

# ÉRZÉKELŐK

Dr. Pődör Bálint

Óbudai Egyetem KVK Mikroelektronikai és Technológia Intézet

## 12. ELŐADÁS: MÁGNESES ÉRZÉKELŐK II



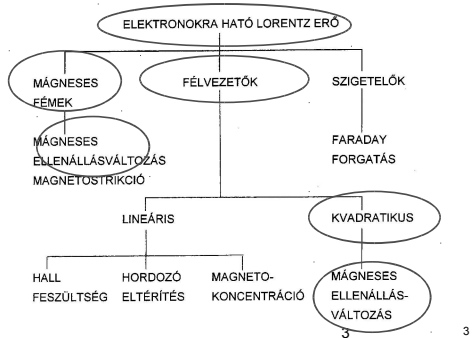
2010/2011 tanév 2. félév 1 1

## 13. ELŐADÁS:

1. Hall érzékelő alkalmazások.
2. Félvezető magnetorezisztor-érzékelők.
3. Ferromágneses alapú érzékelők: aniztróp mágneses ellenállásváltozási érzékelő (AMR), óriás mágneses ellenállásváltozási érzékelő (GMR)
4. SQUID: szupravezető kvantum interferométer eszköz (magnetométer)
5. Alkalmazások: ferromágneses tárgyak érzékelése, mágneses érzékelők gépkocsikban.

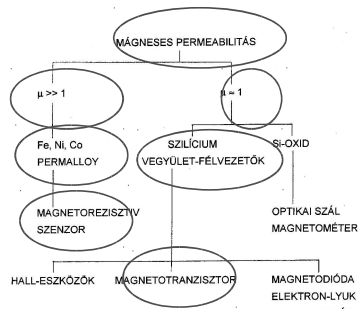
2 2

## LORENTZ ERŐ ÉS ÉRZÉKELÉS



3

## MÁGNESES SZENZOR SZERKEZETEK



4

4

## HALL ÉRZÉKLEŐK

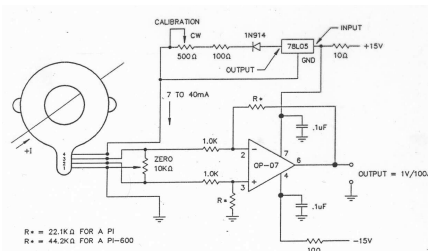
Az eszköz alapegyenlete

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

I - az eszközön átfolyó áram [A],  
 B - az alkalmazott mágneses indukció [Vs/m<sup>2</sup>],  
 U<sub>H</sub> - 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.

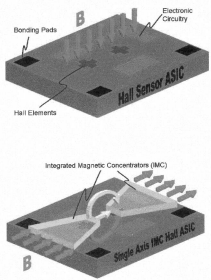
5 5

## HALL SZONDÁS ÁRAMMÉRŐ



Specifikációk (40 mA gerjesztőáram):  
 Méréshatár (FSD), dc vagy ac csúcs ±350 A (±600 A)  
 Kimenő jel (FSD) ±(150-380 mA)  
 ac sáv szélesség (3dB) dc-1 kHz  
 Érzékenység (0,5-1,1) mVA, ill. (0,25-0,55) mV/A

## INTEGRÁLT FLUXUSKONCENTRÁTOROS HALL ÉRZÉKELŐ



Hall-szenzor, a tokozásán belül egy integrált mágneses (fluxus) koncentrátorral (Integrated Magnetic Concentrator, IMC). Ez megnöveli az érzékelő érzékenységét, így közvetlenül lehet áramot mérni anélkül, hogy vasmagot alkalmaznánk. A fluxuskoncentrátor alkalmazásával az is elérhető, hogy megfelelő hídkapcsolásban a szenzor az IC lapkával párhuzamos mágneses térre legyen érzékeny.

7 7

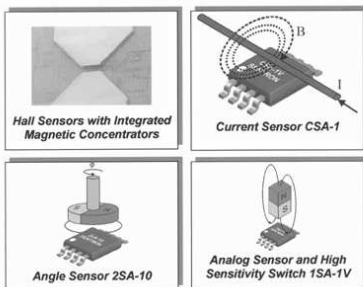
## IMC HALL SZENZOR

Az IMC Hall-szenzor standard CMOS alkatrészekből, és egy nagy-permeabilitású, alacsony koercitív erejű ferromágneses rétegből áll. Ez a réteg szolgál a mágneses fluxus koncentrációjára, továbbá tízszeres mágneses erősítést biztosít.

