



## 7.8 Merjenje magnetnega polja v zraku

Značilnost magnetnega polja je **Coulomb-Lorentzova sila**, ki deluje na **premične nosilce elektrine**:

$$\vec{F} = Q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

$\vec{B}$ - **magnetna indukcija** (gostota magnetenega pretoka)

- označuje **magnetno polje** v točki prostora,
- enota je **tesla (T)**
  - tolikšno magnetno indukcijo **ima polje**, ki deluje na **vodnik (dolžina = 1m)** po katerem teče **tok 1A** s **silo 1N**.





**Merjenje magnetnega polja** pogosto temelji na **Faradeyevem zakonu**:

$$u_i = -N \frac{d\phi}{dt}$$

- napetost v **tuljavici** z  $N$  ovoji se inducira pri spremembi magnetnega pretoka

Ločimo dva načina **poteka magnetnega pretoka**:

- **pretok je stalen**
  - **spremebo dosežemo**
    - z zasukom tuljavice,
    - tuljavico potegnemo iz polja ,
    - tuljavico v polje potisnemo,
    - polje vklopimo, izklopimo ali komutiramo.
- **pretok je izmeničen** (splošno nesinusen).





V prvem primeru je **sprememba enkratna,**

- **informacija** o magnetnem pretoku se skriva v **ploščini inducirane**ga impulza,
  - npr. tuljavico **potegnemo iz polja:**

$$\int_0^t u_i dt = -N \int_{\phi}^0 d\phi = N\phi$$

- napetostni impulz merimo s **fluksmetrom:**

$$\phi = \frac{1}{N} \int_0^t u_i dt = \frac{c_F y}{N}$$





Izvedba fluksmetra s pretvornikom napetosti v frekvenco  
 $u_i \rightarrow kf$  :

$$\int_0^t u_i dt = \int_0^t (kf) dt = kt \frac{1}{t} \int_0^t f dt = kt \bar{f} = kZ$$

- $Z$  je število impulzov, ki jih prešteje el. števec v času  $t$ .

Kadar je ploščina  $A$  tuljave majhna, je polje homogeno in lahko merimo  $B$ :

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{c_F y}{NA}$$

$NA$  - podano kot parameter





Fluksmetre izpodrivajo **elektronski voltmetri z digitalizacijo** inducirane napetosti:

$$\int_0^t u_i dt = \sum_{k=1}^N U_{ik} T_s = T_s \sum_{k=1}^N U_{ik}$$

- $U_{ik}$  - diskretna vrednost  $k$ -tega vzorca,
- $T_s$  - perioda vzorčenja
- **povprečna vrednost** izmerjene napetosti je:

$$T_s \sum_{k=1}^N U_{ik} = NT_s \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N U_{ik} = NT_s \bar{U} = T_M \bar{U}$$

- $T_M$  - čas merjenja
- **magnetna indukcija** je:  $B = \frac{T_M}{NA} \bar{U}$

