



## MIKROELEKTRONIKAI ÉRZÉKELŐK I

Dr. Pődör Bálint

BMF KVK Mikroelektronikai és Technológia Intézet  
és  
MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutató Intézet

### 12. ELŐADÁS: MÁGNESES ÉRZÉKELŐK II

2008/2009 tanév 1. félév

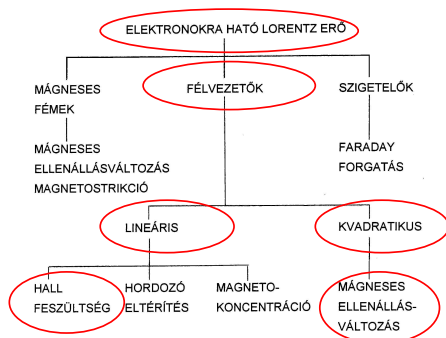
1

## 12. ELŐADÁS:

1. Hall-effektus, Hall-érzékelő, magnetorezisztor, fizikai működési elvek (Lorentz erő, stb.).
2. Mágneses érzékelők alapanyagai (félvezetők, szilícium (Si), gallium-arzenid (GaAs), indium-antimonid (InSb)).
3. Hall-, magnetorezisztor-érzékelők, gyakorlati típusok és mérőáramkörök. Mikroelektronikai integrált érzékelők.
4. Alkalmazási példák. Lineáris elmozdulás és pozíció, távolság, szögelfordulás és szöghelyzet. Beavatkozás nélküli áramérzékelés és mérés. Mágneses érzékelők gépkocsikban.

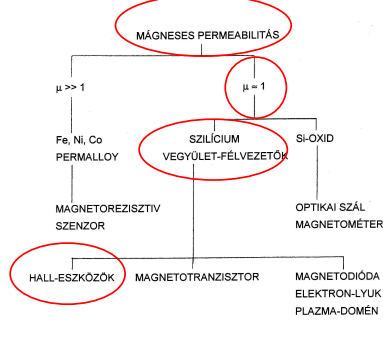
2

## LORENTZ ERŐ ÉS ÉRZÉKELÉS



3

## MÁGNESES SENZOR SZERKEZETEK



4

## MÁGNESES SENZOR SZERKEZETEK

A  $\mathbf{B} = \mu_r \mu_0 \mathbf{H}$  összefüggés alapján a szenzor válasza nagy relatív permeabilitás esetén megnő. Ennek alapján a szenzorok két nagy csoportra oszthatók.

Szenzorok, melyekben nagy permeabilitású anyag kerül alkalmazásra (ferro- vagy ferrimágneses anyag,  $\mu_r \gg 1$ ), mely a permeabilitás arányában megnöveli az érzékenységet, pl. NiFe vékonyréteg mágneses ellenállásváltozási szenzor, optikai szálakon elhelyezett ferromágneses) nikkal bevonat mely magnetostríkciónak hatással bír, illetve bármely szenzor, melyben fluxus koncentrátor kerül alkalmazásra.

Kis relatív permeabilitás ( $\mu_r \approx 1$ ) esetén nincs ilyen jellegű erősítés. Pl. az összes, a galvanomágneses jelenségeken alapuló szenzor ebbe az osztályba tartozik.

5

## GALVANOMÁGNESES EFFEKTUSOK

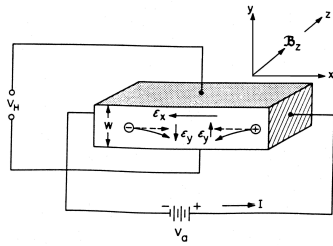
A mágneses érzékelő működése gyakran valamely galvanomágneses effektuson (Hall jelenség, mágneses ellenállás-változás) alapul.

A mágneses térerősség  $H$  dimenziója  $A/m$ , a vele összefüggő mágneses indukció ( $B$ , fluxus-sűrűség) dimenziója pedig  $Vs/m^2$  (Tesla). Mivel a töltéshordozó-mozgékonyosság ( $\mu$ ) dimenziója ennek éppen reciproka, azaz  $m^2/Vs$ , ezért a  $\mu B$  szorzat dimenzió nélküli szám, és ez jellemzi a galvano-mágneses hatások erősségét és egyben a szenzorok relatív érzékenységét.

