As a result of the studies is given simplified scheme of regulation of parameters of the evaporator ethylbenzene, in which there are multi-circuit system of regulation of pressure and level using cascading and combined systems for compensation as the existing disturbances, and ensuring Autonomous regulation parameters of the evaporator.

***Keywords**: evaporator, ethylbenzene, process control system.*

References

1. Yukelson, I.I. (1968), *Tekhnolohyya osnovnoho orhanycheskoho synteza* [The technology of basic organic synthesis], Khimiya, Moscow, USSR.
2. Oliinyk, S.V. and Kozanevych, Z.Y. (2014), “Mathematical model of the evaporator in the production of ethylbenzene styrene”, Proceedings of the Eighth Scientific Conference of students, Kyiv, Ukraine, pp. 15-16.
3. Dudnikov, E.G. (ed.) (1987), *Avtomaticheskoe upravlenie v himicheskoj promyshlenosti* [Automatic control in the chemical industry], Khimiya, Moscow, USSR.
4. Oliinyk, S.V. and Kozanevych, Z.Y. (2015), “Combined regulatory system evaporator in the production of styrene”, *ACIT-2015*, Kyiv, Ukraine, pp. 12-13.

УДК 681.5(51)

КУБРАК А. І., к.т.н., проф.; КОВАЛЮК Д. О., к.т.н., доц.; ЗАДВОРНИЙ Б. В., магістрант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ОБЧИСЛЕННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗА СИСТЕМОЮ ЗВИЧАЙНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ

Запропоновано програмну реалізацію алгоритму розрахунку частотних характеристик за системою звичайних диференціальних рівнянь у середовищі TURBO PASCAL і MatLab. Наведено структуру програм, описано їхні складові, проаналізовано результати моделювання.

***Ключові слова**: система автоматичного керування, частотні характеристики, TURBO PASCAL, MatLab.*

Постановка проблеми та аналіз попередніх досліджень. Частотні характеристики систем автоматичного керування розраховують шляхом заміни $p = j\omega$ у передатій функції відповідного каналу [1]. Якщо досліджувана система має множину каналів, постає задача отримати частотні характеристики для кожного з них або для їхньої певної комбінації.

Математичний опис системи можна подати у вигляді системи звичайних диференціальних рівнянь у канонічній формі. Тоді, за необхідності, можна визначити будь-яку передатну функцію. Але бажано мати можливість розрахунку частотних характеристик для заданого каналу без попереднього визначення відповідної передатої функції [2]. Сучасні програмні засоби дозволяють це зробити.

Метою статті є підвищення точності й простоти моделювання систем керування завдяки програмній реалізації алгоритму розрахунку частотних характеристик за системою звичайних диференціальних рівнянь.

Алгоритм розв’язку. Наведемо систему диференціальних рівнянь в канонічній формі: $dy_z/dt = \sum_{z=1}^{n} A_{zs} y_s + \sum_{z=1}^{m} B_{zs} x_s, \quad 1 \le z \le n$, де x_s – вхідні сигнали (s = 1...m); y_s – вихідні сигнали (s = 1...n); ; n – порядок системи; m – кількість входів; A_{zs}, B_{zs} – коефіцієнти.

Розглянемо набір каналів, спільним входом яких є $X_{N_{inp}}$, а виходами – усі можливі y_s. Ненульовий приріст надається лише сигналу , для інших входів він є нульовим. Після перетворення за Лапласом:

$$pW_{Ninp,z}(p) = \sum_{z=1}^{n} A_{z,s} W_{Ninp,s} + B_{z,Ninp},\ 1 \le z \le n,$$ де $W_{Ninp,s}(p)$ – передавальна функція каналу $X_{Ninp} \rightarrow y_s$.

