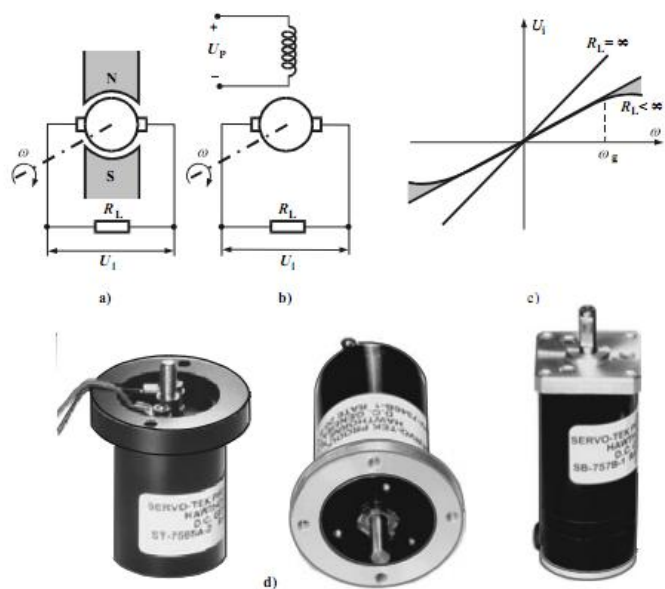
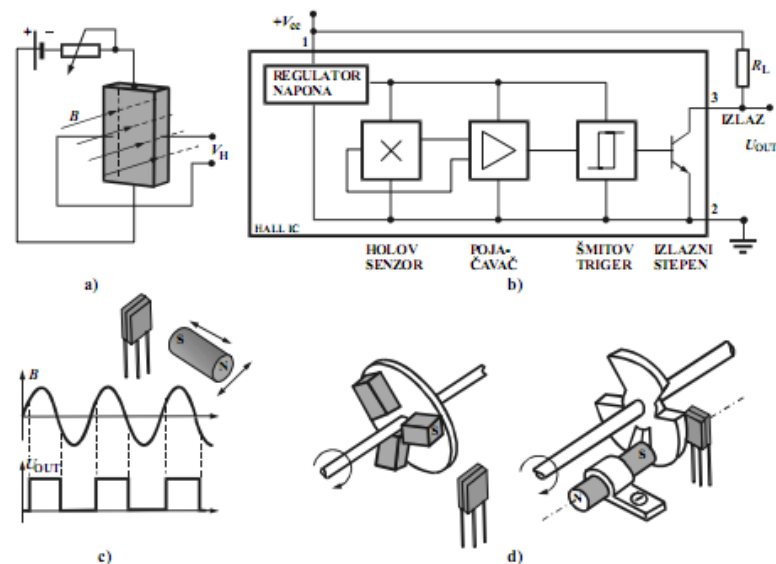


4. SENZORI BRZINE I BROJA OBRTAJA

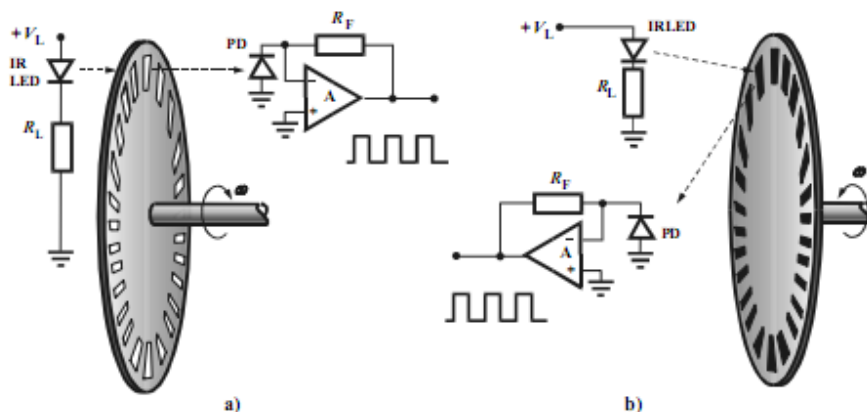
Senzori ugaone brzine i broja obrtaja u industrijskoj primeni



Slika 16.6. Istosmerni tahogenerator: a) pobudno kolo sa stalnim magnetom, b) nezavisno pobudno kolo, c) uticaj opterećenja na statičku karakteristiku, d) izgled tahogeneratorskih senzora



Slika 16.17. Senzor na bazi Holovog efekta: a) ilustracija Holovog efekta, b) senzor i kolo za obradu signala u čipu, c) promena fluksa i izlazni signal, d) obrtometri sa Holovim senzorima



Slika 16.12. Optoelektronski tahometar: a) izvor i prijemnik svetlosti na suprotnim stranama diska, b) izvor i prijemnik svetlosti sa iste strane rotirajućeg diska

4. SENZORI BRZINE I BROJA OBRTAJA

4.1. Osnovi teorije senzora brzine i broja obrtaja

- Senzori brzine i/ili broja obrtaja mere pređeni put ili broj obrtaja u jedinici vremena.
- Primena na vozilima podrazumeva izračunavanje relativne brzine, koja se javlja između dve komponente ili u odnosu na površinu puta ili drugo vozilo.
- Međutim, u nekim slučajevima potrebno je izmeriti apsolutnu brzinu rotacije objekta u prostoru, odnosno zakretanje vozila oko vertikalne ose (yaw rate), što predstavlja osnovni parametar za potrebe elektronskog sistema stabilnosti vozila ESP (*Electronic Stability Program*).
- Stoga razlikujemo merenje:
 - **Relativne brzine obrtanja**
 - brzine obrtanja kolenastog i bregastog vratila,
 - brzine obrtanja točkova (za sisteme ABS, TCS, ESP) i
 - broj obrtaja pumpe za ubrizgavanje dizel goriva.
 - **Apsolutne brzine obrtaja**

Merne promenljive i merni principi

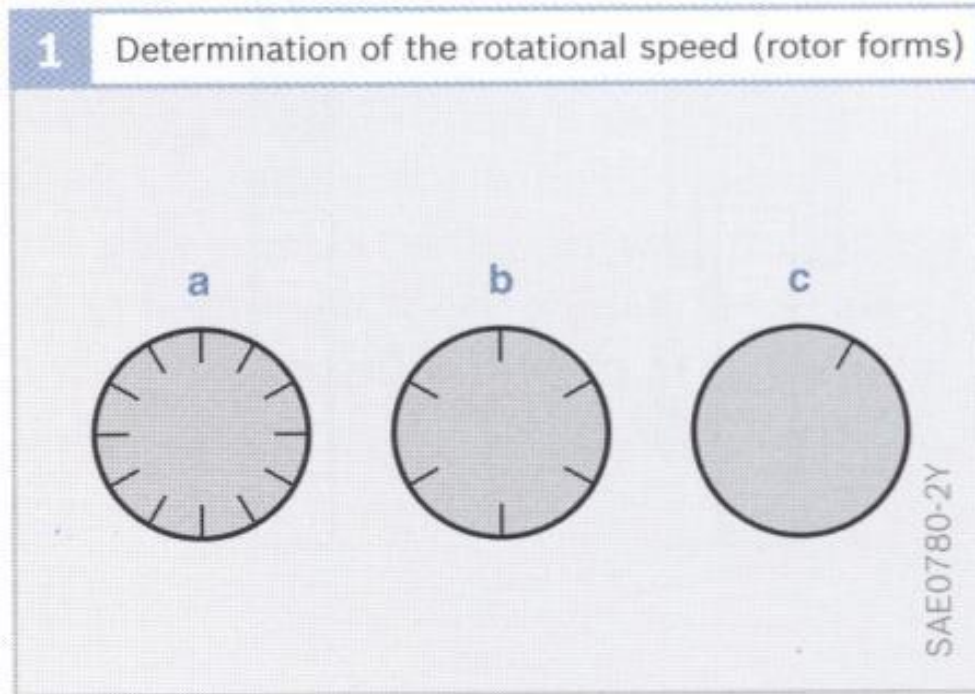


Fig. 1

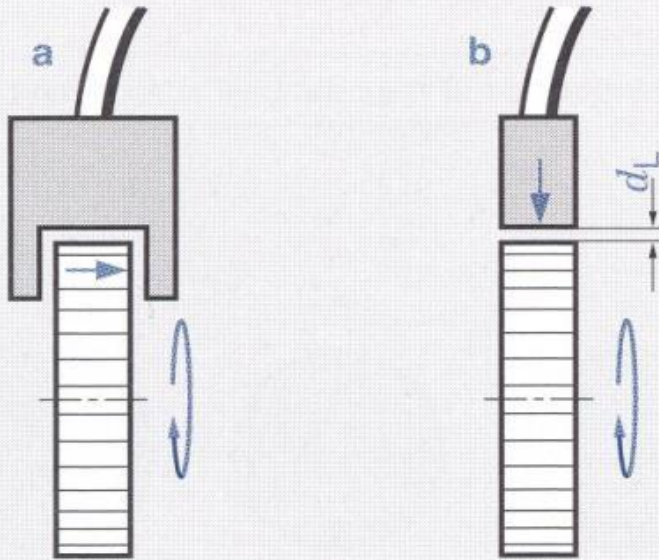
- a Incremental sensor
- b Segment sensor
- c Speed sensor