Általában nagy töltéshordozó-mozgékonyosság és alacsony töltéshordozó-koncentrációk esetén erősek a galvano-mágneses hatások, ez az oka, hogy az ilyen szenzorok anyaga félvezető és nem fém.

6

## A HALL ELEKTROMOS TÉR



p-típusú mintában a lyukak sebessége  $-x$  irányú, a lyukakra ható  $\mathbf{F} = e \mathbf{v} \times \mathbf{B}$  Lorentz erő iránya  $-y$ , és lefelé téríti el a lyukakat.

A lyukak az alsó lapon felhalmozódva egy  $+y$  irányú elektromos teret hoznak létre. Mivel az  $y$  irányban nem folyik áram, az  $y$  irányú tér (a Hall tér) egyensúlyt tart a Lorentz erő terével,  $E_y = v_x B_z$ . Ekkor  $E_y = V_H/w = V_H/I \cdot n e = R_H j_x B_z$ , és a Hall állandó  $R_H = 1/ep$ .

7

## HALL ÁLLANDÓ

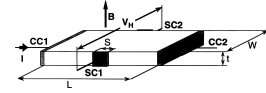
Lorentz erő  $F_L = Be v$

Hall ellenelő  $F_H = e E_H$

Két erő egyensúlya  $e E_H = Be v$

Áramsűrűség  $j = nev = ne \mu E = \sigma E$

Hall állandó  $E_H/(jB) = 1/(ne) = R_H = (U_H/w)/B/(I/wt) = U_H t/(BI)$



8

## ALKALMAZÁS: FÉLVEZETŐK MÉRÉSE

A fizikai modell szerint a vezető-képesség, illetve a fajlagos ellenállás

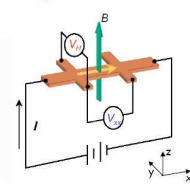
$$\sigma = \rho^{-1} = e n \mu$$

A Hall állandó

$$R_H = 1/e n$$

A fajlagos ellenállás és a Hall állandó mérésével a félvezetők két alapvető paramétere, a töltéshordozók koncentrációja és mozgékonyága meghatározható. A Hall-mérés alapvető félvezető-fizikai és technikai mérés

Hall-geometria



9

## HALL ÉRZÉKLEŐK

Működése a félvezetőben a külső mágneses térben az áramot hordozó mozgó töltéshordozókra ható Lorentz erőn alapul. A lemez alakú, hosszú de kis vastagságú eszközben a lemezre merőleges irányú mágneses tér a hosszirányú áramot hordozó elektronokat vagy lyukakat keresztirányba eltéríti, így a domináns töltéshordozók előjelétől illetve a mágneses tér polaritásától függően a lemez két szélén ellentétes előjelű töltések halmozódnak fel, melyek egy keresztirányú feszültséget, az ún. Hall-feszültséget hozzák létre.

10

## HALL ÉRZÉKLEŐK

Az eszköz alapegyenlete

$$U_H = K \times I \times B$$

$I$  - az eszközön átfolyó áram [A],  
 $B$  - az alkalmazott mágneses indukció [Vs/m<sup>2</sup>],  
 $U_H$  - a Hall-feszültség [V],  
 $K$  - érzékenységi állandó [m<sup>2</sup>/As], mely magában foglalja a geometriai, és a félvezető anyagi paramétereit.  
 Az eszköz kimenőjele a mágneses tér függvényében lineáris.

11

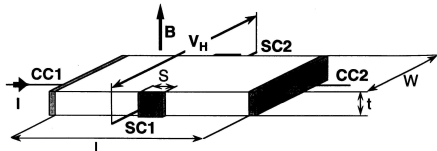
## HALL ÉRZÉKLEŐK

A Hall-generátor félvezető alapanyaga általában szilícium (Si), gallium-arszenid (GaAs) vagy indium-antimonid (InSb). A működési elvből következően a Hall-generátornál is célszerű nagy elektronmozgékonyágú alapanyagot választani. Ezt a feltételt kielégíti a GaAs (az elektronmozgékonyága kb. ötszöröse mint a szilíciumé) de méginkább az InSb. Ugyanakkor a Si technológiája kiforrottabb, könnyen integrálható az eszköz.

