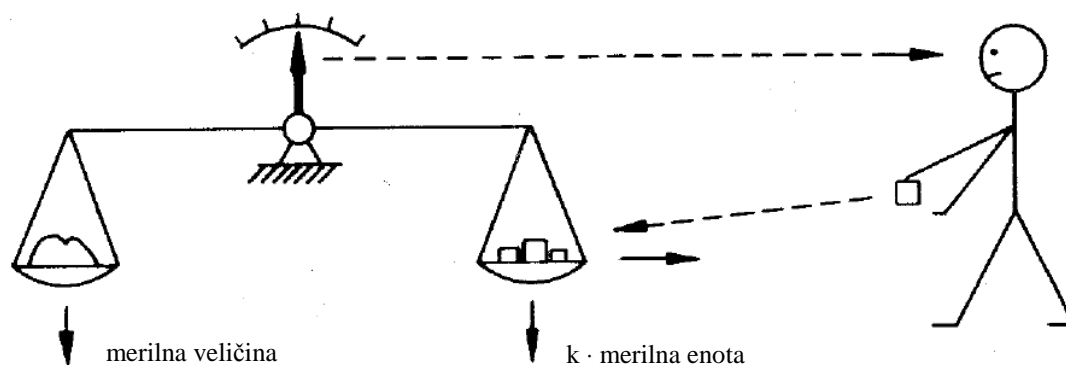


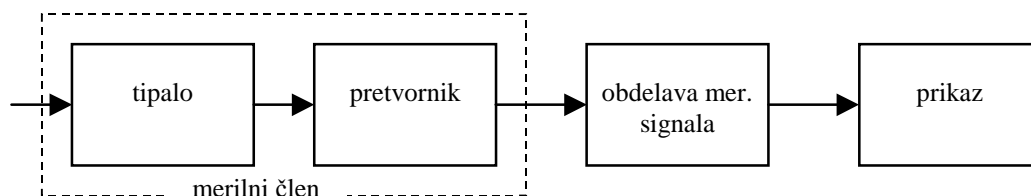
Uvod v senzorsko in merilno tehniko

V človekovi naravi je da želi vse kar zazna s svojimi čutili kvantitativno in kvalitativno ovrednotiti oziroma izmeriti. *Merjenje je postopek pri katerem poskušamo objektivno opisati (podati) fizikalne veličine.* To storimo tako, da merjeno fizikalno veličino podamo z mnogokratnikom njene enote ali primerjalne vrednosti.



Osnovni namen vsake meritve je v tem, da *merilno veličino* primerno zajamemo, predelamo, po potrebi prenesemo in izdamo v želeni obliki brez izgube (deformacije) informacij. *Merilne rezultate* uporabljamo za prikaz in zapis vrednosti, za učinkovito vodenje procesov ali za analizo delovnega procesa.

Merilni postopek lahko torej opišemo tudi z diagramom pretoka merilnega signala, ki nosi (vsebuje) najosnovnejšo informacijo o merjeni fizikalni veličini.



Slika: Pretvorba merilne veličine vzdolž merilne proge

Na začetku vsake *merilne proge* se nahaja *merilni člen*, ki na osnovi izkoriščanja raznih fizikalnih pojavov pretvarja neelektrično veličino na vходу v izhodno električno veličino. Leta je najprimernejša za nadaljnjo obdelavo in prenos. Fizikalni pojavi, na katerih temelji delovanje sodobnih merilnih členov, so poznani že dolgo časa. Kljub temu pa se je zanimanje inženirjev za senzorsko tehniko okrepilo šele s pojavom zmogljivih računalniških sistemov, ki so omogočili avtomatizacijo procesov, kjer je bilo potrebno nadomestiti človekova čutila.

Delovanje merilnih členov temelji pravzaprav na pretvorbi energije, ki jo v eni ali drugi obliki, a v čim manjšem iznosu, odvzamejo z merilnega mesta. Tako "odvzeta" energija se v merilnem členu "porabi" za generiranje ustreznega električnega signala. Glede na način pretvorbe delimo merilne člene na *senzorje* in *dajalnike*.