Kod inkrementalnih merenja relativne brzine obrtanja, u zavisnosti od broja i dimenzija oznaka(markera) na rotoru, razlikuju se:

- *Inkrementalni senzor* sa većim brojem oznaka po obimu – po celom obimu venca nalazi se određeni broj karakterističnih oznaka (zuba ili žlebova). Takav senzor meri trenutnu brzinu određene tačke na obodu nazubljenog venca senzora,
- *Segmentni senzor* broja obrtaja sa manjim brojem oznaka po obimu – npr. broj oznaka je jednak broju cilindara motora,
- *Senzor brzine obrtanja* sa jednom oznakom po obimu – mere samo prosečnu brzinu obrtanja.

Oblici senzora

2 Sensor shapes



SAE0778-2Y

Fig. 2

a Fork shape
(vane principle)

b Rod shape
(proximity principle)

d_L Air gap

- Na slici su prikazana dva najčešća oblika senzora.
- Zbog lakše montaže i jednostavnosti, uglavnom je u primeni **štapni oblik** senzora. Senzor se nalazi pored ili naspram rotora, čiji nazbljeni venac prolazi u neposrednoj blizini senzora na razmaku d_L .
- Međutim ovakvo tehničko rešenje karakteriše se niskom mernom osetljivošću, za razliku od **viljuškastog oblika** koji ne zavisi od radijalnih i aksijalnih pomeraja rotora.

Zahtevi za senzore brzine i broja obrtaja

- Konvencionalni senzori koji se koriste za merenje brzine obrtanja zasnovani su na mernim efektima sa izraženim izlaznim signalom (npr. induktivni senzori), koji spadaju u pasivne senzore.
- U mnogim savremenim primenama na vozilima, klasični induktivni senzori više ne zadovoljavaju visoke zahteve sofisticiranih elektronskih sistema.
- **Nedostaci** se odnose na sledeće:
 - *zavisnost amplitude signala od broja obrtaja, odnosno neprecizna merenja na nižim ugaonim brzinama,*
 - *veoma uske tolerancije promene vazdušnog zazora senzora,*
 - *nemogućnost prepoznavanja razlike između promene vazdušnog zazora i promene brzine obrtanja nazubljenog venca senzora,*
 - *nemogućnost stabilnog merenja broja obrtaja pri velikom porastu temperature (na primeru merenja broja obrtaja točka usled neposredne blizine kočnog diska).*

Zahtevi za senzore brzine i broja obrtaja

- Navedeni nedostaci otklonjeni su primenom novijih generacija senzora koji pored toga imaju i dodatne karakteristike, kao npr:
 - statičko merenje (npr. nulta brzina, ekstremno mali broj obrtaja kolenastog vratila ili točka vozila),
 - efikasno merenje i pri povećanim vazдушnim razmacima (olakšana montaža),
 - manje dimenzije,
 - efikasno merenje i pri promeni vazdušnog zazora,
 - prošireno temperaturno područje rada i do 200 °C,
 - identifikacija smera kretanja (opcija za navigaciju),
 - identifikacija referentne oznake (u elektronskim sistemima paljenja benzinskih motora).
- Inkrementalno merenje brzine obrtanja koristi širok spektar različitih fizičkih efekata (od kojih se neki mogu primeniti u senzorima po vrlo prihvatljivoj ceni).
- Međutim, optički i kapacitivni senzori su veoma neprikladni za teške radne uslove na motornom vozilu.
- Stoga se skoro isključivo koriste senzori sa magnetnim efektom.

3 Sensors insensitive to air-gap fluctuations

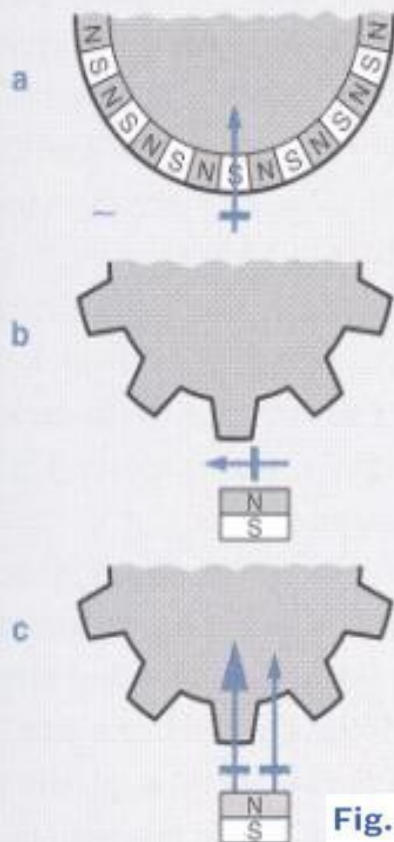


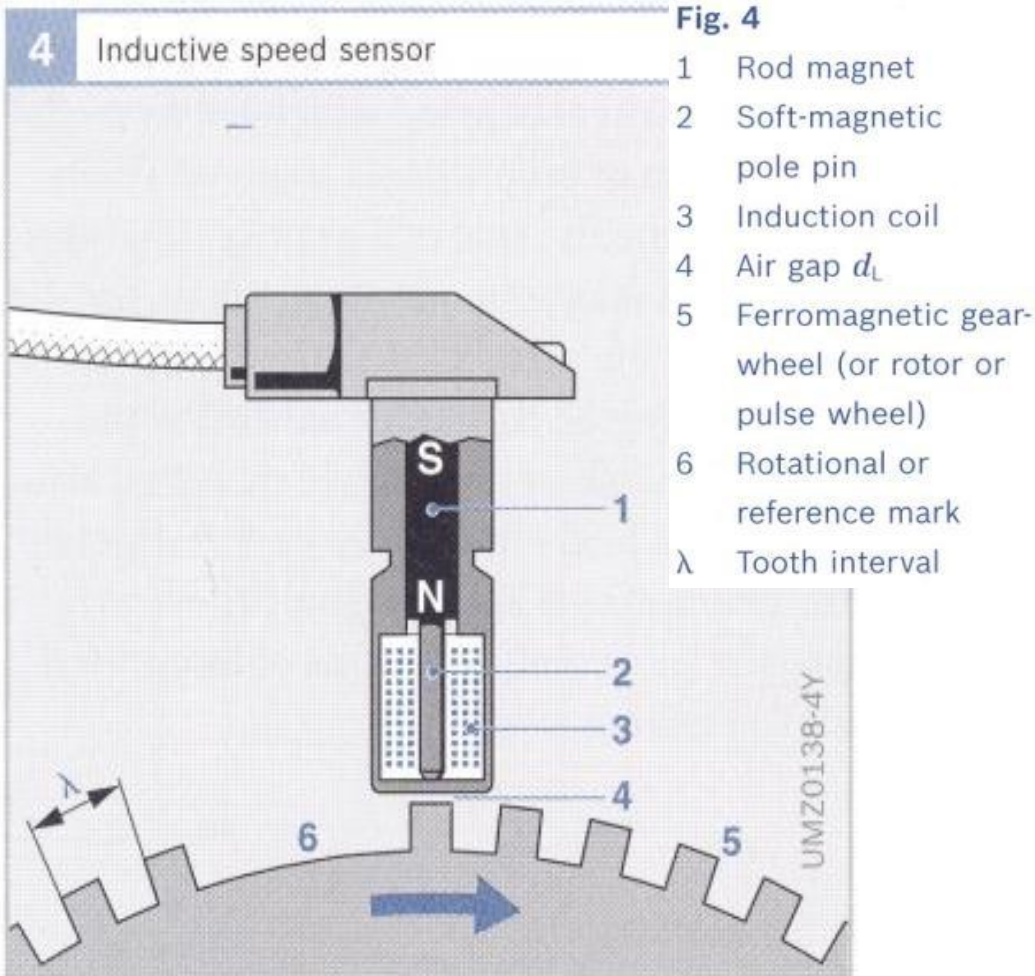
Fig. 3

- a Radial-field sensor with pole wheel
- b Tangential sensor
- c Differential sensor with gear wheel

