ROBOTIRÁNYÍTÁS

3. előadás

Irányítástechnikai alapfogalmak, rendszeregyenletek

Dr. habil. Kovács Levente
egyetemi docens

Dr. Haidegger Tamás
egyetemi adjunktus

EKIK Egyetemi Kutató és Innovációs Központ

Óbudai Egyetem Bejczy Antal iRobottechnikai Központ

Élettani Szabályozások Csoport Óbudai Egyetem

Tartalom

1. Irányítástechnikai alapfogalmak

1.1. Az irányítási rendszerek alapelemei

1.2. Vezérlés és szabályzás

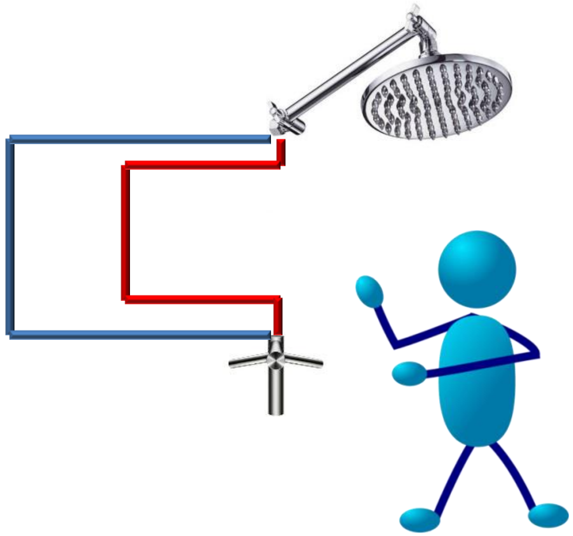
1.3. A kanonikus szabályzókör

Irányítás

Definíció: Az irányítás olyan művelet, mely valamely folyamatot elindít, fenntart, megváltoztat vagy megállít.

Cél: Valós rendszerek viselkedését általunk kívánt tulajdonságúvá, megadott szempontoknak, céloknak megfelelővé tegye.

Példa: zuhanyvíz hőmérséklete.



Cél: a kívánt hőmérséklet elérése a csapok megnyitásával (elindítás), beállításával (fenntartás), a hőmérséklet esetleges megváltoztatása és végül a csapok elzárása (megállítás).

