

# A folyamatműszerezés érzékelői

## Az érzékelők statikus és dinamikus tulajdonságai – 3.

Dr. Fock Károly

A folyamatműszerezés érzékelőivel foglalkozó cikksorozat soron következő részében az érzékelők statikus és dinamikus tulajdonságát leíró karakterisztikák tárgyalásának keretében a visszahatással és a dinamikus karakterisztikával foglalkozunk. A megismert fogalmakat a nem villamos mennyiségek mérés technikájának témaköréből néhány példával illusztráljuk.

### Visszahatás

A mérőrendszerek működéséhez a mérés helyéről energiát kell elvonni. Ez az energiaelvonás befolyásolja a mérendő mennyiség nagyságát.

A mérendő mennyiségnek a mérés következtében előálló megváltozását visszahatásnak nevezzük. Tekintsünk néhány tipikus példát:

- Az érintkezéssel hőmérsékletmérésnél a nagy hőkapacitású hőmérő befolyásolja a mérendő test, folyadék vagy gáz hőmérsékletét.
- A nagy tömegű rezgésmérő a mérendő rendszerre helyezve megváltoztathatja annak frekvenciakarakterisztikáját.
- A mechanikus csatlakoztatást igénylő fordulatszám mérő lecsökkenti a mérendő fordulatszámot, ha a mérni kívánt forgó rendszer (pl. villamos motor) a mérőeszközhöz viszonyítva kis teljesítményű.
- A villamos feszültségmérő a véges kimenő impedanciával rendelkező áramkörben terhelési hibát okozhat.

Igen fontos tervezési és alkalmazástechnikai feladat a visszahatásmentes mérés kialakítása.

### Dinamikus karakterisztika

Tételezzük fel, hogy a bemeneti mennyiség időben változik. Az időben változó bemeneti mennyiség értékeihez minden időpillanatban meghatározható a kimeneti mennyiség pillanatnyi értéke.

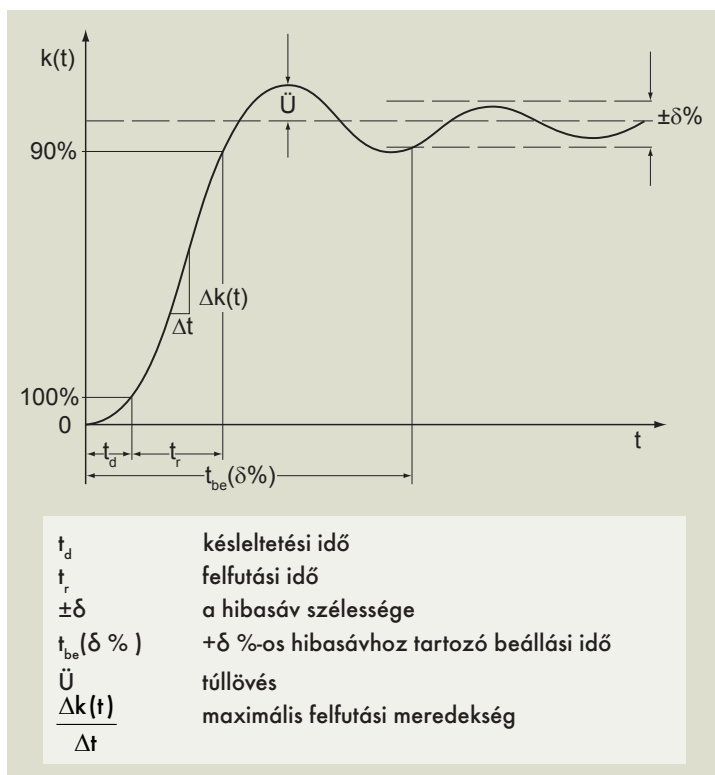
**Definíció:** A kimeneti és bemeneti mennyiség pillanatértékei között az érzékelő időfüggő differenciálegyenlete adja meg a kapcsolatot, általában ezt nevezzük az érzékelő dinamikus karakterisztikájának.

A dinamikus karakterisztika jellemzőit a differenciálegyenlet speciális vizsgálójelekre (bemenőjelekre) történő megoldásain definiáljuk.

### A dinamikus karakterisztika jellemzői az időtartományban

Ugrás alakú bemeneti jel esetén az átmeneti függvény jellemzőit használják a dinamikus tulajdonságok jellemzésére (1. ábra).

