MŰEGYETEM 1782
Gépészmérnöki kar
Műszaki Mechanikai Tanszék

Általánosított tartószerv alkalmazása késleltetett digitális szabályozásoknál

Deichler Anna (T3DFWZ)

Szakdolgozat prezentáció

Konzulens: dr. Insperger Tamás

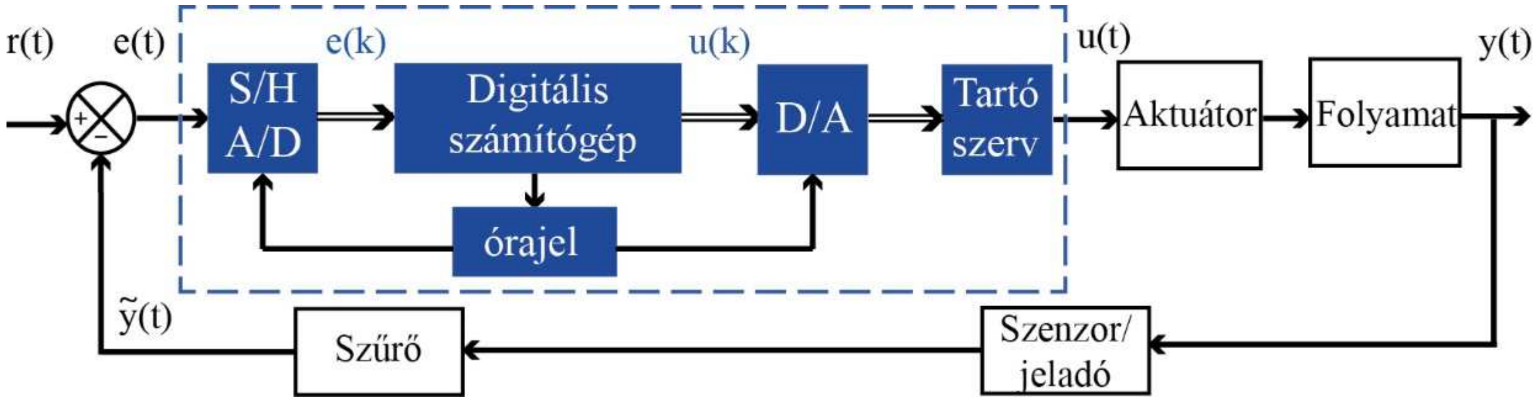
Prezentáció tartalma

1. Témaválasztás, motiváció
2. Tartószerv szerepre/ különböző tartószervek
3. A vizsgált rendszer modellje
4. A rendszer stabilitás vizsgálata (n-ed rendű tartó, SMH tartó)
5. Stabilitásvesztés
6. Összefoglalás

1. Témaválasztás/ Motiváció

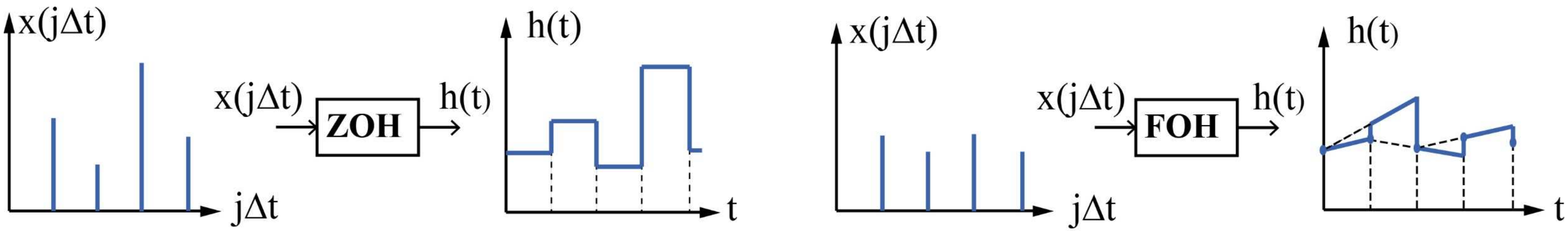
- Digitális szabályzók elterjedtsége számos előnyök miatt
- Szabályzó: diszkrét idejű jelek (mintavételezési idő) ←→ szakasz: folytonos → jelkonverzió
- Jelkonverzió megvalósításának lehetősége: tartófüggvények
- Általánosan használt, hagyományos tartószerv: nulladrendű
- Irodalom: első és másodrend tartó alkalmazásáról kevesebb publikáció
- Általánosított tartószerv vizsgálata– pontosabb működés, jobb teljesítmény
- Tartók stabilitásvizsgálata, stabilitásvizsgálat jelentősége dinamikus rendszereknél: szabályzó rendszer működésének legfontosabb jellemzője
- Időkésleltetés: gyakori probléma, fontos modellezése