Az irányítási rendszerek alapelemei

Célkitűzés

↓

Érzékelés

↓

Ítéletalkotás

↓

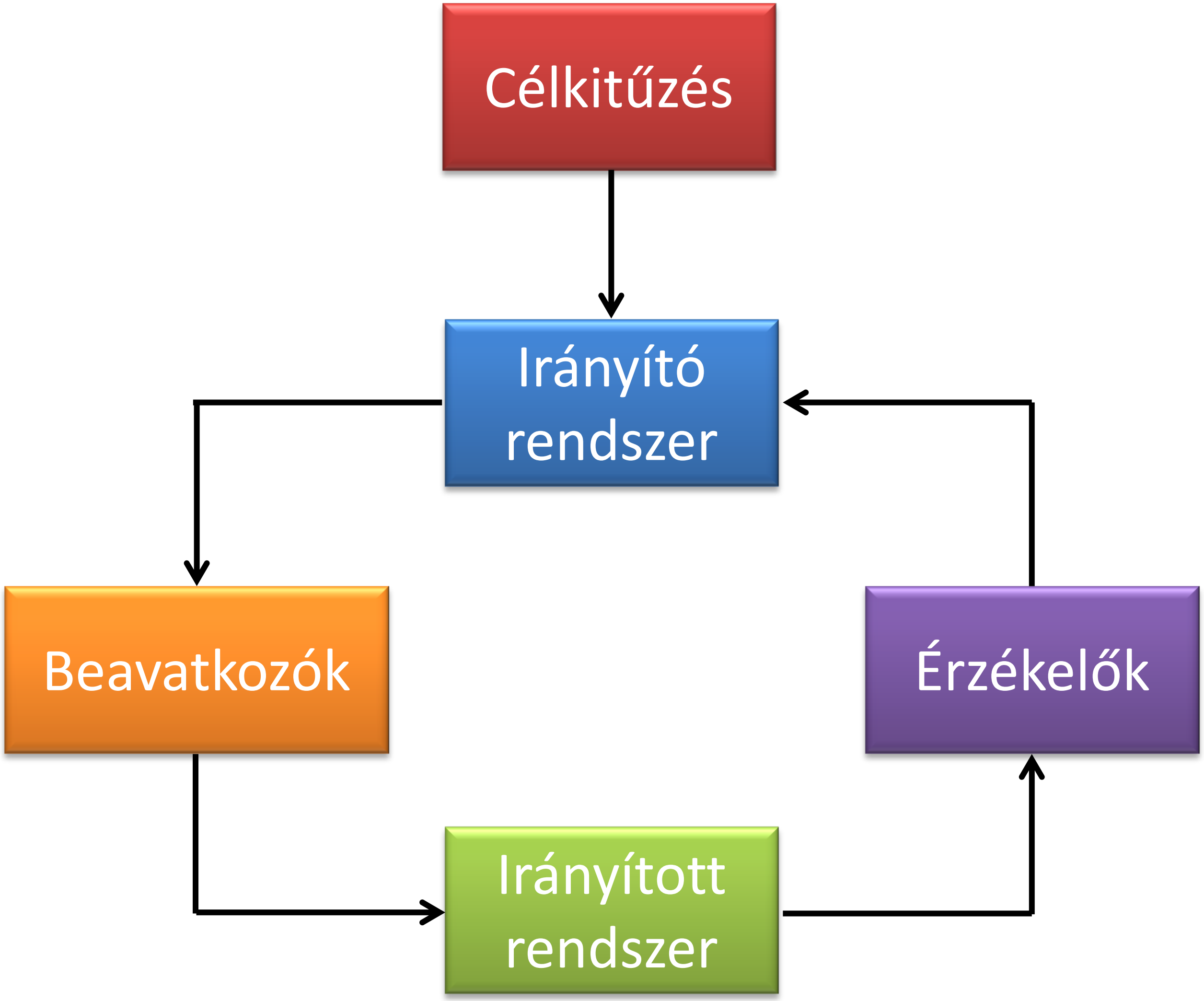
Rendelkezés

↓

Jelformálás

↓

Beavatkozás



Az irányítási rendszerek alapelemei

Célkitűzés

Az irányítás folyamatának minőségét határozza meg:

- Referenciajel: a rendszer kívánt állapotának megadása
  - Értéktartás: az irányított jellemző maradjon állandó értéken
    pl: tempomat, klíma
  - Értékkövetés: az irányított jellemző kövesse a megadott időbeli lefutást
    pl: robotpilóta, szerszámgépek
- A kívánt állapot elérésének tulajdonságai
- Zavaró jelek kiküszöbölésének és kezelésének módja
- Érzékenység a rendszer paramétereinek változására (robosztusság)

Az irányítási rendszerek alapelemei

Irányított rendszer

Lehet: folyamat, berendezés vagy egy irányított szakasz.
Az irányítás célja az irányított rendszer befolyásolása a kívánt irányítási célok elérésének érdekében.
A befolyásolt jellemzőket *irányított jellemzőknek* nevezzük.
Az irányított rendszer viselkedését *matematikai modellekkel* írjuk le.

