ПРИЛОЖЕНИЕ НА ЕЛЕКТРОННИТЕ ТАБЛИЦИ ПРИ МОДЕЛИРАНЕ И АНАЛИЗ НА ПРЕХОДНИ ПРОЦЕСИ

д-р инж. Емил Димитров Манолов, E-mail: edm@vmei.acad.bg
Технически университет - София, кат. "Електронна техника"

APPLICATION OF MICROCOMPUTER SPREADSHEET PROGRAMS IN TIME-DOMAIN MODELING AND ANALYSIS. The possibilities of applications of the microcomputer spreadsheet program Excel in time-domain analysis of linear and non-linear analog and discrete systems are investigated and demonstrated. To illustrate this potentiality two examples are considered: analysis of simple linear discrete system (first order integrator) and modeling and examination of non-linear analog system (Van der Pol equation for oscillator).

The using of the microcomputer spreadsheet Excel in the shown applications has many advantages over the programs that need a functional programming (MatLab, MathCad, etc.), as well as over the simulators at the component level (Pspice, M-CAP, etc.). For instance Excel is an extremely popular and flexible tool. It is an easy studying and operating program which is enable to set up relationships between different cells in a relatively intuitive manner - the user can effectively develop an application specific program without needing of programming in the traditional sense. At the same time Excel gives an opportunity of making sophisticated computations and analyses by using various numerical methods and of direct control and visualization at every step of the problem solution.

I. Въведение

Функционалното моделиране е съществен етап от анализа на техническите, икономическите, екологичните и др. процеси и системи. Класическият математически апарат за тяхното описание са обикновените диференциални уравнения - за непрекъснатите системи и диференчните уравнения - за дискретните системи. При анализа на системно ниво тези уравнения се моделират и изследват с подходящи програми за симулация с цел определяне на режима на работа и основните параметри на разглежданите процеси.

В момента най-широко разпространените и универсални програми за компютърни изчисления и моделиране са електронните таблици. Основните им предимства пред програмите, изискващи функционално програмиране (MatLab, MathCad, Mathematica) [1], както и спрямо симулаторите на компонентно ниво (Pspice, M-CAP) [2],[3] са: широко разпространение; ниска цена; простота за усвояване и опериране; ефективно разработване на различни приложения, без да е необходимо програмиране в традиционния смисъл; възможност за извършване на сложни изчисления и анализи с прилагането на разнообразни числени методи; възможност за пряк контрол и визуализация на всяка стъпка от решението на задачата. Всичко това, заедно с изключително големите възможности за графично изобразяване на получените резултати, превърнаха електронните таблици в универсално средство за решаване на широк задачи [4], [5].

Електронните таблици са много подходящи за моделиране на диференчни уравнения. При тези уравнения входните и изходните сигнали са представени във времето чрез редици. Операциите, които се извършват с елементите на тези редици, са събиране, умножение и закъснение (преместване) на един такт [6]. Тези операции могат да се реализират просто и нагледно в структурата на стандартните електронни таблици. За целта, входните сигнали, междинните преобразувания и стойностите на функцията за последователните дискретни моменти от време се представят в поредните клетки на съответните колони. Полученият масив от стойности описва поведението на моделираната дискретна система във всеки момент от времето. Като се има пред вид, че обикновените диференциални уравнения се трансформират сравнително просто в диференчни [7], предложеният подход може да се приложи и за моделиране на непрекъснати системи.

В работата са изследвани и демонстрирани възможностите за приложение на стандартната програма за електронни таблици Excel при анализ на преходни процеси в линейни и нелинейни дискретни и непрекъснати системи. За целта са разгледани два примера: за анализ на преходните процеси в линейна дискретна система (интегриращо звено от I ред) и за моделиране и изследване на нелинейна непрекъсната система - класическото уравнение на Ван дер Пол за описание на процесите на генерация.

II. Изследване на линейни дискретни системи

Пример за това е изследването на импулсната характеристика на интегриращата верига от първи ред, зададена с уравнението [6]:

$$y(n) = x(n) + ay(n-1) \qquad (1)$$

За определяне на изходния сигнал на тази верига, във всеки момент от времето, е необходимо:

- в последователните клетки на една от колоните на електронната таблица да се въведе формула, чрез която състоянието на всяка клетка се определя като сума от стойността на входния сигнал в същия момент и претеглената (умножена с коефициента a) стойност на изходния сигнал в предходния момент от дискретното време;
- в друга колона да се зададат стойностите на входния сигнал в дискретните моменти.

