

### 3. SENZORI POZICIJE (POMAKA)

#### Dužina, Pozicija, Pomeraj, apsolutno i relativno merenje dužine.

- **Dužina** spada u red osnovnih fizikalnih veličina i njeno merenje ima fundamentalni značaj u tehnici i ljudskoj delatnosti uopšte.
- Merenje ukupne dužine nekog tela je **apsolutno merenje**, čiji se rezultat izražava u metrima. U tehnici često nije potrebno meriti ukupnu dužinu, već samo promenu dužine posmatranog tela (**relativno merenje**).
- Pod pojmom **pozicija** podrazumevamo određivanje koordinata objekta (linearnih ili ugaonih) u odnosu na izabranu referencu.
- **Pomeraj (pomak)** podrazumeva pomeranje sa jedne pozicije na drugu za određenu udaljenost ili ugao.
- **Linearni pomak** je promena dužine (rastojanja) između dve tačke koje leže na pravoj liniji. Primarna funkcija senzora pomaka je merenje promene položaja tela pri njegovom translatornom kretanju.
- **Ugaoni pomak** je promena ugaonog položaja tela koje rotira oko neke ose. 1

- **Senzori pomaka** se mnogo primenjuju i kao sekundarni pretvarači u mernim uređajima u kojima se merena fizikalna veličina (mehaničko naprezanje, sila, pritisak, nivo, temperatura i dr.) pomoću primarnog senzora prvo pretvori u linearni ili ugaoni pomeraj.

### SENZORI LINEARNOG POMAKA

- Otpornički potencimetarski senzori
- Kapacitivni senzori
- Elektromagnetni senzori
- Specijalni senzori (*koordinatometri, linearni induktosin, itd.*)

### SENZORI UGAONOG POMAKA

- Obrtni transformatori
- Inkrementalni senzori

### PODELA SENZORA POMAKA

- Kontaktni senzori
- Beskontaktni senzori

## Pregled aplikacija na vozilu u kojima se meri pozicija (pomak)

### 1 Travel/angular positions as direct measured variables

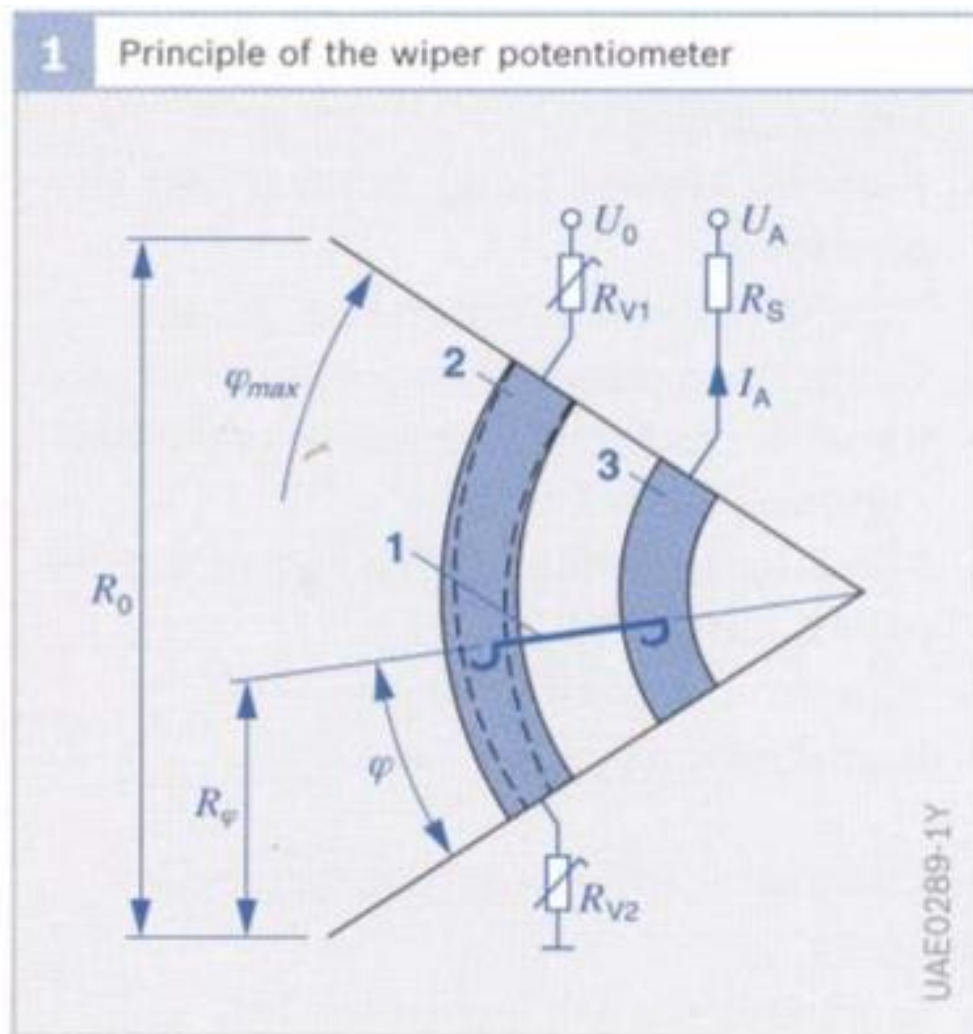
| Measured variable                                                                                    | Measuring range                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Throttle-valve position in the gasoline engine                                                       | 90°                                                         |
| Accelerator/brake-pedal position                                                                     | 30°                                                         |
| Seat, headlamp, rear-view mirror position                                                            |                                                             |
| Control-rack travel and position for diesel in-line fuel-injection pump                              | 21 mm                                                       |
| Angular setting of the injected fuel-quantity actuator on the diesel distributor-type injection pump | 60°                                                         |
| Fill level in the fuel tank                                                                          | 20 to 50 cm                                                 |
| Travel of clutch servo unit                                                                          | 50 mm                                                       |
| Distance: vehicle – vehicle or vehicle – obstacle                                                    | 150 m                                                       |
| Steering (wheel) angle                                                                               | $\pm 2 \cdot 360^\circ$<br>( $\pm 2$ revolutions)           |
| Tilt angle                                                                                           | 15°                                                         |
| Angle of direction of travel                                                                         | 360°                                                        |
| GPS (Global Positioning System)                                                                      | 360° geographical latitude/longitude, geographical altitude |
| Near-range distance (US parking-aid assistant)                                                       | 1.5 m                                                       |
| Near-range radar (precrash)                                                                          | 10 m                                                        |
| External video                                                                                       | 40 m                                                        |
| Long-range and near-range infrared viewer                                                            | 100 m                                                       |

### 2 Travel/angular positions as indirect measured variables

| Measured variable                                        | Measuring range         |
|----------------------------------------------------------|-------------------------|
| Spring compression travel (headlamp range, vehicle tilt) | 25 cm                   |
| Torsion angle (torque)                                   | 1 to 4°                 |
| Deflection of a sensor plate (volume flow)               | 30 to 90°               |
| Deflection of a spring-mass system (acceleration)        | 1 to 500 $\mu\text{m}$  |
| Deflection of pressure sensor diaphragm                  | 1 to 20 $\mu\text{m}$   |
| Deflection of force measuring spring (passenger weight)  | 10 to 500 $\mu\text{m}$ |

- Tabela 1 Pregled aplikacija u kojima se pomak (translatorni/ugaoni) meri direktno
- Tabela 2 Pregled aplikacija u kojima se pomak (translatorni/ugaoni) meri indirektno