Az irányítási rendszerek alapelemei

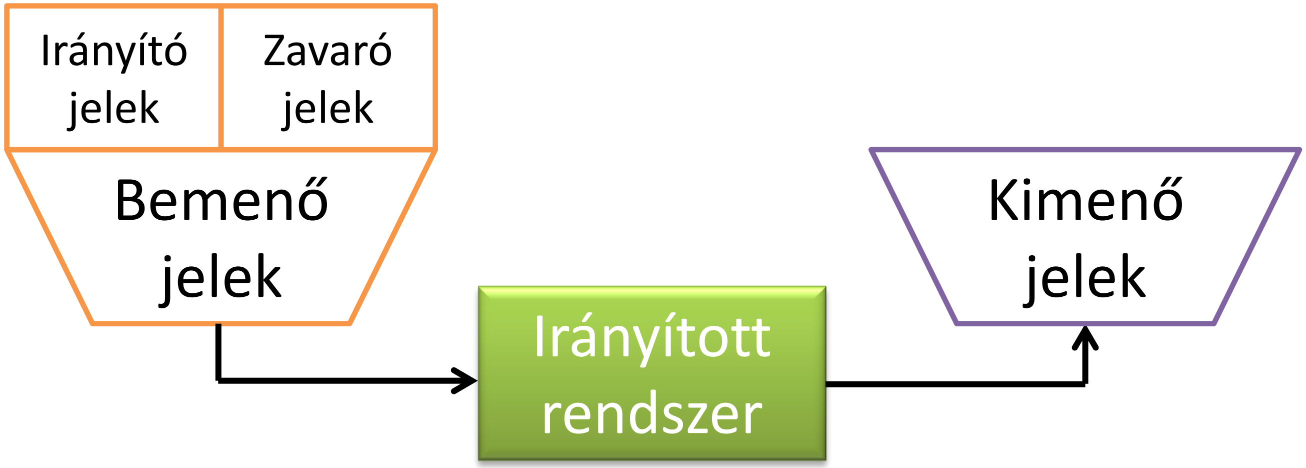
Bemenő jelek: a folyamatot érő külső hatások.

Irányító jelek: ismert, az irányításért felelős jelek.

Zavaró jelek: általában nem ismert, zavaró hatások.

Kimenő jelek: a folyamat érzékelőkkel megfigyelhető jelei, melyek az irányítási rendszer viselkedéséről adnak információt

Állapotváltozók: a rendszer viselkedését leíró matematikai modell belső változói, melyek közvetlenül nem mindig mérhetőek és/vagy befolyásolhatóak



Az irányítási rendszerek alapelemei

Érzékelők

Az érzékelők az irányított rendszer kimenő jeleinek érzékeléséért felelős eszközök.

Feladatuk az érzékelni kívánt fizikai jellemzőkkel (sebesség, hőmérséklet, nyomás stb.) arányos, az irányító rendszer által feldolgozható (általában elektromos) jelek előállítása.

Beavatkozók

Feladatuk az irányított rendszer közvetlen befolyásolása.

Az irányító rendszer által meghatározott (elektromos) jelek alapján mechanikus, termikus, elektromos stb. úton avatkoznak be az irányított rendszer működésébe.

Az irányítási rendszerek alapelemei

Irányító rendszer

Irányító rendszer az irányítási folyamat *ítéletalkotásért, rendelkezésért* és *jelformálásért* felelős része.

Az irányító rendszer a célkitűzések és a rendszer megfigyelt állapota alapján ítélkezik és rendelkezik a beavatkozó jelekről, továbbá felel a beavatkozók által az irányított rendszerre gyakorolt fizikai hatás eléréséhez szükséges jelek előállításáért.

Az irányítási rendszerek alapelemei

Tag

Az irányítási rendszer egy tetszőlegesen kiválasztott eleme.

Leírása általában matematikai összefüggésekkel, karakterisztikákkal történik.

