

Általános mérnöki ismeretek

5. gyakorlat

A rendszertechnika alapfogalmai

A jelenségek és folyamatok leírása

- A mérnök munkája során mindig a környezetétől önkényesen és szubjektív módon elkülönített jelenséget vizsgál, egy nagyobb rendszerből kiemelt kisebb egységként.

Indirekt módon a *rendszer* fogalma: olyan jelenségek vagy objektumok összessége, melyeket kölcsönhatások és kölcsönös összefüggések kapcsolnak össze.

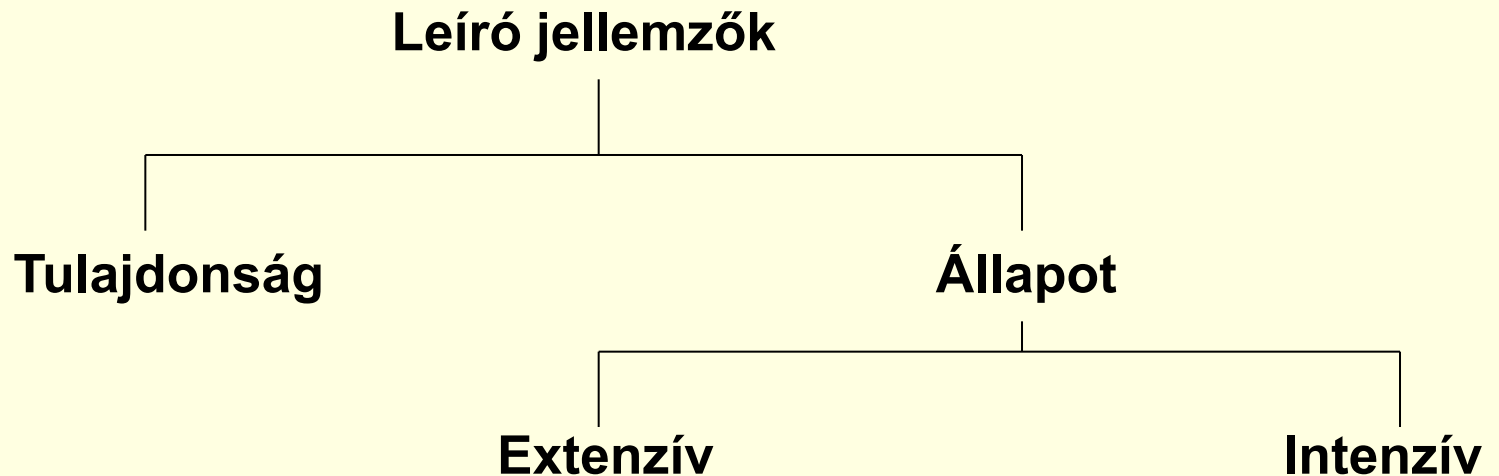
A *folyamat* a rendszeren belül lejátszódó jelenségek térbeli és/vagy időbeli sorozata.

- Az alapjelenségek és az összetett folyamatok leírása azokra a törvényszerűségekre épül, amelyek a jelenség, ill. a folyamat belső, lényegi viszonyait jellemzik.

A *törvény* a jelenségek vagy azok egyes részei között fennálló szükségszerű, lényegi, általános és tartós viszonyt fejez ki.

A könnyűipari folyamatokat leíró jellemzők csoportosítása

A *tulajdonságot* kifejező jellemzők általában egyértelműek. Ide tartoznak a különböző geometriára és alakra vonatkozó adatok, valamint az anyagjellemzők széles sora (fajhő, denzitás, opacitás négyzetmétertömeg, viszkozitás, villamos vezetőképesség stb.).



Az *állapotjellemzők* (v. állapothatározók) az *extenzív* és *intenzív* jellemzők csoportjára oszlanak.

A vizsgált jelenségekre vonatkozó törvények meghatározásának módszertana

A vizsgált jelenségre vonatkozó törvény vagy törvényszerűség meghatározásának kialakult módszertana van:

- a) a jelenséget leíró jellemzők kiválasztása,
- b) tudományos absztrakcióval a jelenség lényegét tükröző vizsgálati modell (absztrahált modell) megalkotása,
- c) a jelenség analízise útján a részösszefüggések feltárása,
- d) a részjelenségek egymásra gyakorolt hatásának vizsgálata (szintézis),
- e) az eredmények általánosítása, a törvényszerűség megfogalmazása.

A könnyűipari folyamatokat leíró jellemzőket általában a tulajdonságot és az állapotot meghatározó jellemzők csoportjára osztjuk.