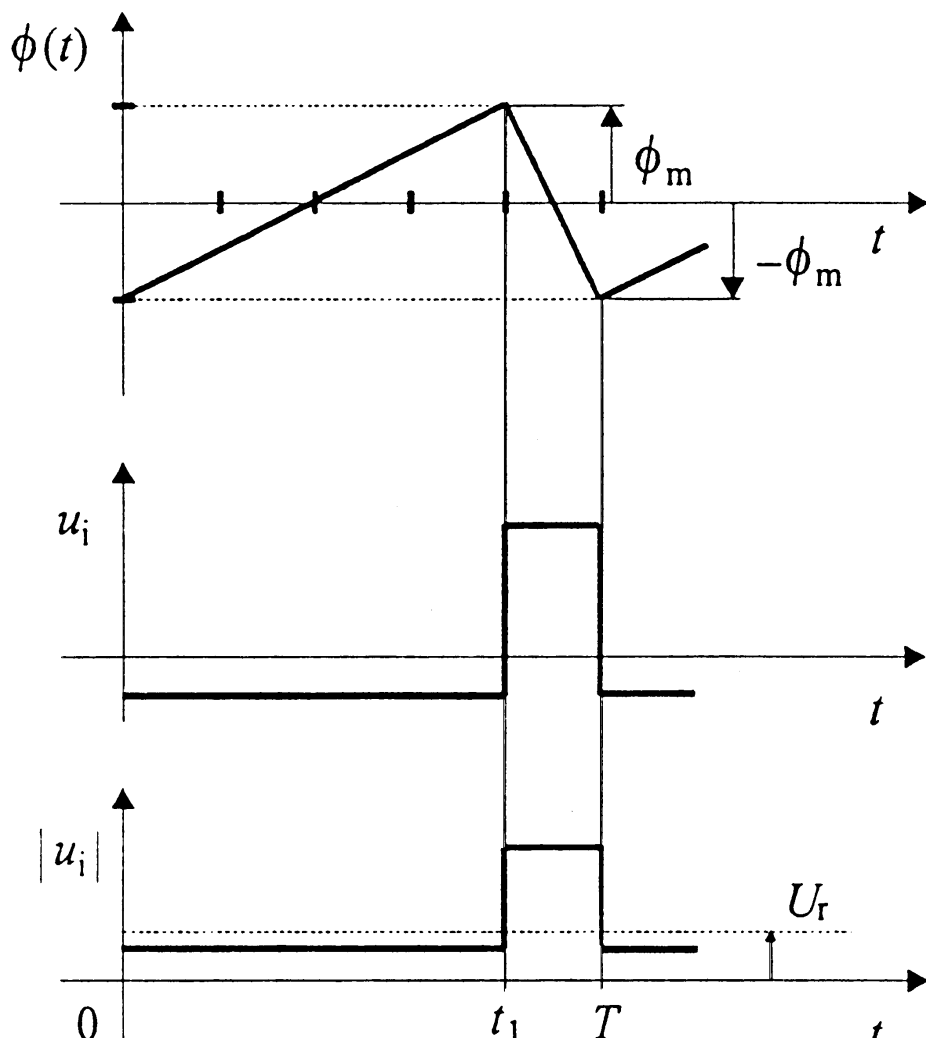




# Izmenični magnetni pretok

Maksimalno vrednost določimo preko usmerjene vrednosti inducirane napetosti.

- če je pretok sinusen, merimo preko efektivne vrednosti.



Primer (žagasta oblika napetosti):

Slika 7.53: Usmerjena vrednost inducirane napetosti in  $\phi_m$

Usmerjena vrednost:

$$U_r = \frac{1}{T} \int_0^T |u_i| dt = \frac{1}{T} \left[ - \int_0^{t_1} u_i dt + \int_{t_1}^T u_i dt \right]$$





$$V \quad U_r = \frac{1}{T} \int_0^T |u_i| dt = \frac{1}{T} \left[ - \int_0^{t_1} u_i dt + \int_{t_1}^T u_i dt \right] \quad \text{vstavimo} \quad u_i = -N \frac{d\phi}{dt}$$

in dobimo:

$$U_r = \frac{1}{T} \left[ - \int_0^{t_1} \left( -N \frac{d\phi}{dt} \right) dt + \int_{t_1}^T \left( -N \frac{d\phi}{dt} \right) dt \right]$$

in

$$U_r = \frac{N}{T} \left[ \int_{-\phi_m}^{+\phi_m} d\phi - \int_{+\phi_m}^{-\phi_m} d\phi \right] = 4fN\phi_m$$

Če imamo instrument, ki se **odziva na usmerjeno napetost** in je **umerjen na sinusno napetost** ( $F_0 = 1,11!$ ), kaže **preveliko**