2. A tartószerv szerepe a digitális szabályzókörben



- Jellemzően visszacsatolt szabályzózási körben
- Digitális szabályzó egység: diszkrét idejű jelek
- szakasz: folytonos működés →AD/DA átalakítók szükségessége digitális szabályozási rendszereknél
- Jelkonverzió több ponton
- Szakdolgozatban: D/A átalakítás vizsgált → folytonos idejű jel folytonos szakaszhoz

2. Az n-ed rendű tartószerv



ZOH	nulladrendű tartó	szakaszonként állandó közelítés
FOH	elsőrendű tartó	elsőrendű polinom extrapoláció
SOH	másodrendű tartó	másodrendű polinom extrapoláció

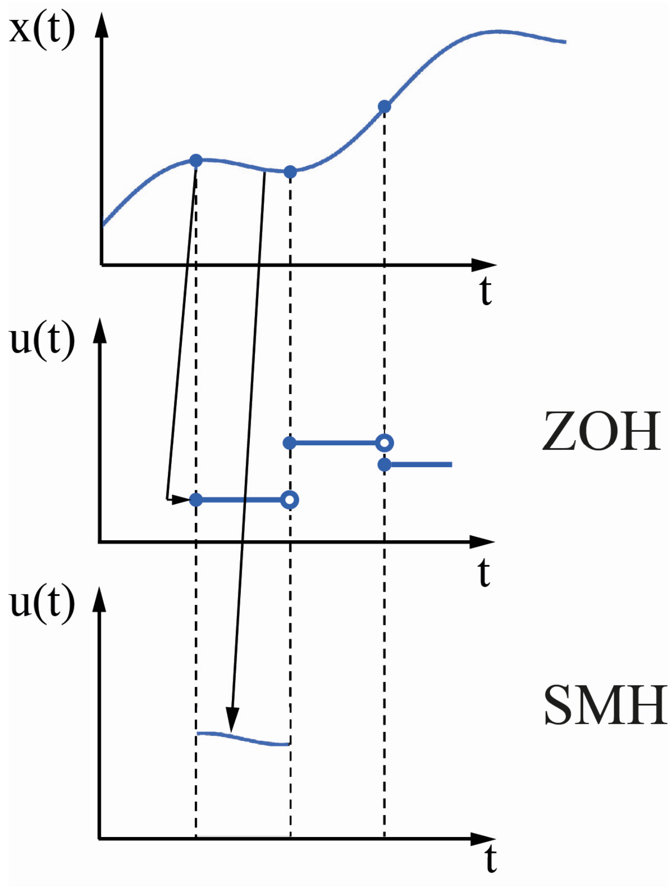
2. Az általánosított tartószerv

- A tartófüggvény is tervezési paraméter (n-ed rendű: csak erősítési paraméterek)
- Egy speciális változata a rendszerhez illesztett tartó (System-matched hold →SMH)
- Rendszer dinamikája alapján meghatározott függvény adja beavatkozó jelet
- Tartás jelleg eltűnése → prediktív jelleg

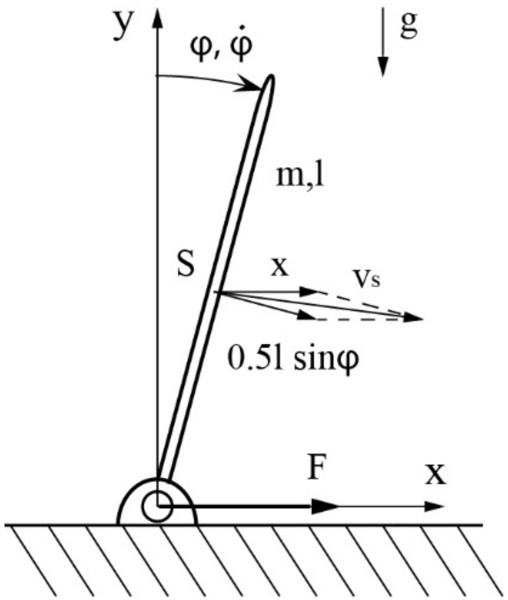
$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{KF}(t)\mathbf{x}_{\mathrm{j}} \quad \rightarrow \quad \mathbf{u}(t) = \mathbf{Kx}(t)$$

