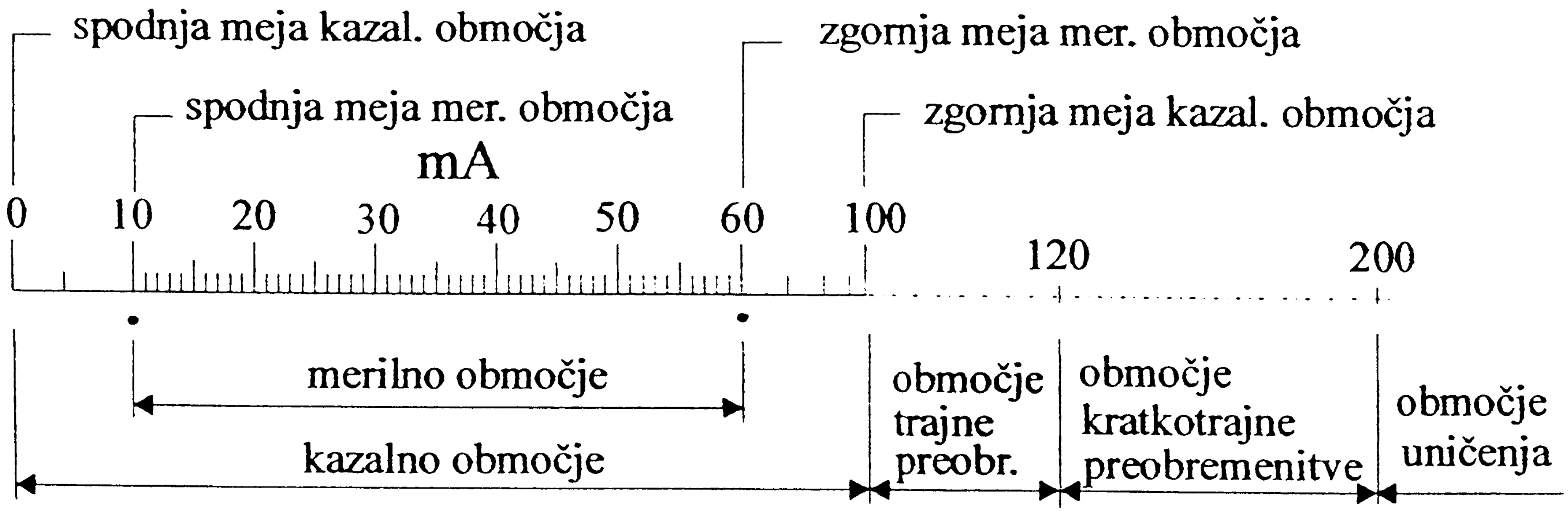
1.2 Bistvene lastnosti merilnih naprav

Pri izboru merilne opreme potebujemo podatke o funkcionalnih lastnostih:

- **obratovalne** lastnosti
  - razlikujemo podatke, ki se nanašajo na **merjeno veličino** od podatkov za **vplivne v**eličine.
- **merilne** lastnosti:
  - **statične** lastnosti
    - **prehodni pojav** je že **izvenel**,
  - **dinamične** lastnosti,
    - vhodna veličina **se hipoma spremeni** (aperiodični potek),
    - vhodna veličina **se periodično spreminja**

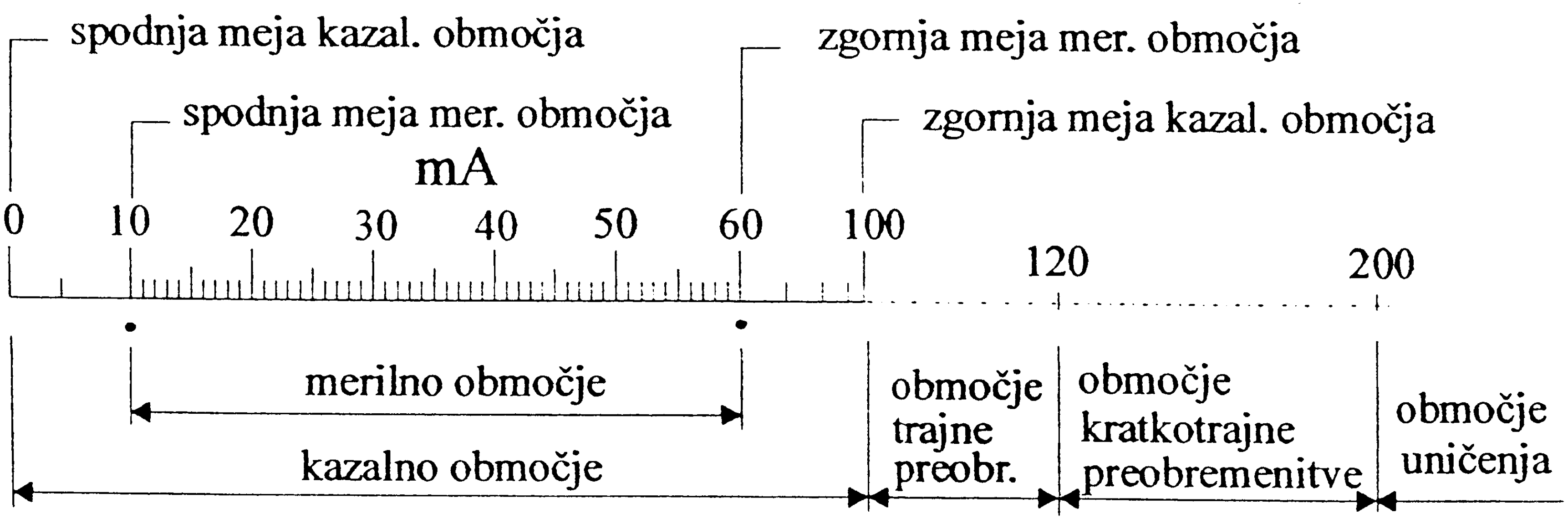
1.2.1 Obratovalne lastnosti glede na merjeno veličino



Slika 1.22 Območje in meje merjene veličine

Ločimo:

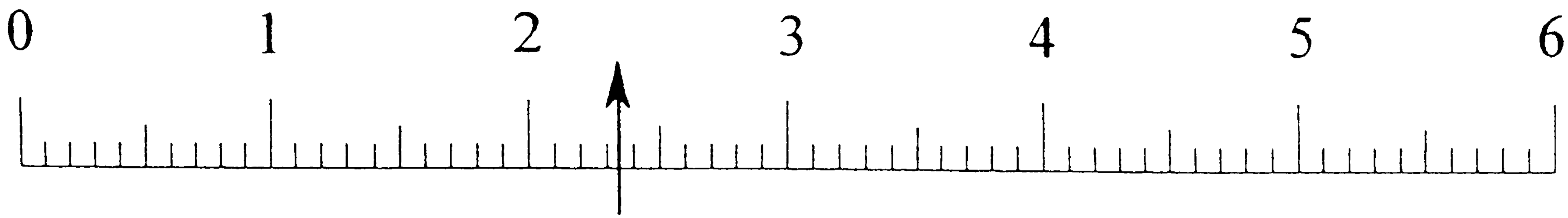
- **kazalno** območje - celotno območje skale instrumenta,
- **merilno** območje - kjer instrument meri z označeno točnostjo (npr. **razred točnosti**).



