



Funded by
the European Union

Senzori sile i momenta

Edin Džiho

Univerzitet „Džemal Bijedić“ u Mostaru – Mašinski fakultet

Senzorski sistemi/ 15.04.2025

"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them."

**Partnership for Promotion and Popularization of Electrical Mobility through
Transformation and Modernization of WB HEIs Study Programs/PELMOB**

Call: ERASMUS-EDU-2022-CBHE-STRAND-2

Project Number: 101082860

Uvod

- U automobilskoj industriji je vrlo širok spektar primjene senzora sile i momenta, a neki od primjera su:
- Kod regulacije distribucije sile kočenja kod komercijalnih vozila sa prikolicom ili poluprikolicom
- Sila prigušenja kod elektronske kontrole šasije i ovjesa
- Elektronska regulacija raspodjele sile kočenja na osnovu osovinskog opterećenja
- Pritisak na pedalu kod elektronički kontrolisanih kočionih sistema
- Sila kočenja kod sistema sa elektroaktuatorima kod elektronički kontrolisanih kočionih sistema



Program: ERASMUS-EDU-2022-CBHE-STRAND-2
Project number: 101082860



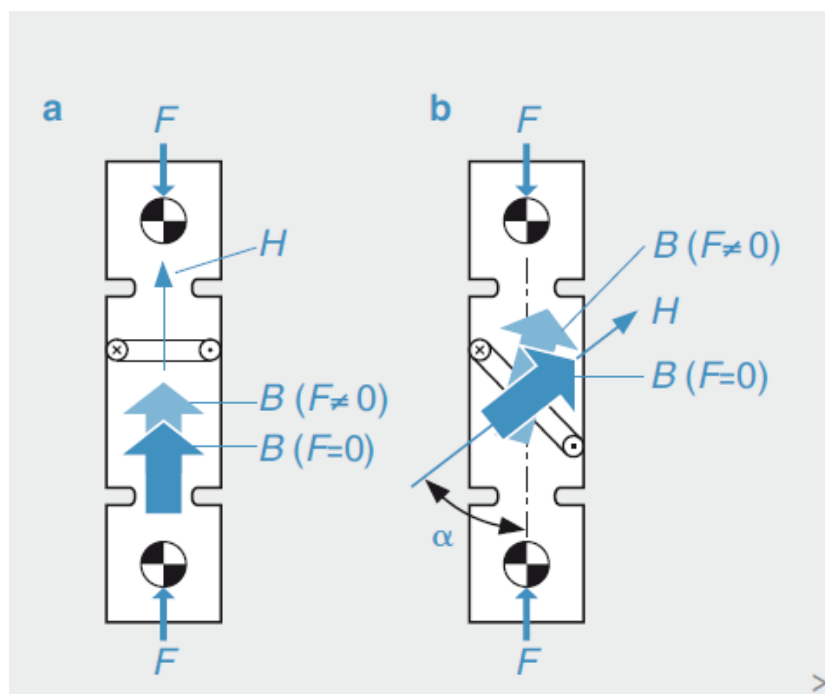
Funded by
the European Union

Uvod

- Pri mjerenju sile i obrtnog momenta mora se razlikovati:
 - Statičke i
 - dinamičke mjerne principe,
- Također mjerni principi koji se zasnivaju na:
 - Mjerenju pomjeranja i
 - mehaničkog naprezanja.

