



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. Neither the European Union nor the granting authority can be."

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

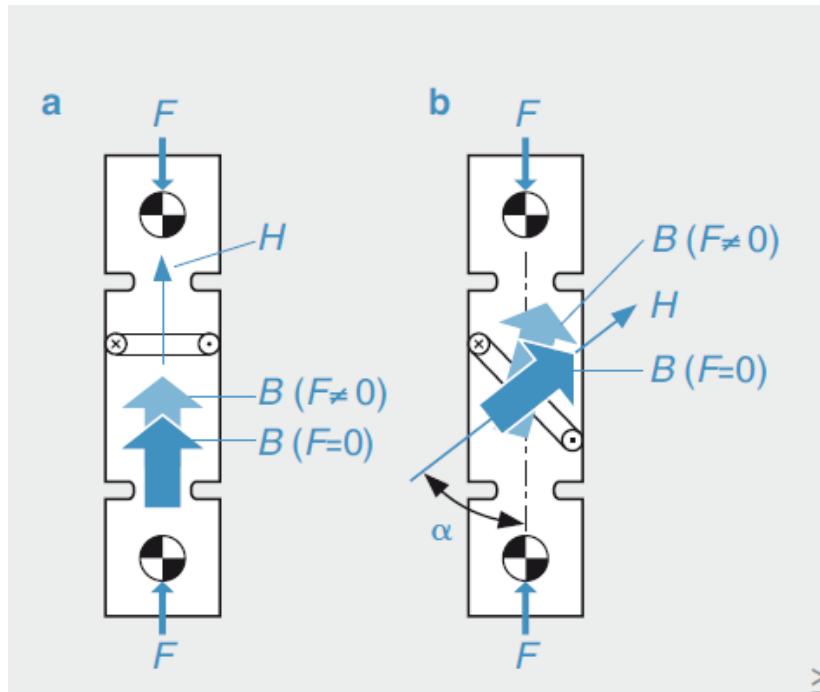
- U automobilskoj industriji je vrlo širok spektar primjene senzora sile i momenta, a neki od primjera su:
- Kod regulacije distribucije sile kočenja kod komercijalnih vozila sa prikolicom ili poluprikolicom
- Sila prigušenja kod elektronske kontrole šasije i ovjesa
- Elektronska regulacija raspodjele 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

Uvod

- Pri mjerenu 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

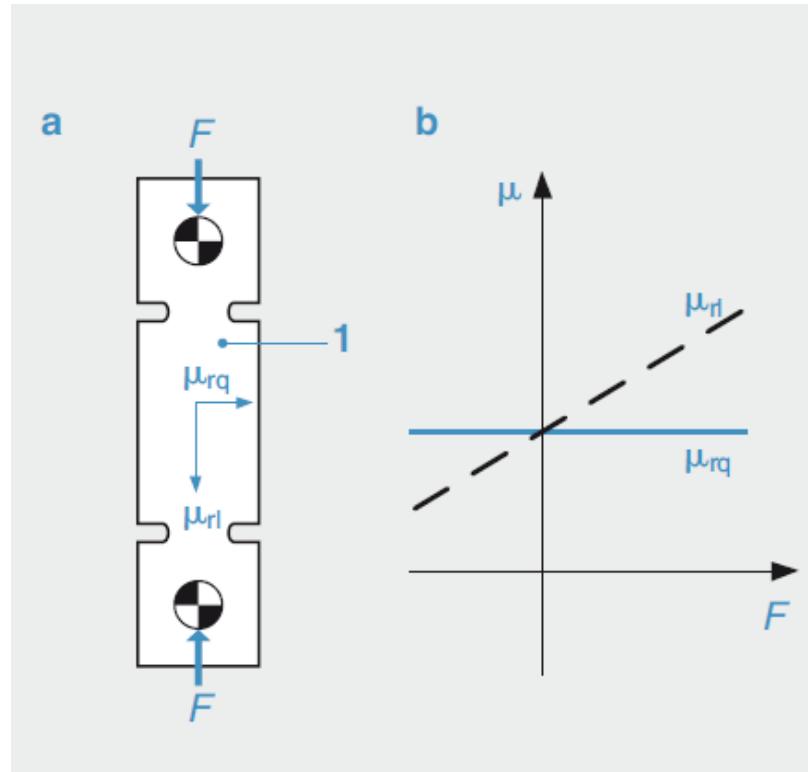
Magnetoelastični princip



- 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 mjerjenja



<i>a</i>	<i>Magnetoelastično mjerno tjelo</i>
<i>b</i>	<i>Mjerni efekat</i>
<i>F</i>	<i>Sila</i>
μ_r	<i>Relativna magnetna permeabilnost</i>
μ_{rq}	<i>Normalno na pravac sile</i>
μ_{rl}	<i>U pravcu sile</i>