**napetost:**

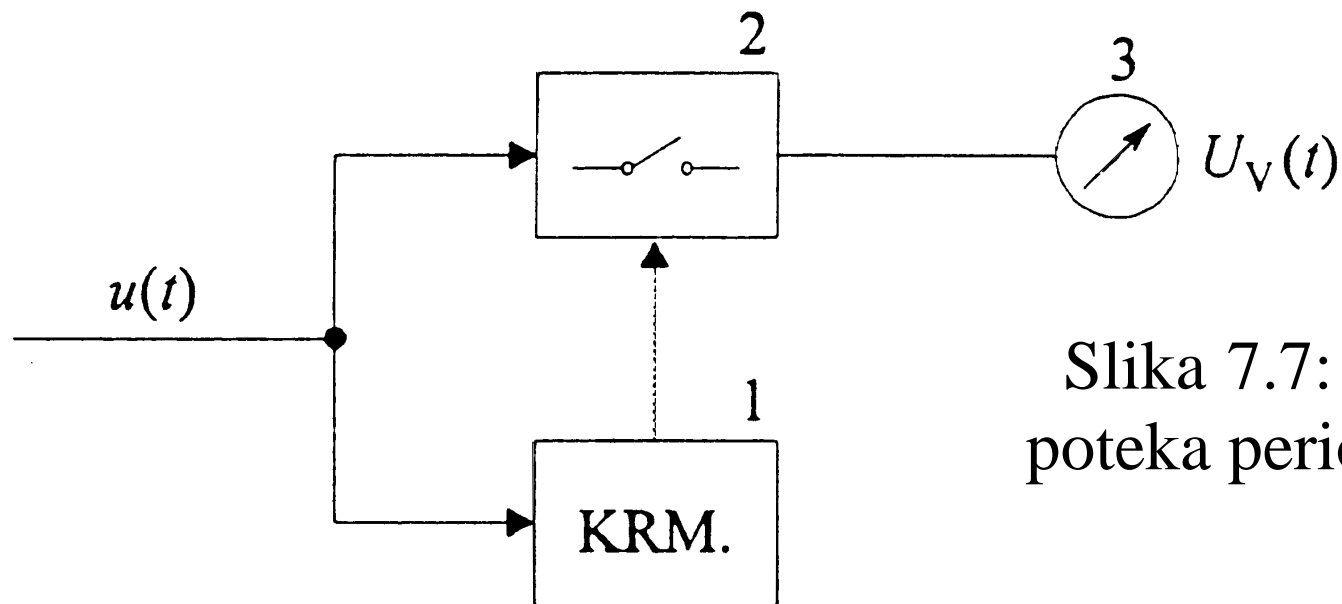
$$U_v = F_0 U_r \quad \Rightarrow \quad \phi_m = \frac{U_v}{4F_0 fN}$$

- **znotraj periode morata biti le en maksimum in minimum.**





Inducirano napetost lahko merimo s **sinhronskim stikalom** in **voltmetrom**, ki se **odziva na enosmerno** vrednost:



Slika 7.7: Snemanje časovnega poteka periodične napetosti

**Integracijski čas nastavimo na polovico periode:**

$$\begin{aligned}\bar{U}(t_1) &= \frac{1}{T/2} \int_{t_1-T/2}^{t_1} u_i dt = \frac{1}{T/2} \int_{t_1-T/2}^{t_1} \left( -N \frac{d\phi}{dt} \right) dt = -\frac{N}{T/2} \int_{\phi(t_1-T/2)}^{\phi(t_1)} d\phi \\ &= -2fN[\phi(t_1) - \phi(t_1 - T/2)]\end{aligned}$$