A mérés technikai gyakorlatban kiemelt jelentősége van a  $t_{be}$  beállási időnek, ugyanis ez az adat tetszőleges lefutású átmeneti függvény esetén is definiálható, és a gyakorlat számára fontos és használható információt szolgáltat. A definíció szerint a  $t_{be}$  beállási idő az az időtartam, amelyik az ugrás alakú jel megjelenésének pillanatától addig tart, amíg a kimeneti jel úgy éri el



1. ábra Átmeneti függvény jellemzőinek definíciói

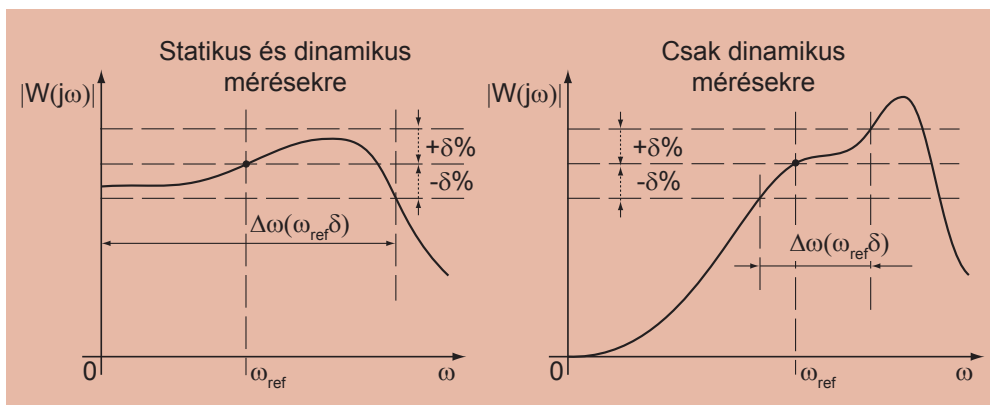
az állandósult állapotához tartozó  $\pm\delta$  %-os hibasávot, hogy ezt követően onnan már nem lép ki.

A  $t_{be}$  beállási idő a  $\delta$  %-os hibasáv szélességétől függ. A hibasáv növelésével a  $t_{be}$  beállási idő csökken. A beállási idő korrekt megadásához tehát hozzátartozik a hibasáv nagyságának a megjelölése is ( $\delta$  %-os beállási idő).

Más szakterületek definíciói (félértékidő, időállandó, felfutási idő, túllövés stb.) természetesen alkalmazhatók és alkalmazandók. Az 1. ábra csillapodó lengésekkel beálló átmeneti függvény esetén mutatja a definíciókat.

### A dinamikus karakterisztika jellemzői a frekvenciatartományban

A bemeneti jel állandó amplitúdójú, változó frekvenciájú, szinuszos gerjesztés. A differenciálegyenlet megoldásából kiszámítható a frekvenciakarakterisztika, az amplitúdó- és fáziskarakterisztika, valamint a Bode-diagram.



2. ábra Sáv szélesség definíciója különböző típusú amplitúdó karakterisztikák esetében

Ha az érzékelőt szabályozástechnikai célra használjuk fel, akkor a szabályozás minőségi jellemzőinek a biztosításához mind az amplitúdó-, mind a fáziskarakterisztikának fontos szerepe van (lásd a „Szabályozástechnika” cikksorozatot).

Láncstruktúrájú – visszacsatolást nem tartalmazó – mérőkörök esetén legnagyobb jelentősége az amplitúdó karakterisztika sáv szélességének van. Definíciójához tekintünk a 2. ábrán látható függvényeket. A 2. ábra bal oldali függvénye egy olyan érzékelő amplitúdó karakterisztikáját ábrázolja, amelyik statikus és dinamikus mérésekre egyaránt használható, míg a jobb oldali függvény csak dinamikus mérésekre alkalmas érzékelőhöz tartozik (természetesen nem szabad figyelmen kívül hagyni a fázistolást sem, ha a mérőrendszer felépítése ezt szükségessé teszi).

A sáv szélesség definíciójához egy önkényesen megválasztott  $\omega_{ref}$  referenciakérfrekvencia és  $\pm\delta$  %-os hibaszélesség megadása szükséges. Ezek ismeretében kiszerezhető az a  $\Delta\omega$ -val jelölt sáv szélesség, amelyben az amplitúdó karakterisztika a kijelölt hibaszélességben marad. Nyilvánvaló, hogy a  $\Delta\omega$  sáv szélesség az  $\omega_{ref}$  és a  $\delta$  függvénye, a sáv szélesség megadása is csak akkor korrekt, ha ezeket a kiegészítő adatokat is közöljük.

A kérfrekvenciatarománybeli viselkedés jellemzésére szolgáló más módon megadott adatok mérés technikai célra gyakorlatilag kevésbé használatosak (pl. a sáv szélesség megadásánál a Bode-diagram -3 dB-es pontjához túl nagy hiba tartozik). Alkalmazásuk elméletileg természetesen nem kifogásolható.