Mivel a ferromágneses réteget egy keskeny légrés szakítja meg, így ott a koncentrátor maga átalakítja a felületével párhuzamos mágneses teret rá merőlegessé. Két Hall-elem helyezkedik el a réshoz közel, melyek kimenetei fordított, mivel a tér iránya ellentétes a két szenzorra. A kimeneteik összegződnek, így teszi az egész szenzort a felületére merőleges terekkel szemben érzéketlenné. Természetesen teljesen mindegy, hogy az IC alatt, vagy fölött halad a vezető, egyedül a távolság változását kell figyelembe venni.

8

## IMC HALL SZENZOR ALKALMAZÁSOK



9

## MAGNETOREZISZTÍV ÉRZÉKELŐK

A Hall szonda a legrégebb és a legtöbbször használt vektor mágneses tér érzékelő. Igen jól használható nagy terek ( $B > 1 \text{ T}$ ) esetén.

A magnetorezisztív szenzorok átfedik a kis- és nagy terek tartományait. Az anizotróp mágneses ellenállásváltozási szenzorok (AMR, Anisotropic MagnetoResistance) jelenleg terjedtek, még magnemóterekben is. Új felfedezés az óriás mágneses ellenállásváltozási effektus (GMR, Giant MagnetoResistance), egyébként ez volt a 2007-évi fizikai Nobel-díj, ma ez fő érzékelő a mágneses lemezek (hard disk) leolvasófejeiben.

10

10

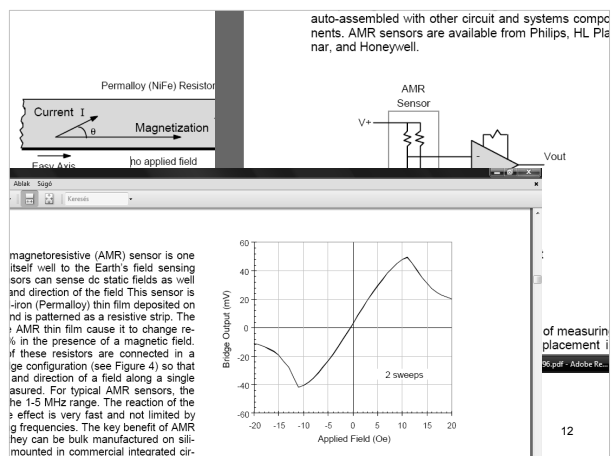
## FERROMÁGNESSES ANYAGÚ MAGNETOREZISZTOR

### Anisotropic MagnetoResistive (AMR)

William Thompson, later Lord Kelvin, first observed the magnetoresistive effect in ferromagnetic metals in 1856. This discovery had to wait over 100 years before thin film technology could make a practical sensor for application use. Magnetoresistive (MR) sensors come in a variety of shapes and form. The newest market growth for MR sensors is high density read heads for tape and disk drives. Other common applications include automotive wheel speed and crankshaft sensing, compass navigation, vehicle detection, current sensing, and many others.

11

11



thicknesses only, the polarized conduction electrons cause antiferromagnetic coupling between the magnetic layers. Each magnetic layer has its magnetic moment antiparallel to the moments of the magnetic layers on each side — exactly the condition needed for maximum spin-dependent scattering. A large external field can overcome the coupling that causes this alignment, and can align the moments so that all the layers are parallel — the low-resistance state. If the conducting layer is the wrong thickness, the same coupling mechanism can cause ferromagnetic coupling between the magnetic layers with the result of no GMR effect.

In the plot of resistance vs. applied field for a multilayer GMR material shown in Figure 13, note the higher GMR value, typically 12%-16%, and the much higher external field required to saturate the effect, typically 20 kA/m (250 Oe). Multilayer GMR materials have better linearity and lower hysteresis than typical sandwich GMR material.

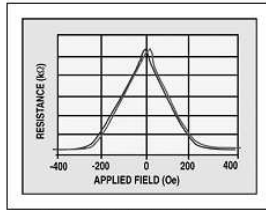
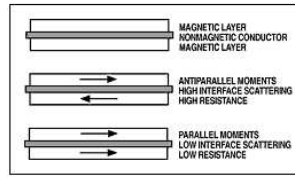


Figure 13. Resistance is plotted against applied field for a 2 nm wide stripe of antiferromagnetically coupled multilayer GMR material. GMR = 14%.