S *senzorjem* označujemo vse merilne člene pri katerih merjena fizikalna veličina vpliva na snovne (električne) lastnosti člena (upornosti, prevodnosti, kapacitivnosti, induktivnosti). Slednje spremembe pa lahko nato npr. zaznamo kot spremembo padca napetosti na elementu, če skozenj teče konstanten tok. Senzor je pravzaprav poseben primer *dajalnika* (angl. transducer), ki v splošnem pretvarja energijo vhodne veličine (mehanska, termična) v energijo druge oblike (električna, mehanska).

Omenjene delitve se v praksi večina proizvajalcev in uporabnikov ne drži. Ne glede na način pretvorbe se uporablja izraz senzor.

Senzorje nadalje delimo na *aktivne* in *pasivne*. Aktivni senzori potrebujejo za svoje delovanje (pretvarjanje) obvezno zunanji izvor električne energije.

Glede na kompleksnost njihove zgradbe razlikujemo med *senzorji* in *senzorskimi sistemi*. Pod *senzorjem* razumemo osnovno električno komponento, v kateri izkoriščamo določen fizikalni pojav za zaznavo (meritev) neelektrične veličine. Sprememba snovne lastnosti ali v primeru dajalnika sprememba izhodne napetosti je vedno majhna, zato takšen merilni signal brez ojačenja ni primeren za nadaljnjo obdelavo. Senzorski element je vgrajen v zaščitno ohišje, a za razliko od kompleksnejšega *senzorskega sistema* ne vsebuje številnih elektronskih sklopov (ojačevalniki, vezje za linearizacijo, vezje za temperaturno kompenzacijo, pogosto tudi A/D pretvorbo in komunikacijo). Katerega bomo uporabili, zavisi od primera do primera. Za merjenje vlažnosti perila v sušilnem stroju bomo na primer uporabili enostavnejši senzor, ki ga bomo prilagodili ostalemu krmilnemu ali regulacijskemu vezju. Medtem ko bomo za merjenje vlažnosti v nekem velikem kemičnem procesu uporabili kompleksnejši senzorski sistem, ki na licu mesta omogoča merjenje vlažnosti ter sporočanje merilnih rezultatov nadrejenemu računalniškemu sistemu, ki skrbi za avtomatizacijo celotnega postroja.

V praksi prevladujejo senzori neelektriških veličin, katerih zastopanost je sledeča:

- senzorji nivoja gladine (vsebine) 20%
- tlaka, diferenčnega tlaka 20%
- temperature 15%
- masnega in volumnskega pretoka 10%
- vrtilne hitrosti 10%
- sile, teže 8%
-

Največji porast senzorjev je v zadnjem času opazen pri merjenju razdalje, pospeška, vrtilne hitrosti kot tudi na področju optičnih in bioloških senzorjev.

Ne glede na številčnost in raznovrstnost senzorjev v praksi nimamo opraviti z idealnimi senzori, ki bi na izhodu podajali merilni signal prenosorazmeren vhodni – merjeni fizikalni veličini. Velja, da imajo na velikost izhodnega signala senzorjev vedno vpliv tudi ostale – motilne (vplivne) fizikalne veličine. Najpogostejša vplivna veličina je temperatura.

V praksi idealnega senzorja ne poznamo, celo več, za merjenje posamezne fizikalne veličine imamo na razpolago večje število senzorjev, katerih delovanje temelji na različnih fizikalnih pojavih.

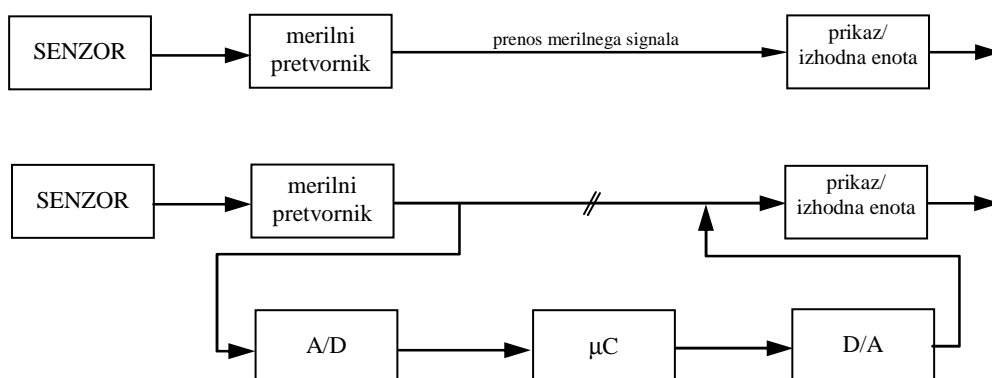
Pri izbiri ustreznega senzorja se moramo zato povprašati po naslednjih zahtevah:

- funkcionalne zahteve senzorja: fizikalni princip delovanja, vplivne veličine, točnost, ločljivost, dinamika,
- pogoji vgradnje: klimatski pogoji delovanja (temperatura, vlaga, tlak), mehanske zahteve (vibracije, pospeški), elektromagnetne zahteve (imunost na konduktivne in sevalne motnje),
- komunikacijske zahteve: napetostna ali tokovna merilna zanka (4 mA – 20 mA), serijska ali paralelna povezava (število bitov, hitrost, protokoli,...),
- zahteve za obdelavo merilnega signala: analogni in digitalni merilni postopek,
- varnostne zahteve, zanesljivost, dobavljivost, cena.

Analogni in digitalni merilni postopek

Omenili smo že, da v praksi prevladuje merjenje neelektriških veličin, ki jih delimo na zvezne in diskretne. Zvezne veličine, katerih vrednost lahko zavzame poljubno vrednost v podanem merilnem območju, lahko obdelamo bodisi z analognim ali digitalnim merilnim postopkom.

V enostavnejših primerih ali kjer se zahteva izredna dinamika (odziv izhodne pretvorjene veličine na skočno spremembo vhodne merjene) uporabljamo analogni postopek. Zanj je značilno, da merjeni signal od začetka merilne proge (senzorja) do njenega konca (prikaza) obdrži zvezen značaj (slika __). Pogosto imamo opraviti tudi s primeri v katerih merjeni signal sploh ni pretvorjen v električno veličino (npr. v raznih starejših kemičnih postrojih).

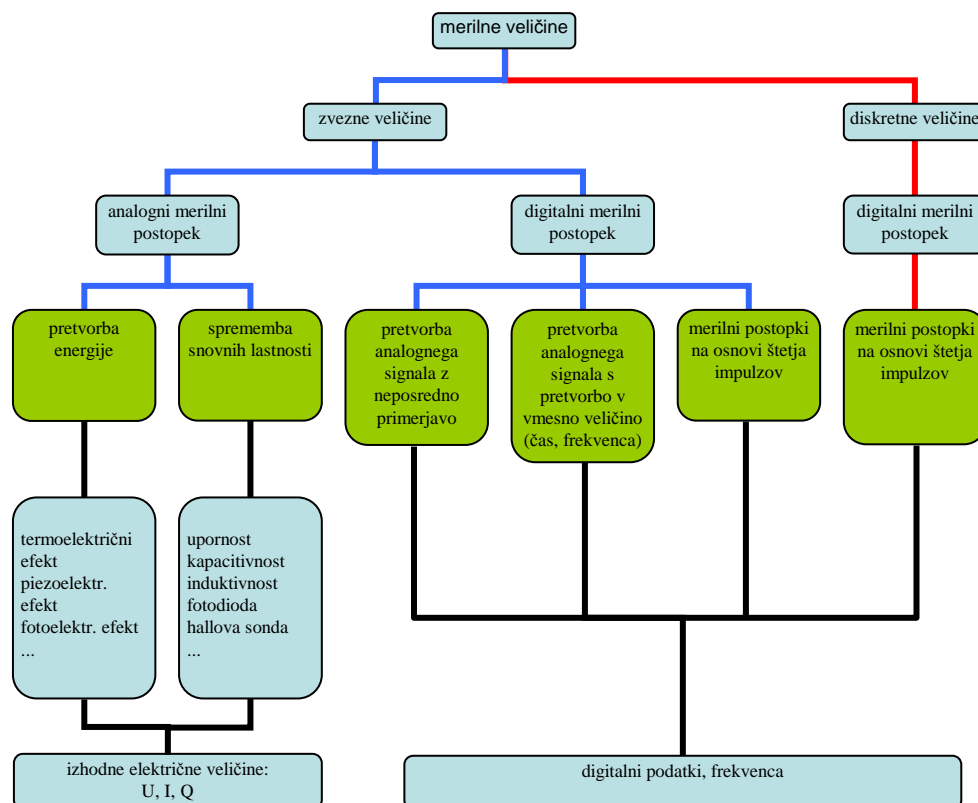


Slika __: Obdelava merilnih signalov

V analognem postopku merilni signal "obdelamo" na enega od naslednjih načinov:

- ojačamo (to storimo na začetku merilne proge t.j. ojačamo izhodni signal senzorja, ki ima v splošnem majhno amplitudo in majhno energijo),

- filtriramo nezaželene (motilne) dele frekvenčnega spektra merilnega signala,
- linearizacija (odpravimo nelinearnost členov merilne proge, najpogosteje nelinearnost senzorja),
- temperaturna kompenzacija,
- člene merilne proge moramo tudi impedančno prilagoditi.

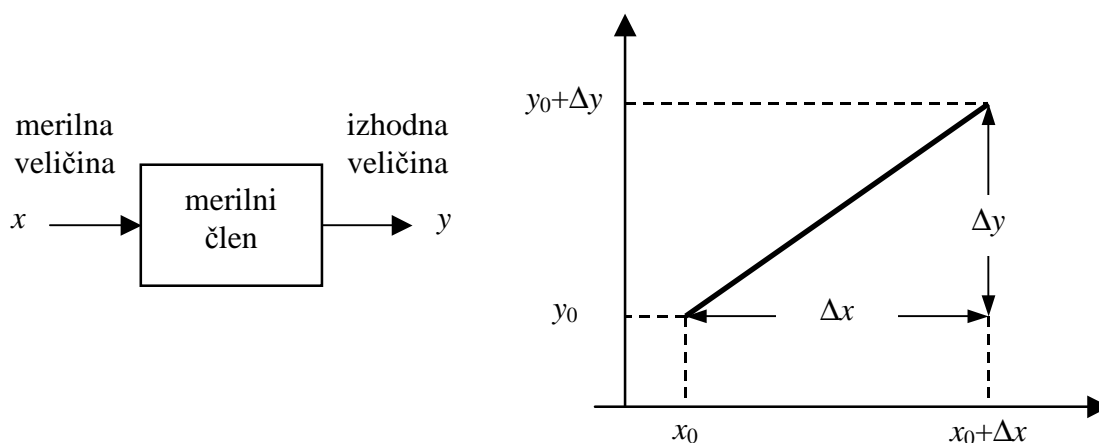


Digitalni merilni postopek uporabimo, ker težimo k večji točnosti merilnega postopka, v primeru ko uporaba takšnega sistema ne predstavlja večinskega dela celotnih stroškov naprave, ter kjer se zahteva prenos merilnih signalov na večje razdalje. Primeren je zlasti zato, ker omogoča vpogled v preteklost, t.j. omogoča kasnejšo analizo merilnih rezultatov in njihovo statistično obdelavo. Za digitalni merilni postopek je značilna uporaba analogno-digitalne (A/D) in digitalno-analogne (D/A) pretvorbe merilnih signalov, pri čemer pa se na začetku merilne proge tudi tod nahaja senzor z dodatnim merilnim pretvornikom, ki relativno šibek signal senzorja ojači za nadaljnjo obdelavo v A/D pretvorniku. Tako diskretiziran merilni signal (amplitudno in časovno) je primeren za procesiranje v zmogljivem mikroračunalniku, kjer je možno na relativno enostaven način merilni signal filtrirati, nad njim izvajati razne matematične funkcije (množenje, deljenje, trigonometrične funkcije, linearizacija, temperaturna kompenzacija,...) ter ga shranjevati. Če je treba (npr. v digitalnih regulacijskih zankah), lahko merilni signal nato ponovno pretvorimo v "kvazi" zvezen signal z D/A pretvornikom.

V precizijskih merilnih sistemih, kjer procesiramo merilne veličine večih senzorjev ostanejo le-te v diskretizirani obliki, ker jih je prek digitalnega vodila lažje povezovati na razna digitalna vezja (spominska vezja, večprocesorske enote, prikazne enote).

Ocena statičnih in dinamičnih lastnosti merilnih priprav

Idealna statična karakteristika merilnega člena



Slika_: Statična karakteristika idealnega merilnega člena

Izhodna veličina je v splošnem

$$y(x) = y_0 + \frac{\Delta y}{\Delta x}(x - x_0),$$

kjer je

x_0	...	začetek merilnega območja,
$x_0 + \Delta x$...	konec merilnega območja,
Δx	...	merilno območje,
y_0	...	izhodni signal pri $x = x_0$,
Δy	...	območje izhodne veličine.