- Magnetno-statički senzori (Holov, magnetno-otporni, AMR) su posebno podobni za ispunjavanje prve dve karakteristike (statičko merenje i neosetljivost na promenu vazdušnog zazora).
- Na slici prikazana su tri osnovna oblika senzora koji su generalno neosetljivi na promene vazdušnog zazora.
- U slučaju magnetno pasivnih rotora, predznak napona izlaznog signala do određene granice ne zavisi od promene vazdušnog zazora, jer registruje tangencijalnu jačinu polja.
- Rotori su izuzetno bitni za merenje brzine obrtanja, međutim, obično su određeni pri konstrukciji vozila od strane proizvođača vozila, dok senzore proizvodi dobavljač komponenti.
- Obično su rotor pasivnog tipa izrađeni od mekog feromagnetnog materijala, često i od gvožđa.

4.2. Merenje relativne brzine obrtanja

Induktivni senzor brzine obrtanja



- Intenzitet magnetskog fluksa kroz namotaj zavisi od položaja senzora u odnosu na venac tj. da li je nasuprot zubu ili meduzublju.
- Kada venac rotira promene u magnetskom fluksu indukuju sinusoidni napon na krajevima namotaja, koji je proporcionalan promeni fluksa, a samim tim i brzini rotora.
- Amplituda naizmeničnog napona se znatno povećava sa povećanjem brzine nazubljenog venca (od nekoliko mV do preko 100V).

$$U_A = U_{ind} = w \cdot d\Phi/dt$$

The magnetic flux Φ is also a function of the rotational position x and the air gap d_L :
where

$$\Phi = \Phi(x, d_L) \text{ and } d_L = const$$

the following applies:

$$U_A = U_{ind} = w \cdot \partial\Phi/\partial x \cdot dx/dt$$

where dx/dt represents the (rotational) speed to be measured.

Induktivni senzor brzine obrtanja

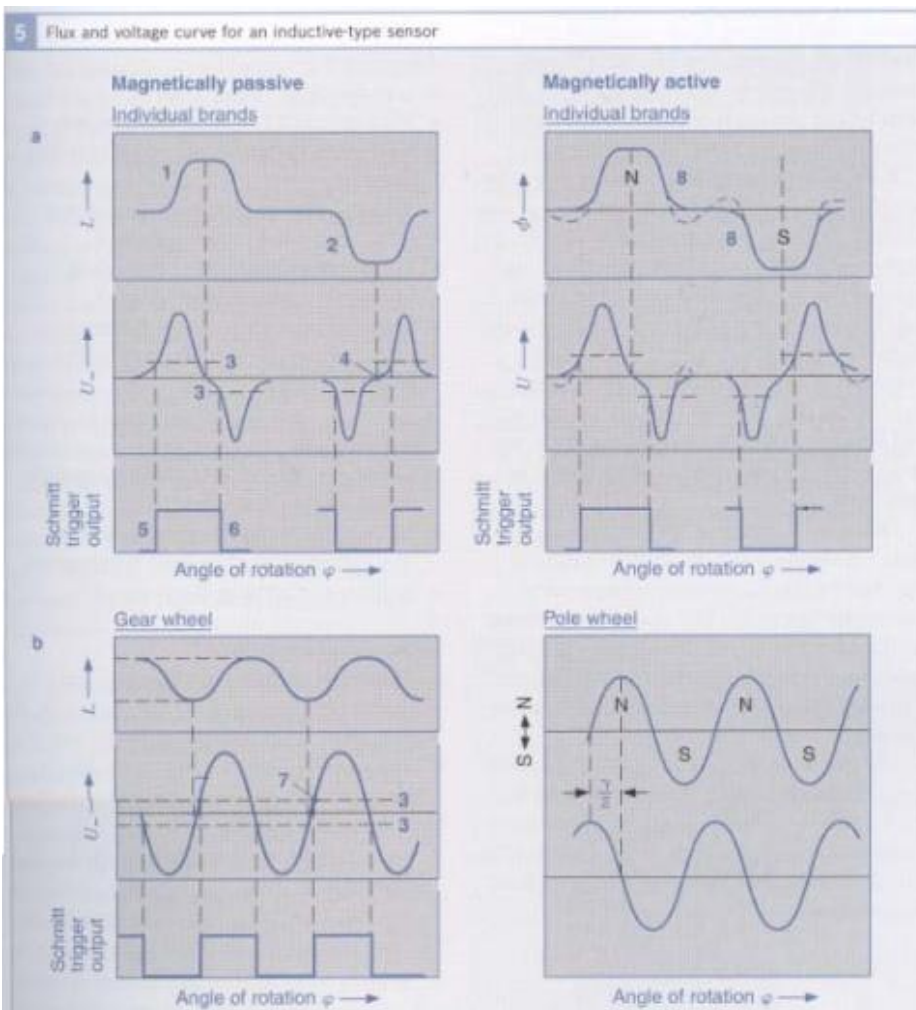
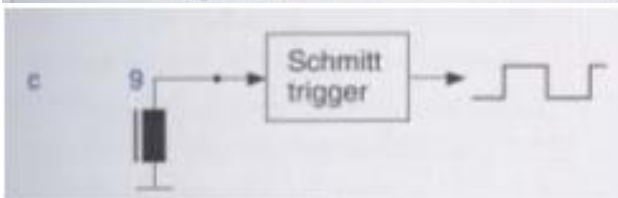


Fig. 5

- a Single magnetic marking per revolution
- b Periodic increment structure (e.g. gear wheel, pole wheel)
- c Evaluation circuit
- 1 Cam
- 2 Slot
- 3 Switching point
- 4 Steep passage through zero evaluated
- 5 Priming edge
- 6 Switching flank
- 7 Shifting point
- 8 Pole pin
- 9 Sensor
- $\gamma/2$ Phase shift
- L Inductance
- U Voltage
- Φ Magnetic flux

- Oblici zuba na vencu i klina na polu moraju biti uskladeni.
- Kolo za odmeravanje u upravljačkoj jedinici pretvara sinusoidni napon, koji karakterišu velike amplitudne promene, u digitalni signal tj. povorku pravouglanih impulsa koja se prosleđuje mikro-kontroleru radi dalje obrade.



