

# Dynamics Solver – használati segédlet

## Tartalom

1. Bevezetés
2. A Dynamics Solver telepítése és indítása
3. A Dynamics Solver felhasználói felülete
4. A vizsgálandó dinamikai modell megadása (input)
5. A szimuláció grafikus és szöveges megjelenítésének megadása (output)
6. A szimuláció futtatása
7. Néhány praktikus fogás

## 1. Bevezetés

A *Dynamics Solver* (továbbiakban *DS*) egy *szabad felhasználású szoftver*, amely letölthető a szerző [1] honlapjáról.

A DS kiválóan alkalmas folytonos és diszkrét dinamikai rendszerek kezdő- és peremérték-feladatainak megoldására az alábbi matematikai modelltípusok esetén:

- tetszőleges rendű közönséges differenciálegyenletek,
- tetszőleges dimenziós közönséges differenciálegyenlet-rendszerek,
- funkcionál-differenciál egyenletrendszerek széles osztálya,
- tetszőleges dimenziós diszkrét leképezések (iterációk).

A DS használata nem feltételez programozási előképzettséget: a szimulációhoz szükséges minden információ bevitele felhasználóbarát párbeszéd-ablakokban történik és a sokrétű grafikus és numerikus eredmények megjelenítése és kinyerése nagyon egyszerű. A program hatékony beépített fordítója a standard alakú matematikai kifejezések széles osztályát kiemelkedően gyors futású belső kóddá. A DS hatékony eszköz dinamikai rendszerek tanulmányozására, így például kaotikus modellek szimulációjára is: fázistér 2D, vagy 3D vetítések, Poincaré-metszetek, hisztogramok, bifurkációs diagramok, attraktorok vonzási tartományainak megjelenítésére. A futtatási eredmények számos grafikus és numerikus formában jeleníthetők meg párhuzamosan több ablakban.


Az alábbiakban tömören összefoglaljuk a DS használatának alapjait. Részletes kézikönyv (*dsdoc.pdf*) letölthető az [1] honlapról. A kézikönyvben és a DS program beépített **Help** menüpontjában részletes leírást és szisztematikus áttekintést találhatunk a DS program minden funkciójáról sok példával illusztrálva a használatot. A **File/Open example...** menüpontban rengeteg remek kész példaprogramot nézhetünk meg és próbálhatunk ki (ezen összefoglaló elolvasása után érdemes áttekinteni a gazdag választékot és időt szánni a tanulmányozásukra). A Dynamics Solverben elkészített modelleket a program \*.ds kiterjesztésű ASCII formátumú szöveges *probléma-fájlokban* menti el, így valójában egyszerű szövegszerkesztővel is megírhatnánk őket, de természetesen sokkal kézenfekvőbb és áttekinthetőbb a modellkészítés a program igen barátságos felhasználói felületén az alábbi szakaszokban leírtak szerint.

## 2. A Dynamics Solver telepítése és indítása

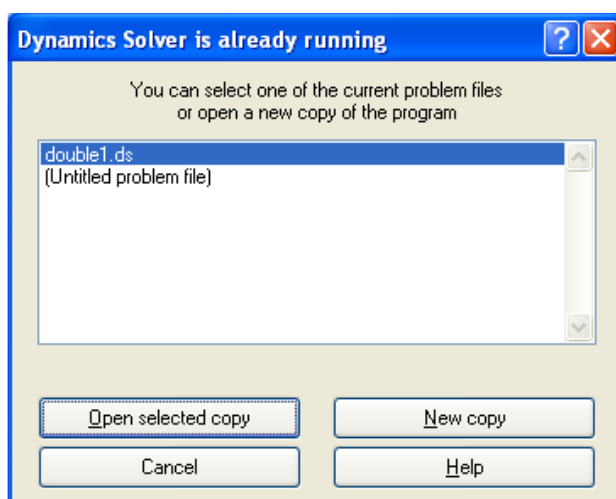
Sajnos csak Windows platformra készült verzió létezik (bár Linux, Unix és Mac platformokon az ingyenes WINE kompatibilitási rétegen futtatható, így véleményünk szerint megbízható, időálló megoldásnak tekinthető).

