

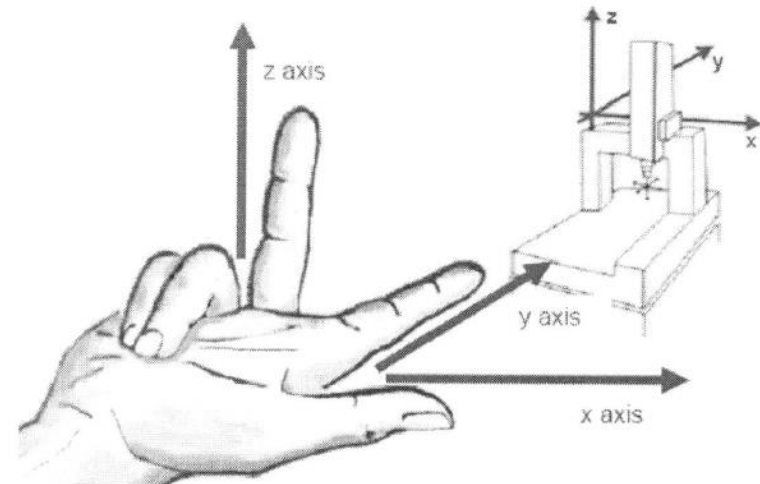
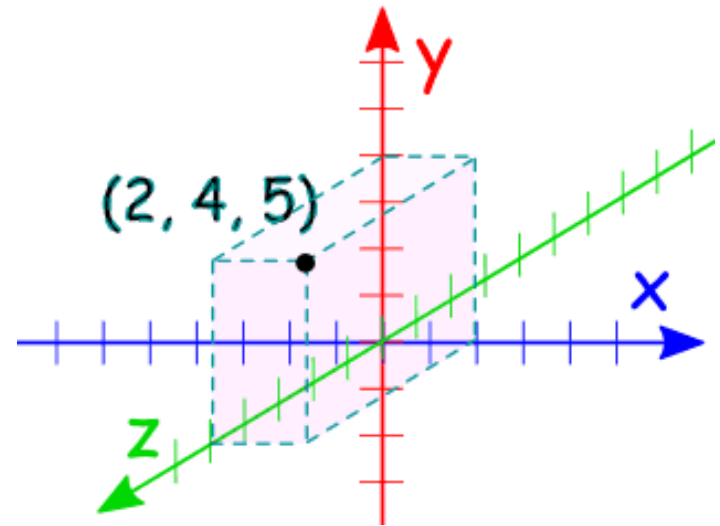
KONTAKTNI SENZORI NA KMM

Uvod

Funkcija KMM je akvizicija informacija sa merenog dela, uglavnom u formi Dekartovih koordinata.

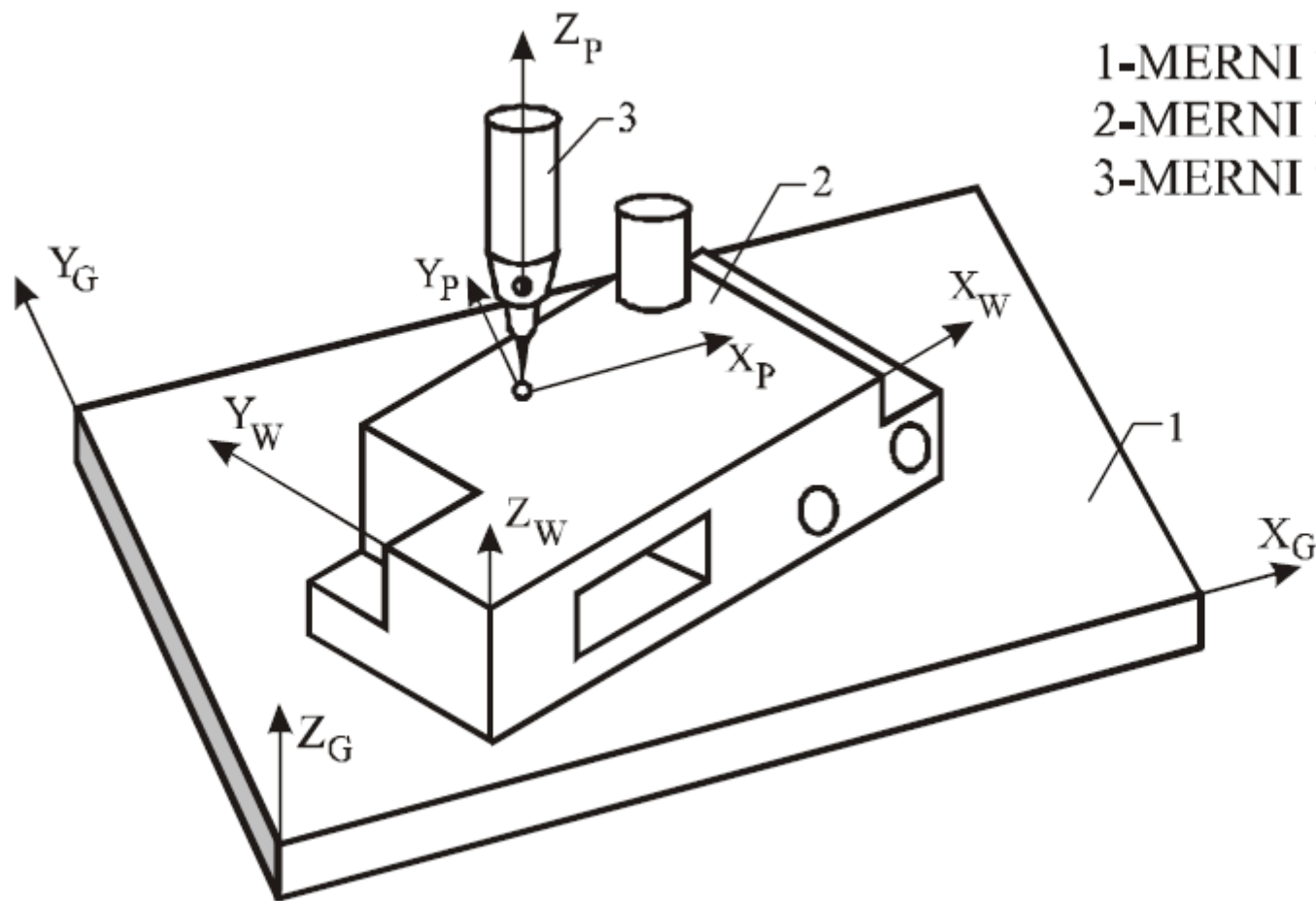
Uređaji namenjeni za obezbeđivanje ove vrste informacija nazivaju se **SENZORI**.

Senzori su prošli kroz značajnu evoluciju u poslednjih 25 godina i danas su dostupni u brojnim, različitim izvedbama, sve u cilju obezbeđenja rešavanja bilo kog praktičnog problema.