Az állapotjellemzők csoportosítása

- Az *extenzívek* általában valamilyen kiterjedésre, méretre, mennyiségre jellemzők, vagy azokkal arányosak, és energiahordozókként szerepelnek. Ilyen a tömeg, térfogat stb., és természetesen maga az energia is. Alapvető, hogy az extenzívek teljes rendszerre vonatkozó értéke azonos a részrendszerekre vonatkozó értékek összegével.
Az extenzívekre a megmaradási törvények érvényesek.
- Az *intenzív* (vagy intenzitás) jellemzők valamilyen hatás erősségét fejezik ki. E hatások az intenzív jellemző különbségekkel arányosak. Maga az intenzitás jellemző a tér egy meghatározott pontjára értelmezhető. Ha egy térben az intenzitás jellemző eloszlása inhomogenitásokat mutat, azaz intenzitás jellemző különbségek vannak, e különbségek hatására extenzív áramok indulnak, mégpedig olyan irányban, hogy e különbségek megszűnjenek.
A hajtóerő forrása az, hogy a rendszer egyensúly felé törekszik.

Rendszermodell

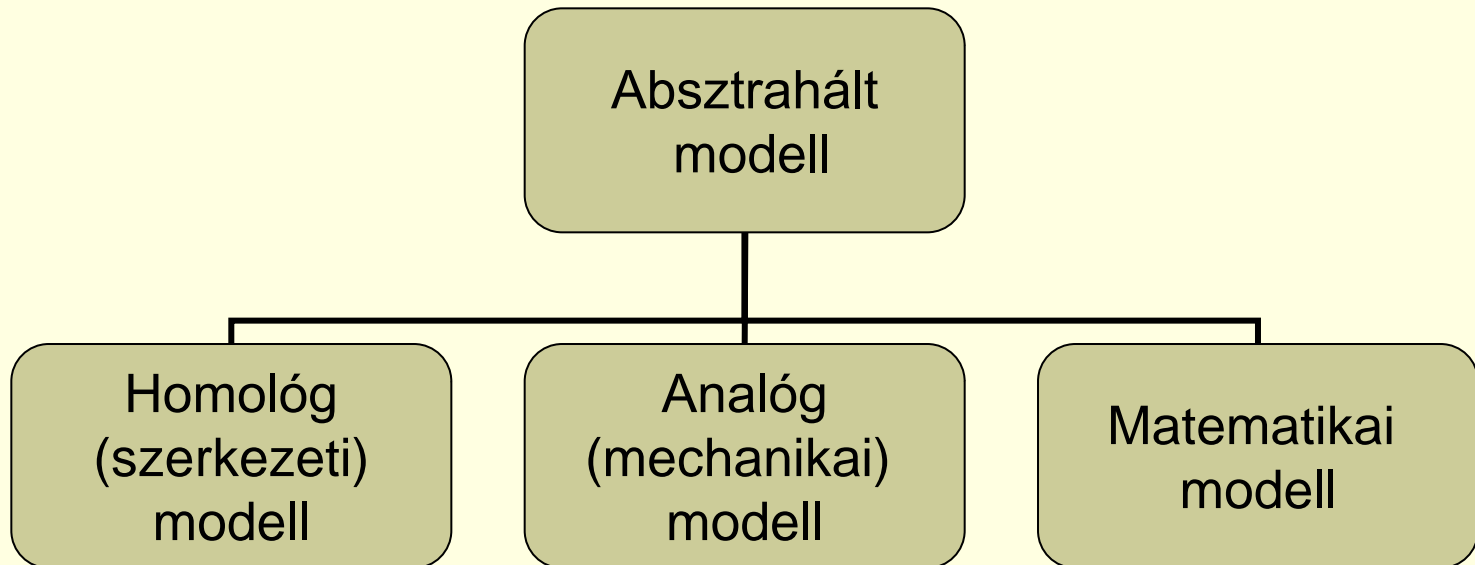
A rendszervizsgálat feltétele a rendszermodell megalkotása.

- A *modell* a valóságos rendszer egyszerűsített, annak a vizsgálat szempontjából lényegi tulajdonságait kiemelő mása, mindazon másodlagos jellemzőket elhanyagolva, amelyeket a kitűzött vizsgálat szempontjából nem tekintünk meghatározónak.
- A modell a valódi rendszert csak meghatározott szempontból *helyettesíti*, egy bizonyos pontossági igény határain belül. Nagyobb hűségű leképezéshez a modellt további figyelembe vett jellemzők bevonásával *finomítani* kell, vagy más célú vizsgálatokhoz ugyanahhoz a rendszerhez újabb modellt kell rendelni.
- *Modellezésnek nevezzük* a valóságos rendszer lényegi tulajdonságainak felismerését, és azok valamilyen formájú leképezését. A vizsgált jelenségnek az emberi tudatban az absztrakció eszközeivel leképezett képe az *absztrahált modell*.