Alkalmazások: a magnetorezisztorhoz hasonlóan különféle érzékelési feladatok, illetve kontaktus nélküli (más néven mágneses) potenciométerek.

12

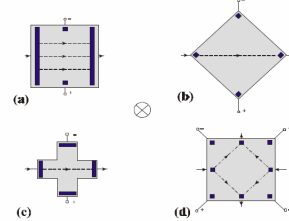
## IDEÁLIS ÉS REÁLIS HALL SZONDA ANALÍZISE



13

## HALL ÉRZÉKELŐ

### Hall plate configuration

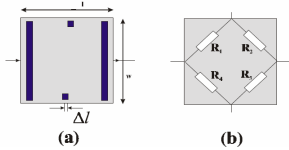


Hall érzékelő geometriája és kontaktus konfigurációja

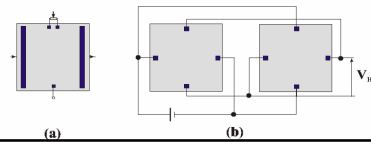
14

## OFFSET (NULLA-HIBA)

### Offset



### Offset - solutions



16

## ANYAGOK

Material	$R_H$ in $\text{cm}^3/\text{As}$	$\mu_e$ in $\text{cm}^2/\text{Vs}$	$E_g$ in eV
Metals	$10^{-4}$	10	-
Ge	$10^{-3}$	3900	0.75
Si	$10^{-6}$	1500	1.16
InSb	380	77000	0.23
GaAs	$10^{-4}$	8000	1.52

16

## GaAs HALL SZENZOR

KSY14 – the Ultra-flat, Versatile Hall Sensor



Ionimplantációval létrehozott kb. 0,3  $\mu\text{m}$  vastag n-típusú GaAs réteg félszigetelő GaAs hordozón (technológia: GaAs MESFET). Üzemi tartomány  $-40\text{ }^\circ\text{C}$  ...  $+175\text{ }^\circ\text{C}$  (nagy tiltott sáv!).

17

## ALKALMAZÁSOK

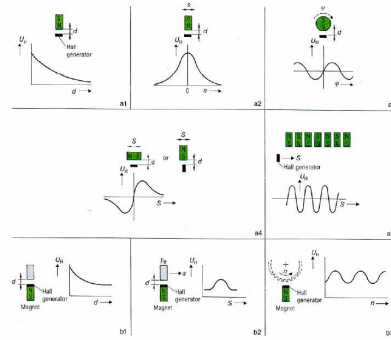
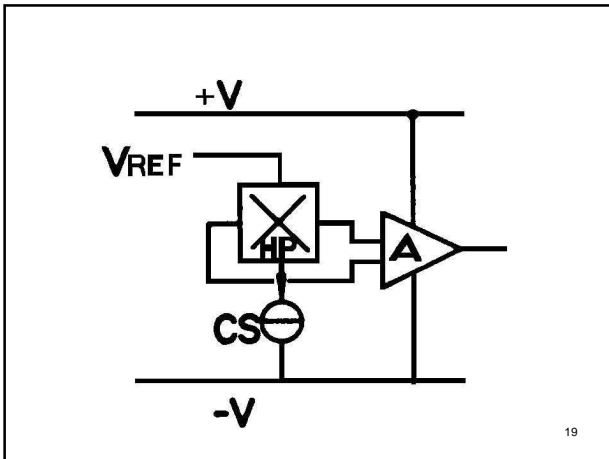
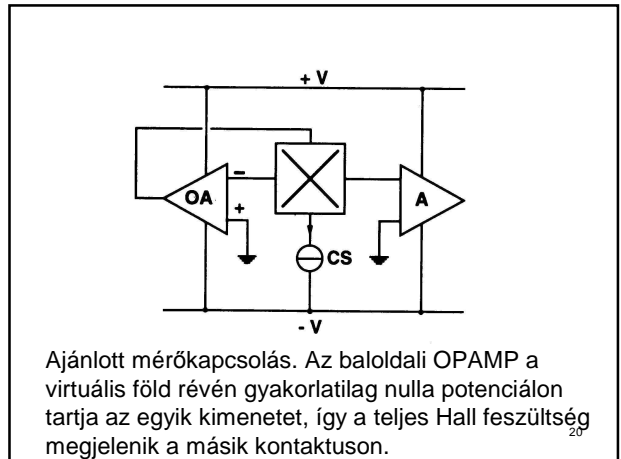