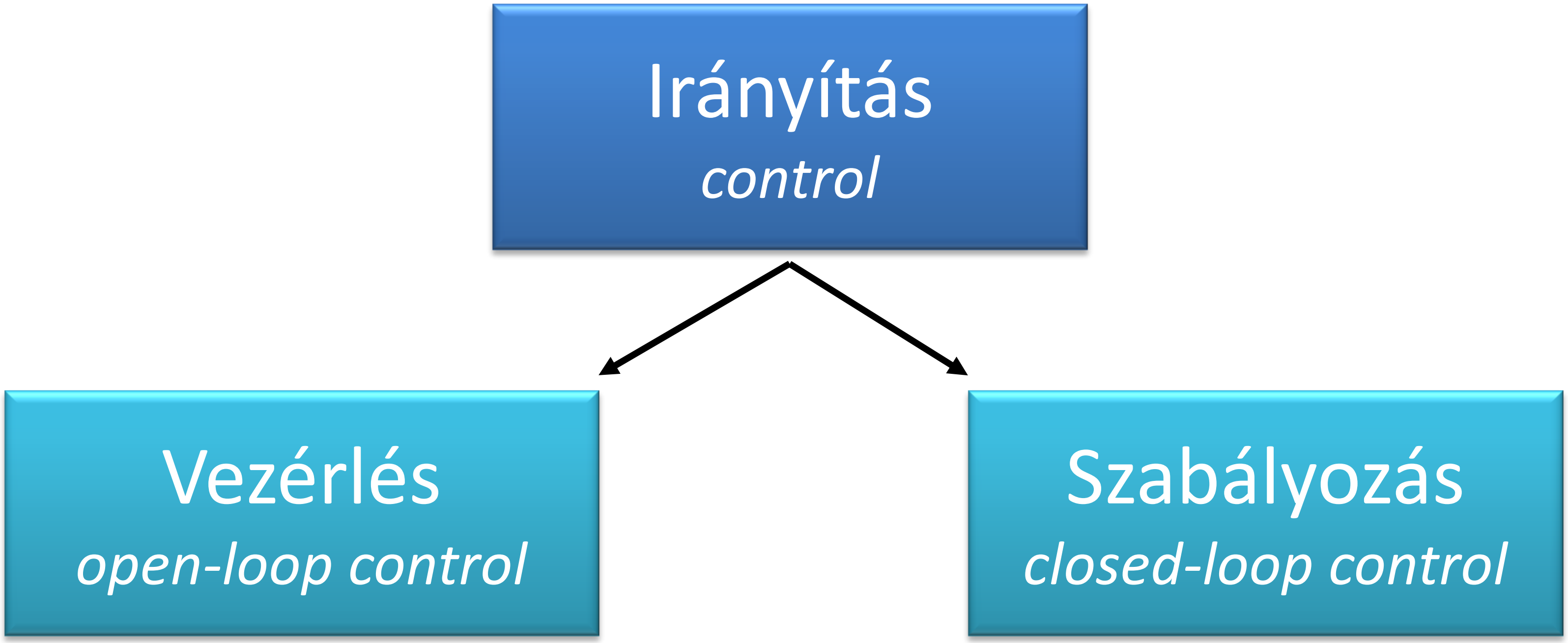
Matematikai kapcsolatot teremt a bemenő és kimenő jelek között.

Hatáslánc

A hatáslánc az irányítási rendszer azon szerkezeti egységeinek (tagjainak) láncolata, amelyeken a jel egy magadott irányban áthalad.

A jelterjedés ábrázolását a *hatásvázlaton* nyilak segítségével végezzük.

Irányítások osztályzása

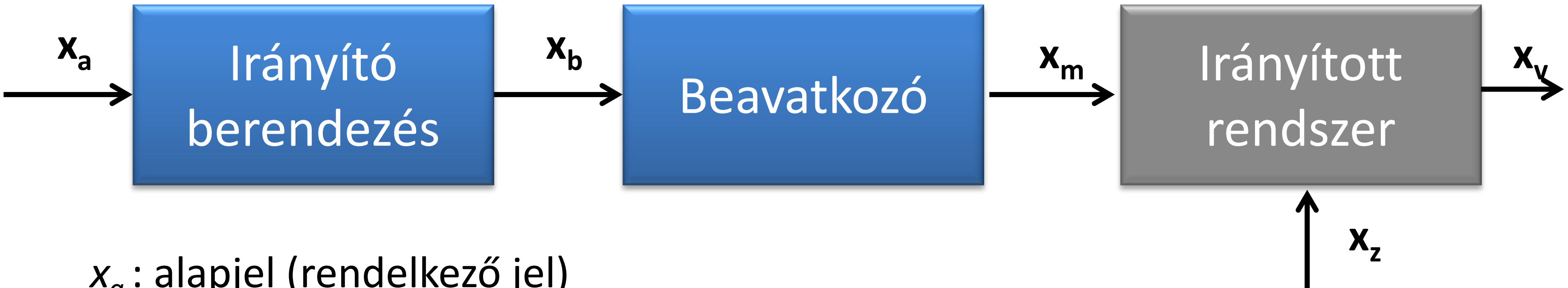


Irányítások osztályzása

Vezérlés

A vezérlés nyílt hatásláncú irányítás, ahol az irányított jellemző nincs közvetlen hatással az irányítási folyamatra.