## 1. Otpornički potencijometriški senzori pozicije (pomaka)

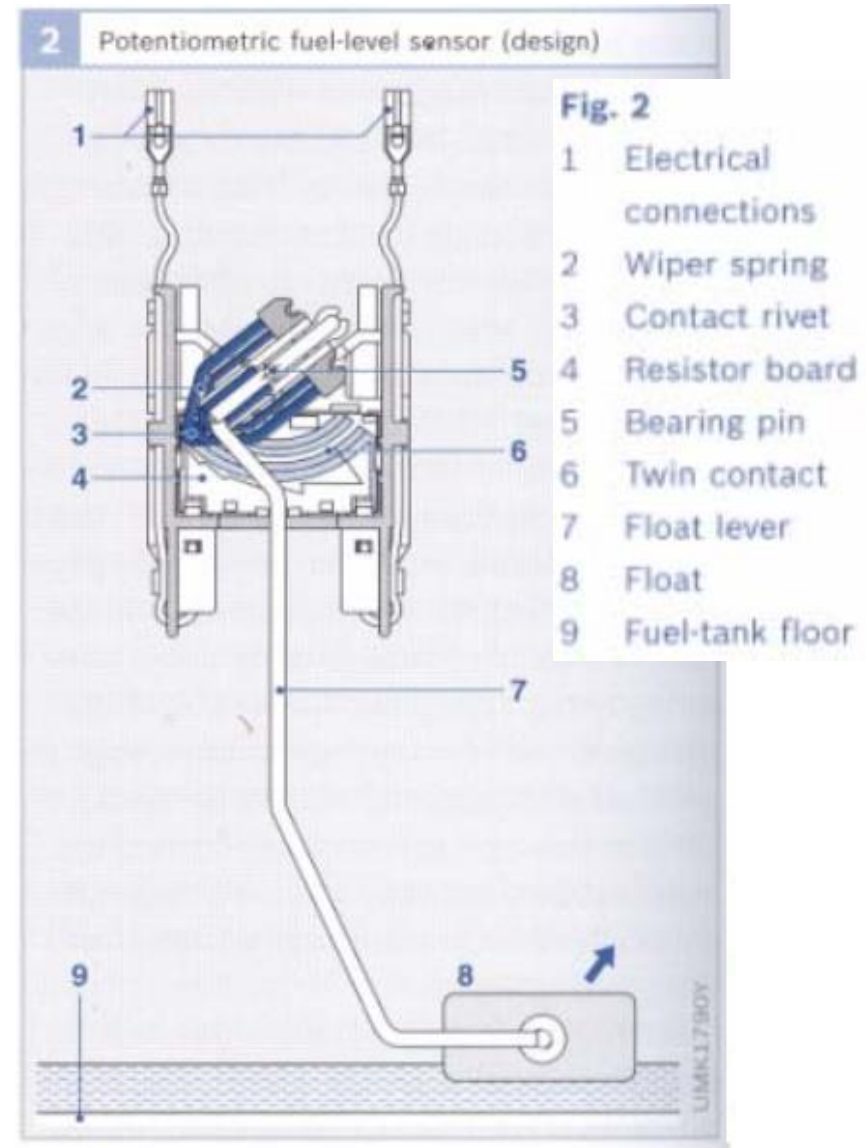


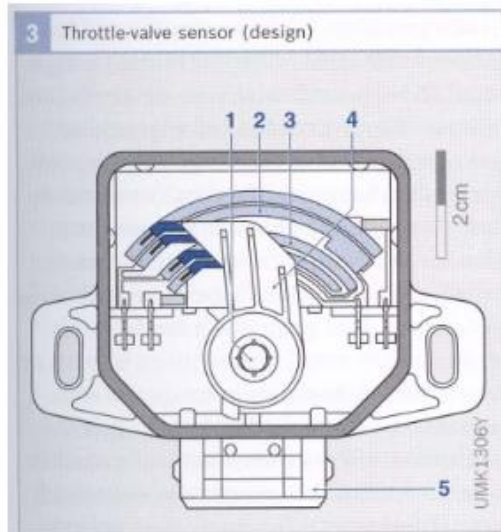
**Fig. 1**

- 1 Wiper
- 2 Resistance track
- 3 Contact conductor track
- $I_A$  Wiper current
- $U_0$  Supply voltage
- $U_A$  Measurement voltage
- $R$  Resistance
- $\varphi_{max}$  Maximum angle of rotation
- $\varphi$  Measured angle

## Primena:

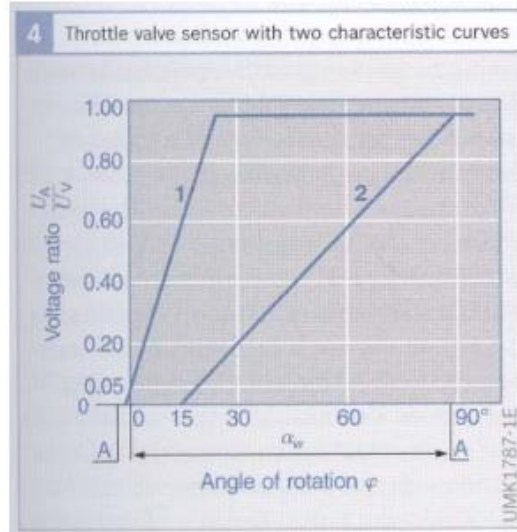
- Senzor položaja pedale gasa za zadavanje potrebnog obrtnog momenta za sistem upravljanja motorom.
- Senzor nivoa goriva (Slika 2).
- Potenciometar senzorske ploče (KE-Jetronic i L-Jetronic) za detekciju količine usisanog vazduha motora.
- Senzor položaja prigušnog leptira za određivanje položaja prigušnog leptira kod benzinskih motora (slike 3 do 5).





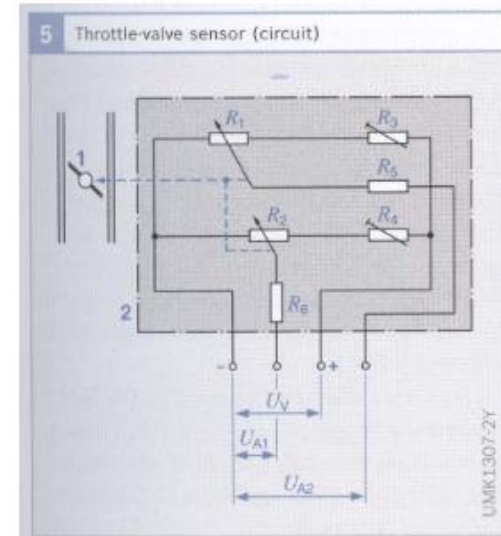
**Fig. 3**

- 1 Throttle-valve shaft
- 2 Resistance track 1
- 3 Resistance track 2
- 4 Wiper arm with wipers
- 5 Electrical connection



**Fig. 4**

- A Internal stop
- 1 Characteristic curve for high resolution in the angular range 0° to 23°
- 2 Characteristic curve for angular range 15° to 88°
- $U_A$  Measurement voltage
- $U_V$  Operating voltage
- $\alpha_w$  Effective measured angle



**Fig. 5**

- 1 Throttle valve
- 2 Throttle-valve sensor
- $U_A$  Measurement voltages
- $U_V$  Operating voltage
- $R_1, R_2$  Resistance tracks 1 and 2
- $R_3, R_4$  Calibration resistors
- $R_5, R_6$  Protective resistors

### Prednosti i nedostaci potenciometerskih senzora pozicije

#### Prednosti:

- Niska cena
- Jednostavna izrada
- Veoma širok merni efekat (izlazni merni opseg = napon napajanja)
- Visok nivo otpornosti na smetnje
- Široki temperaturni opseg (do 250 °C)
- Visoka tačnost (bolja od 1% mernog opsega)
- Širok merni opseg (moguće je skoro 360 °)
- Mogućnost kalibracije (laserska ablacija itd.)

- Fleksibilna statička karakteristika
- Fleksibilna montaža (na zakrivljene kao i ravne površine)
- Brojni proizvođači

### Nedostaci:

- Mehaničko habanje
- Greške merenja zbog abrazovanih čestica
- Problematična primena u tečnostima
- Promenljiva otpornost kontakta između klizača i merne trake
- Veliko ubrzanje ili vibracija mogu dovesti do podizanja klizača
- Ograničene mogućnosti za miniaturizaciju

## Primer: potenciomet. senzora sa jednom mernom trakom

### Part number

0 280 122 001

### Technical data

|                                                                |                   |                               |
|----------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| Useful electrical angle range                                  | degrees           | $\leq 86$                     |
| Useful mechanical angle range                                  | degrees           | $\leq 86$                     |
| Angle between internal stops (must not be reached when fitted) | degrees           | $\geq 95$                     |
| Direction of rotation                                          |                   | Any                           |
| Total resistance (term. 1-2)                                   | k $\Omega$        | $2 \pm 20 \%$                 |
| Wiper protective resistor (wiper in zero position, term. 2-3)  | $\Omega$          | 710 ... 1380                  |
| Permissible wiper current                                      | $\mu A$           | $\leq 18$                     |
| Voltage ratio from stop to stop - characteristic curve 1       |                   | $0,04 \leq U_A/U_V \leq 0,96$ |
| Slope of nominal characteristic curve                          | deg <sup>-1</sup> | 0,00927                       |
| Operating temperature                                          |                   | - 40 ... + 130                |
| Approximate value for permissible vibration acceleration       | m/s <sup>2</sup>  | $\leq 700$                    |
| Service life (rotary cycles)                                   | Mill.             | 2                             |

