

Aktív lengéscsillapítás. Másodfokú lengőrendszer tesztelése.

1. A gyakorlat célja

Járművek aktív lengés csillapításának modellezése másodfokú lengőrendszerként. Szoftverfejlesztés a rendszer valós idejű tesztelésére, a teszteredmények kiértékelése.

2. Elméleti bevezető

2.1 A másodfokú lengőrendszer

Irányítástechnikai alkalmazásoknál kiemelt jelentőségű rendszermodell a másodfokú lengőrendszer. Az irányítás tervezésénél abból indulhatunk ki, hogy az irányított rendszer úgy viselkedjen, mint egy előírt referenciarendszer. Tipikusan ilyen rendszernek választható a másodfokú lengőrendszer:

$$H(s) = \frac{1}{T^2 s^2 + 2\xi T s + 1} \stackrel{\left(\omega_n = \frac{1}{T}\right)}{=} \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (1)$$

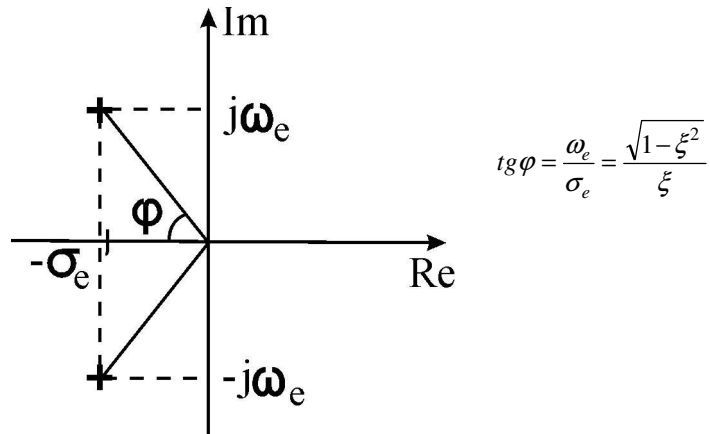
$\xi > 0$ jelöli a rendszer csillapítását, $\omega_n > 0$ a rendszer saját körfrekvenciáját.

A rendszer pólusainak eloszlása: A karakterisztikus polinom gyökei (pólusai) könnyen meghatározhatóak, mivel a rendszer másodfokú:

$$\begin{aligned} s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2 &= 0 \\ \Delta &= 4\xi^2\omega_n^2 - 4\omega_n^2 \\ s_{1,2} &= -\xi\omega_n \pm j\sqrt{1-\xi^2}\omega_n \\ s_{1,2} &= -\sigma_e \pm j\omega_e \end{aligned} \quad (2)$$

$\sigma_e = \xi\omega_n$ a pólus valós részének, $\omega_e = \sqrt{1-\xi^2}\omega_n$ a pólus komplex részének abszolút értékét jelöli.

A két konjugált komplex pólust komplex térben ábrázolva (1. Ábra) látható, hogy a rendszer $\xi\omega_n > 0$ feltétel mellett stabil.



1 Ábra: Másodfokú lengőrendszer póluseloszlása

$\xi < 1$ feltétel mellett a pólusok komplexek, ami lengő viselkedésre utal: ha a rendszer bemenetére egységugrás-szerű, a kimeneten csillapított, lengő választ kapunk (2 Ábra). A rendszer válaszának legfontosabb jellemzőit *időtartománybeli minőségi jellemzőknek* nevezzük:

1. *Túllövés*: az egységugrásra adott válasz legnagyobb pozitív irányú eltérése az egységugrástól, százalékban kifejezve. Az alábbi képlet alapján számíthatjuk:

$$\Delta v = \exp\left(-\frac{\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right) = \exp\left(-\frac{\pi\sigma_e}{\omega_e}\right) \quad (3)$$

2. *Belengési idő*: a túllövés bekövetkezésének ideje.

