

Основы автоматизированного проектирования: Тема № 2

Построение и исследование математических моделей систем управления Практика

Часть 2

Содержание

[Объект исследования № 2](#)

Этап № 2. Описание функциональных элементов и создание их
субмоделей средствами пакета MATLAB

[2.1. Двигатель постоянного тока с независимым возбуждением.](#)

[2.2. Редуктор с объектом регулирования](#)

[2.2.1. Уравнения, описывающие процессы в редукторе и объекте:](#)

[2.2.2. Основные уравнения механической передачи](#)

[2.2.3. Описание параметров механической передачи](#)

[2.2.4. Структурная схема механической передачи](#)

[2.2.5. Создание отладочной модели](#)

[Тесты к ч.2.2.](#)

[2.3. Последовательное и параллельное корректирующие устройства](#)

[Тесты к ч.2.3.](#)

[2.4. "ПИД-регулятор".](#)

[Тесты к 2.4](#)

[3. Общая схема следящего привода](#)

[Тесты к ч.3.](#)

[4. Индивидуальное задание и формы отчетности](#)

**Объект исследования № 2: следящий привод с двигателем
постоянного тока независимого возбуждения**

Этап № 1. Описание функциональной схемы объекта

Выделяются следующие функциональные элементы:

- редуктор с объектом регулирования;
- двигатель постоянного тока независимого возбуждения;
- корректирующие устройства;
- ПИД-регулятор;
- элемент сравнения, вычисляющий ошибку следящей системы (разность между заданным и истинным положением вала объекта регулирования).

На рис. 2.1 приняты обозначения

q - угол поворота вала объекта регулирования;

q_d, q_d', q_d'' - угол поворота, скорость и ускорение вращения вала двигателя;

$q_{\text{зад}}$ - задающее воздействие.

Элемент сравнения

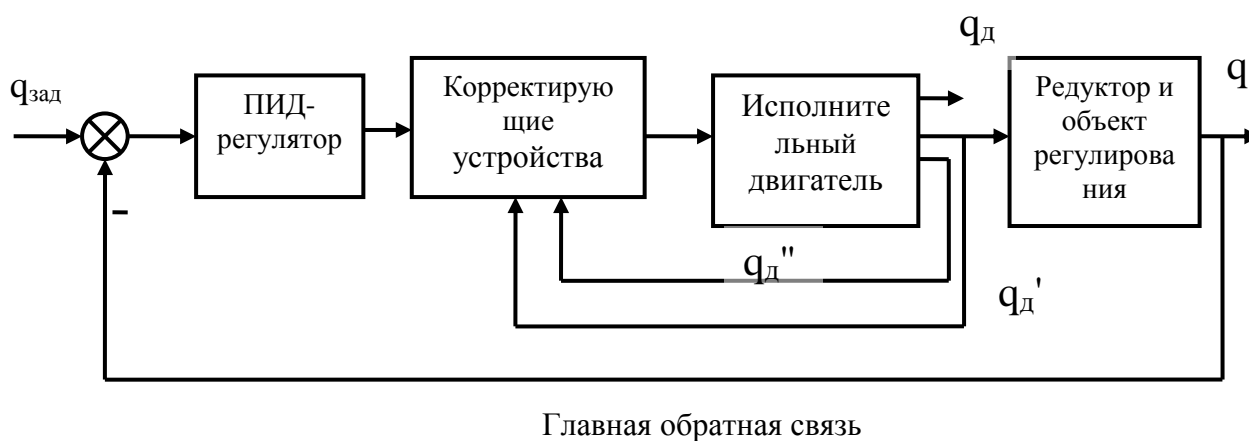


Рис.2.1

**Этап № 2. Описание функциональных элементов и создание их
субмоделей средствами пакета MATLAB**

2.1. Двигатель постоянного тока с независимым возбуждением.

Используется готовая отладочная модель № 1 из 1 части темы.

2.2. Редуктор с объектом регулирования

2.2.1. Уравнения, описывающие процессы в редукторе и объекте:

(см. Следящие приводы. В 2-х книгах. Под ред. Б.К. Чемоданова. Кн. первая. М., "Энергия", Гл. 4)

Механические передачи служат для передачи вращения от вала исполнительного двигателя до объекта. Большинство механических передач СП выполняются несамотормозящимися. Реальным механическим передачам присущи люфты и упругие деформации, оказывающие существенное влияние на динамику СП.

Люфты и упругие деформации в механической передаче в зависимости от характера их влияния на динамические свойства СП можно разделить на два типа. К первому типу отнесем люфты и упругие деформации элементов, расположенных последовательно в кинематической цепи механической передачи. Это люфты в зацеплениях, в соединительных муфтах, в шлицевых и шпоночных соединениях, а также упругие деформации валов, эластичных муфт, зубьев шестерен. Такие люфты и упругие деформации, оказывающие наиболее существенное влияние на динамику СП, в дальнейшем будем называть люфтами и упругими деформациями в последовательной кинематической цепи. Ко второму типу относятся люфты и упругие деформации элементов, расположенных в параллельных кинематических цепях. Это люфты в подшипниках, упругие деформации опор, поддерживающих вращающиеся массы, упругие деформации корпусов и оснований редукторов и т. п. Люфты и упругие деформации такого типа будем называть люфтами и упругими деформациями в параллельной кинематической цепи.

Механическая передача может быть представлена в виде последовательного соединения элементарных звеньев. Кинематическая схема элементарного механического звена изображена на рис. 2.2.

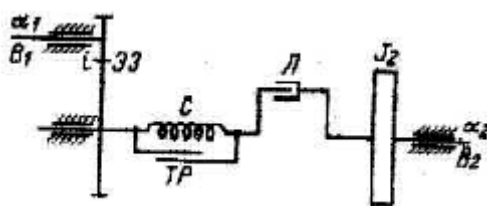


Рис.2.2.

На рис. 2.2 обозначено

B_1, B_2 —входной и выходной валы звена;

α_1, α_2 —углы поворота входного и выходного валов звена;

C —коэффициент жесткости безынерционного упругого элемента;

TP —элемент, характеризующий наличие внутренних сил вязкого трения в упругом

элемента;

L — безынерционный элемент, характеризующий люфт в зацеплении;

\mathcal{Z} — безынерционный элемент зацепления с передаточным числом

$$\dot{\alpha}_1 / \dot{\alpha}_2 = i \quad (i > 1)$$

J_2 - момент инерции на выходном валу звена, который может включать в себя момент инерции шестерни, момент инерции соединительной муфты и момент инерции объекта.

Рассмотрим моменты, действующие на элементарное звено. К входному валу B_1 приложен момент $M_1(t)$, действующий со стороны предыдущего звена. К валу B_2 приложен момент $M_{\Sigma 2}(t)$, который является суммой возмущающего момента $M_{\epsilon 2}(t)$, приложенного к валу B_2 извне, и момента $M_2(t)$, действующего на вал B_2 со стороны последующего звена, т. е.

$$M_{\Sigma 2}(t) = M_{B2}(t) + M_2(t) \quad (2.1)$$

Кроме того, на элементарное звено действуют моменты, обусловленные силами трения: момент от внутренних сил трения в упругом элементе и момент от сил трения в элементах механической передачи, жестко связанных с валом B_2 . Последний момент, в свою очередь, состоит из момента $M_{C.B.}$ от сил вязкого трения, пропорционального угловой скорости вала B_2 ; момента $M_{C.T.}$ от сил сухого трения; момента $M_{C.H.}$ от сил трения, пропорционального передаваемому усилию (нагрузке).

$$M_{c2} = M_{CB} + M_{CT} + M_{CH}.$$

Природа моментов от сил вязкого и сухого трения ясна и не требует дополнительных пояснений. Рассмотрим природу момента от сил трения, пропорционального передаваемому усилию. В зубчатой передаче, даже при идеальном эвольвентном зацеплении происходит проскальзывание профиля зуба одной шестерни относительно профиля зуба другой шестерни. Вследствие этого проскальзывания возникает сила трения скольжения, значение которой пропорционально нормальному давлению в зубьях шестерен. Нормальное давление, в свою очередь, пропорционально передаваемому усилию. Сила трения в процессе зацепления меняет свой знак при прохождении точки зацепления через полюс зацепления, однако среднее значение момента, создаваемого этой силой, в процессе зацепления всегда имеет знак, противоположный угловой скорости. Кроме того, в разных фазах зацепления находятся одновременно несколько зубьев, так что результирующий момент от сил трения в зубьях шестерен можно приближенно считать; зависящим только от передаваемого усилия, а направление этого момента—противоположным угловой скорости шестерен.

При передаче вращения с помощью зубчатых шестерен в подшипниках опор возникают силы реакции, равные передаваемому усилию. Эти силы, воздействуя на подшипники, создают силы трения, пропорциональные силе реакции. Моменты от этих сил

трения также пропорциональны передаваемому усилию и направлены против угловой скорости.

Передаваемое усилие, в свою очередь, пропорционально моменту нагрузки $M_{H2}(t)$, действующему на валу B_2 :

$$M_{H2}(t) = J_2 p^2 \alpha_2(t) - M_{\Sigma 2}(t)$$

Таким образом, момент от сил трения, пропорциональный передаваемому усилию, может быть представлен в виде

$$M_{C.H}(t) = -k_{C.H} \left| J_2 p^2 \alpha_2(t) - M_{\Sigma 2}(t) \right| \text{sign} p \alpha_2(t)$$

где $k_{c.H}$ —коэффициент пропорциональности.

Соотношения между отдельными составляющими момента от сил трения зависят от типа и конструкции механической передачи, а также от передаваемой мощности.

Итак, все перечисленные составляющие момента от потерь на трение в элементах механической передачи имеют направление, противоположное угловой скорости вала B_2 .

Моменты от сил трения, действующие на вал B_1 , отнесем к предыдущему элементарному звену.

Момент от внутренних сил вязкого и сухого трения в упругом элементе M_y может быть представлен в виде

$$M_y(t) = F_y p \varphi(t) + M_{y.T}^0 \text{sign} p \varphi(t) \quad (2.2)$$

где

F_y — коэффициент вязкого трения в упругом элементе;

$\varphi(t)$ —угол скручивания упругого элемента;

$M_{y.m}^0$ — момент, обусловленный наличием внутренних сил сухого трения в упругом элементе.

Момент трения M_{c2} , приложенный к валу B_2 , может быть записан в следующем виде

$$M_{c2}(t) = -F_2 p \alpha_2(t) - M_{c.T}^0 \text{sign} p \alpha_2(t) - k_{C.H} \left| J_2 p^2 \alpha_2(t) - M_{\Sigma 2}(t) \right| \text{sign} p \alpha_2(t) \quad (2.3)$$

здесь F_2 —коэффициент вязкого трения на валу B_2 ; $M_{c.T}^0$ —момент сухого трения на валу B_2 .

Преобразуем (2.2). Угол скручивания упругого элемента φ (рис.2.2) может быть представлен в виде функции угла

$$\theta(t) = \alpha_1(t)/i - \alpha_2(t) \quad (2.4)$$

или с учетом обозначений нелинейностей

$$\varphi = f_3(\theta) \quad (2.5)$$

где

$$f_3(\theta) = \begin{cases} 0 & , |\theta| \leq \theta_n \\ \theta - \theta_n & , |\theta| > \theta_n \end{cases} \quad (2.6)$$

здесь θ_n —половина люфта элементарного звена.

Функция $f_3(\theta)$ является нелинейной, ее график приведен на рис. 2.3,а.