Windows platformon 32 és 64 bites rendszerhez is letölthetjük [1] Getting Dynamics Solver lapjáról a megfelelő verziót. A számítógépünkre való letöltés után futtassuk a *dsivr\*\*\*.exe* programot, a telepítés néhány igen egyszerű lépésben lezajlik.

A DS indítása az alábbi lehetőségekkel történhet:

- a Windows Start menüből Start/Programs/Dynamics Solver választással,
- a DS asztalon levő  ikonjára való dupla kattintással,
- bármely \*.ds kiterjesztésű DS probléma-fájl futtatásával.


Egyszerre több példányban is futhat a DS, új probléma-fájl behívása előtt az alábbi párbeszédablakban választhatunk a módozatok közül.

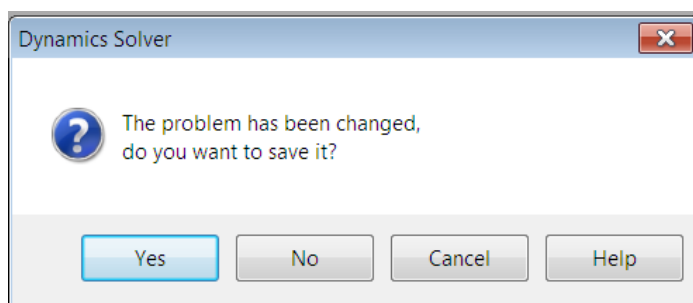


2.1. ábra

Egy új probléma-fájl megnyitásánál választhatjuk, hogy a DS program új példányban induljon el, vagy a már futó DS-ben nyíljon meg. A **Configuration/Preferences** menü **Preferences/Other** párbeszédablakában a **Check previous instances entry** pont letiltásával beállíthatjuk, hogy soha ne nyíljon új DS példány.

A DS program bezárása a következőképpen történhet:

1. Ha éppen fut egy program-fájl megoldása, akkor előbb állítsuk le a megoldási folyamatot az **ESC** gomb megnyomásával (vagy használjuk a menü **Go/Stop!** funkcióját, vagy kattintsunk az eszközsor  ikonjára.)
2. Üssük le az **Alt+F4** billentyűkombinációt (vagy használjuk a menü **File/Quit** funkcióját). Ha az aktuális problémafájlban változtattunk valamit, akkor bezárás előtt lehetőséget kapunk a mentésre. Figyeljünk oda, hogy felül akarjuk-e írni az előző verziót, vagy inkább új néven mentjük a változtatott példányt (2.2. ábra)!