VIDI

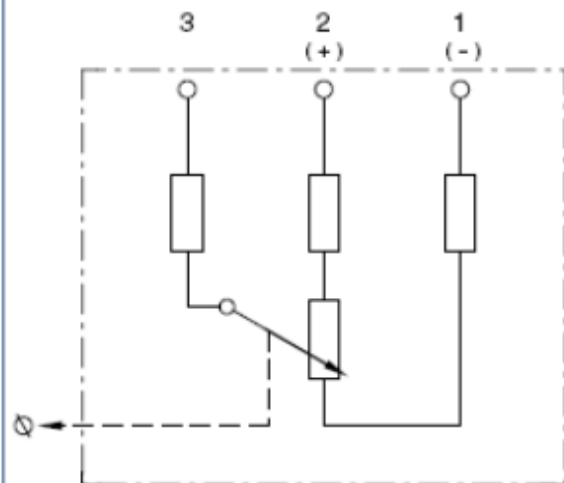
BOSCH-Katalog  
SENSORS

(u literaturi predmeta)

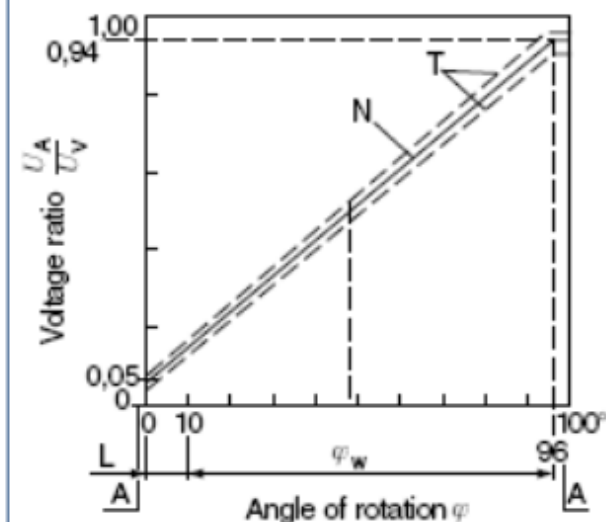
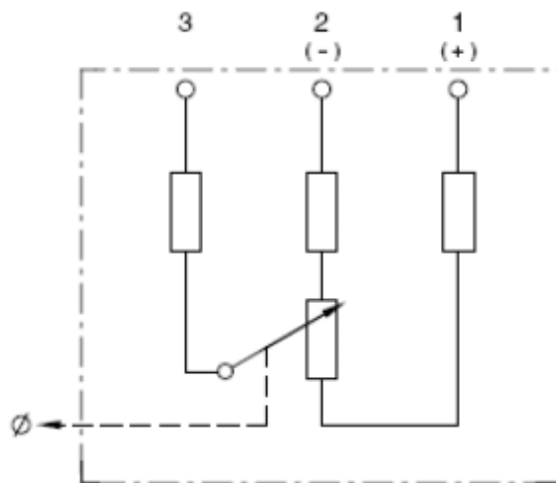


- A Internal stop
- L Positional tolerance of wiper when attached
- N Nominal characteristic curve
- T Tolerance limits
- $\phi_w$  Useful electrical angle range

### Circuit diagram 1



### Circuit diagram 2



## Primer: potenciometarskog senzora sa dve merne trake

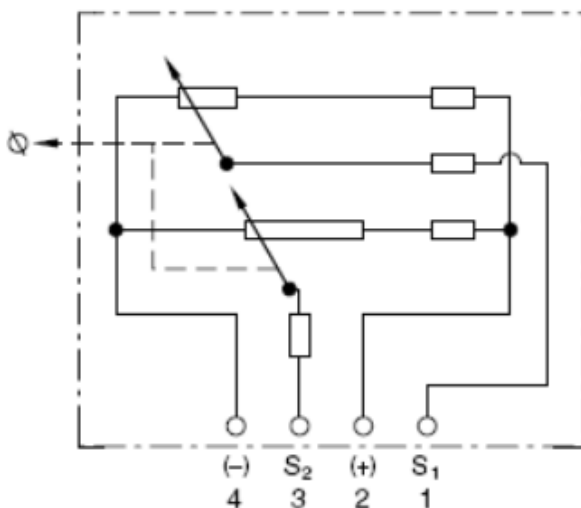
### Part number

0 280 122 201

### Technical data

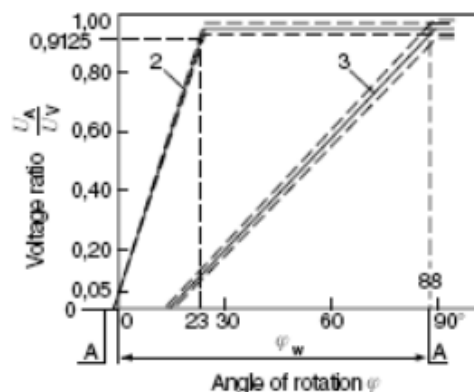
|                                                           |                  |                                     |
|-----------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------|
| Useful electrical angle range                             | degrees          | ≤ 88                                |
| Useful mechanical angle range                             | degrees          | ≤ 92                                |
| Direction of rotation                                     |                  | Anti-clockwise                      |
| Permissible wiper current                                 | μA               | ≤ 20                                |
| Voltage ratio in range 0...88 °C - characteristic curve 2 |                  | $0,05 \leq U_{A1} / U_V \leq 0,985$ |
| Voltage ratio in range 0...88 °C - characteristic curve 3 |                  | $0,05 \leq U_{A2} / U_V \leq 0,970$ |
| Operating temperature                                     |                  | - 40 ... + 85                       |
| Approximate value for permissible vibration acceleration  | m/s <sup>2</sup> | ≤ 300                               |
| Service life (rotary cycles)                              | Mill.            | 1,2                                 |

### Circuit diagram



Throttle valve in idle position

### Characteristic curve 1 and 2



A Internal stop  
φ<sub>w</sub> Useful electrical angle range

### Angle sensor

Measurement of angles up to 88°



U<sub>A</sub> Output voltage  
U<sub>V</sub> Supply voltage  
φ Angle of rotation  
U<sub>A1</sub> Output-voltage characteristic curve 2  
U<sub>A2</sub> Output-voltage characteristic curve 3