Senzori sile mjerenjem deformacije

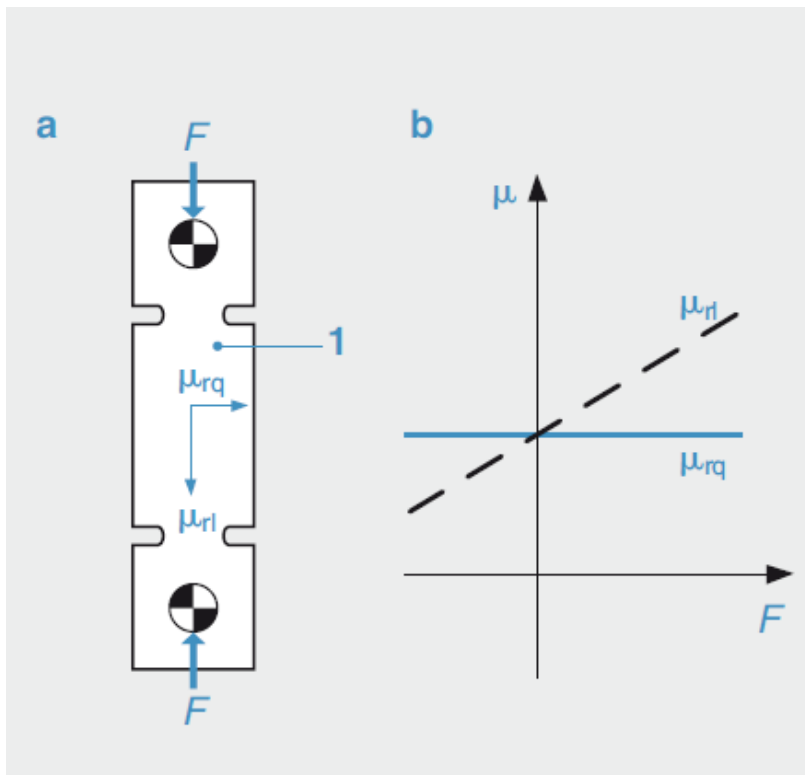
Magnetoelastični princip



- a sa pravcem djelovanja sile paralelno pravcu polja
- b za različite pravce jačine polja H i sile F
- B Indukcija
- α Ugao odklona

Magnetoelastični anizotropni efekat

Princip mjerenja



- a* Magnetoelastično
mjrno tijelo
- b* Mjerni efekat
- F Sila
- μ_r Relativna magnetna
permeabilnost
- μ_{rq} Normalno na
pravac sile
- μ_{rl} U pravcu sile

Magnetoelastični anizotropni efekat

Princip mjerne trake (piezootpornost)

Hooke-ov zakon:

$$\varepsilon = \Delta l / l = \sigma / E$$

ε , mm/mm – jedinično
izduženje

Δl , mm – absolutno izduženje

l , mm – dužina

σ , MPa – mehanički napon

E , GPa – modul elastičnosti

K faktor:

$$\Delta R / R = K \varepsilon$$

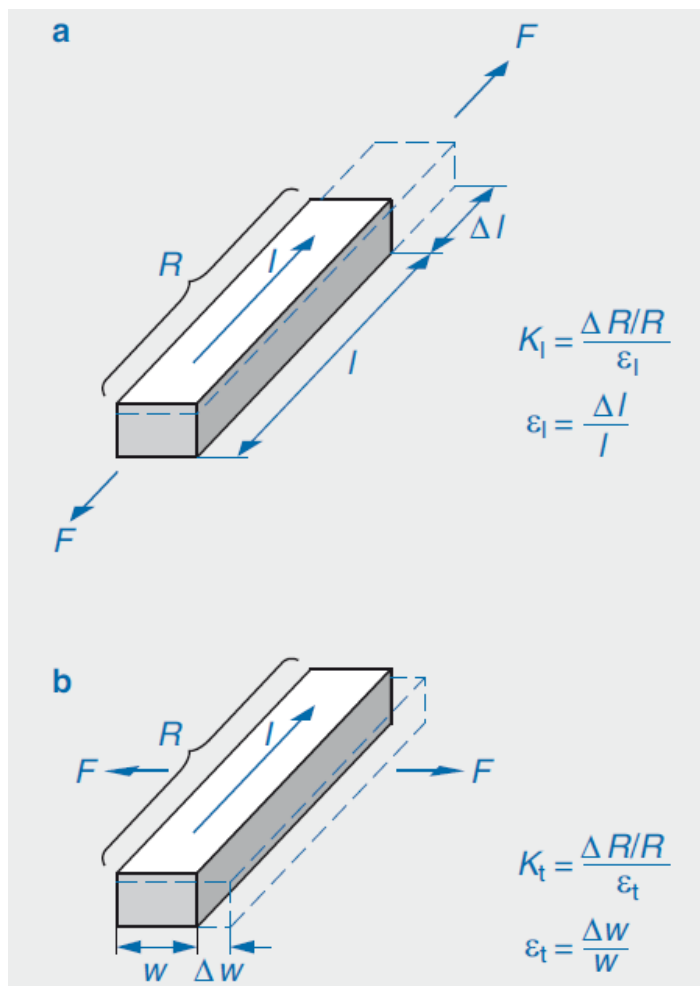
K , –faktor trake

ΔR , Ω – promjena otpornosti
usljed izduženja otpornika

R , Ω – otpor otpornika

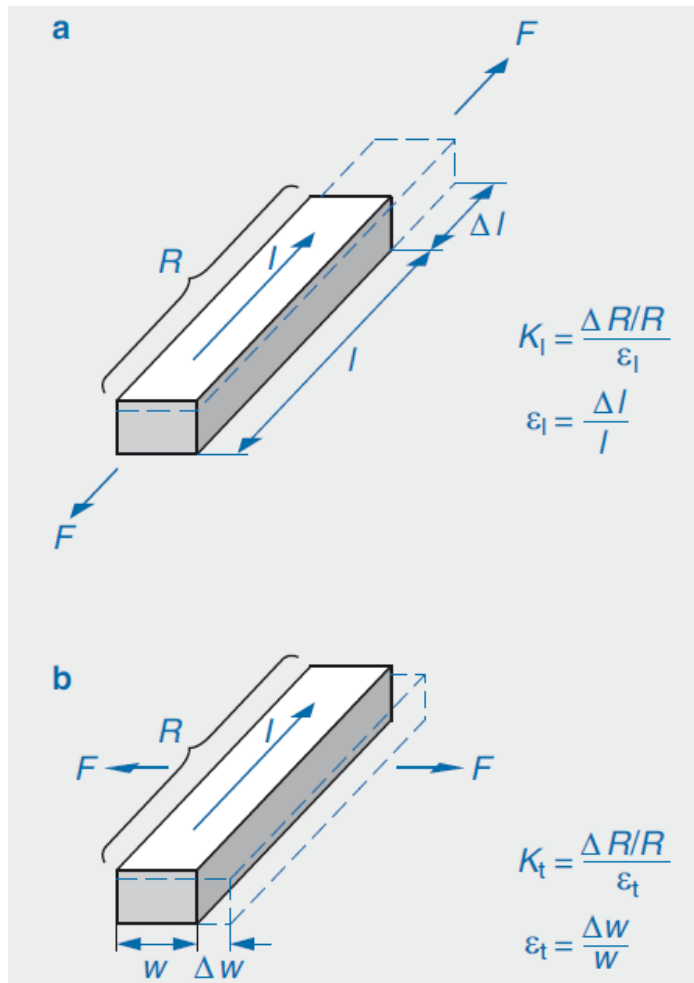
ε , mm/mm – jedinično
izduženje

Princip mjerenja



<i>a</i>	<i>Longitudinalno</i>
<i>b</i>	<i>Transverzalno</i>
<i>F</i>	<i>Sila</i>
<i>l</i>	<i>Struja</i>
<i>R</i>	<i>Otpornost</i>
<i>l</i>	<i>Dužina</i>
<i>K</i>	<i>Faktor trake</i>
<i>ω</i>	<i>Širina</i>
<i>ε</i>	<i>Jedinično idzduženje</i>