Magnetno-statički senzori

6 Hall vane switch

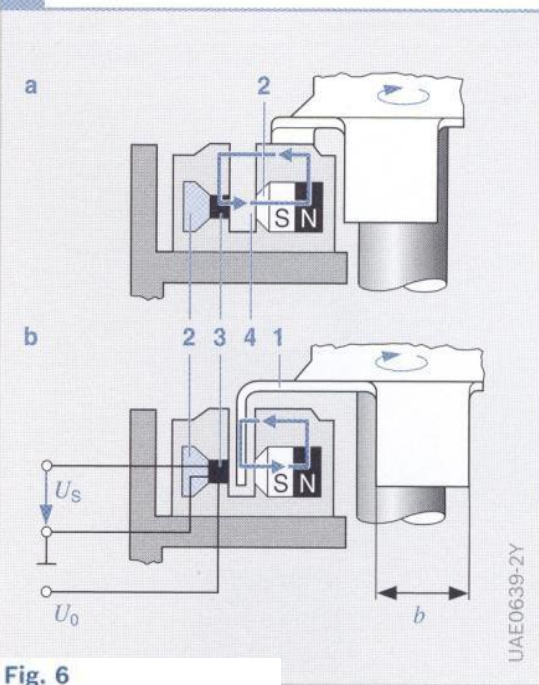


Fig. 6

- 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

7 Hall rod sensors

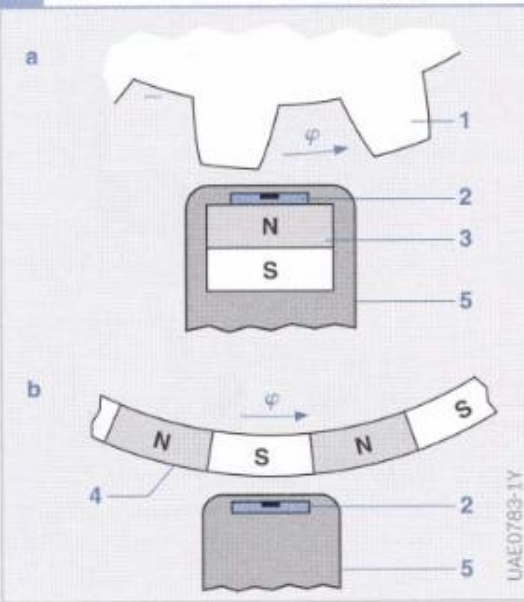


Fig. 7

- a Passive rotor
- b Active rotor
- 1 Incremental rotor
- 2 Simple Hall sensor
- 3 Permanent magnet
- 4 Pole wheel
- 5 Housing

8 Gradient sensor for gear wheel scanning

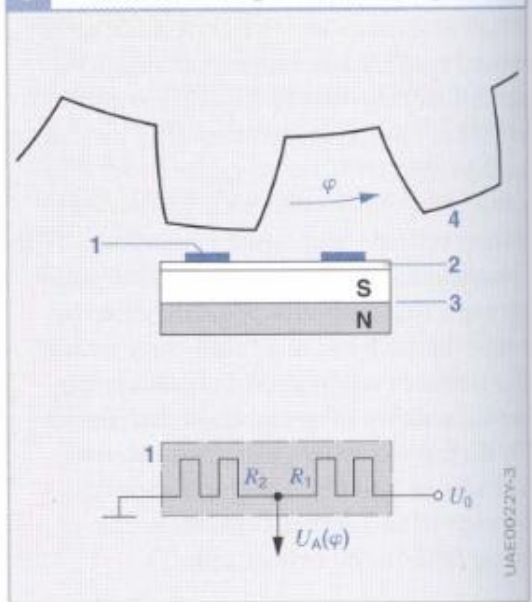


Fig. 8

- 1 Magnetoresistors R_1, R_2 or Hall elements H_1, H_2
- 2 Ferromagnetic wafer (soft-magnetic substrate)
- 3 Permanent magnet
- 4 Gear wheel
- U_0 Supply voltage
- $U_A(\varphi)$ Measuring voltage for an angle of rotation φ

4.3. Merenje apsolutne brzine obrtanja

Princip rada oscilatornog žiroskopa

14 Relationships in the rotary motion

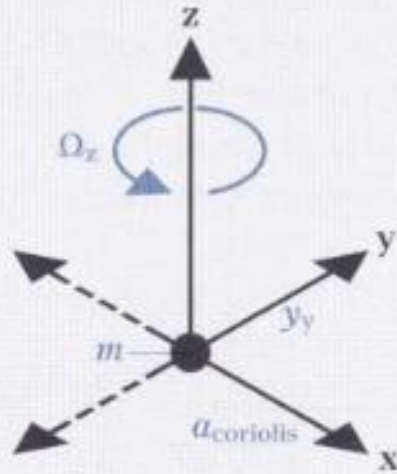


Fig. 14
Interrelationship
between yaw rate,
oscillation, and Coriolis
acceleration at a
lumped mass m .

Ω_z Yaw rate
 v_y Speed of the
oscillation
 a_{Coriolis} Coriolis
acceleration
 m Lumped mass

$$a_{\text{Coriol.}} = a_x = 2 \cdot v_y \cdot \Omega_z$$

- Oscilatorni žiroskopi mere apsolutnu brzinu oko vertikalne ose vozila Ω_z (yaw rate) u sistemima za kontrolu dinamičke stabilnosti vozila (ESP) i za navigaciju.
- Po principu rada slični su mehaničkim žiroskopima i za merenje koriste Coriolisovo ubrzanje koje se pojavljuje u toku rotacije zajedno sa oscilatornim pomerajem.
- Ako se tačka mase (m) pomera u smeru ose (y), sa brzinom (v_y), a sistem istovremeno rotira oko vertikalne ose (z) sa ugaonom brzinom (Ω_z), masa (m) dobija ubrzanje (a_{Coriolis}) u smeru ose (x), koje je proporcionalno ugaonoj brzini Ω_z .
- Ovo ubrzanje može se izmeriti pomoću senzora koji se pomera zajedno sa masom m .
- U tom procesu, neželjeno spoljne ubrzanje (ubrzanje šasije) ne utiče na merenje.

4.4. Primeri primene senzora broja obrtaja na motornim vozilima

- Senzori broja obrtaja (brzine) motora
- Senzori bregastog vratila
- Senzori brzine za kontrolu prenosa u menjačima
- Senzori brzine točkova
- Senzori ugaone brzine skretanja