Pravilo desne ruke

Koordinatni sistemi kod KMM

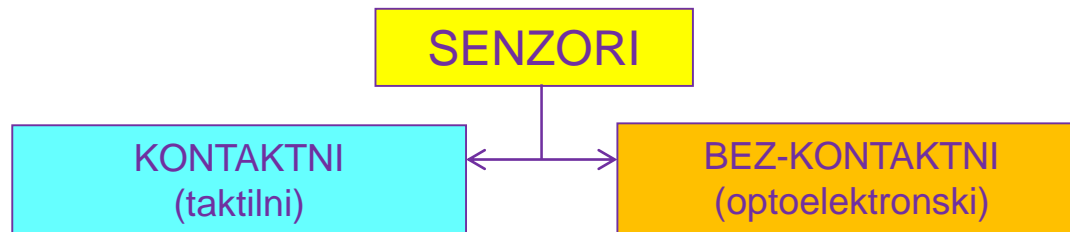


- 1-MERNI STO KMM
- 2-MERNI PREDMET
- 3-MERNI SENZOR

Podela senzora

Senzori se, pored u osnovnim metrološkim karakteristikama, razlikuju i prema osnovnim fizičkim principima na kojima su zasnovani.

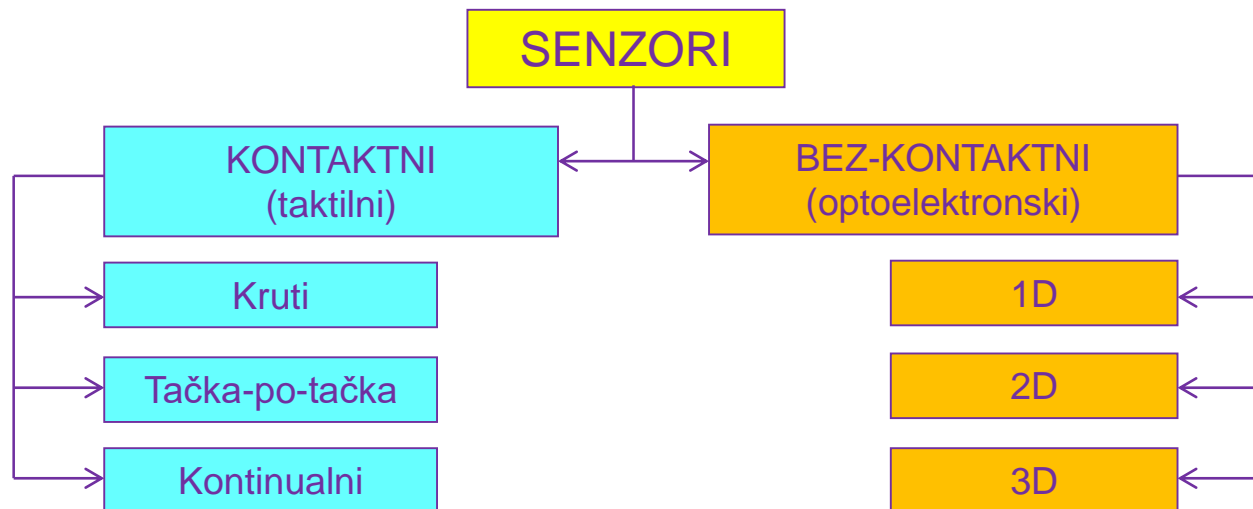
Senzori se, prema metodi na bazi koje senzor omogućava prikupljanje informacija sa dela koji se meri (digitalizuje), dele u dve velike familije senzora:



Kontaktne (taktilne) senzori

Ova grupa senzora omogućava merenje na bazi kontakta sa merenim delom.

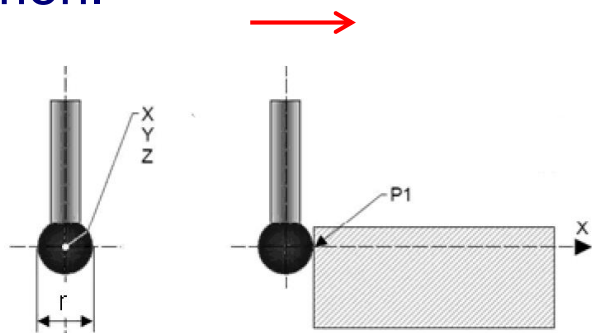
Taktilni senzori se dele na:



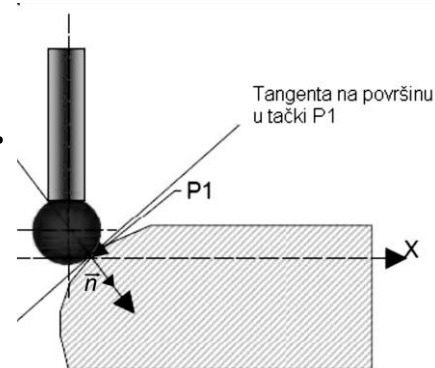
Kruti senzori

Sferni kruti senzori koriste se tako što korisnik (operator) ručno dovodi sferu u fizički kontakt sa tačkom koji meri, a zatim šalje signal za snimanje koordinata centra sfere senzora putem mernog sistema, odnosno osa koordinatnog sistema.

Koordinate tačke kontakta se dobijaju sabiranjem vektora položaja centra sfere i pravca u kome je predmet dodirnut. Kruti senzori su proizvode u raznim oblicima i dimenzijama, u zavisnosti od oblika koji se meri.



$$P_1 = P_C + \vec{n} \cdot r$$



Primena krutih senzora je i dalje vrlo prisutna kod koordinatnih mernih mašina tipa zglobne merne ruke.

Kruti senzori

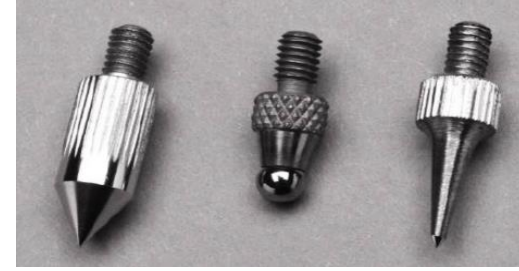
3D-merne ruke su sa razvojem kvalitetnijih zglobnih veza (cilindričnih i sfernih) između segmenata, kao i računarske podrške za očitavanje pozicije senzora, prerasle u moderne uređaje za 3D-digitalizaciju.

Razvoj ove vrste uređaja je, zahvaljujući njihovoj fleksibilnosti i mobilnosti, procese merenja, tradicionalno vezane za laboratorijske uslove, izmestio van ovih okvira.

Konstrukciju ovih uređaja čine segmenti (najčešće 3 ili 4) koji su povezani cilindričnim i/ili sfernim zglobnim vezama, čime se omogućuje da kontaktni senzor (koji ujedno predstavlja i krajnji segment) zauzme gotovo bilo koji položaj u prostoru i priđe i teško pristupačnim delovima objekata.



Kruti senzori



Kontaktни merni senzor kod ove vrste uređaja je tipično krutog tipa, često sa konusnim vrhom, umesto sfere, u cilju eliminisanja efekta “sferne greške” koja predstavlja najveću slabost 3D-mernih ruka u pogledu tačnosti.