Absztrahált modell

- Az absztrahált modell három formában képezhető le, az eredmény: *homológ, analóg és matematikai modell.*

Jelenség



Az absztrahált modell formái

- *A homológ modell* geometriailag hasonló az eredeti rendszerhez, és ugyanolyan fizikai jelenség játszódik le benne. Gyakori elnevezés ezért a "kisminta". A homológ modellen végzett kísérletek eredményeinek az eredeti rendszerre való visszavetítése meghatározott hasonlósági kritériumok betartását követeli (hasonlóságelmélet).
- *Az analóg modell* az eredeti rendszerrel geometriai hasonlóságot általában nem mutat, a fizikai jelenség sem azonos, de a benne lejátszódó folyamatokat *azonos törvényszerűségek* határozzák meg. Az analóg modell az eredeti rendszerhez viszonyítva hasonló behatásra hasonló módon válaszol. Lehetőséget ad pl. hidraulikus jelenség villamos modellen való tanulmányozására stb.
- Az absztrahált modell mérnöki gyakorlatban legelterjedtebb leképzése a *matematikai modell*. A matematikai modell a matematika szimbólumrendszerén keresztül teremt kapcsolatot a vizsgált rendszer be- és kimenő jellemzői között. Ez a modell kellően definiált kezdő- és peremfeltételekkel együtt, egyben a vizsgált jelenség *algorithmusát* szolgáltatja.

Szimuláció

- Feltételezve a rendszer modelljének meglétét, felvetődik az a kérdés, hogyan viselkedik a rendszer azonos struktúra, de más rendszerjellemzők esetén.
Erre a kérdésre ad választ a *szimuláció*.
- Szimulációnak nevezzük a valódi rendszer valamely célszerűen leképezett modelljén végrehajtott vizsgálatok összességét. A modellek jellegének megfelelően beszélünk *homológ és analóg szimulációról*.
A matematikai modell megoldásának módja szerint *analitikus és digitális szimulációról* beszélünk.

A matematikai modell jellege (1)

A rendszer viselkedését leíró matematikai összefüggés jellege, ill. meghatározásának módszere szerint különféle matematikai modelleket különböztetünk meg. Az elterjedt osztályozási formák szerinti modellek, modell-párok:

- statikus - dinamikus;
- koncentrált paraméterű - elosztott paraméterű;
- lineáris - nemlineáris;
- folytonos - nemfolytonos (diszkrét vagy mintavételes), ill.
- determinisztikus - sztochasztikus modellek lehetnek.

A modellek ezen felsorolt tulajdonságai általában nem önállóan jelentkeznek, hanem egy-egy célszerűen megalkotott modell magában hordja ezek szintézisét.

A matematikai modell jellege (2)

- *Statikus* a modell, ha a rendszer állapota idő szerinti deriváltakat nem tartalmazó egyenletekkel írható le. Jellemzésére elterjedt még a stacionárius, állandósult vagy egyensúlyi állapot kifejezés is.
- A *dinamikus* modellek az időtartományban is leírják a jellemzőket, megjelenési formájuk közönséges vagy parciális differenciálegyenletek. A tárgyalás sokszor nem az idő-, hanem valamely célszerűen választott transzformált tartományban valósul meg.
- A *koncentrált* paraméterű modellek a folyamatot, vagy az ezt előállító részfolyamatokat kiterjedés nélküli paraméter megfelelő transzformációként írják le, megjelenési formájuk algebrai vagy közönséges differenciálegyenlet.
- Az *elosztott paraméterű* modellek megengedik a rendszeren belüli, általában folytonos paraméter-eloszlást. Megjelenési formájuk parciális differenciálegyenlet.

A matematikai modell jellege (3)

- A *lineáris* modellekben csak az első hatvánnyal bíró változók, deriváltjaik és magasabb rendű deriváltjaik szerepelhetnek, általában állandó együtthatókkal szorozva. A szuperpozíció tétele érvényesül.
- A *nemlineáris* modellek az előző megkötöttségektől mentesek. A folytonosság a jel- és időtartományban egyaránt értelmezhető.
- A *folytonos* modellekben a változók egy adott tartományon belül bármilyen értéket felvehetnek, ill. minden időpillanatban van egy meghatározott értékük.
- A *nemfolytonos* modelleknél a változók csak meghatározott diszkrét értékeket vehetnek fel, ill. az időtartományban csak kitüntetett időpontokhoz tartozik érték.
- A *determinisztikus* modellek jellemzői, valamint maguk a változók egyértelmű függvényekkel adhatók meg térben és időben egyaránt.
- A *sztochasztikus* modellek ugyanazon jellemzői és változói csak bizonyos valószínűségi összefüggésekkel definiálhatók.