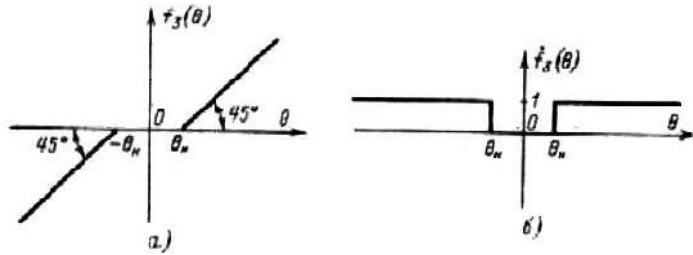


Рис.2.3

Из (2.5) следует, что

$$p\varphi(t) = \dot{f}_3(\theta)p\theta(t) \quad (2.7)$$

где

$$\dot{f}_3(\theta) = \frac{f_3(\theta)}{d\theta} = \begin{cases} 0 & , |\theta| \leq \theta_n \\ 1 & , |\theta| > \theta_n \end{cases} \quad (2.8)$$

График производной $\dot{f}_3(\theta)$ изображен на рис. 2.3б

Из (2.7) следует, что

$$\text{sign } p\varphi(t) = \text{sign } \dot{f}_3(\theta)p\theta(t) \quad (2.9)$$

Так как $\dot{f}_3(\theta) \geq 0$, то, учитывая равенство (2.8), получаем:

$$\text{sign } p\varphi(t) = \dot{f}_3(\theta)\text{sign } p\theta(t) \quad (2.10)$$

при этом выражение (2.2) для момента трения в упругом элементе с учетом (2.7) примет вид:

$$M_y(t) = \dot{f}_3(\theta)[F_y p\theta(t) + M_{y.T}^0 \text{sign } p\theta(t)] \quad (2.11)$$

Запишем уравнения движения элементарного звена ЭЗ (рис. 2.2):

Первое уравнение получим из условия, что приведенный момент, идущий с вала В₁, переходит в момент скручивания, также имеются потери в упругом элементе М_у

$$iM_1(t) = f_3(\theta)c + M_y(t) \quad (2.12)$$

Следующее уравнение выражает тот факт, что момент на валу В2 равен сумме

моментов – динамического (момент инерции нагрузки), внешнего, момента неуравновешенности нагрузки и момента трения на этом валу (т.е. динамика звена описывается из условия равенства моментов, приложенных к левой и правой частям выходного вала ступени редуктора.)

$$M_2 = J_2 p^2 \alpha_2(t) + M_{\Sigma 2}(t) + M_{c2}(t)$$

С другой стороны, этот момент равен входному моменту M_1 , приведенному к валу B_2 т.е.

$$iM_1 = M_2$$

т.е.

$$f_3(\theta)c + M_y(t) = J_2 p^2 \alpha_2(t) + M_{\Sigma 2}(t) + M_{c2}(t)$$

Откуда имеем

$$f_3(\theta)c + M_y(t) + (-M_{\Sigma 2}(t)) + (-M_{c2}(t)) = J_2 p^2 \alpha_2(t)$$

Заметим, что в исходной формуле из книги знак минус включен в формулу для расчета момента трения M_{c2} , и, очевидно, момент $M_{\Sigma 2}(t)$ должен браться с обратным знаком, подобно тому, как момент M_1 выходит со знаком -, поэтому исходная формула имеет вид

$$f_3(\theta)c + M_y(t) + M_{\Sigma 2}(t) + M_{c2}(t) = J_2 p^2 \alpha_2(t) \quad (2.13)$$

Ниже дадим полную систему уравнений, на основе которых будет строиться структурная схема

2.2.2. Основные уравнения механической передачи

Уравнения (2.11)—(2.13) совместно с (2.1), (2.4), (2.6) полностью определяют динамику принятой модели элементарного звена механической передачи.

Еще раз приведем полную систему уравнений

$$M_{\Sigma 2}(t) = M_{B2}(t) + M_2(t) \quad (2.14)$$

$$M_{c2}(t) = -F_2 p \alpha_2(t) - M_{c.T}^0 \operatorname{sign} p \alpha_2(t) - k_{C.H} \left| J_2 p^2 \alpha_2(t) - M_{\Sigma 2}(t) \right| \operatorname{sign} p \alpha_2(t) \quad (2.15)$$

$$M_y(t) = F_y p \varphi(t) + M_{y.T}^0 \text{sign} p \varphi(t) \quad (2.16)$$

$$\theta(t) = \alpha_1(t)/i - \alpha_2(t) \quad (2.17)$$

$$\varphi = f_3(\theta) \quad (2.18)$$

$$f_3(\theta) = \begin{cases} 0 & , |\theta| \leq \theta_h \\ \theta - \theta_h & , |\theta| > \theta_h \\ \theta + \theta_h & , |\theta| < -\theta_h \end{cases} \quad (2.19)$$

$$\dot{f}_3(\theta) = \frac{f_3(\theta)}{d\theta} = \begin{cases} 0 & , |\theta| \leq \theta_h \\ 1 & , |\theta| > \theta_h \end{cases} \quad (2.20)$$

$$M_y(t) = \dot{f}_3(\theta) [F_y p \theta(t) + M_{y.T}^0 \text{sign} p \theta(t)] \quad (2.21)$$

$$iM_1(t) = f_3(\theta)c + M_y(t) \quad (2.22)$$

$$f_3(\theta)c + M_y(t) + (-M_{\Sigma 2}(t)) + (-M_{c2}(t)) = J_2 p^2 \alpha_2(t) \quad (2.23)$$

В соответствии с этими уравнениями будет составлена структурная схема, в которой учитываются эффекты вязкого и сухого трения в упругом элементе и на валу нагрузки.

2.2.3. Описание параметров механической передачи

За субмодель одноступенчатого редуктора принята структура, в которой учитываются упругие деформации и люфт в механической передаче.

Структурная схема в пакете MATLAB описывается как субмодель «Одноступенчатый редуктор» со параметрами табл.2.1

Табл.2.1.

Имя в проекте	Переменная в описании	Определение	тип
<i>Моменты</i>			
<i>M1</i>	<i>M_I(t)</i>	Момент, действующий со стороны предыдущего звена (момент реакции, приложенный к входному валу звена).	Выход

	$M_2(t)$	Момент, действующего на вал B_2 со стороны последующего звена,	Вход
	$M_{\varepsilon 2}(t)$	Возмущающий момент, приложенный к валу B_2 извне,	Вход
M_2	$M_{\Sigma 2}(t)$	Момент, приложенный к валу B_2 , является суммой $M_{\varepsilon 2}(t)$ и $M_2(t)$. (момент, развиваемый на выходном валу звена)	Вход
	$M_y(t)$	момент трения в упругом элементе	Промежуточная переменная
	$M_{c2}(t)$	момент от сил трения в элементах механической передачи, жестко связанных с валом B_2 . Этот момент, в свою очередь, состоит из 3 моментов	Промежуточная переменная
	$M_{C.B}$	момент от сил вязкого трения, пропорционального угловой скорости вала B_2 ;	Промежуточная переменная
	$M_{C.T}$	момент от сил сухого трения на валу B_2 ;	Промежуточная переменная
	$M_{C.H}$	момент от сил трения, пропорционального передаваемому усилию (нагрузке) на валу B_2 .	Промежуточная переменная
<i>Угловые величины</i>			
q^1	α_1	угол поворота входного вала звена;	Вход
q^2	α_2	угол поворота выходного вала звена;	Выход
\dot{f}_i	$\varphi(t)$	угол скручивания упругого элемента;	Промежуточная переменная
$\theta=q^1/i-q^2$	Θ	угол, предназначенный для расчета угла скручивания упругого элемента	Промежуточная переменная

$q1'$	$p\alpha_1$	скорость вращения входного вала звена	Вход
$q2'$	$p\alpha_2$	скорость вращения выходного вала звена	Выход
<i>Параметры системы, которые следует задать для заданной конструкции</i>			
i	i	передаточная функция безынерционного элемента зацепления $\dot{\alpha}_1 / \dot{\alpha}_2 = i \quad (i > 1)$ (коэффициент редукции)	Вход
c	$c=c_1$	жесткость упругого элемента (коэффициент упругости, приведенный к валу объекта регулирования)	Вход
$F1$	F_y	коэффициент вязкого трения в упругом элементе	Вход
$G1$	$M^0_{y.T}$	момент, обусловленный наличием внутренних сил сухого трения в упругом элементе	Вход
a	θ_n	половина люфта элементарного звена (половина величины люфта, приведенного к валу объекта, - коэффициент редукции)	Вход
$J2$	J_2	момент инерции на выходном валу звена, который может включать в себя момент инерции шестерни, момент инерции соединительной муфты и момент инерции объекта	Вход
$F2$	F_2	коэффициент вязкого трения на валу B_2	Вход
$G2$	$M^0_{c.T}$	момент сухого трения на валу B_2	Вход
G	$k_{c.n}$	коэффициент пропорциональности	Вход

		при определении момента от сил трения, пропорциональный передаваемому усилию	
--	--	--	--

2.2.4. Структурная схема механической передачи

На рис. 2.4 показана структурная схема элементарного звена механической передачи, построенная на основе вышеуказанных уравнений динамики. Эта структурная схема может быть положена в основу моделирования элементарного звена механической передачи.

Как следует из рис.2.4, рассматриваемое элементарное звено механической передачи имеет

- две входные координаты ($\rho\alpha_1, M_{\Sigma 2}$)
- две выходные координаты ($\rho\alpha_2, -M_1$)

и может быть представлено в укрупненном виде, изображенном на рис.

3,6.

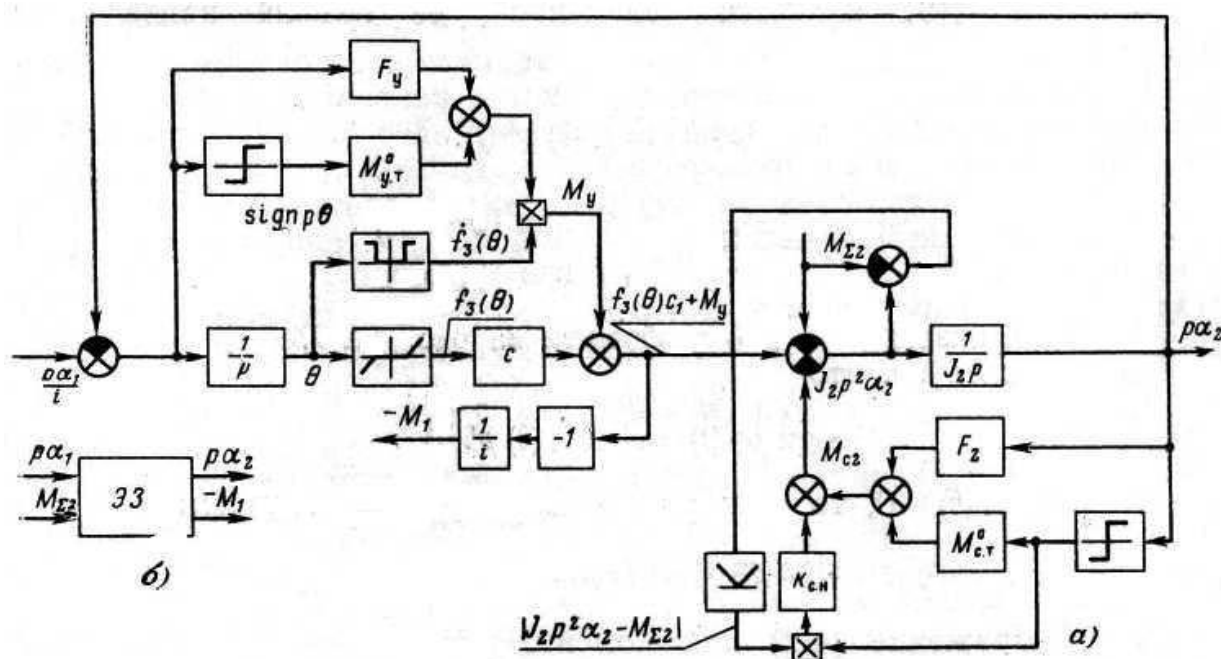


Рис.2.4

Такое представление звена удобно для сочленения моделей нескольких элементарных звеньев между собой и включения подобных моделей в

структурную схему СП.

