

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

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	$\pm 2 \cdot 360^\circ$ (± 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 μm
Deflection of pressure sensor diaphragm	1 to 20 μm
Deflection of force measuring spring (passenger weight)	10 to 500 μm

- 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 potenciometerski senzori pozicije (pomaka)

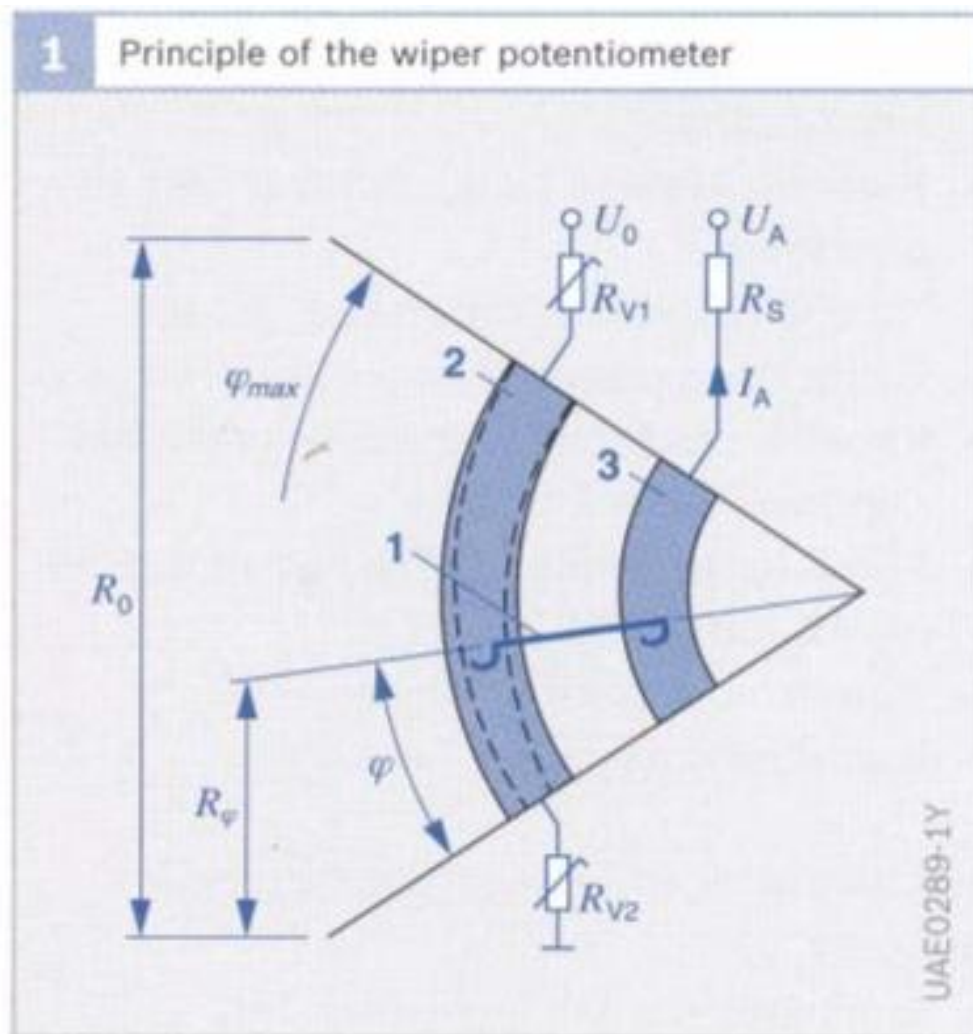
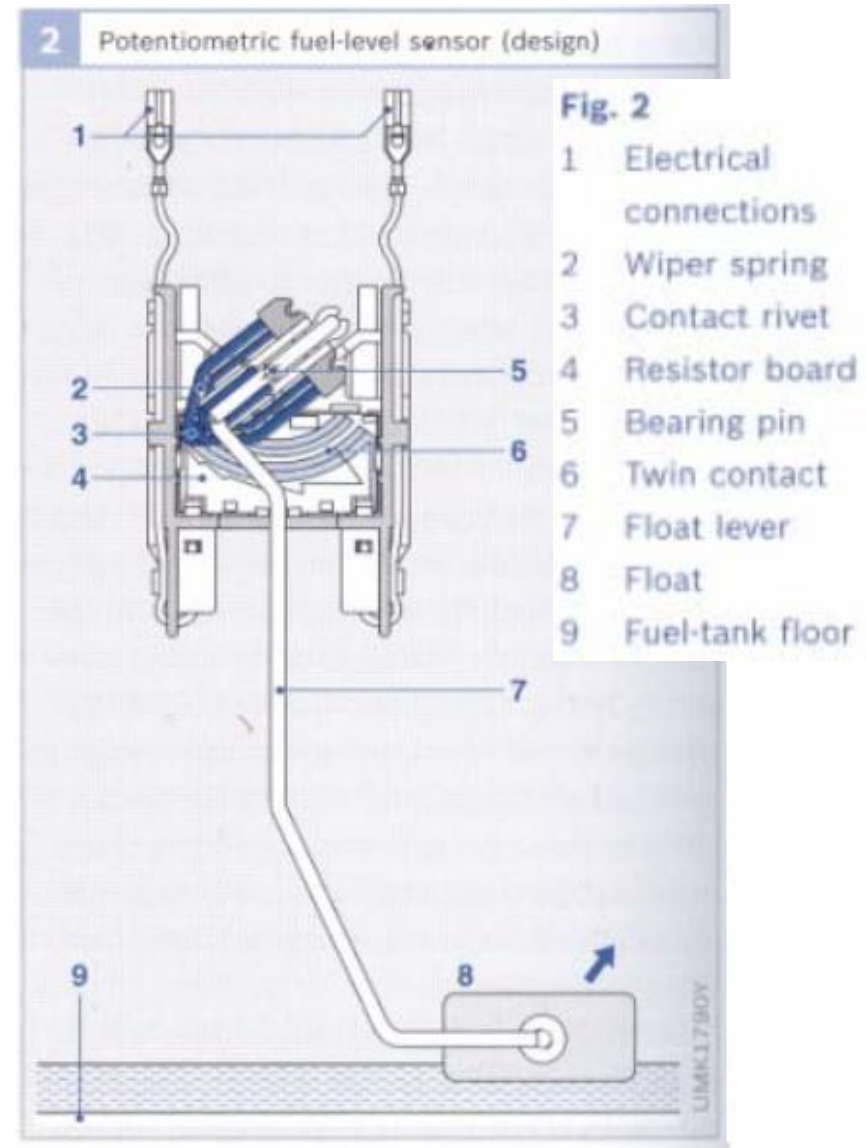


Fig. 1

- 1 Wiper
- 2 Resistance track
- 3 Contact conductor track
- I_A Wiper current
- U_0 Supply voltage
- U_A Measurement voltage
- R Resistance
- φ_{max} Maximum angle of rotation
- φ 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).