Senzori broja obrtaja (brzine) motora

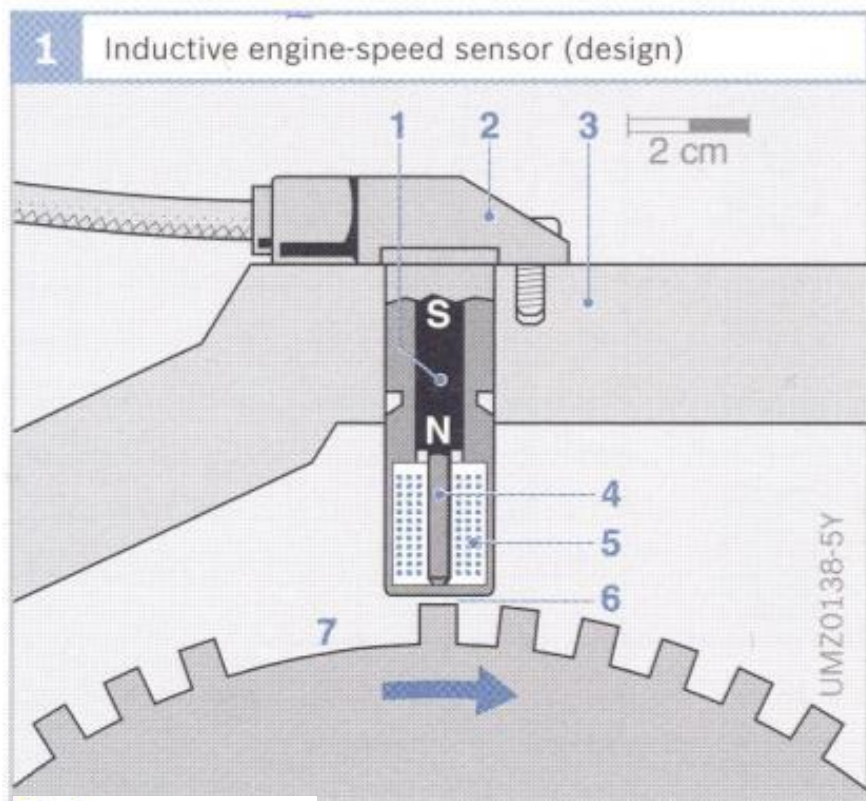


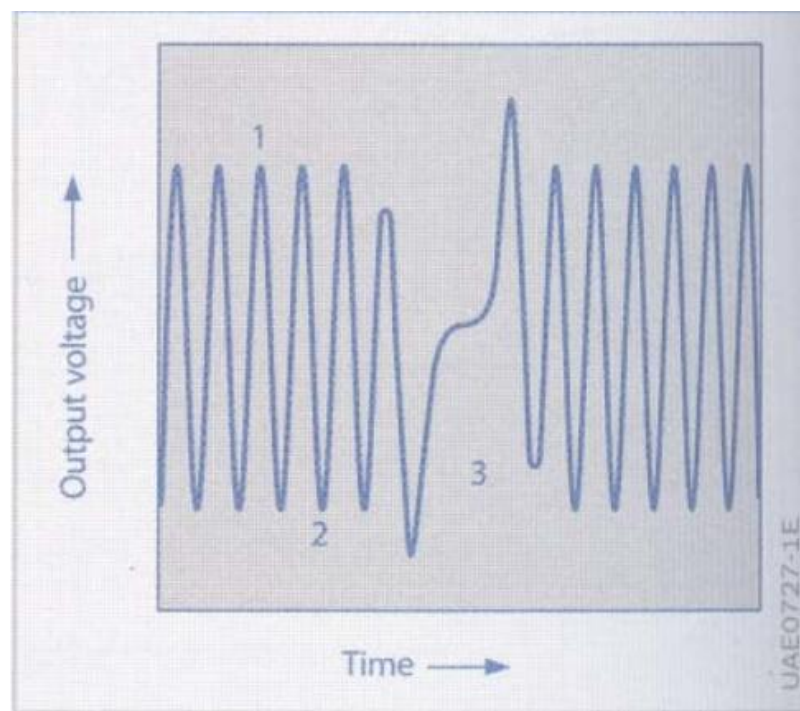
Fig. 1

- 1 Permanent magnet
- 2 Sensor housing
- 3 Crankcase
- 4 Pole pin
- 5 Winding
- 6 Air gap
- 7 Pulse wheel with reference mark

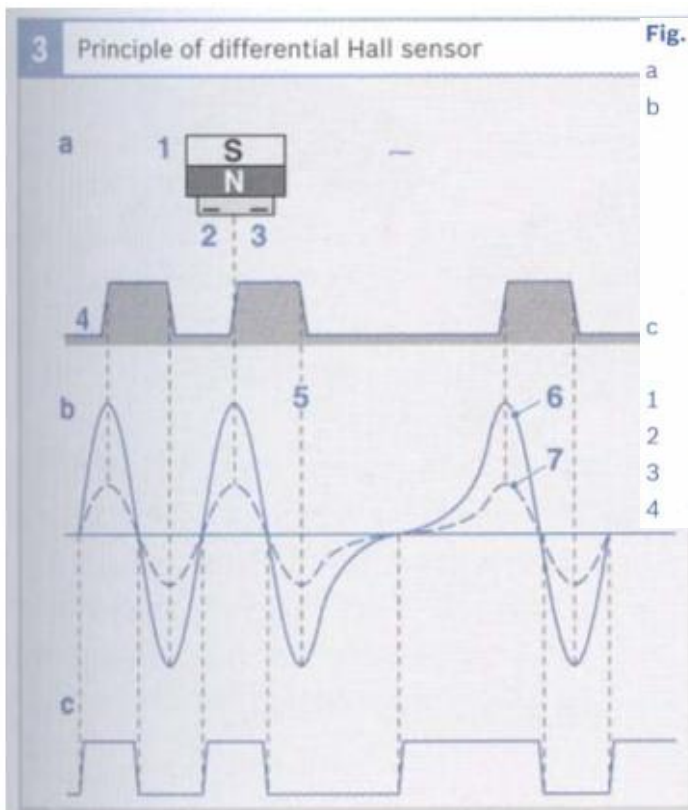
Senzori broja obrtaja (brzine) motora se koriste u sistemu za upravljanje motorom za:

- Merenje brzine motora i
- Određivanje pozicije radilice (pozicije klipova).

Brzina motora se izračunava iz perioda signala sa senzora brzine.



Aktivni senzori brzine: Diferencijalni Holov senzor i AMR senzor



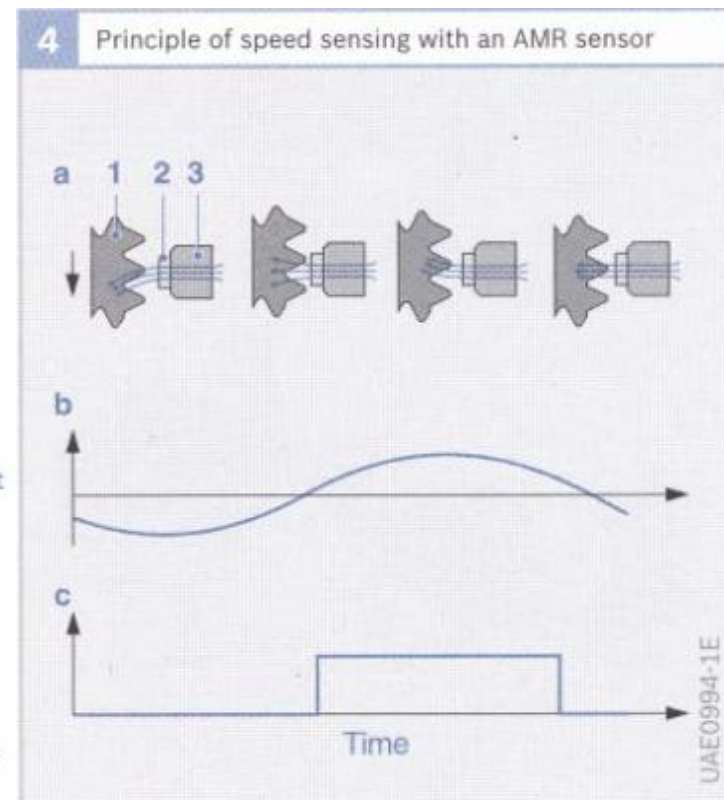
g. 4

Configuration at various times

b Signal from AMR sensor

c Output signal

1 Pulse wheel
2 Sensor element
3 Magnet



Aktivni senzori brzine rade na magnetostatičkom principu.

Amplituda izlaznog signala ne zavisi od broja obrtaja.

Signal sa Holovog senzora je impulsni i može se direktno, bez digitalizacije, obrađivati u upravljačkoj jedinici.

Ovo omogućava detekciju veoma malih brzina rotacije (kvazistatička detekcija brzine).

Senzori bregastog vratila

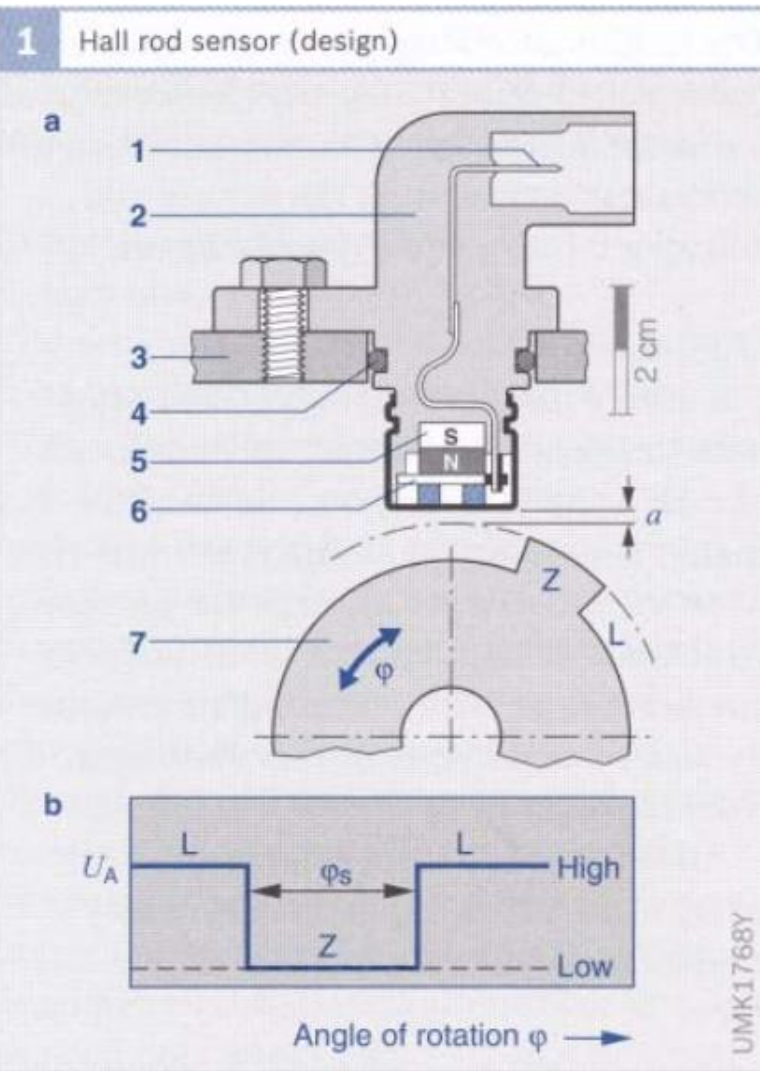


Fig. 1

- a Positioning of sensor and single-track pulse wheel
- b Output signal characteristic U_A
- 1 Electrical connection (plug)
- 2 Sensor housing
- 3 Crankcase
- 4 Sealing ring
- 5 Permanent magnet
- 6 Hall IC
- 7 Pulse wheel with tooth/segment (Z) and space (L)
- a Air gap
- ϕ Angle of rotation

