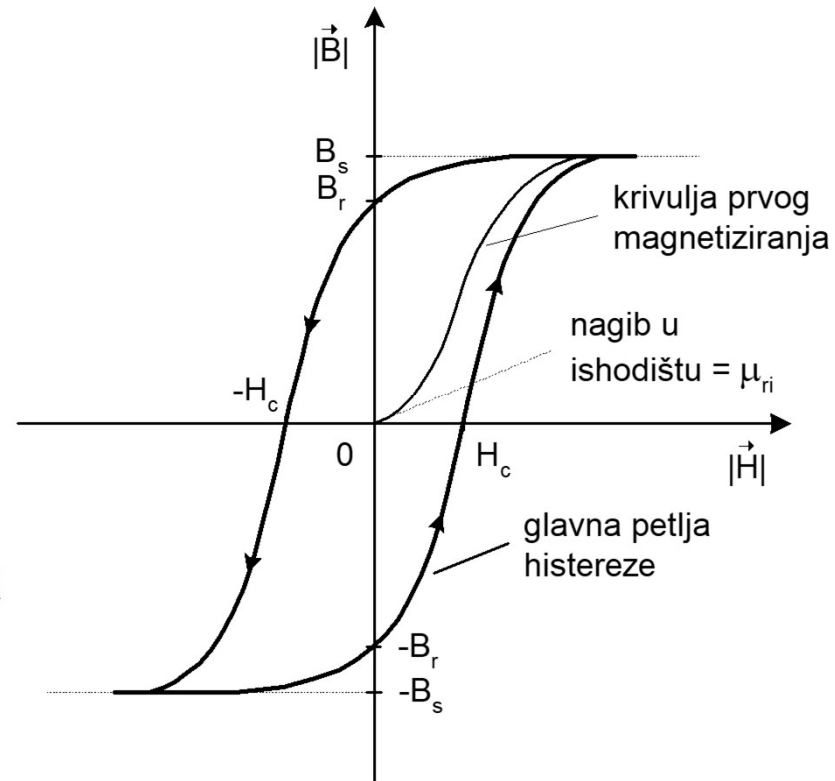


Primjer BH  
karakteristike za  
neke materijale:



# PETLJA HISTEREZE

- Kod feromagnetskog materijala, gustoća magnetskog toka raste s porastom magnetskog polja, ne linearno već prema krivulji magnetiziranja materijala.



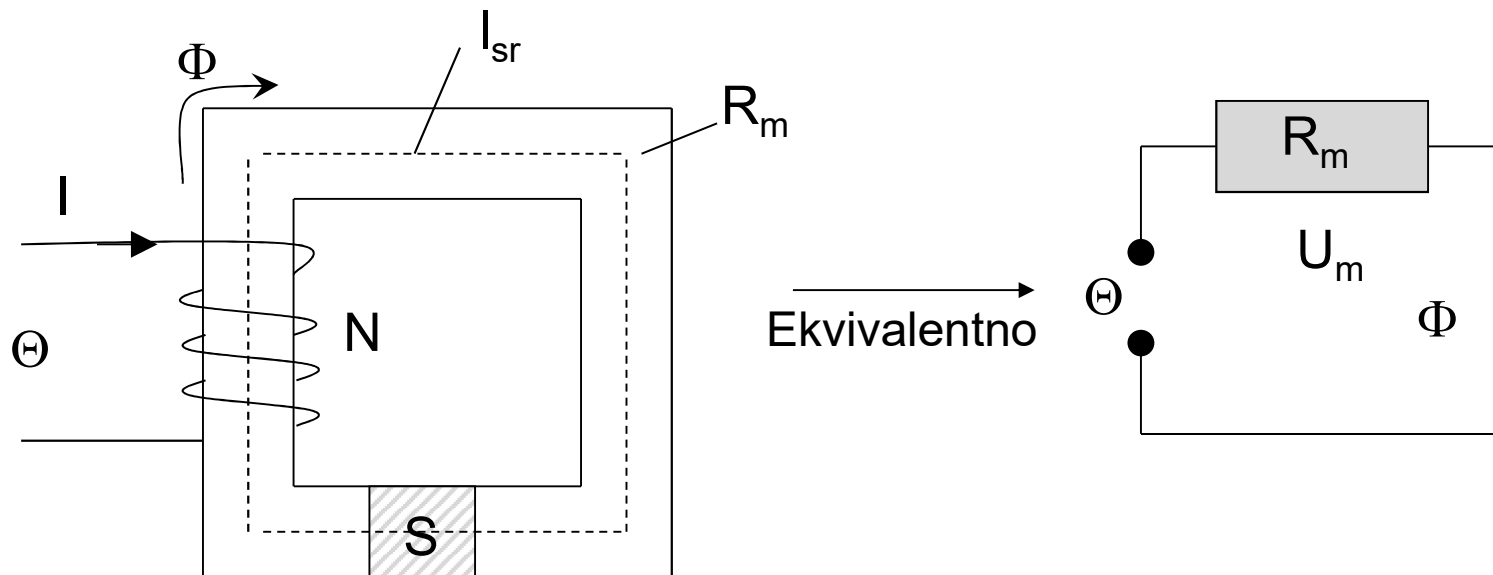
Razmagnetiziranje ne teče po toj krivulji već prema krivulji naziva “petlja histereze”