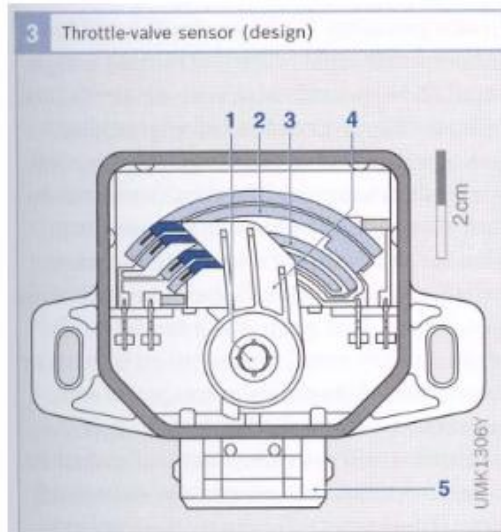


Fig. 3

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

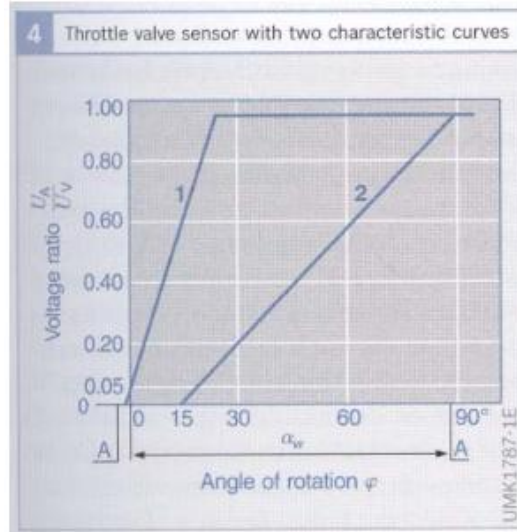


Fig. 4

- 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
- α_w Effective measured angle

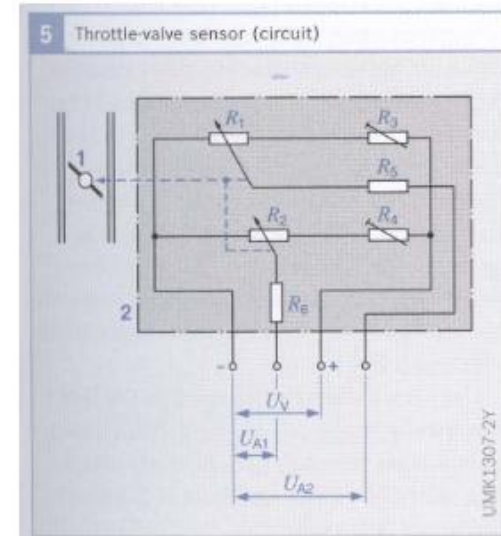


Fig. 5

- 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	≤ 86
Useful mechanical angle range	degrees	≤ 86
Angle between internal stops (must not be reached when fitted)	degrees	≥ 95
Direction of rotation		Any
Total resistance (term. 1-2)	k Ω	$2 \pm 20 \%$
Wiper protective resistor (wiper in zero position, term. 2-3)	Ω	710 ... 1380
Permissible wiper current	μA	≤ 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^{-1}	0,00927
Operating temperature		- 40 ... + 130
Approximate value for permissible vibration acceleration	m/s^2	≤ 700
Service life (rotary cycles)	Mill.	2

VIDI

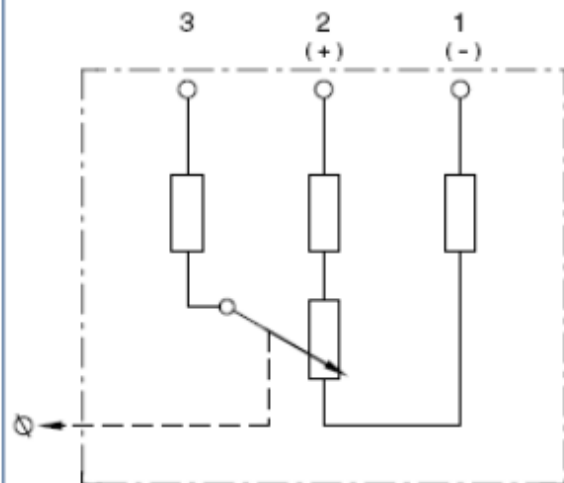
BOSCH-Katalog
SENSORS

(u literaturi predmeta)

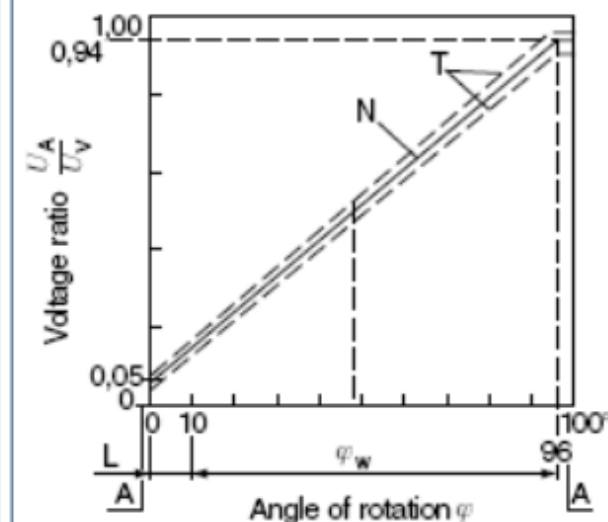
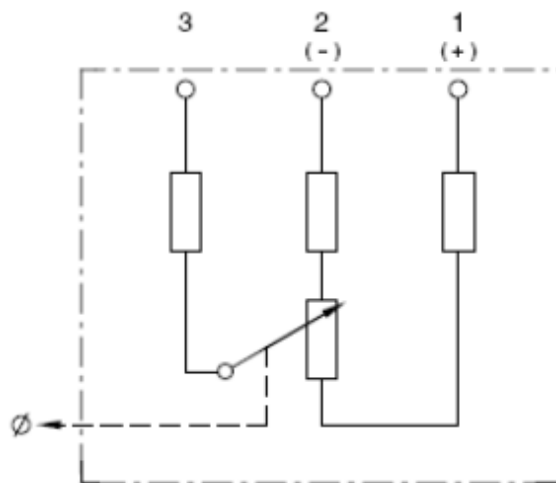


