**Направление подготовки: 140400 Электроэнергетика и электротехника**

**Профиль подготовки: Электрический транспорт**

**Квалификация (степень) выпускника: магистр**

**Форма обучения: очная**

**Дисциплины: "Информационные и компьютерные технологии в электротехнике"и "Системы и устройства автоматического управления электроподвижным составом"**

**Комаров В.Г. Совмещённое КМ-3 12.05.2026 г.**

# Тема: Анализ непрерывных и дискретных систем

## *Задание:*

*Произвести сравнительный анализ непрерывной и дискретной системы, имеющей следующие коэффициенты в передаточной функции*

$$W(s) = (a_2 s^2 + a_1 s^1 + a_0 ) / (b_2 s^2 + b_1 s^1 + b_0)$$

*согласно нижеприведённой таблицы:*

| **Вариант** | a0 | a1 | a2 | b0 | b1 | b2 | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 10 | 0 | 0 | 10 | 0.8 | 1 | 2 |
| 2 | 0.15 | 0.35 | 0.1 | -0.48 | 0.2 | 1 | 0.4 |
| 3 | 3 | 0.1 | 0 | 3 | 0.5 | 0.7 | 1 |
| 4 | 5 | 4 | 0 | 3 | 2 | 3 | 0.5 |
| 5 | 7 | 1 | 0.3 | 5 | 1 | 2 | 1 |
| 6 | 0.8 | 0.35 | 0 | 0.5 | 0.2 | 1 | 0.5 |
| 7 | 8 | 1 | 1 | 9 | 0.7 | 1.5 | 0.4 |
| 8 | 0.4 | 0.7 | 0 | 2 | 1 | 3 | 1 |
| 9 | 0.7 | 0.5 | 0 | 6 | 2.3 | 1.5 | 0.5 |
| 10 | 2 | 0.7 | 0.1 | 1 | 2 | 3 | 0.4 |
| 11 | 4 | 0 | 0.2 | 5 | 0.7 | 1 | 1 |

## *Последовательность выполнения работы*

1. Сначала введём передаточную функцию непрерывной системы, например:

```
--> W = syslin('c', 4*%s+5, %s^2+2*%s+3);
```

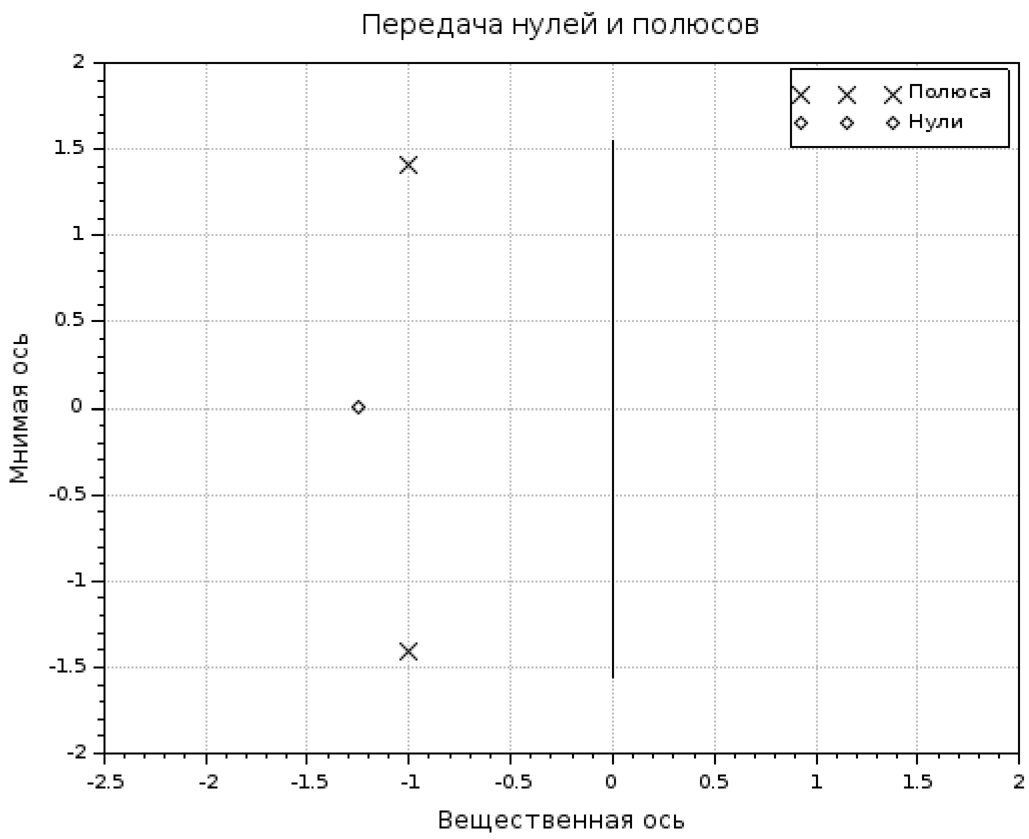
2. Применим встроенную функцию roots, которая вычисляет корни полинома, например:

```
--> z = roots( n )

z=

- 1.250

--> p = roots( d )

- 1. + 1.414i

- 1. - 1.414i
```