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:

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

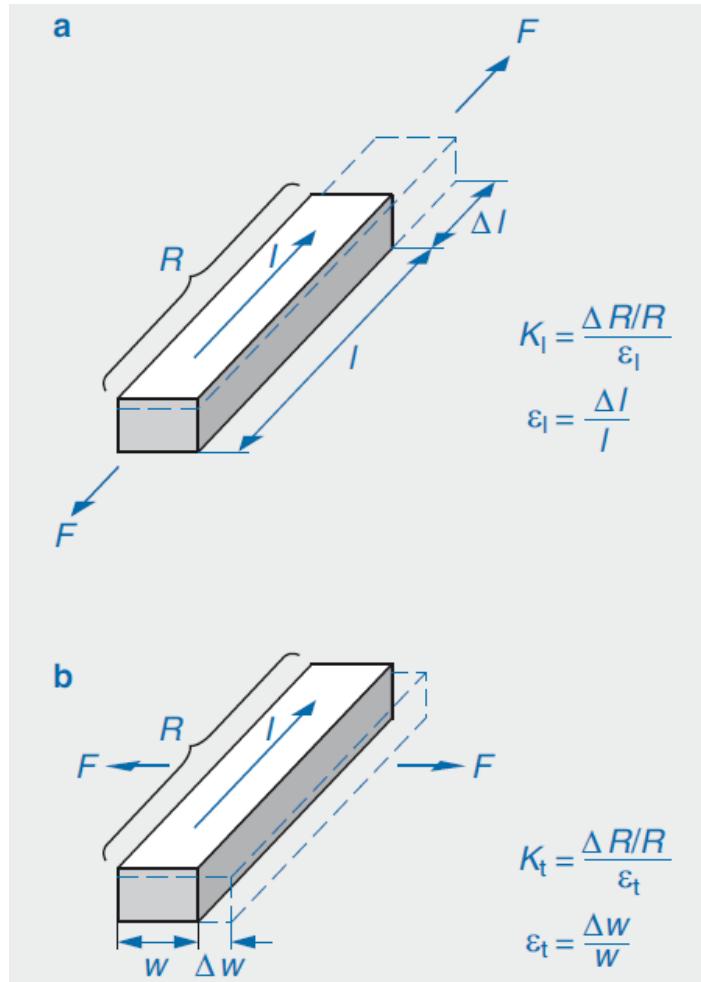
K , –faktor trake

ΔR , Ω – promjena otpornosti
uslijed izduženja otpornika

R , Ω – otpor otpornika

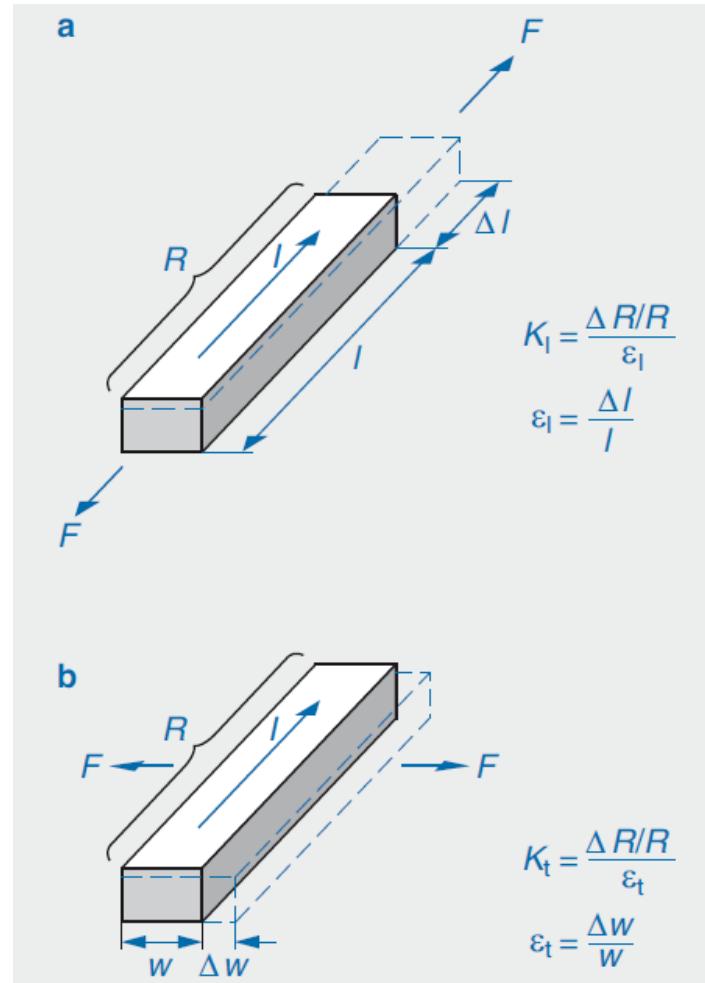
ε , mm/mm – jedinično
izduženje

Princip mjerena



<i>a</i>	<i>Longitudinalno</i>
<i>b</i>	<i>Transverzalno</i>
<i>F</i>	<i>Sila</i>
<i>I</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 mjerena