- A Internal stop
- L Positional tolerance of wiper when attached
- N Nominal characteristic curve
- T Tolerance limits
- ϕ_w Useful electrical angle range

Circuit diagram 1



Circuit diagram 2



Primer: potenciometarskog senzora sa dve merne trake

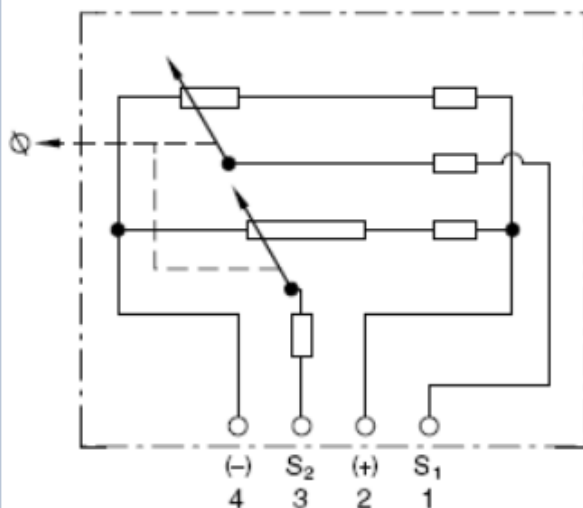
Part number

0 280 122 201

Technical data

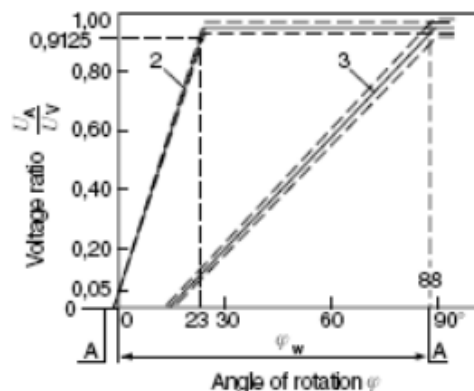
Useful electrical angle range	degrees	≤ 88
Useful mechanical angle range	degrees	≤ 92
Direction of rotation		Anti-clockwise
Permissible wiper current	μA	≤ 20
Voltage ratio in range 0...88 °C - characteristic curve 2		$0,05 \leq U_{A1} / U_V \leq 0,985$
Voltage ratio in range 0...88 °C - characteristic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

Circuit diagram



Throttle valve in idle position

Characteristic curve 1 and 2



A Internal stop
 ϕ_w Useful electrical angle range

Angle sensor

Measurement of angles up to 88°



U_A Output voltage
 U_V Supply voltage
 ϕ Angle of rotation
 U_{A1} Output-voltage characteristic curve 2
 U_{A2} Output-voltage characteristic curve 3



2. Elektromagnetni senzori pomaka

2.1 Induktivni senzori pomaka sa kratko-spojnim prstenom

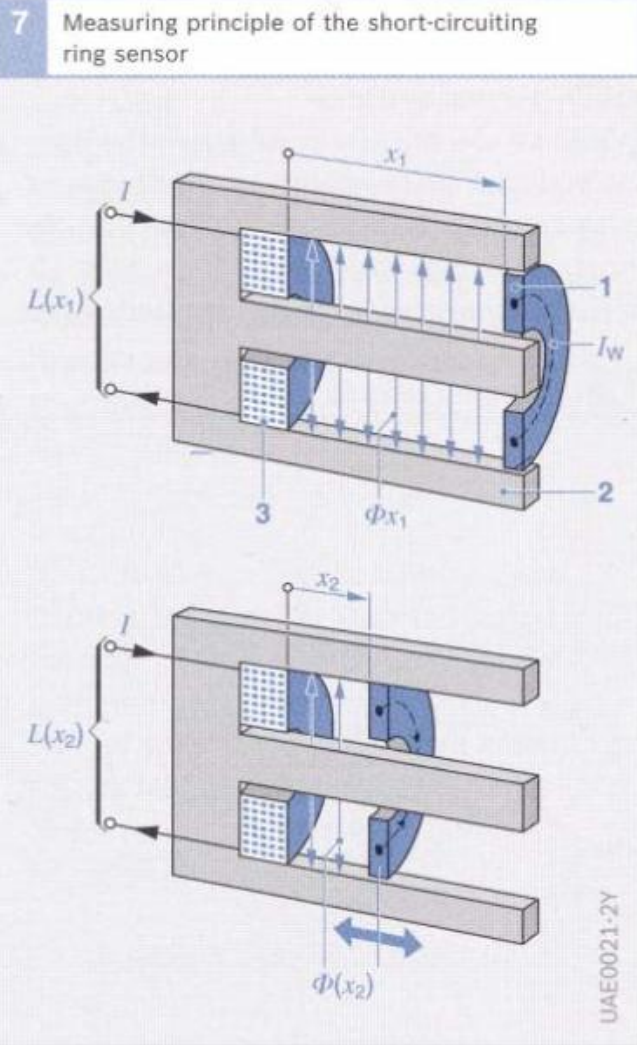


Fig. 7
Imaging for two different measured travels

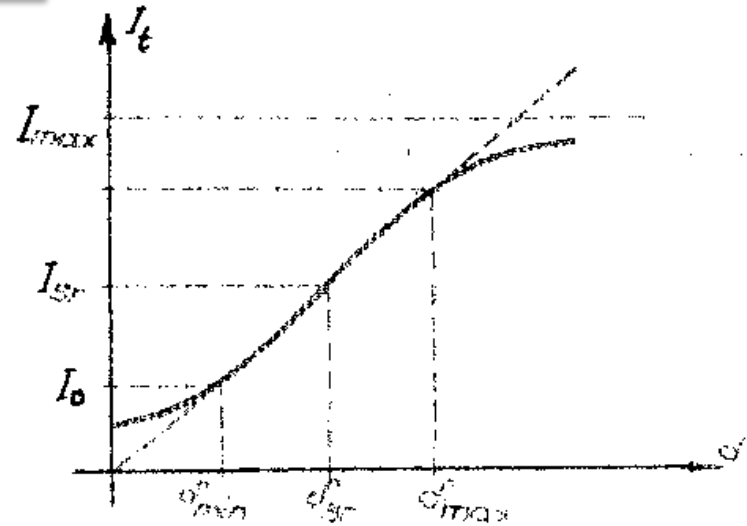
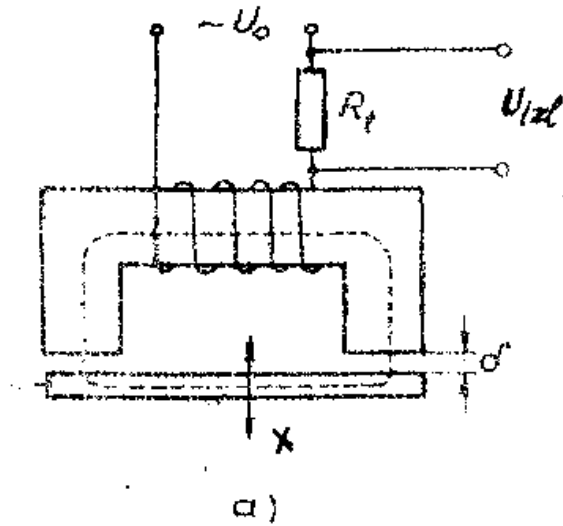
- 1 Short-circuiting ring
- 2 Soft-magnetic core
- 3 Coil