A matematikai modell előállítás

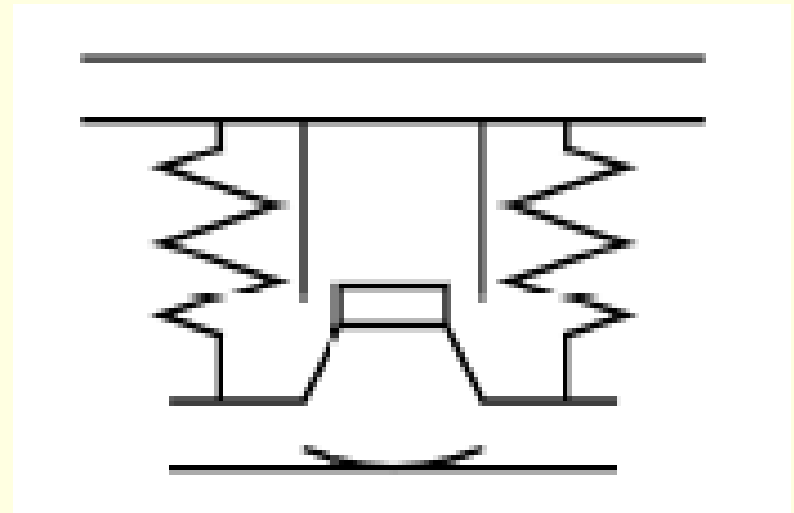
Egy műszaki-technológiai folyamat matematikai modelljének megalkotásához alapvetően két út kínálkozik:

- a) Általános természettudományos ismeretanyagra támaszkodva, fizikai megfontolások alapján analitikus formájú közvetlen matematikai modell előállítása (white-box eljárás).
- b) Megfigyelés, ill. kísérleti identifikáció, ahol a matematikai modell megalkotásához az alapvető információkat mérések sorozatával kapjuk (black-box eljárás).

A rendszervizsgálat ábrázolási módjai

A rendszervizsgálatot a szemléletesség érdekében vázlatokkal követjük. Jellegzetes formájuk a *szerkezeti* és a *hatásvázlat*.

A **szerkezeti vázlat** szorosan utal a vizsgált folyamatot megvalósító reális technológiai berendezésekre, természetesen annak lényeges tulajdonságait emelve csak ki.



A rendszervizsgálat ábrázolási módjai

A **hatásvázlat** a folyamat elvi ábrázolási módja. A folyamat elemi egységeit szimbolikus formák tüntetik fel, ezeket hatásvonalak kapcsolják össze.



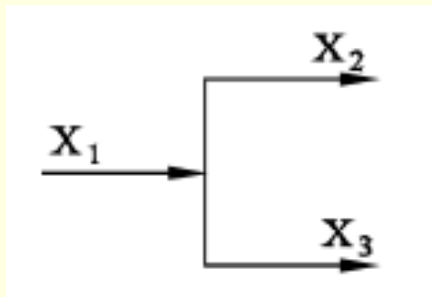
A *hatásvázlatnak* két alapvető formáját használjuk, ezek a *tömbvázlat* és a *jelfolyam ábra*, vagy más néven a gráfábrázolás.

A rendszervizsgálat ábrázolási módjai

A tömbvázlatokban a rendszer elemi egységeit téglalapok jelölik. Az elemi egységeket összekötő egyenes vonalak a hatást hordozó jelek haladását, a vonalak irányítása a haladás irányát tüntetik fel. A téglalapokban a tag jellemző függvényét (jelmódosítás) vagy jelleggörbéjét tüntetjük fel.

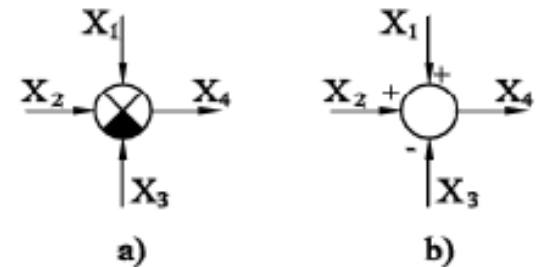
■ Jelelágazás

$$X_1 = X_2 = X_3$$



■ Jelösszegzés

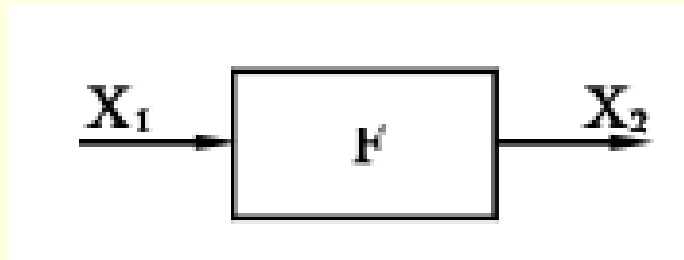
$$X_4 = X_1 + X_2 - X_3$$



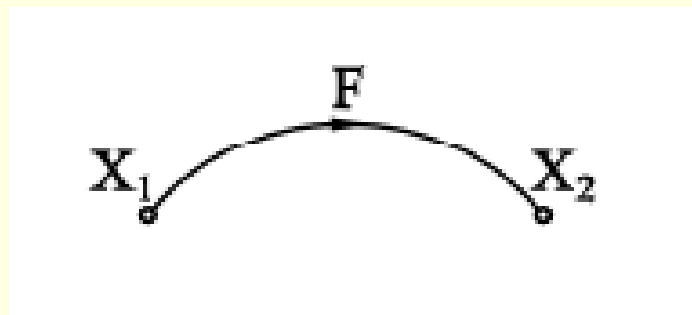
A jelek előjeles összegezésének jelképe a negyedekre osztott kör, ahol a negatív előjellel figyelembe veendő jel negyede fekete. Szokásos azonban az összegezés egyszerű körrel való ábrázolása is, az előjeleket az érkező jelek hatásvonalán tüntetve fel. Az ilyen ábrázolás elkerülhetetlen, ha négynél több jel összegezésére kerül sor.