**Mintafeladatok**

Az alábbiakban a nem villamos mennyiségek mérés technikájának témaköréből kiragadott néhány feladat elemzése kapcsán mód nyílik arra, hogy a dinamikus viselkedés jellemzőivel közelebbről megismerkedjünk, ill. rámutassunk a statikus és a dinamikus viselkedés kapcsolatára. A szemléletesség kedvéért a legegyszerűbb matematikai modell alkalmazhatóságához esetenként a vizsgált eszközök kialakítását is leegyszerűsítettük.

**1. Mekkora határfrekvenciát lehet elérni hőmérőkkel?**

A feladat megoldása során arra keresünk választ, hogy az érzékelő paramétereinek megfelelő megválasztásával hogyan lehet a dinamikai tulajdonságokat javítani (a sáv szélességet növelni). Mint ismeretes,

- a hőmérők lehetnek termomechanikus (pl. dilatációs hőmérő (therm, mech, 0)) vagy termoelektromos (pl. ellenállás-hőmérő (therm, el, el), hőelem (therm, el, 0)) érzékelők,
- feltételezzük, hogy a dinamikus tulajdonságok meghatározója egyedül a termikus viselkedés (a villamos hatásokat elhanyagoljuk).

Egy védőcső nélküli hőmérséklet-érzékelő egydimenziós változásokra érvényes differenciálegyenlete és a belőle kiszámítható

kérfrekvenciátviteli tulajdonságok az alábbiak:

A differenciálegyenlet

$$\frac{c\rho V}{\alpha A} \dot{\vartheta} + \vartheta = \vartheta_k$$

alakú, ahol a  $\vartheta$  együtthatója a  $T$  időállandó.

A kérfrekvenciakarakterisztika:

$$W(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega T},$$

az amplitúdó karakterisztika:

$$|W(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}},$$

a fáziskarakterisztika pedig:

$$\varphi(\omega) = -\arctan \omega T.$$

**Az egyenletekben:**

- $\vartheta$  a hőmérő hőmérséklete [ $^{\circ}\text{C}$ ],
- $\vartheta_k$  a mérendő hőmérséklet [ $^{\circ}\text{C}$ ],
- $c$  a fajhő [ $\frac{\text{joule}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$ ],
- $\rho$  a sűrűség [ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ],
- $V$  a térfogat [ $\text{m}^3$ ],
- $A$  a felület [ $\text{m}^2$ ] és
- $\alpha$  a hőátadási tényező [ $\frac{\text{joule}}{\text{m}^2 \text{s}^{\circ}\text{C}}$ ].

Az amplitúdó karakterisztika -3dB pontja  $\omega_o = 1/T$  értéknél van. Az egyszerűség kedvéért most ezt a kérfrekvenciát tekintjük a sáv szélesség felső határának. (Kiseb hibához természetesen ennél alacsonyabb határfrekvencia tartozik). Az ennek megfelelő  $f_o = 1/2\pi T$  határfrekvencia a  $T$  időállandó csökkentésével növelhető. A  $T$  időállandó csökkentésének lehetőségei:

- egyrészt megfelelő anyagválasztással:  $\alpha$  nagy,  $\rho$  és  $c$  pedig lehetőleg kicsi legyen – az alkalmazható anyagválaszték szűk variációs lehetőséget biztosít,
- továbbá megfelelő geometria választásával:
  - gömbformájú mérőtest esetén:  $V/A = R/3 \rightarrow$  a gömb  $R$  sugara legyen kicsi,
  - fólia kialakítással: a  $V/A$  hányados  $A$  növelésével csökkenthető vékonyréteg technológia alkalmazásával.

Műszakilag még realizálható a  $T \approx 10^{-1} \dots 10^{-2}$  s időállandó, aminek az  $f_o \approx 1 \dots 10$  Hz határfrekvencia felel meg.

Az anyagjellemzőket a szóba jöhető anyagok, a geometriát a gyártástechnológia és a felhasználhatóság szabja meg, ill. korlátozza. A fenti időállandó, ill. határfrekvencia-értékeket pl. miniatűr hőelemekkel, termisztorokkal, vékonyréteg fém ellenállás-hőmérőkkel lehet elérni.

Tekintettel arra, hogy a termikus folyamatok általában lassúak, ezért a hőmérők viszonylag alacsony határfrekvenciája a gyakorlatban mégis elegendő.

A következő részben folytatjuk a mintafeladatokat, amelyből szemléletes képet kapunk a statikus és dinamikus tulajdonságok kapcsolatára.

(Folytatjuk!)