- območje **preobremenitev,**
  - instrument prenese brez poškodb.

Pri **analognih** instrumentih poznamo **črtno skalo**,

- zaporedje črtic na številčnici instrumenta,
- oštevilčenje.



Slika 1.23 Črtna skala instrumenta

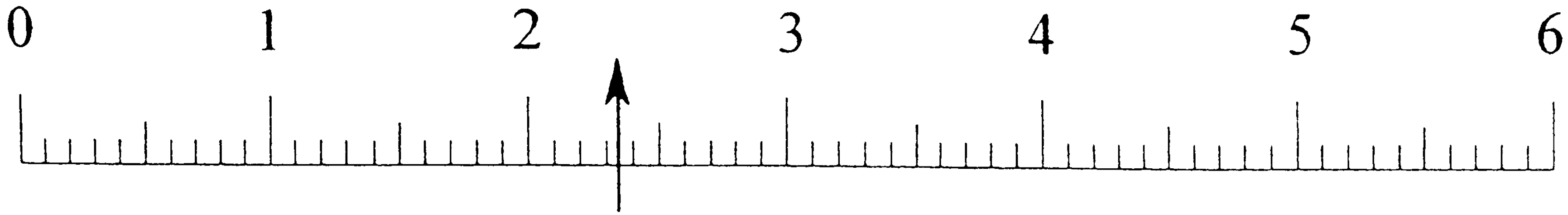
Če ima instrument več območij uporabljamo za določitev kazanja **konstanto instrumenta**.

Primer: $0\,\mathrm{mA} \ldots 300\,\mathrm{mA} \quad \Rightarrow \quad k_I = \dfrac{I_\mathrm{D}}{y_\mathrm{D}} = \dfrac{300\,\mathrm{mA}}{6} = 50\,\mathrm{mA}$

- odčitana vrednost (**neposredno kazanje**) $\quad y = 2{,}34 \quad \Rightarrow$
- izmerjena vrednost: $\quad I_\mathrm{i} = k_I\, y = 50\,\mathrm{mA} \cdot 2{,}34 = 117\,\mathrm{mA}$

Včasih se uporablja **skalna vrednost**

- kolikšna vrednost pripada enemu razdelku skale.
  - Primer 60 razdelkov: $300\,\mathrm{mA}/60 = 5\,\mathrm{mA}$



Pri **digitalnih** instrumentih **digitalni prikazovalnik** kaže **številsko vrednost** in **enoto.**

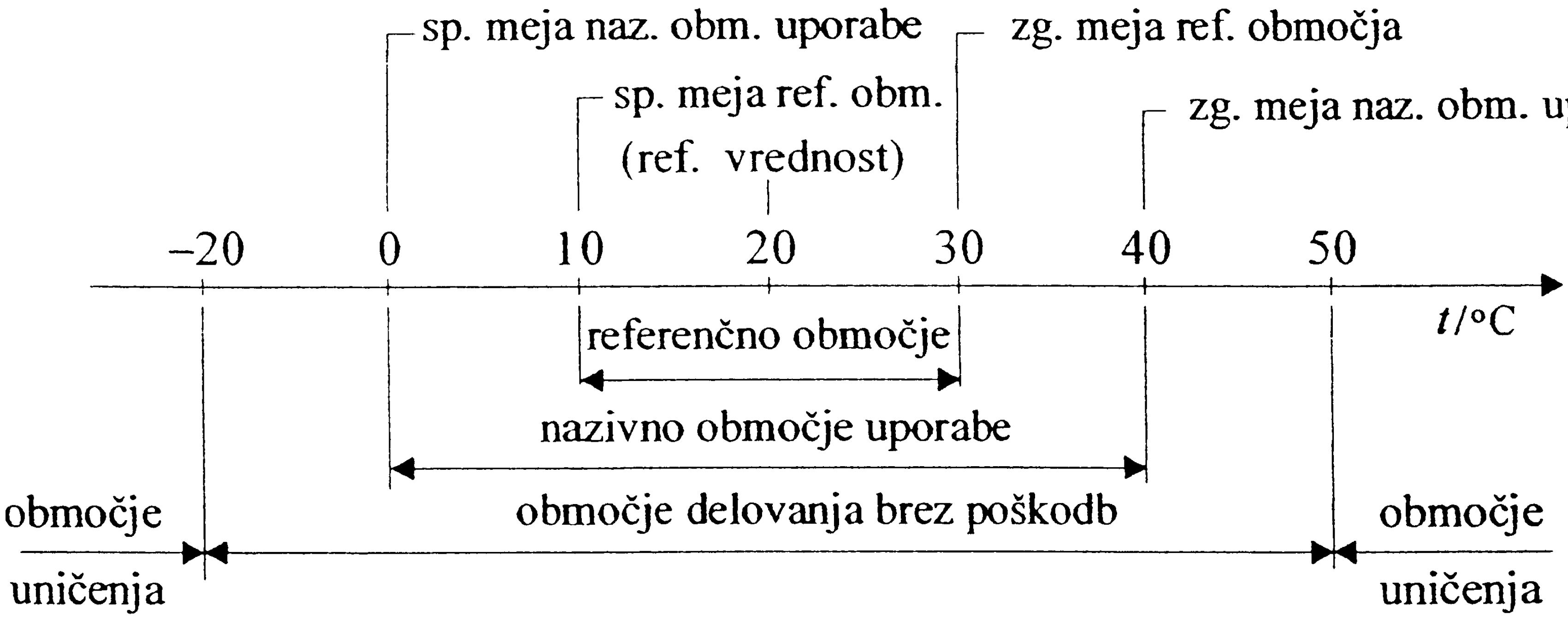
Glede na to, katere vrednosti zavzame najbolj pomemben digit (MSD - **most significant digit**), ločimo:

- N - mestne, primeri $N = 3$:
  - katerakoli cifra desetiškega sistema, največ 999
- $N\,{}^{1}\!/_{2}$ - mestne,
  - prva cifra je lahko le 0 ali 1, največ 1999
- $N\,{}^{3}\!/_{4}$ - mestne,
  - prva cifra je lahko 0, 1, 2 ali 3. največ 3999