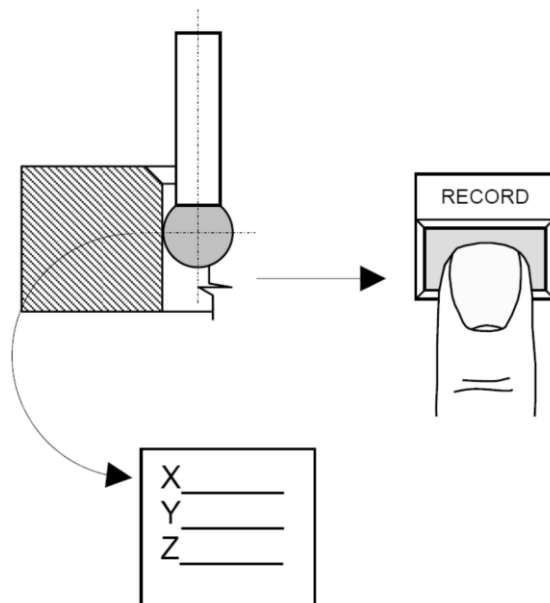
Upravljanje 3D mernim rukama, odnosno dovodenje senzora u mernu poziciju je **manuelno**, što je i osnovna razlika u odnosu na primenu kontaktnih mernih senzora na robotskim rukama kod kojih je po pravilu upravljanje CNC.



Kruti senzori

Akvizicija podataka je takođe **manuelna** - operater pritiskom na taster (ili papučicu) daje signal softverskoj podršci da memoriše koordinate trenutne pozicije senzora.

Princip merenja je zasnovan na trigonometrijskom izračunavanju pozicije mernog senzora preko (opto-elektronskih) senzora položaja u zglobovima, koji daju informaciju o uglovima zakretanja segmenata, koja se zatim transformiše u x, y i z koordinate.



Kruti senzori

U **prednosti** ove vrste uređaja za 3D-digitalizaciju mogu se ubrojati:

- + mobilnost,
- + primenljivost u različitim okruženjima (od pogona do otvorenih prostora), kao i
- + mogućnost jednostavne 3D-digitalizacije većih objekata (iz nekoliko mernih pozicija).

Nedostaci su:

- manja tačnost (usled prisustva pomenute „sferne greške“, odnosno nedostatka informacije o vektoru normale u tački kontakta senzora i objekta) i
- sporija akvizicija podataka.

Kontaktne senzori za merenje “tačka po tačka”

Ovi senzori se nazivaju i „okidački“ (eng. trigger) zato što generišu električni signal kada dođu u fizički kontakt sa mernim predmetom. Ovaj signal se koristi za zaustavljanje svih kretanja mašine i snimanje koordinata centra pipka od strane mernog sistema KMM.

Kontaktne senzori za merenje na principu „tačka po tačka“ mogu se podeliti u sledeće kategorije:

- 1 - sa statičkim nosačem,
- 2 - induktivni,
- 3 - sa piezoelektričnim statičkim nosačem i
- 4 - na bazi mernih traka.

Statički kontaktni senzori

Ova vrsta senzora spada u najjednostavnije.

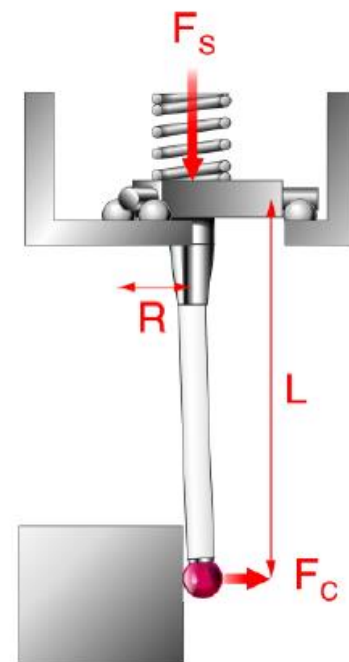
Osnovna funkcija ovog mernog senzora je uspostavljanje ili prekidanje elektromotorne sile u odgovarajućem strujnom kolu u trenutku dodira mernog pipka sa mernim predmetom, čak i pri silama dodira manjim od 0,01 N.

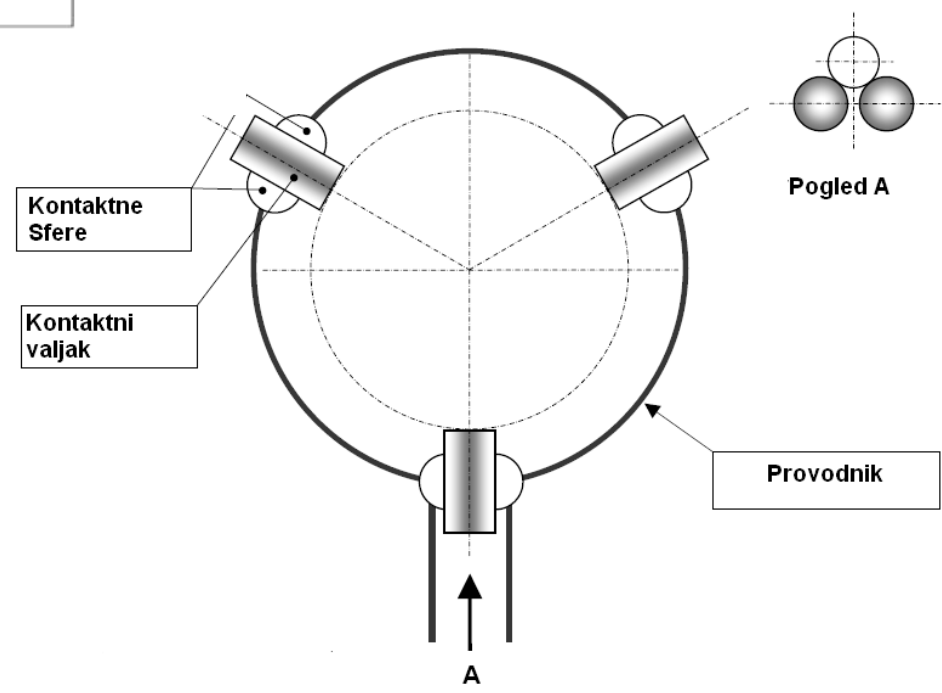
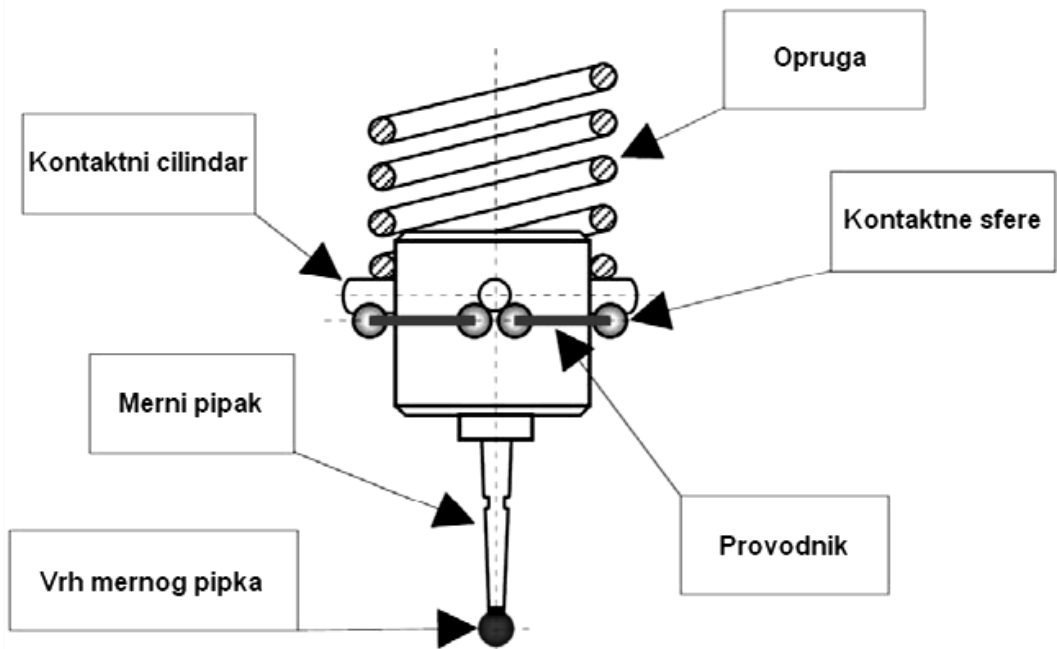
Zasnovani su na mehanizmu gde su tri para kontakata zatvorena silom opruge.