В частном случае схема рис. 2.4 может быть приведена к структурной схеме, в которой зависимость между углами $\alpha_1(t)$ и $\alpha_2(t)$ характеризуется нелинейностью типа петли гистерезиса. Действительно, если не учитывать момент трения в упругом элементе ($M_y=0$), пренебречь моментом трения, пропорциональным передаваемому усилию ($k_{с.н}=0$) и моментом сухого трения ($M^{\circ с.т}=0$), а также пренебречь моментом инерции элементарного звена ($J_2=0$), то, перейдя от скоростей $\rho\alpha_1$ и $\rho\alpha_2$ к углам α_1 и α_2 , получим структурную схему элементарного звена механической передачи, представленную на рис. 2.5а. Нетрудно убедиться, что в этом случае при $s \rightarrow \infty$ зависимость между координатами элементарного звена α_1/i и α_2 может быть представлена гистерезисной характеристикой, изображенной на рис.2.5б

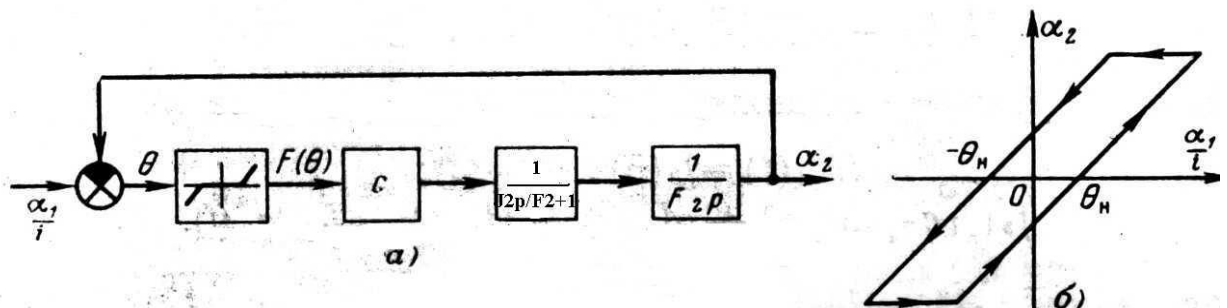


Рис.2.5

2.2.5. Создание отладочной модели

1. Создается отладочная схема (проект) (см. рис.2.6)

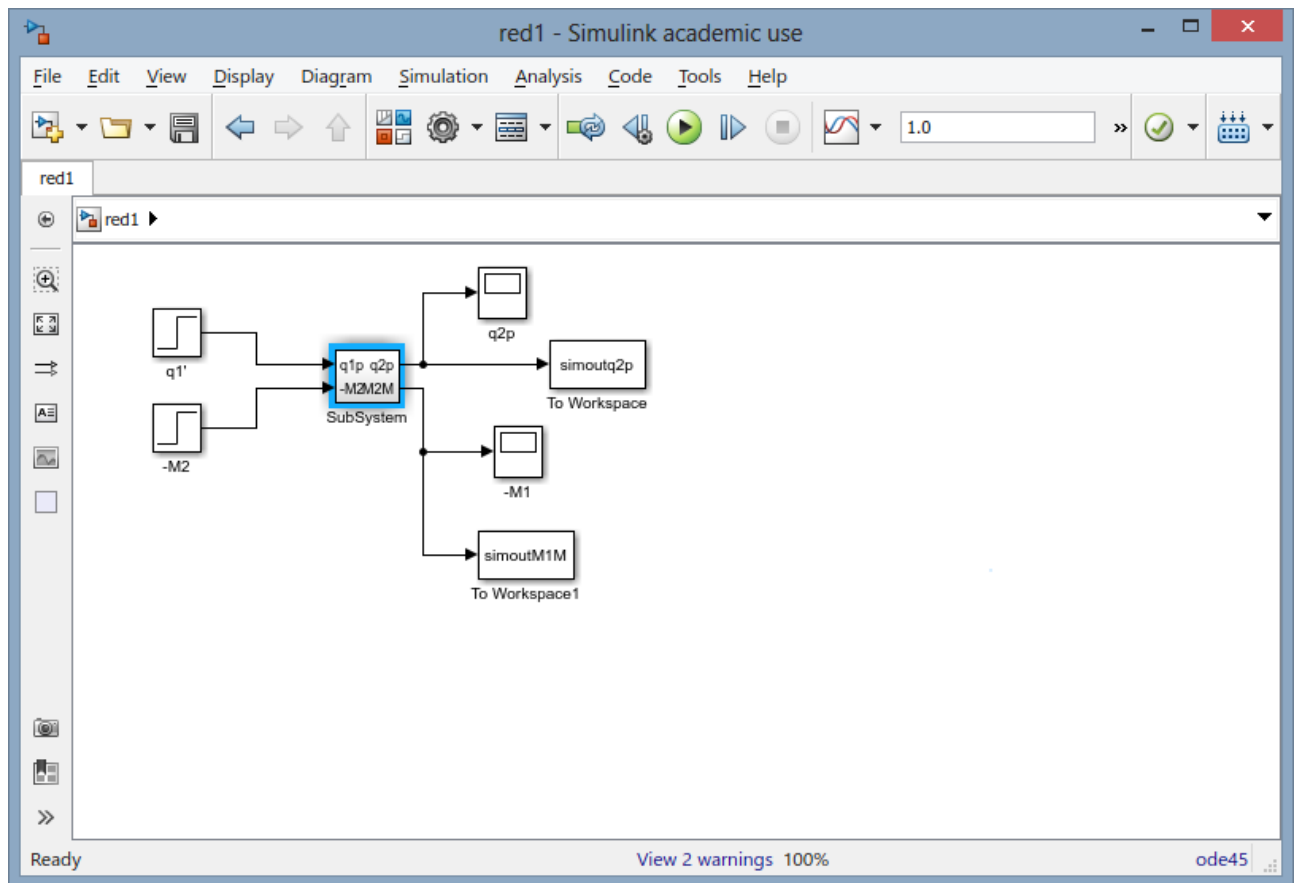
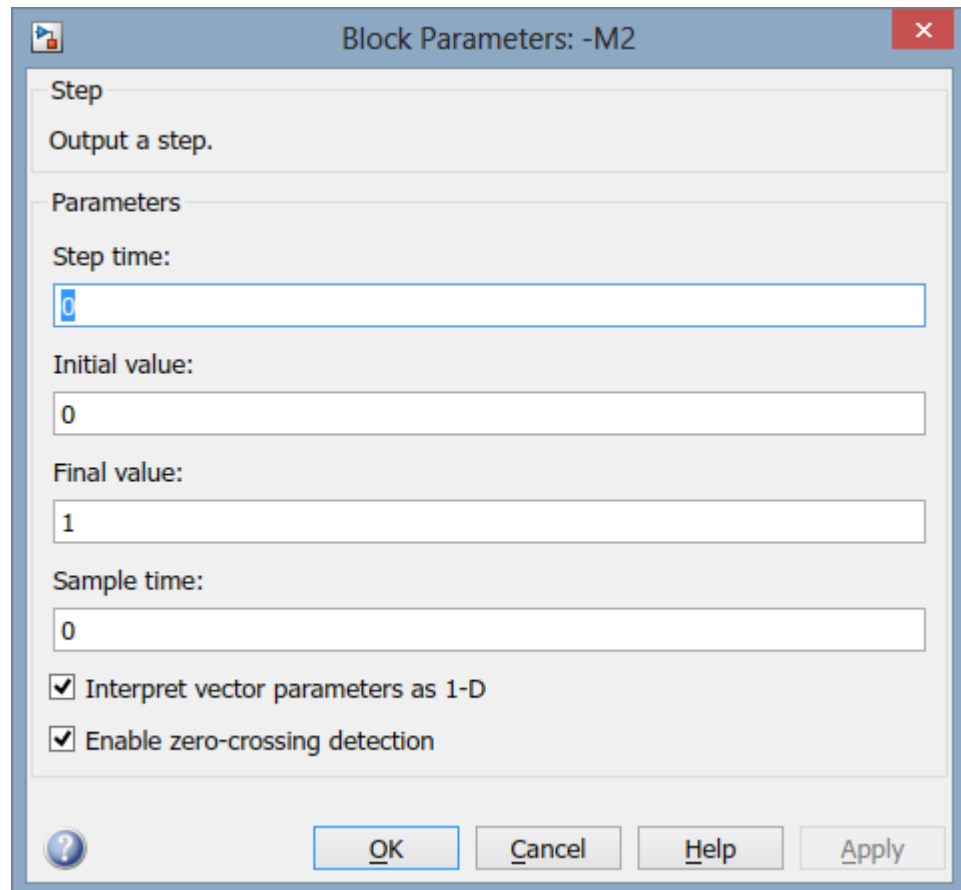


Рис.2.6.

The 'Block Parameters: q1'' dialog box is shown. It contains the following fields and options:

- Step**: Output a step.
- Parameters**:
 - Step time: 0
 - Initial value: 0
 - Final value: 1
 - Sample time: 0
- ☒ Interpret vector parameters as 1-D
- ☒ Enable zero-crossing detection

At the bottom, there are buttons for '?', 'OK', 'Cancel', 'Help', and 'Apply'.



2. Редуктор описывается субмоделью

Вставив блок этого типа, следует дать название блоку (см. рис.2.6), сохранить его в файле с расширением и двойным щелчком открыть блок для заполнения его схемы

1. Нанести порты входов и выходов модели в соответствии с рис. 2.7.

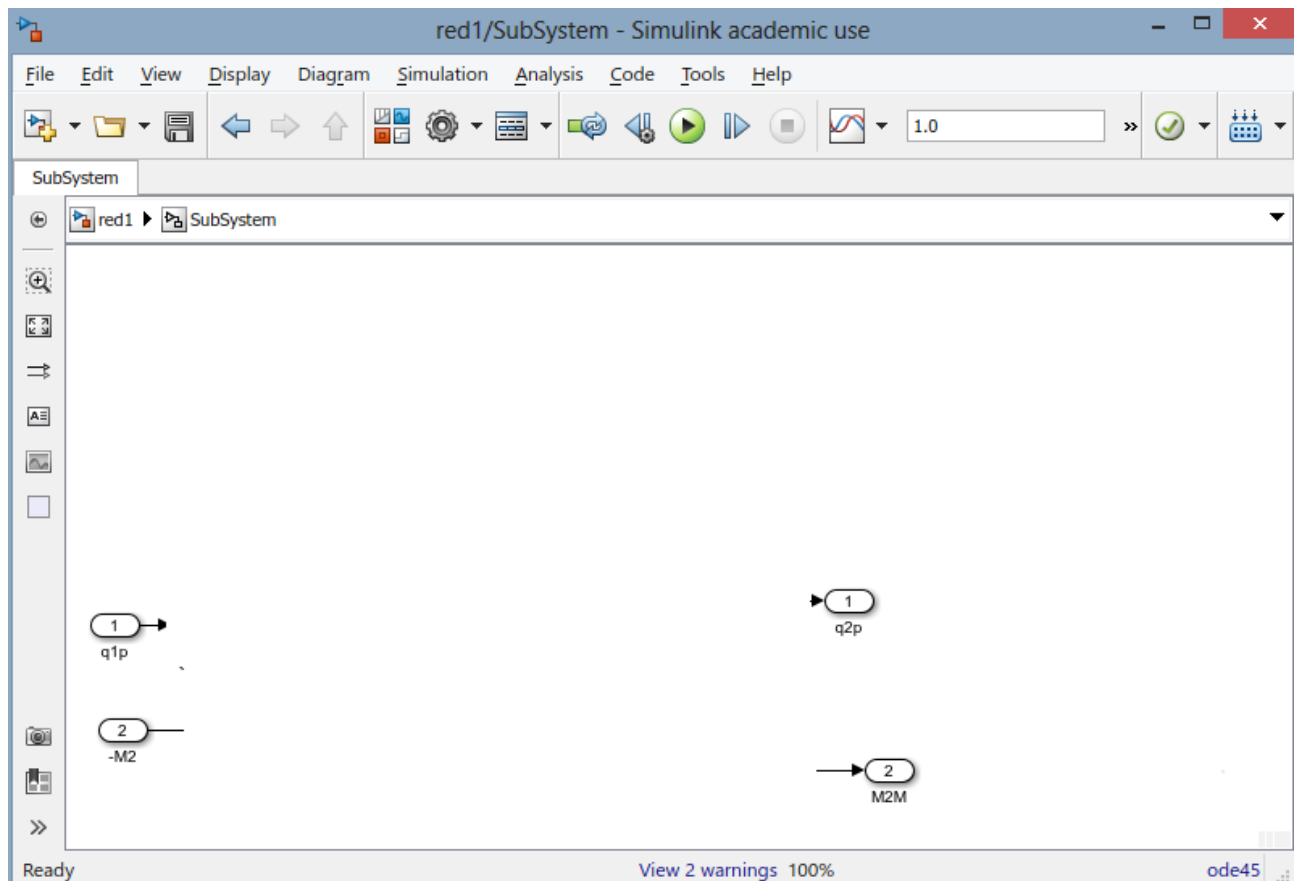


Рис.2.7.