3. С помощью функции plzr построить в отдельном окне карту нулей и полюсов на комплексной плоскости:

```
--> plzr( W )
```

Результат выполнения этой команды показан на следующем рисунке.




По карте нулей и полюсов определить устойчивость линейной непрерывной стационарной системы. Если все полюса имеют отрицательные вещественные части (расположены в левой полуплоскости), то система устойчива. Если у передаточной функции есть полюса с нулевой вещественной частью (расположенные на мнимой оси), система находится на границе устойчивости. Если хотя бы один из полюсов имеет положительную вещественную часть (расположен в правой полу- плоскости), система неустойчива.

4. Вызвать функцию damp, позволяющую найти, как полюса p, так и соответствующие им собственные частоты $w_0$ и коэффициенты демпфирования ksi:

```
--> W = syslin("c", 4*%s+5, %s^2+2*%s+3);

--> [w0,ksi,p] = damp ( W )

p =

- 1. + 1.414i

- 1. - 1.414i

ksi =

0.577

0.577
```

```
w0 =

1.732

1.732
```

5. Определить  коэффициент усиления в установившемся режиме или статический коэффициент усиления с помощью функции horner. Её первый аргумент – передаточная функция, а второй – значение, которое подставляется вместо независимой переменной s:

```
--> W = syslin("c", 4*%s+5, %s^2+2*%s+3);

--> ks = horner( W, 0 )
```

ks = 1.667

6. Определить импульсную характеристику *w(t)* , как реакцию  системы на единичный бесконечный импульс δ (t) (дельта-функцию) при нулевых начальных условиях. Входной сигнал в виде дельта-функции имеет изображение по Лапласу

$$\delta(s)=\int_0^\infty \delta(t)e^{-st}dt=1 \quad .$$

Поэтому выходной сигнал системы при воздействии на входе дельта-функции будет отображать изображение по Лапласу её передаточной функции X ( s )

$$Y(s)=\delta(s)\cdot X(s)=X(s) \quad .$$

Построить импульсную характеристику в SciLang можно с помощью функции csim (от англ. continuous-time simulation, моделирование непрерывной системы). Приведём пример:

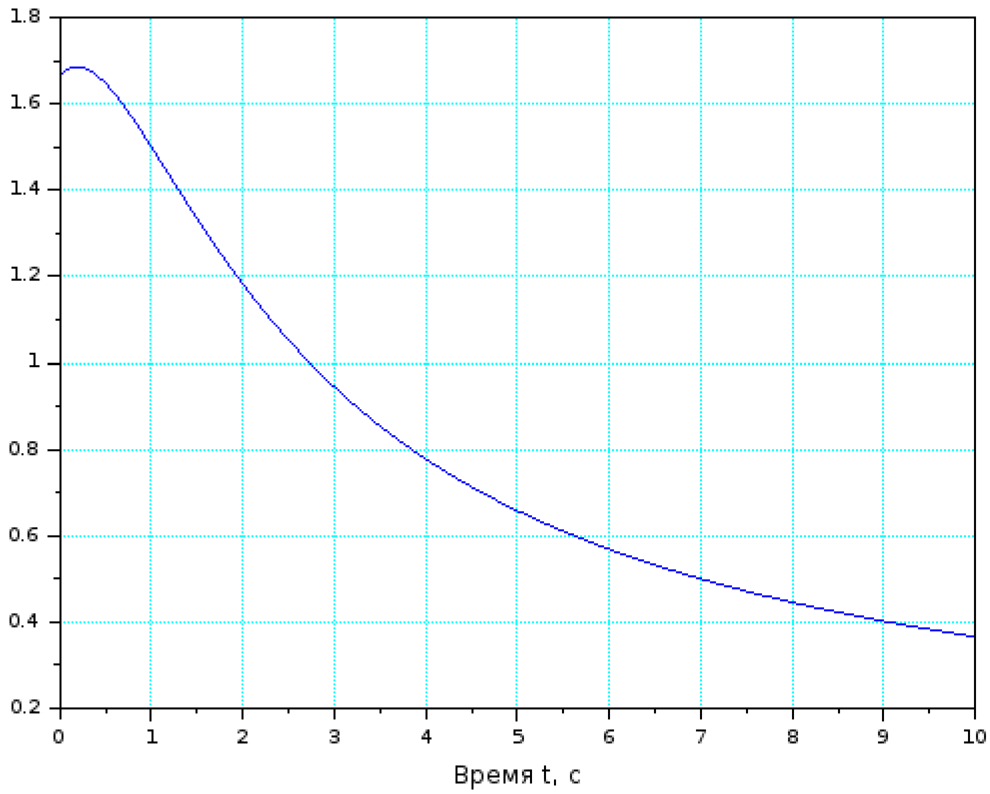
```
--> W = syslin("c", 4*%s+5, %s^2+2*%s+3);

--> t = [0:0.1:10];

--> w = csim( "impuls", t, W )

 --> plot( t, W )
```

Функция csim принимает три аргумента:

1) тип характеристики ("impuls" – импульсная характеристика);

2) массив моментов времени, для которых нужно определить значение выхода (запись [0:0.1:10] означает массив значений на отрезке от 0 до 10 с шагом 0,1);

3) модель системы – передаточная функция, модель в пространстве состояний или модель в форме «нули-полюса».




7. Построить переходную характеристикуй  h(t), которая является реакцией системы при нулевых начальных условиях на единичный ступенчатый сигнал (единичный скачок)

$$1(t) = \begin{cases} 0, \; t < 0 \\ 1, \; t \geq 0 \end{cases}.$$

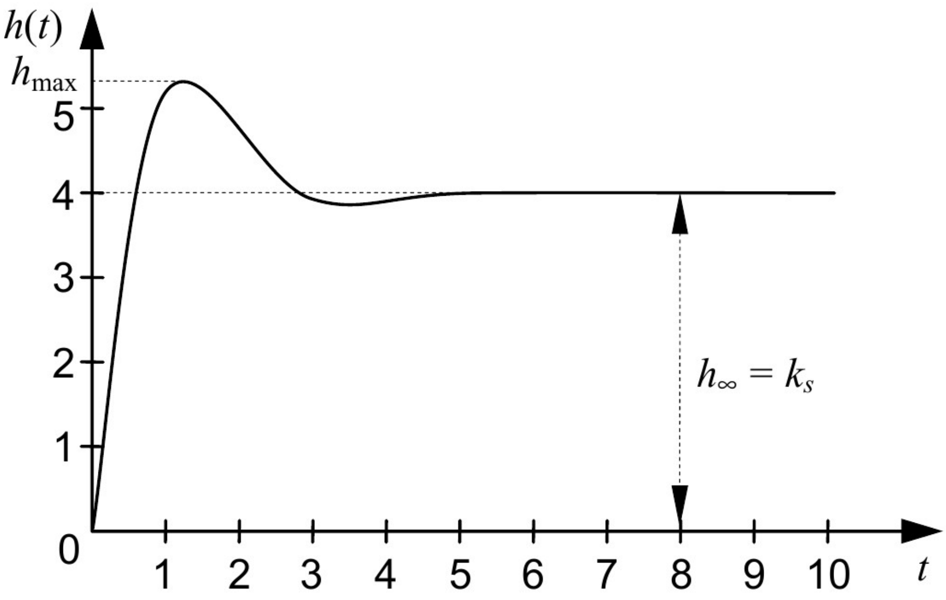
Импульсная и переходная функции связаны выражениями