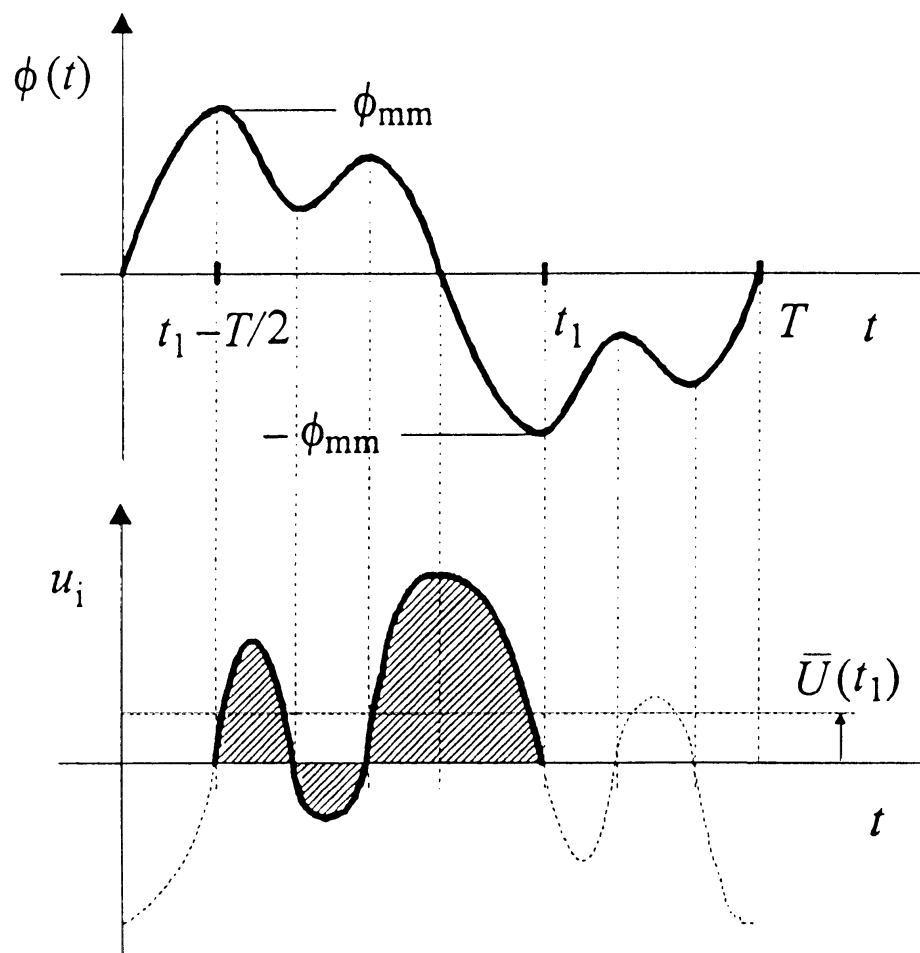




$$\bar{U}(t_1) = -2fN[\phi(t_1) - \phi(t_1 - T/2)]$$

Če je magnetni pretok **simetričen III. vrste**, imamo:

$$[\phi(t_1) = -\phi(t_1 - T/2)] \text{ in zapišemo } U_v(t_1) = \frac{\Delta t}{T} \bar{U}(t_1) = 2fN\phi_{mm}$$



Slika 7.54: Povprečna vrednost napetosti in  $\phi_{mm}$

Magnetno indukcijo  $B$  dobimo tako, da magnetni pretok  $\phi$  delimo s ploščino tuljavnice  $A$ .