Princip mjerenja

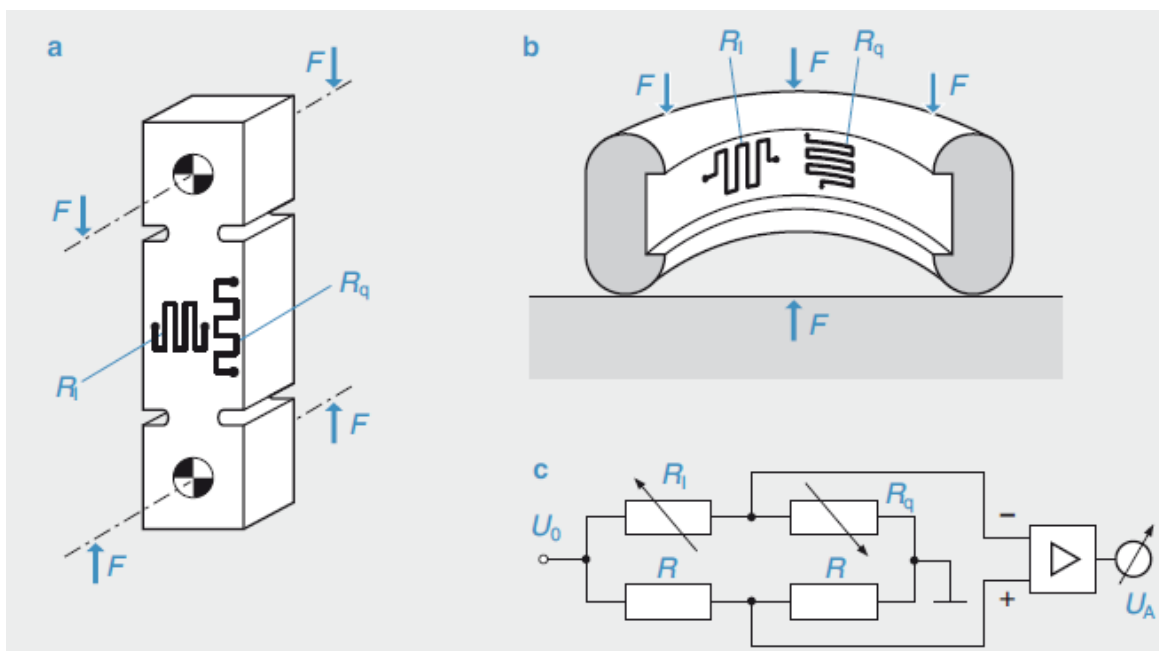


<i>a</i>	<i>Longitudinalno</i>
<i>b</i>	<i>Transverzalno</i>
<i>F</i>	<i>Sila</i>
<i>l</i>	<i>Struja</i>
<i>R</i>	<i>Otpornost</i>
<i>l</i>	<i>Dužina</i>
<i>K</i>	<i>Faktor trake</i>
<i>ω</i>	<i>Širina</i>
<i>ε</i>	<i>Jedinično idzduženje</i>

Material	Gage factors (<i>K</i>)	
	longitudinal	transverse
Foil strain gage	1.6 to 2.0	≈ 0
Thick-film	12 to 15	12 to 15
Metal thin film	1.4 to 2.0	-0.5 to 0
Si thin film	25 to 40	-25 to -40
Si-monocrystalline	100 to 150	-100 to -150

Faktor trake (*K*), fizikalne veličine

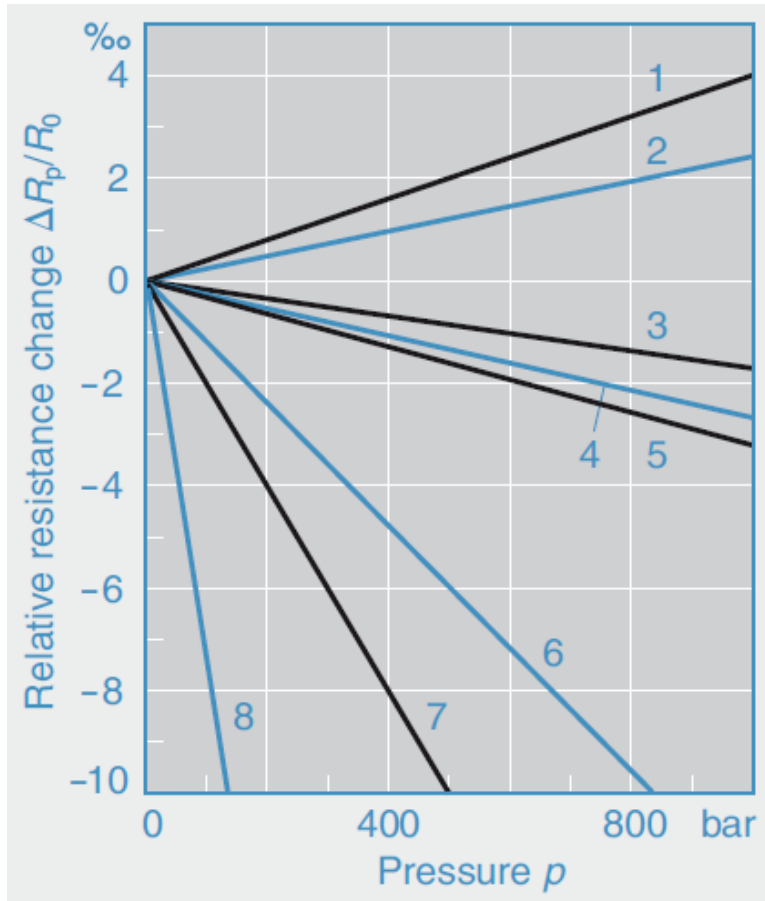
Princip mjerne trake (piezootpornost)