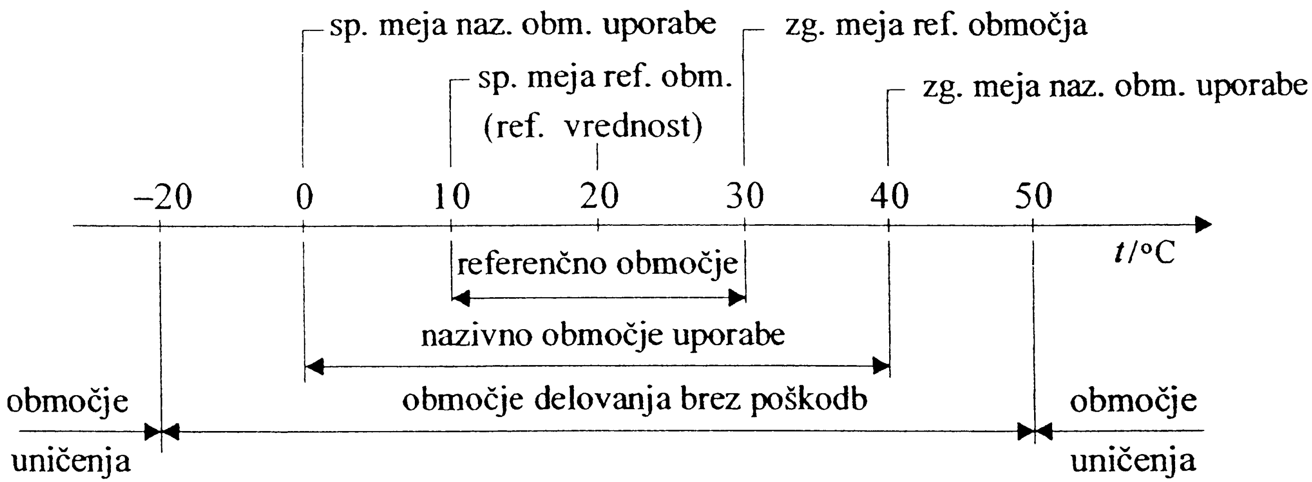
Pogosto se obratno vrednost največjega kazanja navaja kot **ločljivost prikazovalnika**: 10^{-3}, $5 \cdot 10^{-4}$, $2{,}5 \cdot 10^{-4}$,

1.2.2 Obratovalne lastnosti glede na vplivne veličine

Vplivna veličina je fizikalna veličina, ki jo merilni instrument ne meri, **vpliva** pa **na kazanje** (npr.: temperatura, frekvenca, položaj,…).



Slika 1.24 Območje in meje vplivne veličine



Referenčna vrednost (območje) vplivne veličine je vrednost vplivne vel., pri kateri instrument meri z označeno točnostjo.

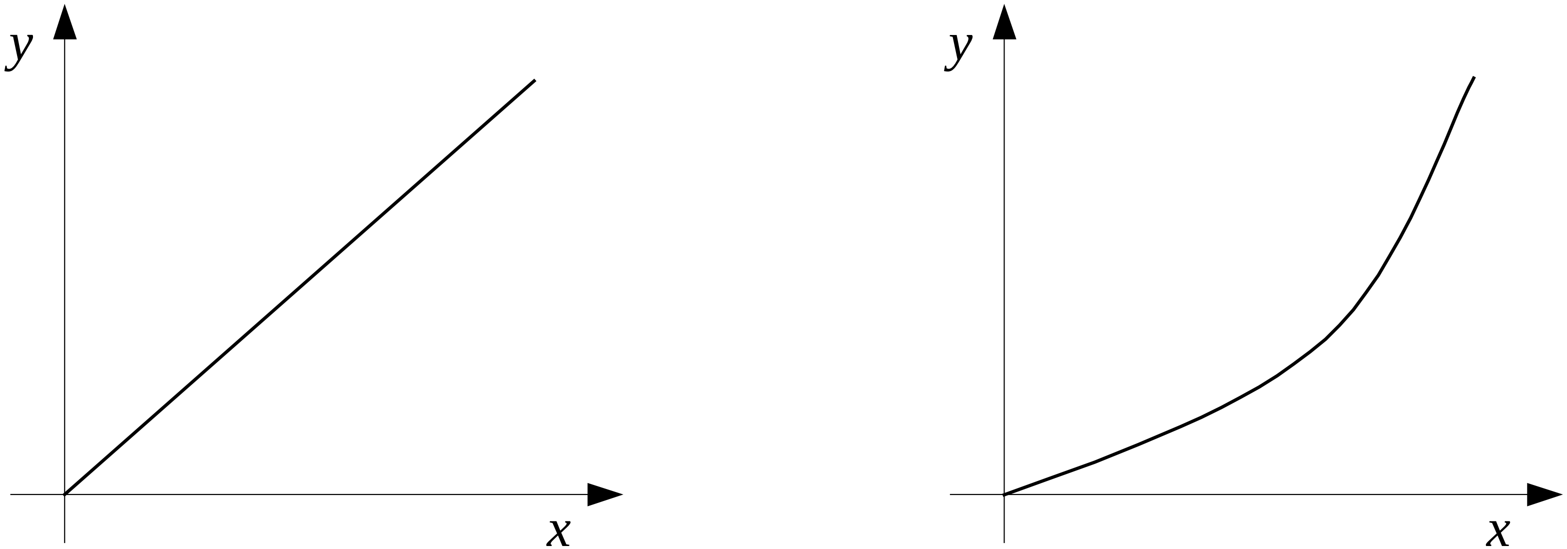
- merimo **pri referenčnih pogojih**,

V **nazivnem območje uporabe** se kazanje instrumenta spremeni v predpisanih mejah (npr.: odstopanje se poveča za dvakrat).

- razliko v kazanju imenujemo **sprememba kazanja** ali **variacija**.

1.2.3 *Statične merilne lastnosti*

Gre za odnos med **izhodno** y in **vhodno veličino** x, ko postaneta obe veličini **od časa neodvisni**.



a) linearna b) nelinearna

Slika 1.25 Statični karakteristiki merilne naprave

Parameter povezave je **občutljivost**: $S = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x}$

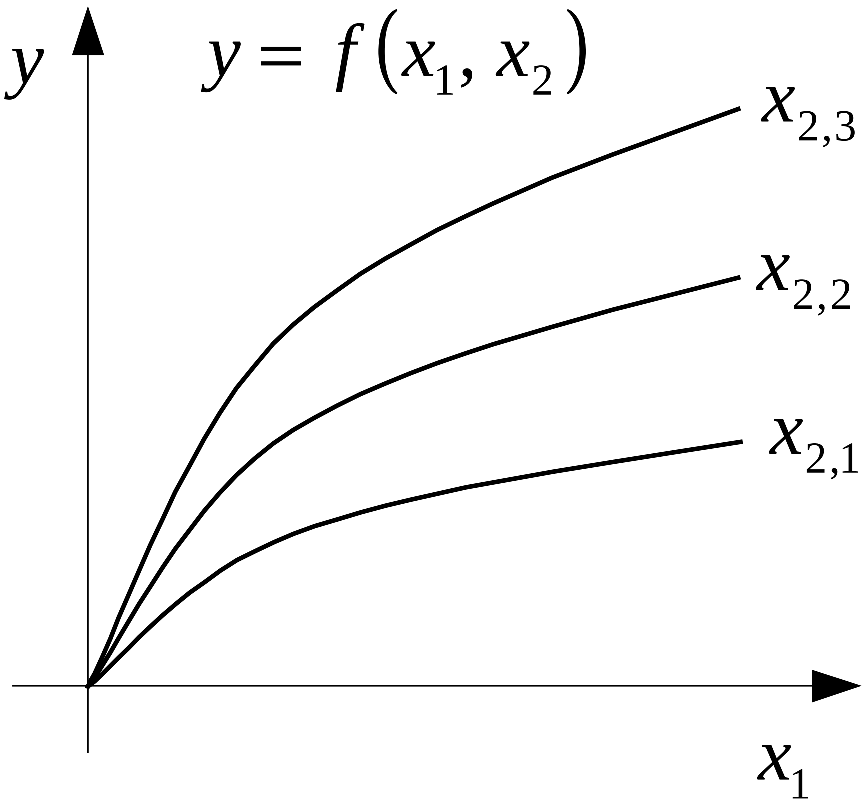
$S = \dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x}$ - razmerje **spremembe** izhodne veličine in **spremembe** vhodne veličine.