- **v splošnem povprečno vrednost, če ni  $\phi$  homogen.**





## Ostali načini merjenja magnetne indukcije:

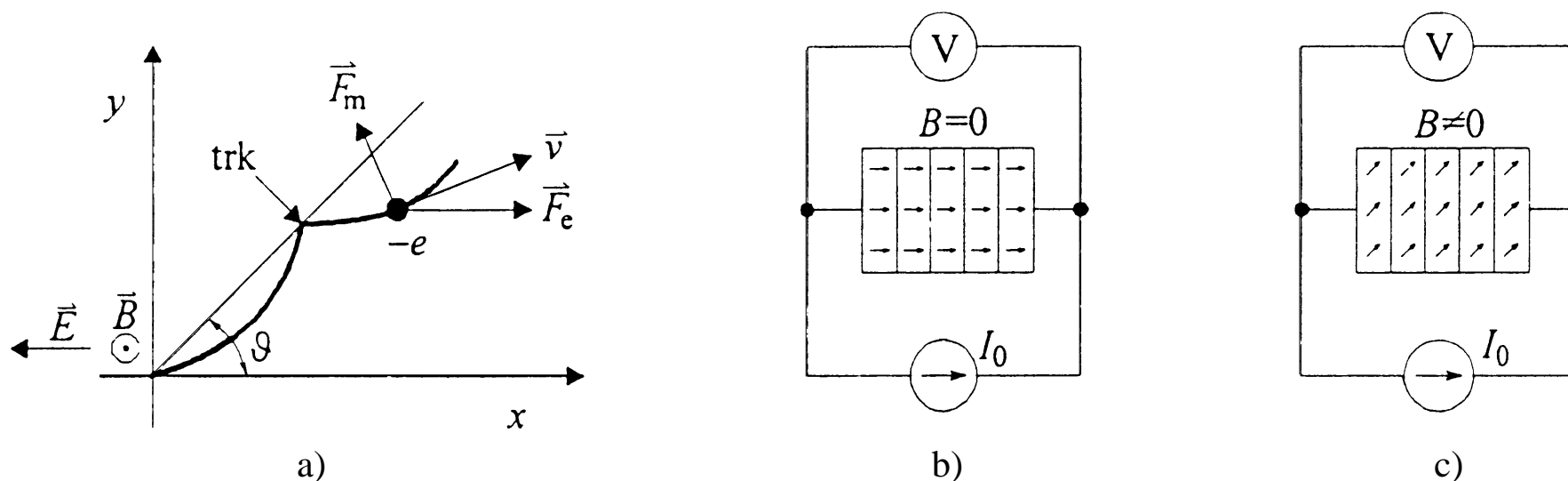
- preko **sile na tokovodnik** v magnetnem polju,
- preko **sile polja na trajni magnet**,
- s **Foersterjevo sondo**,
  - z enosmernim magnetnim poljem povzročimo, da magnetenje feromagnetika poteka po superpozicijski histerezni zanki.
- z **jedrsko magnetno resonanco**,
  - magnetno polje deluje **na jedra**, ki imajo **magnetni moment**.
- z **uporovno magnetno sondo**,
- s **Hallovno sondo ...**





## Uporovna magnetna sonda

- Izkorišča se odvisnost specifične upornosti od magnetnega polja.
- gibanje elektronov se v polju podaljša.

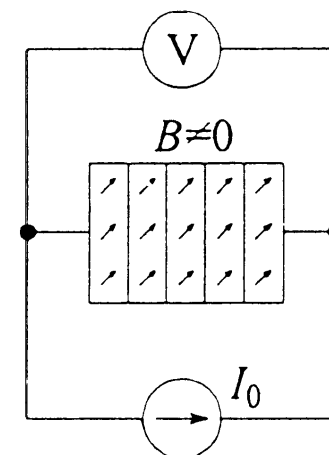
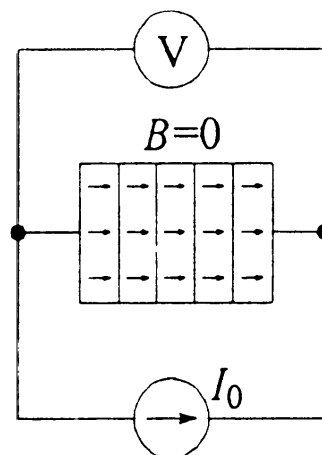
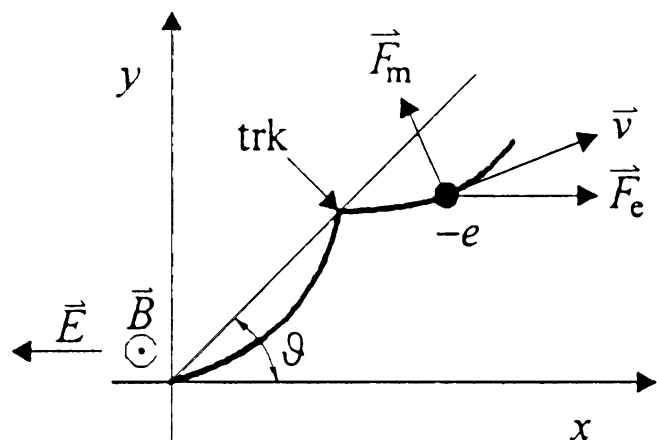