- Beavatkozó jel tartófügvénnyel:

$$\mathbf{F}(t) = \mathrm{e}^{(\mathbf{A}+\mathbf{BK})\mathrm{t}}$$



3. A vizsgált rendszer – A rúdegyensúlyozás mechanikai modellje



- Két szabadsági fokkal rendelkező modell
- Instabil → stabilizáló erő szükséges
- Lagrange-egyenletek: elemek energia tartalma alapján mozgásegyenlet levezetése
- Az egyenletek szögkitérésre rendezése
- A linearizált mozgásegyenlet:

$$\ddot{\varphi} - \frac{6g}{l}\sin(\varphi) = -\frac{6}{ml}F(\dot{\varphi}, \varphi)$$

- Az alkalmazott szabályzó: PD (proporcionális-derivatív)

3. A vizsgált rendszer állapottér reprezentációja

- Állapottér reprezentáció: modern szabályozástechnika alapja
- Az állapotvektor: inga szöghelyzetet és a szögsebességet tartalmazza

$$\mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} \varphi(t) \\ \dot{\varphi}(t) \end{bmatrix}$$

- A rendszer bemenete a PC által kibocsátott szabályzó jel
- A rendszer állapotegyenlete:

$$\dot{\mathbf{x}}(\mathrm{t}) = \begin{bmatrix} \dot{\varphi}(\mathrm{t}) \\ \ddot{\varphi}(\mathrm{t}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \beta^2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi(\mathrm{t}) \\ \dot{\varphi}(\mathrm{t}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \mathbf{u}(t)$$

$\mathbf{u}(t) \rightarrow \mathbf{u_j} = -\mathbf{Kx}(t) \rightarrow$ **K**: szabályozás erősítési paraméterei (P, D)

3. Folytonos rendszer diszkretizációja

- A szabályozási rendszer vizsgálata diszkrét időtérben → folytonos szakasz diszkretizálása
- Rendszer diszkretizálása a mátrix exponenciális segítségével történik
- A diszkrét állapotegyenlet: az inhomogén állapotválasz alapján levezetve

$$\mathbf{x}(t) = \mathrm{e}^{\mathbf{A}(t-t_0)}\,\mathbf{x}(t_0) + \int_{t_0}^{t} \mathrm{e}^{\,\mathbf{A}(t-\tau)}\,\mathbf{Bu}(\tau)\mathrm{d}$$

- Diszkrét leírás: az integrálás időintervallum mintavételi időnek megfelelően választva → differenciaegyenlet

$$\mathbf{x}_{j+1} = \mathbf{A_d}\,\mathbf{x}_\mathrm{j} + \mathbf{B_d}\mathbf{u_j}$$

- $\mathbf{u_j}$ beavatkozó jel az alkalmazott tartószervtől és időkéséstől függően változik

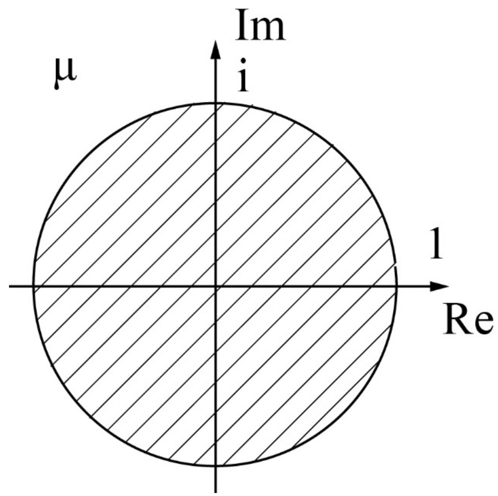
3. $\mathbf{\Phi}$ Átviteli mátrix felírása különböző esetekben

- Rendszer stabilitásvizsgálata: átviteli mátrix sajátértékein keresztül
- Átviteli mátrix: rendszer állapotváltozását írja le $\mathbf{x}_{\mathrm{j}+1} = \mathbf{\Phi}\mathbf{x}_{\mathrm{j}}$
- Időkésés modellezése: egy mintavételezés idő késés (beavatkozó jel)