Fig. 4 KSY14 signal characteristics produced by illustrated configurations and movements of sensor and magnet. In figure a) to a3 a permanent magnet generator (the signal), in figure b) to b3 a soft-iron compass

18

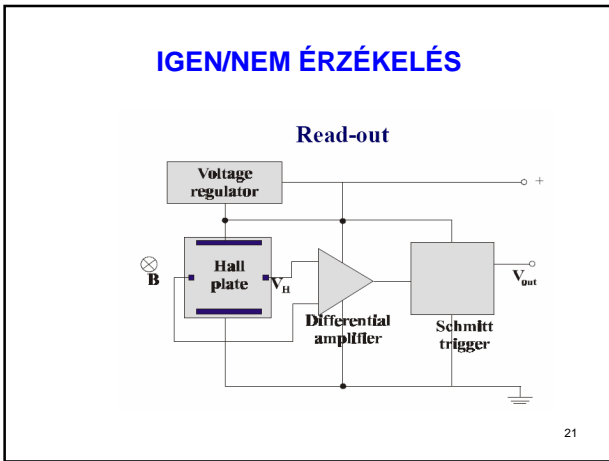


19

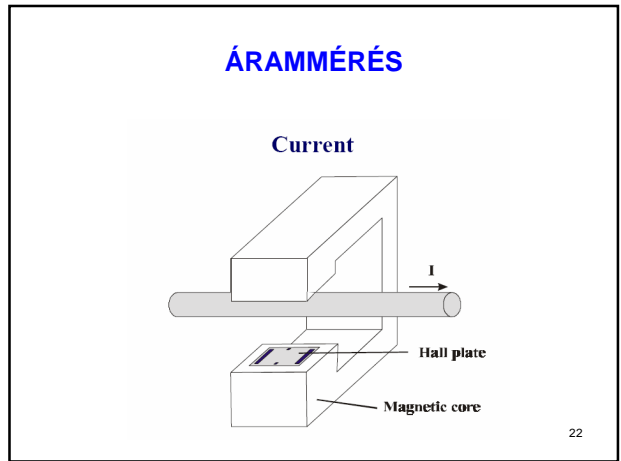


Ajánlott mérőkapcsolás. Az baloldali OPAMP a virtuális föld révén gyakorlatilag nulla potenciálon tartja az egyik kimenetet, így a teljes Hall feszültség megjelenik a másik kontaktuson.