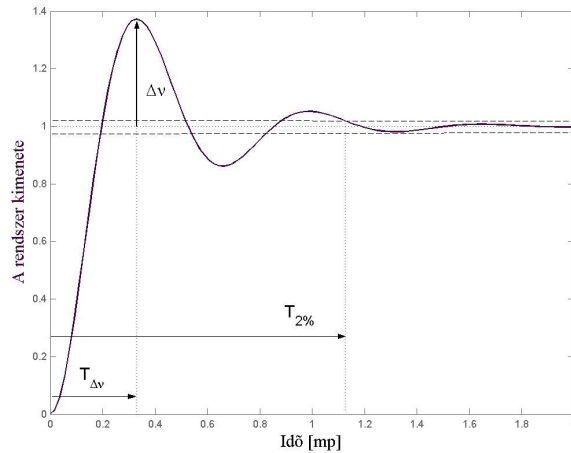
$$T_{\Delta v} = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\xi^2}} = \frac{\pi}{\omega_e} \quad (4)$$

3. *Szabályozási idő*: az az időtartam, amelynek elteltével a rendszer egységugrásra adott válasza csak maximum 2% -kal tér el az egységtől. A 2 Ábrán a 2%-os sávot a vízszintes szaggatott vonalak jelölik.

$$T_{2\%} \cong \frac{4}{\xi \cdot \omega_n} = \frac{4}{\sigma_e} \quad (5)$$

Fontos eset a $\xi = \frac{\sqrt{2}}{2}$ csillapítás, ugyanis erre az értékre a válasz túllövése

$\Delta v = \exp(-\pi) = 0.043 \Rightarrow \Delta v = 4.3\%$. Tehát a $\xi = \frac{\sqrt{2}}{2}$ csillapítási érték kis túllövést biztosít.



2 Ábra: Másodfokú lengőrendszer tipikus válasza egységugrás bemenetre

2.2 Járművek aktív lengéscsillapításának modellezése

A lengéscsillapító vázlatos rajza a 3. Ábrán látható. A keréktengely és a jármű között egy rugó van k_R rugóállandóval, egy passzív hidraulikus henger, amelyben a fellépő viszkózus súrlódási erő együtthatója k_f . Ugyanakkor aktív lengéscsillapítás esetén elhelyeznek egy vezérelhető hengert is, amelyben a nyomást egy pompa szabályozza.

Jelölje x - a pozíciót a függőleges tengelyen, \dot{x} - sebességet, \ddot{x} - gyorsulást. Az úttest és a gravitáció együttes hatását jelölje egy d erőhatás, a szabályozható henger által kifejtett erő pedig legyen u . Ha

A rendszer dinamikus modellje:

$$m \cdot \ddot{x} = -F_f - F_R + u + d \quad (6)$$

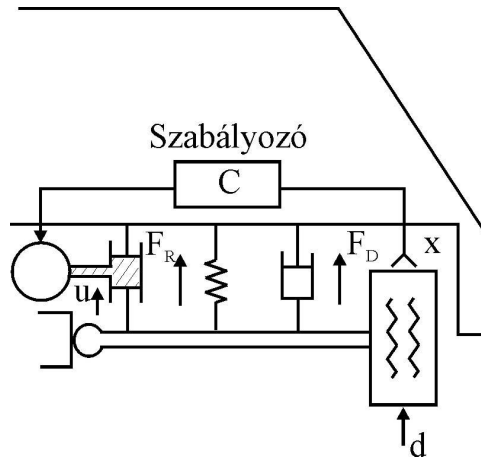
ahol F_R a rugó által kifejtett erő, F_f pedig a passzív hengerben fellépő viszkózus súrlódás. Behelyettesítve a rugalmas erőt és a viszkózus súrlódást, kapjuk:

$$m \cdot \ddot{x} = -k_f \dot{x} - k_R x + u + d \quad (7)$$

A kerék rugalmassága elhanyagoltuk a modellben

A (7) modell egyszerűen megvalósítható analóg áramkörrel, műveleti erősítőket alkalmazva. Ehhez írjuk fel a rendszer állapotteres modelljét. A másodfokú rendszer állapotai a pozíció és sebesség.