Občutljivost merilnega člena je v splošnem definirana kot

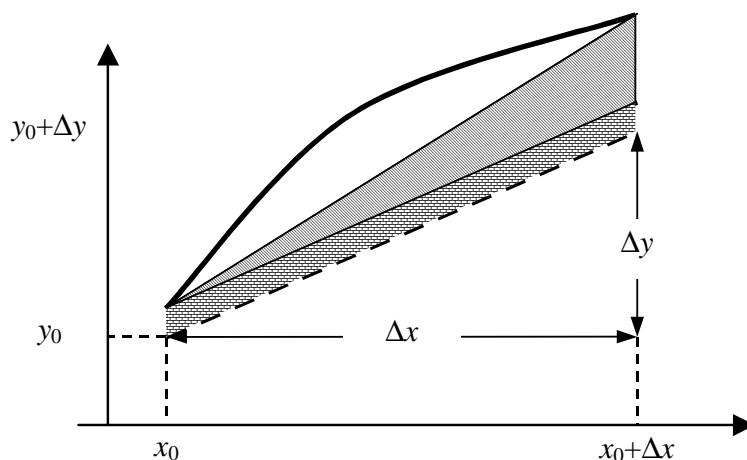
$$e(x) = \frac{dy}{dx}.$$

Sinonim merilne občutljivosti je strmina statične karakteristike. Le-ta je pri linearnih merilnih členih neodvisna od merilne veličine, t.j. konstantna

$$e(x) = \frac{dy}{dx} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = konst.$$

Realna statična karakteristika merilnega člena

Statično karakteristiko realnega merilnega člena kaže spodnja slika.



Slika_: Statična karakteristika realnega merilnega člena

Odstopanje izhodne veličine realnega od idealnega merilnega člena imenujemo absolutni pogrešek

$$p_{abs} = y_{real} - y_{ideal}.$$

Če ta pogrešek izrazimo v primerjavi z območjem izhodne veličine Δy , dobimo relativni pogrešek merilnega člena

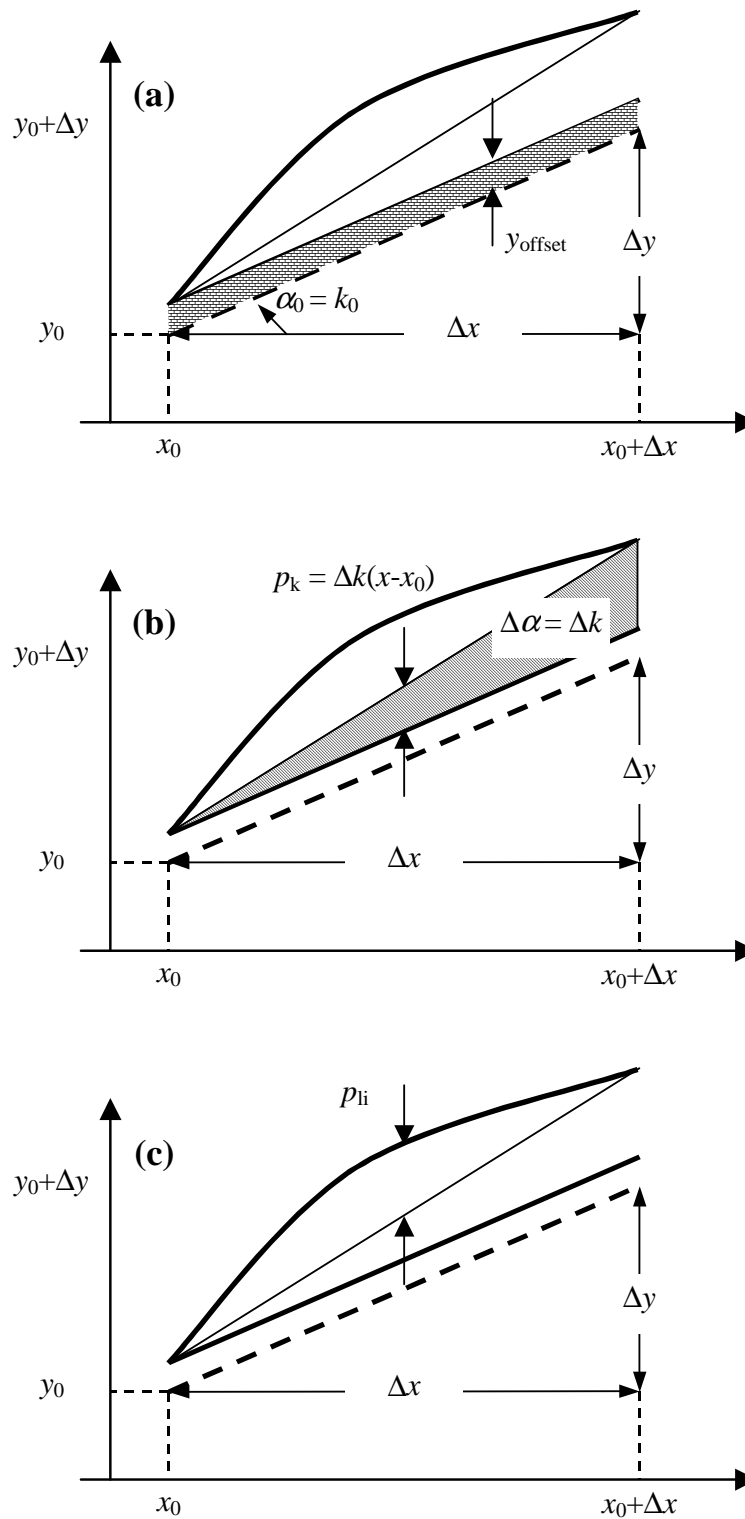
$$p_r = \frac{y_{real} - y_{ideal}}{\Delta y}.$$