2. Дополнить m- файл параметрами (см. рис.2.8)

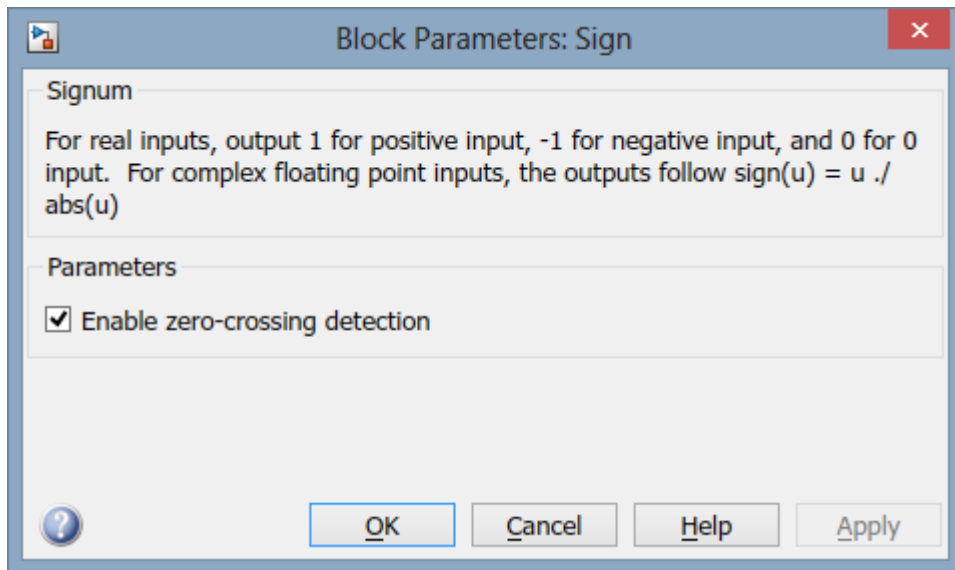
```
c=2000000;  
a=0.001;  
i=100;  
J=200;  
b=-a;  
n=1/i;  
kJ=1/J;  
F1=0;  
F2=0;  
G1=0;  
G2=0;  
G=0;
```

Рис.2.8.

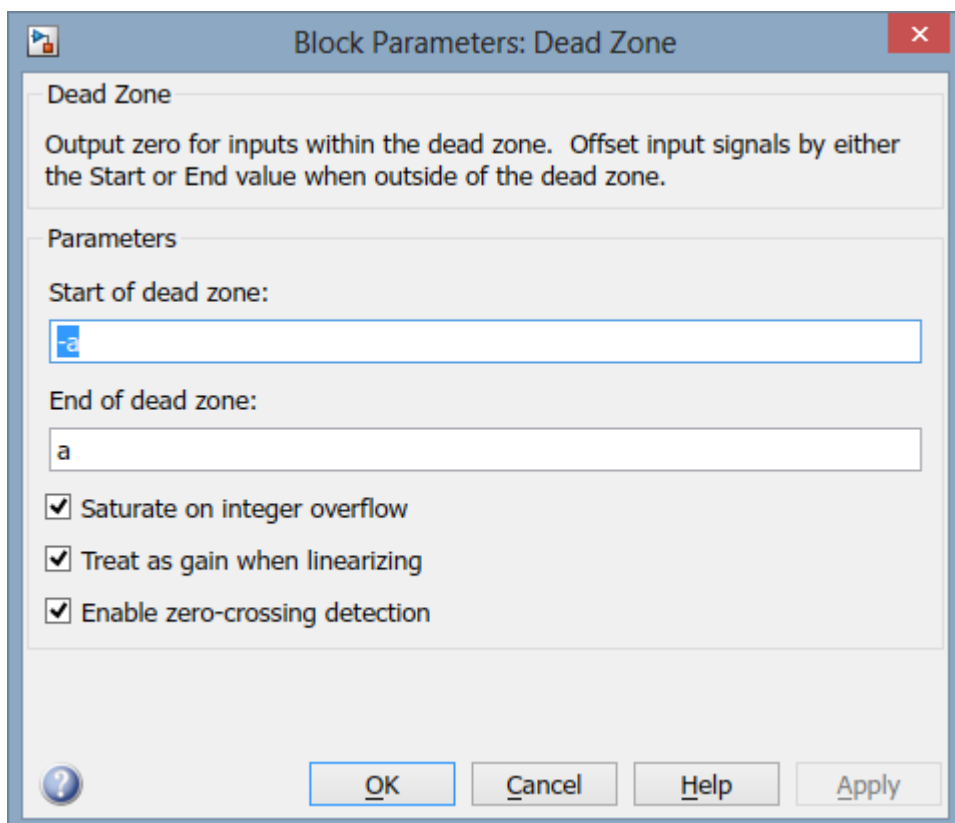
5. Построить схему в соответствии с уравнениями из описания редуктора (2.14)-(2.23), рис. 2.4 и таблицей обозначений табл. 2.1.

РЕКОМЕНДАЦИЯ

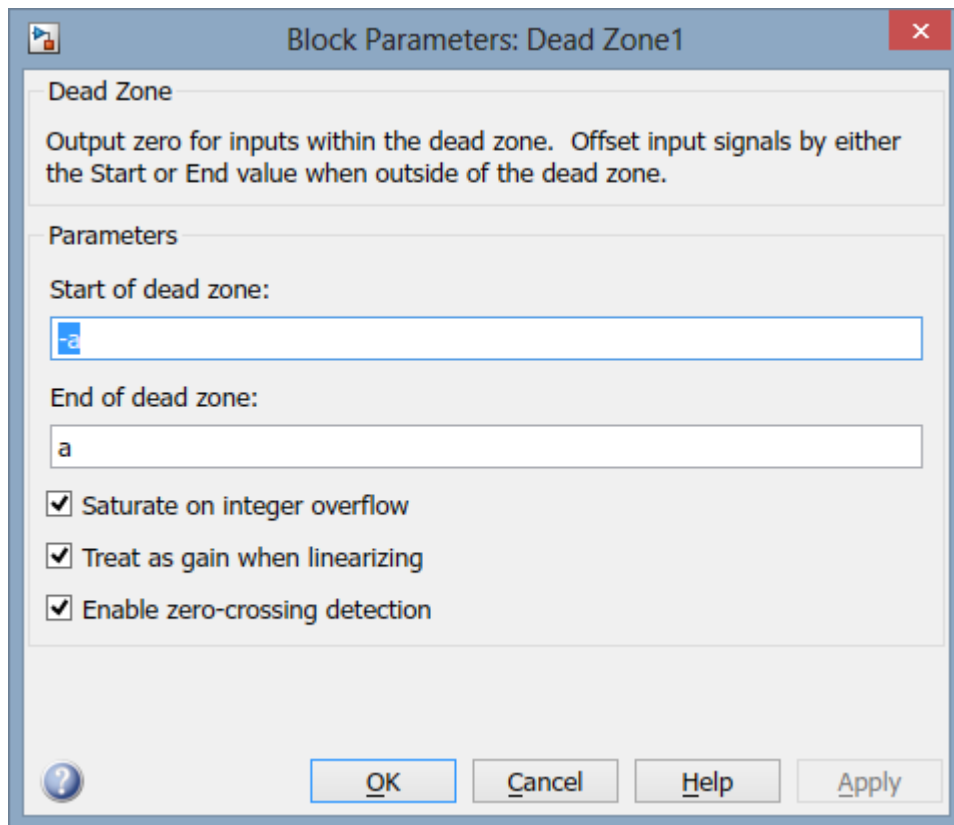
1. Для описания $\text{sign } p\alpha_2(t)$ в (2.15) и $\text{sign } p\varphi(t)$ из (2.16) использовать блок «*sign*»



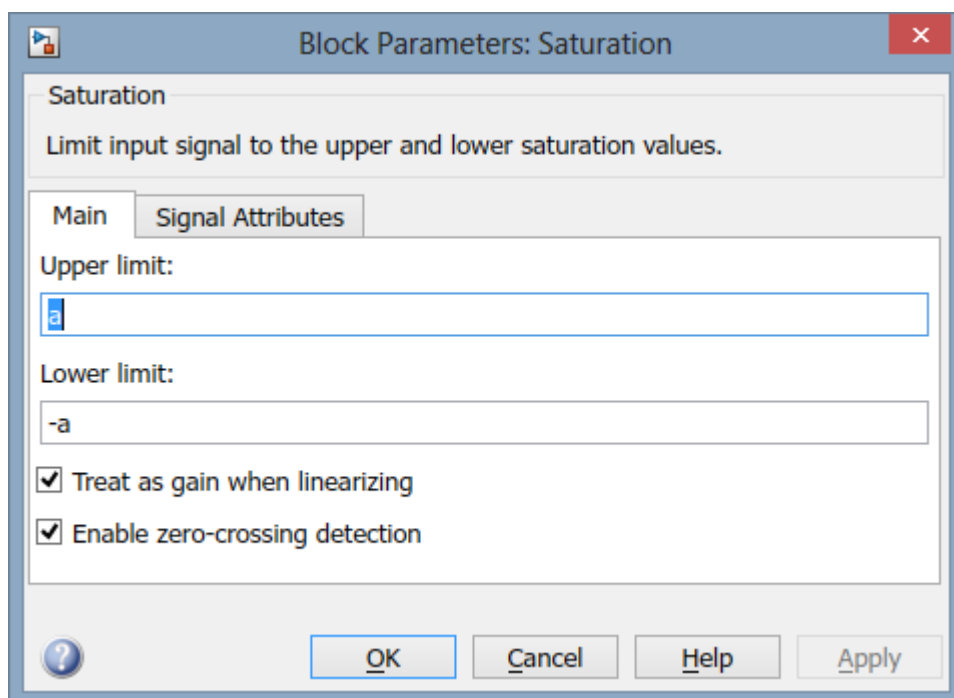
2. Для описания функции $f_3(\theta)$ из (2.19) использовать блок «*Линейное с зоной нечувствительности*» из библиотеки «*Нелинейные*»



3. Для описания функции $\dot{f}_3(\theta) = \frac{f_3(\theta)}{d\theta}$ из (2.20) следует использовать блоки



И



4. Схему немного упростить, взяв коэффициент $k_{c.H}=0$

Рекомендуемый вид схемы для моделирования представлен на рис. 2.9а.