Az irányító jel az irányított rendszerről alkotott előzetes ismeretek alapján kerül meghatározásra.



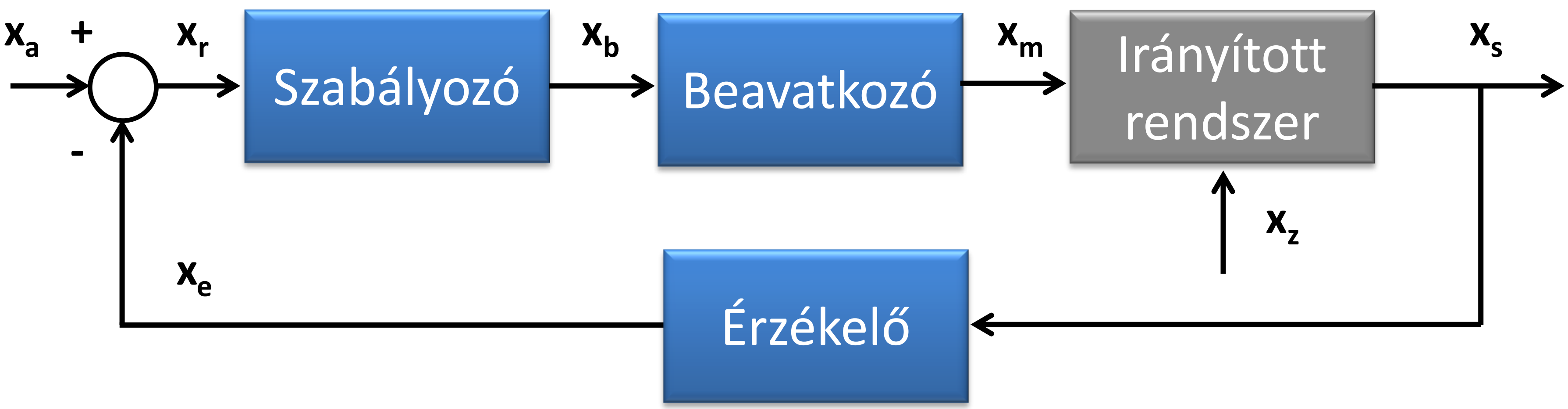
x_a : alapjel (rendelkező jel)
x_m : módosított jellemző
x_b : beavatkozó jel (a szabályozó kimenete, a rendszer bemenete)
x_v: vezérelt jellemző (a rendszer kimenete)
x_z: zavaró jel

Irányítások osztályzása

Szabályozás

Zárt hatásláncú irányítás, ahol az irányított jellemző célkitűzéstől való eltérését használjuk fel a szabályzó jel meghatározására.

A rendelkező jel a célkitűzéstől való eltérés függvénye, így szükséges az irányított jellemző közvetlen mérése.



x_a: alapjel
x_r: rendelkező jel
x_b: beavatkozó jel

x_m: módosított jellemző
x_z: zavaró jel

x_s: szabályozott jellemző
x_e: hibajel

A kanonikus szabályozókör

A kanonikus szabályozókör tagjai:

- Irányított (szabályozott) szakasz
- Beavatkozó szerv
- Irányító (szabályozó) berendezés
- Érzékelő szerv

A szabályzókörben terjedő jelek:

- x_e ellenőrző jel: az érzékelő szerv kimenő jele.
- x_a alapjel: a szabályozott jellemző kívánt értékének felel meg. Az ellenőrző jellel azonos fizikai mennyiség.
- x_r rendelkező jel: az alapjel és az ellenőrző jel különbsége (hibajel).
- x_b beavatkozó jel: a szabályozandó folyamat beavatkozó szervének bemenő jele, egyben a beavatkozó szerv működtetéséért felel.
- x_m módosított jellemző: az a fizikai mennyiség amellyel a beavatkozó szerven keresztül htunk a szabályozott jellemzőre.
- X_z zavaró jel: azok a hatások, melyek az irányító berendezés hatása mellett ismeretlenül befolyásolják a szabályozott jellemzőt.