Mjerne trake kao senzori sile

- a* Šipkasti
- b* Torusni
- c* Elektronika za proračun
- F* Fila
- R_{l,q}* Metal-film otpornici, podužni, poprečni
- R* Otpornici mosta
- U₀* Napon napajanja
- U_A* Izlazni napon

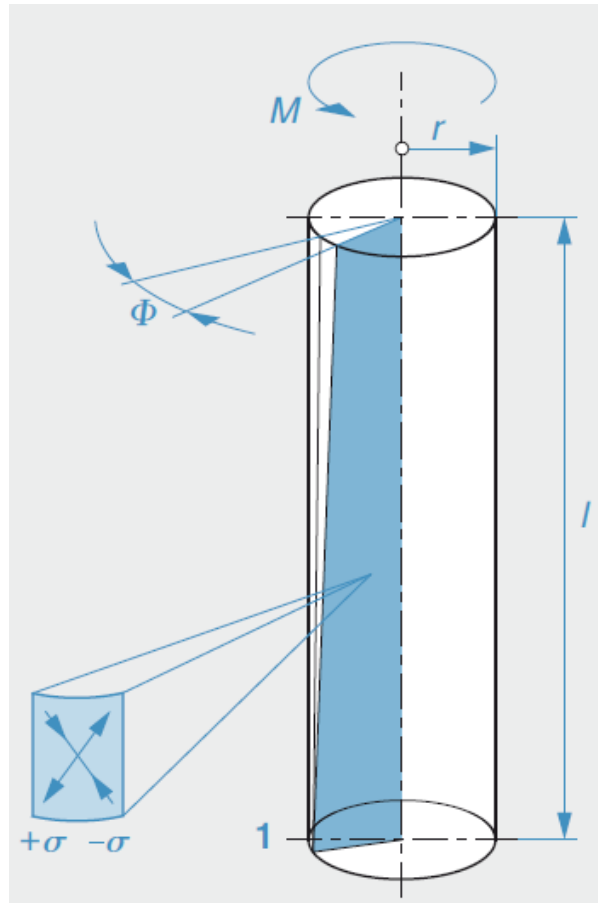
Princip mjerne trake (piezootpornost)



- 1 84.5 Ag 15.5 Mn
- 2 Mangan
- 3 Cu
- 4 Au
- 5 Ag
- 6 Karbonski film/sloj
- 7 Kermet
- 8 Provodna plastika