Időkésés nélküli rendszer	Időkésést tartalmazó rendszer
$\mathbf{x}_{j+1} = \mathbf{A}_{\mathbf{d}}\mathbf{x}_j + \mathbf{B}_{\mathbf{d}}\mathbf{K}\mathbf{x}_j$	$\mathbf{x}_{j+1} = \mathbf{A}_{\mathbf{d}}\mathbf{x}_{\mathrm{j}} + \mathbf{B}_{\mathbf{d}}\mathbf{x}_{j-1}$
$\mathbf{x}_{j+1} = (\mathbf{A}_{\mathbf{d}}\mathbf{x}_j + \mathbf{B}_{\mathbf{d}}\mathbf{K})\mathbf{x}_j$	$\begin{bmatrix} \varphi_{j+1} \\ \varphi_{\mathrm{j}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{\mathbf{d}} & \mathbf{B}_{\mathbf{d}} \\ \mathbf{I} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_j \\ \varphi_{j-1} \end{bmatrix}$
$\mathbf{\Phi} \in \mathbb{R}^{2\times 2}$	$\mathbf{\Phi} \in \mathbb{R}^{4\times 4}$

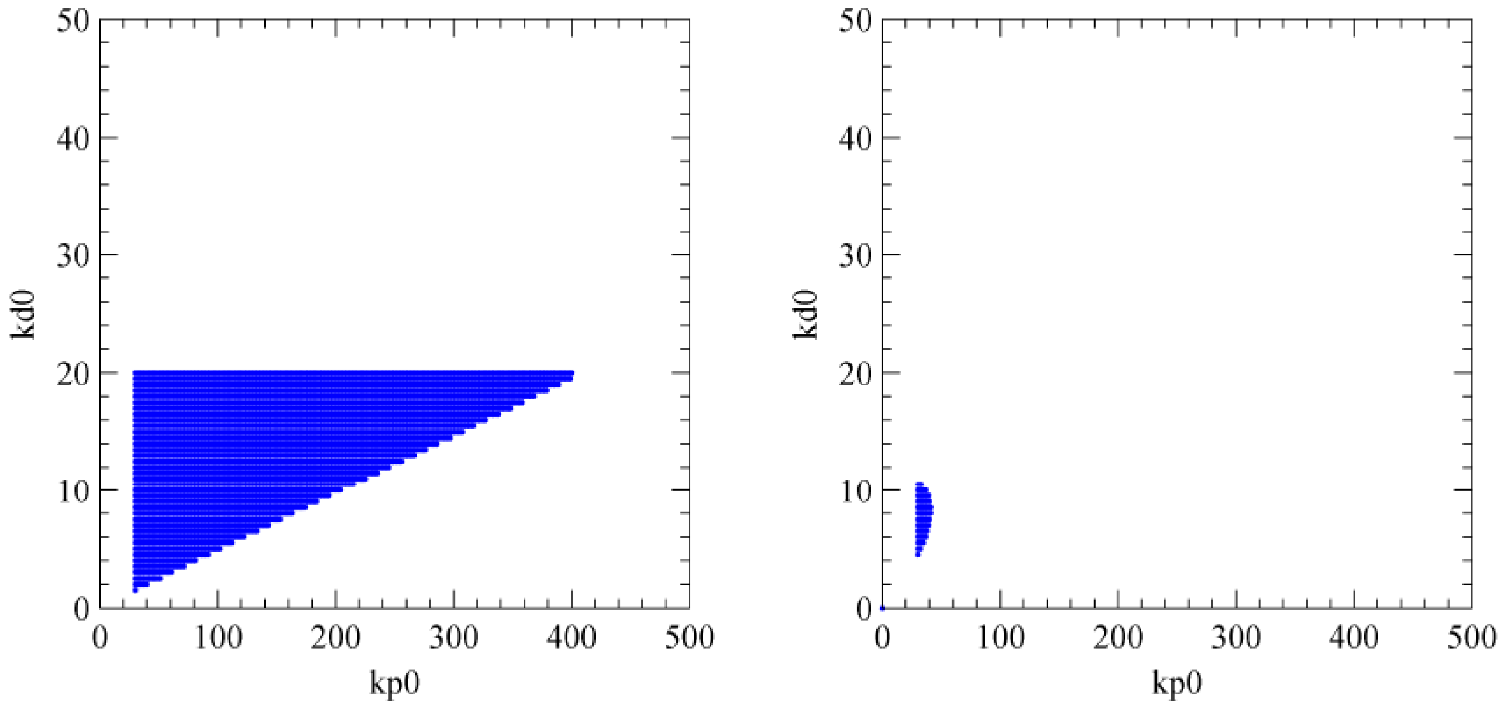
4. A rendszer stabilitás vizsgálata

- Stabilitásvizsgálat n-ed (0,1,2) rendű tartók és SMH esetén
- Minden esetben időkésés nélküli és időkéséses eset vizsgálata
- Stabilitásvizsgálat alapja: átviteli mátrix sajátértékeinek vizsgálata (diszkrét rendszer stabilitása)
- *MATLAB:* proporcionális és derivatív erősítési tényezők léptetése, egymásba ágyazott ciklusok, stabil pontok ábrázolása
- Stabil tartomány megjelenítése: kapott stabil pontpárok ábrázolása stabilitástérképeken (szabályázosi paraméterek által meghatározott sík)