A rendszervizsgálat ábrázolási módjai

- **Jelmódosítás:** a tag x_2 kimenő és x_1 bemenő jele közötti kapcsolatot az F függvény írja le.



A *jelfolyam ábrában* a modellezett folyamat elemi egységének az felel meg, melynek két végpontjához a jelek tartoznak.



A jel fogalma és szerepe

A jel a konkrét fizikai folyamattól elvonatkoztatott, absztrakt fogalom, amely az információs tulajdonság hordozója.

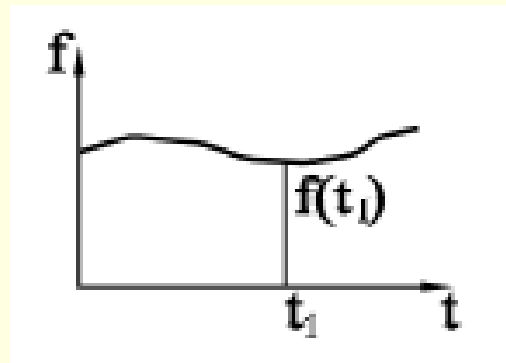
A jelek osztályozása:

- értékészletük szerint,
- időbeli lefolyásuk szerint,
- az információ megjelenési formája szerint.

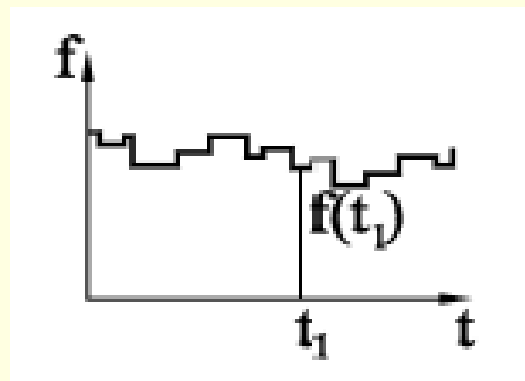
A jelek osztályozása, értékészletük szerint

Értékkészletük szerint lehetnek

- folytonosak



- szakaszosak



Jelek osztályozása, időbeli lefolyás szerint

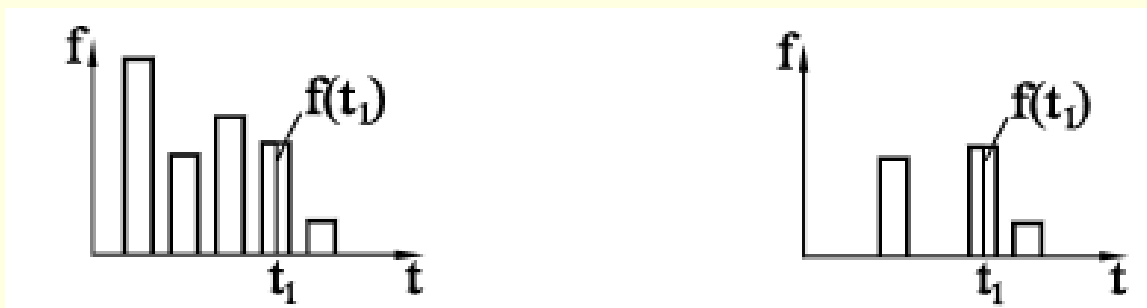
- *folyamatos* jel, melynek értékkészlete az adott időtartomány bármelyik időpontjában változhat



folytonos

szakaszos

- *szaggatott* jel, amelyik csak meghatározott időpontokban változtatja az értékét



folytonos

szakaszos

Jelek osztályozása az információ megjelenési formája szerint

- *Determinisztikus* jel, ha értéke meghatározott időfüggvénnyel egyértelműen megadható,
- *sztochasztikus* jel, ha szabálytalan lefolyású és csak valószínűség-számítási módszerekkel írható le.