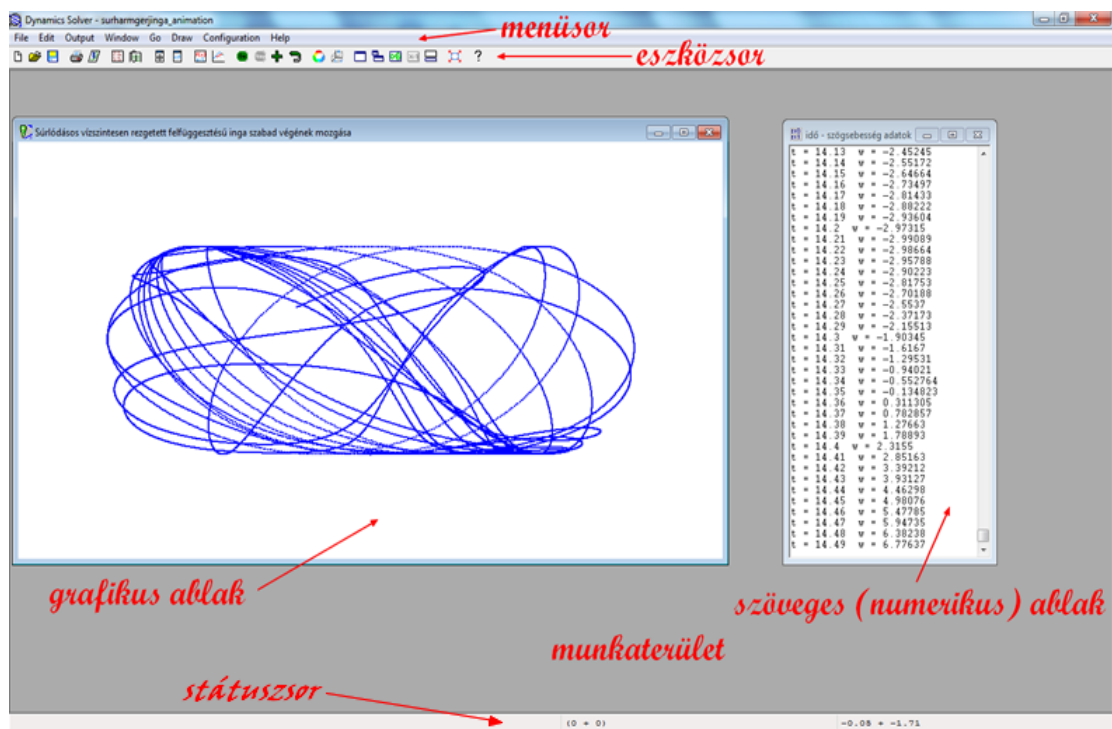


2.2. ábra

**FIGYELEM!** Ha a **Yes** lehetőséget választjuk, akkor a probléma-fájl felülíródik az általunk változtatott példánnyal (csak akkor válasszuk ezt, ha bizonyosak vagyunk abban, hogy a korábbi példány már nem kell, a DS példa probléma-fájljai esetén semmiképp sem javallott). A **No** választás esetén az eredeti fájl kerül mentésre. Ha a változtatott példányunkat a régi megtartása mellett akarjuk menteni, kattintsunk a **Cancel**-re, majd a menü **File/Save as...** funkciójával mentsük új néven a probléma-fájlunkat.

### 3. A Dynamics Solver felhasználói felülete

A 3.1. ábrán szemlélhetjük a DS felhasználó felületének képernyőmásolatát.



3.1. ábra: a Dynamics Solver képernyőmásolata

#### A. Menüsor

A képernyő legfelső részén található a menüsor, amelyet kinagyítva mutat a 3.2. ábra.



3.2. ábra: a Dynamics Solver menüsora

Az alábbiakban (a teljesség igénye nélkül) felsoroljuk az egyes menüpontok legfontosabb funkcióit.

#### File

- Új program (New)
- Megnyitás (Open)
- Példák (Open example)
- Mentés (Save, Save as...)
- Nyomtatás (Print)
- Kilépés (Quit)

## Edit

Típus (Type)  
Változók (Variables)  
Paraméterek (Parameters)  
Egyenletek (Equations)  
Kezdőfeltételek (Initial c.)  
Határfeltételek (Boundary)  
Értéktartomány (Range)  
Módszer (Method)  
Forrás szerk. (All settings)  
Megjegyzések (Notes)

## Output

Új grafikus ablak (New graph window...)  
Grafika megadása (Graphics format...)  
Új numerikus (szöveges) ablak (New text window...)  
Státusz sor (Status line...)

## Window

Aktív (kijelölt) ablaktartalom törlése (Erase window)  
Az összes ablak tartalmának törlése (Erase all)  
Ablak tartalom mentése (Save screen...)  
Ablak tartalom beolvasása (Load screen...)  
Ablak(ok) bezárása (Close, illetve Close all)

## Go

Futtatások

## Draw

Nem futtatási output grafikus elemek szerkesztése (pl. geometriai rajzelemek, tengelyek, feliratok...), jelen alapfokú leírásban nem tárgyaljuk.

## Configuration

A Dynamics Solver konfigurációs beállításai, jelen alapfokú leírásban nem tárgyaljuk (a default alapbeállítások tökéletesen megfelelőek a minden igényt kielégítő használatához).

## Help

Beépített igen jól használható Segítség tartalom, kulcsszó szerinti kereséssel, példákkal.