## 2. Elektromagnetni senzori pomaka

### 2.1 Induktivni senzori pomaka sa kratko-spojnim prstenom

7 Measuring principle of the short-circuiting ring sensor

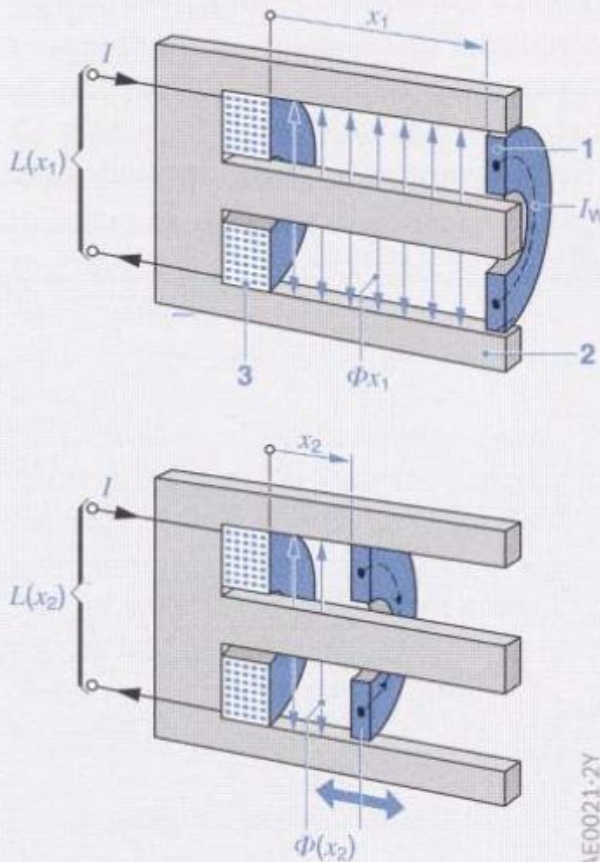


Fig. 7

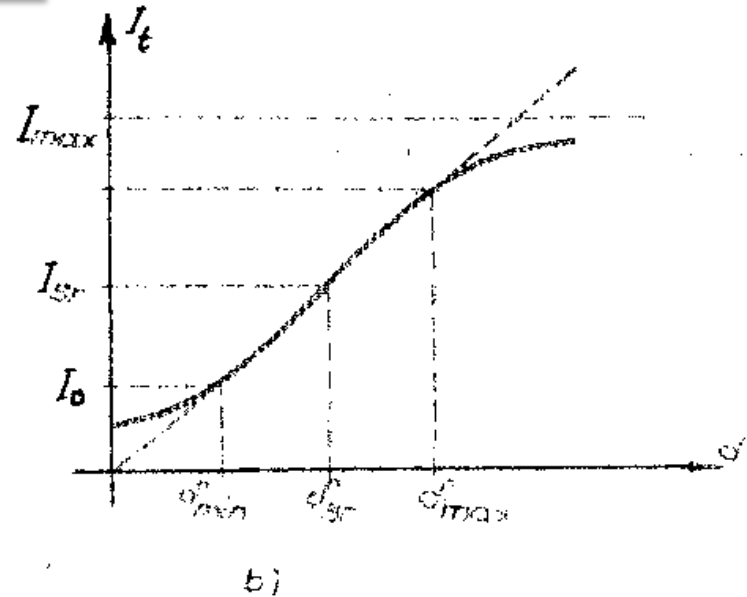
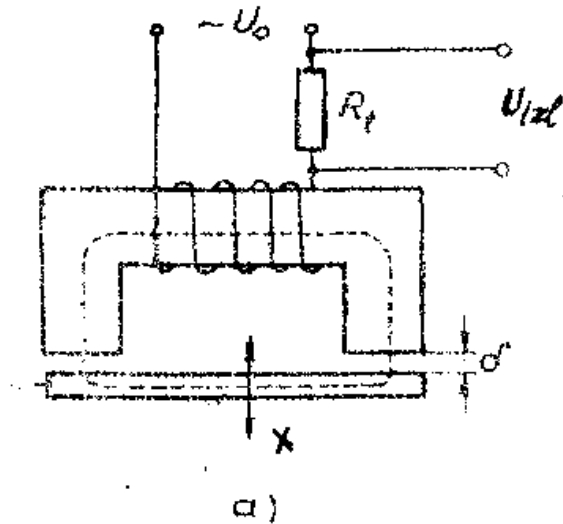
Imaging for two different measured travels

- 1 Short-circuiting ring
- 2 Soft-magnetic core
- 3 Coil
- $I$  Current
- $I_w$  Eddy current
- $L(s)$  Inductance and
- $\Phi(s)$  Magnetic flux in measured travel  $s$

Princip rada **elektromagnetnih senzora** zasniva se na zavisnosti induktivnosti kalema od promene otpora elektromagnetnog kola

- Spadaju u beskontaktno senzore pozicije.
- Od svih senzora koji se koriste za beskontaktno merenje pozicije, induktivni senzori se odlikuju najrobusnijom konstrukcijom.
- Linarna statička karakteristika (zavisnost  $L(s)$  je linearna u mernom području senzora).
- Rade na relativno niskim frekvencijama (od 5 do 50 kHz) i bez potrebe za ugradnjom lokalne elektronike.
- Izuzetna otpornost na smetnje (feromagnetno jezgro veoma dobro vrši zaštitu od spoljnih elektromag. smetnji)
- U poređenju sa mikromehaničkim senzorima zahtevaju znatno veći prostor.

## Induktivni senzori - princip rada



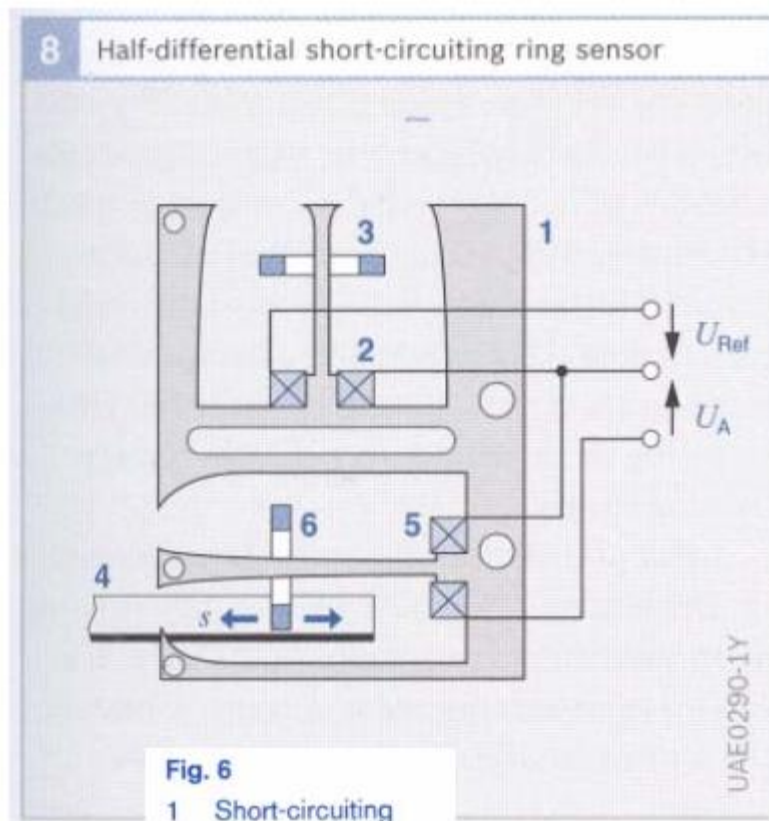
$$G_m = \frac{1}{R_{Fe} + R_\delta} \quad R_\delta = \frac{2\delta}{\mu_0 S} \quad R_{Fe} \ll R_\delta \quad L = N^2 G_m = \frac{N^2 \mu_0 S}{2\delta}$$

$$I_t = \frac{U_0}{\sqrt{(R_t + R_d)^2 + X_L^2}} = \frac{U_0}{\sqrt{(R_t + R_d)^2 + \left(\frac{2\pi f \mu_0 S N^2}{2\delta}\right)^2}} \quad X_L = 2\pi f L$$

$$X_L \gg (R_t + R_d)$$

$$I_t = \frac{U_0}{X_L} = K_{ID} \cdot \delta \quad K_{ID} = \frac{I}{\delta} = \frac{U_0}{\pi f \mu_0 S N^2} \quad U_{iz} = I_t R_t = K_{ID} R_t \delta$$

## Diferencijalni induktivni senzori pomaka sa kratko-spojenim prstenom



**Fig. 8**

Design of the rack travel sensor (RW diesel in-line injection pumps)

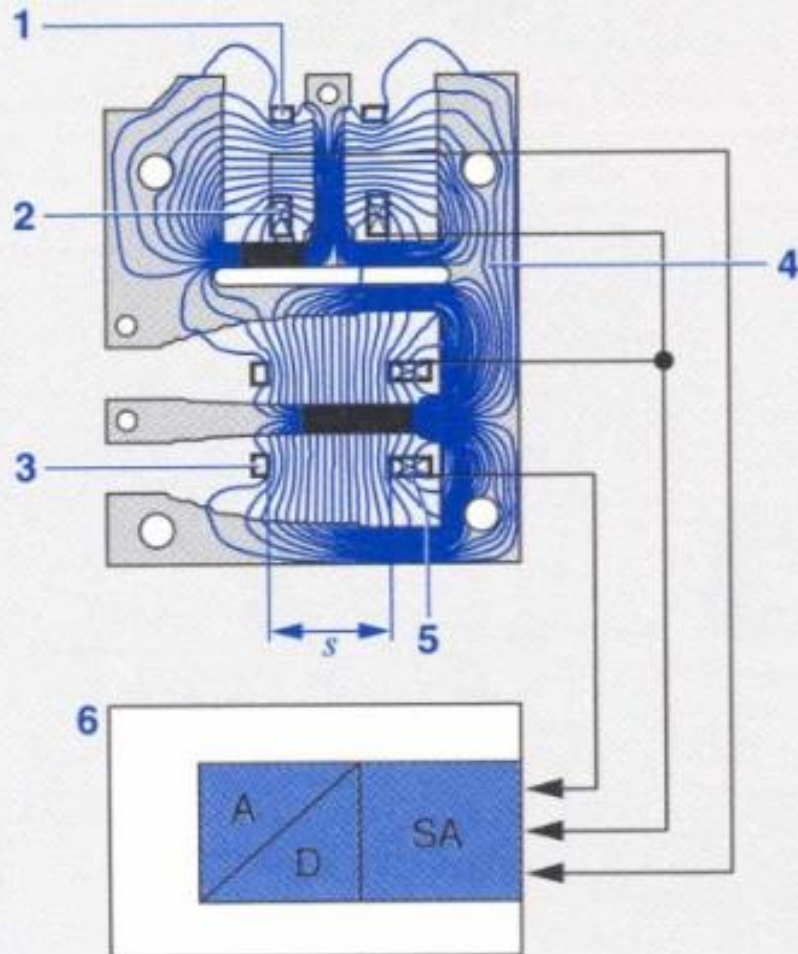
- 1 Soft-magnetic
- 2 Reference coil
- 3 Reference short-circuiting ring
- 4 Control rack
- 5 Measuring coil
- 6 Measuring short-circuiting ring
- s Control-rack travel

Poludiferencijalni senzor sa kratko-spojemnim prstenom (HD senzor) sa pomičnim i fiksnim referentnim kratko-spojemnim prstenom (Slika 8) karakteriše se visokom tačnošću merenja.