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

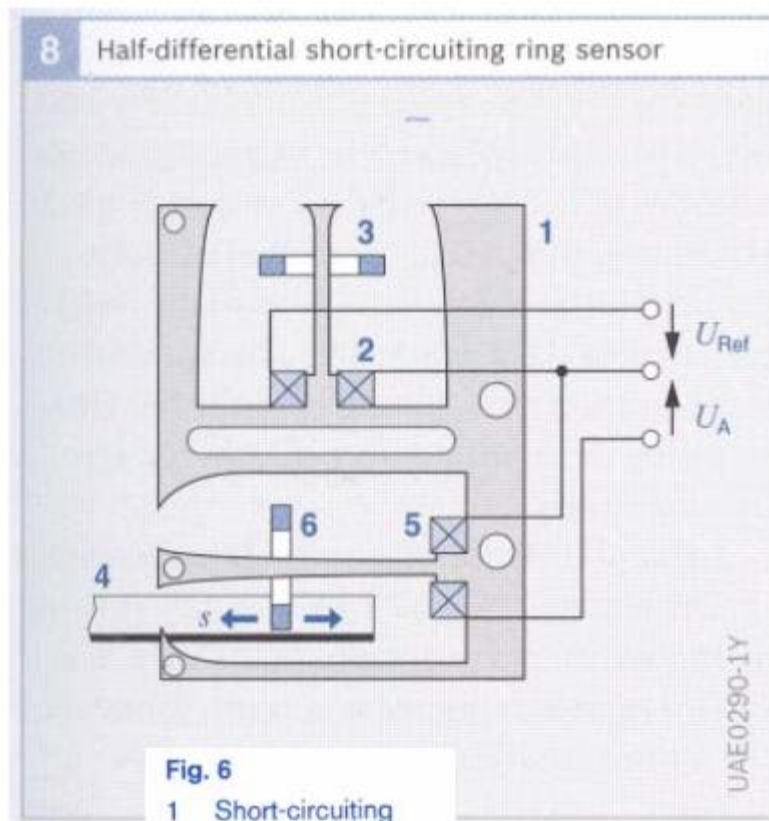


Fig. 8

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

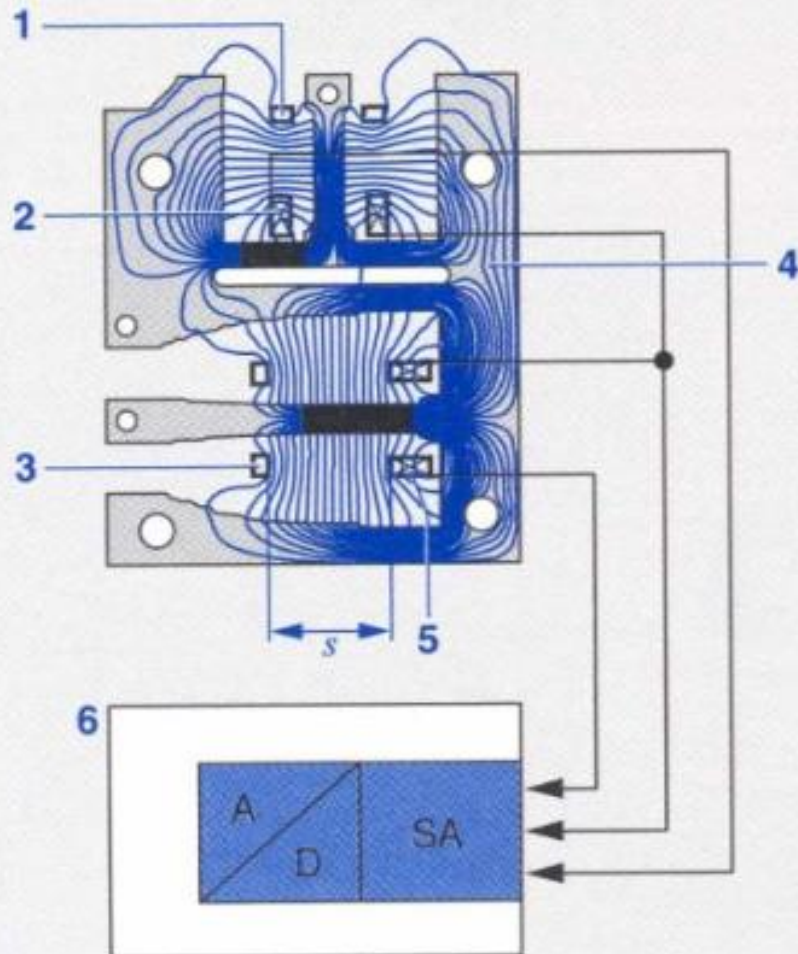
- 1 Soft-magnetic
- 2 Reference coil
- 3 Reference short-circuiting ring
- 4 Control rack
- 5 Measuring coil
- 6 Measuring short-circuiting ring
- s Control-rack travel

Poludiferencijalni senzor sa kratko-spojemnim prstenom (HD senzor) sa pomičnom 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