2 Generations of camshaft sensors

	PG-1	PG-3-3	PG-3-5	PG-3-8
TIM	no	no	yes	yes
TPO	no	yes	no	yes
Accuracy	low	medium	medium	high



- Bregasto vratilo rotira dvostruko manjom brzinom od brzine rotacije radilice.
- Posmatrajući određeni klip na putu ka SMT, pozicija bregastog vratila se koristi kao pokazatelj za takt u kome se klip nalazi tj. da li je na kompresiji ili izduvavanju.
- Senzor faze na bregastom vratilu daje ovu informaciju upravljačkoj jedinici.
- Za primer, to je potrebno kod sistema paljenja sa jednovarničnim indukcionim kalemima, kao i za sisteme sekvencijalnog ubrizgavanja goriva (SEFI).

Senzori brzine za kontrolu prenosa u menjačima

- Senzori brzine u sistemu za upravljanje prenosom u menjačima određuju (mere) brzine vratila kod AT, ASG, DKG i CVT menjača.
- Koriste se i senzori montirani u menjač i montirani van menjača.
- Ovi senzori su izloženi veoma teškim radnim opterećenjima i to zbog:
 - ekstremnih temperatura okoline (-40°C do $+150^{\circ}\text{C}$),
 - velikih mehaničkih opterećenja (vibraciona ubrzanja do 30g),
 - agresivne radne okoline od strane transmisionog ulja poznata kao ATF ulja (sadrže specijalne aditive za prenos),
 - prisustva istrošnih metalnih čestica koje se talože.
- Zbog toga su visoki zahtevi za kvalitetom kućišta senzora u koja je smeštena elektronika .
- Korišćenjem kućišta otpornih na prodor ulja postignut je servisni interval za većinu senzora od 15 godina.
- Zbog veoma kompaktnog dizajna menjača nije moguće zadržati standardnu geometriju, već za svaki tip menjača zahteva drugačiji senzor.
- Senzori se razlikuju po dužini umetanja, smeru detekcije i prirubnice (sl. 1).
- Holova ASIC kola (namenska integrisana kola) sa različitim složenosti algoritama odmeravanja koriste se za pokrivanje kompletnog spektra upotrebnih zahteva.

Senzori brzine za kontrolu prenosa u menjačima

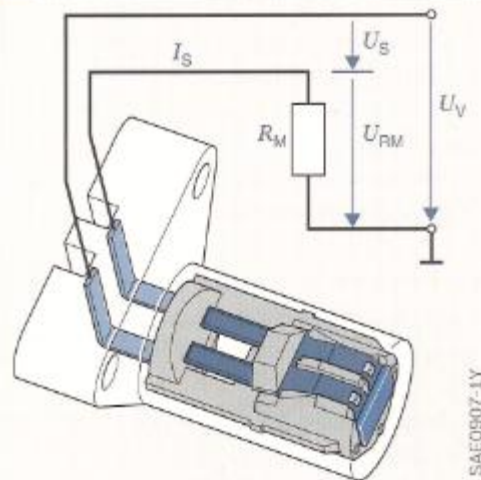
1 Sensor types



Fig. 1

- a Bottom read
- b Side read
- c Slant read
- 1 Direction of detection

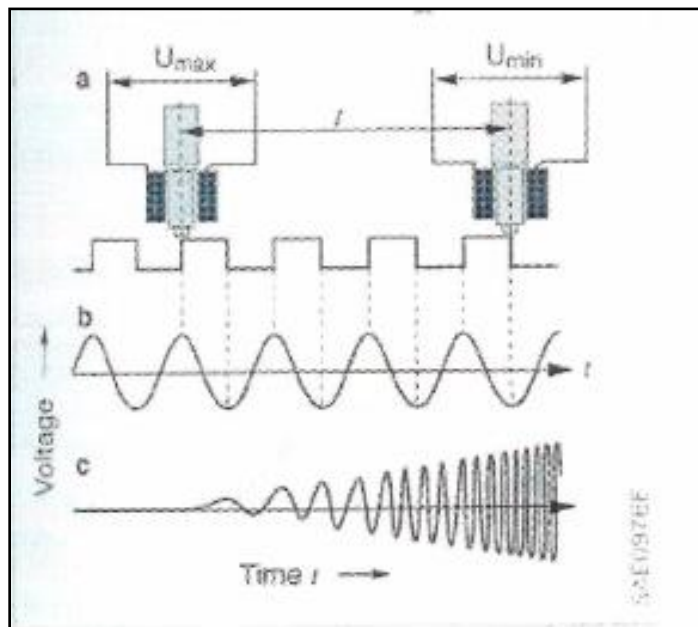
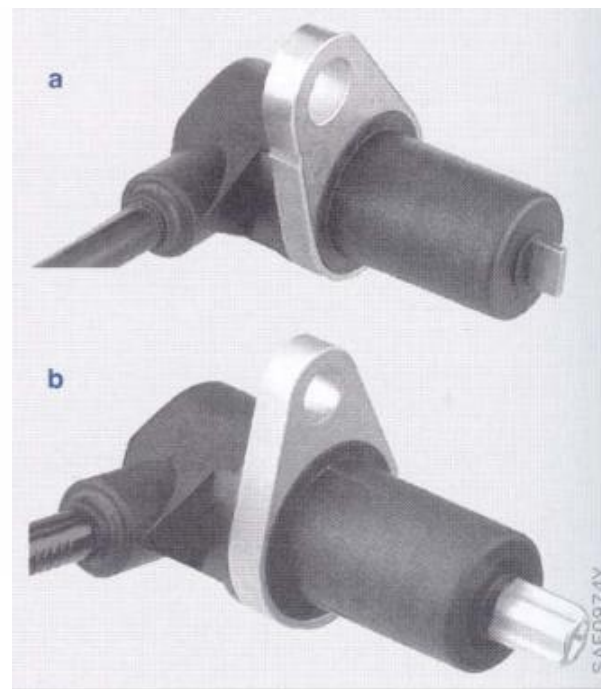
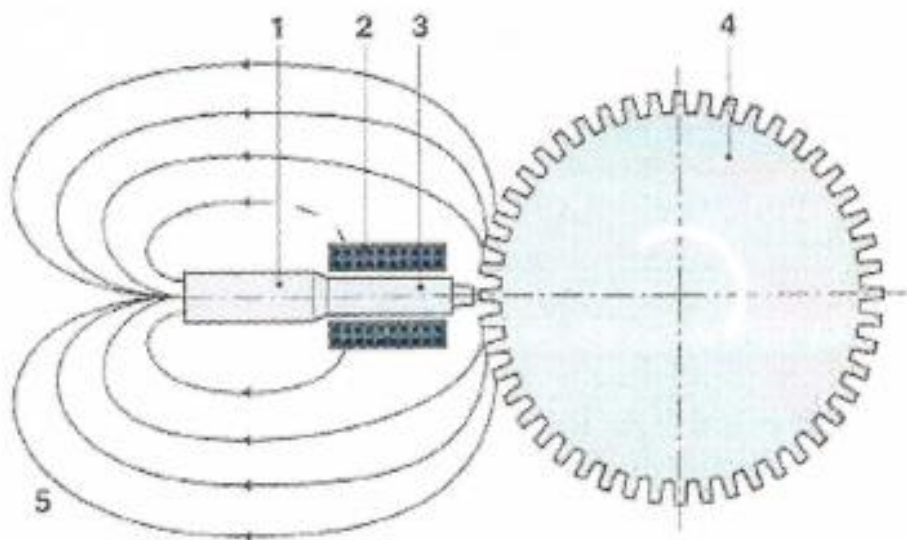
3 Hall sensor with two-wire current interface



- Senzori brzine u menjaču koriste diferencijalni Holov efekat, određujući razliku između Holovih napona sa dve Holove pločice detektovane na ASIC kolu.
- Time se kompezuje glavna smetnja.