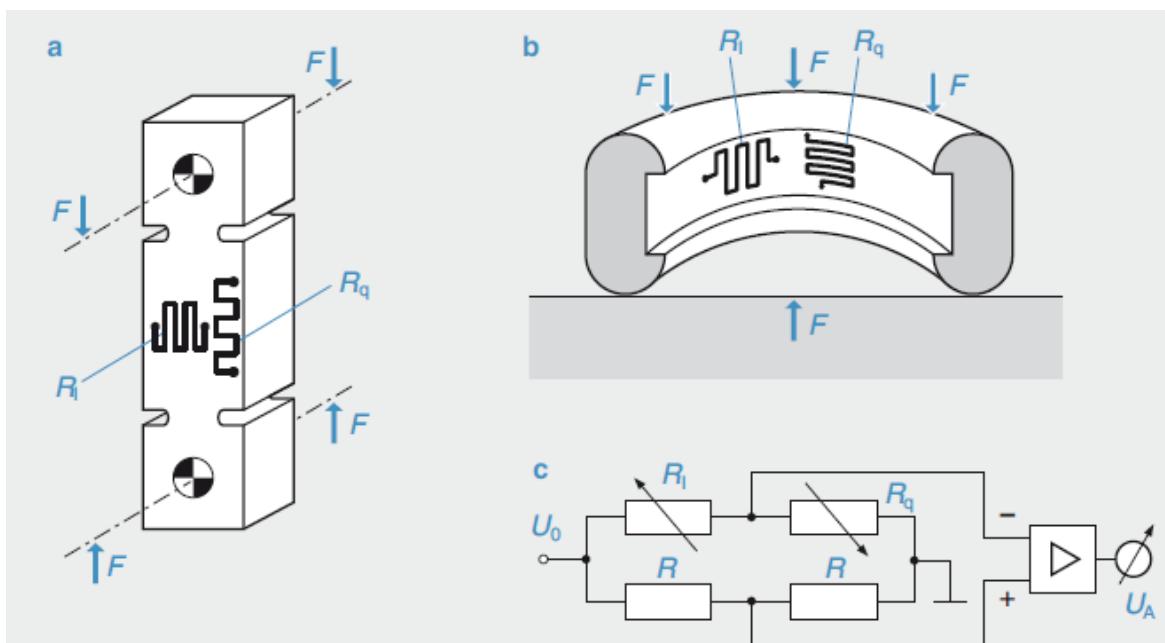


Faktor trake (K), fizikalne veličine

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

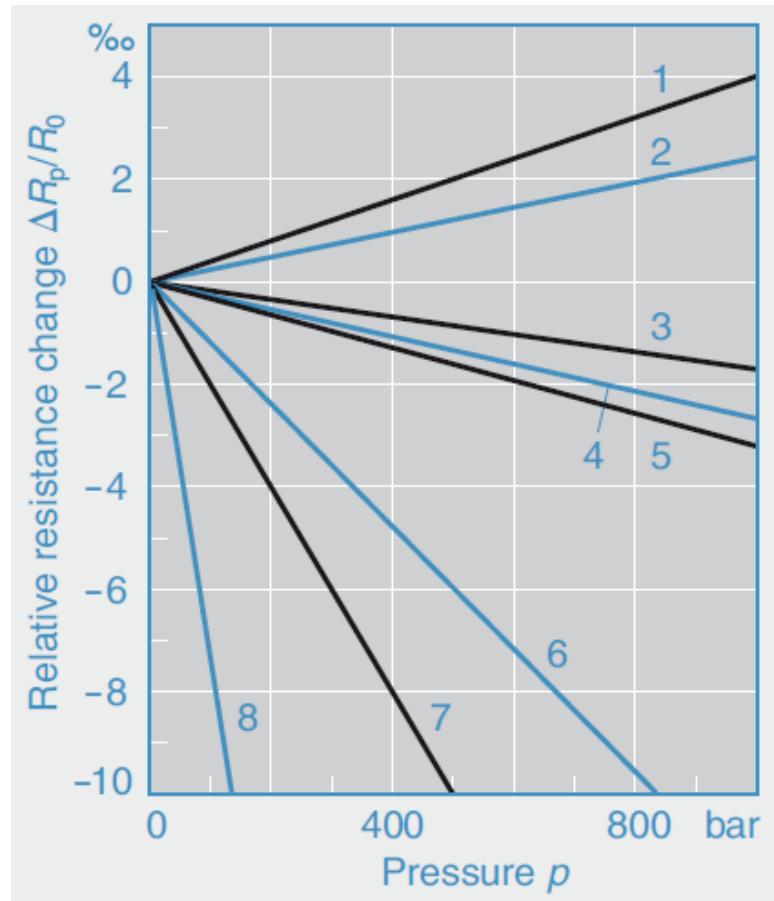
Material	Gage factors (K)	
	longitudinal	transverse
Foil strain gage	1.6 to 2.0	≈ 0
Thick-film	12 to 15	12 to 15
Metal thin film	1.4 to 2.0	-0.5 to 0
Si thin film	25 to 40	-25 to -40