Tri kontakta obrazuju statički nosač, sa velikom ponovljivošću pozicioniranja.

Kontakti su sastavljeni od tri cilindra koja se nalaze u istoj ravni pod međusobnom uglom od 120° .

U stanju mirovanja cilindri zajedno sa sferama zatvaraju električno kolo.





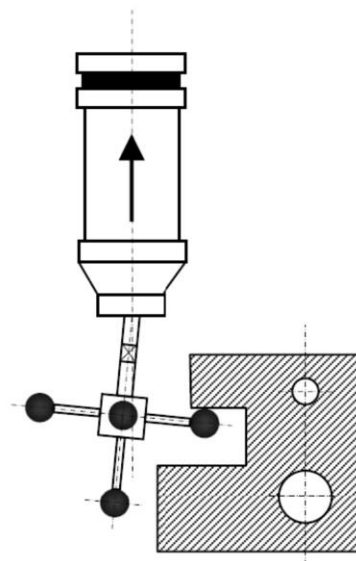
Statički kontakti senzori

Ovi senzori se izvode kao:

- ✓ 5-smerni (sposobni za merenje u bilo kom pravcu, ali ne u pravcu ose mernog pipka) ili
- ✓ 6-smerni kojima se meri u svim pravcima;

Glavni nedostaci su im:

- sporost,
- ne mogu se upotrebiti za "skeniranje",
- nisu pogodni za izvršenje mernih zadataka koji zahtevaju samocentriranje mernog senzora,
- lako se lome i
- izazivaju izvesne teškoće kod automatske izmene mernog senzora.



Šestosmerni
statički senzor

Induktivni merni senzori

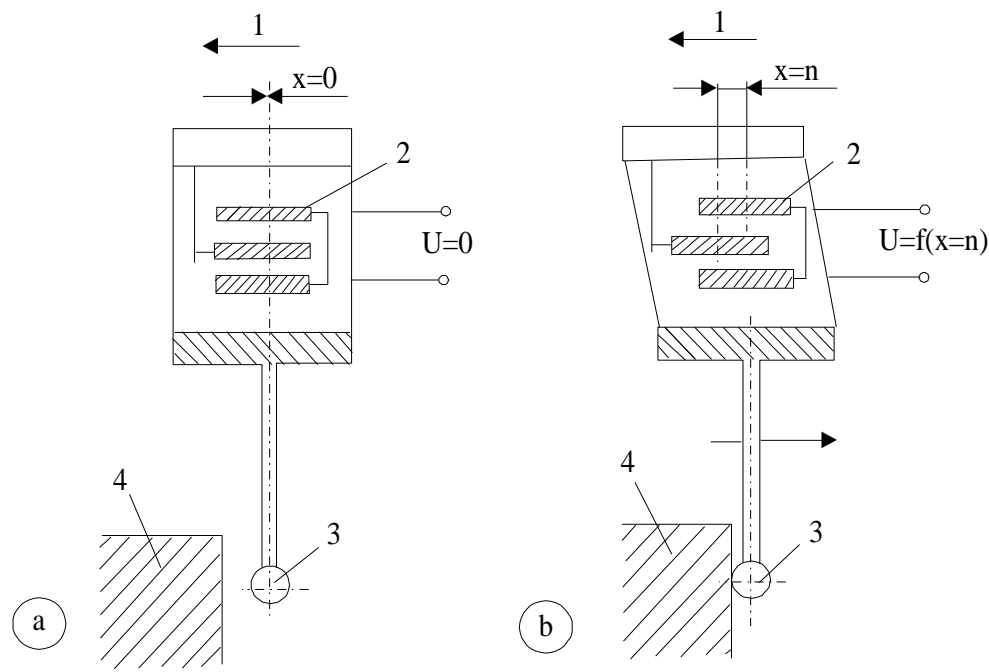
Kod većine proizvođača KMM izvode se kao induktivni.

Pri kontaktu mernog pipka i mernog predmeta, indukuje se napon $U=f(x=n)$ i aktivira se upravljanje koje dalje pomera pokretni element KMM po odgovarajućoj mernoj osi sve dok se induktivni merni sistem korespondentne ose ne dovede u nulti položaj.

Nakon određenog vremena (oko 1 sekunde) sistem se nalazi u ovom induktivnom položaju u cilju prigušivanja svih mehaničkih kretanja.

Iza toga sledi preuzimanje mernih veličina sa mernog sistema KMM od strane računara.

Princip dejstva induktivnog senzora u nekoj od osa univerzalne merne glave
(1-smer kretanja;
2-induktivni senzor;
3-merni pipak;
4-merni predmet)



Induktivni merni senzori

Ova vrsta senzora omogućuje skeniranje, odnosno kontinualno praćenje konture mernog predmeta, slično kopirnom uređaju.

Kada merni pipak dodirne merni predmet, tada merna mašina sledi konturu mernog predmeta analogno upravljanju pomoću kopirnog šablona, pošto merni senzor dopušta kretanje u potrebnim pravcima.

Ovo je moguće obzirom da upravljački sistem neprekidno deluje na senzorske sisteme mernog senzora primoravajući ih da zauzimaju nulte položaje.

Induktivni senzor nije pogodan za merenje pomeranja, ali je zato pogodan za fino merenje sile.

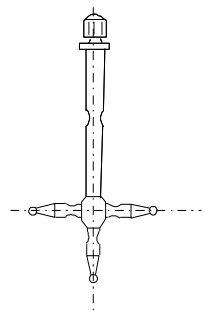
U kombinaciji induktivnog mernog senzora i optičkog mernog sistema (merenje pomeranja) KMM, dobijaju se veoma dobre performanse.