Piezootporno ponašanja različitih materijala izloženih normalnom pritisku

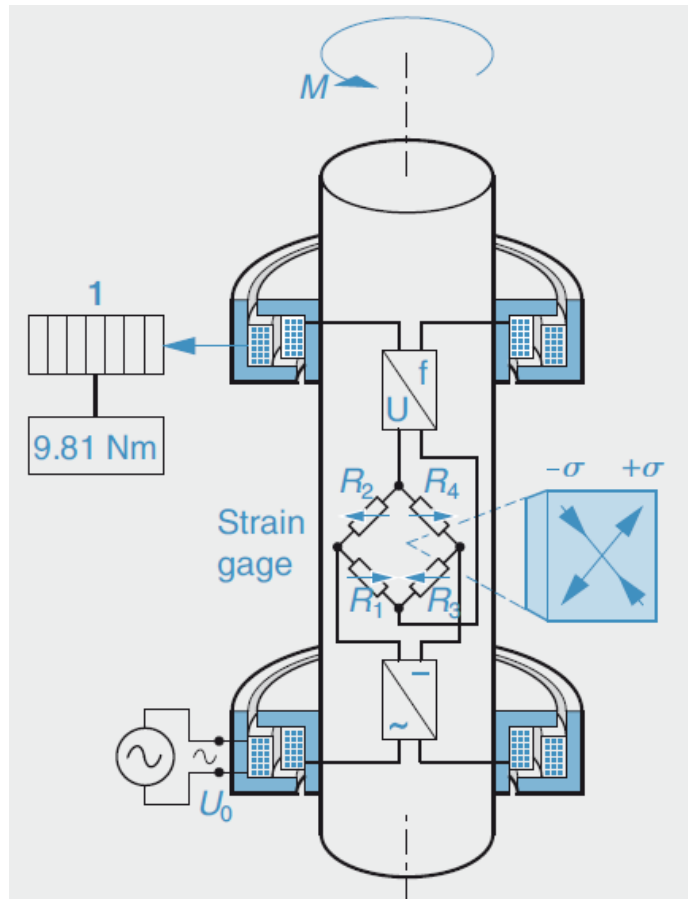
Senzori momenta



Mjerenje momenta: osnovni princip

- l Torziona šipka
- Φ Ugao uvijanja
- σ Torziona naprezanje
- M Moment
- r Radius
- l Dužina šipke

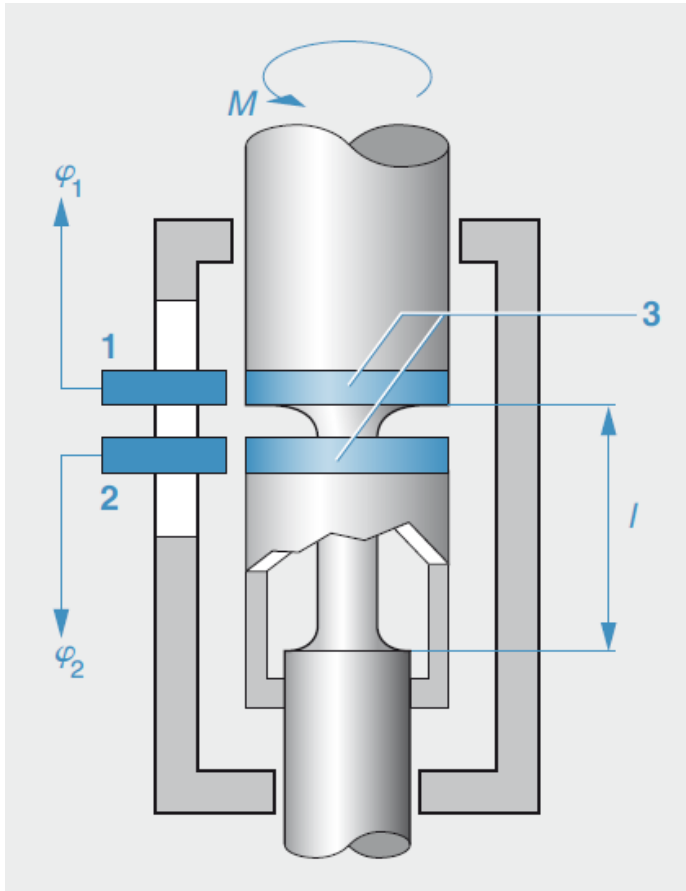
Senzori momenta mjerenjem deformacije



- 1 *Indikator momenta*
- σ *Torzioni napon*
- M *Moment*
- r *Napon napajanja*
- R_1 to R_4 *Otpornici mjerne trake*

Senzor momenta sa mjernim trakama koji radi na bezkontaktnom transformatorskom prenosu