Absolutni pogrešek merilnega člena lahko izrazimo tudi s pomočjo odstopanja vhodne t.j. merilne veličine. Pri linearnih členih si v ta namen pomagamo z definicijo merilne občutljivosti

$$p_{abs,x} = \frac{y_{real} - y_{ideal}}{e(x)}.$$

Absolutni pogrešek realnega merilnega člena je sestavljen iz:

- pogrešek ničlišča (offset),
- pogrešek zaradi različne strmine,
- pogrešek nelinearnosti.



Slika:

$$y = y_0 + y_{offset} + (k + \Delta k)(x - x_0) + p_{li}$$

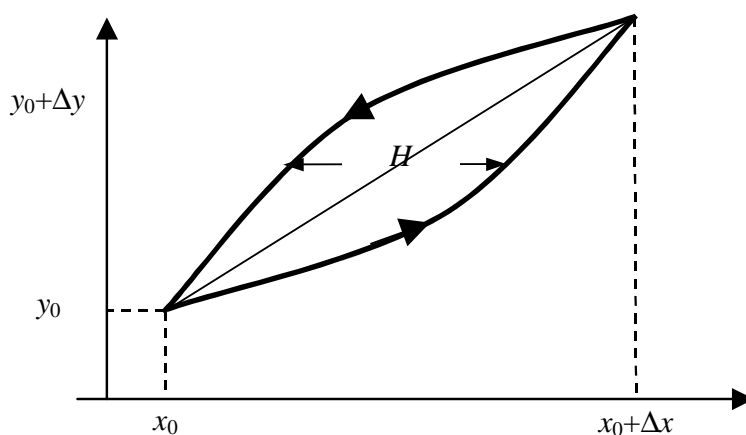
Proizvajalci podajajo statične karakteristike v grafični in analitični obliki, t.j. v obliki polinoma $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$. V praksi prevladujeta polinoma drugega in tretjega reda.

Analitični zapis statične karakteristike je zelo primeren zaradi kasnejše kalibracije oziroma linearizacije.

Histerezna zanka

Pri večini merilnih členo opazimo, da je razmerje med vhodno in izhodno veličino pri povečevanje vhodne veličine drugačno od tistega pri postopnem zmanjševanju merilne veličine s konca na začetek merilnega območja. Pravimo, da ima merilni člen histerezo, ki je ponavadi izražena glede na merilno območje

$$h = \frac{H}{\Delta x} \cdot 100\% .$$



Mejna frekvenca

Pasovna širina

Vplivne veličine