## B. Eszközsor

A menüsor alatt található a legfontosabb funkciók ikonjait (gombjait) tartalmazó eszközsor, amelyet kinagyítva mutat a 3.2. ábra.



3.3. ábra: a Dynamics Solver eszközsora

- 1 új (üres) DS probléma-fájl nyitása,
- 2 már létező (kész) DS probléma-fájl megnyitása,
- 3 az aktuális DS probléma-fájl mentése,
- 4 nyomtatás,
- 5 plotterre küldés,
- 6 forrás (ASCII text szintű) szerkesztés,

- 7 megjegyzések szerkesztése,
- 8 kezdeti értékek ablak,
- 9 paraméter ablak,
- 10 (modell) definíciós menüablak (benne választható lapok: változók, paraméterek, vezérlőfüggvények, kezdeti értékek, határfeltételek),
- 11 numerikus módszer ablak,
- 12 program indítás (futás közben szürke),
- 13 futás megállítása (futás közben piros),
- 14 futás folytatása,
- 15 futtatás visszafelé (független változó csökkenő),
- 16 szín és vonaltípus (grafikus ablakban),
- 17 nézőpont (3D ábrázolás esetén),
- 18 aktuális ablak törlése,
- 19 minden ablak törlése,
- 20 grafikus ablak beállításai,
- 21 szöveg (numerikus) ablak beállításai,
- 22 státuszsor beállításai,
- 23 teljes képernyőre nagyítás,
- 24 segítség (Help).

#### 4. A vizsgálandó dinamikai modell megadása (input)


Mint már a Bevezetésben említettük a Dynamics Solverban elkészített modelleket a program \*.ds kiterjesztésű ASCII formátumú szöveges *probléma-fájlokban* menti el, így valójában egyszerű szövegszerkesztővel is megírhatnánk őket, de természetesen sokkal kézenfekvőbb és áttekinthetőbb a modellkészítés a program igen barátságos felhasználói felületén az jelen szakaszban leírtak szerint.


A modellkészítés és a szimuláció fő mozzanatai a DS-ben:

- modell deklaráció: azaz megadjuk a modellünk szabatos leírását,
- numerikus metódus: a szimulációs algoritmus választása és felparaméterezése.


##### Modell deklaráció:


(1) A modell matematikai típusának megadása (**Edit/Type...**). Választhatjuk, hogy az aktuális modellünkben egyetlen (magasabb rendű) differenciálegyenletünk van, vagy többváltozós differenciálegyenlet-rendszerünk, vagy diszkrét leképezésünk. Az első esethez a rend értékét, az utóbbi két esethez a dimenziószámot kell megadnunk.


(2) Változók deklarálása (**Edit/Variables...**, vagy  ikon). Ezen a lapon adhatjuk meg a függő változó (az idő), valamint a függő változó(i)nk nevét, valamint ezek kezdőértékeinek jelölését. Javasoljuk, hogy a **Collective name(s)** mezőt töröljük és adjunk inkább magunk által választott változóneveket az **Individual name(s)** beviteli mezőben (figyeljünk a görgetésre és az összetartozó változónevekre és kezdeti érték jelölésekre!).

(3) Paraméterek értékeinek megadása (**Edit/Parameters...**, vagy  ikon). Itt történik a modellünk  $f$  vezérlőfüggvényeiben szereplő paraméterek számértékének megadása.


(4) A függőváltozók időfejlődését (idő szerinti első deriváltját, vagy a diszkrét leképezést)


megadó kifejezések beírása (**Edit/Equations...**, vagy  ikon). Roppant felhasználóbarát módon a program sorra megkérdezi a (2) pontban megadott függő változókhoz tartozó  $f$  vezérlőfüggvényeket, vagy leképezési függvényeket.

(5) Kezdeti értékek megadása (**Edit/Initial conditions...**, vagy  ikon). A (2) pontban bevezetett változóink kezdeti értékeinek számszerű megadását végezhetjük el az ablak felső részén található **Initial conditions** mezőkben (az **Initial functions** alap szinten nem szükséges, használatára a Duffing-oszcillátor tárgyalásánál mutatunk példát).