Senzori momenta mjerenjem ugla



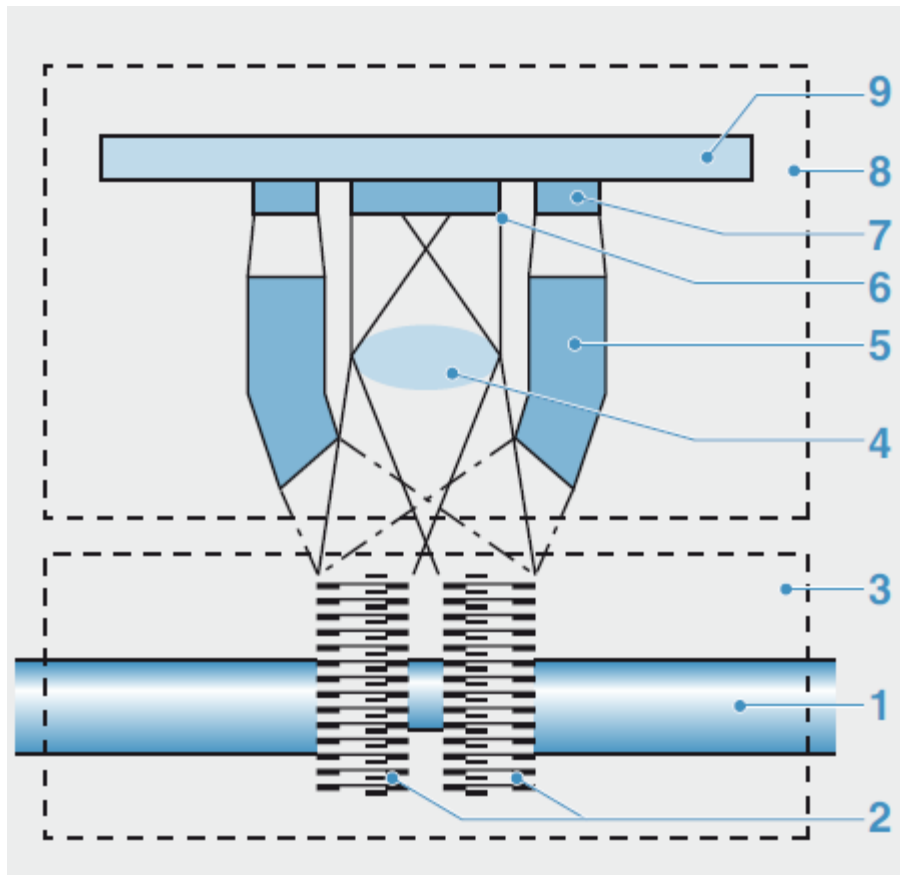
$$M = \text{const} \cdot L \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)$$

Gdje je l = mjerni dio vratila

- 1, 2 *Ugao/brzina senzori*
- 3 *Oznake uglova*
- M *Obrtni moment koji se mjeri*
- l *Mjerni dio vratila*
- $\varphi_{1,2}$ *Signali uglova*