Matematikai modellezés

Az irányító berendezés tervezéséhez elengedhetetlenül szükséges az irányított rendszer modellel történő jellemzése.

A modell a valós működést a *megkívánt* mértékben előrejelzi.

- Az irányítás szempontjából lényegtelen vagy kevésbé fontos hatások elhanyagolhatóak.
- Az elhanyagolás mértéke a feladat jellegétől és az irányítási folyamat minőségi követelményeitől függ.

A modell leírja a bemenő és kimenő jelek közötti összefüggéseket.

Matematikai modellről akkor beszélünk, ha az összefüggéseket matematikai kifejezésekkel adjuk meg.

Matematikai modellezés

A modell megalkotása általában fizikai alaptörvények alapján történik.

- Newton törvényei (szilárdtest-mechanika)
- Maxwell-egyenletek (elektromosságtan és mágnesesség)
- Bernoulli-egyenlet (áramlástan) stb.

A modell paramétereit méréssel, a megalkotott matematikai modell alapján identifikációval határozzuk meg.

Célok:

- ismeretek összegzése, rögzítése matematikai formában
- ismeretek szerzése feltételezett, részben feltárt ismeretek birtokában
- matematikai leírás – szimuláció a rendszer működéséről
- működő modell készítése, kicsinyített más tesztelése, prototípus
- dinamikus vagy statikus viselkedés tesztelése

Matematikai modellezés

Dinamikus rendszerek: olyan rendszerek, melyek matematikai modellje az állapotváltozóknak a bemenő jelektől, a rendszer pillanatnyi állapotától és az időtől való függését írja le.

A dinamikus rendszerek legfőbb jellemzője a *tehetetlenség* (pl. tömeg) és *energiatárolók* (pl. rugók, kondenzátorok) *jelenléte.*

A rendszer *dinamikai modellje* az állapotváltozók időbeli változását írja le, a kapcsolatot az állapotváltozók között a fizikai törvények és a rendszer paraméterei teremtik meg.

Matematikai modellezés

Diszkrét idejű dinamikus rendszerek

Olyan rendszerek, melyek leírása *differencia-egyenletekkel* történik.

A rendszer állapotait csak bizonyos időpillanatokban ismerjük, mérés *mintavételezés* alapján történik.

Valós fizikai rendszerek esetén, szabályozótervezésnél ritkán alkalmazzuk őket a modern technológiának köszönhető magas *mintavételezési frekvencia* miatt.

Folytonos idejű dinamikai rendszerek

Leírásuk *differenciálegyenletekkel* történik, a rendszer viselkedését folytonos matematikai függvényekkel jellemzik.

Matematikai modellezés

Folytonos idejű dinamikai rendszerek

Általános alakjuk: $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t), \ \mathbf{y} = \mathbf{h}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t)$ $\qquad \dot{\mathbf{x}} = \frac{\mathrm{d}\mathbf{x}}{\mathrm{d}t}$

