

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

Задание № 4

Построение дискретной системы управления

Студент группы 17208

Альберт Рамилевич Гафиятуллин

27 апреля 2020 г.

Преподаватель

Виталий Геннадьевич Казаков

" ____ " _____ 2020 г.

1. Постановка задачи:

- a. **Цель:** провести сравнение качества моделирования работы схемы, проведенного в среде Micro-Cap, с аналогичной разностной схемой, построенной в Scilab;
- b. **Порядок перехода от дифференциальных уравнений в операторном виде к разностным уравнениям:**
 - i. строится передаточная функция объекта моделирования;
 - ii. нелинейные элементы передаточной функции заменяются линейными аппроксимациями;
 - iii. пусть непрерывная система имеет дробно-рациональную передаточную функцию $W(s) = b(s) / a(s)$. Предполагаем, что она физически реализуема, т. е. $\deg a(s) > \deg b(s)$. Построим соответствующую дискретную систему в нормальной форме 1-го порядка:

$$\begin{cases} v[k+1] = A_d v[k] + B_d u[k], \\ x[k] = C_d v[k]. \end{cases}$$

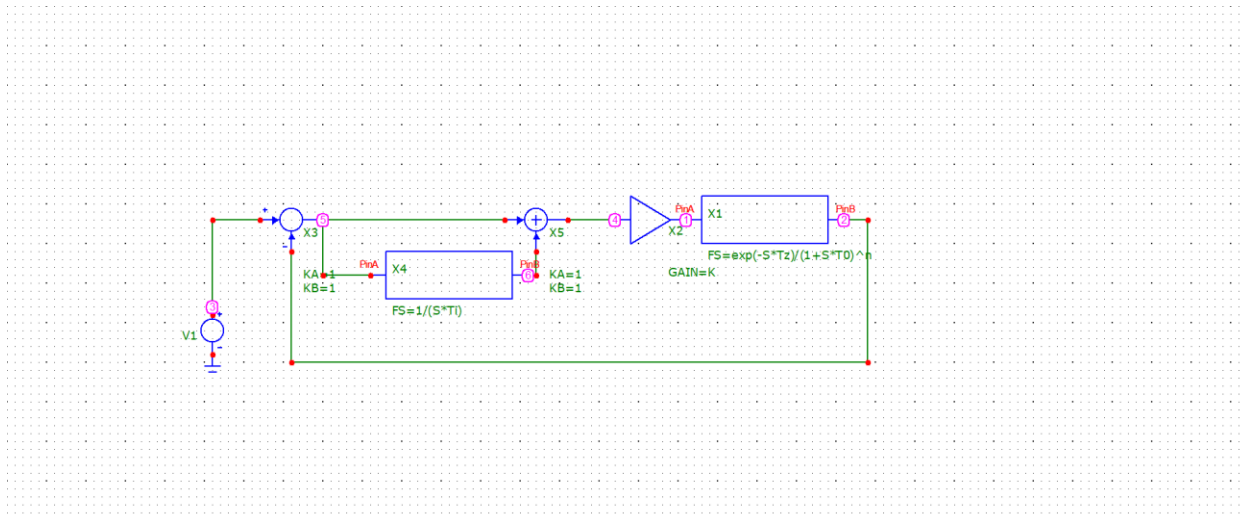
Для вычисления матриц A_d , B_d , C_d в среде Scilab нужно воспользоваться функциями `syslin` и `dscr`.

- c. **Таблица параметров моделируемой системы с ПИ- и ПИД-регуляторами ($T_d = 0.25T_n$):**

	ПИ	ПИД
n	3	
T0	0.76	
T	1.2	
K	0.4811946	0.99042959
Ti	1.3070521	1.75703736

2. Дискретная реализация системы автоматического управления с ПИ-регулятором:

- a. **Рисунок структурной схемы моделирования с ПИ-регулятором:**



b. Математическое описание системы управления с ПИ-регулятором:

Передаточная функция:

$$W1 = K * (1 + 1 / (s * Ti)) * e^{(-T * s)} / (1 + s * T0)^n;$$

$$W = W1 / (1 + W1);$$

c. Разностные уравнения моделируемой системы:

Уравнения из пункта 1.b.iii с матрицами:

"Ad = "

0.9998196	0.006476	0.0002294	0.0000172	-0.0000002	-8.490D-10	-1.852D-14
0.0003706	0.9678029	0.0672416	0.0076599	-0.0001153	-0.0000006	-1.679D-11
0.0030803	-0.0109775	0.8324969	0.1991032	-0.0045839	-0.0000341	-1.121D-09
-0.0028482	0.0042872	-0.021335	0.9457977	-0.0432987	-0.0004784	-2.076D-08
0.0002667	-0.0154754	-0.0178183	0.1217668	1.0265096	0.0223582	0.0000014
-0.0001065	-0.0066448	-0.0162074	0.0003593	-0.0414193	1.0150019	0.0001308
-0.0027634	0.0168183	0.0000236	0.0006996	0.0011649	0.0028214	0.9908693

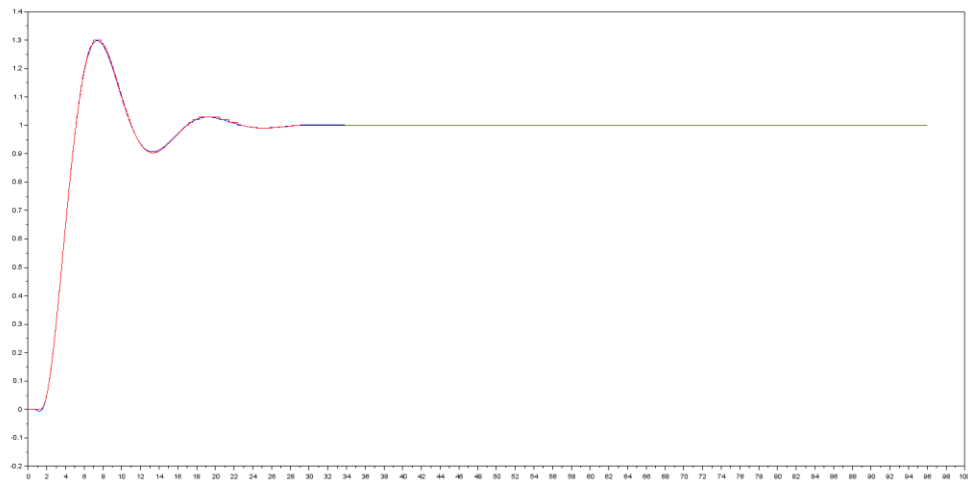
"Bd = "

0.0000055
0.0024229
0.0613961
-0.061103
0.0112658
-0.0054085
-0.0000171

"Cd = "

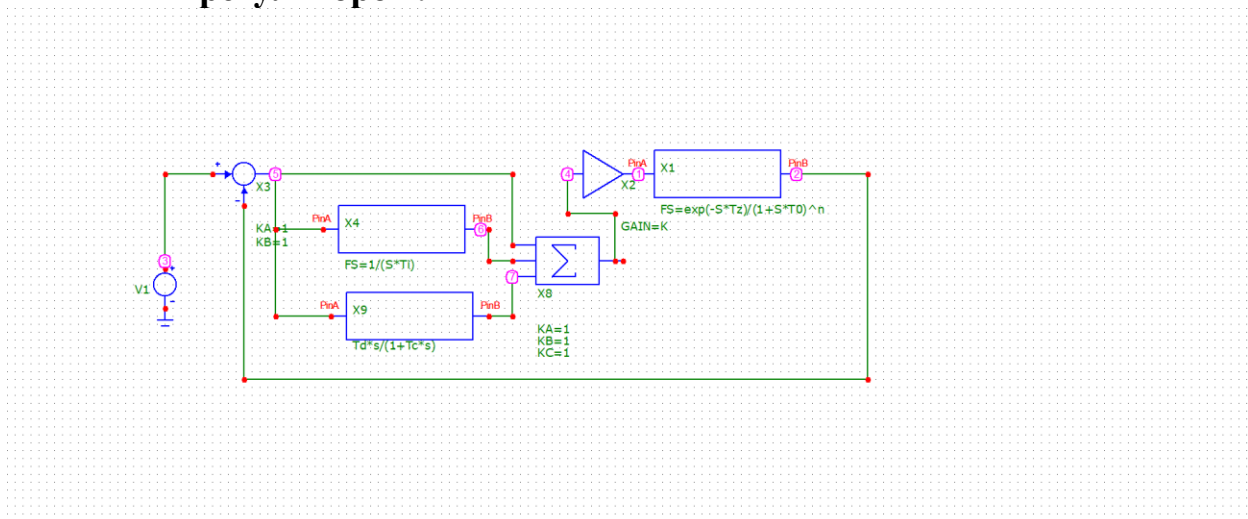
-0.0518873	-4.337D-19	0.	0.	-1.084D-19	2.982D-19	0.
------------	------------	----	----	------------	-----------	----