Primena:

- Senzor položaja zupčaste letve kod linijskih pumpi visokog pritiska kod dizel motora (Slika 8) i
- Senzor položaja regulacionog prstena kod aksijalnih razdelnih pumpi visokog pritiska dizel motora (HDK senzor) – Slika 9.

## 6 Magnetic lines of force in a half-differential short-circuiting-ring travel sensor used in an electronically controlled diesel in-line pump

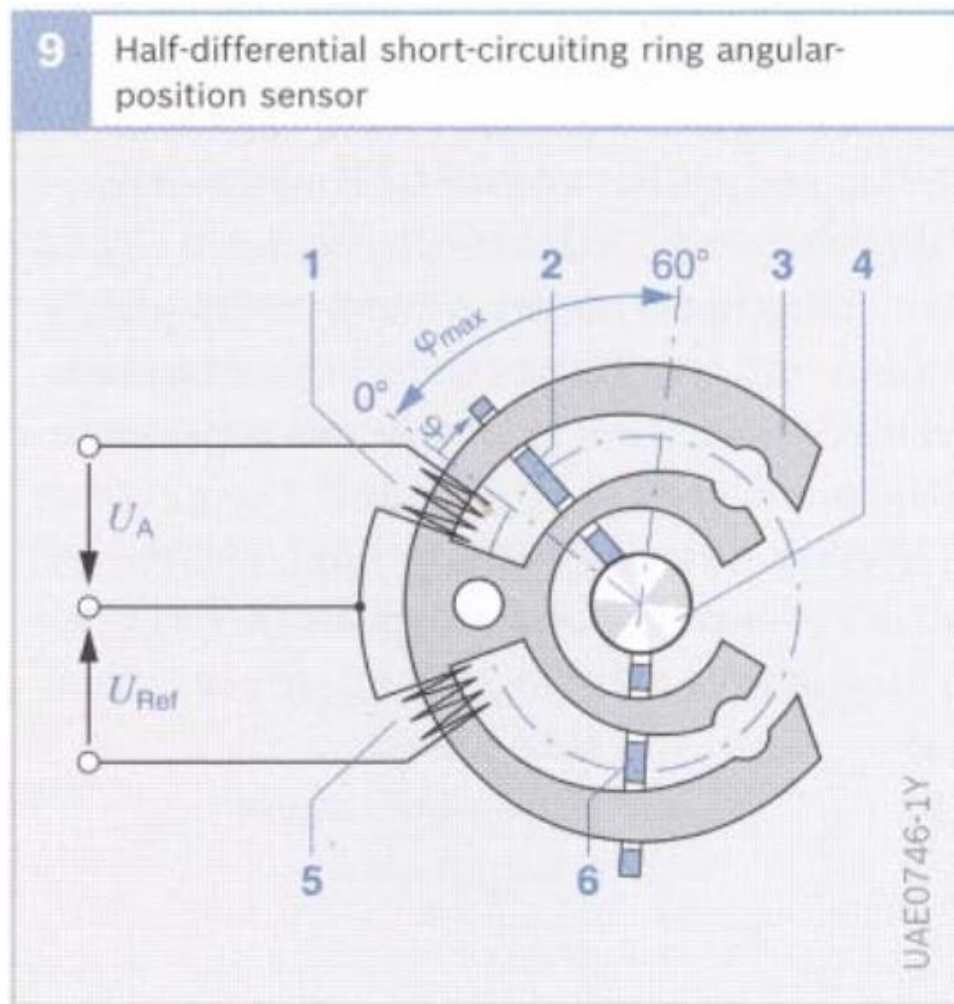


**Fig. 6**

- 1 Short-circuiting reference ring, fixed
- 2 Reference coil
- 3 Short-circuiting measuring ring, movable
- 4 Coupling flux
- 5 Measuring coil
- 6 ECU
- s Control-rack travel
- SA Signal conditioning
- A/D/A/D converter

© UAE0861Y

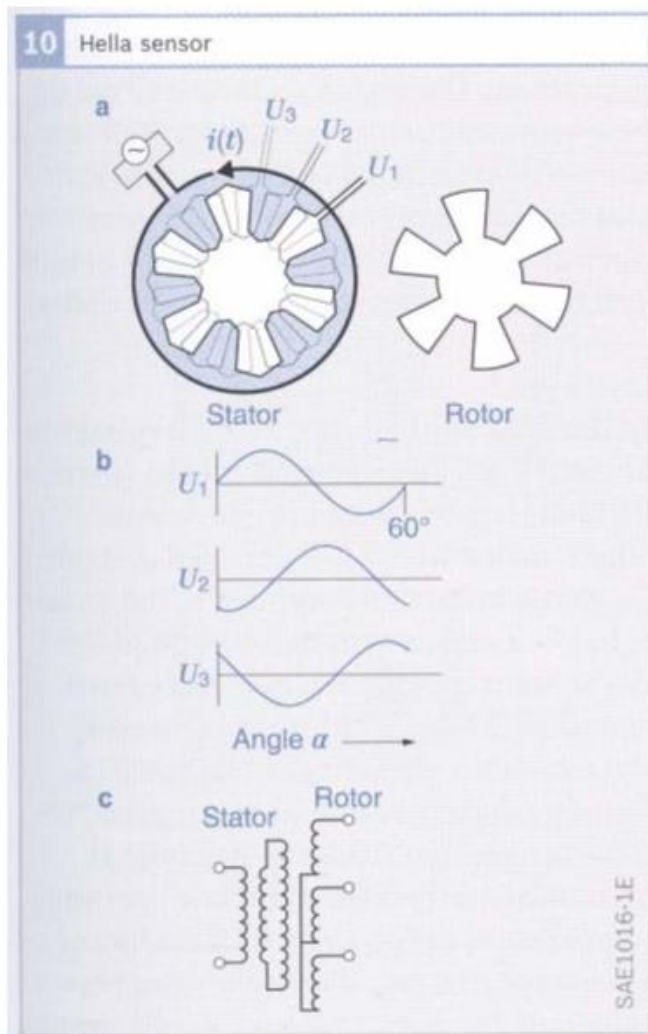
## Poludiferencijalni induktivni senzori ugaonih pomaka sa kratko-spojenim prstenom



**Fig. 9**

- 1 Measuring coil
- 2 Measuring short-circuiting ring
- 3 Soft-magnetic core
- 4 Control-collar shaft
- 5 Reference coil
- 6 Reference short-circuiting ring
- $\varphi$  Measured angle
- $\varphi_{\max}$  Adjustment-angle range for the control-collar shaft

Senzor položaja regulacionog prstena kod aksijalnih razdelnih pumpi visokog pritiska dizel motora (HD senzor).