**Fizikai Nobel-díj 2007: Albert Fert és Peter Grünberg**

Nanotechnológia (rétegek) és spintronika

## GMR: FIZIKAI MECHANIZMUS



Pl. Fe/Cr/Fe rétegszerkezet

Parallel/antiparallel beállítás: külső mágneses térrel változtatható.

Antiparallel esetben a kersztirányú ellenállás nagyobb, ennek oka az áramot vivő elektronok spinje és a mágneses momentuomok kölcsönhatása: spintronika.

A spinek szerep akkor jelentős, ha a rétegek tipikusan 10 nm-nél vékonyabbak: nanotechnológia.

14 14

## GMR: HÁTTÉR

A mágneses nanoszerkezetekben az GMR-jelenség fizikai mechanizmusa jelentősen eltér a homogén ferromágneses fémek és -ötvezetek mágneses ellenállásától, (anizotróp mágneses ellenállás) ennél több mint egy nagyságrenddel több lehet a GMR-é.

Az epitaxiális rétegnövesztésben elért haladás nagy jelentőségű volt az eszköz megvalósíthatóságának elérésében. Segítségével egykristály- hordozóra már nagyon kevés hibahelyet tartalmazó fémes vékonyrétegeket lehetett növesztetni nanométeres vastagságban. (fémeknél az 1 nm-es rétegvastagság kb. 5 atom).

A GMR-effektust valójában nem a nagyon nagy mágneses ellenállást jelenti, hanem az azt előidéző fizikai mechanizmust, a mágneses nanoszerkezetben végbemenő spinfüggő elektronszórást.

15 15

## GMR: HÁTTÉR

A mágneses anyagok elektromos ellenállása jelentősen megváltozhat külső mágneses térben, felhasználható mágneses tér mérésére illetve a mágneses tér jelenlétének vagy hiányának mérésére.

Közismert tény, hogy az elektronok az elektromos töltése mellett spinje is van. Az elektronika olyan eszközökön alapul, amelyekben csak az elektron töltését használják ki. A spinelektronika egy új iparág, az eszközök működését az elektron kétféle spinbeállási lehetősége teszi lehetővé.

A 2007-ben fizikai Nobel-díjat egy ilyen elven működő jelenség, az óriás mágneses ellenállásért (GMR) kapta Albert Fert és Peter Grünberg akik egymástól függetlenül fedezték fel a GMR jelenségét 1988-ban Fe/Cr rétegszerkezetekben.

16 16

## GMR ÉRZÉKELŐ

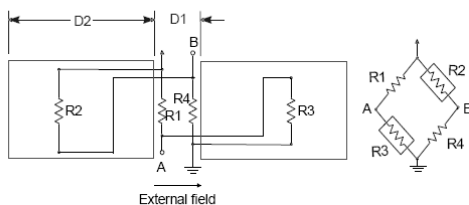


Figure 23. Configuration of GMR resistors in a Wheatstone bridge sensor. Flux concentrators are shown: D1 is the lengths of the gap between the flux concentrators, and D2 is the length of one flux concentrator.

17 17

## MÁGNESES REZONANCIÁS KÉPALKOTÁS: MRI

Működési elv: erős mágneses térben (kb. 0,5 T) a protonok (víz!) a mágneses momentumok miatt rendeződnek, majd egy rádiófrekvenciás impulzus hatására magasabb energiájú állapotba jutnak. Az atommagok mágneses nyomatéka csak meghatározott szögeket zárhat be a mágneses térrel (kvantummechanika!), az egyes beállításokhoz más-más energia tartozik. A relaxáció során RF kisugárzás történik, ennek eloszlása a testszövet kémiai összetételétől, elsősorban víztartalmától függ.

Alkalmazás: gyulladáso, daganatos, vagy másképp károsodott szövetrészek felismerése. Agy és gerincvelő rendellenességei (más módszerekkel nehezen vizsgálható).