Після заміни $p = j\omega$: $j\omega(Rz + iIz) = \sum_{s=1}^{n} A_{z,s} (R_s + iI_s) + B_{z,Ninp}$, $1 \le z \le n$, де R_z, I_z – дійсно- та уявно-частотна характеристики каналу $X_{Ninp} \rightarrow y_z$; R_s, I_s – те саме для каналу $X_{Ninp} \rightarrow y_s$.

Кожне з цих комплексних рівнянь розкладається на два (для дійсних та уявних частин). Для рівняння z:

$$\begin{cases} \sum\limits_{s=1}^{n} A_{z,s} R_s + \omega I_z = -B_{z,N_{inp}} \\ -\omega R_z + \sum\limits_{s=1}^{n} A_{z,s} I_s = 0 \end{cases} \quad 1 \le z \le n$$

Маємо систему $2n$ рівнянь із $2n$ невідомими R_s, I_s, $1 \le s \le n$. Невідомі розміщено в порядку: $R_1, R_2, \ldots, R_n, I_1, I_2, \ldots, I_n$, а в системі спочатку розміщені рівняння для дійсних частин $1 \le z \le n$, потім – для уявних, знову ж таки для $1 \le z \le n$. Розширена матриця коефіцієнтів системи матиме таку структуру:

	1	2	3	…	n	$n+1$	$n+2$	$n+3$	…	$2n$	$2n+1$
1	$A_{1,1}$	$A_{1,2}$	$A_{1,3}$	…	$A_{1,n}$	ω	0	0	…	0	$-B_{1,Ninp}$
2	$A_{2,1}$	$A_{2,2}$	$A_{2,3}$	…	$A_{2,n}$	0	ω	0	…	0	$-B_{2,Ninp}$
3	$A_{3,1}$	$A_{3,2}$	$A_{3,3}$	…	$A_{3,n}$	0	0	ω	…	0	$-B_{3,Ninp}$
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
n	$A_{n,1}$	$A_{n,2}$	$A_{n,3}$	…	$A_{n,n}$	0	0	0	…	ω	$-B_{n,Ninp}$
$n+1$	–ω	0	0	…	0	$A_{1,1}$	$A_{1,2}$	$A_{1,3}$	…	$A_{1,n}$	0
$n+2$	0	–ω	0	…	0	$A_{2,1}$	$A_{2,2}$	$A_{2,3}$	…	$A_{2,n}$	0
$n+3$	0	0	–ω	…	0	$A_{3,1}$	$A_{3,2}$	$A_{3,3}$	…	$A_{3,n}$	0
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
$2n$	0	0	0	…	-ω	$A_{n,1}$	$A_{n,2}$	$A_{n,3}$	…	$A_{n,n}$	0
	R_1	R_2	R_3	…	R_n	I_1	I_1	I_1	…	I_n	

Під матрицею наведено невідомі дійсно- та уявно-частотні характеристики для каналу, коефіцієнтами при яких є елементи відповідного стовпця. Отримуємо систему рівнянь, яку розв'язуємо методом Гаусса.

Програмна реалізація. За наведеним алгоритмом розроблено процедуру *UrGod*, що розраховує частотні характеристики за системою звичайних диференціальних рівнянь.

У середовищі TURBO PASCAL:

```
Procedure UrGod;
  var z,s:integer; Ms:Matr; R:Coef;
  begin
   for z:=1 to n do
   begin
     for s:=1 to n do
     begin
       Ms[z,s]:=A[z,s]; Ms[z+n,s+n]:=A[z,s];
       if s=z then
       begin
         Ms[z,s+n]:=w; Ms[z+n,s]:=-w
       end
       else begin
         Ms[z,s+n]:=0; Ms[z+n,s]:=0
       end
     end;
     Ms[z,2*n+1]:=-B[z,Ninp];  Ms[z+n,2*n+1]:=0
   end;
   SystUr(2*n,Ms,R);                  % Розв'язок системи рівнянь для знаходження
   x:=R[Nout];                        % результуючого масиву R з розв'язками X і Y
   y:=R[Nout+n];
  end;
```