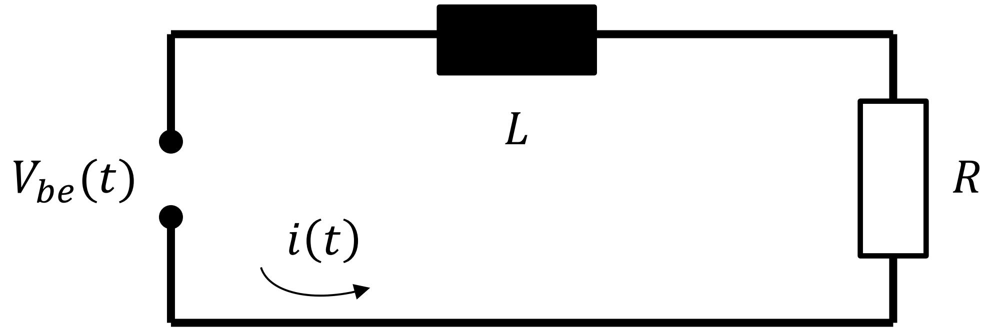
x: az állapotváltozók vektora $\quad \mathbf{x} = [x_1 \quad x_2 \quad \cdots \quad x_n]^T$
u: a bemeneti változók vektora $\quad \mathbf{u} = [u_1 \quad u_2 \quad \cdots \quad u_p]^T$
y: a kimeneti változók vektora $\quad \mathbf{y} = [y_1 \quad y_2 \quad \cdots \quad y_p]^T$

f(**x**,**u**,t): az állapotváltozók időbeli változását leíró függvény
h(**x**,**u**,t): a kimenetek alakulását leíró függvény

1. Példa: RL-rezgőkör dinamikus modellje

Az RL-rezgőkör az egyik legegyszerűbb elektronikai áramkör, mely egy sorosan kapcsolt feszültségforrásból, lineáris ellenállásból és induktív tekercsből áll. A rendszer dinamikus jellegét a tekercs, mint az áramkör *tehetetlensége* okozza.

Az áramkörre kapcsolt feszültség és a rendszer korábbi állapotainak ismeretében modellezhető az áramkörben folyó áram időbeli változása.



1. Példa: RL-rezgőkör dinamikus modellje

Kirchhoff II. törvénye alapján bármely zárt hurokban a feszültségek előjeles összege zérus. Ebből következik, hogy a lineáris ellenálláson és a tekercsen eső feszültségek megegyeznek a bemeneti feszültséggel:

$$V_{be} = V_R + V_L$$

Ohm törvénye alapján a lineáris ellenálláson eső feszültség az áramerősséggel arányos:

$$V_R(t) = R \cdot i(t)$$

Faraday törvénye alapján a tekercsen eső feszültség egyenesen arányos a tekercsen átfolyó áram időbeli változásával:

$$V_L(t) = L \cdot \frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t}$$

A felírt egyenleteket összegezve, a bemeneti feszültség és az áramerősség közötti összefüggés a következőképpen alakul:

$$V_{be}(t) = R \cdot i(t) + L \cdot \frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t}$$

1. Példa: RL-rezgőkör dinamikus modellje

$$V_{be}(t) = R \cdot i(t) + L \cdot \frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t}$$

A dinamikus rendszerek általános felírása alapján:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t), \;\; \mathbf{y} = \mathbf{h}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t)$$

A rendszer bemenete:

$$\mathbf{u} = V_{be}(t)$$

Az állapotváltozó:

$$\mathbf{x} = i(t)$$

A rendszer kimenete:

$$\mathbf{y} = i(t)$$

$$\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t} = -\frac{R}{L} i(t) + \frac{1}{L} V_{be}(t)$$

1. Példa: RL-rezgőkör dinamikus modellje

Az RL-rezgőkör dinamikus modellje tehát:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t) = -\frac{R}{L}\mathbf{x}(t) + \frac{1}{L}\mathbf{u}(t)$$

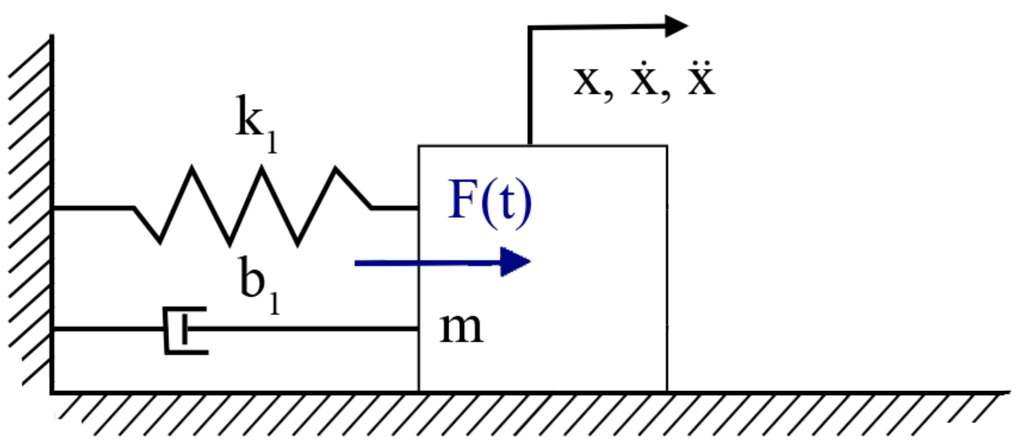
$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{h}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t) = \mathbf{x}(t)$$