Slika 7.55: Princip delovanja uporovne magnetne sonde

Na elektron delujeta pravokotno med seboj električno in magnetno polje:

$$\vec{F}_e = (-e)\vec{E} \qquad \vec{F}_m = (-e)\vec{v} \times \vec{B}$$



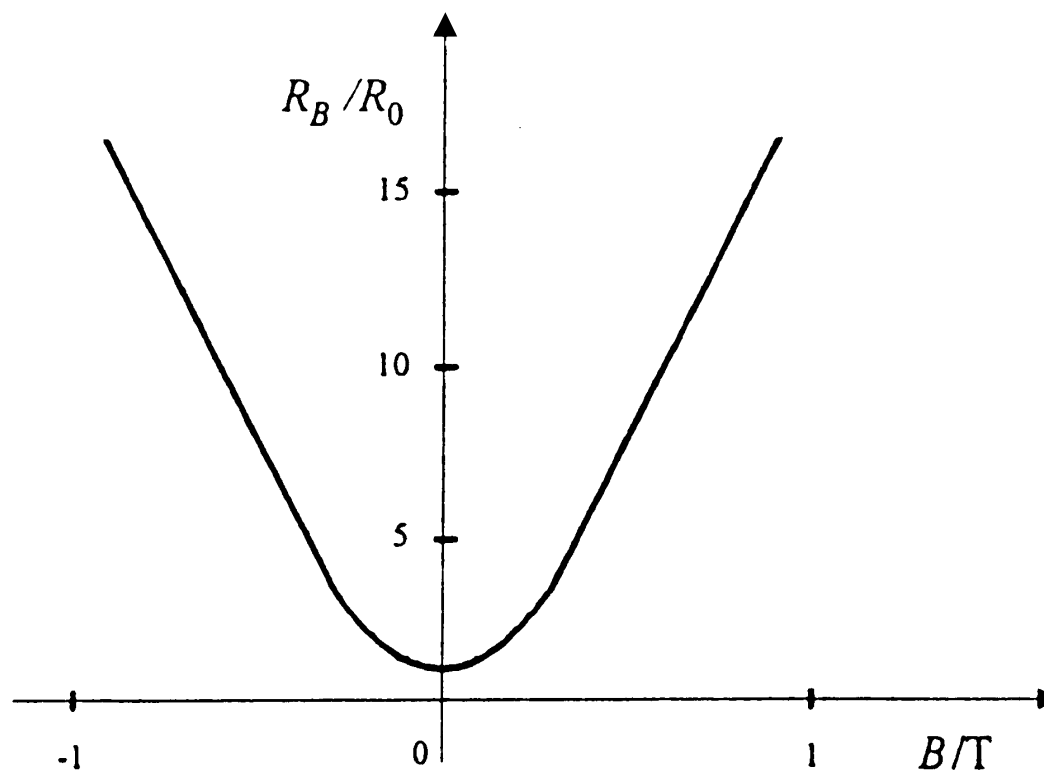


- Elektron se giblje **po cikloidi**,
- **povprečni elektron se zaradi trkov** v kristalni strukturi giblje za Hallov kot  $\vartheta$  zamaknjeno od X-osi.
  - npr. za kovine in  $B = 1\text{T}$ :  $\vartheta \approx 0,5^\circ$ ,
  - za polprevodnik (indij-antimon):  $\vartheta \approx 80^\circ$

**Odklanjanje** elektronov je **tem večje**, čim **krajši in širši** je polprevodniški element.

- s **kovinskimi pregradami** (nikelj-antimon) se doseže več zaporednih elementov.