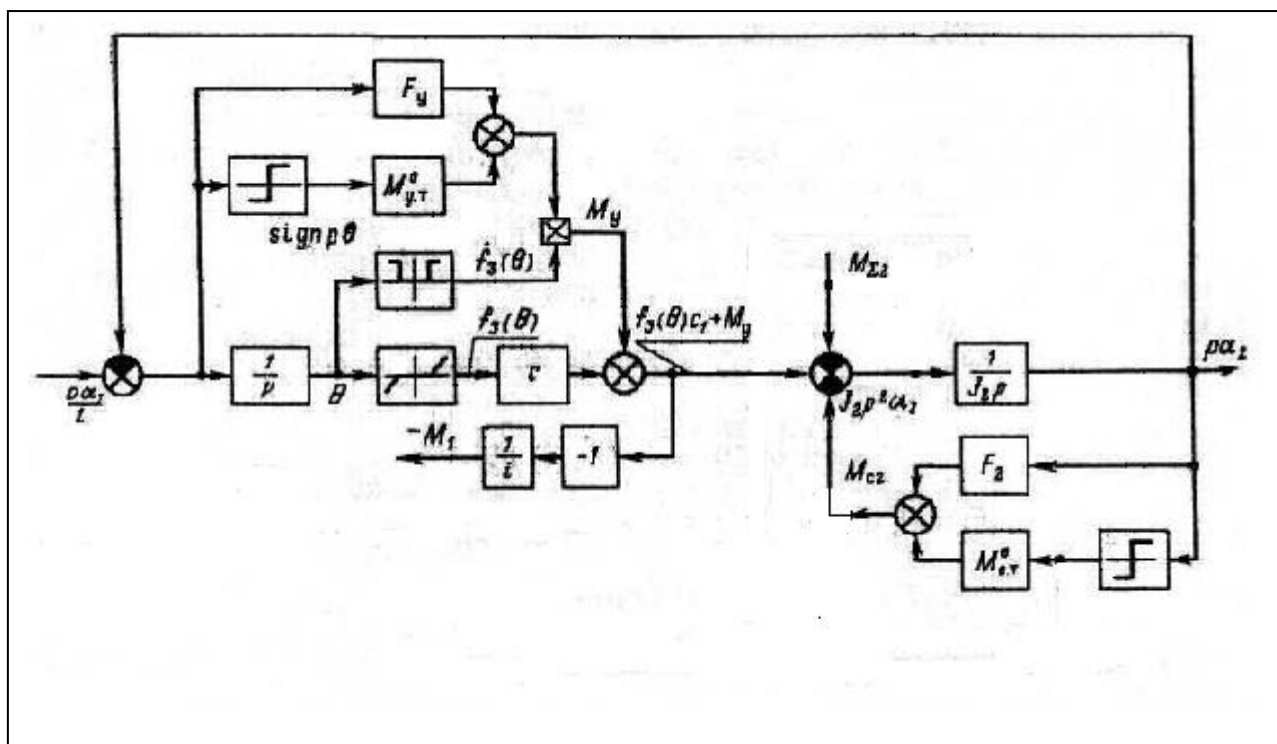


Рис.2.9а

Вариант набора схемы в SIMULINK представлен на рис. 2.9б

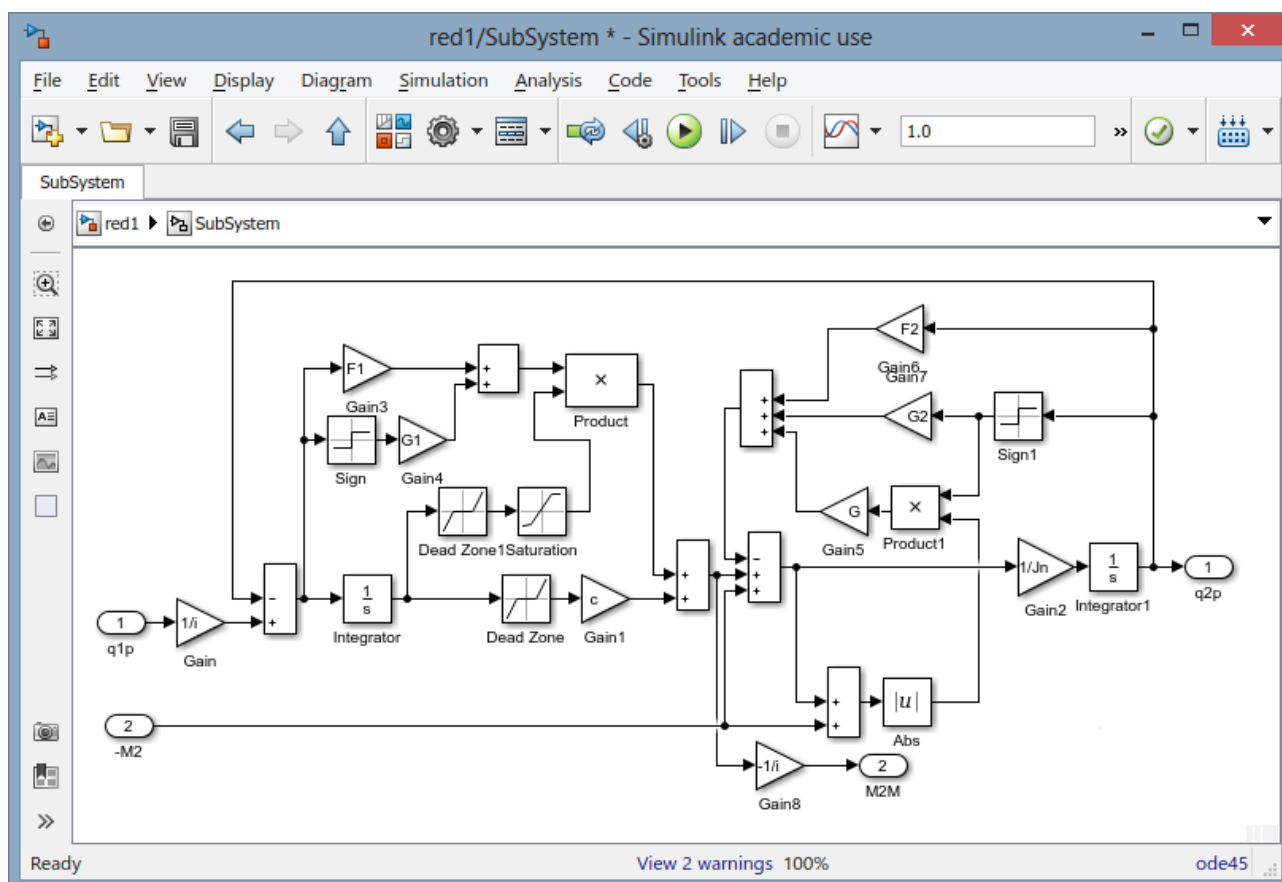


Рис.2.9б

6. Провести моделирование отладочной схемы редуктора и сравнить с тестами рис. 2.10.

Тесты к ч.2.2.

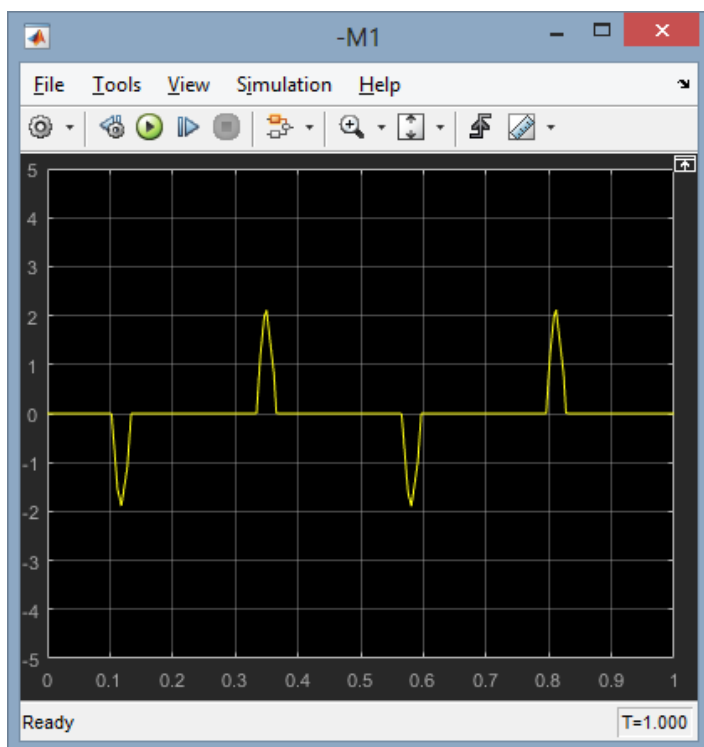
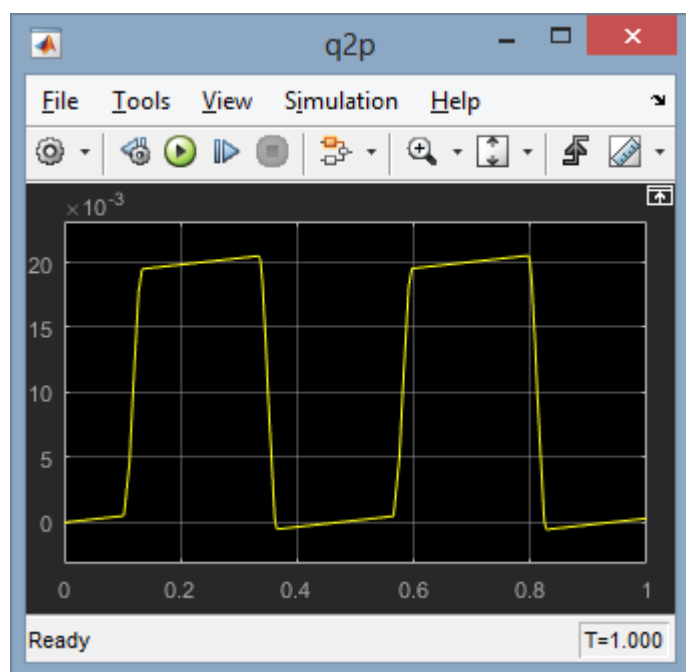


Рис.2.10

2.3. Последовательное и параллельное корректирующие устройства

2.3.1. Общая структура

Структурная схема последовательного и параллельного корректирующих устройств, часто использующихся в следящих приводах, приведена на следующем рисунке.

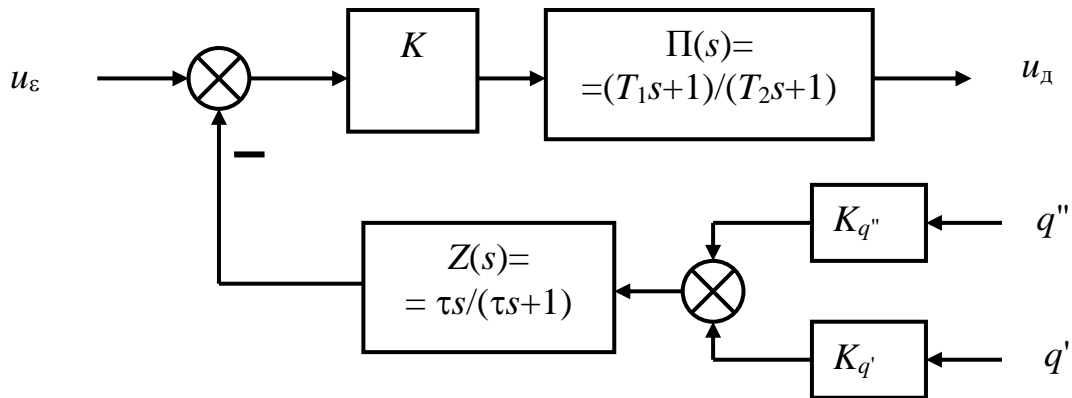


Рис.2.11.

Здесь приняты обозначения:

$\Pi(s)$ - передаточная функция последовательного корректирующего устройства,

T_1, T_2 - постоянные времени последовательного корректирующего устройства; $Z(s)$ - передаточная функция параллельного корректирующего устройства,

τ - постоянная времени параллельного корректирующего устройства;

K - коэффициент усиления в прямой цепи,

$K_{q'}$ - коэффициент усиления сигнала скорости,

$K_{q''}$ - коэффициент усиления сигнала ускорения,

u_ε - напряжение пропорциональное сигналу ошибки (или выход ПИД-регулятора),

u_d - управляющее напряжение двигателя.

2.3.2. Параметры схемы коррекции

Переменные и их рекомендуемые идентификаторы представлены в табл.