18 18

## MÁGENESES MAGREZONANCIA

A proton-(nukleáris-) precessziós magnetométer a legelterjedtebb skaláris teret mérő eszköz. Fő alkalmazásai: geológiai és geofizikai mérések és feltárások, valamint a geomágneses tér (légi) feltérképezése. Működése fundamentális természeti állandó értékén alapul (proton giromágneses hányadosa, azaz a proton mágneses nyomatékának és spinjének hányadosa)

$$\gamma = (2,6751526 \pm 0,0000008) \times 10^8 \text{ T}^{-1}\text{s}^{-1}$$

$$\omega_p = \gamma B$$

(1 Tesla  $\rightarrow$  42,6 MHz).

Elsődleges standardnak, illetve kalibrációs célokra is használják. Ez egyben az MRI alapja is.

19

19

## MRI: TECHNIKAI HÁTTÉR

Nagy térfogatban homogén mágneses tér: szupravezető szolenoid, hűtés folyékony héliummal (4,2 K).

Folyékony hélium szállítása, tárolása (1 liter lHe néhány ezer Ft), megfelelő dewaredényben (tipikusan 100 liter), vagy dewartartályban néhány hétig tárolható, He gáz visszanyerése célszerű.

Rádiófrekvenciás berendezések, stb.

20

20

## MAGNETOMÉTEREK

Az indukciós tekercs és a fluxgate szenzor magnetométerek a legelterjedtebb vektor mágneses termérők. Robusztusak, megbízhatóak, relatíve olcsók.

A száloptikai magnetométer új fejlesztés (2000 körül még laboratóriumi stádiumban).

A szupravezető kvantum interferométer magnetométerek (SQUID, *Superconducting QUantum Interference Device*), mely a Josephson-effektuson alapul, a legérzékenyebbek az összes mágneses szenzor közül.

Az abszolút zérus hőmérséklet közelében működnek, speciális hűtőelrendezést igényelnek. A SQUID-ek drágábbak, kevésbé robusztusak és megbízhatóak.

21

## SZUPRAVEZETÉS DIÓHÉJBAN

Egy fém a hőmérséklet esésével csökken. Hétköznapi vezetőanyagok, mint a réz és ezüst esetében szennyeződések miatt fennáll egy alsó határ; közönséges réznél abszolút nulla fok közelében sem nulla az ellenállás.


Egy szupravezető ellenállása ezzel szemben hirtelen esik nullára az úgynevezett kritikus hőmérséklet elérésekor, ami általában 20 K vagy kevesebb (alacsony hőmérsékletű szupravezetőknél). A szupravezetés egy (makroszkópikus) kvantumfizikai jelenség. A szupravezető állapot egyben ideális/abszolút diamágneses állapot is. A lényege, hogy a szokásos áramvezetést létrehozó elektronok egy igen gyenge vonzó kölcsönhatás révén elektron párokba rendeződnek, és így gyökeresen megváltozik a (kvantummechanikai) viselkedésük. Szupravezetés az anyagok széles skálájánál előfordul. Az utóbbi 20 évben váltak jelentőssé a réz-oxid-perovskit és más hasonló kerámiaanyagok, melyek kritikus hőmérséklete meghaladja a 100 K-t. Ennek gyakorlati jelentősége az, hogy míg a néhány K-es hőmérsékletek egyedi, illetve féllaboratóriumi technológián alapulnak, a 77 K feletti tartomány (N<sub>2</sub> forrásponjtja) nagyipari technológia.

Szupravezető kvantum interferencia

Szupravezető kvantum interferométer – SQUID (Superconducting Quantum Interference Device)

**Szupravezetés:**

- fajlagos ellenállás zérus
- ideális diamágnes



**Fajtái:**

- Bizonyos fémek, 0 K közelében
- Magas hőmérsékletű szupravezető kerámiák, 100 K körül

**Szupravezetés elve:**

A vezetésben nem elektronok (fermion), hanem egész spinű elektron párok (Cooper-párok) vesznek részt, melyek bozonként viselkednek.

**Szupravezetés megszűnik:**

- hőmérséklet emelkedés hatására
- mágneses tér hatására

## SZUPRAVEZETÉS DIÓHÉJBAN

24

24

## SZUPRAVEZETÉS: ALKALMAZÁSOK

Sok műszaki alkalmazás alapul szupravezetésen. Szupravezetőket használnak az erős elektromágnesek létrehozásához, ezek között vannak az orvosi MRI-ben használtak, és a részecskegyorsítókban a nyaláb irányítására szolgálóak is.