Merni pipak senzora

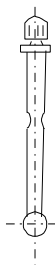
Pipak senzora je izmenljiv za slučaj oštećenja i habanja, ali i, što je veoma važno, kako bi se omogućio izbor najbolje konfiguracije (dimenziono i morfolški) za dati metrološki zahvat.

Telo pipka je u opštem slučaju napravljeno od nerđajućeg čelika, ali neretko se sreću tela pipka od keramike ili ugljeničnih vlakana, kako bi se smanjila masa, obezbedila dobra reakcija na temperaturne uslove okoline itd.

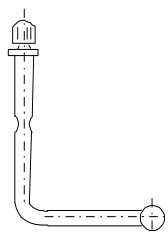
Vrh pipka, često u obliku sfere se proizvodi od veštačkog rubina ili keramike.



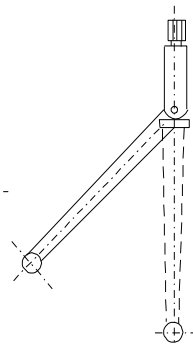
ZVEZDASTI OBLIK



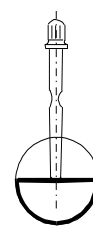
PRAV OBLIK



L - OBLIK

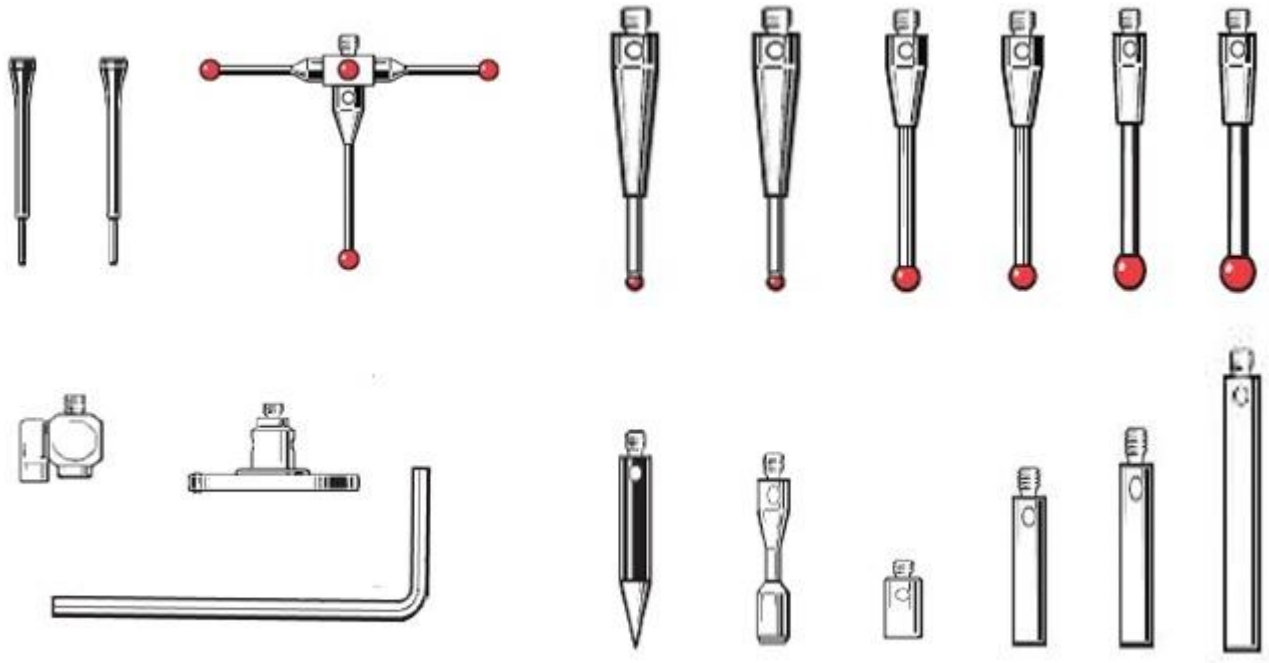
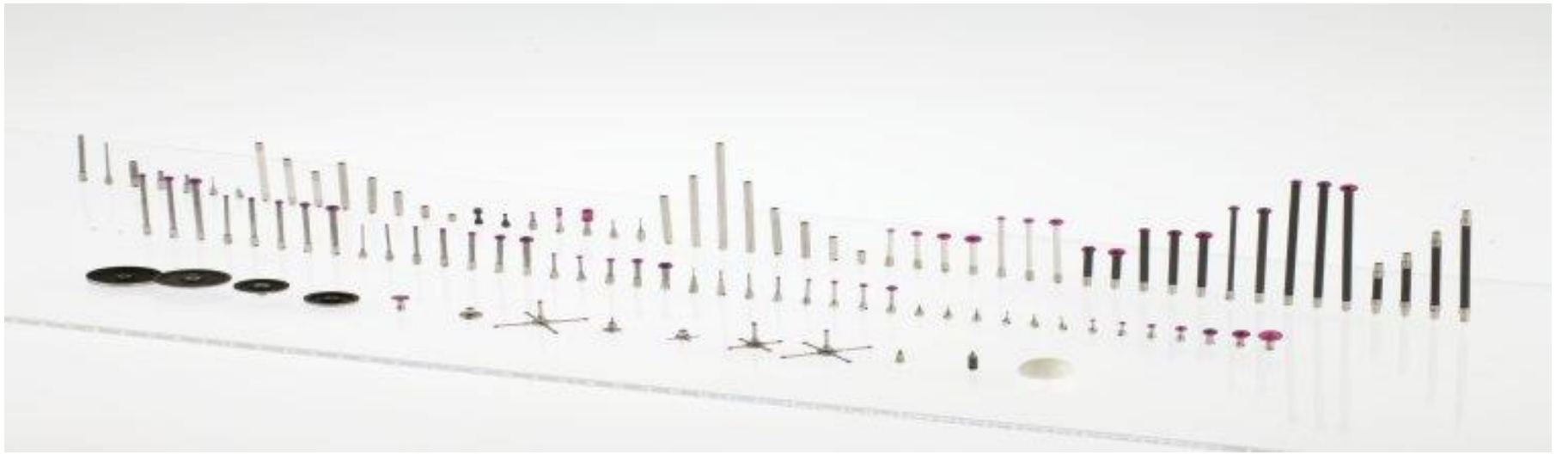


ZGLOBNI OBLIK



OBLICI ZA SPECIJALNE NAMENE
(cilindrični, {picast, polusferni)

Karakteristični oblici mernih pipaka



Merni pipak senzora

Dužina pipka je kritični parametar koji može uticati na pouzdanost mernih rezultata.

Kao i svaki predmet na koji se vrši mehaničko dejstvo, kada senzor dodirne predmet, on podleže elastičnim deformacijama, savijanju i izvijanju.

Amplituda oscilacija može varirati u zavisnosti od:

- ✓ dužine pipka,
- ✓ materijala pipka i
- ✓ brzina merenja.