$$w(t) = \frac{dh(t)}{dt}, \qquad h(t) = \int_0^t w(\tau)\,d\tau .$$

Для построения переходной характеристики используется та же функция csim, с помощью которой мы строили импульсную характеристику:

```
--> W = syslin("c", 4*%s+5, %s^2+2*%s+3);

--> t = [0:0.1:10];

--> h = csim( "step", t, W );

--> plot( t, h )
```

Первый аргумент при вызове функции sim равен "step", это означает, что нужно построить именно переходную характеристику (реакцию на единичный скачок, англ. step response), а не импульсную. Переходная характеристика устойчивой системы стремится к постоянному значению h∞, как указано на следующем рисунке.



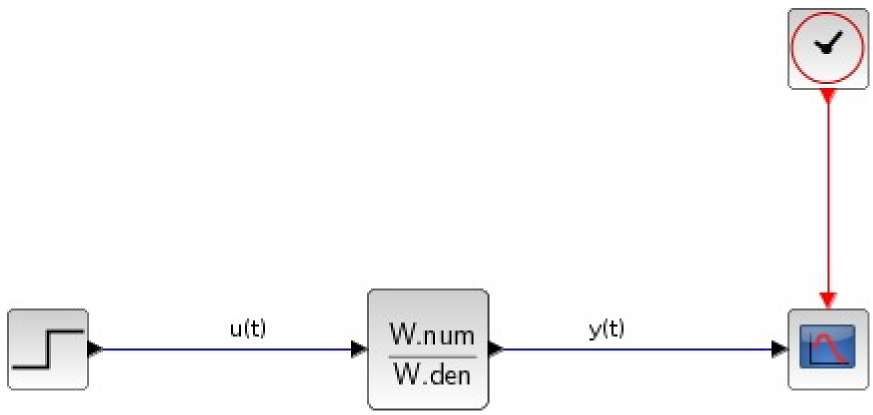

8. Определить перерегулирование системы согласно выражению:

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h_{\infty}}{h_{\infty}} \times 100\%,$$

где $h_{max}$ – максимальное значение переходной характеристики, а $h_{\infty}$ – установившееся значение выхода. Вычислить перерегулирование в процентах с помощью SciLang, предполагая, что переходная характеристика записана в переменной h:

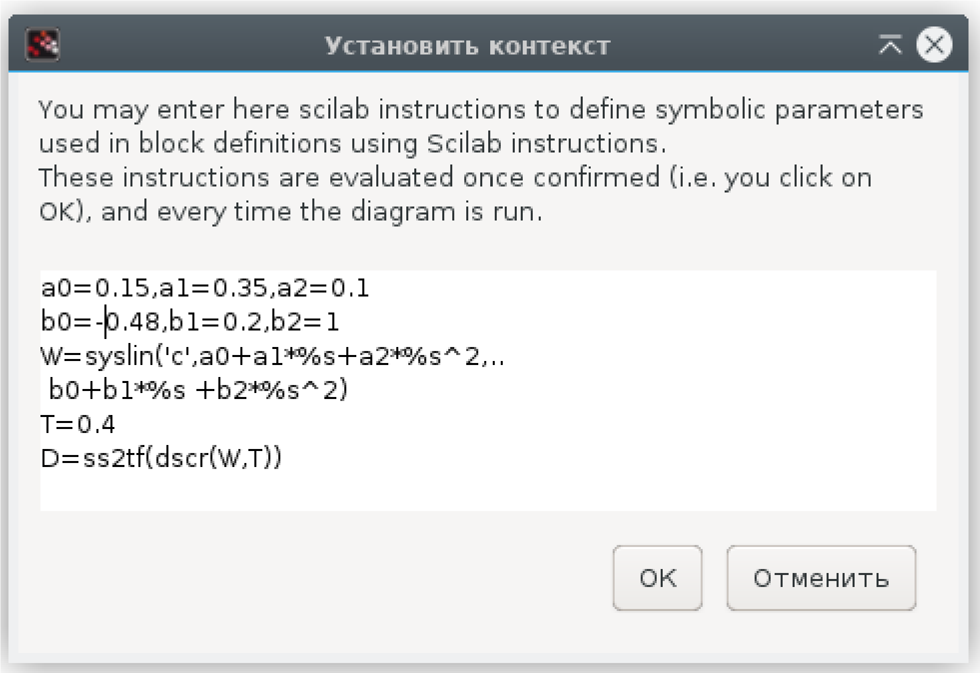
```
--> hInf = h($)

hInf = 1.667

--> ovr = (max(h)- hInf) / hInf * 100

ovr = 33.366
```