**Fig. 10**

- a Schematic design
- b Circuit
- c Output signals

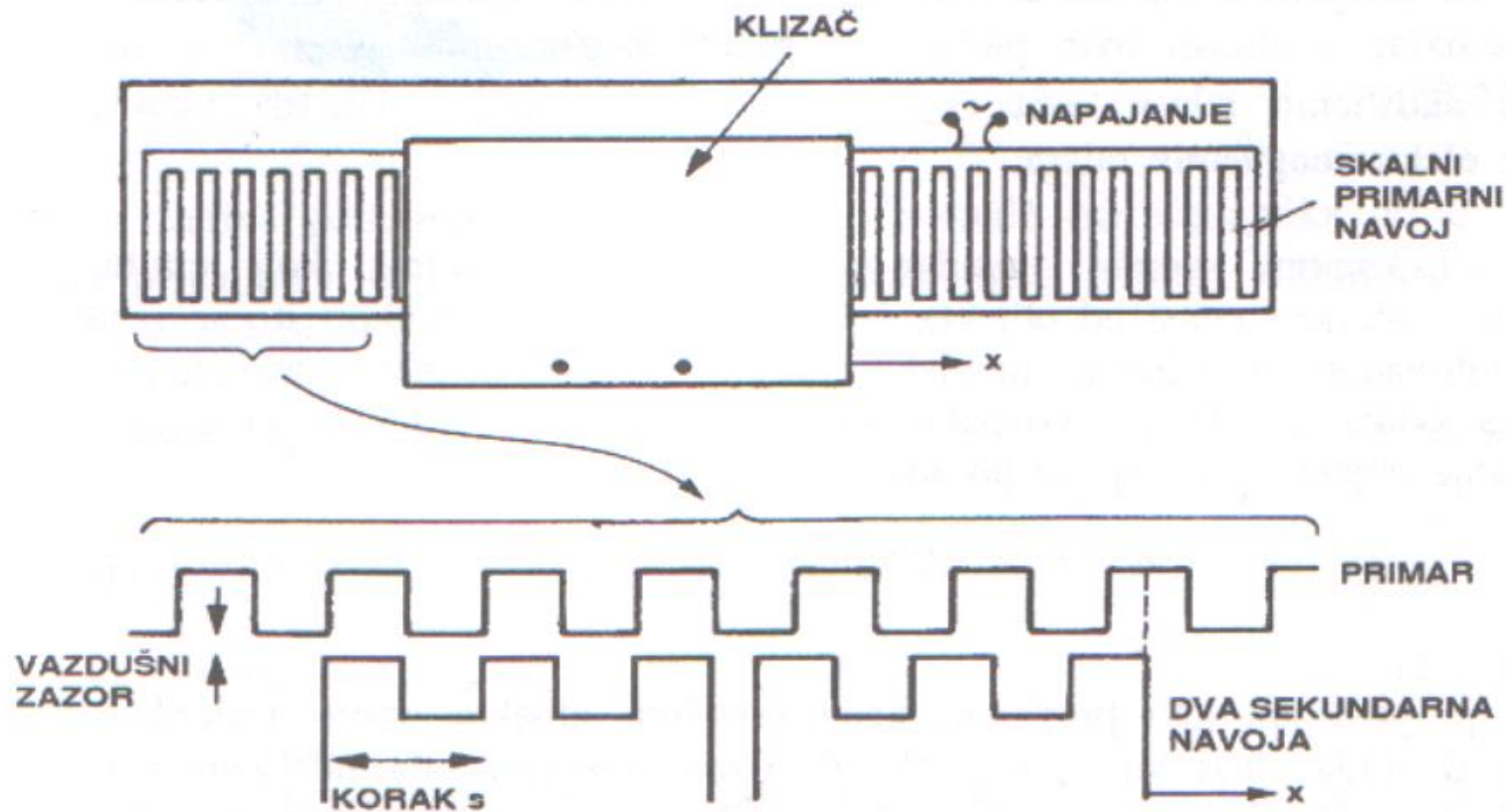
Kompanija *Hella* razvila je senzor ugaonih pomaka koji radi na principu induktosina.

Glavne prednosti ovog senzora su:

- Beskontaktni merni koncept i bez habanje
- Temperaturna nezavisnost (do  $150^\circ\text{C}$ )
- Visoka tačnost (oko  $\pm 0,09^\circ$  za područje mjerenja od  $360^\circ$ )
- Fleksibilnost primene (može se prilagoditi bilo kojem uglovnom rasponu do  $360^\circ$ )
- Mogućnost redundantnog dizajna
- Visoka otpornost na EM smetnje (EMC)
- Korišćenje isključivo standardnih materijala (bez feromagnetskih komponenti)
- Jednostavna izrada (princip folija)
- Niska cena

Zbog toga se koristi za mnoga merenja na motornim vozilima.

## Linearni induktosin



$$s = 2 \text{ mm},$$
$$d = 0,125 \text{ mm}$$
$$V_s = V \sin(\omega t)$$

$$V_1 = V \sin(\omega t) \cos(2\pi x/s)$$
$$V_2 = V \sin(\omega t) \sin(2\pi x/s)$$

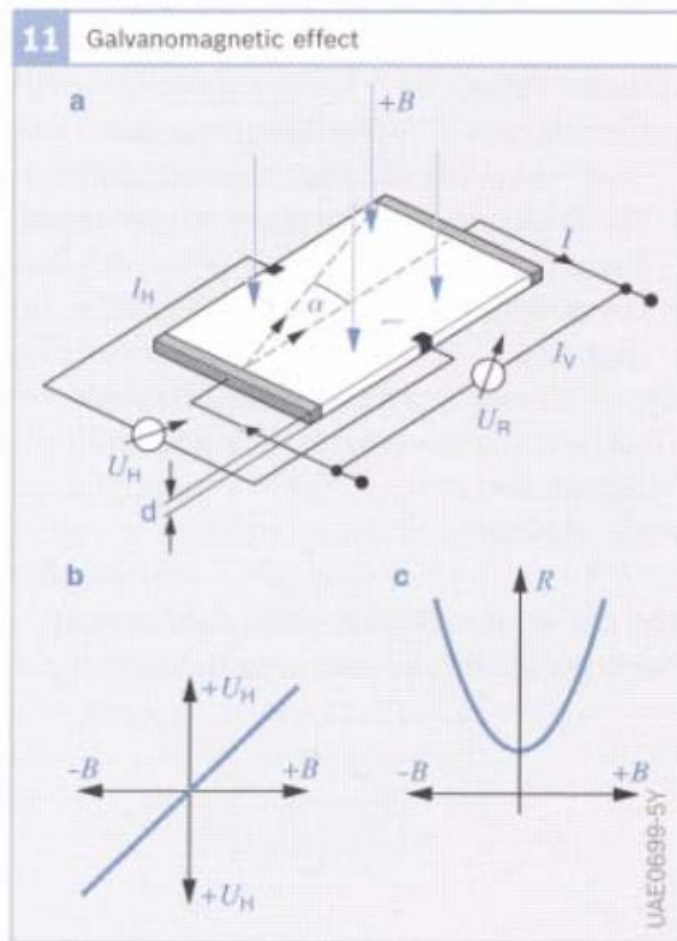
## 3. Magnetno-statički senzori

- **Magnetno-statički senzori** mere jačinu jednosmernog magnetnog polja (DC magnetno polje).
- U odnosu na magnetno-induktivne senzore, pogodniji su za minijaturizaciju i jeftiniji su za primenu u mikrosistemskim tehnikama proizvodnje.
- Osnovni principi rada su:
  - *galvansko-magnetni efekat* (Holov i Gausov efekt),
  - *anizotropno-magnetno otporni efekat* (AMR) u tehnici tankog filma.

## Magnetno-statički senzori - galvansko-magnetni efekt

Fig. 11

- a Circuit
- b Curve of Hall voltage  $U_H$
- c Increase of wafer resistance  $R$  (Gaussian effect)
- $B$  Magnetic induction
- $I$  Wafer current
- $I_H$  Hall current
- $I_V$  Supply current
- $U_R$  Longitudinal voltage
- $\alpha$  Deviation of the electrons due to the magnetic field