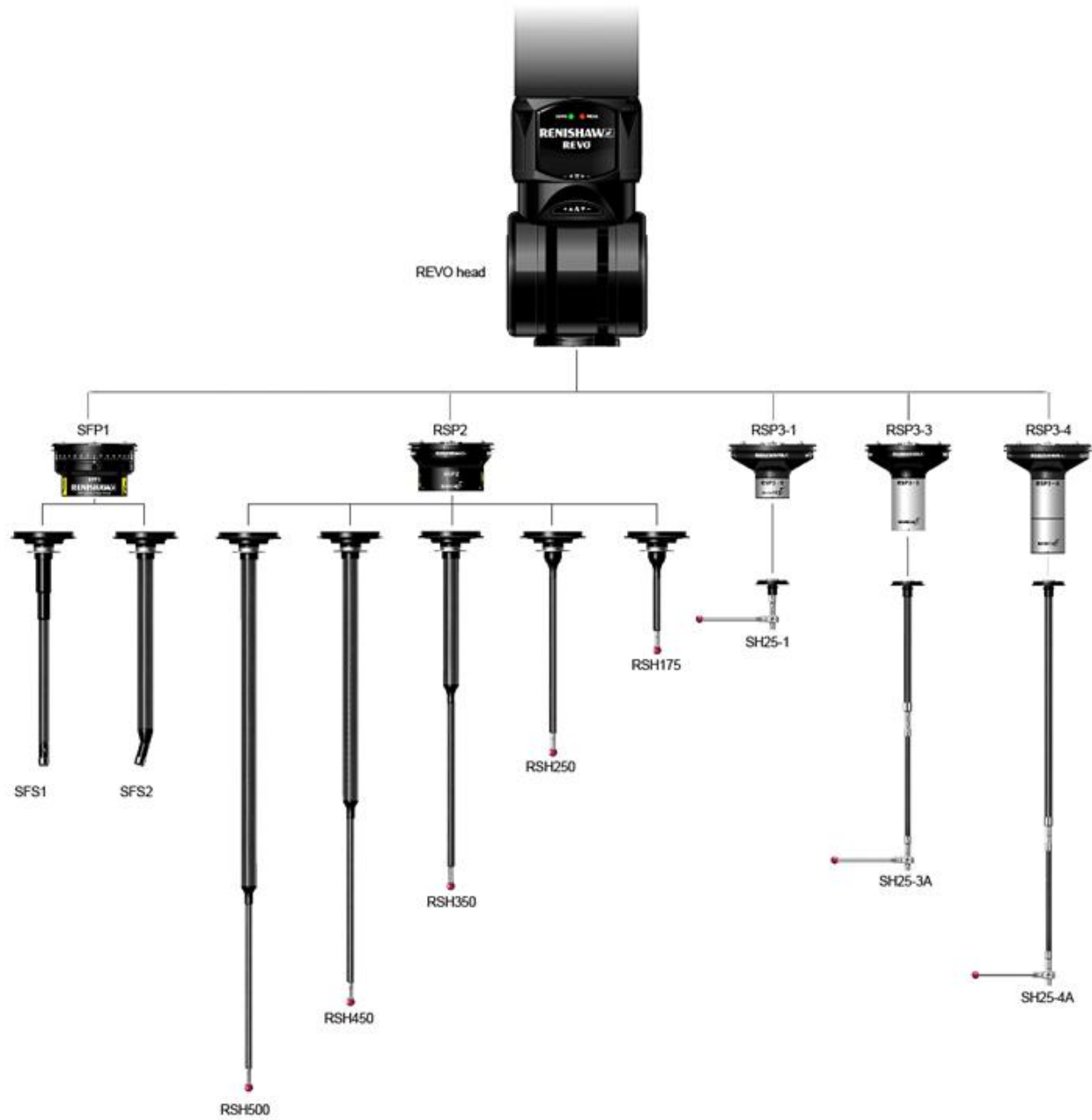


Magacin mernih pipaka



Nastavci za zakretanje senzora







ZEISS

CONTURA G2

Form- und Lagetoleranzen

Form- und Lagetoleranzen

ZEISS
CONTURA G2
Seriennummer: 10000000000000000000
Herstellungsjahr: 2000
Max. X-Achse: 1000 mm
Max. Y-Achse: 1000 mm
Max. Z-Achse: 1000 mm
Max. X-Y-Ebene: 1000 mm
Max. X-Z-Ebene: 1000 mm
Max. Y-Z-Ebene: 1000 mm
Max. X-Y-Z: 1000 mm
Max. X-Y-Z-Ebene: 1000 mm
Max. X-Y-Z-Ebene: 1000 mm
Max. X-Y-Z-Ebene: 1000 mm

Red emergency stop button, power button, and a rotary switch.

Piezoelektrični senzori

Piezoelektricitet (od grčke reči „piezin“ = pritiskati) je fenomen (koji su otkrili Pjer i Džek Kiri 1880. godine) da je električni potencijal prisutan u određenim oblicima kristala kada su izloženi mehaničkom dejstvu.

Piezoelektrični senzor **detektuje oscilacije nastale prilikom kontakta vrha pipka i mernog predmeta.**

Glavne **karakteristike** ove vrste senzora su:

- veoma **dobre metrološke osobine** čak i sa pipcima sa povećanom dužinom,
- **mogućnost merenja tačkaka u svim pravcima** (6-smerno),
- mogućnost direktnog postavljanja u glavnu osu koordinatne merne mašine i
- **visoka tačnost.**

Bez obzira na interesantna svojstva, ovaj tip senzora nije rasprostranjen kao prethodni, ali se tu mora naglasiti da su senzori sa elektro-mehaničkim statičkim nosačem koncipirani i plasirani na tržište tokom ranih 70-tih godina XX veka, dok su piezoelektrični senzori koncipirani mnogo kasnije.

Senzori na principu mernih traka

Ovi senzori imaju mogućnost merenja sile kontakta pipka i predmeta u tri pravca.

U odnosu na elektromehaničke "tačka po tačka" senzore, senzori sa mernim trakama stvaraju signal pri znatno manjoj sili dodira sa predmetom, što dozvoljava neznatno savijanje pipka i znatno smanjen otklon.

Iz prethodnog proizilazi dobra osobina senzora sa mernim trakama - mogućnost upotrebe pipaka većih dužina.

Nedostatak je velika osetljivosti ovih uređaja, izlazni podaci se moraju prečistiti kako bi se izbegle tačke koje predstavljaju šum (nisu nastale usled kontakta sa delom, već usled vibracija pokretnih elemenata mašine). Zbog toga se preporučuje korišćenje pipaka od materijala sa dobrim karakteristikama prigušenja oscilacija i što manje mase.