Slika 7.56: Karakteristika uporovne magnetne sonde

Če priključimo tok na sondo:  $U_V = I_0 R_B = f(B)$

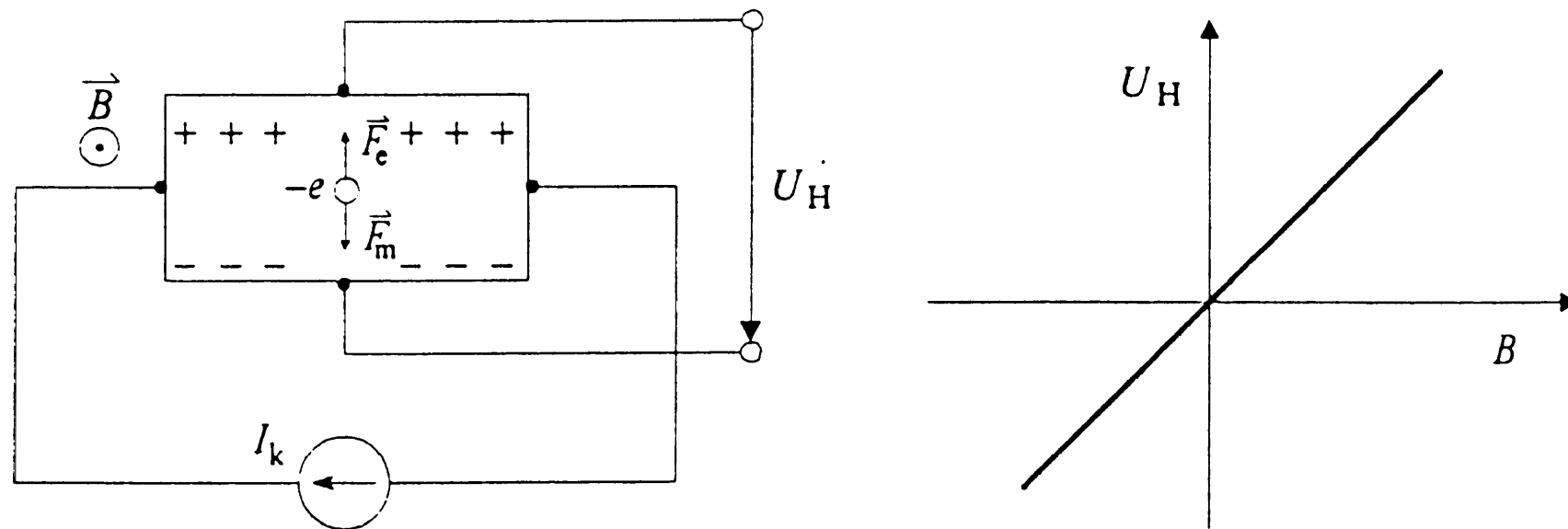
Polprevodniške uporovne m. sonde **niso občutljive na smer toka in na smer magnetne indukcije.**



# Hallova sonda



- je aktiven element,



Slika 7.57: Hallova sonda in njena karakteristika

Zaradi **Coulomb-Lorentzove sile** se začno **elektroni odklanjati** od prvotne smeri (kot pri uporovni magnetni sondi),

- **začno se nabirati na robu** sonde,
  - na **enem robu pozitivni naboj**,
  - na **drugem robu negativni naboj**.





- **potencialna razlika je Hallova napetost:**

$$U_{\text{H}} = \frac{1}{n e d} I_{\text{k}} B = R_{\text{H}} \frac{I_{\text{k}} B}{d}$$

- $n$  – koncentracija elektronov,
- $e$  – osnovni naboj,
- $R_{\text{H}} = 1/n e$  - Hallova snovna konstanta,
- $d$  – debelina ploščice,
- $I_{\text{k}}$  - krmilni tok (nazivne vrednosti med 5mA in 200mA)





- Polariteta je **odvisna od smeri m. polja in smeri toka  $I_k$** ,
- Pomebna je **obremenjenost sonde** (podana je upornost bremena),
- Upoštevati moramo **ničelo napetost** (priključki **ne ležijo natančno na ekvipotencialnih ploskvah**)
- Za velike točnosti mora biti **sonda temperaturno kompenzirana in termostatirana.**
- Uporaba **od enosmernih vrednosti do visokih frekvenc.**