- Diferencijalni signal se prvo pojačava u samo ASIC kolu, pa se konvertuje u digitalni signal putem okidačkih algoritama različite složenosti.
- Digitalni signal je sa dva strujna nivoa (tipično 7 mA za niski i 14 mA za visoki nivo) i frekvencijom modulacije koja korespondira sa brzinom kretanja zuba na vencu a time i brzine obrtanja.
- Pomoću mernog šantnog otpornika R_M senzorska struja I_S se pretvara u izlazni naponski signal U_{RM} .

Senzori brzine točkova – pasivni senzori (induktivni)



Nakon 1998. godine sa razvojem novih tehnologija počelo je, gotovo bez izuzetka, korišćenje aktivni senzora brzine točkova umesto pasivnih.

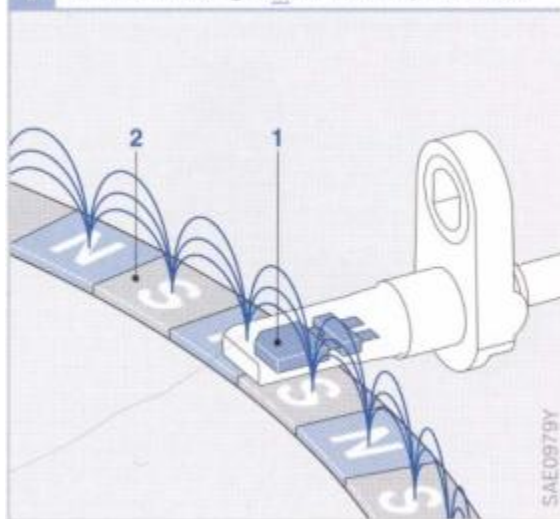
Senzori brzine točkova – aktivni senzori

4 Active wheel-speed sensors



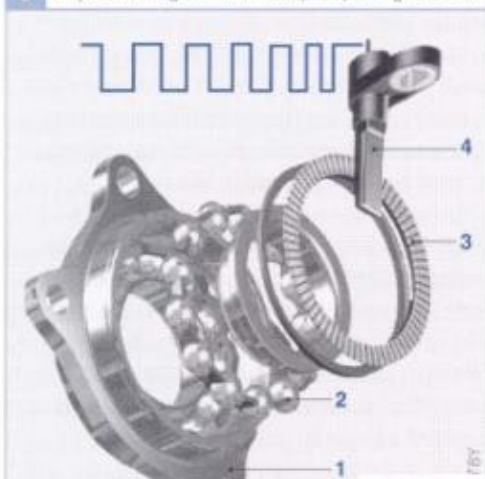
SAE0977V

6 Sectional drawing of active wheel-speed sensor



SAE0979Y

5 Explosion diagram with multipole pulse generator

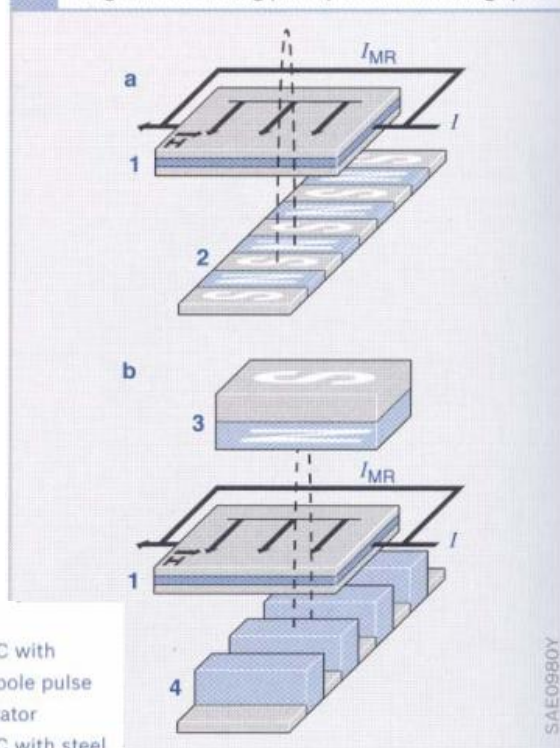


T&Y

Fig. 6

- 1 Sensor element
- 2 Multipole ring with alternating north and south magnetization

7 Diagram illustrating principle for measuring speed



SAE0980Y

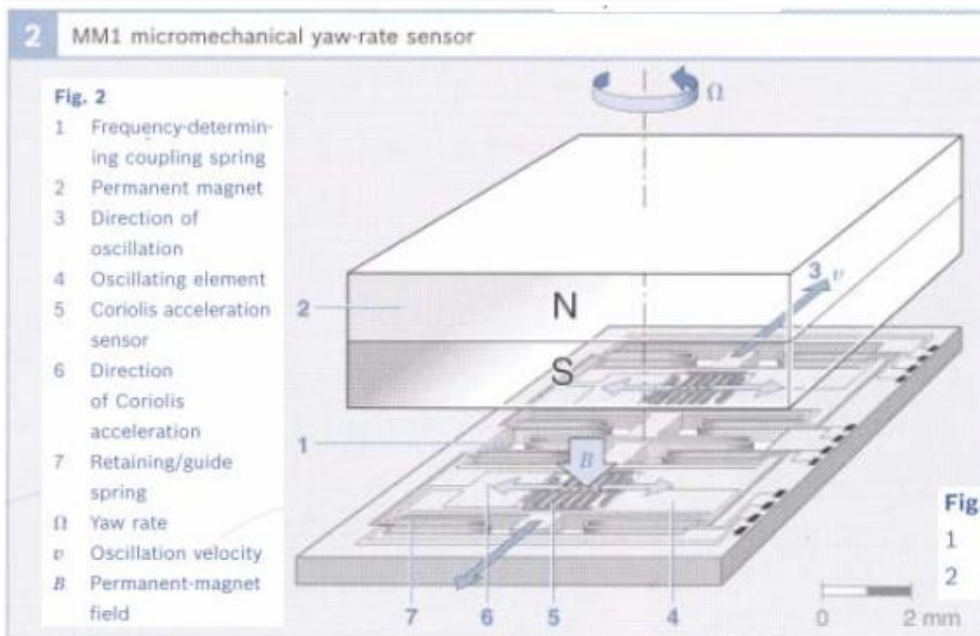
Fig. 7

- a Hall IC with multipole pulse generator
 - b Hall IC with steel pulse wheel and magnet in sensor
- 1 Sensor element
 - 2 Multipole ring
 - 3 Magnet
 - 4 Steel pulse wheel

Senzori ugaone brzine skretanja

- Na automobilima koji poseduju elektronsku kontrolu stabilnosti (ESP), putem mikromehaničkih senzora rotacionog zanošenja (brzine rotacije oko vertikalne ose), koji su poznati kao žiroskopi.
- Ovi senzori su izuzetno kompaktni, a ujedno i dosta isplativi. Oni su istisnuli klasične visoko precizne mehaničke senzore.
- Sledeća oblast primene je detektovanje prevrtanja u upravljačkim jedinicama vazdušnih jastuka za aktivne – okidačke sisteme zaštite (bočni/prozorski vazdušni jastuci, rolbar) u situacijama prevrtanja vozila.
- MM2 senzori rotacionog skretanja su specijalno razvijeni za ovu vrstu primene.
- Oni su posebno pogodni za detektovanje rotacionog kretanja oko uzdužne ose.

MM1 mikromehanički senzor skretanja



- Dva dosta zbijena oscilatorna elementa (pločice), izrađena od “vafera” u mikromehaničkom proizvodnom procesu, osciluju u kontra-fazi na rezonantnoj frekvenciji koja je definisana njihovom masom i krutoćom opruge koja ih vezuje (>2kHz).
- Na oba oscilujuća elementa postavljen je minijturni SMD mikromehanički kapacitivni senzor ubrzanja.
- Kada čip rotira oko vertikalne ose, ugaonom brzinom Ω , detektuje se Koriolisovo ubrzanje u ravni vafera vertikalnoj na pravac oscilacija.