- Vidimo da kod željeza, smanjenjem polja “H” na nulu, (struja na nuli), ne pada indukcija “B” na nulu.
- To je zato što neki elementarni magneti i dalje ostaju magnetični (usmjereni).
- Ta pojava se naziva zaostali ili remanentni magnetizam.
- Remanentni magnetizam se poništava tek propuštanjem struje (a time i poljem) u suprotnom smjeru, a prema petlji histereze.
- Takvo polje je potrebno da se ukloni remanentni magnetizam i zove se koercitivno polje.

- Daljnjim povećanjem suprotnog polja raste indukcija u suprotnom smjeru, a ponovno promjenom smjera struje, proces teče prema petlji histereze.
- Krivulja histereze dobije se djelovanjem promjenjivog magnetskog polja pri toku izmjenične struje kroz svitak sa željeznom jezgrom.
- Takvim djelovanjem stvaraju se gubici u željezu koji se zovu “gubici uslijed histereze”

# MAGNETSKI KRUG

- To je zatvoreni put kroz koje prolaze silnice magnetiskog toka nekog magnetiskog polja.





Drugi kirchhoffov zakon za mag. krug

$$\Theta = U_m$$

$$U_m = H \times l$$

$$\Theta = I \times N$$

$$I \times N = H \times l$$

$$H = \frac{I \times N}{l}$$

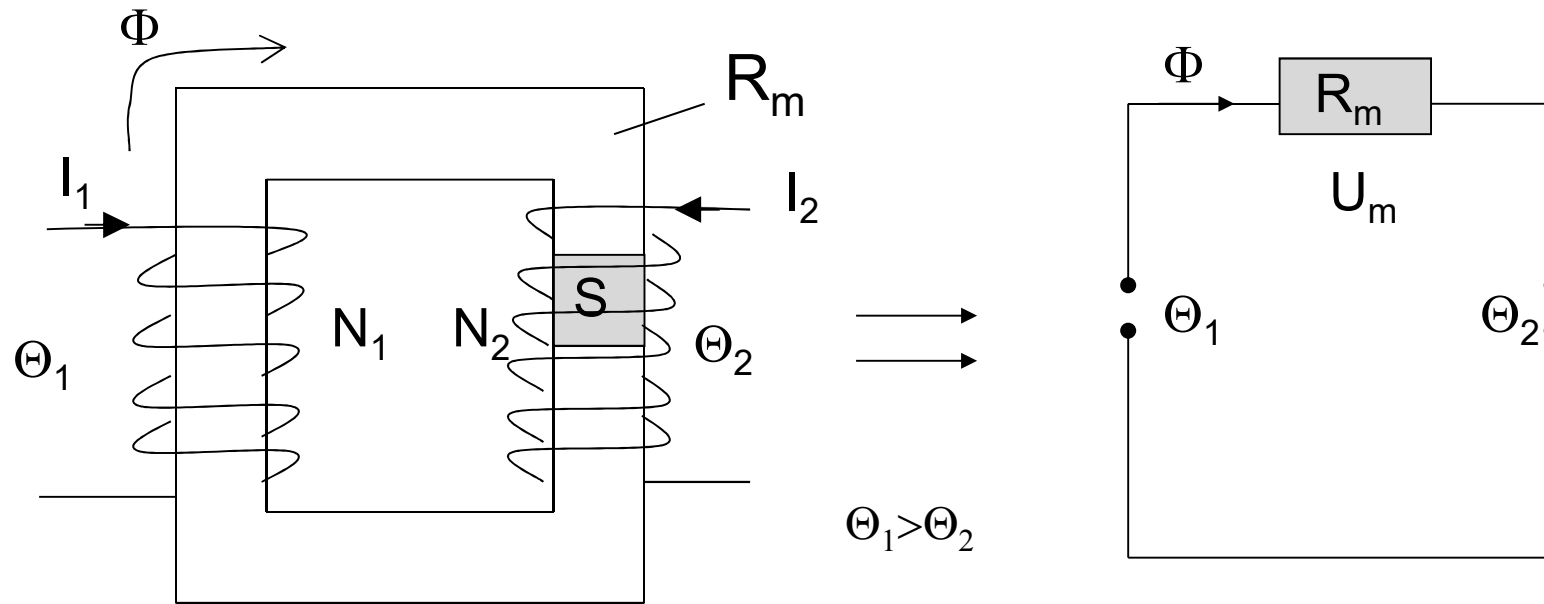
---

Elektrodinamika

$$R = \frac{l}{\chi \times S}$$

Elektromagnetizam

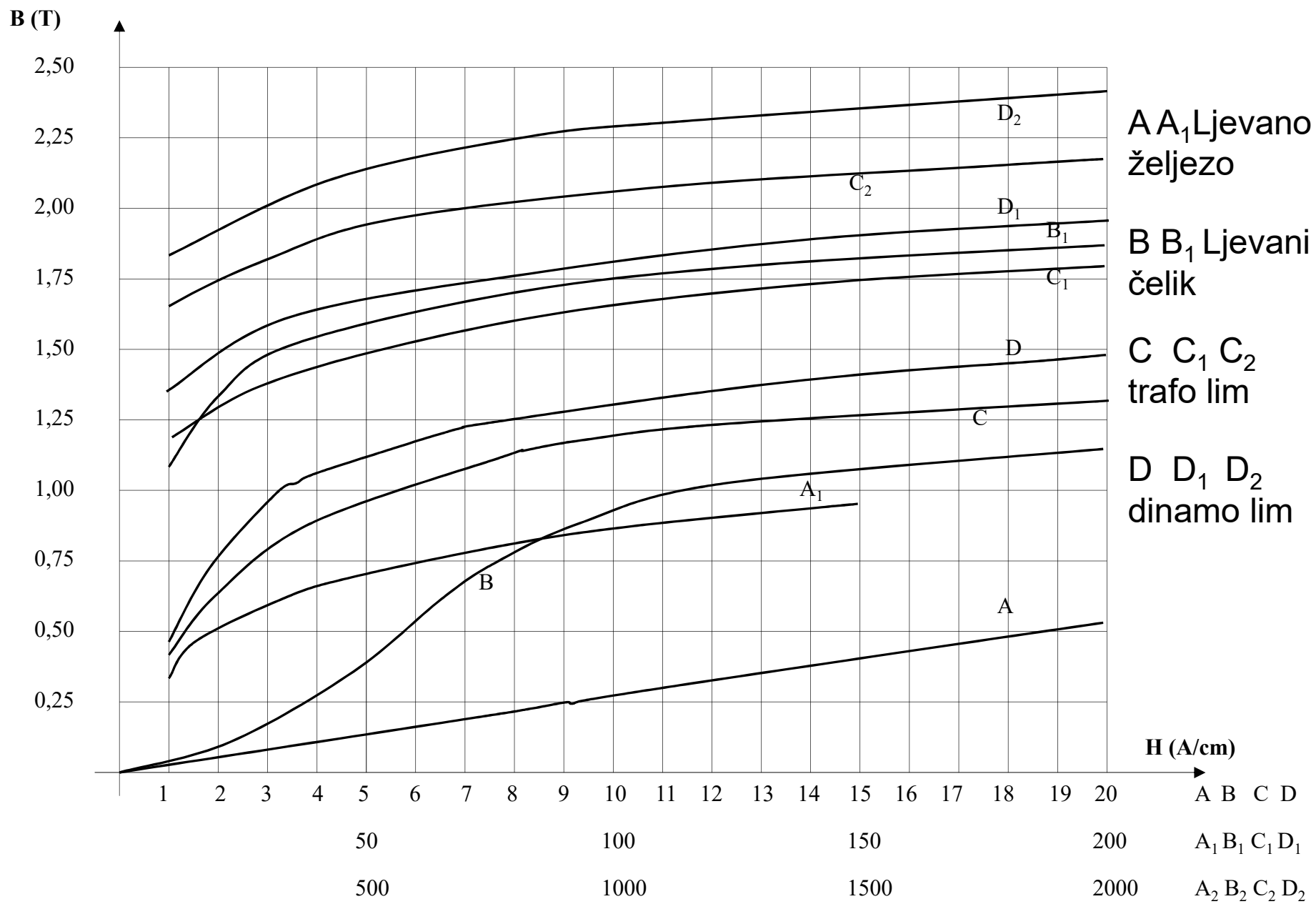
$$R_m = \frac{l}{\mu \times S}$$