d. Рисунки переходной характеристики, вычисленной в Micro-Cap и по разностным уравнениям дискретной модели, в одних координатах (красный - Micro-Cap):



3. Дискретная реализация системы автоматического управления с ПИД-регулятором:

а. Рисунок структурной схемы моделирования с ПИД-регулятором:



б. Математическое описание системы управления с ПИД-регулятором:

Передаточная функция:

$$W1 = K * \left(\frac{1 + 1 / (s * Ti)}{s} + Td \right) / (1 + Tc * s) * (e^{-T * s}) / (1 + s * T0)^n;$$

$$W = W1 / (1 + W1);$$

с. Разностные уравнения моделируемой системы:

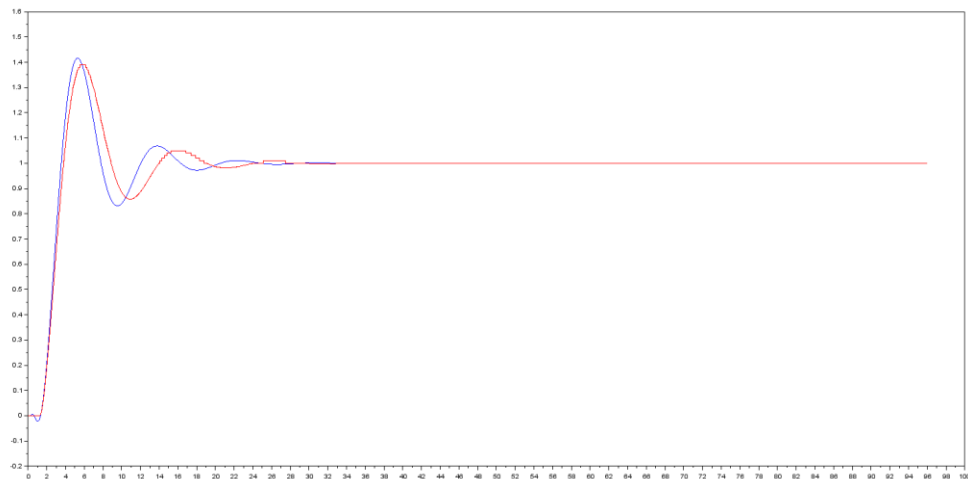
Уравнения из пункта 1.b.iii с матрицами:

```
"Ad" = "
1.005384 -0.0139279 -0.0029812 0.0002452 0.0000029 1.390D-08 6.823D-14 1.173D-17 -1.846D-19 -6.249D-20 6.573D-19 -3.360D-19 -3.001D-20 -5.469D-19 -1.021D-18
-0.0007479 1.0439992 0.397255 -0.0526498 -0.0008425 -0.0000051 -3.023D-11 -5.575D-15 -5.165D-18 1.185D-17 -3.384D-18 -1.334D-18 4.005D-18 -2.101D-17 5.694D-17
-0.003039 -0.3480534 0.3786074 -0.162957 -0.004225 -0.0000352 -2.642D-10 -5.958D-14 2.166D-17 1.693D-17 2.741D-18 8.320D-18 3.102D-18 -3.580D-17 2.881D-17
-0.0052536 0.2203526 0.1446036 1.1225399 0.0493514 0.0005729 5.477D-09 1.505D-12 -3.138D-17 -6.553D-18 -1.694D-17 1.601D-18 -5.213D-18 1.101D-17 9.148D-18
0.0000339 0.0261778 0.1569085 -0.0388273 1.0337494 0.0243024 0.0000003 1.287D-10 -1.134D-18 -5.459D-18 -4.605D-19 2.308D-19 -5.050D-18 1.543D-18 1.397D-18
0.0041042 -0.1225391 0.1579568 -0.1018439 -0.069053 1.0225987 0.0000293 1.620D-08 3.546D-17 -7.068D-18 6.521D-18 -2.744D-18 -9.192D-20 -1.251D-17 1.672D-17
-0.0050463 0.1164607 -0.1974006 0.0730382 0.0424124 0.0275697 0.9829579 0.0010957 2.079D-12 3.569D-15 -3.178D-18 3.384D-18 9.401D-19 4.708D-19 1.372D-18