- navajamo **v** ustreznih **enotah**
  - primer (občutljivi ampermeter):

$$S = \frac{\mathrm{d}l}{\mathrm{d}I} = \frac{\Delta l}{\Delta I} = \frac{2\,\mathrm{mm}}{5\,\mathrm{nA}} = 0{,}4\,\mathrm{mm}/\mathrm{nA}$$

Več vhodnih veličin:

- **polje karakteristik**:



Več **delnih** občutljivosti:

$$dy = \frac{\partial y}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} dx_2 + \ldots$$

$$\Rightarrow \quad S_{x1} = \frac{\partial y}{\partial x_1},$$

$$\Rightarrow \quad S_{x2} = \frac{\partial y}{\partial x_2}, \ldots$$

Slika 1.26 Statična karakteristika merilne naprave z dvema vhodnima veličinama

Druge vrste občutljivosti:

- z **relativno spremembo** vhodne veličine (npr.: merilni mostiči in kompenzatorji):

$$S = \frac{\Delta I}{\Delta R / R} \qquad \text{in} \qquad S = \frac{\Delta I}{\Delta U / U}$$

ΔI - sprememba toka ničelnega indikatorja

Merilni prag:

- **najmanjša sprememba** vhodne veličine, pri kateri **dobimo učinek** na izhodu merilne naprave.

Ločljivost:

- vrednost vhodne veličine, ki jo še razločimo:
    - **ločljivost očesa** pri analognih instrumentih,
    - **zadnje decimalno mesto** pri digitalnih instrumentih.

$(\Delta y)_\mathrm{q}$ - najmanjša spremeba izhodne veličine, ki jo razločimo

$(\Delta x)_\mathrm{q} = (\Delta y)_\mathrm{q} / S$ - pripadajoča spremeba vhodne veličine

Primer:

- če ne vemo ali kaže $23{,}3\,\mathrm{mA}$ ali $23{,}4\,\mathrm{mA}$, potem:

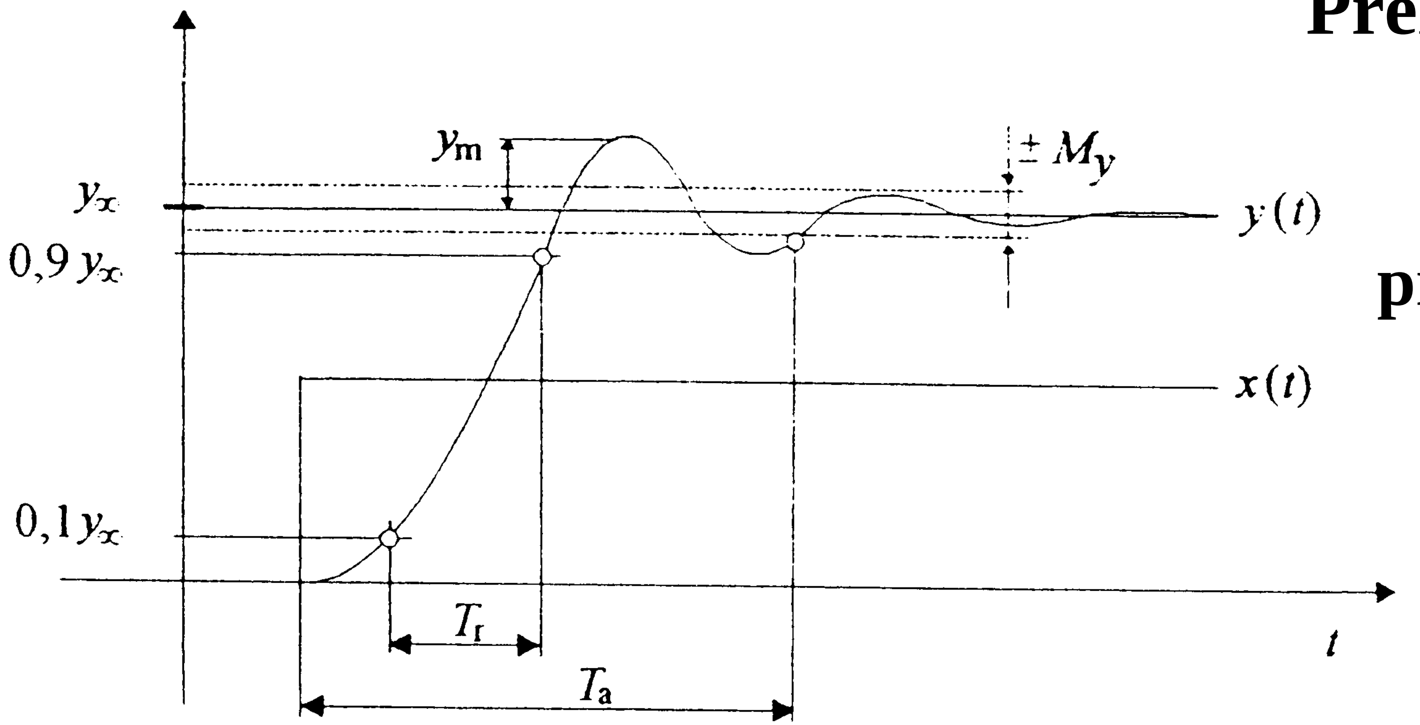
  sprememb od $23{,}25\,\mathrm{mA}$ do $23{,}45\,\mathrm{mA}$ ne ločimo

  in znaša ločljivost:

$$23{,}45\,\mathrm{mA} - 23{,}25\,\mathrm{mA} = 0{,}2\,\mathrm{mA}$$

1.2.4 Dinamične merilne lastnosti

Tipična karakteristika **pri hipni spremebi** vhodne veličine:



Prehodna funkcija:

$$h(t) = \frac{y(t)}{x(t)}$$

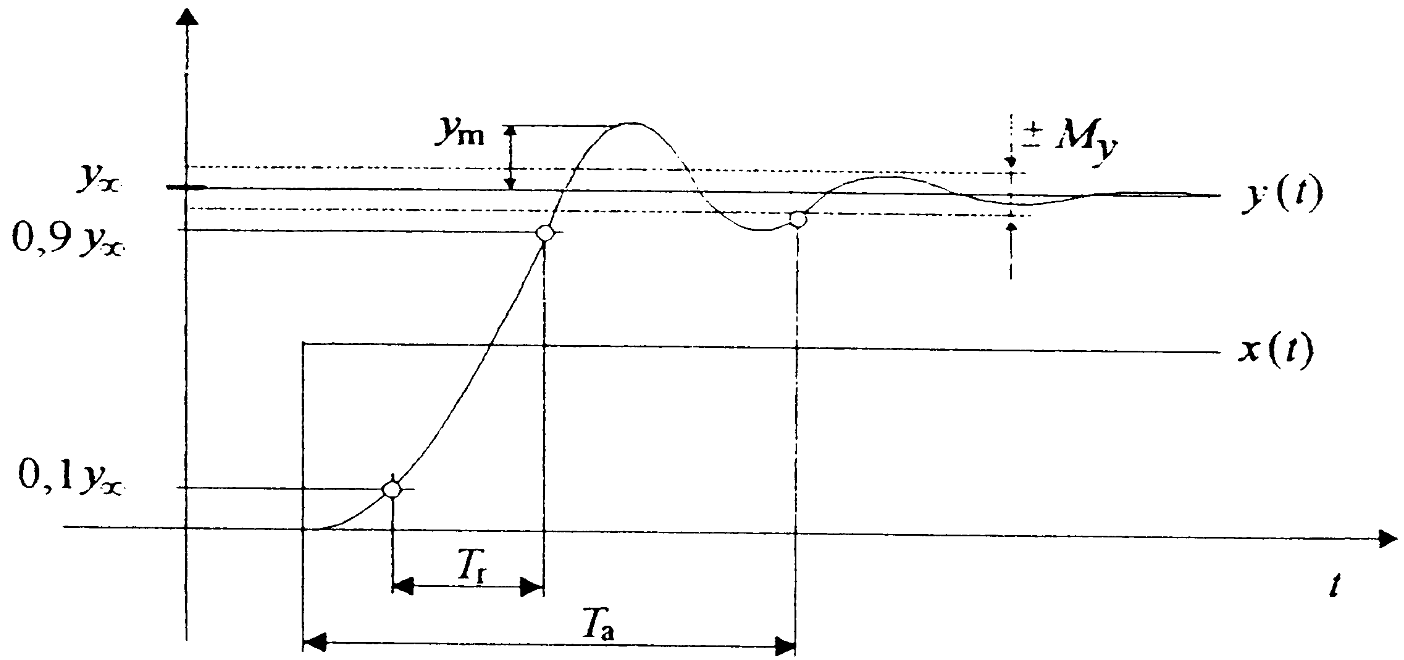
-

prehodna občutljivost

$S(t)$

(vhodni signal je **stopnica!**)

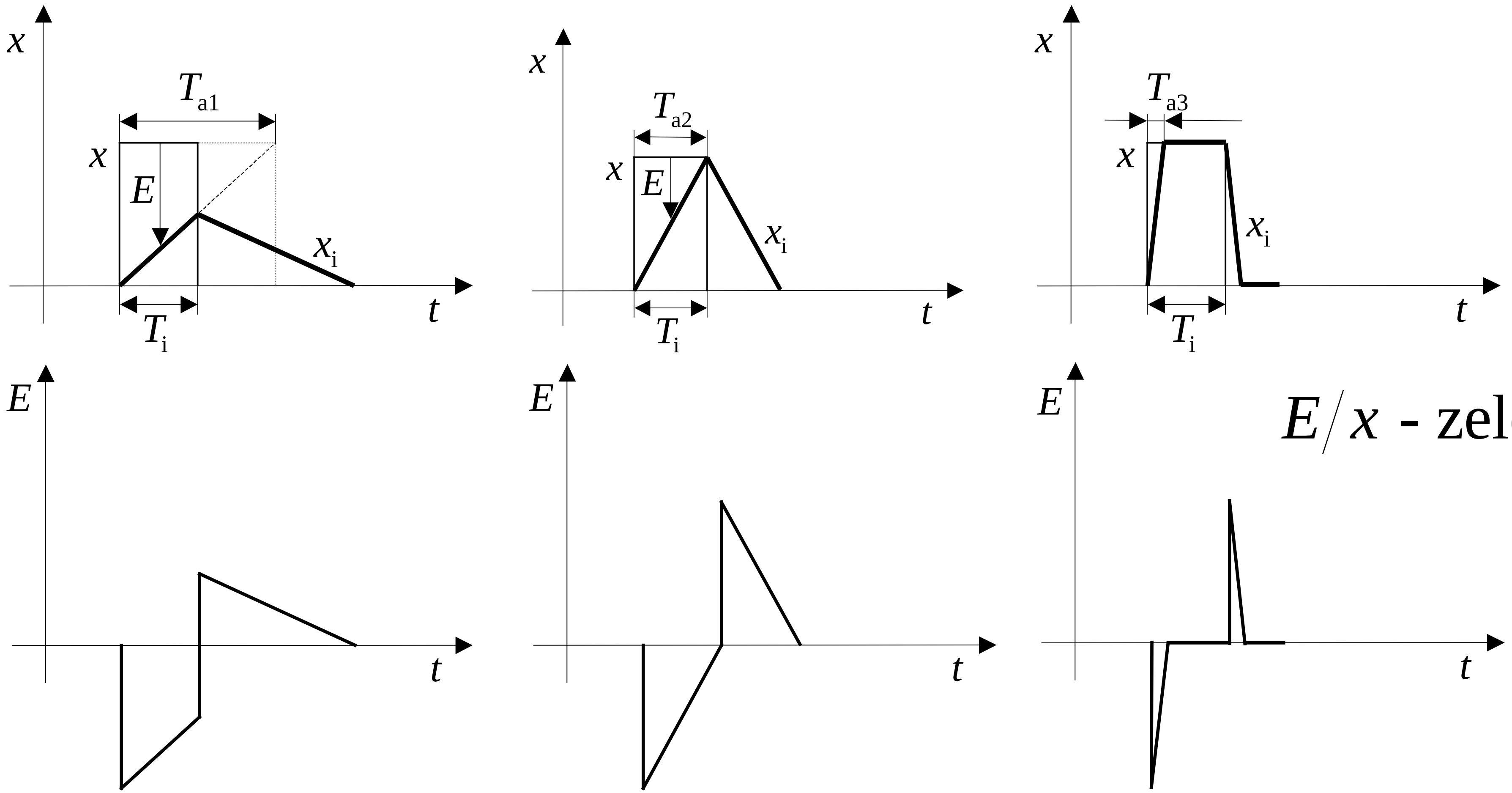
Slika 1.27 Odziv merilne naprave na hipno spremembo vhodne veličine



Karakteristični podatki za oceno odziva:

- **odzivni čas** T_a: od začetka do trenutka, ko ostane izhodna veličina **znotraj predpisanih mej** $\pm M_y$;
- **dvižni čas** T_r: ko **naraste** izhodna veličina od 10% do 90% končne vrednosti;
- **prenihanje** y_m: **največje odstopanje** od končne vrednosti.