Казаното по-горе е онагледено на фиг.1а. В най-лявата колона A са представени дискретните моменти от време; в колона B са записани стойностите на входния единичен импулс; в клетките на колона C е записана формулата (1) за определяне на стойностите на изхода; а в клетка D2 е записана стойността на коефициента a.

На фиг.1б са показани числените резултати, получени в част от клетките на таблицата, а на фиг.2 е изобразена импулсната характеристика на системата за три различни стойности на коефициента a.

По подобен начин може да бъде проследена реакцията на веригата и за други типове входни сигнали. За целта е достатъчно те да бъдат зададени със своите дискретни стойности в колона B, при което изходните резултати се преизчисляват автоматично в колона C.

III. Изследване на нелинейни непрекъснати системи.

Пример за такива системи е моделирането на класическото диференциално уравнение на Ван дер Пол, описващо процесите на генерация на сигнали. То има вида [8]:

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} + \varepsilon\left[x(t)^2 - 1\right]\frac{dx(t)}{dt} + \left[2\pi f(t)\right]^2 x(t) = 0 \tag{2}$$

където: - ε определя характера и формата на възникващите колебания;

- $f(t)$ е честотата на генерация.

Конкретните стойности на тези коефициенти зависят от избраната схема на генератора и стойностите на изграждащите я елементи [9].

В зависимост от коефициента ε, генераторът работи в различни режими. Определянето им е свързано с анализа на [10]:

• времедиаграмата на изходния сигнал $x(t)$;

• фазовата траектория (фазовия портрет) на генератора (връзката между изходния сигнал и първата му производна - $dx(t)/dt=f[x(t)]$);

• честотния спектър на сигнала в установен режим.

По-долу ще бъдат представени резултатите от изследването на уравнението при различни стойности на коефициента ε.

За целта диференциалното уравнение е преобразувано в диференчно, чрез замяна на диференциалните оператори с диференчни [7]:

$$\frac{dx(t)}{dt} = \frac{x(n+1) - x(n-1)}{2\Delta t} \tag{3}$$

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} = \frac{x(n+1) - 2x(n) + x(n-1)}{\Delta t^2} \tag{4}$$

В резултат, уравнението (2) се представя със следния израз:

$$x(n+1) = \frac{2[2 - [2\pi f(t)]^2 \Delta t^2]x(n) + x(n-1)[2\varepsilon(x^2(n) - 1)\Delta t - 2]}{2 + \varepsilon[x(n)^2 - 1]\Delta t} \tag{5}$$

На фиг.3 са показни резултатите от моделирането на (5). В зависимост от стойността на ε се получават четири режима на работа на генератора: възникване на синусоидални колебания с постоянна амплитуда ($\varepsilon = 0$); възникване на нарастващи ($\varepsilon = 0.015$) и затихващи ($\varepsilon = -0.015$) колебания и възникване на сигнали с форма близка до правоъгълната ($\varepsilon = 0.2$).

За получаване на фазовите траектории, с помощта на формула (2), в таблицата е добавена колона с първата производна на генерирания сигнал. На фиг.4 са визуализирани получените резултати.

На фиг.5 са показани честотните спектри на сигналите за случаите на синусоидални колебания с постоянна амплитуда ($\varepsilon = 0$) и на сигнали с форма близка до правоъгълната ($\varepsilon = 0.2$). За целта, числените резултати от моделирането на сигнала, получени в електронната таблица, са подложени последователно на обработка с вградените функции Fourier Analysis и Imabs.

IV. Заключение

В работата е представено приложението на електронната таблица Excel при анализ на преходните процеси в линейни и нелинейни дискретни и непрекъснати системи.

Разгледан е пример за анализ на преходните процеси в линейна дискретна система (интегриращо звено от I ред). Чрез него е показано как математическите операции, характерни за диференчните уравнения, се описват и моделират в структурата на електронната таблица. Представени са графично резултатите от изследването на импулсната характеристика на системата.

Изследвана е типична нелинейна непрекъсната система (класическото уравнение на Ван дер Пол за описание на процесите на генерация) - разгледана е процедурата за преобразуване на обикновените диференциални уравнения в диференчни и са показани резултатите от моделирането на времедиаграмата, фазовата траектория и честотния спектър на изходния сигнал при различни режими на работа на генератора.