Kontinualni kontaktni senzori

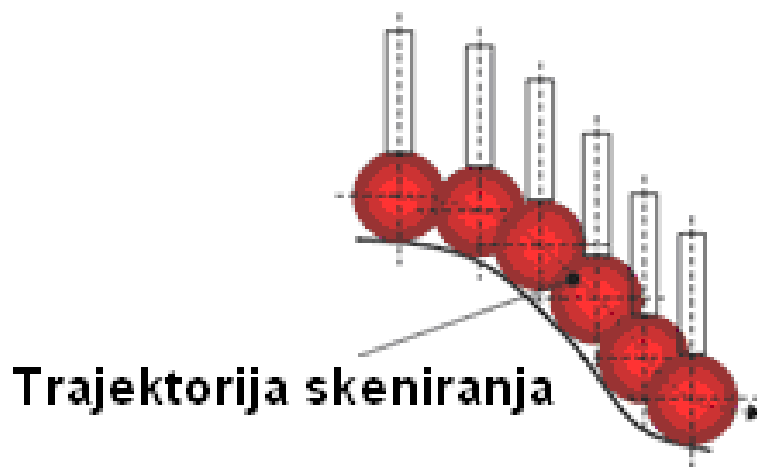
Kontinualni kontaktni senzori su mnogo godina predstavljali najsofisticiraniji oblik senzora korišćenih na koordinatnim mernim mašinama.

Kao što je već navedeno, senzor diskretnih tačaka dolazi u dodir sa predmetom samo u trenutku merenja tačke, dok kod kontinualnog skeniranja senzor ostaje u dodiru sa predmetom prateći njegov profil i sakupljajući tačke prema prethodno definisanim pravilima.

Ovaj tip senzora se koristi za merenje i za 3D digitalizaciju.

Ove vrste uređaja se mogu podeliti u dve kategorije:

- 1) pasivne i
- 2) aktivne.



Pasivni kontinualni kontaktni senzori

Pasivni senzori su jednostavniji mehanizmi.

Rade na principu **očitanja odklona pipka pomoću mehanizma opruge.**

Merenje tačaka se ostvaruje kretanjem osa KMM koji uzrokuju pomeranje pipka iz položaja mirovanja.

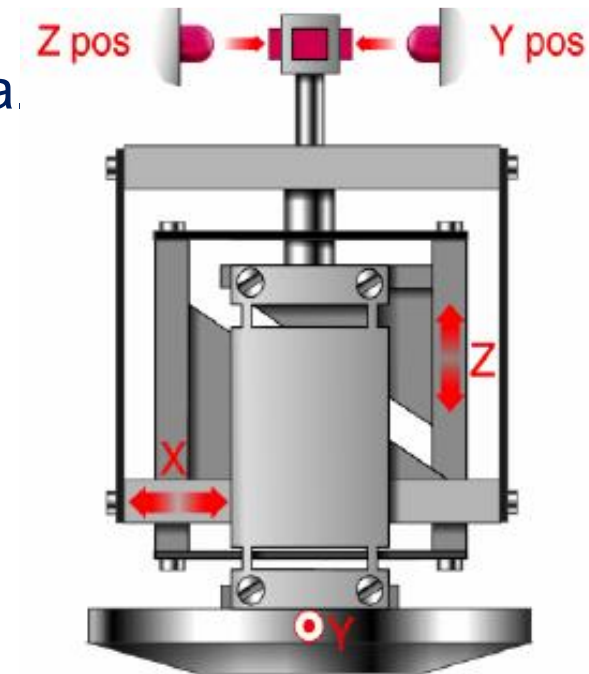
Najčešći **mehanizam je zasnovan na tri para opruga, postavljenih u vidu paralelograma.**

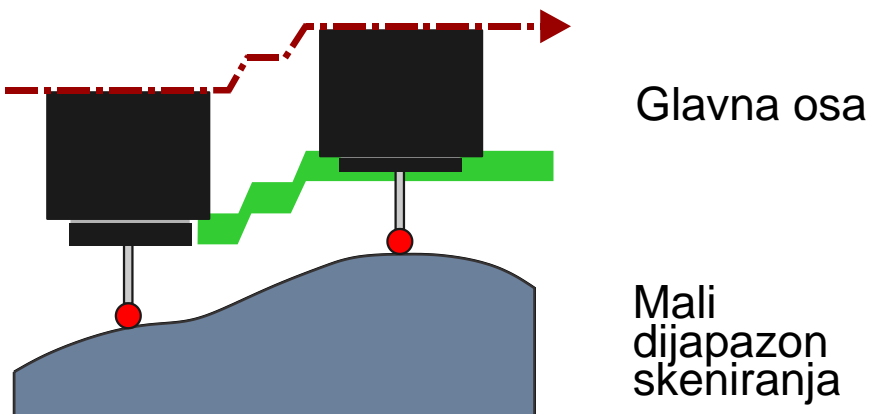
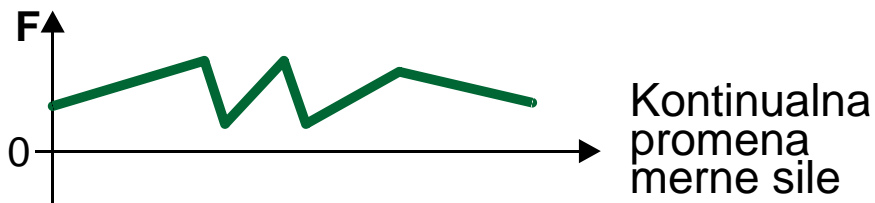
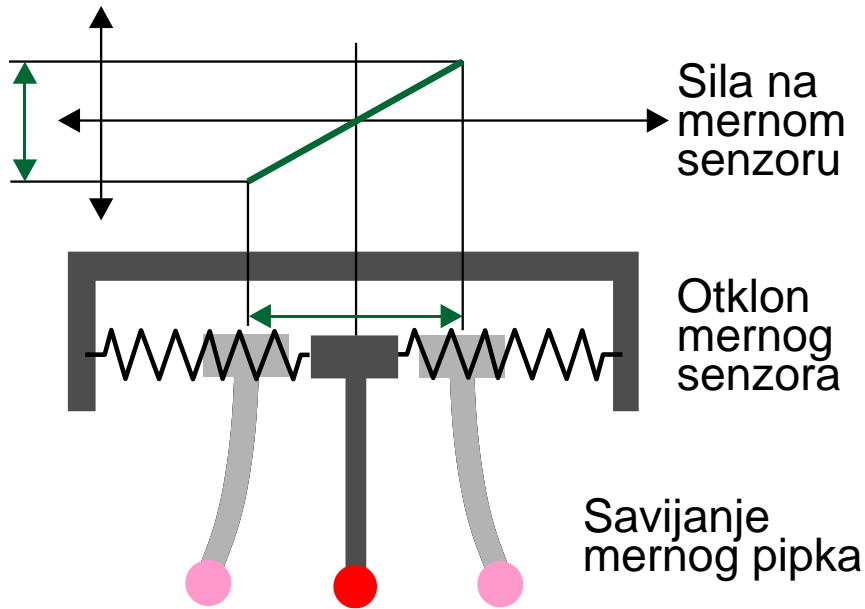
Sila merenja zavisi od odklona mernog pipka prilikom merenja.

Napretkom upravljačkog sistema KMM, pasivni kontinualni senzori su počeli da zamenjuju aktivne zbog svoje cene.

Pasivni senzor je moguće pričvrstiti na zglobni držač, tako da je moguće postići bilo koji položaj u prostoru uz izuzetnu ponovljivost.

Ova vrsta senzora se može koristiti i za merenje diskretnih tačaka.