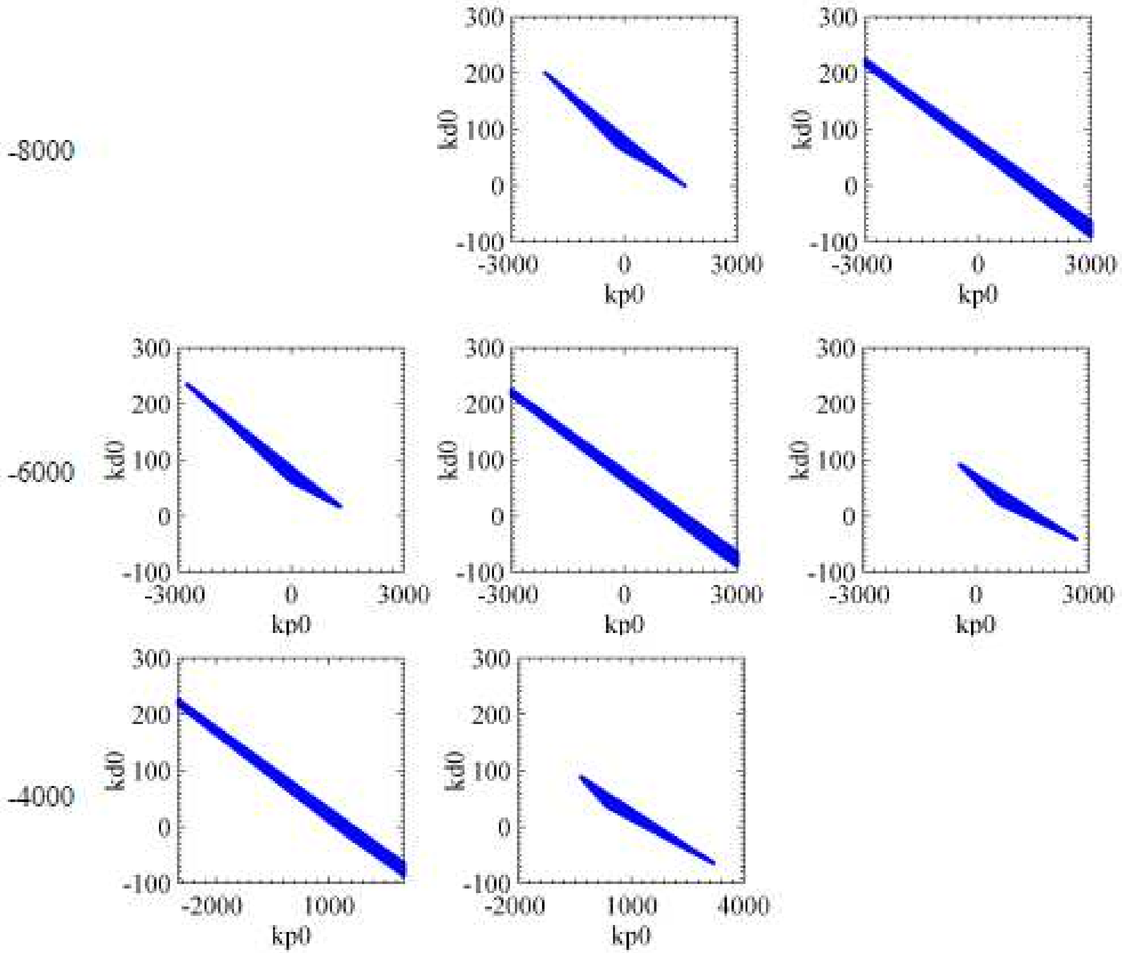


4. Stabilitásvizsgálat – Nulladrendű tartó

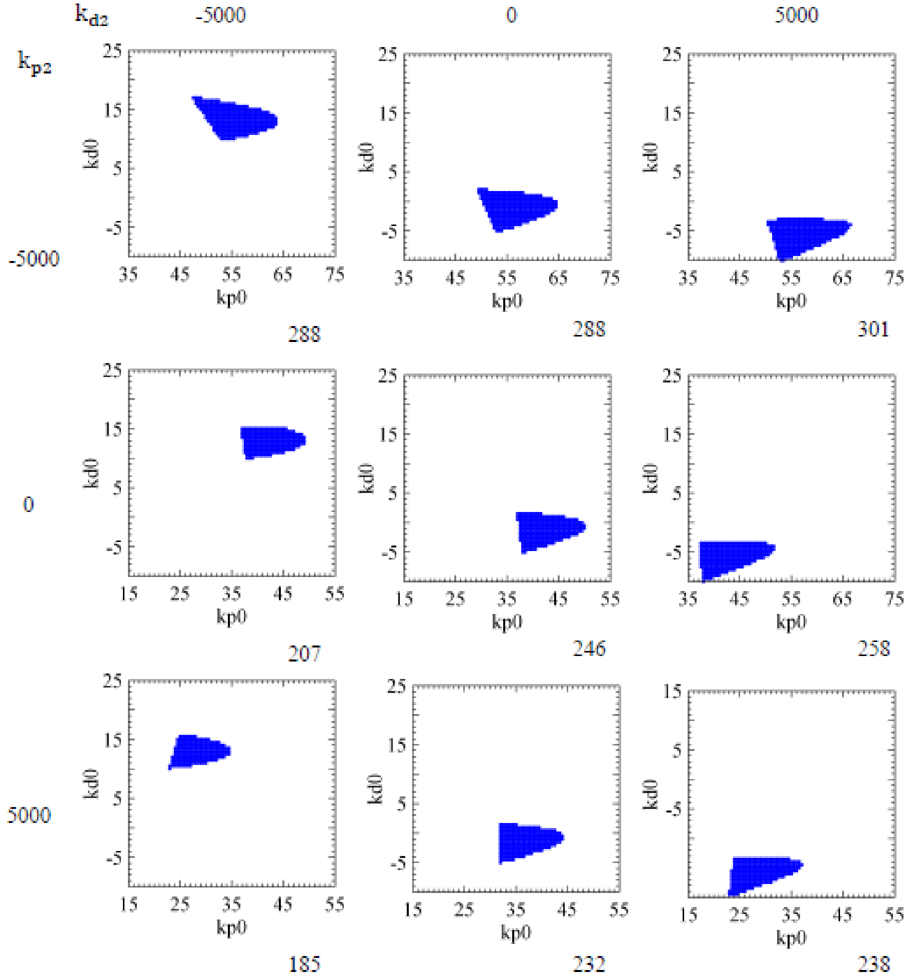