(6) Határfeltételek megadása (**Edit/Boundary conditions...**, vagy  ikon). Erre csak peremérték problémák esetén van szükség, amivel jelen leírásban nem foglalkozunk.

#### Numerikus metódus:

(1) Független változó beállításai (**Edit/Range...**, vagy  ikon Range fül). Csak a legfontosabb mezőkről ejtünk szót. A **First value** és **Last value** mezőkben a független változó (idő) kezdő és végértékét adjuk meg a szimuláció számára. Nagy jelentőségű az **Interpolate** jelölőnégyzet: ha nincs bejelölve, akkor csak a független változó (idő) azon értékeinél történik meg a függő változók numerikus kiértékelése, amelyet a (következő pontban) választott numerikus algoritmus kódja előír, ha bejelöljük, akkor a független változó (idő) a **Step** beviteli mezőben adott lépésközeinél „kikényszerített” numerikus kiértékelés történik. A **Step**-ben megadott érték csökkentésével nő a szimuláció felbontása, de lassabb lesz a futás, tehát praktikus szempontok szerint válasszuk!

(2) A numerikus algoritmus megadása (**Edit/Method...**, vagy  ikon Method fül). Számos numerikus algoritmus létezik differenciálegyenlet-rendszerek számítására. Legismertebbek az Euler-módszer, illetve a másod- és negyedrendű Runge-Kutta-módszerek, természetesen ezek is megtalálhatók a DS által felkínált beépített algoritmusok listájában (4.1. ábra). Napjainkra azonban ezek az algoritmusok inkább csak didaktikai értékűek (ezeket érdemes esetleg részletesebben bemutatni a diákoknak), de már léteznek sokkal hatékonyabb adaptív algoritmusok, mint pl. az elsődlegesnek kínált Dormand-Prince 8(5,3) algoritmus, javasoljuk ennek használatát, mint ahogy javasoljuk a hozzá tartozó belső paraméterek változatlanul hagyását is.

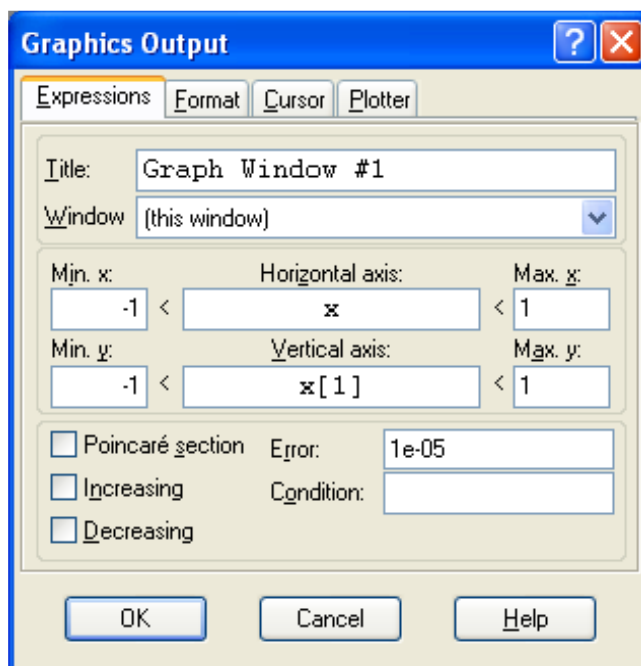
Code	Type	Order	Step size	Interpolation
Dormand-Prince 8(5,3)	embedded Runge-Kutta	8(5,3)	variable	7th order polynomial
Dormand-Prince 5(4)	embedded Runge-Kutta	5(4)	variable	4th order polynomial
Dormand-Prince 8	embedded Runge-Kutta	8(5,3)	variable	Hermite (3rd order)
Extrapolation	extrapolation	variable	variable	Hermite (3rd order)
Cash-Karp 5	embedded Runge-Kutta	5(4)	variable	Hermite (3rd order)
Runge-Kutta-Fehlberg	embedded Runge-Kutta	4(5)	variable	Hermite (3rd order)
Adams-Bashforth-Moulton	predictor-corrector	4	variable	Hermite (3rd order)
Implicit Gear	implicit	4	variable	Hermite (3rd order)
Gear	predictor-corrector	5	fixed	Hermite (3rd order)
Hamming	predictor-corrector	4	fixed	Hermite (3rd order)
Runge-Kutta 4	Runge-Kutta	4	fixed	Hermite (3rd order)
Adams-Bashforth-Moulton 4	predictor-corrector	4	fixed	Hermite (3rd order)
Milne	predictor-corrector	4	fixed	Hermite (3rd order)
Runge-Kutta 2	elementary	2	fixed	Linear (1st order)
Adams-Bashforth-Moulton 2	elementary	2	fixed	Linear (1st order)
Heun	elementary	2	fixed	Linear (1st order)
Euler	elementary	1	fixed	Linear (1st order)