9. Теперь надо собрать модель XCOS непрерывной модели.




После двойного щелчка на блоке источника ступенчатого сигнала появляется окно с его параметрами. В этом окне нужно изменить параметр Step Time с 1 на 0, чтобы начало скачка совпало с началом отсчета времени. Параметры модели установить с помощью контекстного окна. Для этого в меню рабочего окна модели нажать на раздел «Моделирование», выбрать пункт «Установить контекст» и в открывшемся окне ввести численные параметры модели. Этот приём позволяет изменять параметры блоков модели, не изменяя вручную модель XCOS. Подтвердите ввод нажатием на кнопку «ОК».

Сначала с помощью контекстного окна введём передаточную функцию блока в рабочую область SciLab, например:

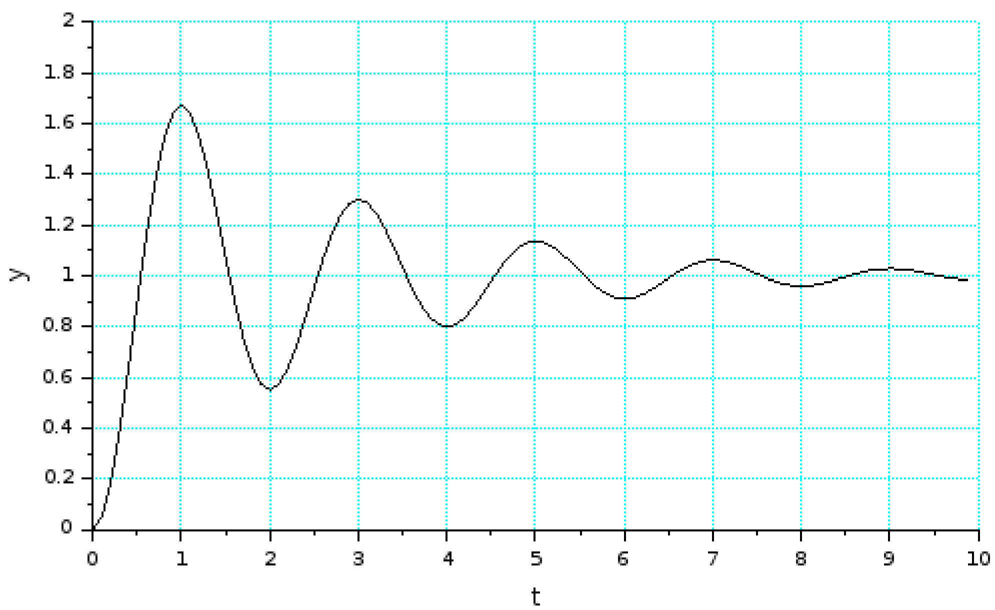



Теперь при определении параметров в окне свойств блока можно ссылаться на числитель и знаменатель этой передаточной функции:

*Numerator: W.num*

*Denominator: W.den*

В часах, которые подсоединены к осциллографу, устанавливаем период 0,1. Они фиксируют сигнал на выходе непрерывной системы. Результаты моделирования показаны на рисунке:




10. Теперь добавить дискретную модель, с периодом работы и моментами фиксации её выхода с помощью отдельных часов с периодом T. Рассмотрим разомкнутую систему, в которой дискретный входной сигнал {v[k]} (например, с компьютера) поступает на экстраполятор с

передаточной функцией H(s), а аналоговый сигнал u(t) с выхода экстраполятора – на вход непрерывного объекта с передаточной функцией P(s).