Si-monocrystalline	100 to 150	-100 to -150

Princip mjerne trake (piezootpornost)



<i>a</i>	Šipkasti
<i>b</i>	Torusni
<i>c</i>	Elektronika za proračun
<i>F</i>	Fila
$R_{l,q}$	Metal-film otpornici, poduzni, poprečni
<i>R</i>	Otpornici mosta
U_o	Napon napajanja
U_A	Izlazni napon

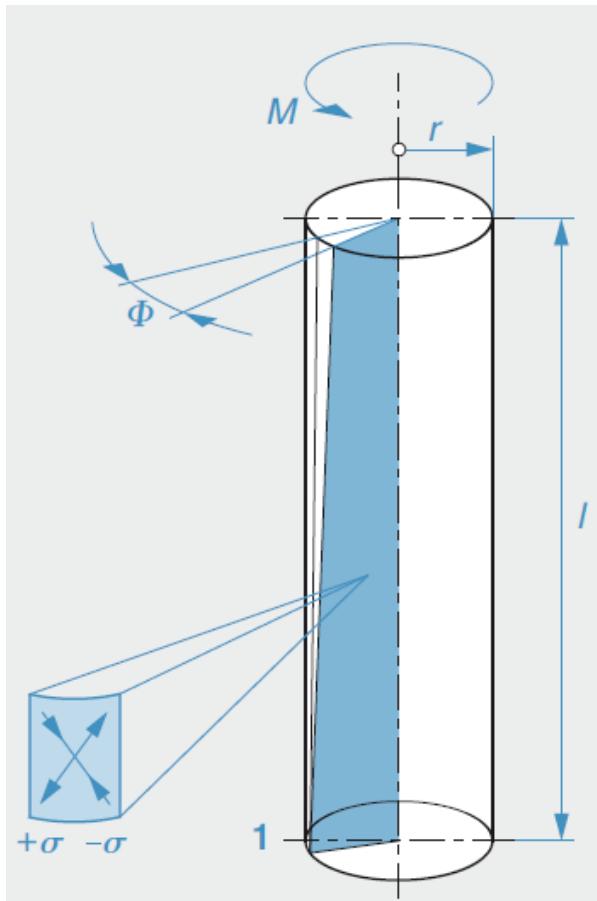
Princip mjerne trake (piezootpornost)