-0.0001287 0.0767711 -0.1154355 0.0413613 0.0217074 0.0255487 -0.0274266 0.9921585 3.628D-09 9.420D-12 1.236D-14 3.737D-17 -6.981D-18 1.140D-17 -1.364D-17
0.0037619 0.1057293 -0.2458655 -0.0284111 0.0422101 0.107364 -0.1333758 -0.0872091 0.7965468 0.004403 0.0000088 3.695D-08 2.129D-11 -4.137D-14 -4.183D-17
0.0051118 -0.0894718 0.0227767 -0.0996732 -0.0276432 0.0358281 -0.0362869 -0.0286249 -0.1929815 0.9186201 0.003622 0.0000225 1.716D-08 -4.148D-11 -1.829D-14
0.0000914 -0.04543 0.0052855 0.0085779 -0.0238183 -0.0310009 0.0234586 0.0113061 -0.0759579 -0.1269711 0.9418917 0.011734 0.0000134 -4.308D-08 -2.372D-11
-0.0010543 0.0002934 -0.0020263 0.025552 0.0037774 -0.0297072 0.017666 0.0069349 -0.0115112 -0.0261483 -0.0456 0.9808022 0.0022142 -0.0000107 -7.839D-09
0.0009454 0.0026964 0.0008789 -0.0133654 0.0059274 0.0063342 -0.0143898 -0.0112821 0.0127805 0.0315611 0.0087412 0.0235513 0.9629226 -0.0093683 -0.0000103
-0.0004096 0.0035426 -0.0003407 -0.0061401 -0.0037289 0.0057862 -0.0063025 -0.0016897 0.0076998 0.005091 0.0115168 0.0130212 0.0130978 0.9901037 0.0021724
0.0013309 -0.0006235 0.000149 0.000763 0.0004323 -0.0013945 -0.0026229 -0.0008889 0.0009646 -0.0023824 0.0003638 -0.0007634 0.0021918 -0.0067867 0.9910936

"Bg" = "
0.0032924
-0.6987963
-2.1042574
-0.0905531
-0.0636971
-0.0208925
-0.0012632
0.0061044
0.0535464
0.0268757
0.0016959
-0.000344
-0.000204
0.0000814
0.0000067

"Cd" = "
-0.0015268 5.421D-20 1.355D-20 1.084D-19 -6.776D-21 -6.776D-21 -2.711D-20 1.084D-19 -1.694D-20 1.694D-21 -4.066D-20 5.421D-20 2.229D-20 1.012D-19 -1.355D-20
```

d. Рисунки переходной характеристики, вычисленной в Micro-Cap и по разностным уравнениям дискретной модели, в одних координатах (красный - Micro-Cap):



4. Исследование точности дискретной модели для разных времен дискретизации:

Зависимость ошибки дискретизации от времени дискретизации:

h	ПИ	ПИД
T	0.742477	0.787922
T/2	0.0371979	0.385918
T/10	0.0068515	0.0327191
T/100	0.0018089	0.037547

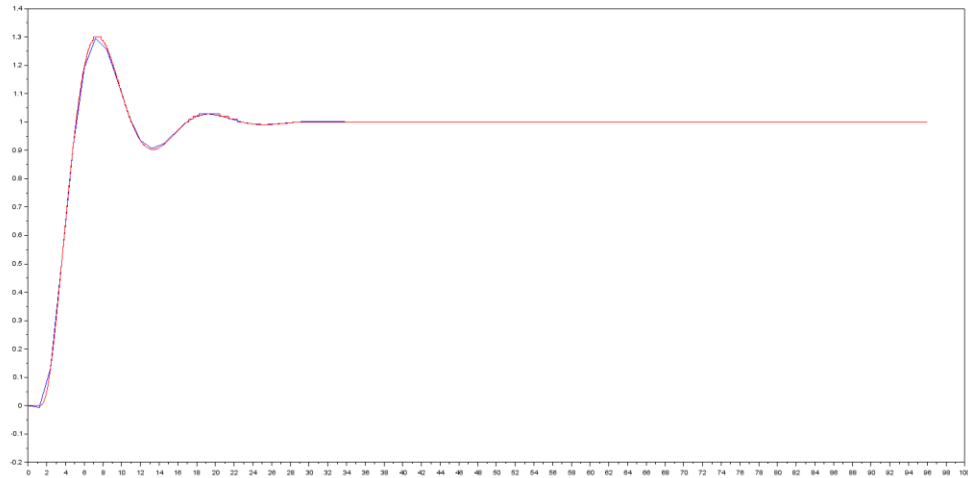
5. Выводы:

- а. Чем сложнее регулятор, тем хуже система дискретизируется;
- б. Чем меньше время дискретизации, тем лучше система дискретизируется.

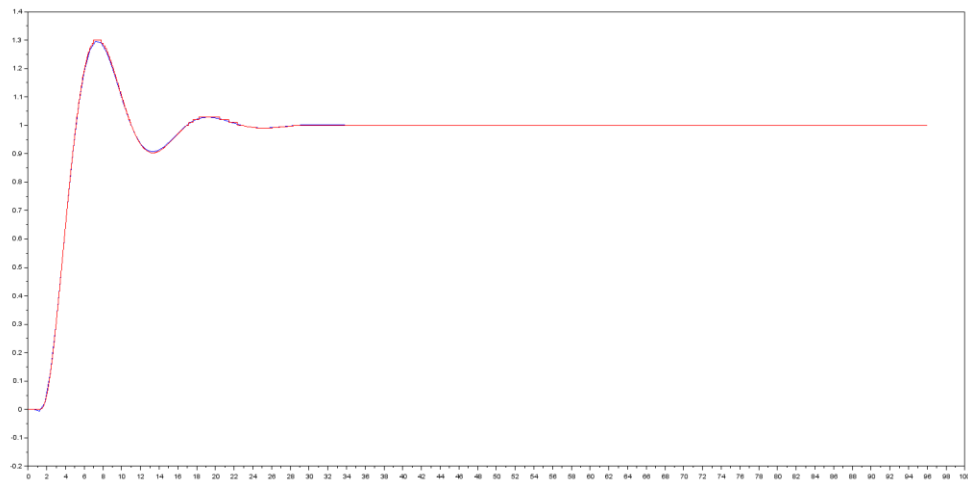
6. Приложение:

- а. Графики для системы с ПИ-регулятором:

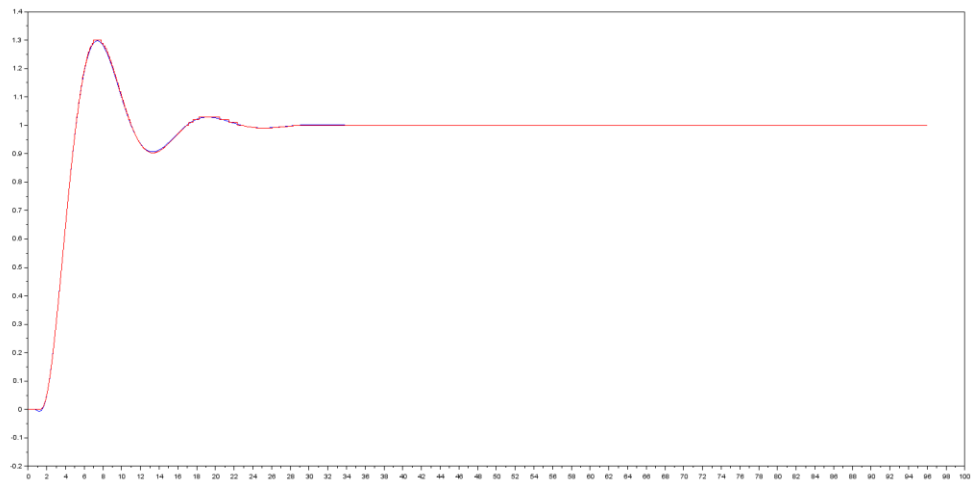
$h = T$



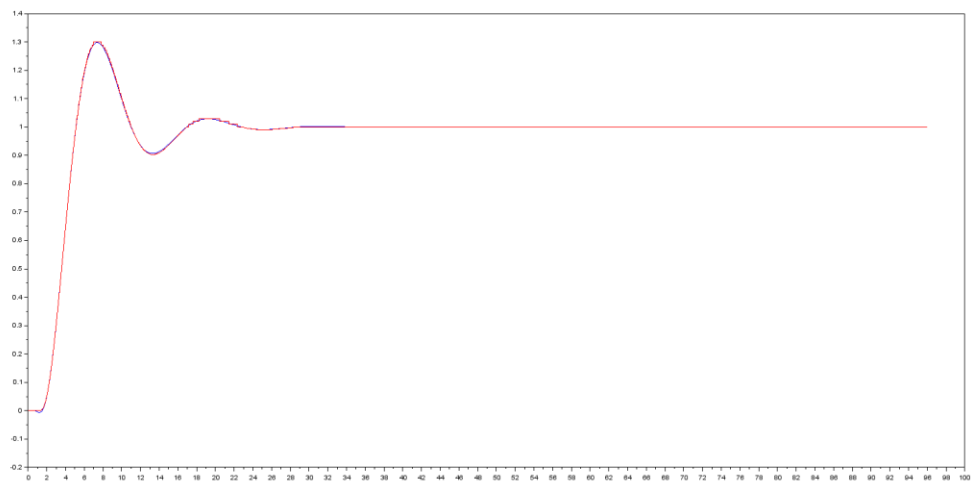
$h = T / 2$



$h = T / 10$

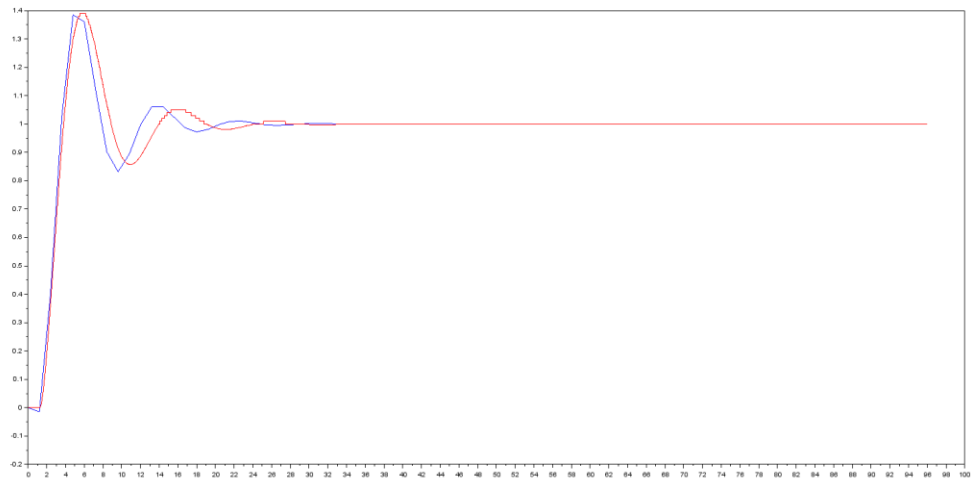


$$h = T / 100$$

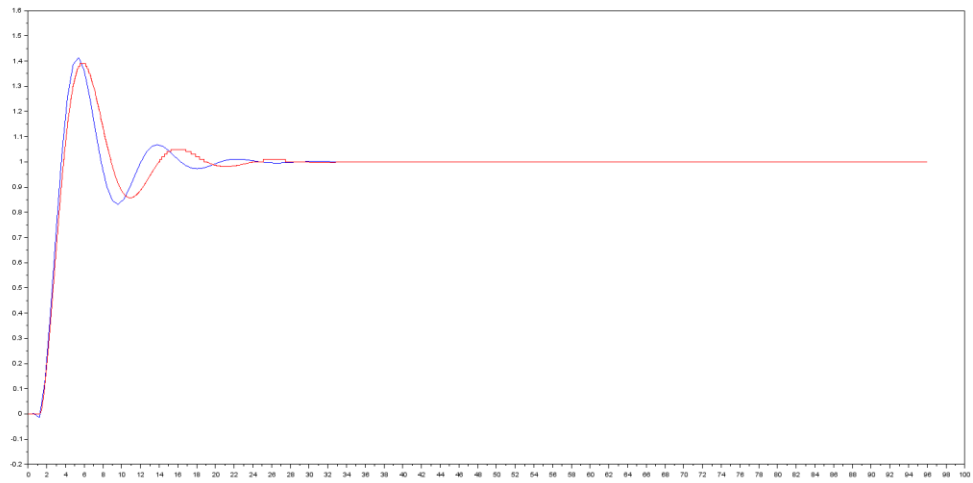


в. Графики для системы с ПИД-регулятором:

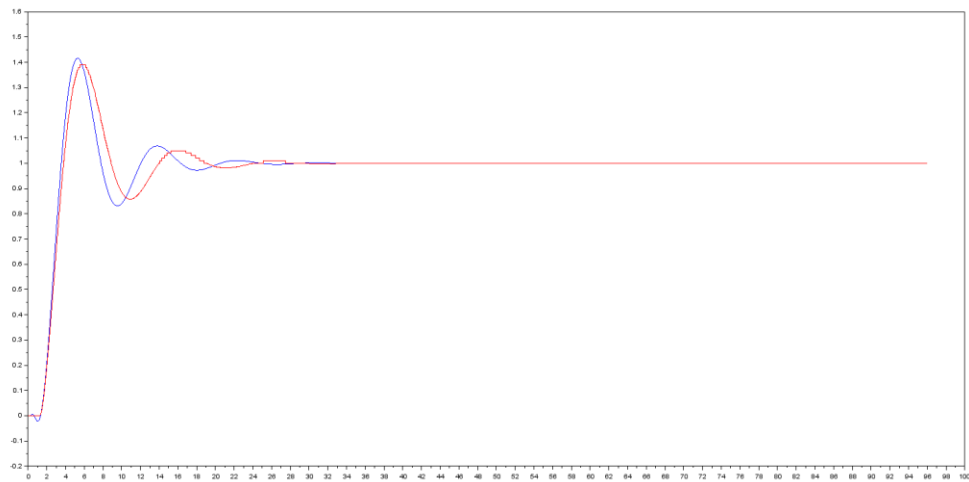
h



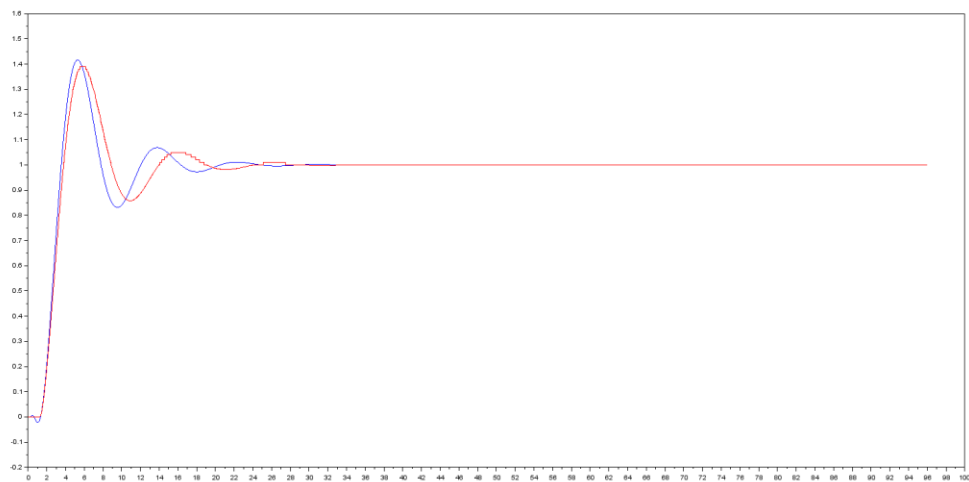
h = T / 2



h = T / 10



$$h = T / 100$$



с. Листинги программ моделирования:

і. с ПИ-регулятором:

```
T0 = 0.76;
n = 3;
Tau = 1.2;
K = 0.481194691128603401778886212513064354113197630437637476688;
Ti = 1.30705212;
```

```
h = Tau / 100; // T / 10, T / 100
```

```
T = 96;
```

```
microcap_N = 8000;
```

```
microcap_h = T / microcap_N;
```

```

// дискретизация
s = poly(0, 's');
W1 = K * (1 + 1 / (s * Ti)) * ((-Tau * s + 2 * n)^n / (Tau * s + 2 * n)^n) / (1 + s * T0)^n;
W = W1 / (1 + W1);
Sys = syslin('c', W);
Sysd = dscl(Sys, h);

t = [0:h:T - h];
v = zeros(size(Sysd.C, 'c'), 1);
x = zeros(length(t));
u = 1;

for i = 1:length(t)
    x(i, 1) = Sysd.C * v;
    v = Sysd.A * v + Sysd.B * u;
end

plot(t, x, 'blue');

// расчеты Micro-Cap
chdir('C:\Users\agafi\Documents\programming_projects\NSU-FIT\the-3rd-
year\cybernetics\laboratory-work-#5');
[microcap] = read('pi.CSV', microcap_N, 2);

t = [0:microcap_h:T - microcap_h];
plot(t, microcap(:, 2), 'red');

// ошибка
sum = 0;
N = T / h;
for i = 1:N
    sum = sum + (microcap(i * h / microcap_h, 2) - x(i, 1))^2;