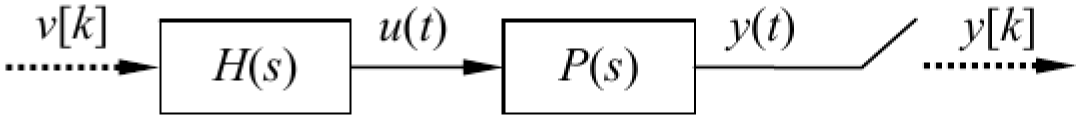



Рис. 3.

Надо построить дискретную модель, которая связывает входной дискретный сигнал {v[k]} с дискретным выходным сигналом {y[k]}, который получен в результате квантования выходного аналогового сигнала y(t) с тем же периодом T. Передаточная функция D(z) может быть найдена по формуле:

$$D(z) = Z\{P(s)\,H(s)\}\ .$$

Здесь запись Z {...} означает z-преобразование для оригинала изображения, записанного в фигурных скобках (в данном случае – для произведения передаточных функций экстраполятора и объекта). Если в качестве экстраполятора используется фиксатор нулевого порядка, то

$$H(s)=\frac{1-e^{-sT}}{s}=\frac{1-z^{-1}}{s}=\frac{z-1}{z}\cdot\frac{1}{s}\ .$$

Здесь использовано равенство $z = e^{sT}$ . Тогда получаем

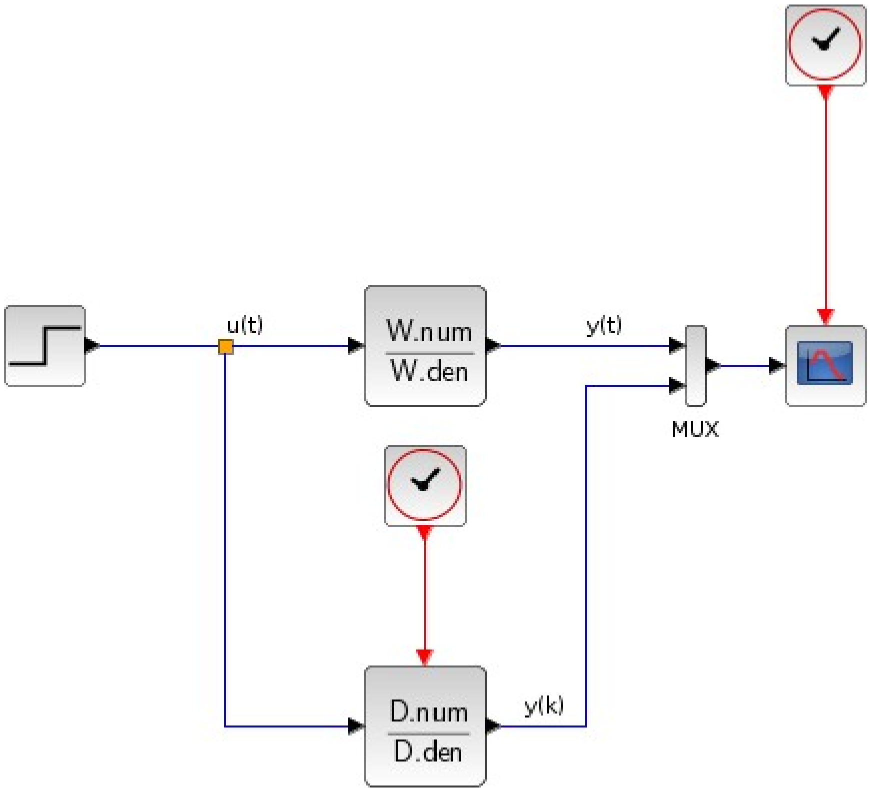
$$D(z)=Z\{P(s)\cdot\frac{z-1}{z}\cdot\frac{1}{s}\}=\frac{z-1}{z}\cdot Z\{\frac{P(s)}{s}\}\ .$$