Merjenje impulza in **dinamični merilni pogrešek**:



E/x - zelo velik

Slika 1.28 Merjenje impulza in dinamični merilni pogrešek pri različnih odzivnih časih mer. naprave: $T_{a1} = 2T_i$, $T_{a2} = T_i$, $T_{a3} = 0{,}2T_i$

Odzivanje merilne naprave na **sinusno obliko**.

- pri linearnih sistemih je izhod sinusne oblike (**amplituda** in **fazni kot** sta odvisna od frekvence).

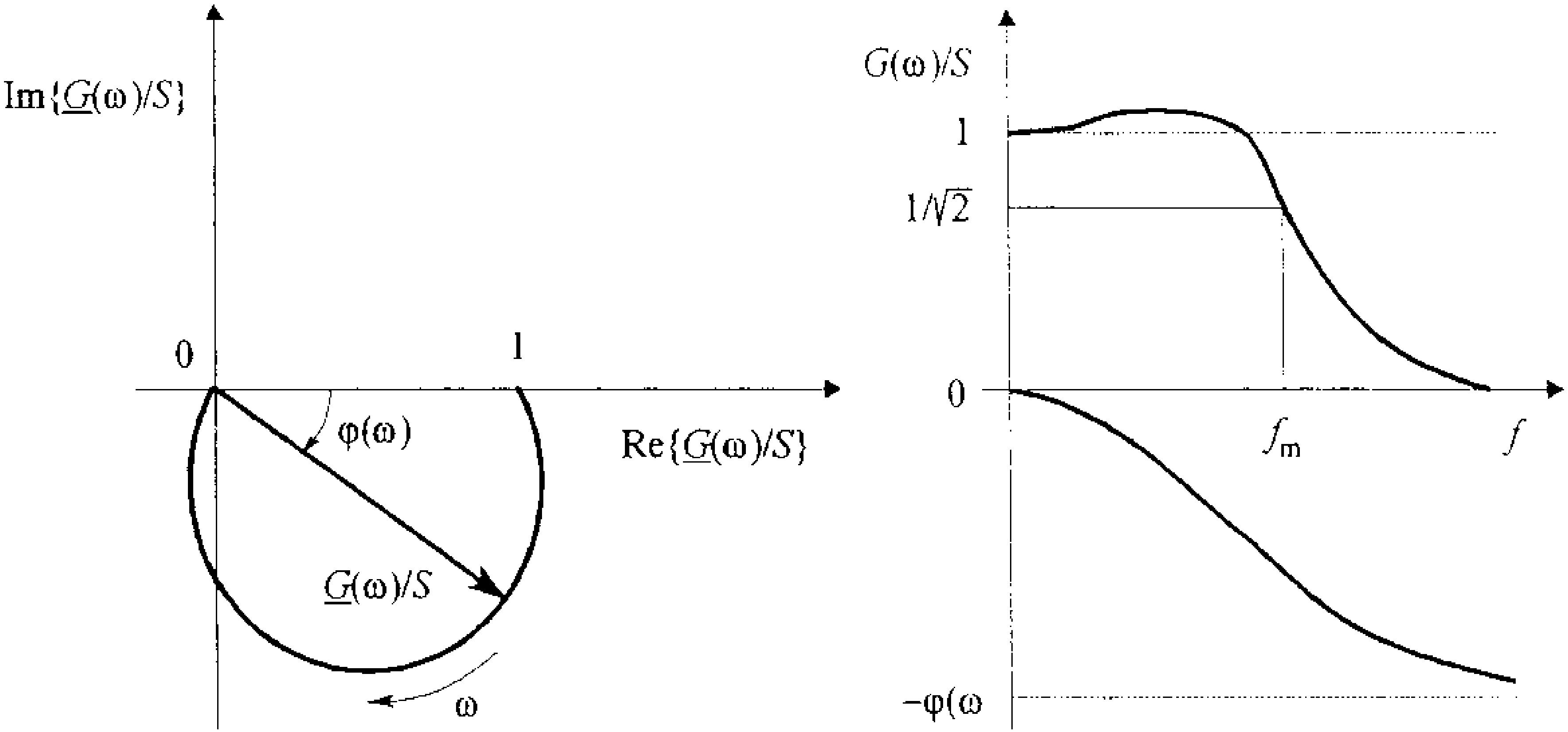
Frekvenčna karakteristika:

$$\underline{G}(\omega)=\frac{\underline{Y}(\omega)}{\underline{X}(\omega)}=\left|\underline{G}(\omega)\right|\mathrm{e}^{\mathrm{j}\varphi(\omega)}=G(\omega)\mathrm{e}^{\mathrm{j}\varphi(\omega)}$$

- razmerje izhodne veličine $\underline{Y}(\omega)$ in vhodne veličine $\underline{X}(\omega)$ ima **kompleksni značaj**.

Kompleksna občutljivost $\underline{S}(\omega)$

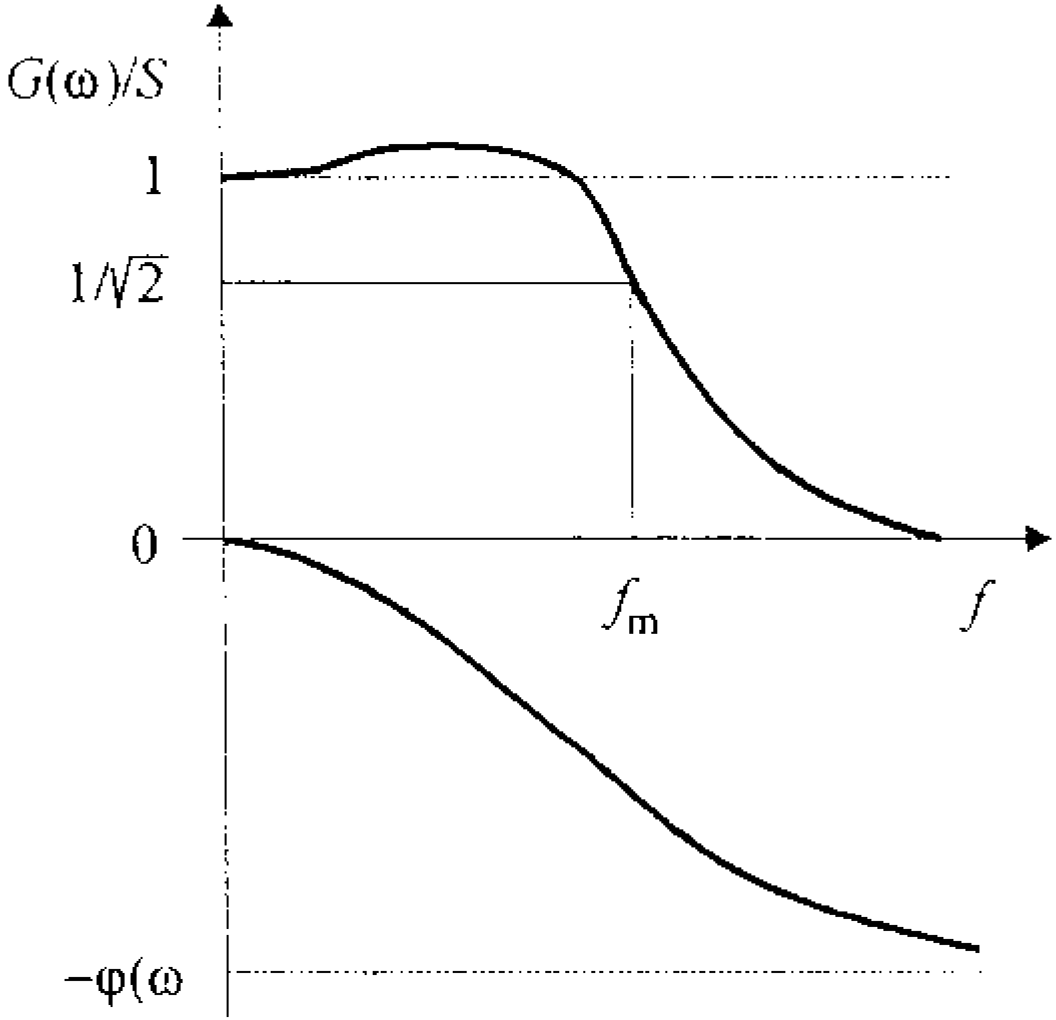
- Pogosto jo **normiramo** s statično občutljivostjo $S=\underline{G}(0)$ (pri $\omega=0$ ima vrednost 1)