2.2

Табл.2.2

Имя в проекте	Переменная в описании	Определение	тип
q'д	q'	скорость вращения вала двигателя	Вход
ія	ія	ток якоря двигателя	Вход
П	$P(s)$	передаточная функция последовательного корректирующего устройства,	
bp1, ap1	T_1, T_2	постоянные времени последовательного корректирующего устройства;	параметр
К	$Z(s)$	передаточная функция параллельного корректирующего устройства,	
Ak1	τ	постоянная времени параллельного корректирующего устройства;	параметр
Kk	K	коэффициент усиления в прямой цепи,	параметр
Kс	$K_{q'}$	коэффициент усиления сигнала скорости,	параметр
Kі	$K_{q''} (K_{ія})$	Коэффициент усиления сигнала ускорения, (тока якоря)	параметр
u_eps	u_{ε}	напряжение пропорциональное сигналу ошибки (или выход ПИД-регулятора),	Вход
u_д	$u_{д}$	управляющее напряжение двигателя (прикладываемое к исполнительному двигателю)	Выход

2.3.3. Структурная схема

Для реализации используется *субмодель Коррекция Korr*

Описывает процессы в последовательном и параллельном корректирующих устройствах с передаточными функциями: $P(s), K(s)$

Отладочная схема представлена на рис.2.12

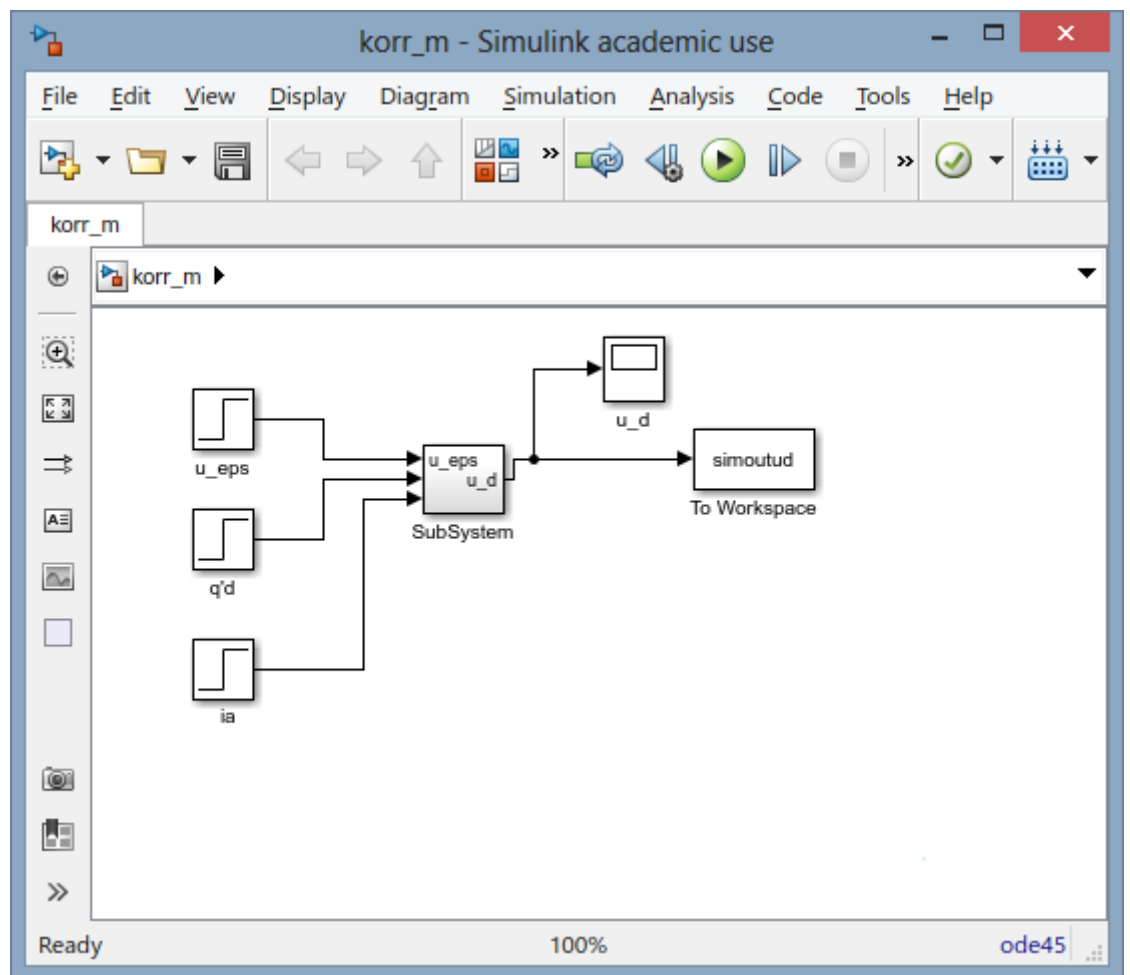


Рис.2.12

Содержимое представлено на рис.2.13

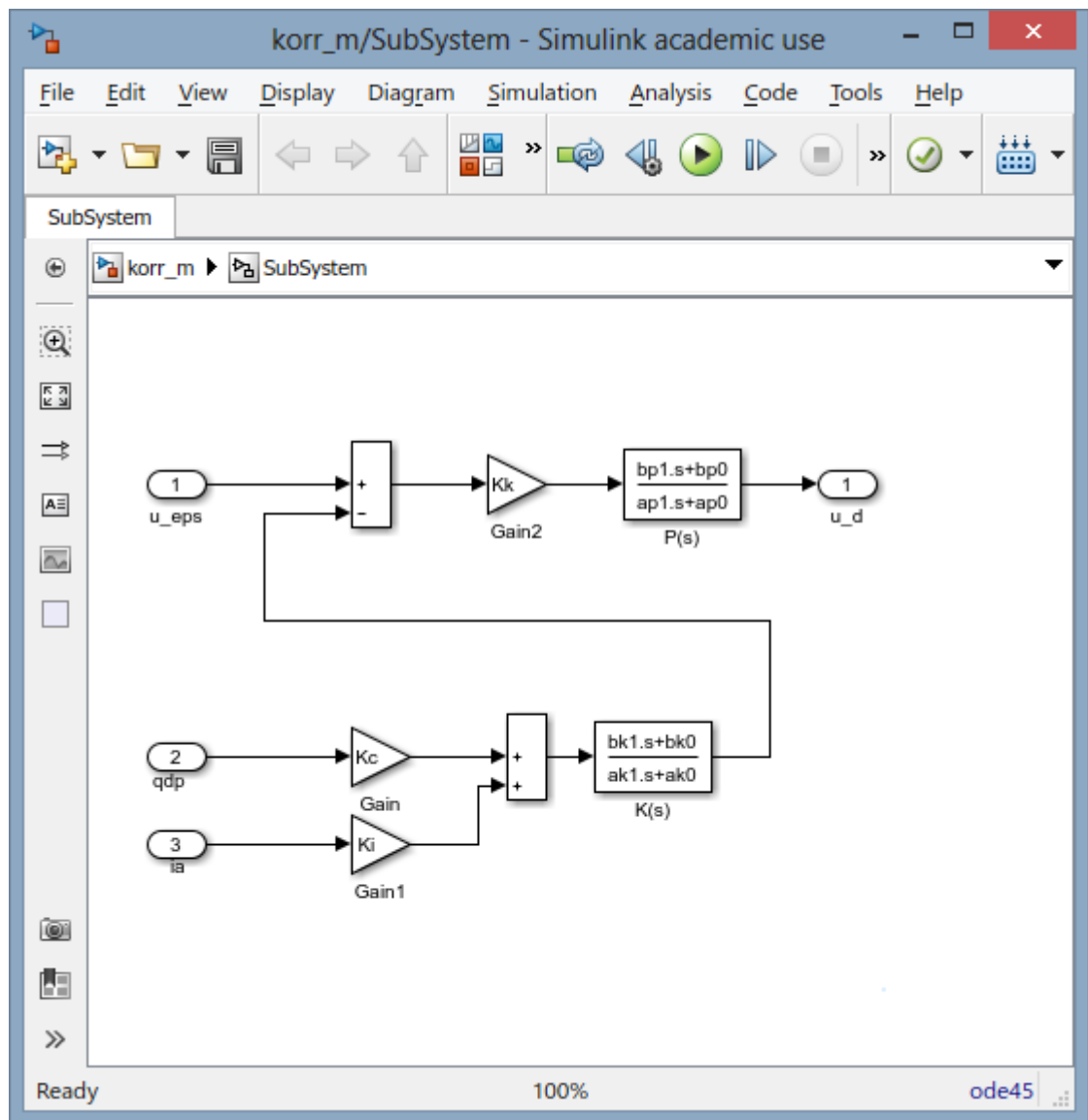


Рис.2.13

На первом сверху сумматоре выполняется сложение сигнала ошибки u_{eps} (возможно, предварительно преобразованное ПИД-регулятором) и сигнала с выхода параллельного корректирующего устройства (со знаком минус).

Далее полученный сигнал усиливается в K_k раз и подается на вход последовательного корректирующего устройства.

Входом параллельного корректирующего устройства служит взвешенная сумма сигналов пропорциональных скорости вращения вала двигателя $q'd$ и тока якоря двигателя ia с коэффициентами K_c и K_i соответственно.

Передаточные функции последовательного и параллельного устройства записываются с помощью параметров bp0, bp1, ap0, ap1, bk0, bk1, ak0, ak1.

$$\Pi(s)=(bp0+bp1*s)/(ap0+ap1*s), \quad K(s)=(bk0+bk1*s)/(ak0+ak1*s).$$

Указанные параметры задаются через идентификаторы, описываемые в Дополнении к файлу параметров, как показано на рис.2.14

```
%KORR1  
Kk=225  
Kc=0.0015  
Ki=0.0003  
bk0=0  
bk1=0.5  
ak0=1  
ak1=0.5  
bp0=1  
bp1=0.001  
ap0=1  
ap1=0.1
```

Рис.2.14

Все 3 задающие воздействия (ступеньки) – единичные!

Результаты тестового моделирования приведены на рис. 2.15

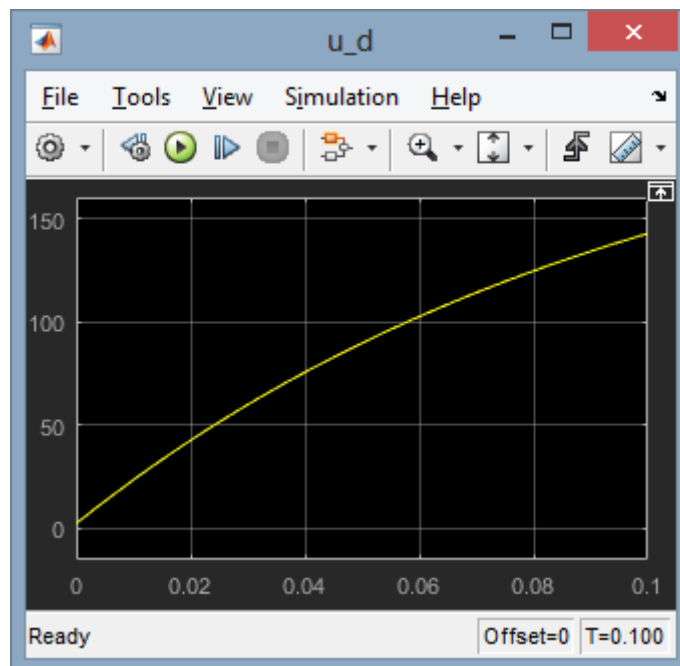


Рис.2.15

2.4. Субмодель "ПИД-регулятор".

Субмодель реализует передаточную функцию $W(s)=K(1+K_{\text{и}}/s+K_{\text{д}}s)$.