## II Kirchhoffov zakon za mag. krug

$$\Theta_1 + \Theta_2 = U_m$$

$$I_1 \times N_1 + I_2 \times N_2 = H \times l$$



## Primjer: 1

Mag. tok  $\Phi=4 \times 10^{-6}(\text{Vs})$  proizvodi struja koja teče kroz svitak od  $N=1000$  zavoja, omotanih oko cijevi savinute u obliku prstena. Promjer cijevi je  $d_C=10$  (cm), a duljina osi cijevi  $l_C=1,2$  (m). Koliko je polje  $H$  i struja  $I$  koja proizvodi to polje?

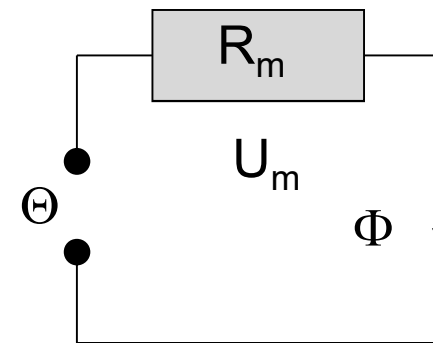
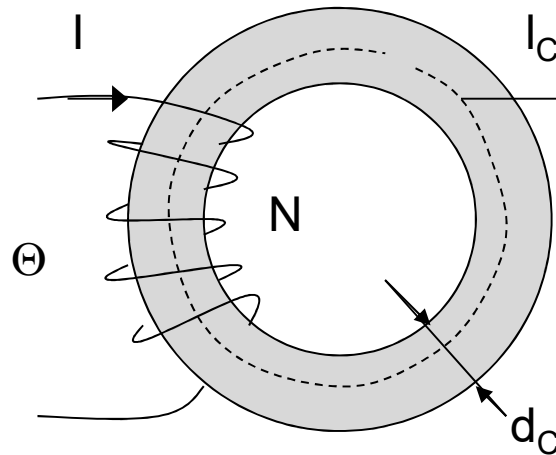
$$\Phi=4 \times 10^{-6}(\text{Vs})$$

$$N=1000$$

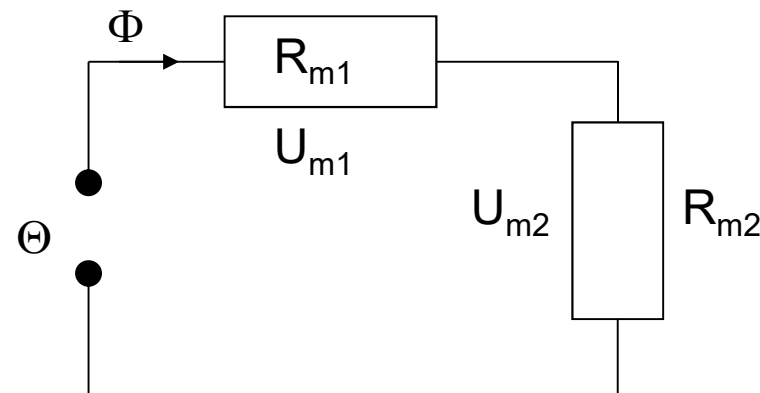
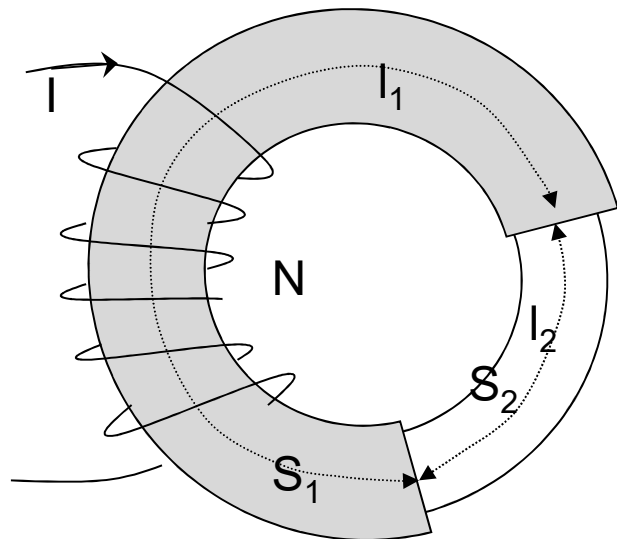
$$d_C=10 \text{ (cm)}$$