© UAE0861Y

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

Poludiferencijalni induktivni senzori ugaonih pomaka sa kratko-spojenim prstenom

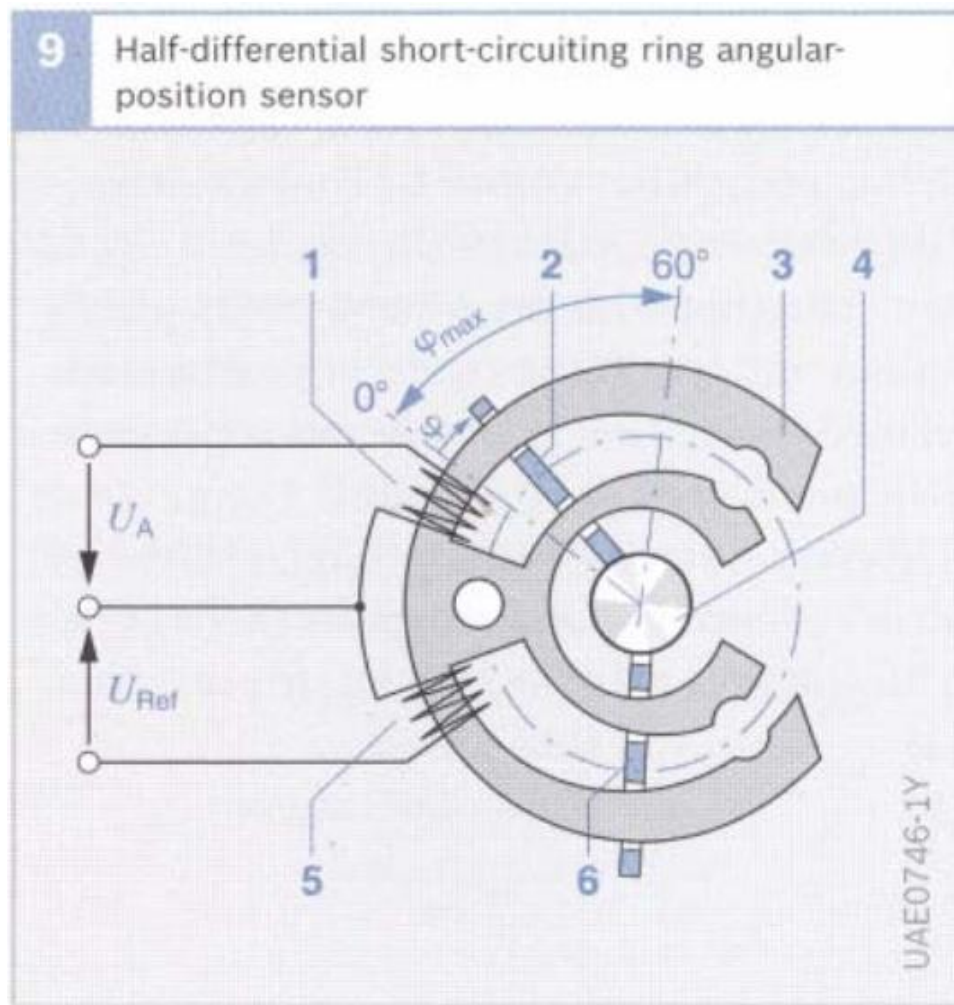


Fig. 9

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

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

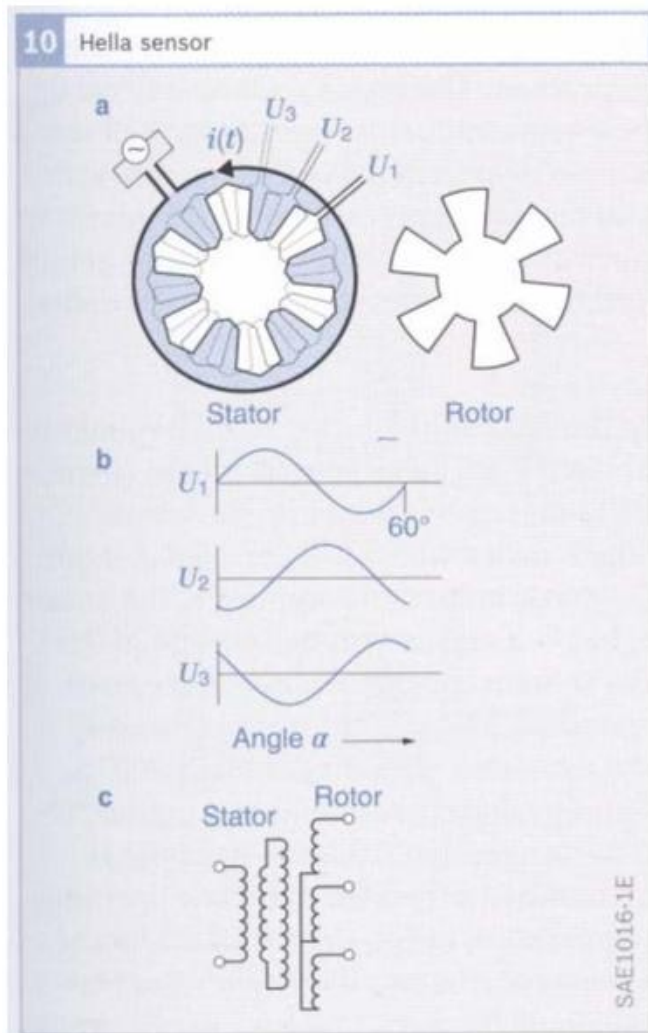


Fig. 10

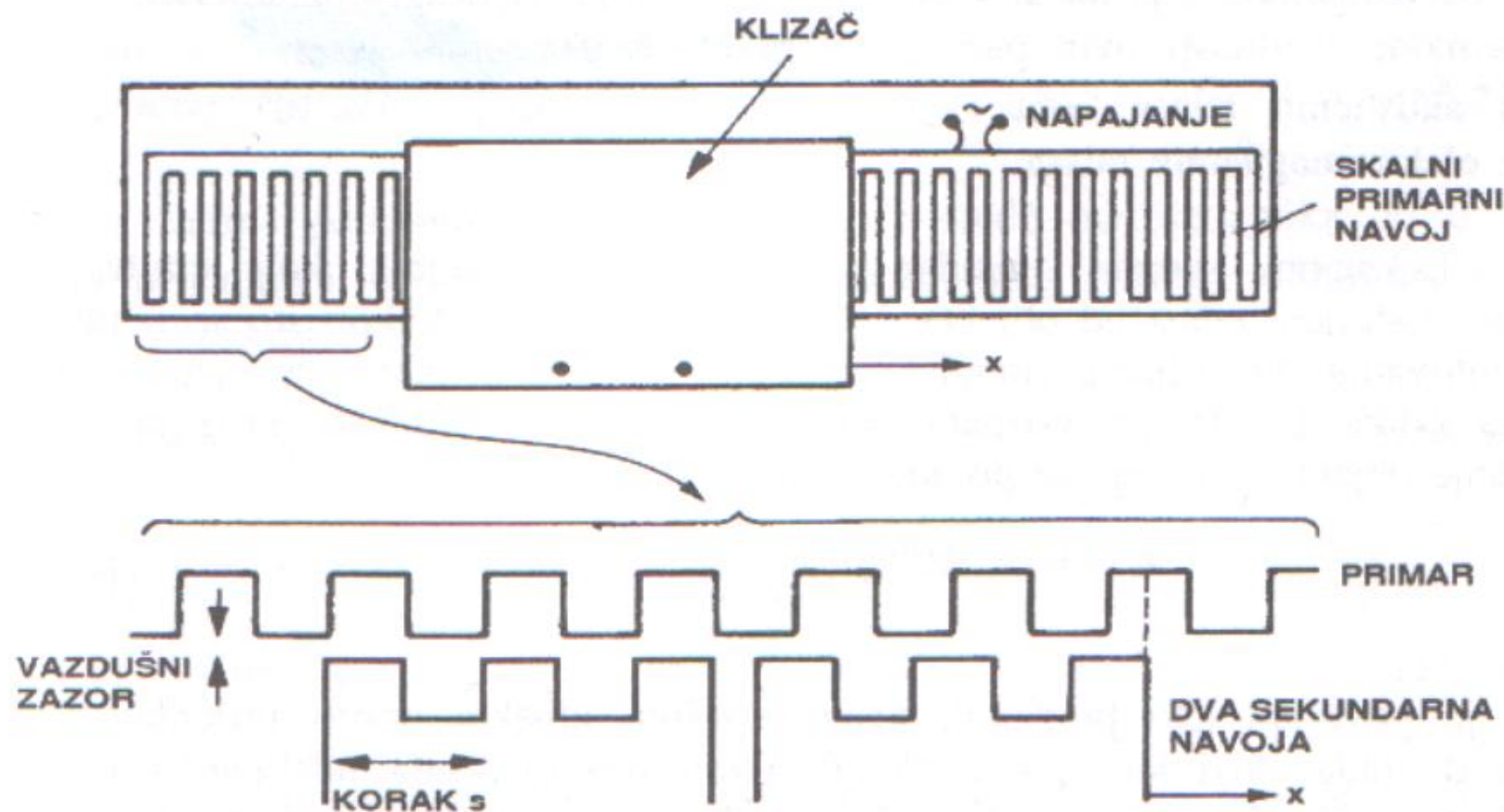
- a Schematic design
- b Circuit
- c Output signals