- Az időkésés hatása a stabil tartományra



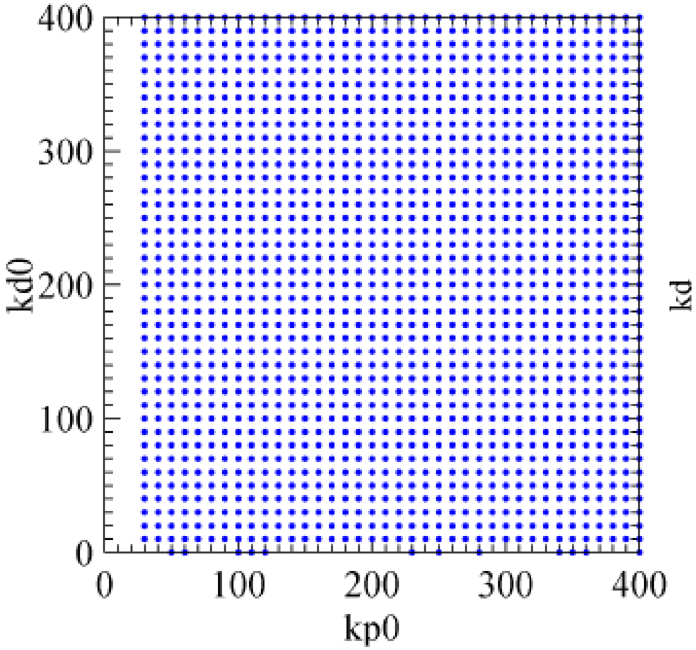
4. Stabilitás vizsgálat – Elsőrendű tartó