- 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

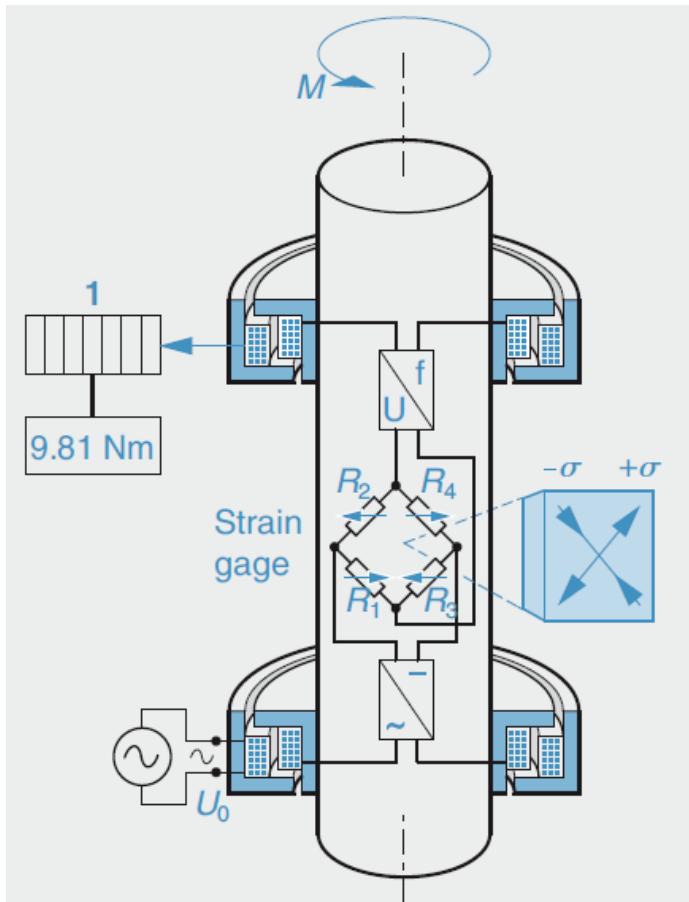
Senzori momenta



1	<i>Torziona šipka</i>
Φ	<i>Ugao uvijanja</i>
σ	<i>Torzionalno naprezanje</i>
M	<i>Moment</i>
r	<i>Radius</i>
l	<i>Dužina šipke</i>

Mjerenje momenta: osnovni princip

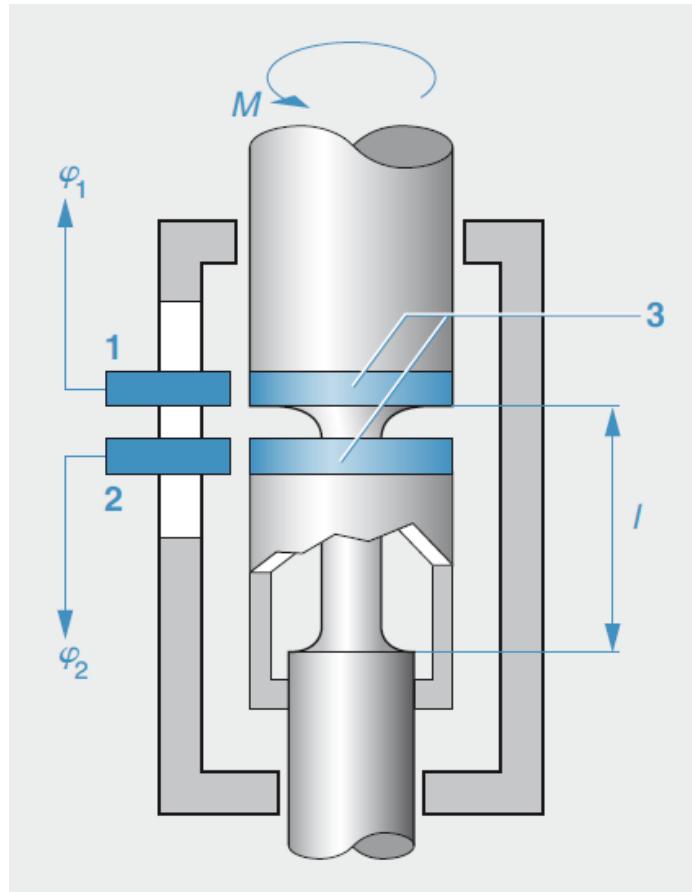
Senzori momenta mjenjem deformacije



- | | |
|----------------|-------------------------------|
| 1 | <i>Indikator momenta</i> |
| σ | <i>Torzioni napon</i> |
| M | <i>Moment</i> |
| r | <i>Napon napajanja</i> |
| R_1 to R_4 | <i>Otpornici mjerne trake</i> |