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 °C)
- Visoka tačnost (oko $\pm 0,09^\circ$ za područje mjerenja od 360 °)
- Fleksibilnost primene (može se prilagoditi bilo kojem uglovnom rasponu do 360°)
- 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

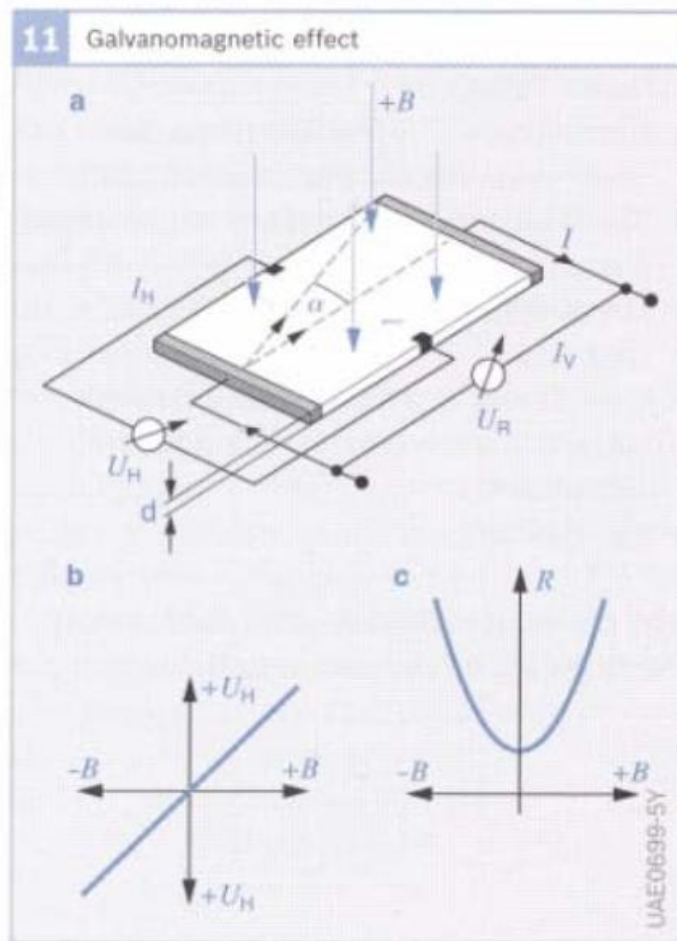
3. Magnetno-statički senzori

- **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
- α Deviation of the electrons due to the magnetic field



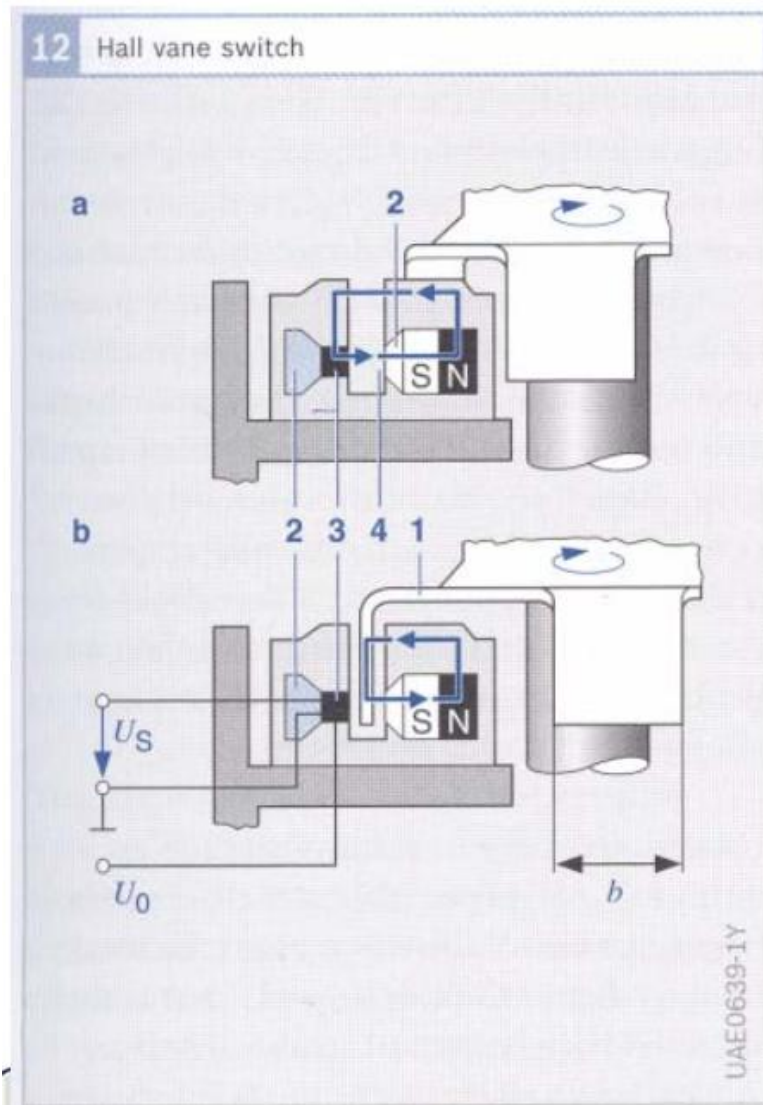
- Ako kroz poluprovodnički element debljine d protiče struja I , a na njega deluje magnetna indukcije B u normalnom pravcu, usled delovanja Lorencove sile dolazi do promene smera kretanja elektrona za ugao α .
- Kao posledica neravnomerne raspodele naelektrisanja po poluprovodničkom elementu na poprečnim 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.