end
disp('Error:');
e = ((1.0 / N) * sum)^(1/2);
disp(e);

```

ii. с ПИД-регулятором:

```

T0 = 0.76;
n = 3;
Tau = 1.2;
K = 0.990429598092472398908886366054156368531953775584922568457;
Ti = 1.75703736;
Td = 0.25 * Ti;
Tc = Td / 8;

```

```

h = Tau / 100; // T / 10, T / 100
T = 96;
microcap_N = 8000;
microcap_h = T / microcap_N;

// дискретизация
s = poly(0, 's');
W1 = K * (1 + 1 / (s * Ti) + s * Td / (1 + Tc * s)) * ((-Tau * s + 2 * n)^n / (Tau * s + 2 * n)^n) /
(1 + s * T0)^n;
W = W1 / (1 + W1);
Sys = syslin('c', W);
Sysd = dscl(Sys, h);

t = [0:h:T - h];
v = zeros(size(Sysd.C, 'c'), 1);
x = zeros(length(t));
u = 1;

for i = 1:length(t)
    x(i, 1) = Sysd.C * v;
    v = Sysd.A * v + Sysd.B * u;
end

plot(t, x, 'blue');

// расчеты Micro-Cap
chdir('C:\Users\agafi\Documents\programming_projects\NSU-FIT\the-3rd-
year\cybernetics\laboratory-work-#5');
[microcap] = read('pid.CSV', microcap_N, 2);

t = [0:microcap_h:T - microcap_h];
plot(t, microcap(:, 2), 'red');

// ошибка
sum = 0;
N = T / h;
for i = 1:N
    sum = sum + (microcap(i * h / microcap_h, 2) - x(i, 1))^2;
end
disp('Error:');
e = ((1.0 / N) * sum)^(1/2);
disp(e);

```