

# Программный комплекс научных расчетов Matlab и его подсистема Simulink, как средство исследования объектов электромеханики и мехатроники

## Контрольная работа № 1 Изучение принципов математического моделирования динамических систем в среде MatLab

**Цель контрольной работы:** изучение основных возможностей системы *Matlab* и ее подсистемы *Simulink*, как эффективного средства математического моделирования и исследования электромеханических и мехатронных систем.

### *Задачи контрольной работы*

- ознакомление с системой *Matlab* и системой визуального моделирования *Simulink*;
- приобретение навыков работы в среде *Matlab* и изучение основных команд;
- приобретение навыков работы с основными блоками системы *Simulink* при исследовании электромеханических устройств и систем.

### *Порядок выполнения лабораторной работы*

1. Запустите Matlab. При этом открывается пользовательский интерфейс, открывающий доступ к главному окну, в котором имеется доступ к меню и кнопке **Start**, при помощи которой можно запускать установленные приложения *Matlab*. В главном окне “по умолчанию” размещены рабочие окна: *Command Window*, *Workspace* и *Command History*.

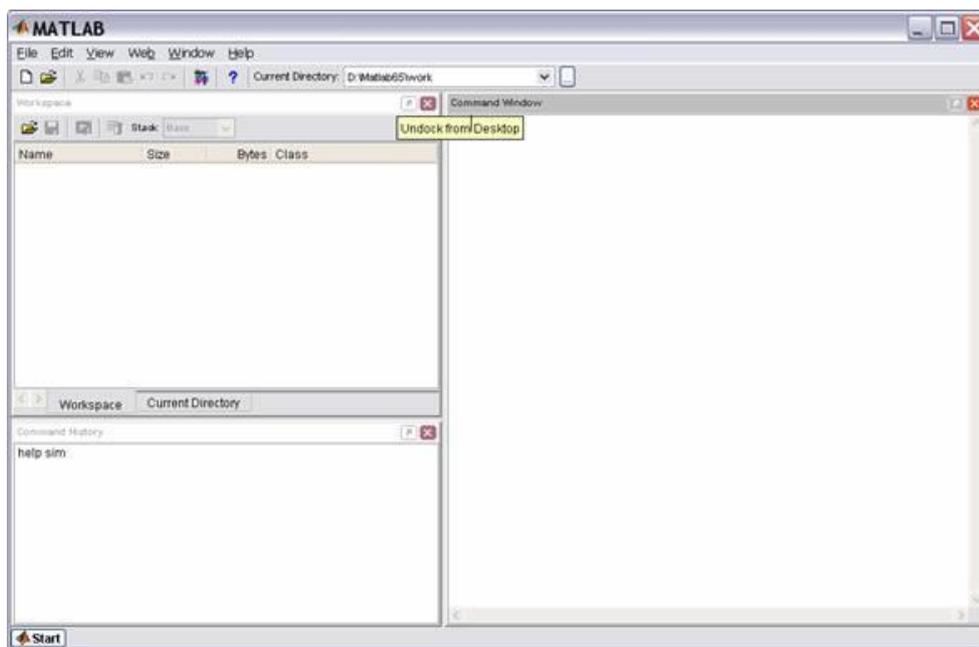


Рис.1

Окно **Command Window** – предназначено для ввода команд пользователя и получения ответа от системы. В этом окне создается программа пользователя.

Окно **Workspace** – содержит рабочие массивы.

Окно **Command History** – хранит историю команд.

Используя команды меню **View** и **File-Preferences**, пользователь может изменить настройки интерфейса установленные по умолчанию, или сохранившиеся от предыдущей сессии.

2. Для создания модели исследуемой системы введите команду **File-New-Model**. При этом откроется новое окно с именем **untitled**, в котором пользователь может создать структуру исследуемой системы из типовых блоков, хранящихся в библиотеках.

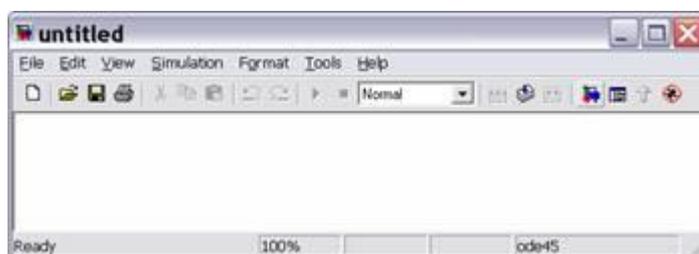


Рис.2

Доступ к библиотекам открывается из меню главного окна, или окна проекта пользователя при помощи команды **View-Library-Browser** (удобно воспользоваться кнопкой на панели).