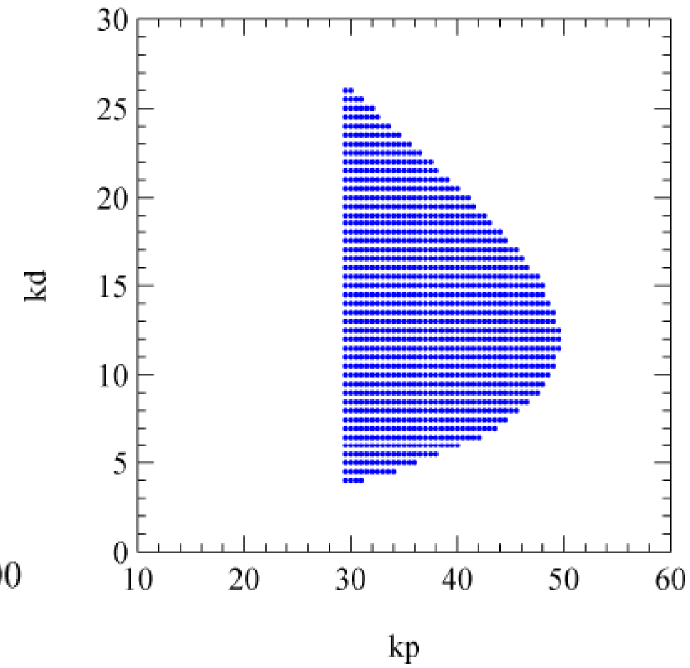
4. Stabilitás vizsgálat – Másodrendű tartó



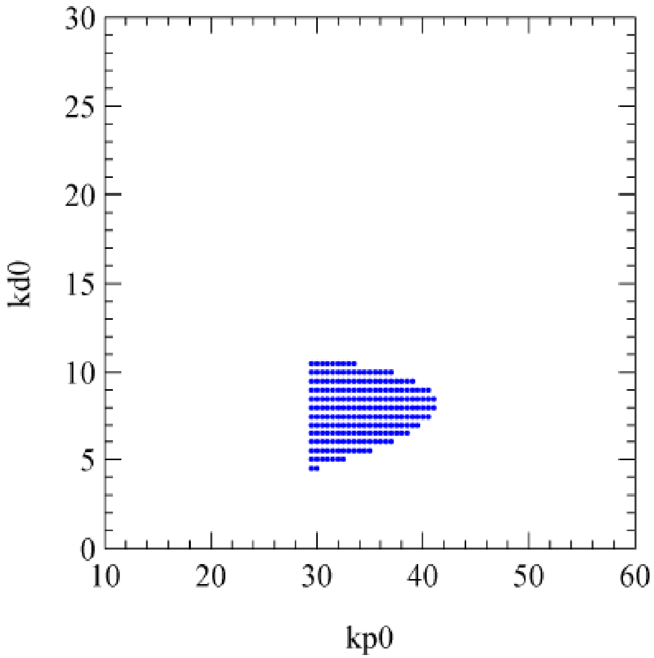
4. Stabilitás vizsgálat – Rendszerhez illesztett tartó