Senzori ugaone brzine skretanja

MM2 mikromehanički senzor skretanja

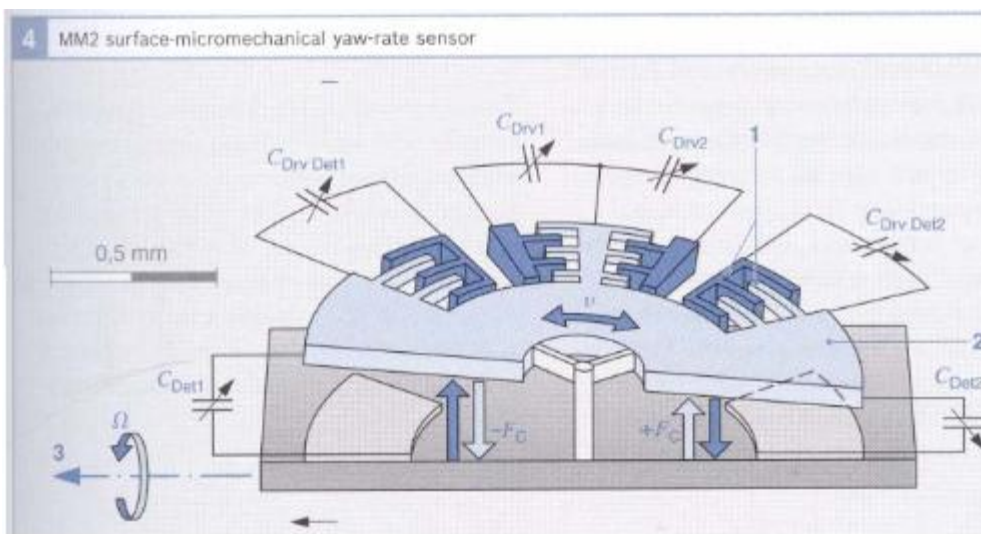
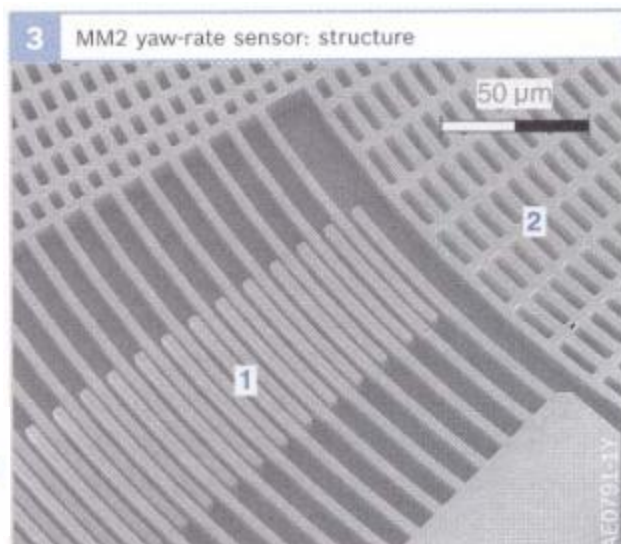


Fig. 4

- 1 Comb-like structure
- 2 Rotary oscillator
- 3 Measuring axis
- C_{Drv} Drive electrodes
- C_{Det} Capacitive pick-off
- F_C Coriolis force
- v Oscillation velocity
- $\Omega = \Delta C_{Det}$, measured yaw rate

Fig. 3

- 1 Comb-like structure
- 2 Rotary oscillator



- Ukoliko se silicijumski senzor brzine skretanja u potpunosti izradi u površinskoj mikromehani (SMM) i u isto vreme magnetska pobuda i kontrolni sistem zamene elektrostatičkim, razdeljivanje napojnog i mernog sistema ne mora da bude toliko temeljno.
- Češljaste strukture (sl.3 i 4) elektrostatički primoravaju na oscilovanje centralno postavljen rotacioni oscilator.
- Amplituda ovih oscilacija se održava konstantnom putem približno iste kapacitivnosti.
- Koriolisova sila rezultuje kao naginjanje izvan ravni, sa amplitudom proporcionalnom ugaonoj brzini skretanja Ω , a koja se očitava preko kapacitivnosti na elektrodama ispod oscilatora.
- Kako bi se izbeglo preveliko prigušenje ovog nagibnog kretanja, senzor more da radi u vakuumu.

Piezoelektrični “viljuškasti” senzor brzine rotacionog skretanja

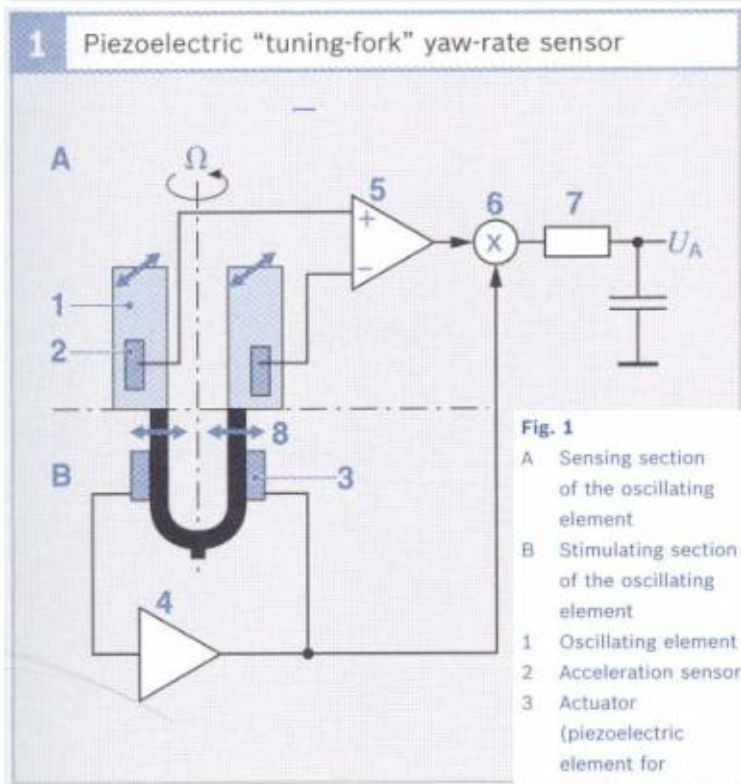


Fig. 1

- A Sensing section of the oscillating element
- B Stimulating section of the oscillating element
- 1 Oscillating element
- 2 Acceleration sensor
- 3 Actuator (piezoelectric element for vibration excitation)
- 4 Regulator for constant vibration excitation
- 5 Charge amplifier
- 6 Multiplication (demodulation)
- 7 Low pass
- 8 Vibration excitation
- U_A Output voltage (proportional to the yaw rate)
- Ω Yaw rate

- Kada nema signala sa satelita koriste se senzori na vozilu kako bi se odredila pozicija na karti (kompozitna navigacija).
- Pozicija vozila se može bliže izračunati korišćenjem podatka o pređenom putu sa tahometra ili senzora brzine točkova putem “kompozitnog pozicioniranja”.
- Piezoelektrični “viljuškasti” senzor brzine rotacionog skretanja sastoji se od čeličnog elementa u obliku zvučne viljuške. Element sadrži četiri piezoelementa (dva odozgo, dva odozdo) i merne elektronike. Zvučna viljuška je duga oko 15 mm
- Kada se priključi na napon, donji piezoelement počne da osciluje i pobuđuje gornji deo zvučne viljuške, zajedno sa gornjim piezoelementima, koji zaosciluju u kontra-fazi. Frekvencija je približno 2 KHz.
- Kada se vozilo kreće pravolinijski, nema Koriolisove sile koja bi delovala na viljušku.
- Rotaciono kretanje oko vertikalne ose vozila prilikom kretanja u krivini uzrokuje zakretanje gornjeg dela viljuške iz oscilatorne ravni tako da se na gornjim piezoelementima generiše naizmenični napon.
- Amplituda generisanog napona je funkcija brzine rotacionog skretanja i brzine oscilacija. Znak zavisi od smeru krivine (levi ili desni).