Másik alkalmazása a kevésbé vagy egyáltalán nem mágneses anyagoktól a gyengén mágneses részecskék elválasztása (melyet a pigmentiparban hasznosítanak). A szupravezetőket használják a SQUIDek (szupravezető kvantum-interferenciás eszközök), és a legérzékenyebb magnetométerek készítéséhez is.

25

25

## SQUID

Szupravezető kvantum interferencia (Superconducting QUantum Interference Device, SQUID)

Alkalmazás mágneses tér érzékelésére: Josephson-átmenet

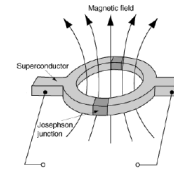
$$I_c = I_{c0} \frac{\sin(\pi \cdot \Phi / \Phi_0)}{\pi \cdot \Phi / \Phi_0}$$

ahol  $\Phi$  a mágneses fluxus és  $\Phi_0$  ennek kvantuma, a fluxon ( $=h/2e$ )

Megvalósítása:

- Nb/Al/AIO<sub>x</sub>/Nb
- MHS:
  - YBCO
  - BSCOO

Brian Josephson, "undergradute" Nobel-díj...



26

## SQUID

The most sensitive low field sensor is the Superconducting QUantum Interference Device (SQUID). Developed around 1962 with the help of Brian J. Josephson's work that developed the point-contact junction to measure extremely low current.

The SQUID magnetometer has the capability to sense field in the range of several femto-tesla (fT) up to 9 tesla. That is a range of over 15 orders of magnitude! This is key for medical use since the neuromagnetic field of the human brain is only a few tenths of a femto-tesla, that is 10<sup>-8</sup> times weaker than the Earth's magnetic field. The present designs require cooling to liquid helium temperature (4 K) but higher temperature techniques are being developed. SQUID devices.

27

27

## MÁGNESES ENCEFLOGRÁFIA

30

30

CTF Systems, Inc.

## MÁGNESES ENCEFLOGRÁFIA

2018-J.V. Oct 01

CTF Systems Inc.  
A Subsidiary of VSI MedTech Ltd

## MAGNETOMETRIA: MÁGNESES ANOMÁLIA

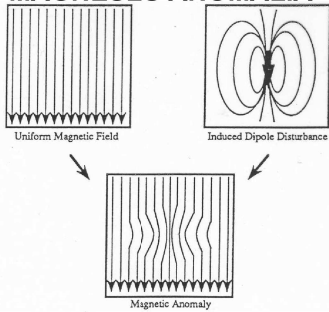
Alkalmazás: ferromágneses tárgyak detektálása a Föld mágneses terében általuk okozott mágneses anomália érzékelése révén.

Pl. gépkocsi forgalom, vasúti forgalom, szabad/foglalt helyek garázsban, stb.

32

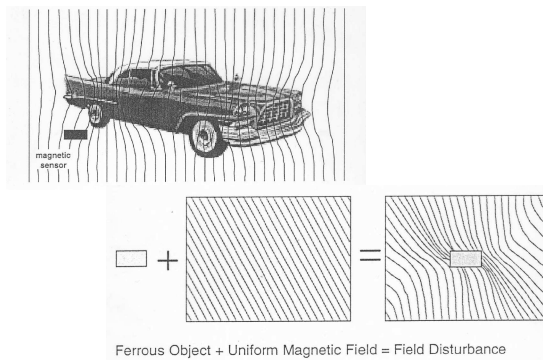
32

## MÁGNESES ANOMÁLIA



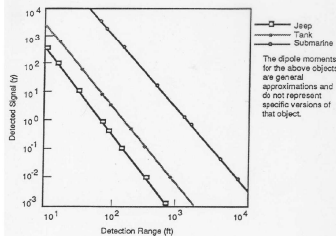
Ferromágneses test által okozott perturbáció mágneses térben: egy mágneses dipólus terének és egy homogén mágneses tér szuperpozíciója

## MÁGNESES ANOMÁLIA ÉRZÉKLEÉSE



Ferrous Object + Uniform Magnetic Field = Field Disturbance

## FERROMÁGNESES TÁRGY ÉRZÉKELÉSE



Különböző tárgyak (gépkocsi, tank, tengeralattjáró) által keltett mágneses anomália a detektálási távolság függvényében.  $1 \gamma = 1 \text{ nT}$ .