Izvedbe Holovih senzora pozicije

Holov prekidač



- Holov napon se vodi u elektronsko integralno kolo senzora (Schmitt-ov triger), 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 ΔB za okidanje Holovog prekidača je obično oko 50 mT

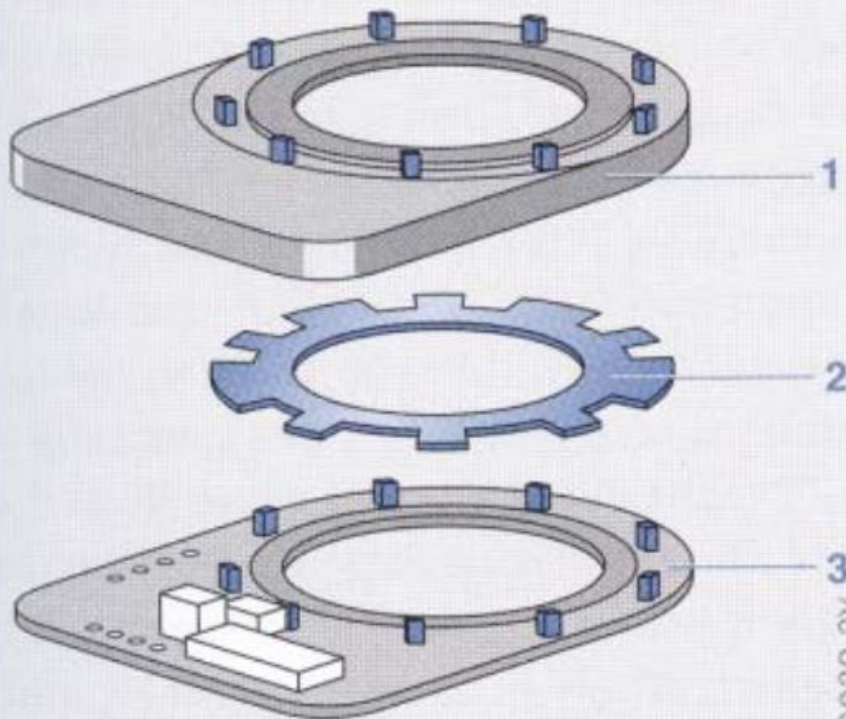
Fig. 12

- a Magnetic flux: unhindered
- b Magnetic flux: short-circuited
- 1 Vane width b
- 2 Soft-magnetic conductive element
- 3 Hall IC
- 4 Air gap
- U_0 Supply voltage
- U_S Sensor voltage

- 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

Izvedbe Holovih senzora pozicije

Holov senzor na principu obrtnih struja

13 Hall sensor using the spinning-current principle

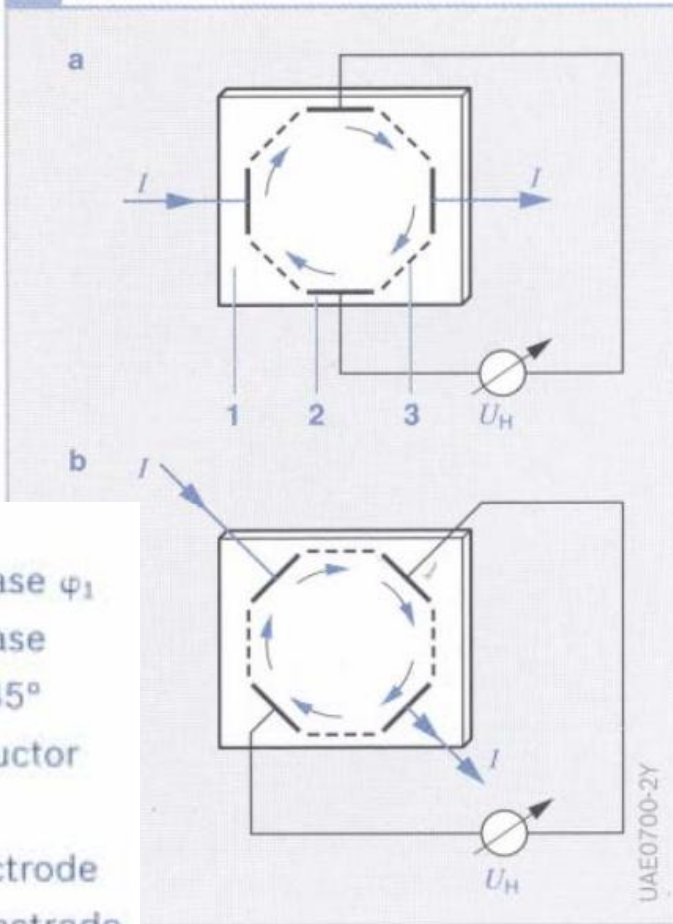


Fig. 13

- a Rotary phase φ_1
- b Rotary phase $\varphi_2 = \varphi_1 + 45^\circ$
- 1 Semiconductor wafer
- 2 Active electrode
- 3 Passive electrode
- I Supply current
- U_H Hall voltage

- 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 **obrnih (rotirajućih) struja**.
- Ovakav Holov senzor je pogodan za merenje malih pomaka pri kojima se registruju promene magnetnog polja permanentnog magneta.