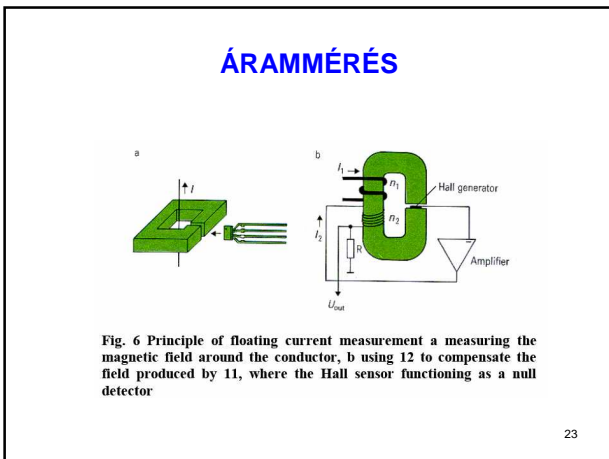
20



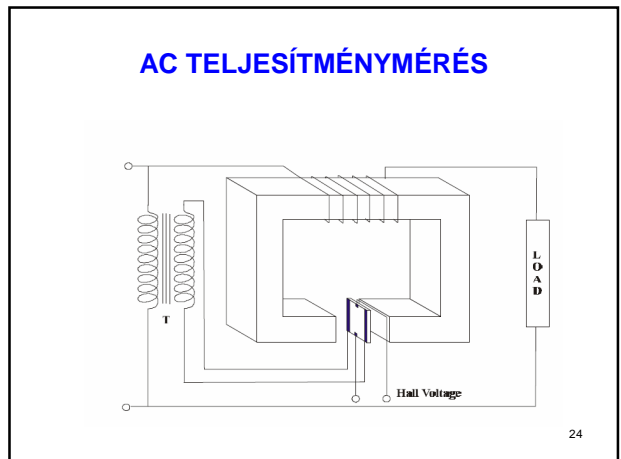
21



22



23



24

## PROGRAMOZHATÓ HALL IC

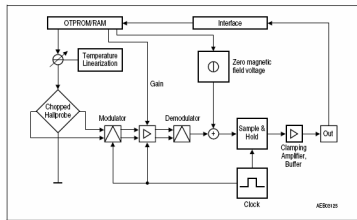


Figure 1 Block Diagram

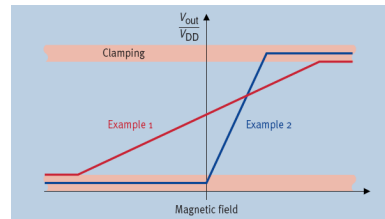
The linear Hall IC TLE 4990 has been designed specifically to meet the demands of highly accurate rotation and position detection, as well as for current measurement applications. The sensor provides a ratiometric analog output voltage which is ideally suited for A/D conversion with the supply voltages as a reference. The IC is produced in BiCMOS technology with high voltage capability and also providing reverse polarity protection.

The temperature compensation of the sensitivity is programmable to provide excellent accuracy. Stability is achieved by the dynamic offset cancellation technique to eliminate any spurious mechanical or temperature effects.

The transfer function of the linear Hall IC TLE 4990 can be adopted randomly to the application needs in terms of offset (quiescent) voltage, sensitivity and clamping.

25

## PROGRAMOZHATÓ HALL IC



Programmable according to application needs, e.g.:

1. Bipolar, 50% offset, low sensitivity, clamping
2. Unipolar, no offset, high sensitivity, no clamping

26

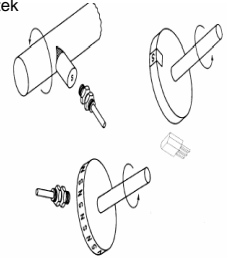
## ALKALMAZÁSOK GÉPKOCSI K

27

## ALKALMAZÁSOK: GÉPKOCSI

Az egyik legelterjedtebb felhasználása a Hall-szenzoroknak a fordulatszám mérés. A fluxus ami ahhoz szükséges hogy működtesse a szenzort, a forgó részre szerelt különböző mágnesek szolgáltatják. Felhasználási területek lehetnek, az igényektől függően:

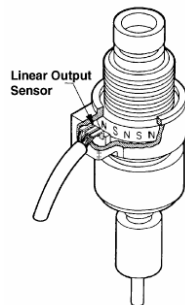
- Sebesség ellenőrzés
- Motor időzítés ellenőrzése
- Alsó vagy felső sebességhatár érzékelése
- Tárcsa sebességének érzékelése
- Gépkocsi sebességváltójának ellenőrzése
- Ventilátor mozgás érzékelése
- Tengely forgás számláló
- Helyzet meghatározás
- Lineáris vagy forgó pozicionálás
- Forgó mozgás helyzet érzékelése
- Fordulatszám érzékelés



## SEBESSÉG-ÉRZÉKELÉS

A digitális kimenetű szenzor, a sebesség mérő által meghajtott, gyűrű mágneses mezejét érzékeli.

A kimeneti jel frekvenciája arányos a sebességgel ezen beállítás előnye, a kimeneti jel változásai nem mesterkéltek, gyors, megbízható gyors válasz, hosszú élettartam és nagy megbízhatóság.