У середовищі MatLab:

```
function [X,Y]=UrGod(A, B, Ninp, Nout)
n=size(A,1);                    % Кількість рядків матриці A
w=0:0.01:1;                     % Задання значень частоти ω
```

```
m=size(w,2);
for k=1:m;                                   % Формування матриці коефіцієнтів Ms
 for z=1:n
   for s=1:n
      Ms(z,s)=A(z,s);
      Ms(z+n,s+n)=A(z,s);
      if z==s
         Ms(z,s+n)=w(k);
         Ms(z+n,s)=-w(k);
      else
         Ms(z,s+n)=0;
         Ms(z+n,s)=0;
      end;
   end;
   Ms(z,2*n+1)=-B(z,Ninp);
   Ms(z+n,2*n+1)=0;
 end;
 X1= rref(Ms);                               % Розв'язок системи рівнянь Ms
 R=X1(:,2*n+1);
 X(k)=R(Nout);
 Y(k)=R(Nout+n);
end
figure(1)
plot(X,Y,'b')                                % Побудова годографа
grid on
end
```

```
>> A=[-1 0 0 1; 0.5 -0.5 0 0; 0 0.25 -0.25 0; 0 0 -0.1 0]
A =
   -1.0000         0         0    1.0000
    0.5000   -0.5000         0         0
         0    0.2500   -0.2500         0
         0         0   -0.1000         0

>> B=[1 0 0 0; 0 0.5 0 0; 0 0 0.25 0; 0 0 0 0.1]
B =
    1.0000         0         0         0
         0    0.5000         0         0
         0         0    0.2500         0
         0         0         0    0.1000
```

Рис. 1 – Матриці коефіцієнтів системи диференціальних рівнянь (середовище *MATLAB*)

Виконання. На виході процедури й функції *UrGod* маємо $x = R_z$, $y = I_z$ – дійсно- та уявно-частотні характеристики. Для прикладу взято систему з чотирьох диференціальних рівнянь, коефіцієнти якої передано через матриці A і B (рис. 1).

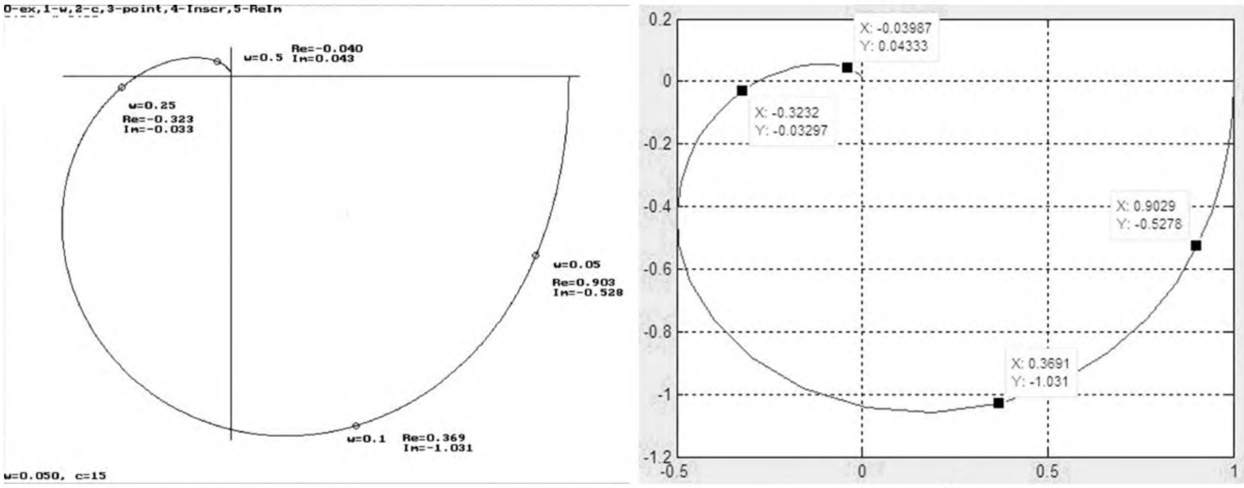
Маємо чотири канали N_{inp} та N_{out} із вхідними й вихідними даними відповідно. У прикладі $N_{inp} = 4$, $N_{out} = 3$.