4.1. ábra: a Dynamics Solver beépített numerikus algoritmusai

## 5. A szimuláció grafikus és szöveges megjelenítésének megadása (output)

A pontos matematikai modell megadása után a következő lépés a szimuláció eredményeinek megjelenítésére vonatkozó beállítások megadása, azaz az output rögzítése. A DS kivételesen felhasználóbarát módon kínálja fel az eredmények grafikus és numerikus megjelenítését.




A grafikus megjelenítéshez nyithatunk egy vagy több grafikus ablakot a **Output/New graph window** menüpontban (vagy a **Shift+Ctrl+G** billentyűkombinációval), amely grafikus ablak beállításait a megjelenő párbeszédablakban adhatjuk meg.



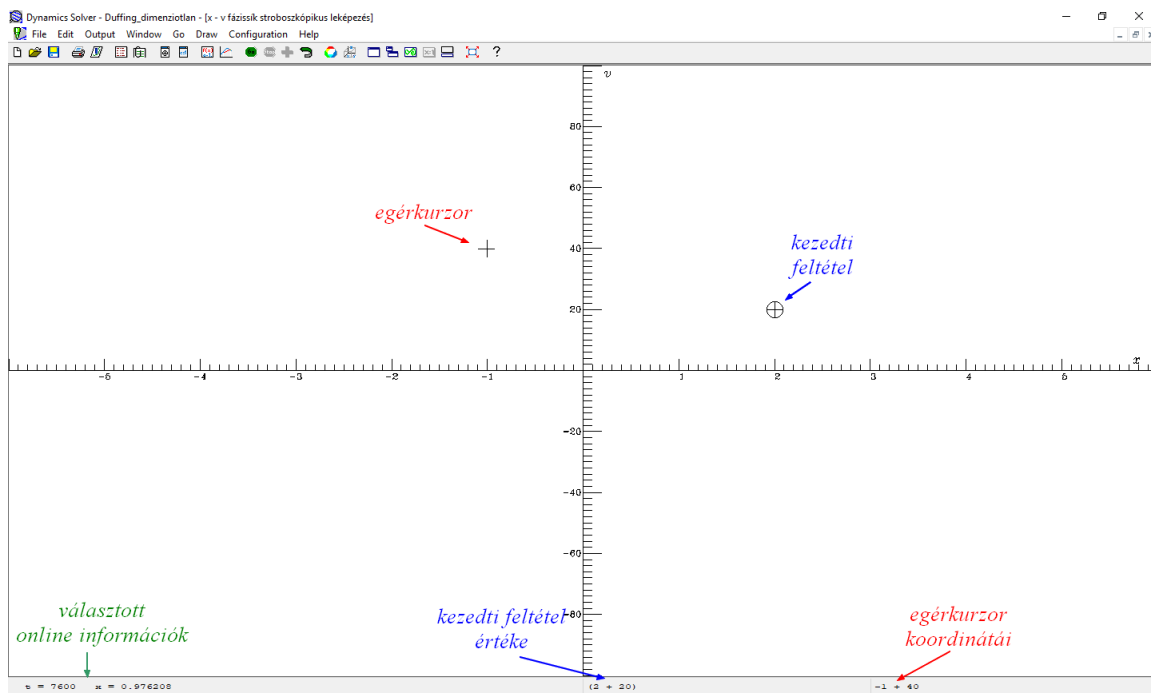
5.1. ábra. Grafikus megjelenítés párbeszédablaka