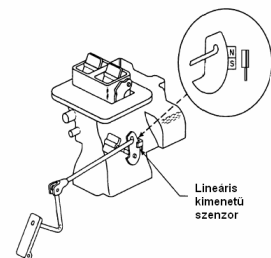


29

## GÁPEDÁL ÁLLÁSSZÖGE

Itt lineáris kimenetű szenzor gondoskodik a megfelelő jel szolgáltatásáról.

A pedál lenyomásával a Hall-szenzor érzékeli a mágneses mezőt, és erre analóg feszültséggel válaszol.



30

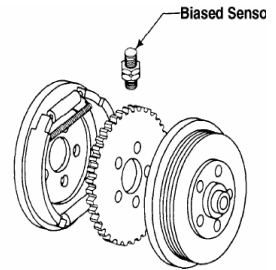
## GÁZPEDÁL ÁLLÁSSZÖGE



31

## FÉK BLOKKOLÁS ÉRZÉKELÉSE

Az ábrán látható elrendezés egy lehetséges megoldást kínál a fékerő szabályozására lehetővé téve, hogy a fékek ne blokkoljanak. Ez a **biased sensor**, úgy van pozícionálva, hogy a fékdob belsejében elhelyezkedő fogaskerék mozgását érzékeli és ennek függvényében szabályozza a fékerőt. Ha blokkolást érzékel akkor vissza vesz a fékerőből.



32

## AJTÓ NYITÁS ÉS GYUJTÁS KAPCSOLÓ



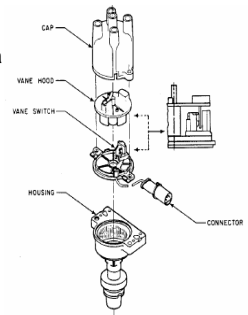
Amint a kulcsot elfordítjuk a szenzor érzékeli a mágneses mező változását. Jég, víz és más környezeti hatások nem játszanak szerepet a működésben. Ez egy megoldás arra, hogyan váltsuk fel a hagyományos indító szerkezetet egy elektronikus zárszerkezetre

33

## GYUJTÁSELOSZTÓ

Gyújtás elosztó, modern lapátkeres szenzorral. Csésze alakú a lapátkerék, annyi lapáttal amennyi a hengerek száma. A lapátok áthaladnak egy lapátérzékelőn. A jelfeldolgozó áramkör a lapát áthaladásakor egy jelet küld az aktuális hengerhez a gyertya begyújtására.

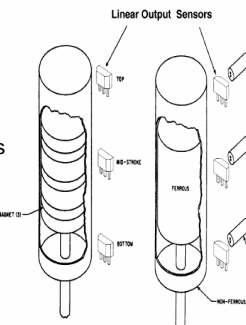
Fő előnye, hogy alacsony sebességen is működik, gyors válasz, egyszerűsített rendszer kivitel, nagy megbízhatóság. Szélsőséges hőmérsékleteken is működőképes.



34

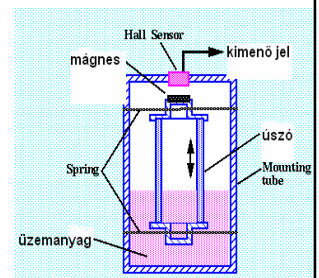
## DUGATTYÚ HELYZETÉNEK MEGHATÁROZÁSA

Két lehetséges megoldás a nagy nyomású hengerben mozgó dugattyú helyzetének meghatározására. Balra a dugattyúba vannak beágyazva a mágneses gyűrűk, ezeket 3 szenzor érzékeli, így meghatározva a dugattyú alsó, középső és felső pozícióját. Előnye, hogy a szenzorokat nem kell a hengerbe ágyazni. Jobbra maga a dugattyú mágneses anyagú (a henger nem mágneses). Itt is 3 szenzor érzékeli a dugattyú helyzetét. Az érzékelési karakterisztika külső mágnesekkel tovább pontosítható.



## ÜZEMANYAG SZINTMÉRŐ SZENZOR

A benzintartályok szabálytalan alakja miatt a lineáris üzemanyag szint mérés nehézségekbe ütközik. A programozható Hall-szenzort különféle benzin-tartályra! Így a tankból érkező jelzés arányos az üzemanyag aktuális szintjével.



36

**VÉGE**