Получените резултати са доказателство за големите възможности за приложение на електронните таблици като ефикасно средство за моделиране и симулация на линейни и нелинейни, непрекъснати и дискретни системи.

Представеният подход, съчетаващ простотата и нагледността при оперирането с таблиците с възможността за реализация на широк кръг числени методи, може да намери приложение и при решаване на учебни и изследователски задачи в икономиката, екологията, фармацията и други области на науката и техниката.

V. Литература

1. Гультяев, А. Имитационное моделирование в среде Windows. Санкт Петерсбург, 1999.
2. Show, M.H.L., Y.S.Lee, J.S.L. Wong. Use of Spice in analogue computation and simulation of system consisting of circuit components and transfer functions. IEE Proceedings-G, Vol. 138, No. 2, April 1991, pp.282-288.
3. Engel T.G., M. Jackson. Discrete-Time Analysis of Linear and Nonlinear Systems Using Analog Circuit Simulators. IEEE Tran. on Educ.,vol.42,No3,1999, pp.205-211.
4. Huelsman,L.P. Electrical Engineering Applications of Microcomputer Spreadsheet Analysis Programs. IEEE Tran. on Educ., vol. E-27, No.2, May 1984, pp.86-92.
5. Bissell C., D. Chapman. Spreadsheets as a Learning Aid in Engineering Education. Proceedings of CAEE'93, vol. I, pp. 277-282, pp.277-282.
6. Доневски, Б., Г. Ненов. Цифрови филтри. С.: Техника, 1982.
7. Сиберт, У. М. Цепи, сигналы и системы. Пер. с англ., М., "Мир", 1988.

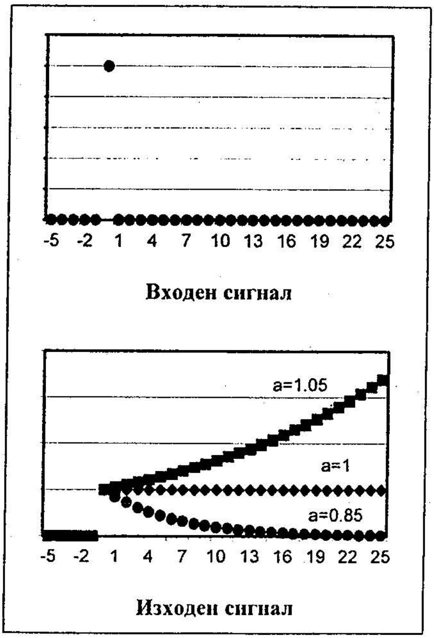
8. Thompson J.M.T., H.B.Stewart. Nonlinear Dynamics and Chaos. Geometrical Methods for Engineers and Scientists. J.W&sons, 1986.
9. Титце, У., К. Шенк. Полупроводниковая схемотехника. М., "Мир", 1982.
10.Parker, T.S., L.O. Chua. Practical Numerical Algorithms for Chaotic Systems.

	A	B	C	D
1	n	x(n)	y(n)	a
2	-5	0	0	1.05
3	-4	0	=B3+ D2*C2	
4	-3	0	=B4+ D2*C3	
5	-2	0	=B5+ D2*C4	
6	-1	0	=B6+ D2*C5	
7	0	1	=B7+ D2*C6	
8	1	0	=B8+ D2*C7	
9	2	0	=B9+ D2*C8	
10	3	0	=B10+ D2*C9	
11	4	0	=B11+ D2*C10	
12	5	0	=B12+ D2*C11	

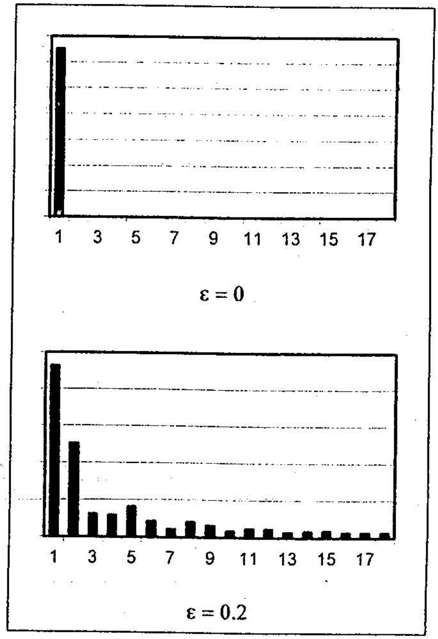
фиг. 1а

	A	B	C	D
1	n	x(n)	y(n)	a
2	-5	0	0	1.05
3	-4	0	0	
4	-3	0	0	
5	-2	0	0	
6	-1	0	0	
7	0	1	1	
8	1	0	1.05	
9	2	0	1.1025	
10	3	0	1.157625	
11	4	0	1.215506	
12	5	0	1.276282	