The dipole moments for the above objects are general approximations and do not represent specific versions of that object.

A Föld tere 30-60  $\mu\text{T}$  (30-60)  $\times 10^4 \gamma$ , lassú változása  $-0,1 \gamma/\text{nap}$ .  
0,01  $\gamma$  érzékenységnél (ekkor ki kell szűrni a rövididejű geomágneses fluktuációkat) a detektálási távolságok:  
jeep – 100-200 m, tank – kb. 300 m, tengeralattjáró 3-4 km. <sub>35</sub>

## ALKALMAZÁSOK GÉPKOCSIKBAN

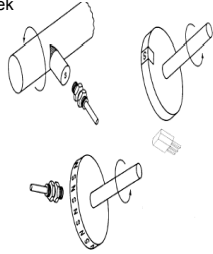
36

36

## 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 különálló mágnesek szolgáltatják. Felhasználási területek lehetnek, az igényektől függően:

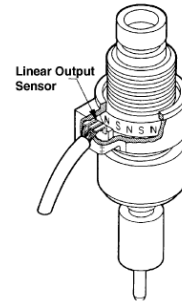
- Sebesség ellenőrzés
- Motor időzítés ellenőrzése
- Alsó vagy felső sebességhatár érzékelése
- Tárcsa sebességének érzékelése
- Gépkocsi sebességváltójának ellenőrzése
- Ventilátor mozgás érzékelése
- Tengely forgás számláló
- Helyzet meghatározás
- Lineáris vagy forgó pozicionálás
- Forgó mozgás helyzet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



## SEBESSÉG-ÉRZÉKELÉS

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

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



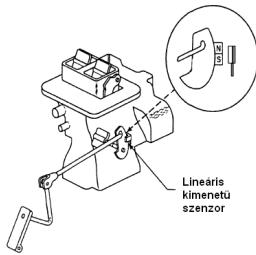
38

38

## 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.



39

39

## GÁZPEDÁL ÁLLÁSSZÖGE

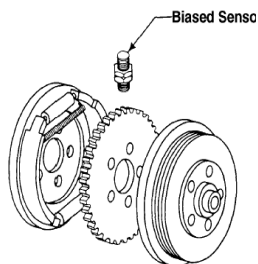


40

40

## FÉK BLOKKOLÁS ÉRZÉKELÉSE

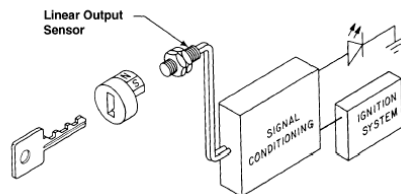
Az ábrán látható elrendezés egy lehetséges megoldást kínál a fékerő szabályozására lehetővé téve, hogy a fékek ne blokkoljanak. Ez a biased sensor, úgy van pozicionálva, hogy a fékdob belsejében elhelyezkedő fogaskerék mozgását érzékeli és ennek függvényében szabályozza a fékerőt. Ha blokkolást érzékel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



41

41

## 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

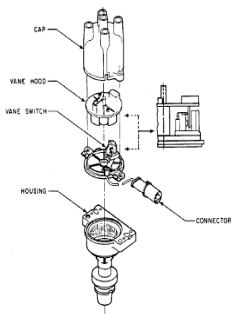
42

42

## GYUJTÁSELOSZTÓ

Gyújtás elosztó, modern lapátkeres szenzorral. Csésze alakú a lapátkerek, 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 kivétel, nagy megbízhatóság. Szélsőséges hőmérsékleteken is működőképes.

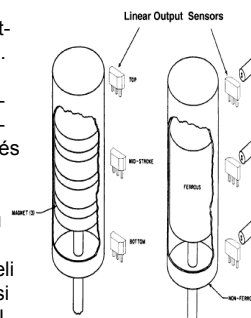


43

43

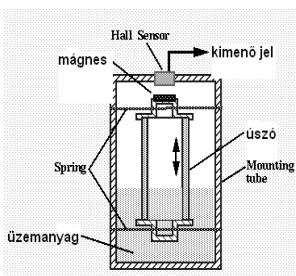
## DUGATTYÚ HELYZETÉNEK MEGHATÁROZÁSA

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 különféleképpen programozhatják, mindenféle benzintartályra! Így a tankból érkező jelzés arányos az üzemanyag aktuális szintjével.



45

45

VÉGE

46

46