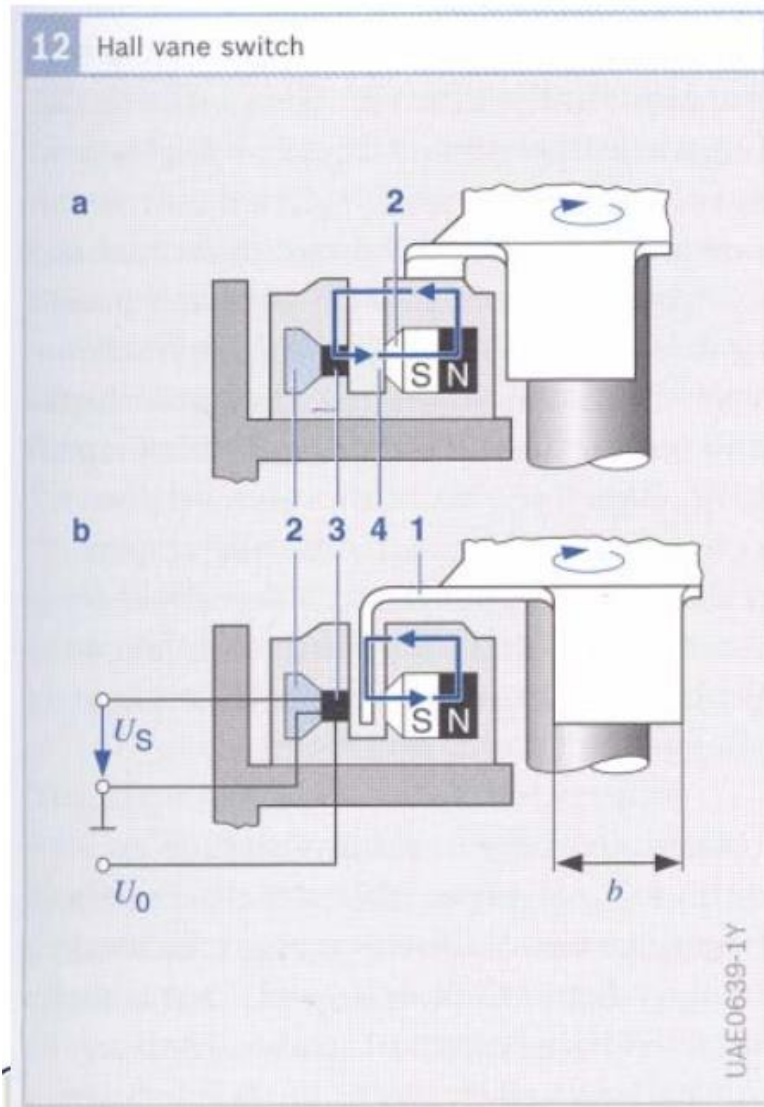
- Ako kroz poluprovodnički element debljine  $d$  protiče struja  $I$ , a na njega deluje magnetna indukcije  $B$  u normalnom pravcu, usled delovanja Lorencove sile dolazi do promene smeru kretanja elektrona za ugao  $\alpha$ .
- Kao posledica neravnomerne raspodele naelektrisanja po poluprovodničkom elementu na poprečnim krajevima pločice dolazi do generisanja napona  $U_H$ , proporcionalnog magnetnoj indukciji  $B$  i jačini struje  $I$ , odnosno:

$$U_H = \frac{IBR_H}{d}$$

$R_H$  – Holov koeficijent,  
 $d$  - debljina poluprovodničkog elementa.

## Realizacije Holovih senzora pozicije

### Holov prekidač

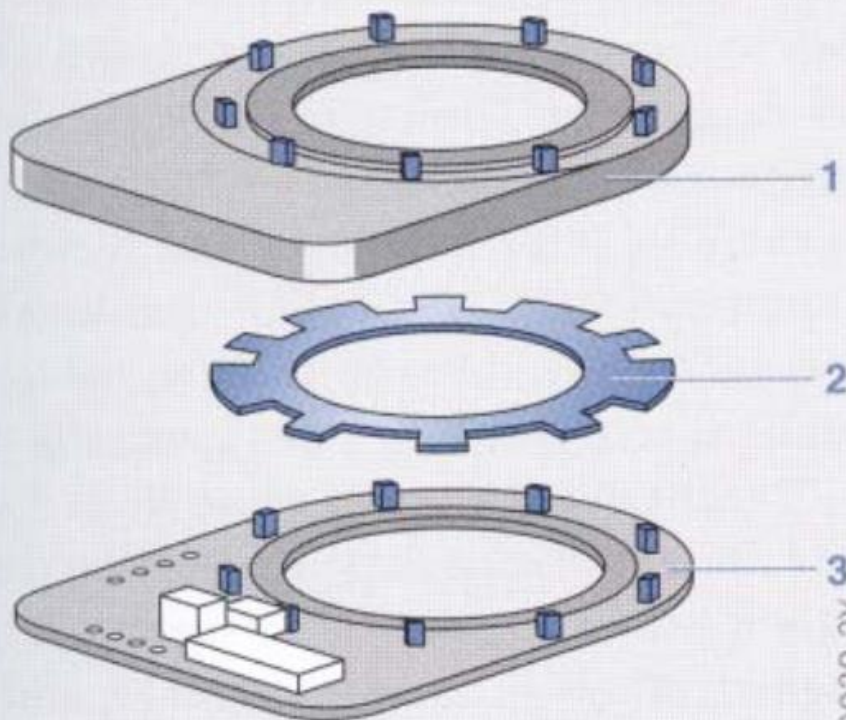


- Holov napon se vodi u elektronsko integralno kolo senzora (Schmitt-ov trigger), pa je izlazni signal digitalnog oblika.
- Ako je magnetna indukcija  $B$  senzora ispod donje granične vrednosti, izlazna vrednost iz trigeru je logička vrednost 0 (odgovara isključenom stanju), a ako je iznad gornje granične vrednosti tada odgovara logičkoj vrednosti 1 (radno stanje).
- Potrebna promena indukcije  $\Delta B$  za okidanje Holovog prekidača je obično oko 50 mT

- Nedostatak je nepreciznost merenja analognih promenljivih.

22

Digital Hall angular-position sensor with  
n Hall switches



UFL0029-2Y

**Fig. 22**

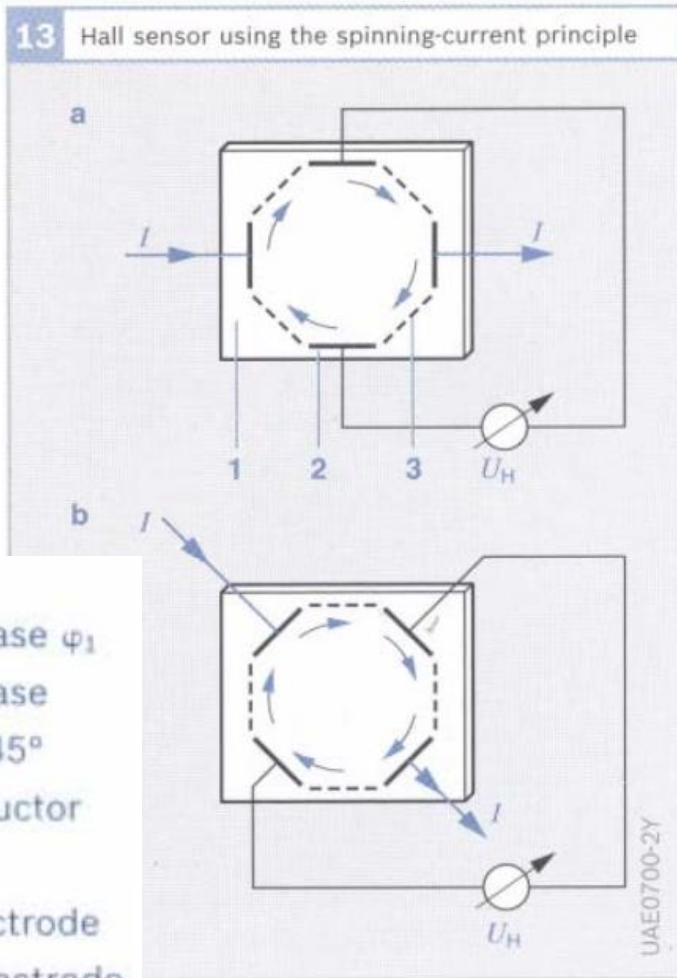
Angular position  
measurement up to  
360° with a circular,  
equidistant arrange-  
ment of simple Hall  
switches

- 1 Housing with  
permanent magnets
- 2 Code disk
- 3 Printed-circuit  
board with Hall  
switches

Digitalnim senzor ugla upravljača

## Realizacije Holovih senzora pozicije

### Holov senzor na principu vrtložnih struja



- Osnovni nedostatak jednostavnijih silicijumskih Holovih senzora je njihova istovremena osetljivost na mehaničko naprezanje (piezo-električni efekat), što je nemoguće izbeći tokom eksploatacionog veka senzora, kao i negativan uticaj temperature na tačnost merenja.
- Navedeni nedostatak može se otkloniti primenom principa **obrtnih (vrtložnih) struja**.
- Ovakav Holov senzor je pogodan za merenje malih pomaka pri kojima se registruju promene magnetnog polja permanentnog magneta.