Megjegyzés: az állapotváltozók kiválasztása többnyire nem triviális feladat. Azt, hogy a modellben mely állapotváltozók szerepelnek majd, a rendszer viselkedését leíró fizikai törvények és differenciálegyenletek határozzák meg.

2. Példa: Tömeg-rugó-csillapítás modell

A mechanikai modellezés, elsősorban a rezgéstani számítások alappéldája az egyszabadságfokú tömeg-rugó-csillapítás modell.

A modell elsősorban az autókban található lengéscsillapítók egyszerűsített működését mutatja be, de a szerszámgépek megmunkálásától a teleoperáció modellezéséig számos felhasználása van.



2. Példa: Tömeg-rugó-csillapítás modell

Az m tömegű test k_1 rugón és b_1 csillapításon keresztül csatlakozik a merev falhoz, és csúszásmentesen mozog a vízszintes síkban. Nyugalmi állapotában pozíciója $x = 0$, ebből az állapotból F erő hatására kitérítve lengéseket végez.

A rendszer bemenete F erő, kimenete pedig a test x pozíciója.

Newton II. törvénye szerint a test gyorsulása egyenesen arányos a rá ható erővektorok összegével:

$$m \cdot a = \sum F_i = F + F_k + F_b$$

2. Példa: Tömeg-rugó-csillapítás modell

A testre ható erők három tagból tevődnek össze. A testre ható külső F erő mellett a testre annak elmozdulásának irányával ellentétes, annak mértékével arányos F_k rugóerő hat:

$$F_k = -k_1 \cdot x$$

A csillapításból eredő F_b erő egyenesen arányos a test sebességével, iránya ellentétes a sebesség irányával:

$$F_b = -b_1 \cdot \dot{x}$$

A test gyorsulása megegyezik a test sebességének első, elmozdulásának második idő szerinti derviáltjával:

$$a = \dot{v} = \ddot{x}$$

A rendszert viselkedését leíró differenciálegyenlet tehát:

$$m \cdot \ddot{x} = F - k_1 \cdot x - b_1 \cdot \dot{x}$$

Mechanikai rendszerek esetén a leíró egyenletet *mozgásegyenletnek* nevezzük.

2. Példa: Tömeg-rugó-csillapítás modell

$$\ddot{x} = \frac{1}{m} \cdot F - \frac{k_1}{m} \cdot x - \frac{b_1}{m} \cdot \dot{x}$$

Ahhoz, hogy a fenti másodrendű differenciálegyenletet a dinamikus rendszerek általános alakjára hozzuk, fel kell bontanunk két, elsőrendű differenciálegyenletre a következő módon:

$$x_1 = x, \quad x_2 = \dot{x}$$

Ez alapján a rendszer matematikai modellje:

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_2 \\ \frac{1}{m} \cdot F - \frac{k_1}{m} \cdot x_1 - \frac{b_1}{m} \cdot x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t) \\ f_2(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t) \end{bmatrix} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t)$$

$$\mathbf{u} = F, \mathbf{y} = x_1$$

Köszönöm a figyelmet!

Dr. habil. Kovács Levente
egyetemi docens

kovacs.levente@nik.uni-obuda.hu

Dr. Haidegger Tamás
egyetemi adjunktus

haidegger@irob.uni-obuda.hu