Senzor momenta sa mjernim trakama koji radi na bezkontaktnom transformatorskom prenosu

Senzori momenta mjerjenjem ugla



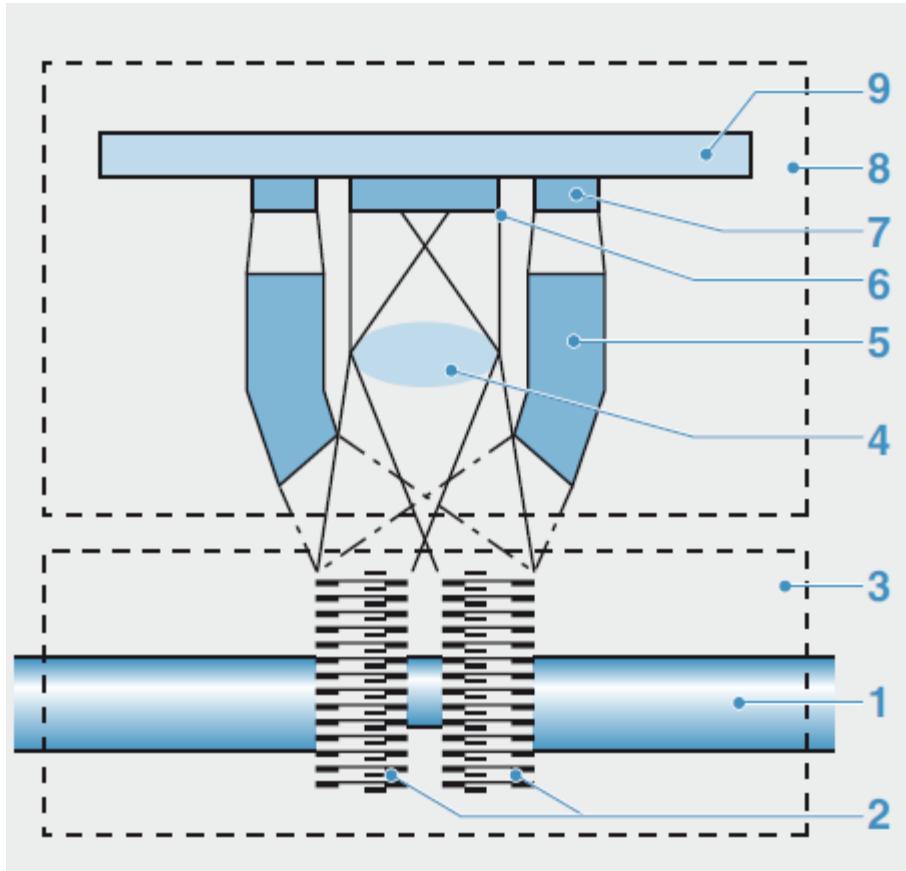
$$M = \text{const} \cdot L \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)$$