## Realizacije Holovih senzora pozicije

### Diferencijalni Holov senzor

14 Differential Hall sensor

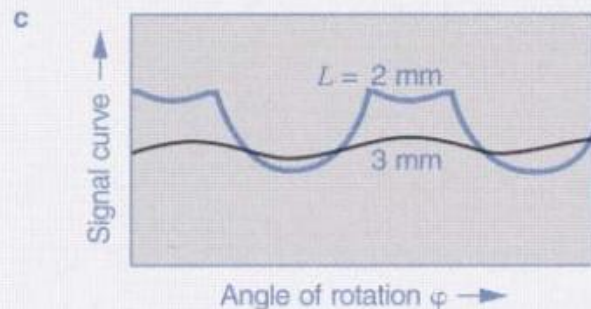
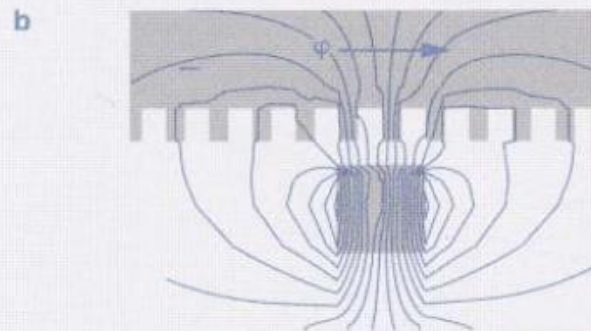
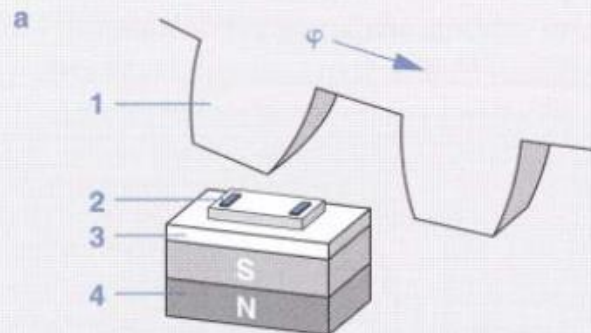


Fig. 14

- a Design
- b Field-strength distribution (1.5 times increment spacing)
- c Signal curve for air-gap widths  $L$
- 1 Ring gear
- 2 Differential Hall IC
- 3 Homogenizing wafer (soft iron)
- 4 Permanent magnet

- Dva Holova sistema su postavljena na tačno definisanom rastojanju.
- Odgovarajuće elektronsko kolo obrađuje razliku dva Holova napona.
- Izlazni signal uglavnom nezavisan od apsolutne vrednosti jačine magnetnog polja, odnosno meri samo promenu magnetne indukcije u prostoru (gradijent polja), zbog čega su i dobili naziv - Gradijentni senzori.

## Realizacije Holovih senzora pozicije

### Holov senzor ugla rotacije do $180^\circ$

15 Analog Hall angular-position sensor (movable magnet)

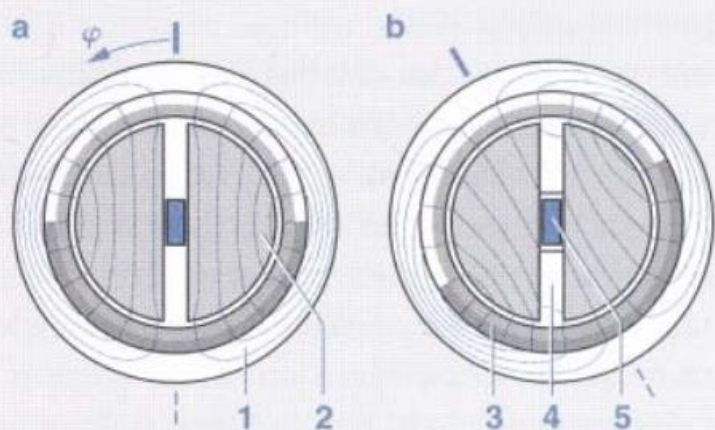
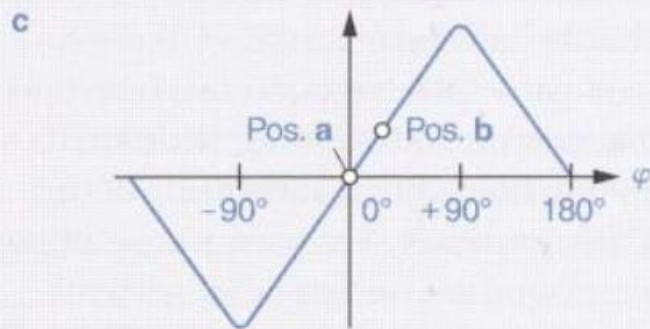


Fig. 15

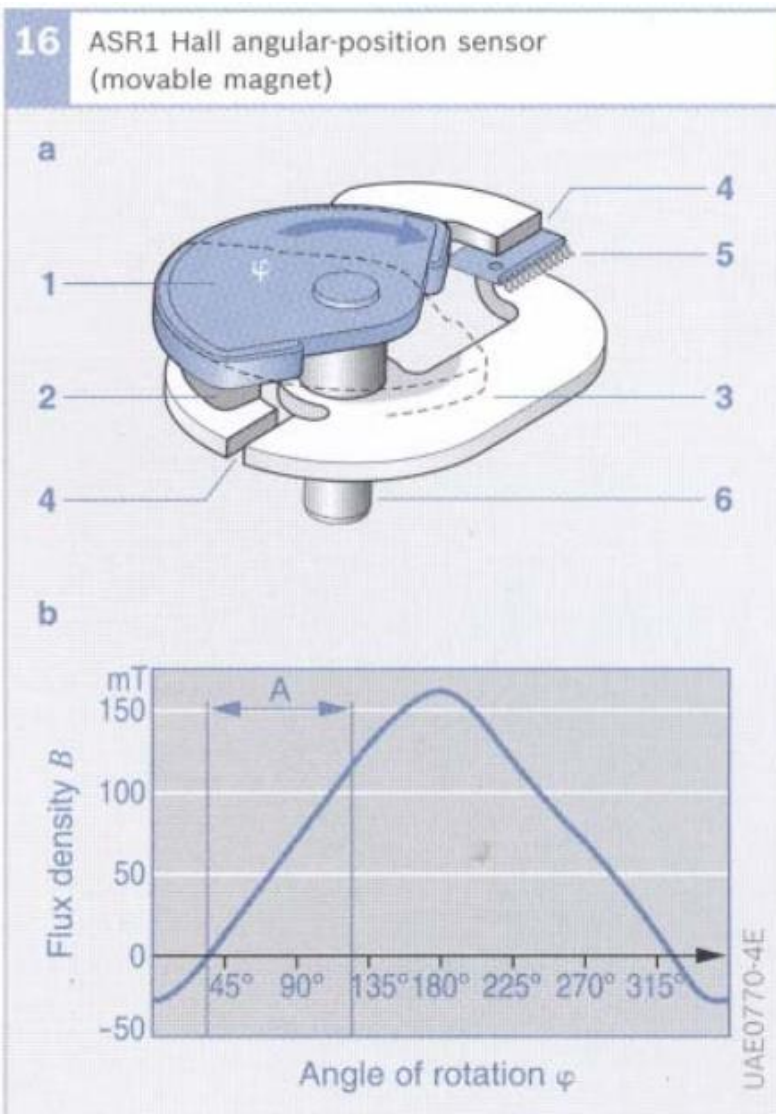
Linear characteristic curve for angles up to  $180^\circ$

- a Position a
- b Position b
- c Output signal
- 1 Magnetic yoke
- 2 Stator (1, 2 soft iron)
- 3 Rotor (permanent magnet)
- 4 Air gap
- 5 Hall sensor
- $\varphi$  Angle of rotation



- Ovaj tip senzora koristi rotacioni magnetni prsten (**pokretni magnet**) sa određenim brojem fiksnih feromagnetnih provodnih elemenata.
- Izlazni signal je linearan u širem mernom području.
- Efektivna vrednost magnetnog polja preko Holovog senzora direktno zavisi od ugla rotacije  $\varphi$ .

## Holov senzor ugla rotacije tipa ARS1



**Fig. 16**

Linear characteristic curve for angles up to approximately 90°

a Design

b Characteristic curve with working range A

1 Rotor disk (permanent-magnetic)

2 Pole shoe

3 Conductive element

4 Air gap

5 Hall sensor

6 Shaft (soft magnetic)

- Senzor ugla rotacije (ARS1) s mernim područjem oko 90° izveden je na principu Holovog senzora sa pokretnim magnetom.
- Magnetni fluks iz praktično polukružnog diska permanentnog magneta zatvara se preko polnog nastavka, dva dodatna provodna elementa od kojih svaki sadrži Holov senzor.
- Primenom ovog principa dobija se praktično linearna izlazna karakteristika.