Slika 1.29 Frekvenčna, amplitudna in fazna karakteristika

Frekvenčno karakteristiko delimo v:

- **amplitudno** (amplitudni odziv),
- **fazno** (fazni odziv).



Karakteristični podatek:

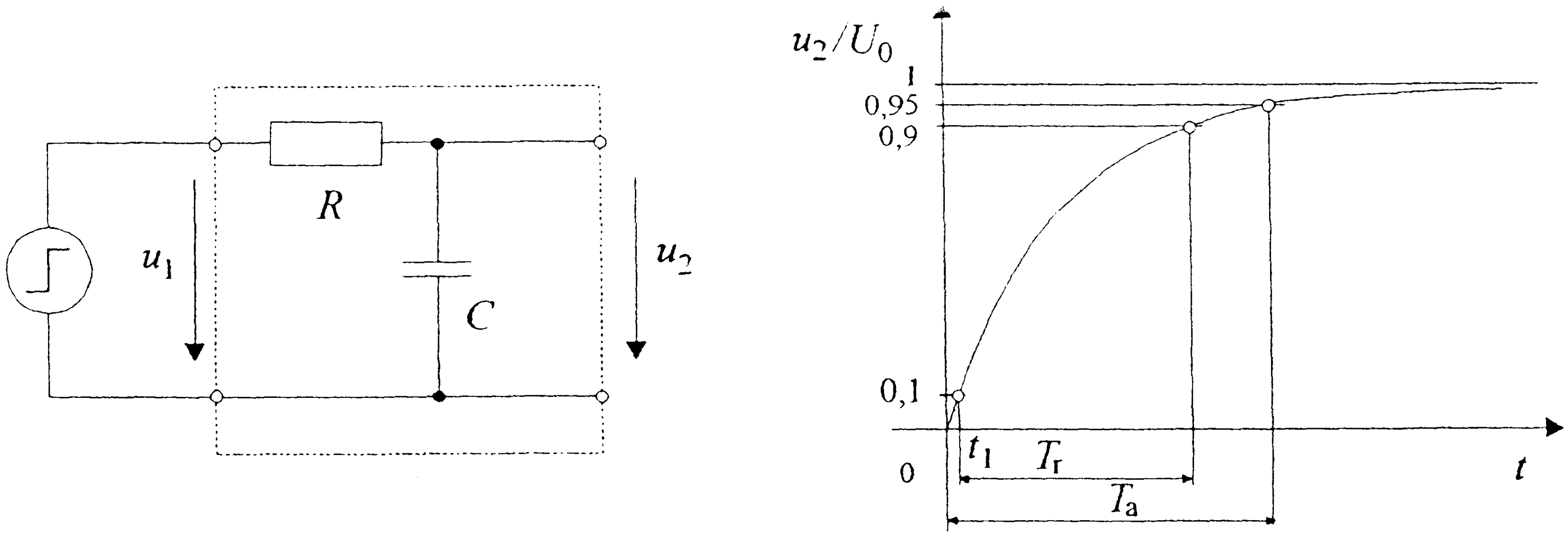
- **Frekvenčna meja**
  - kjer amplituda razmerja pade na $1/\sqrt{2}$ (za ca. 30%) proti dogovorjeni vrednosti
    - primer: proti statični občutljivost $G(0)=S$
  - ločimo **zgornjo** in **spodnjo** mejno frekvenco.