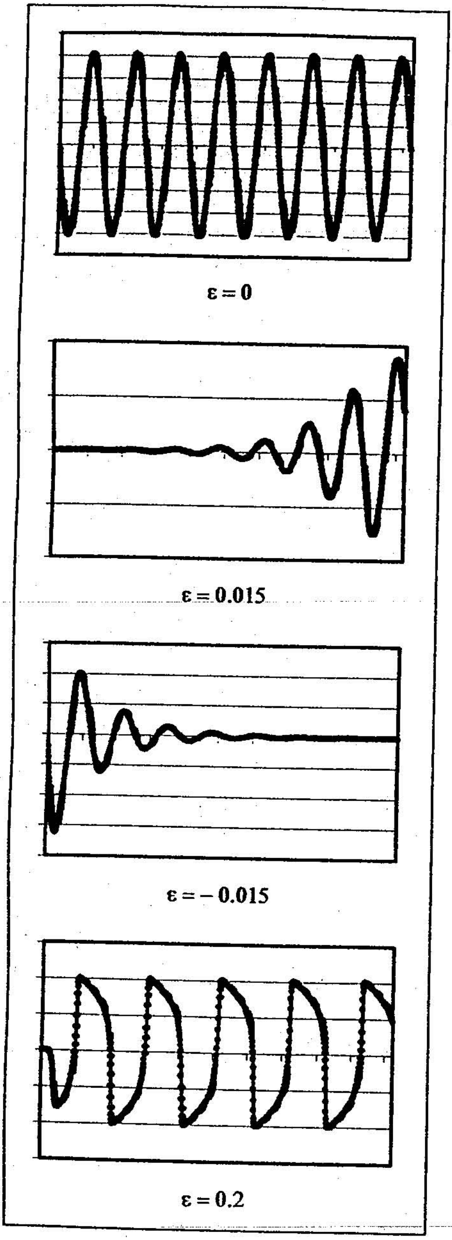
фиг.1б



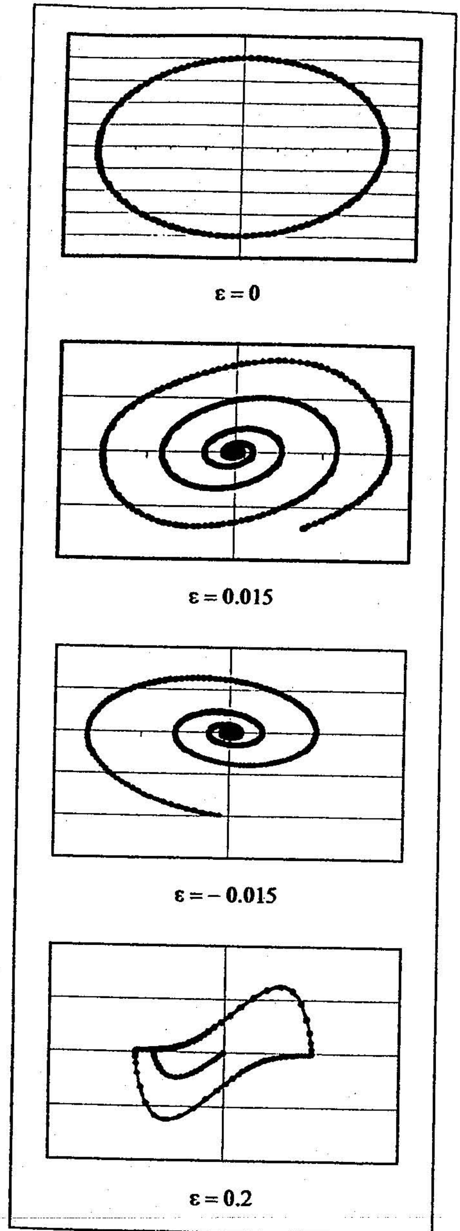
фиг. 2



фиг. 5



фиг. 3



фиг. 4