Отладочная модель показана на рис. 2.16, а структура субмодели "ПИД-регулятор" представлена на рис.2.17:

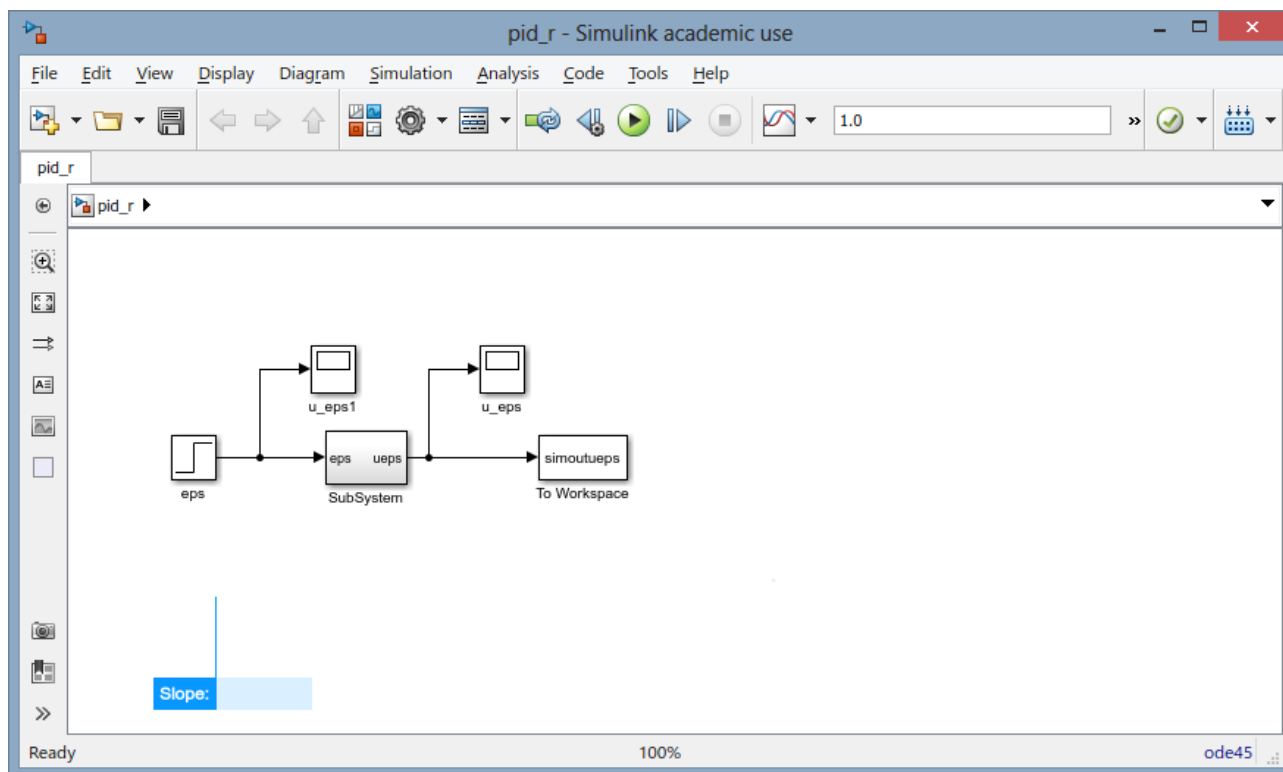


Рис.2.16

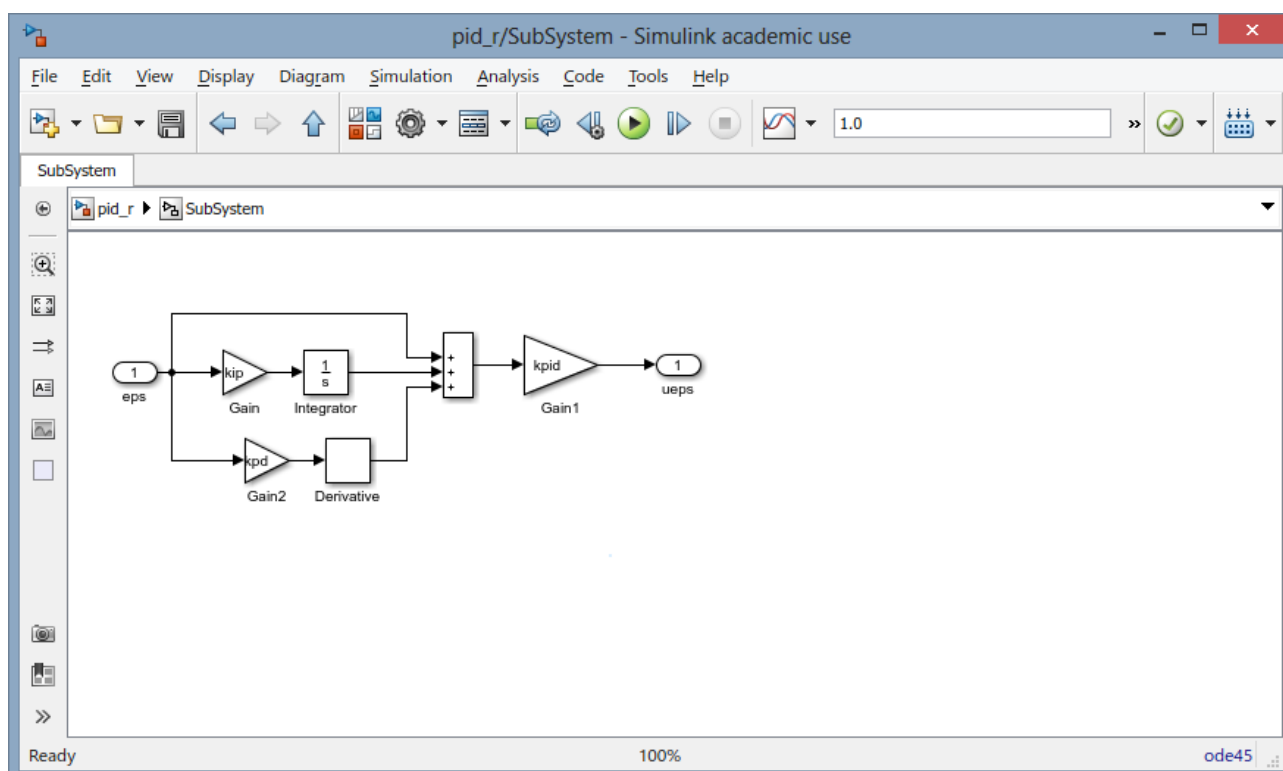


Рис.2.17

Параметры субмодели:

$K=k_{pid}$ - общий коэффициент усиления,

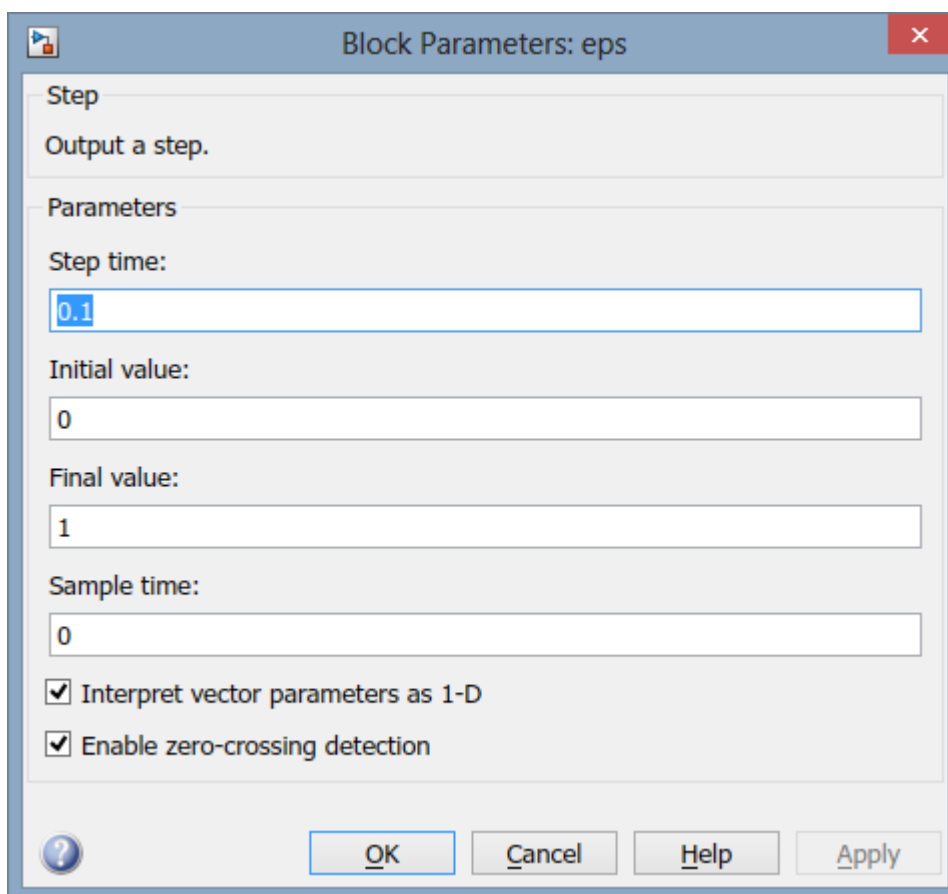
$K_i=k_{ip}$ - коэффициент усиления интегратора,

$K_d=k_{dp}$ - коэффициент усиления дифференциатора.

Далее приводятся тестовые значения:

$k_{ip}=1$; $k_{dp}=0$; $k_{pid}=0.1$;

и тестовый график для входного воздействия ϵ_{ps} с параметрами



(рис.2.18)

Тесты к 2.4.

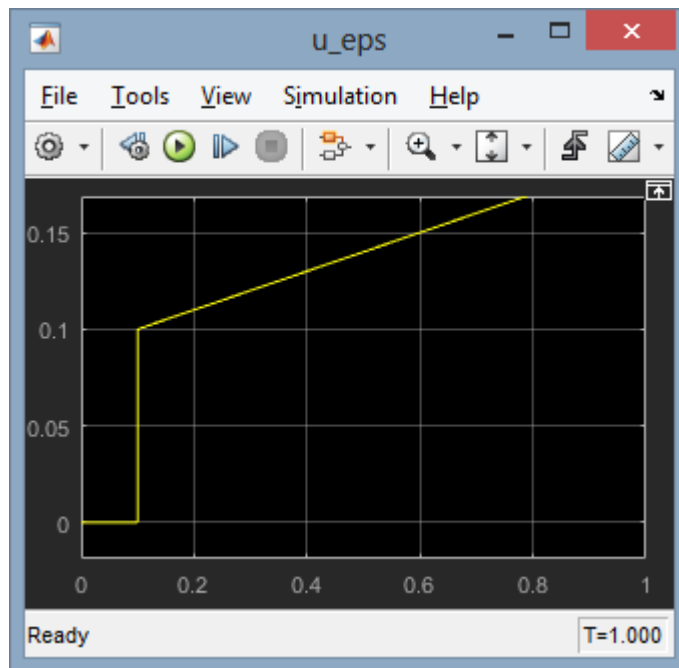


Рис.2.18

3. Общая схема следящего привода

Общая схема соответствует функциональной схеме рис.2.1 и представлена на рис.2.19.