1.2.4.1 Povezava odzivnega časa in mejne frekvence

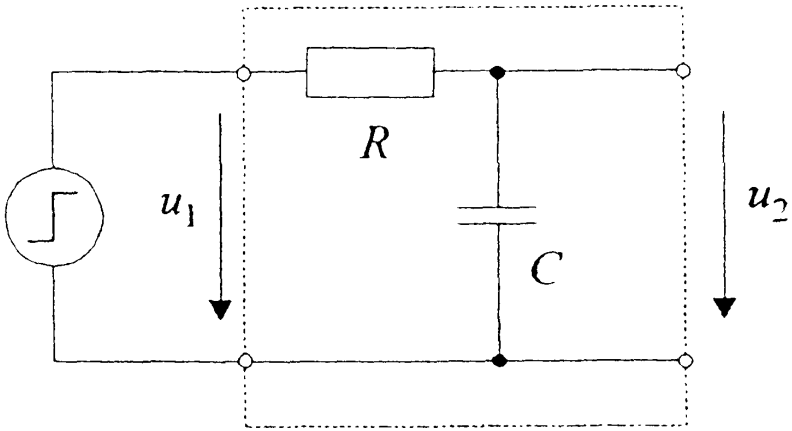
$T_a \overset{?}{\Leftrightarrow} f_m$

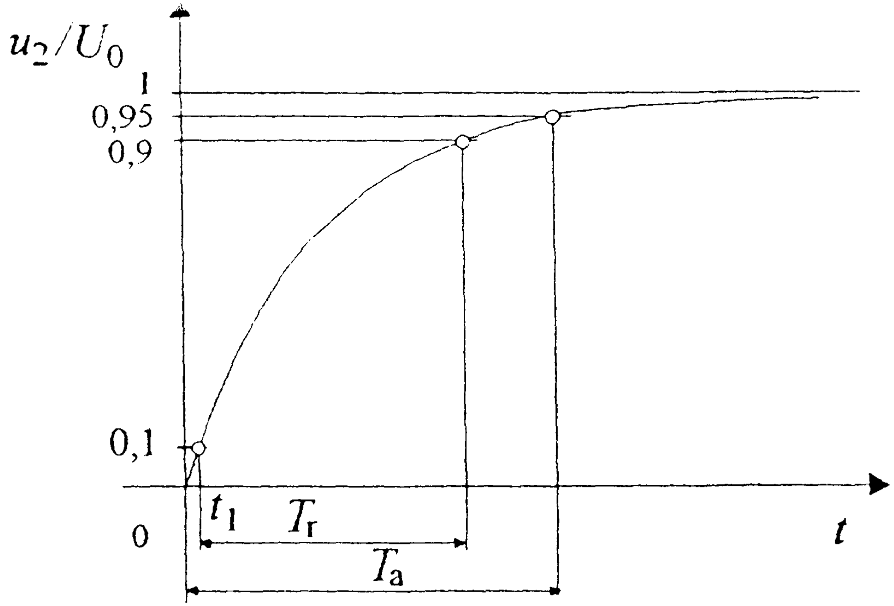
Med odzivnim časom ($M = \pm 5\%$) in zgornjo frekvenčno mejo ($1/\sqrt{2}$) obstaja povezava: $T_a \approx \dfrac{1}{2 f_m}$

- Primer za **člen prvega reda**:



Slika 1.30 Poenostavljen model merilne naprave in odziv na stopnico





Časovni prostor:

- odziv na stopnico: $u_2 = U_0\left(1 - \mathrm{e}^{-t/\tau}\right), \qquad \tau = RC;$
- narast signala do 95%:

$$0{,}95U_0 = U_0\left(1 - \mathrm{e}^{-T_a/\tau}\right) \qquad \Rightarrow \qquad T_a = \tau \ln 20 \approx 3\tau$$

Frekvenčni prostor:

- odziv člena na **sinusno vzbujanje** (frekvenčna karakteristika):

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_1 \frac{1/\mathrm{j}\omega C}{1/\mathrm{j}\omega C + R} \qquad \Rightarrow \qquad \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{1}{1+\mathrm{j}\omega\tau}$$

oz. $$\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{\mathrm{e}^{\mathrm{j}\varphi}}{\sqrt{1+\omega^2\tau^2}}, \qquad \varphi = -\mathrm{arctg}\,\omega\tau$$

- razmerje pade na $1/\sqrt{2}$ $(2\pi f_\mathrm{m}\tau = 1)$:

$$\frac{|\underline{U}_2|}{|\underline{U}_1|} = \frac{1}{\sqrt{1+(2\pi f_\mathrm{m})^2\tau^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \qquad \Rightarrow \qquad f_\mathrm{m} = \frac{1}{2\pi\tau}$$

Povezava med f_m in T_a: $$f_\mathrm{m} = \frac{1}{2\pi(T_\mathrm{a}/\ln 20)} = \frac{1}{2{,}097\,T_\mathrm{a}} \approx \frac{1}{2T_\mathrm{a}}$$

Povezava mejne frekvence f_m in **dvižnega časa** T_r:

- spodnji prag: $0{,}1U_0 = U_0\left(1-\mathrm{e}^{-t_1/\tau}\right)$,
- zgornji prag: $0{,}9U_0 = U_0\left(1-\mathrm{e}^{-(t_1+T_\mathrm{r})/\tau}\right)$

- povezava **dvižnega časa** in **časovne konstante**:

$$T_\mathrm{r} = \tau \ln 9 = 2{,}2\,\tau$$

- povezava mejne frekvence in dvižnega časa:

$$f_\mathrm{m} = \frac{1}{2\pi\left(T_\mathrm{r}/\ln 9\right)} = \frac{0{,}35}{T_\mathrm{r}}$$

Primer:

$$f_\mathrm{m} = 10\,\mathrm{MHz} \quad \Rightarrow \quad T_\mathrm{r} = \frac{0{,}35}{10\,\mathrm{MHz}} = 35\,\mathrm{ns}$$

Prevajalno funkcijo se pogosto podaja s frekvenco v razmerju proti mejni frekvenci:

$$\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{1}{1 + \mathrm{j}\, f / f_{\mathrm{m}}} \qquad \Rightarrow \qquad \frac{\hat{u}_2}{\hat{u}_1} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(f / f_{\mathrm{m}} \right)^2}}$$

- upoštevamo: $\omega\tau = 2\pi f\tau = 2\pi f_{\mathrm{m}}\tau\, f / f_{\mathrm{m}} = f / f_{\mathrm{m}}$

V verigo (**kaskado**) zaporedno vezana dva člena – frekvenčna odziva se množita:

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \left(f / f_{\mathrm{m1}} \right)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(f / f_{\mathrm{m2}} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(f / f_{\mathrm{ms}} \right)^2}}$$

- pri vzbujanju z $f = f_{\mathrm{ms}}$ velja:

$$\left[1 + \left(f_{\mathrm{ms}} / f_{\mathrm{m1}} \right)^2\right]\left[1 + \left(f_{\mathrm{ms}} / f_{\mathrm{m2}} \right)^2\right] = 2$$

$$\left[1+\left(f_{\mathrm{ms}}/f_{\mathrm{m1}}\right)^2\right]\left[1+\left(f_{\mathrm{ms}}/f_{\mathrm{m2}}\right)^2\right]=2$$

- po množenju dobimo:

$$\left(f_{\mathrm{ms}}/f_{\mathrm{m1}}\right)^2+\left(f_{\mathrm{ms}}/f_{\mathrm{m2}}\right)^2+\left(f_{\mathrm{ms}}/f_{\mathrm{m1}}\right)^2\left(f_{\mathrm{ms}}/f_{\mathrm{m2}}\right)^2=1$$

- ker je $f_{\mathrm{ms}}/f_{\mathrm{m1}}<1$ in $f_{\mathrm{ms}}/f_{\mathrm{m2}}<1$, zapišemo:

$$\left(f_{\mathrm{ms}}/f_{\mathrm{m1}}\right)^2+\left(f_{\mathrm{ms}}/f_{\mathrm{m2}}\right)^2\approx 1$$

in dobimo znani odnos: $$\frac{1}{f_{\mathrm{ms}}^2}\doteq\frac{1}{f_{\mathrm{m1}}^2}+\frac{1}{f_{\mathrm{m2}}^2}$$

- izraženo **z dvižnim časom**:

$$\frac{1}{\left(0{,}35/T_{\mathrm{rs}}\right)^2}=\frac{1}{\left(0{,}35/T_{\mathrm{r1}}\right)^2}+\frac{1}{\left(0{,}35/T_{\mathrm{r2}}\right)^2}\quad\Rightarrow\quad T_{\mathrm{rs}}^2=T_{\mathrm{r1}}^2+T_{\mathrm{r2}}^2$$

$$T_{\mathrm{rs}}^2=T_{\mathrm{r1}}^2+T_{\mathrm{r2}}^2+\ldots+T_{\mathrm{r}n}^2$$