SMH - időkésés nélkül

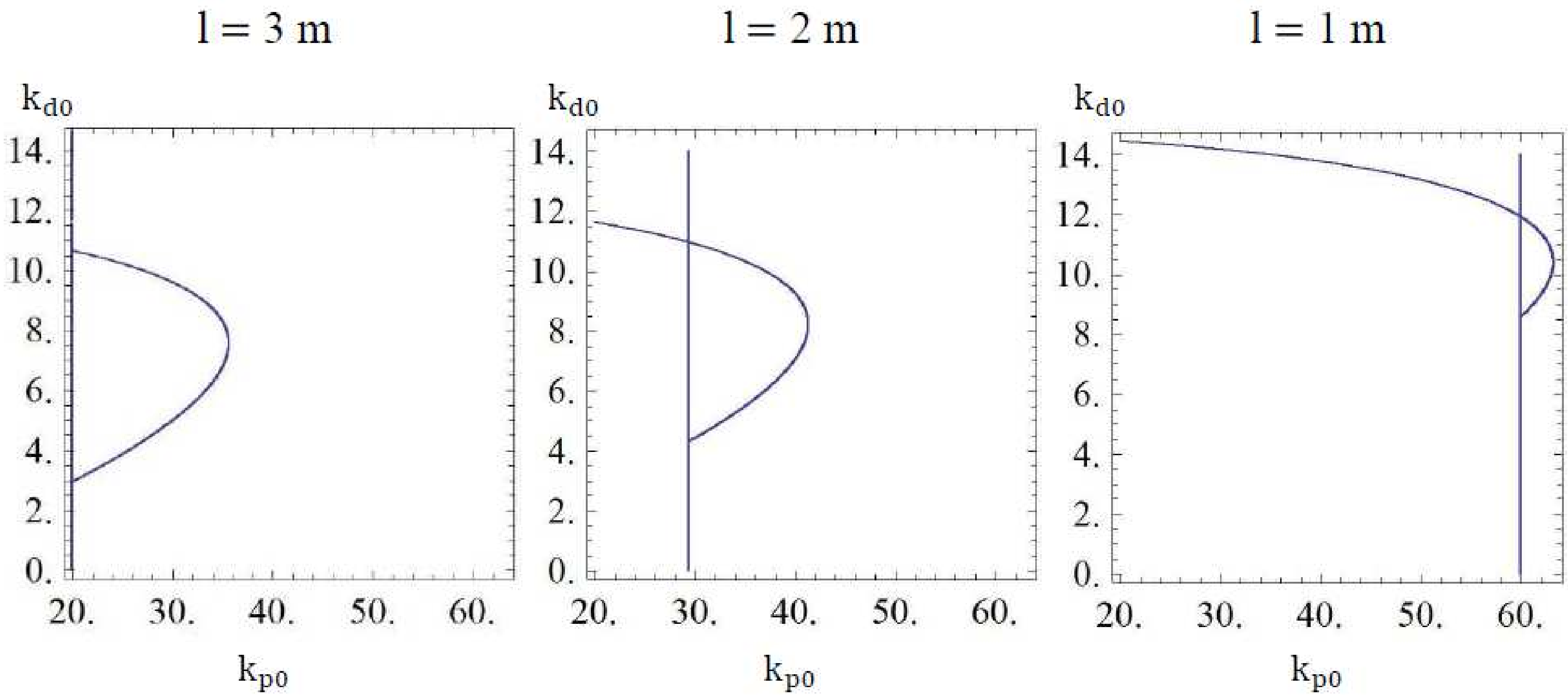


SMH - időkéséssel



ZOH - időkéséssel

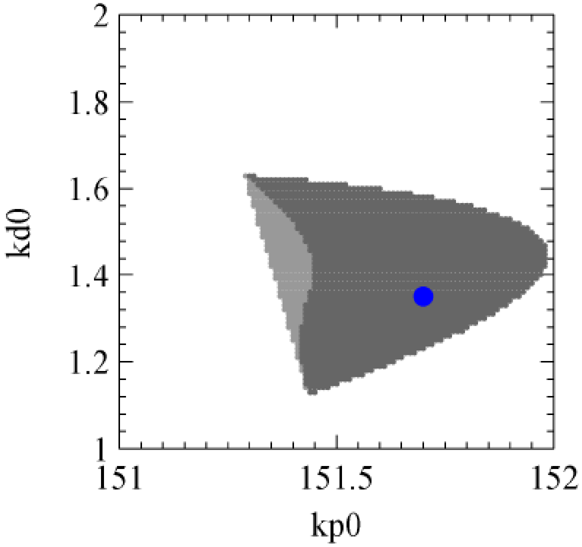
5. Stabilitásvesztés adott időkésés esetén

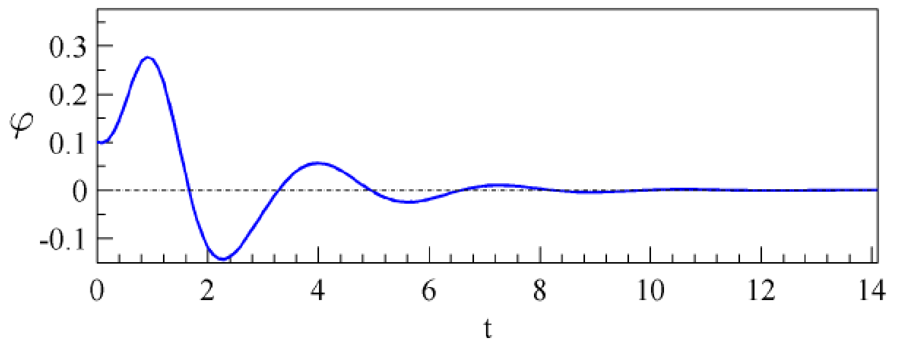


Időkésést tartalmazó, ZOH rendszer esetén kritikus rúdhossz, számított értéke: $l \simeq 0.6355$ m

5. Stabilitásvesztés adott időkésés esetén

- Elsőrendű és másodrendű tartó alkalmazásával kritikus rúdhossz csökkenthető





$k_{p0} = 151.7$ $\quad k_{p1} = -500$ $\quad k_{p2} = -1000$

$k_{d0} = 1.35$ $\quad k_{d1} = 500$ $\quad k_{d2} = 1000$

6. Konklúzió, további vizsgálati lehetőségek

- Magasabb rendű tartószervek → stabil tartomány nőtt
- Rendszerhez illesztett tartó: legkedvezőbb tulajdonságok, időkéses esetben is

Válaszok

1.
2.
3.