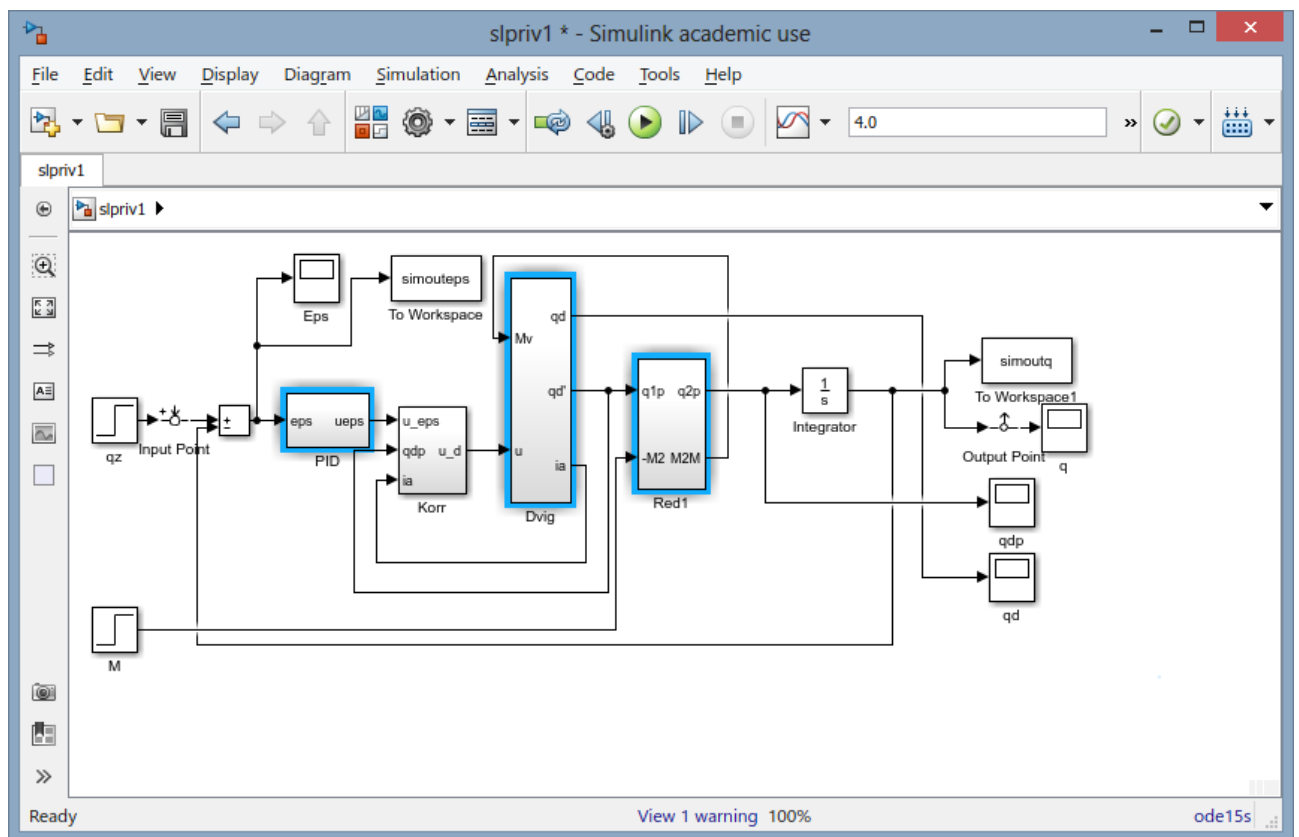


Рис.2.19

Из набранных ранее субмоделей собрать готовую модель. Особенность собранной модели – в дополнении согласующего коэффициента (-1) между редуктором и двигателем. Это необходимо, т.к. выход редуктора по моменту идет с минусом (см. рис. 2.9б) и провести ее моделирование при задающих воздействиях $q_{зад} = 0.1$; $M = 0$. и следующих параметрах (рис.2.20):

Block Parameters: qz

Step

Output a step.

Parameters

Step time:

0

Initial value:

0

Final value:

0.1

Sample time:

0

☒ Interpret vector parameters as 1-D

☒ Enable zero-crossing detection

? OK Cancel Help Apply

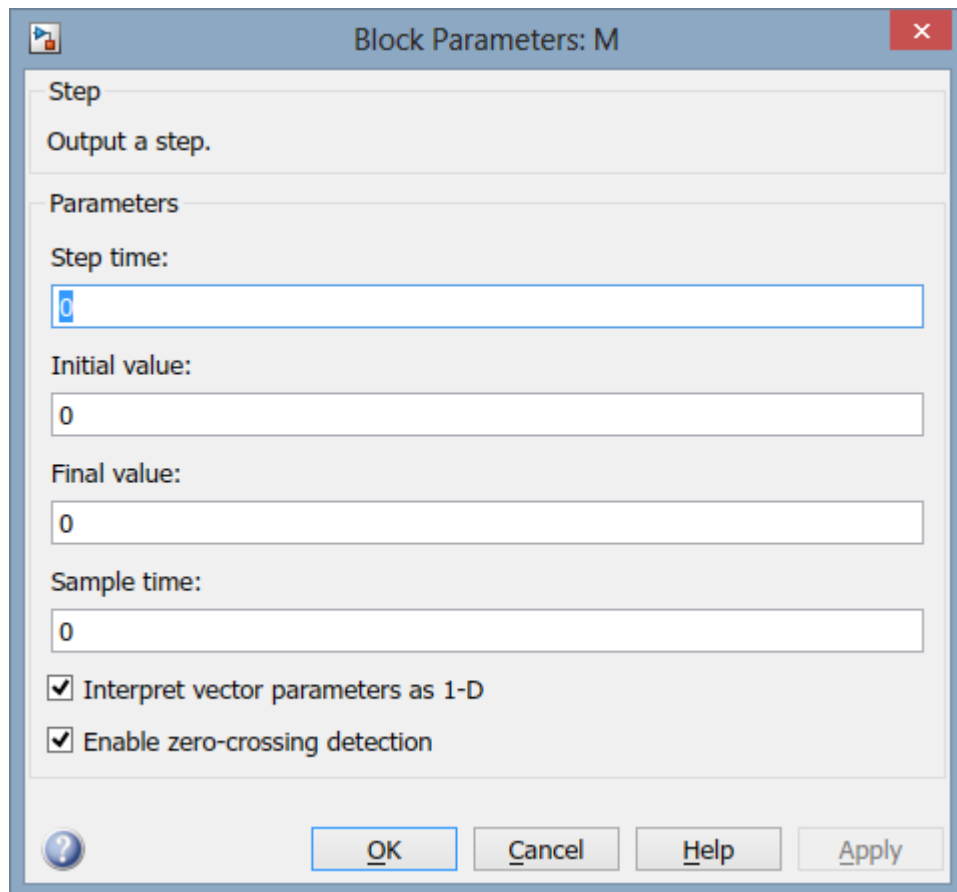


Рис.2.20

Проверить параметры субмоделей:

Двигатель

$k_m=0.36$; $k_v=0.45$; $R=0.5$; $L=0.01$; $J_d=0.04$; $k_2=1/J_d$; $k_1=1/R$; $T=L/R$;

Коррекция

$k_k=22500$; $k_c=0.0015$; $k_i=0.0003$; $b_{k0}=0$; $b_{k1}=0.5$;

$a_{k0}=1$; $a_{k1}=0.5$; $b_{p0}=1$; $b_{p1}=0.001$; $a_{p0}=1$; $a_{p1}=0.001$;

ПИД-регулятор

$k_{ip}=0$; $k_{dp}=0$; $k_{pid}=1$;

Редуктор

$c=2000000$; $a=0.001$; $i=100$; $J=200$; $b=-a$; $n=1/i$; $k_J=1/J$;

$F_1=0$; $F_2=0$; $G_1=0$; $G_2=0$;

```
%DVIg
km=0.36; %Km
kv=0.45; %Kc
R=0.5;
L=0.01;
J=0.04; %Jd
k2=1/J; %1/Jd
```

```

k1=1/R;
T=L/R;
%RED1
c=2000000
a=0.001
i=100
Jn=200
b=-a
n=1/i
kJ=1/Jn
F1=0
F2=0
G1=0
G2=0
G=0
%KORR1
Kk=22500
Kc=0.0015
Ki=0.0003
bk0=0
bk1=0.5
ak0=1
ak1=0.5
bp0=1
bp1=0.001
ap0=1
ap1=0.001
%PID
kip=0
kpd=0
kp=1
kp1d=1

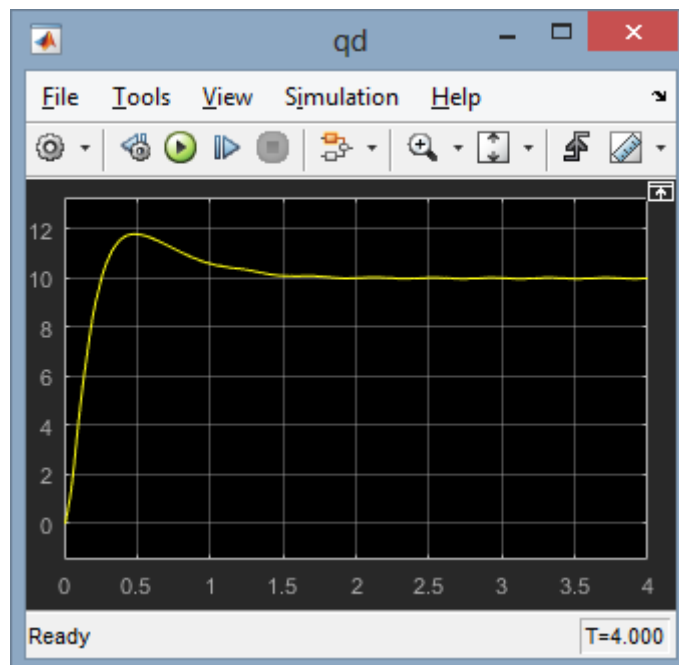
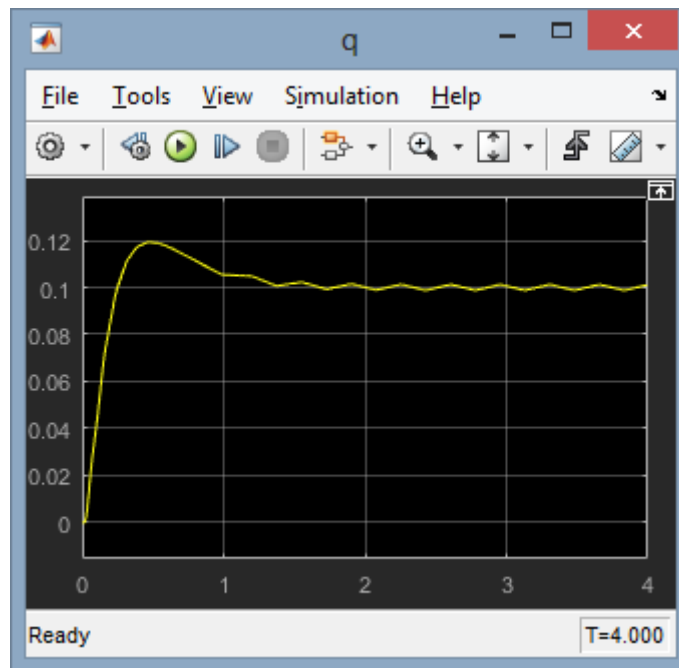
a32=-kv/L; a23=km/J; a33=-R/L;
b31=1/L; b22=-1/J;
A=[0 1 0
    0 0 a23
    0 a32 a33]
B=[0 0
    0 b22
    b31 0]
C=eye(3)
D=zeros(3,2)

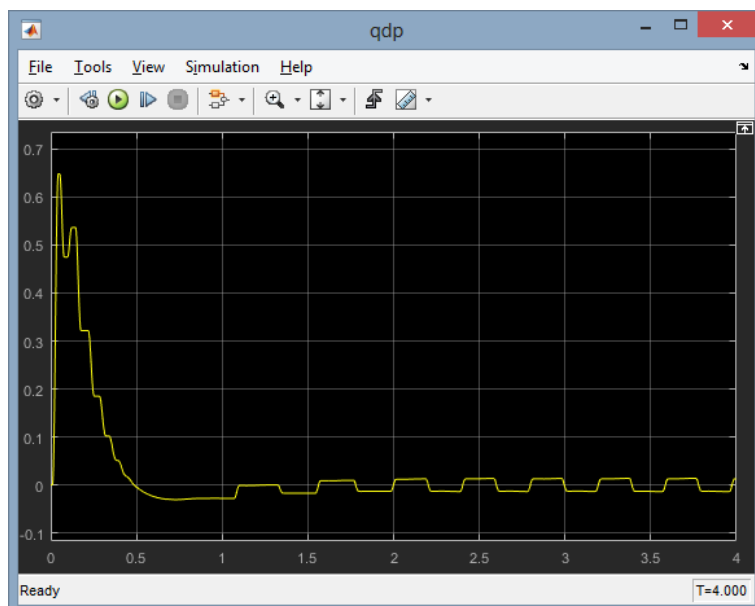
```

Тесты к ч.3.

Контрольные значения на времени 4
 $q=0.09905$; $q_d=9.992$; $q'_d=0.01302$

Образцы графика:





4. Индивидуальное задание и формы отчетности

Составить схемы по п. 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 3 (всего 5, включая схему из 1 лабораторной работы)

В отчете привести схемы, привести результаты моделирования по заданным параметрам (Единое задание для всех).

Графики в отчете ДОЛЖНЫ иметь заголовки НОМЕРА ГРУППЫ И ФАМИЛИИ СТУДЕНТА (АНГЛИЙСКАЯ ТРАНСКРИПЦИЯ)