$$l_C=1,2 \text{ (m)}$$

$$H, I = ?$$



**2:** Zadana je jezgra izrađena od dinamo-lima, kao na slici. Pri tome je  $S_1=40$  (cm<sup>2</sup>),  $S_2=25$  (cm<sup>2</sup>),  $l_1=50$  (cm),  $l_2=30$  (cm), ako je tok kroz jezgru  $\Phi=5 \cdot 10^{-3}$  (As), treba odrediti potrebni protok (MMS), ako namotaj ima  $N=1000$  zavoja. Treba odrediti i potrebnu struju pobude  $I$ .



3: Zadana je jezgra od transformatorskih limova, koja ima oblik kao na slici. Na jednom mjestu nalazi se zračna pukotina u kojoj se linije toka rasipaju za  $x=20\%$ . Ako je indukcija u zraku  $B_0=0,8$  (T), treba odrediti MMS  $\Theta$  potrebnu za magnetiziranje jezgre. Zadano je  $S_1=16$  (cm<sup>2</sup>),  $S_2=10$  (cm<sup>2</sup>),  $l_1=20$  (cm),  $l_2=40$  (cm) i  $l_0=0,3$  (mm). Koliko zavoja treba imati zavojnica ako je struja kroz zavojnicu  $I=10$  (A)?

$X=20 \%$

$B_0=0,8 \text{ (T)}$

$S_1=16 \text{ (cm}^2\text{)}$

$S_2=10 \text{ (cm}^2\text{)}$

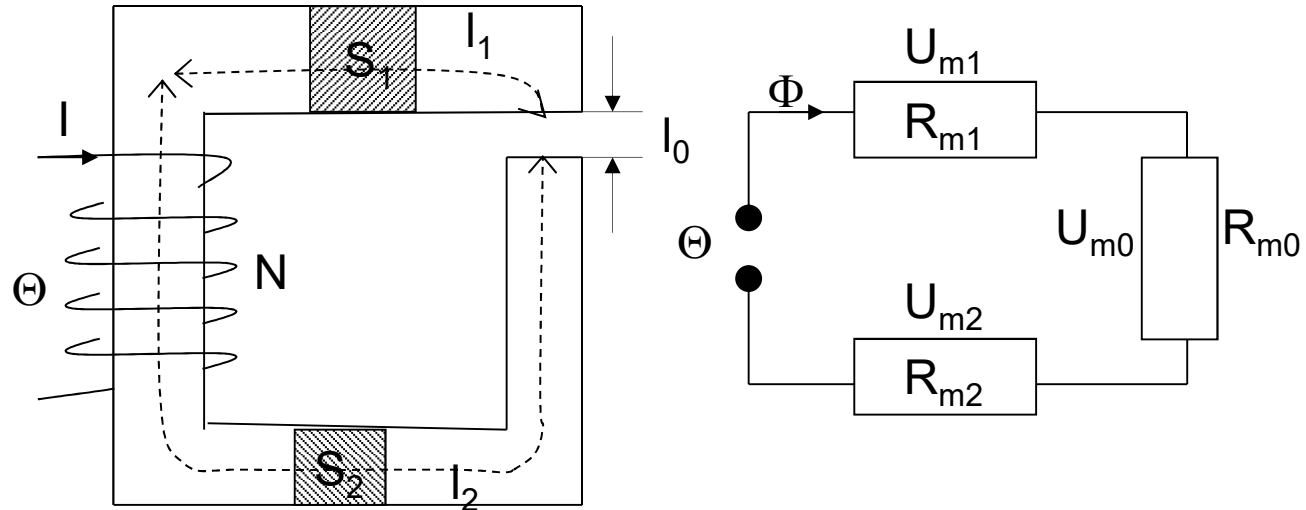
$l_1=20 \text{ (cm)}$

$l_2=40 \text{ (cm)}$

$l_0=0,3 \text{ (cm)}$

$I=10 \text{ (A)}$

$\Theta, N = ?$



$$\Theta = U_{m1} + U_{m2} + U_{m0}$$

$$\Theta = H_1 \times l_1 + H_2 \times l_2 + H_0 \times l_0$$