Osnovna slabost pasivnih senzora se ogleda u potrebi za čestim repozicioniranjem senzora, što je diktirano porastom sile u oprugama. Naprezanje opruga, koje raste sa povećanjem promena oblika površina koje se skeniraju, utiče na manju tačnost očitavanja sa mernih traka.

Pored toga, u ovim slučajevima sila mernog pipka na površinu koja se skenira se povećava, što može biti dodatni problem (i izvor greške) u slučaju mekših materijala. Jedini način da se opruge rasterete jeste repozicioniranje mernog senzora, što omogućava održavanje nivoa napregnutosti opruge u granicama koje obezbeđuju zadovoljavajuću tačnost merenja

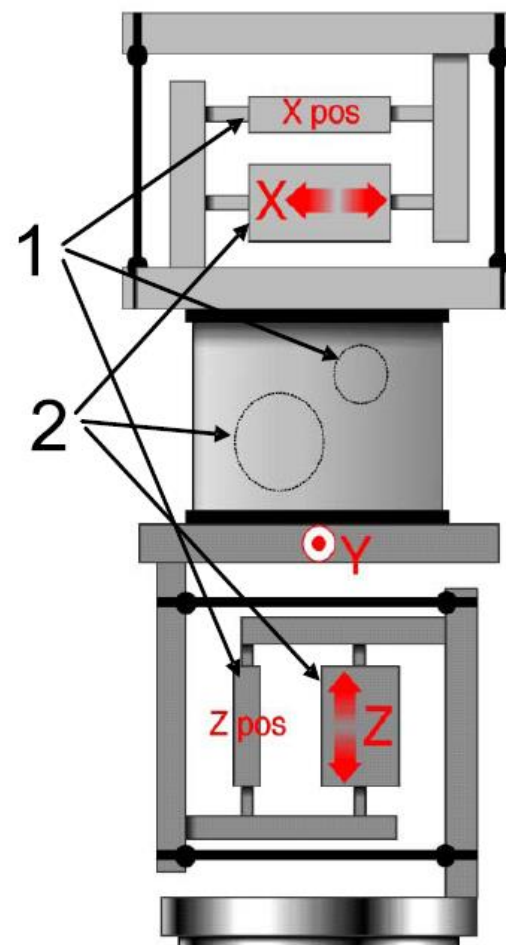
Aktivni kontinualni kontaktni senzori

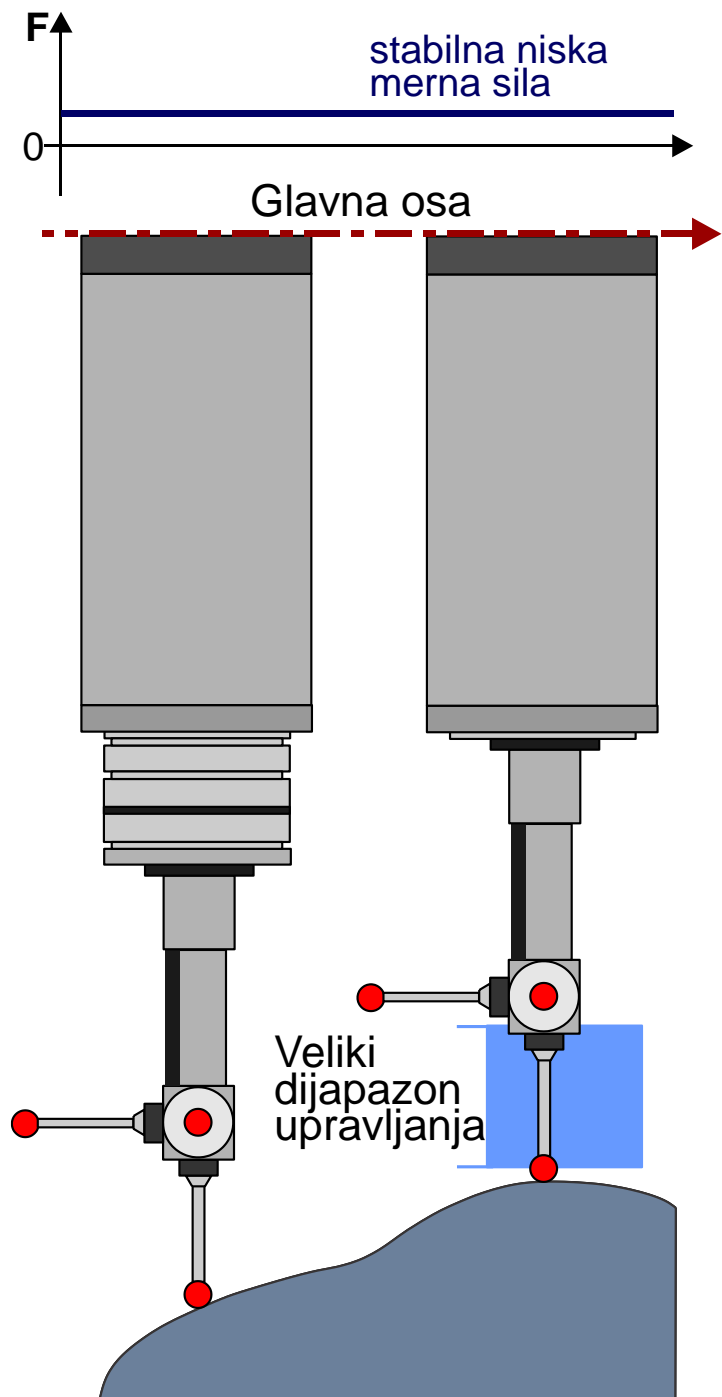
Aktivni senzor praktično predstavlja KMM unutar KMM.

Sadrži **merni sistem (1)**, **pogonski sistem (2)** i **noseću strukturu**.

Ovi uređaji koriste aktivno generisanje sile, tj. za vreme merenja po putanji skeniranja, senzor sam kontroliše silu kontakta sa delom i na taj način se izbegavaju uticaji izazavani deformacijama pipka pri merenju.

Savremeni senzori ove vrste su opremljeni sistemom automatskog uravnoteženja mase sistema pipka.





Kod aktivnih senzora se umesto opruga i mernih traka koriste softverski upravljani elektromagneti i regulatori sile koji održavaju stabilnom vrednost sile na mernom pipku nezavisno od njegove pozicije.

Za razliku od opruga kod kojih se sila ne može podešavati, kod aktivnog sistema se prati otklon mernog pipka u realnom vremenu i u skladu sa tim podešava merna sila.

To omogućava značajno veći dijapazon pomeranja mernog pipka bez potrebe za repositioniranjem mernog senzora i bez promene sile primenjene na površinu koja se digitalizuje, a rezultat su veća tačnost merenja i veća brzina skeniranja

Brzina skeniranja kontinualnih senzora za KMM

Kada je reč o 3D digitalizaciji u okvirima savremene mašinske proizvodnje, KMM imaju prednost u slučajevima kada se traži visoka tačnost prikupljenih podataka, a kada brzina nije u prvom planu. Ipak, novije generacije senzora za kontinualnu akviziciju na KMM (kao što je tehnologija Renishaw-ovog 5-osnog merenja) su uspele da pomire velike brzine skeniranja sa visokom tačnošću