Gerjesztő jelek

A lineáris rendszerek vizsgálatára kialakult két célszerűen használható függvénycsalád az

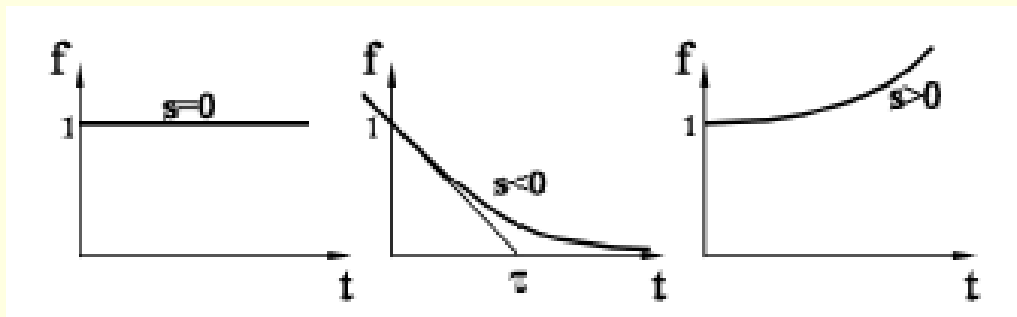
- exponenciális és a
- szinguláris függvények csoportja.

Exponenciális függvényekkel leírható gerjesztések

$$f(t) = e^{st}$$

s: lehet valós, képzetes vagy komplex szám.

a) ha s valós, akkor a gerjesztés esetei:



$$\tau = -\frac{1}{s}$$

Gerjesztések harmonikus rezgés esetén

b) ha s képzetes, akkor a gerjesztés harmonikus rezgés:

$$f(t) = e^{j\omega t} = \cos\omega t + j \sin\omega t$$

$$\operatorname{Re}[f(t)] = \cos\omega t$$

$$\operatorname{Im}[f(t)] = \sin\omega t$$

Tipikus szinguláris vizsgáló jelek

- A rendszer állapota a *behatás előtti állandósult állapot*ól és a *bemenő jeltől* függ.
- Egy egyensúlyban levő rendszerre ha bemenő jelet kapcsolunk, az kimozdul egyensúlyi állapotából, és változói a rendszer jellegének megfelelő tranziensekkel válaszolnak.
- Az egyszerűség kedvéért szokás a rendszer változóinak *kezdeti értékét*, valamint az *egyensúlyi állapothoz tartó bemenő jelet egyaránt zérusnak* tekinteni.

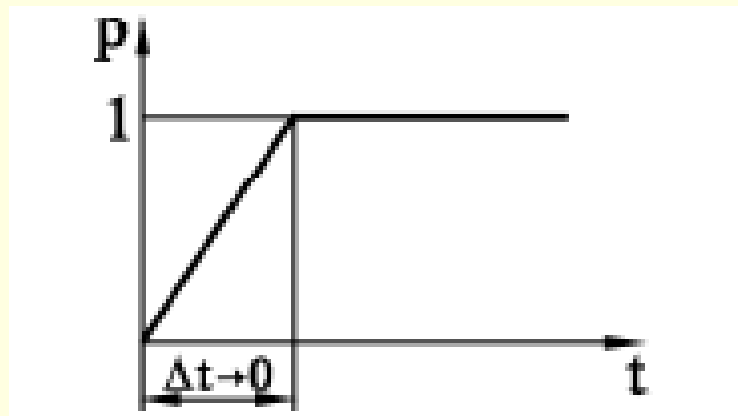
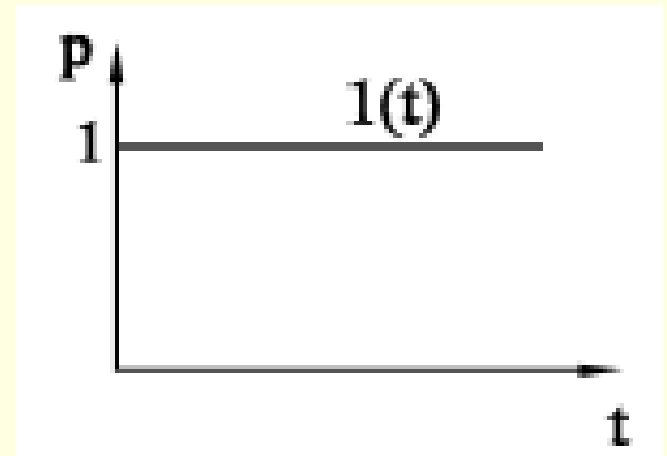
A legfontosabb tipikus vizsgálójelek (1)

egységugrás függvény

Jele: $1(t)$

a rendszer válasza az átmeneti függvény

a gyakorlatilag előállítható jel:

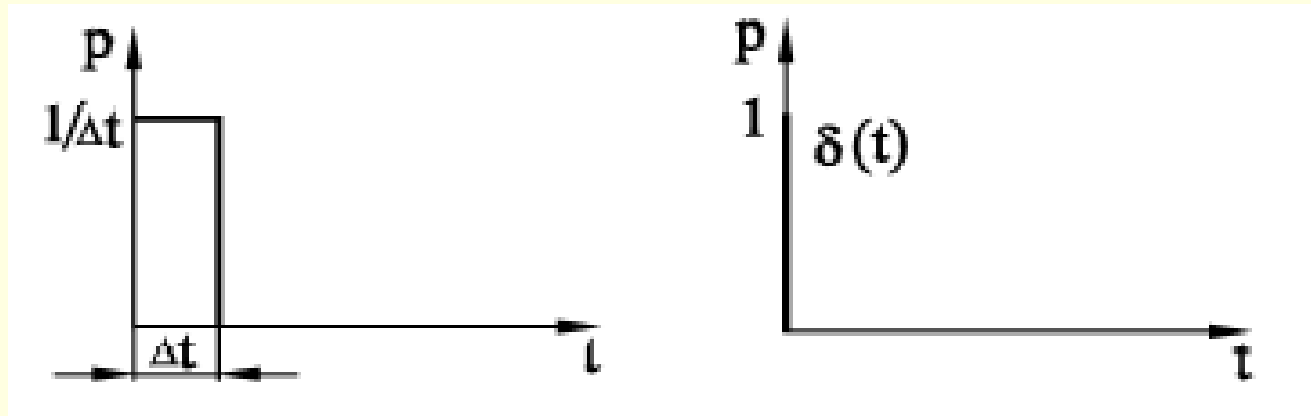


A legfontosabb tipikus vizsgálójelek (2)

egységimpulzus függvény vagy más néven Dirac-delta

Jele: $\delta(t)$

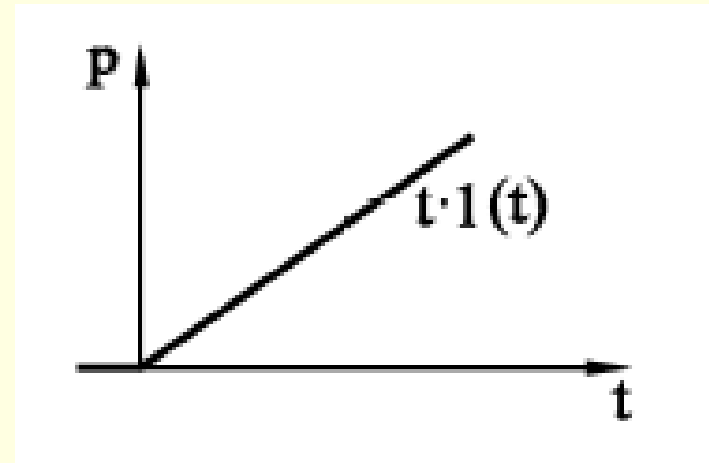
a rendszer válasza a súlyfüggvény.



A legfontosabb tipikus vizsgálójelek (2)

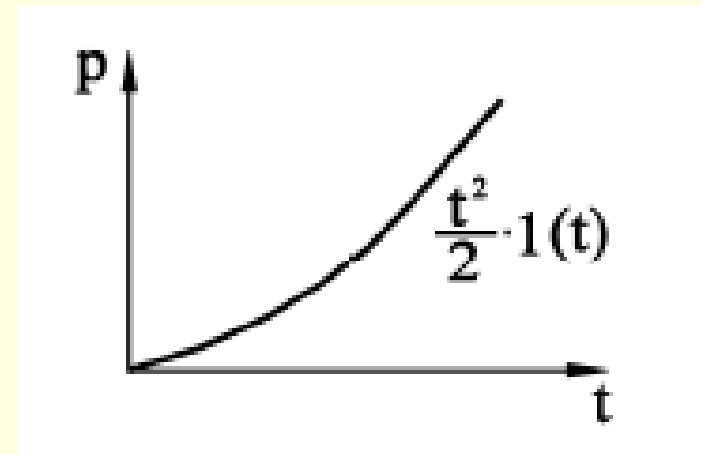
egységnyi sebességugrás

Jele: $t \cdot 1(t)$



egységnyi gyorsulás

Jele: $\frac{t^2}{2} \cdot 1(t)$



Rendszer identifikáció (1)

Műszaki konstrukciók, gépészeti rendszerek, objektumok dinamikai vizsgálatai elméleti rendszeranalízissel kezdődnek.

A lényeges műszaki-fizikai adottságok alapján az objektumra egy helyettesítő rendszert (fizikai modell) matematikailag fogalmazzunk meg (matematikai modell), és a fizikai paraméterek számértékeit a szerkezeti rajzokból állapítjuk meg.

A könnyűipari gépészeti rendszereknél, amelyekre vizsgálatainkat korlátozzuk, a paramétereket a merevségek ill. a rugalmasságok és a tehetetlenségek alkotják, ill. a ható csillapítások vonatkozásában feltételezésekkel kell élnünk.

Ez a modellezés egyszerűsítő feltételezéseken alapul, amely bonyolult szerkezeteknél az elméleti rendszeranalízis eredményeiben bizonytalanságokra vezet.

Újannonan kifejlesztett rendszereknél és megváltoztatott rendszereknél, amelyeknél a változások a dinamikus viselkedést jelentősen befolyásolják és amelyekre vonatkozóan az átvihető, átadható tapasztalatok hiányoznak, a rendszeranalízis bizonytalanságai jelentősek lehetnek.