Az **Expression** lapon megadhatjuk a grafikus ablak címét (**Title**), a vízszintes és függőleges tengelyeken megjelenítendő változókat és a megjelenítendő tartományokat, valamint itt jelölhetjük meg, ha Poincaré-leképezéses megjelenítést kérünk, illetve annak feltételkifejezését nullára rendezve (**Condition**) és azt is hogy a nulla értéken áthaladó trajektória növekvő (**Increasing**), vagy csökkenő (**Decreasing**) változása esetén legyen pontfelvétel.


Az **Format** lapon a két legfontosabb beállítás a **Continuous line** jelölőnégyzet és a **Frequency** beviteli mező. Az előbbivel választhatjuk, hogy a szimuláció során megjelenített pontokat összekösse vonallal, vagy sem (pl. a trajektória rajzolásánál válasszuk az összekötést, míg Poincaré- vagy stroboszkópikus leképezés esetén nem kérjük az összekötést). A **Frequency** beviteli mezőben pedig azt adhatjuk meg, hogy az **Edit/Range...** menüpontban a **Step** értékkel megadott numerikus kiértékelési pontok közül minden hányadik legyen megjelenítve (lásd a 7.(2) és 7.(4) szakaszokban).

Természetesen több grafikus ablakunk is lehet a képernyőn, amelyeket tetszés szerint méretezhetünk a megszokott módokon. Aktívnak nevezzük azt a grafikus ablakot, amelybe utoljára kattintottunk az egérrel. Az aktív grafikus ablak tartalmát törölhetjük a  ikonnal, és az aktív ablakra vonatkozóan állíthatjuk a rajzolás színét és vonalvastagságát a  ikonra kattintva. Figyelem! A  ikonra kattintva az összes grafikus ablak tartalma törlődik.

A DS képernyőjének legalján található az ún. státusz sor (lásd 3.1. ábrán), amely három részre tagolódik (5.2. ábra):




5.2. ábra. a státusz sor szerkezete

1. A bal szélén általunk kiválasztott, a  ikonnal, a **Shift+Ctrl+S** billentyűkombinációval, vagy **Output/Status** menüben előhívható **Numerical Output in Status Line** párbeszédablakban szerkeszthető *online numerikus információk* jelennek meg (maximum két változót kérhetünk, előírhatjuk a formátumot és a kiírási gyakoriságot)..






5.3. ábra. a státusz sor párbeszédablak

2. A státusz sor jobb oldali részén az *egérkurzor aktuális koordinátái* olvashatók le, amennyiben a kurzor egy grafikus ablakban van.

3. A DS igen hasznos funkciója, hogy *kezdeti feltétel értéket* nem csak a már fentebb leírt módon a menüben adhatunk, hanem az aktív grafikus ablakban az egérkurzor mozgatásával és dupla kattintással is, ekkor a kattintás után egy  alakú kurzor rögzül az aktív grafikus ablakban és a koordinátáinak megfelelő értékek lesznek a továbbiakban a két tengelyen levő változók kezdeti feltételei. Ez a funkció nagyon értékes, amikor sok különböző kezdeti feltételből szeretnénk gyorsan egymás után indítani a szimulációt. A státusz sor középső részén jelzi ki az aktuális kezdeti feltétel értékeit (koordinátáit az aktív ablakban).



## 6. A szimuláció futtatása

A kész probléma-fájl szimulációjának futtatásához nyomjuk le a **Shift+Enter** billentyűkombinációt, vagy használjuk a **Go/Start** menüpontot, vagy kattintsunk az eszközsor  ikonjára. A DS lefordítja a programot, az esetleges hibákat kijelzi. A sikeres fordítás után elindul a szimuláció, a menüpontok többsége a futtatás idejére letiltódik, a programunkban beállított (grafikus és numerikus) megjelenítések elkezdődnek. A futtatás megállítása a  ikonnal, újra kezdése a  ikonnal, folytatása a  ikonnal, a grafikus ablakok törlése a  ikonnal történik.