$$\begin{cases} x_1 = x \\ x_2 = \dot{x} \end{cases} \quad (8)$$



3. Ábra: Jármű aktív felfüggesztése

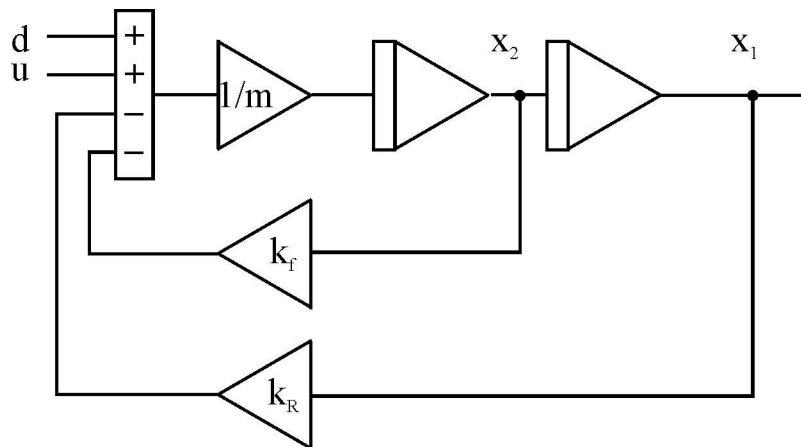
A (7) és (8) összefüggések alapján az állapotterez modell:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \dot{x} = x_2 \\ \dot{x}_2 = \ddot{x} = \frac{1}{m}(-k_f x_2 - k_R x_1 + u + d) \end{cases} \quad (9)$$

Integráljuk ki a (9) modell mindkét egyenletét:

$$\begin{cases} x_1 = \int x_2 \\ x_2 = \int \frac{1}{m}(-k_f x_2 - k_R x_1 + u + d) \end{cases} \quad (10)$$

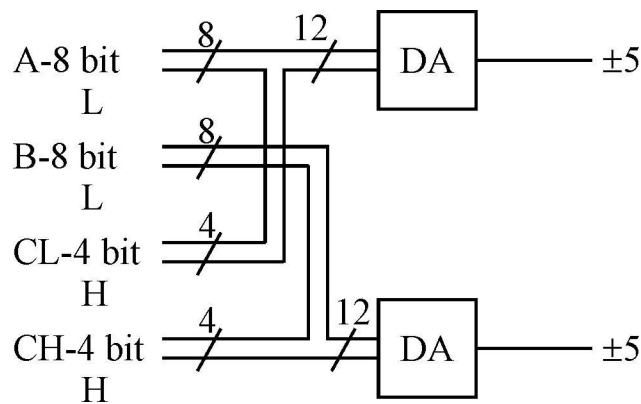
A (10) összefüggés blokkrajza a (4) ábrán látható. A megvalósításhoz egy összegző, három erősítő és két integrátor szükségesek. Mindezek az elemek könnyen megvalósíthatóak műveleti erősítővel.



4. Ábra: A rendszer blokkrajza

3. A mérés menete

A rendszer vizsgálatához a műveleti erősítőkből kialakított áramkört egy OMEGA DAS08 adatbegyűjtő kártya segítségével illesztjük a számítógéphez. A rendszer pozíció és sebességállapotát (x_1 és x_2) a kártya 0 és 1 analóg bementi csatornáján olvassuk be -5 Volt .. +5 Volt tartományban. Az u beavatkozó jelet és a d zajjelet szintén a számítógép segítségével állítjuk elő. Mivel az alkalmazott adatbegyűjtő kártyának nincs analóg kimenete, a kártya digitális kimenetein küldjük ki a két jelet majd két 12 bites digitális-analóg konverterrel alakítjuk át analóg jellé -5 Volt .. +5 Volt tartományba. Az adatbegyűjtő kártyának két 8 bites digitális portja (FIRSTPORTA, FIRSTPORTB) és két 4 bites digitális portja (FIRSTPORTCL, FIRSTPORTCH) van. A digitális analóg konverterek az alábbi módon vannak csatlakoztatva: az u jelnek megfelelő átalakító az alsó 8 bitje a FIRSTPORTA a felső 4 bitje pedig a FIRSTPORTCL. A d jelnek megfelelő átalakító az alsó 8 bitje a FIRSTPORTB a felső 4 bitje pedig a FIRSTPORTCH. (lásd 5. Ábra)