Rendszer identifikáció (2)

Néhány fizikai jelenség, mint pl.: a nemlinearitások és a csillapítási hatások, bizonyos körülmények között nehezen vagy elméletileg nem is határozható meg. Ehhez járulnak még azok az esetek, amelyekre vonatkozóan az előírásoknak megfelelően működési- és biztonsági igazolásokat kell végrehajtani, anélkül, hogy összehasonlítható, már elvégzett igazolásokra lehetne visszanyúlni.

Az elméleti rendszeranalízis problematikája, határai és végső soron a ráfordítási és ezzel együtt a gazdaságossági megfontolások a rendszerek kiegészítő vagy egyedüli kísérleti vizsgálatához vezetnek.

Rendszer identifikáció (3)

Az általunk vizsgálandó könnyűipari gépészeti rendszereknek az ún. struktúrakísérlettel történő kísérleti vizsgálata lényegében három célt szolgál:

1. az elméleti rendszeranalízis feltételezéseinek és eredményeinek az ellenőrzése,
2. elméletileg hibásan vagy egyáltalán fel nem deríthető viselkedés felfedezése,
3. meghatározott követelmények teljesítettségének igazolása.

Rendszer identifikáció (4)

Ezek a célok legkülönbözőbb feladat megfogalmazásokat indokolnak. Így az elméleti rendszeranalízis eredményeinek a struktúrakísérletre átvihetőeknek kell lenniük, miközben a rendszeranalízisből származó számítási modell egyes pontjainak a rendszerkísérlet mérési pontjaival meg kell egyezniük vagy az adatoknak megfelelően átszámíthatóknak kell lenniük.

Struktúrakísérleteket általában nem valamennyi szükséges terhelési esetre, hanem csak néhányra (esetleg egyszerűsítésekkel) hajtunk végre, azért, mert a kísérletek műszaki okok miatt nem realizálhatók vagy egyszerűen gazdaságtalanok lennének.

Ezeknek a struktúrakísérleteknek az eredményei ezután hozzájárulnak a számítási modell korrekciójához, hogy a javított, pontosabb számítási modellel a kísérlet során meg nem valósított terhelési esetet számításokkal is igazolni tudjuk.

A rendszer identifikáció mint kísérleti rendszeranalízis az előzőekben vázolt feladatmegfogalmazásokat tartalmazza.

Rendszertechnikai vizsgálatok

- A rendszertechnikai vizsgálatok egyik módszere a rendszerazonosítás, amelyet elsősorban bonyolult és nagy terjedelmű rendszerek esetében lehet előnyösen használni.
- Lényege, hogy keresni kell egy olyan struktúrájú elvont rendszert, amely a vizsgált reális rendszerrel megegyező viselkedésű. Ez a megtalált, "identifikált" struktúra nem egyezik meg feltétlenül a vizsgált rendszer tényleges struktúrájával, de vele azonos működésű, így azt a vizsgálatok során helyettesítheti, vele azonosíthatjuk.
- Az identifikált rendszer a fekete dobozként kezelt eredetinek egy ismert felépítésű, elvont rendszerrel helyettesíthető új modellje.

Modell alkotás

A fizikai paraméterek értékeit a szerkezetből kiindulva állapítjuk meg:

szerkezeti modell → mechanikai modell → matematikai modell

A paraméterek: tömegek, tehetetlenségek, rugóállandók, csillapítók.

A modellezés egyszerűsítő feltételeken alapul. (pl.: linearizálás gumirugó esetén)

Modell alkotás

Az identifikált modell előállításának menete:

Fizikai rendszer

↓ 1. lépés: idealizáció

Idealizált rendszer

↓ 2. lépés: identifikáció

Identifikált modell

1. lépés: a valóságos fizikai rendszer idealizálása
2. lépés: az idealizált fizikai rendszer matematikai modelljének meghatározása az ismert fizikai tulajdonságok figyelembevételével.

Példák a rendszerek modellezésére

- Zaj-, rázkódtatás- és zavarforrás helyének a meghatározása a környezetvédelem keretein belül.
- Nyomdagépek átviteli függvényeinek (frekvencia-jelleggörbéinek) a kísérleti meghatározása különböző gerjesztések segítségével.
- Személygépkocsi ütközésvizsgálatoknál a helyettesítő modell tehetetlenségi- és merevségi adatainak a kísérleti meghatározása a rugalmas tartományban.
- Szövőgépek vetelőit jellemző a merevségi és csillapítási adatok korrekciója a mért kényszerlengések és a gerjesztés alapján számoltak összehasonlításával oly módon, hogy a számított és a mért kényszerlengések között jó megegyezést érjünk el.
- Az egységalkomány-képző berendezések dinamikailag igénybevett felépítményeit jellemző fizikai tulajdonságok kísérleti meghatározása,
- A közúti szállítójárművek által létrehozott rezgések által okozott csomagolóanyagok károsodásának a vizsgálata.