## 7. Néhány praktikus fogás

### (1) Szögváltozó megjelenítése

A szögkitérés, vagy a gerjesztési fázis triviálisan periodikus változók, tehát a grafikus megjelenítésnél a szögértéknek a  $[-\pi; \pi]$  alaptartományra visszazámolt értékét kell megjeleníteni, különben a trajektória „elszáll” a végtelenbe! Ezt pl. a következő transzformációval tehetjük meg:

$$\text{mod}(x + \pi, 2 * \pi) - \pi,$$

ahol  $\text{mod}(x,y)$  függvény az  $x$  szám  $y$  osztóval való osztásából adódó maradékot adja eredményül. (bárki könnyen ellenőrizheti, hogy tetszőleges  $x$  szögértéket a  $[-\pi; \pi]$  tartományba képezi le).

### (2) Output pontsűrűség

A szimuláció mintavételezési (grafikus ablakbeli megjelenítési, illetve szöveges ablakbeli numerikus kiírási) időköze (a független változó lépésköze):

$$\Delta t_{\text{output}} = \text{Frequency} \cdot \text{Step}$$

ahol a *Step* paramétert az **Edit/Range...** ablakban adjuk meg (az **Interpolate** jelölőnégyzet bekapcsolva!), míg a *Frequency* paramétert grafikus megjelenítésnél a **Graphics Output (Output Graphics format...)** ablak **Format** lapján, numerikus (text) kijelzés esetén pedig a **Text Output (Output text format...)** ablakban (itt a pontos neve *Output frequency*).

### (3) Poincaré-leképezés

A **Graphics Output** párbeszéd-ablakban először megadjuk, hogy mely változók legyenek a vízszintes, illetve függőleges tengelyeken (azaz kijelöljük a megjelenítendő fázis-síkot), majd pipát teszünk a *Poincare section* jelölőnégyzetbe, végül a *Condition* beviteli mezőbe nullára rendezve (!) beírjuk a fázistér többi változójára vonatkozó feltételünket (hogy mikor vegyen fel ábrázolási pontot). (Lásd például a Henon-Heiles fázis-sík példaprogramban.)

### (4) Stroboszkópikus leképezés

A fázis:  $\Theta = \frac{2\pi}{T_p} t$ , így a megjelenítés  $\Delta\Theta = \frac{2\pi}{T_p} \Delta t_{\text{output}}$  fázislépésenként történik. Tehát ha

$$\frac{\Delta t_{\text{output}}}{T_p} = \frac{\text{Frequency} \cdot \text{Step}}{T_p} = 1, \text{ akkor mindig ugyanabban a fázisban mintavételezünk! (Lásd például}$$

a *Duffing-oszcillátor.ds* példaprogramban.)

Kiemelve azon állítást, hogy a stroboszkópikus leképezés lényegében egy speciális Poincaré-leképezés, más módon is megadhatjuk a stroboszkópikus leképezést, gondolkodtató feladatként az Olvasóra bízunk.

#### (5) Ciklus-paraméterek

Az *Edit/Parameters...* menüben megadhatunk két ciklus-paramétert, amelyet ismétlő (ciklus) számításban használhatunk. Például a gerjesztett sűrűlódásos inga fáklyadiagram programunkban az  $nx$  ciklus-paramétert az 1...5 értékeken futtatjuk végig és az *Edit/Initial conditions...* menü *Initial functions* mezőjében a kezdő kitérésszöghöz a  $f_0(t) = -0.03 + nx * 0.01$  kifejezést írjuk be (a *Graphics format...* ablakban pedig a vízszintes tengelyen ábrázolandó változóhoz a  $PenColor(-nx)+t$  kifejezést azért, hogy a függvénygörbék eltérő színűek legyenek).

#### Irodalom

[1] <http://tp.lc.ehu.es/jma/ds/ds.html>