Годографи амплітудно-фазової характеристики наведено на рис. 3 і 4. Повний алгоритм формування годографа наведено в праці [2]. Особливістю функції *UrGod* середовища MatLab є те, що вона надає змогу побудувати годограф залежно від частоти ω без додаткових функцій та процедур.

Висновки. Розроблено підпрограми розрахунку частотних характеристик за системою звичайних диференціальних рівнянь у двох програмних середовищах. Вони надають змогу визначити дійсно- та уявно-частотні характеристики будь-якої системи за різними каналами без необхідності пошуку передатної функції. Підпрограма в середовищі MatLab є більш інформативною, оскільки надає можливість побудови амплітудно-фазової характеристики, тоді як підпрограма у середовищі TURBO PASCAL потребує для цього додаткових процедур.

Список використаної літератури

1. *Дорф Р.* Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. – М. : Лабор. базовых знаний, 2002. – 832 с.
2. *Кваско М. З.* Числові методи комп'ютерного моделювання автоматичних систем. Алгоритми і програми / М. З. Кваско, А. І. Кубрак, А. І. Жученко. – К. : Політехніка, 2003. – 360 с.



а *б*

Рис. 3 – Амплітудно-фазові характеристики за каналом $X_{Nimp=4} \rightarrow Y_{Nout=3}$ у середовищах: *а* – TURBO PASCAL; *б* – MatLab

Надійшла до редакції 05.12.2015

Kubrak A. I., Kovalyuk D. O., Zadvornyi B. V.

THE ALGORITHM OF FREQUENCY RESPONSES' CALCULATION WITH THE ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS' SYSTEM

The article offers a program realization by means of TURBO PASCAL and Matlab of frequency responses' calculation with the ordinary differential equations' system. The structure of programs and its components is described in detail.

Keywords: *frequency response, control systems, TURBO PASCAL, MatLab.*

References

1. Dorf, R. and Bishop, R. (2002), *Sovremennye sistemy upravlenija* [Modern control systems], Laboratorija Bazovyh Znanij, Moscow, Russia.
2. Kvasko, M.Z., Kubrak, A.I. and Zhuchenko, A.I. (2003), *Chyslovi metody komp'yuternoho modelyuvannya avtomatychnykh system. Alhorytmy i prohramy* [Numerical methods for computer modeling of automated systems. Algorithms and software], Politekhnika, Kyiv, Ukraine.

УДК 681.5.03

КУБРАК А. І., к.т.н., проф.; КОВАЛЮК Д. О., к.т.н., доц.; СПОЛОВИЧ Р. Ю., магістрант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕДАТНИХ ФУНКЦІЙ ЗА СИСТЕМОЮ ЗВИЧАЙНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ У КАНОНІЧНІЙ ФОРМІ

Вирішено задачу визначення передатних функцій елементів системи керування, що описується системою диференціальних рівнянь у канонічній формі. Наведено алгоритм розв'язку, спосіб опису вихідних даних у пам'яті ЕОМ і реалізація засобами MatLab. Здійснено тестування підходу на контрольному прикладі.

Ключові слова: *передатна функція, диференціальні рівняння, MatLab.*

Постановка проблеми. Опис об'єктів відіграє важливу роль під час синтезу систем керування. У теорії автоматичного керування найбільш зручним способом опису об'єктів є їхнє подання у формі передатних функцій за заданими каналами [1]. Це дозволяє одержати їхні динамічні й частотні характеристики. Водно-