В среде SciLab такая дискретизация выполняется с помощью встроенной функции dscr:

```
Dss = dscr( P, T ),
```

где P – модель непрерывного объекта, а T – интервал квантования. Эта функция всегда возвращает дискретную модель в пространстве состояний. Для построения дискретной передаточной функции нужно дополнительно вызвать функцию ss2tf:

```
D = ss2tf( Dss )
```



С помощью контекстного окна добавим параметр периода работы часов дискретизации и передаточную функцию цифрового блока в рабочую область SciLab, например:

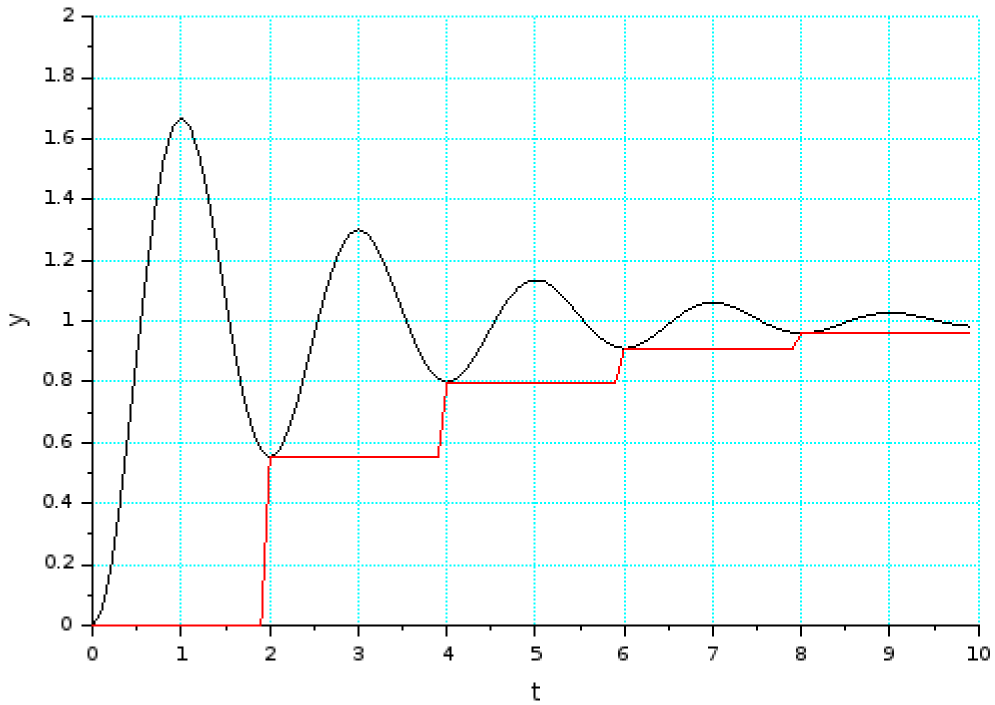
```
T=2
D = ss2tf(dscr(W,T))
```

Теперь при определении параметров в окне свойств цифрового блока можно ссылаться на числитель и знаменатель этой передаточной функции:

```
Numerator: D.num
Denominator: D.den
```

Результаты моделирования показаны на следующем рисунке. Чёрной линией показано изменение выхода непрерывного объекта, а красной — дискретной модели.

По графику видно, что дискретная модель в точности воспроизводит поведение непрерывного объекта в моменты квантования. Если смотреть только на значения в дискретные моменты времени, кажется, что переходный процесс апериодический. Однако между моментами квантования наблюдаются скрытые колебания.




Проанализировать влияние параметра T дискретизации цифровой системы на адекватность отображения непрерывной системы цифровой.