Gdje je I = mjerni dio vratila

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

Određivanje momenta uvijanja mjerjenjem razlike uglova

Senzori momenta mjeranjem ugla

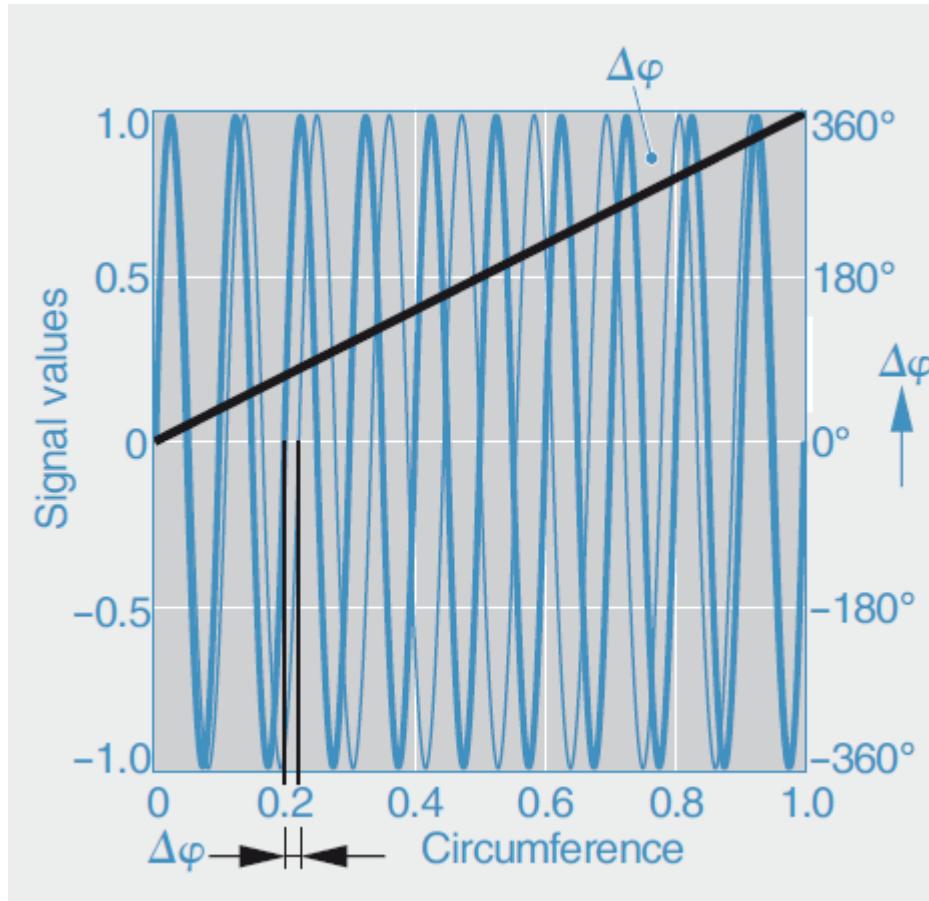


Optoelektronički senzor obrtnog momenta
upravljača

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*

Senzori momenta mjerjenjem ugla

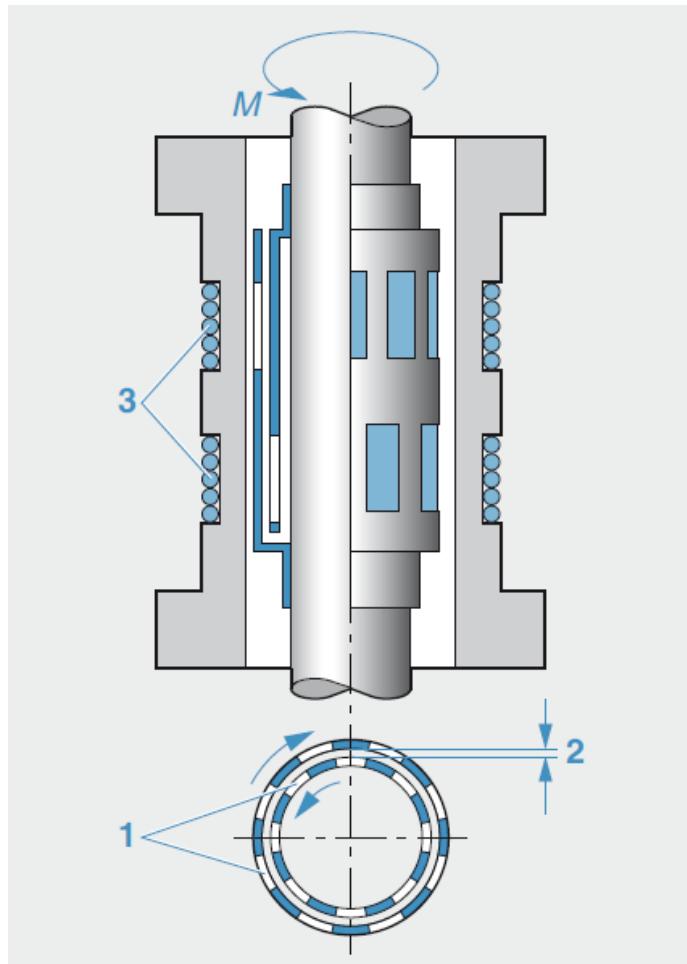


$$w = \arctan(u_1/u_2)$$

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