Određivanje momenta uvijanja mjerenjem
razlike uglova

Senzori momenta mjerenjem ugla

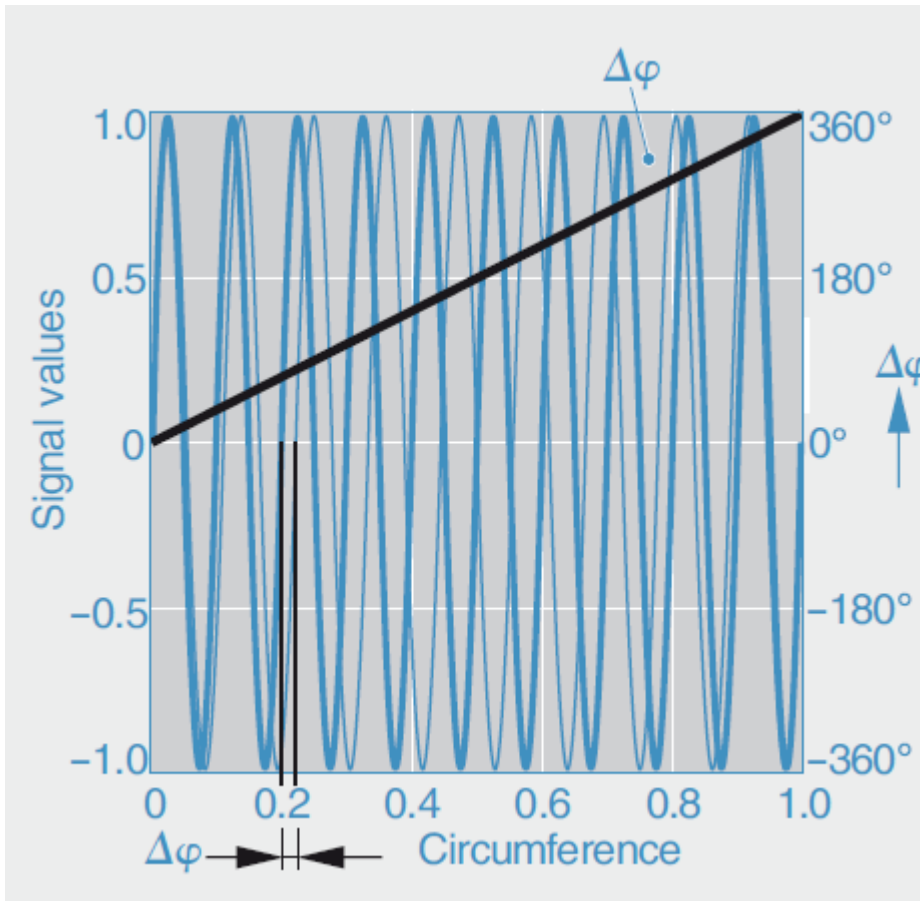


Optičko očitavanje oznaka ugla

- 1 *Osovina upravljača sa torzionim vratilom*
- 2 *Diskovi sa barkodom*
- 3 *Kućište upravljačkog mehanizma*
- 4 *Sočiva*
- 5 *Optički valovodi*
- 6 *Optički ASIC*
- 7 *LED*
- 8 *Senzorski modul*
- 9 *PCB*

Optoelektronički senzor obrtnog momenta upravljača

Senzori momenta mjerenjem ugla

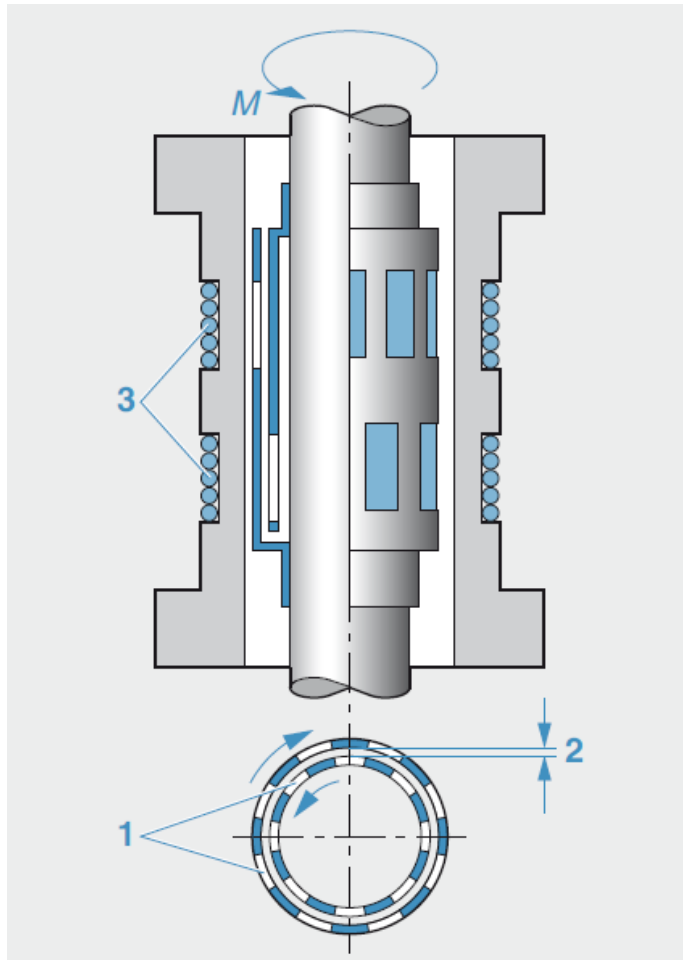


$$w = \arctan (u_1/u_2)$$

Gdje je $u_1 = u \cdot \sin \varphi$ and
 $u_2 = u \cdot \cos \varphi$

Mjerenje ugla vernierovim principom

Senzori momenta vrtložnim strujama



- 1 Prstenovi sa otvorima
- 2 Zračni zazor
- 3 Visokofrekventni namotaji
- M Obrtni moment koji se mjeri

Senzor momenta vrtložnim strujama