Izvedbe Holovih senzora pozicije

Diferencijalni Holov senzor

14 Differential Hall sensor

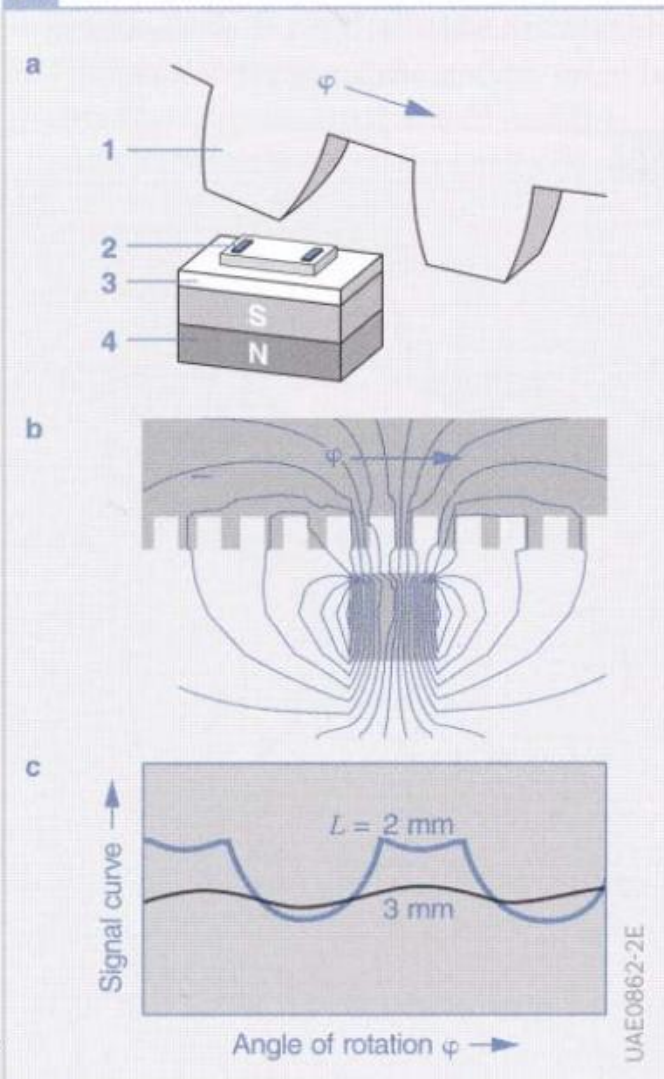


Fig. 14

- 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.

Izvedbe Holovih senzora pozicije

Holov senzor ugla rotacije do 180°

15 Analog Hall angular-position sensor (movable magnet)

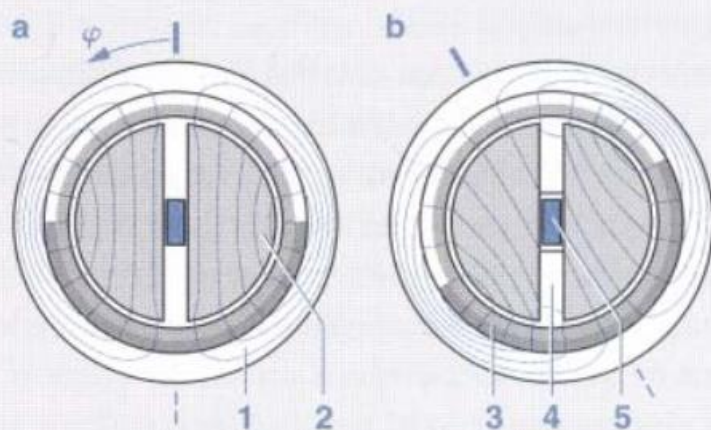
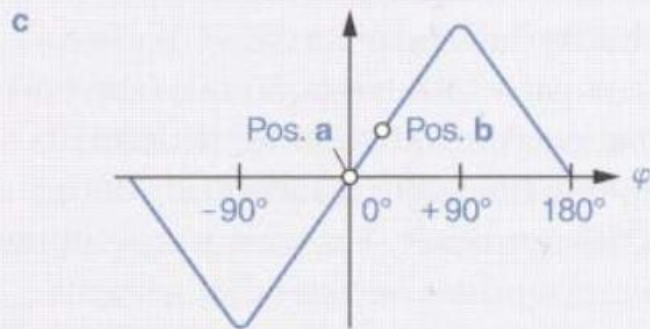


Fig. 15

Linear characteristic curve for angles up to 180°

- 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
- φ 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 φ .

Holov senzor ugla rotacije tipa ARS1

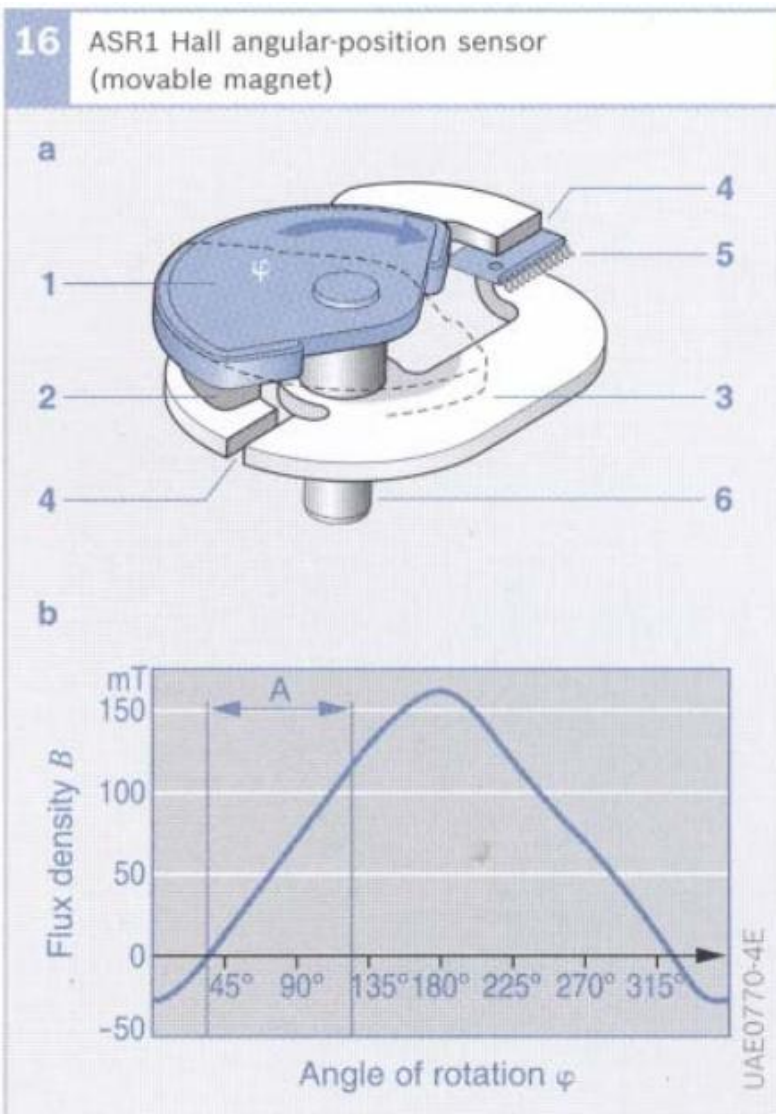


Fig. 16

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.