5. Ábra: A digitális analóg átalakítás kialakítása

Az átalakítás 12 biten történik és a konverziós tartomány -5 Volt .. +5. Tehát ha +5 Voltot szeretnénk kiküldeni, a konverter bemenet 0xFFF kell legyen, -5 Voltnak pedig 0x000-et szükséges kiküldeni. Az 1 Táblázat különböző feszültségértékeknek megfelelő digitális kimeneteket mutatja.

1. Táblázat

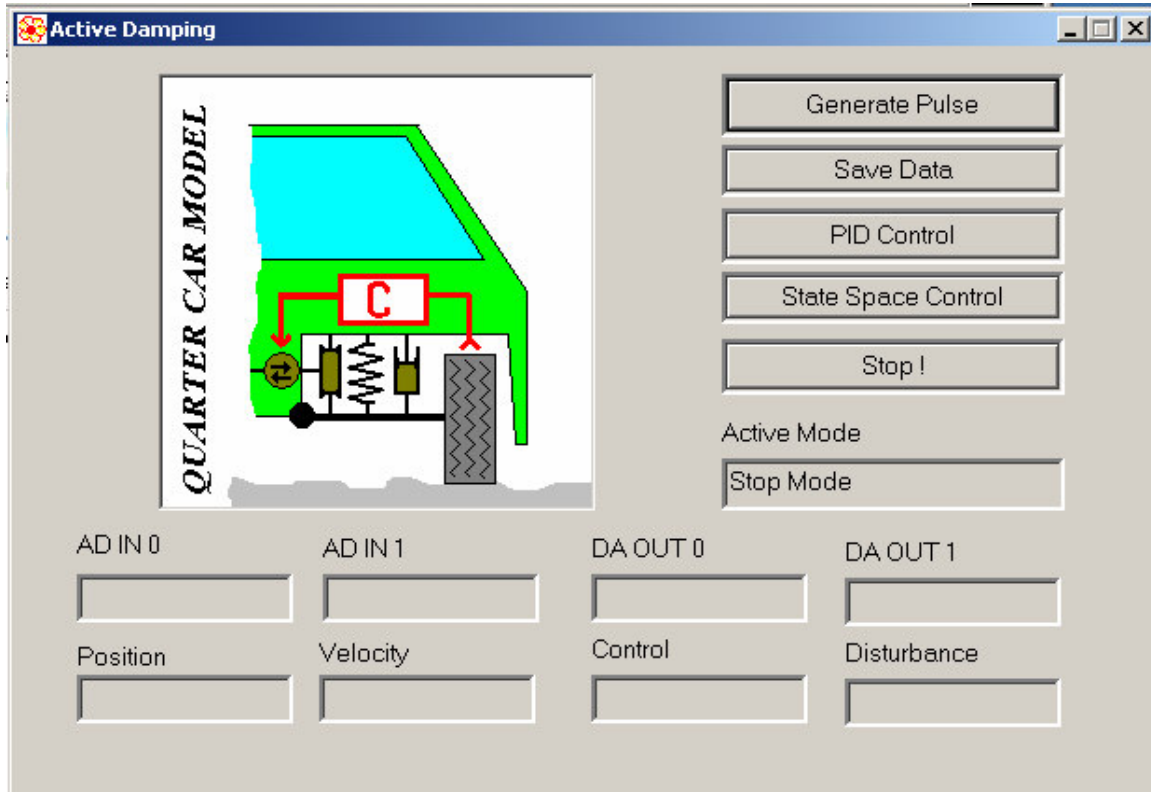
			Port A	Port CL
+5V	FFFh	4096	0xFF	0xF
0V	800h	2048	0x00	0x8
-5V	000h	0	0x00	0x0

Megvalósítandó feladatok:

1. A program vázának felépítése:

Az *ActiveDamping* tervben készítsük elő a program interfészének megfelelő programszerkezetet. (A program felhasználó interfésze a 6 Ábrán látható). A programban

az ciklikusan meghívható *OnTimer* függvény 15 ezredmásodperc periódusú. Ha a felhasználó a *Generate Pulse* gombot nyomja meg, akkor az *OnTimer* függvényben az *ActiveDampingGeneratePulse* függvény kell végrehajtódjon, ha a felhasználó az *Save Data* gombot nyomja meg, akkor az *OnTimer* függvényben az *ActiveDampingSaveData* függvény kell végrehajtódjon,



6 Ábra: A szoftver felhasználói interfésze

A feladatot boolean változókkal oldhatjuk meg. A gomb lenyomás eseményhez hozzárendelt függvény:

```
OnGeneratePulse {
    m_generatePulseIsActive = true;
    m_saveDataIsActive = false;
    m_PIDControlIsActive = false;
    m_StateSpaceControlIsActive = false;
}
```

Az *OnTimer* függvény:

```
OnTimer {
    if (m_generatePulseIsActive)
        ActiveDampingGeneratePulse()
    else if (m_saveDataIsActive)
```

```
ActiveDampingSaveData()  
.....  
}
```

A program állapotát (hogyan melyik függvény aktív) az *IDC_MODE* azonosítóval rendelkező *EditBox* típusú ablakelembe írjuk ki a *SetDlgItemText* függvényvel.

2. Az beavatkozó jelek kiküldésének előkészítése

Az *OnInitDialog* függvényben inicializáljuk a digitális portokat:

```
cbDOutConfig (BOARD_NUMBER, PORT_NAME, PORT_TYPE)
```

BOARD_NUMBER – az adatbegyűjtő kártya száma. A mi esetünkben 1.

PORT_NAME – a digitális port neve. Például *FIRSTPORTA*.

PORT_TYPE – a port típusa (beolvasásra, vagy kiküldésre alkalmazzuk). Kiküldés esetén *DIGITALOUT*.

Ahhoz, hogy a programból való kilépésből a digitális analóg konverterek kimenete nulla legyen, az *OnClose* függvényben az 1. Táblázat alapján. A digitális jel kiküldéshez alkalmazott függvény:

```
cbDOutConfig (BOARD_NUMBER, PORT_NAME, value)
```

BOARD_NUMBER – az adatbegyűjtő kártya száma. A mi esetünkben 1.

PORT_NAME – a digitális port neve. Például *FIRSTPORTA*

value – a kiküldendő érték 0X00 – 0XFF tartományban

1. A beavatkozó jel kiküldése, a rendszer vizsgálata

- Az *ActiveDampingGeneratePulse* függvényben küldjük ki négyszögjelet az *u* kimeneten 0 Volt .. 5 Volt tartományban, miközben a *d* kimenetet 0 Voltot tartjuk. A kiküldéshez alkalmazzunk egy statikus változót (számlálót). Legyen a négyszögjel periódusa 4 másodperc (használjuk fel, hogy az *ActiveDampingGeneratePulse* függvény 15 ezred-másodpercenként hívódik meg)

- Vizsgáljuk meg oszcilloszkópon a pozíció kimenetet.

- Módosítsuk a tömeg paramétert (*m*) Mit tapasztalunk?

- Módosítsuk a rugóállandót (*k_R*) Mit tapasztalunk?

- Módosítsuk a viszkózus súrlódás paramétert (*k_f*) Mit tapasztalunk?

4. Kérdések és feladatok

1. Módosítsuk a négyszögjel generálást úgy, hogy a *d* kimeneten 0 Volt .. 5 Volt tartományban küldünk ki értéket, miközben az *u* kimenet 0 Volt. Mit tapasztalunk?

2. Módosítsuk úgy a programot, hogy *Button* ablakelemek helyett *RadioButton* ablakelemekkel választjuk ki az *OnTimer*ben futó függvényt.

3. A három paraméter közül (*m*, *k_R*, *k_f*) melyik módosítja a rendszer erősítését?