Окно *Simulink Library Browser*, содержит перечень основных разделов библиотеки, каждый из которых содержит вложенные подразделы, соответствующей тематики.

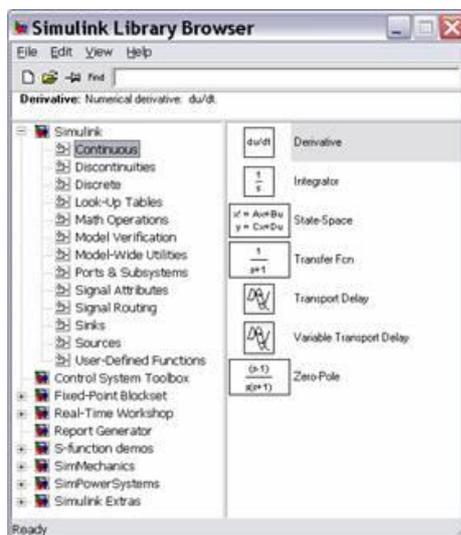


Рис.3

3. Раскройте поочередно каждый из подразделов библиотеки *Simulink*, изучите их состав и отразите его в отчете.

Подраздел	Содержание
<i>Continuous</i>	блоки для моделирования линейных звеньев;
<i>Discontinuous</i>	блоки для моделирования нелинейных звеньев;
<i>Discrete</i>	блоки для моделирования дискретных систем;
<i>Look-Up Tables</i>	блоки для моделирования различных функциональных преобразований;
<i>Math Operations</i>	математические блоки;
<i>Model Verification</i>	блоки для проверки правильности модели;
<i>Model-Wide Utilities</i>	специальные блоки для дополнительной информации о модели;
<i>Port &amp; Subsystems</i>	специальные блоки для работы с большими проектами;
<i>Signal Attributes</i>	обработка входных сигналов;
<i>Signal Routing</i>	сигнальные шины, мультиплексоры, демультиплексоры и пр;
<i>Sinks</i>	блоки для регистрации процессов;
<i>Sources</i>	блоки для моделирования источников сигналов;
<i>User-Defined Function</i>	блоки определенные пользователем.

4. Пользуясь модулями, имеющимися в разделах библиотеки *Simulink*, подготовьте модель устройства, выполняющего интегрирование суммы постоянного и гармонического сигналов.

Для этого «перетащите» с помощью мыши нужные модули в рабочее окно, обозначенное *untitled*. Присвойте имя Вашей программной модели и сохраните ее.

5. Откройте раздел меню *Simulation* и подраздел *Parameters*. Установите значения параметров моделирования. Введите время моделирования. За этот период должны завершиться переходные процессы в исследуемой системе.

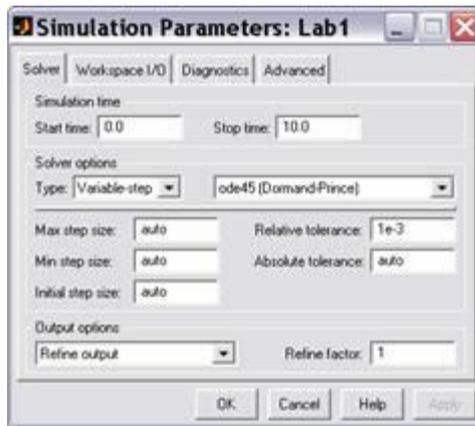
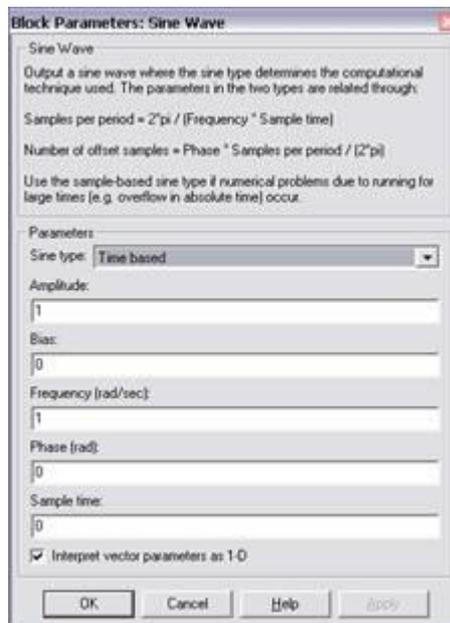
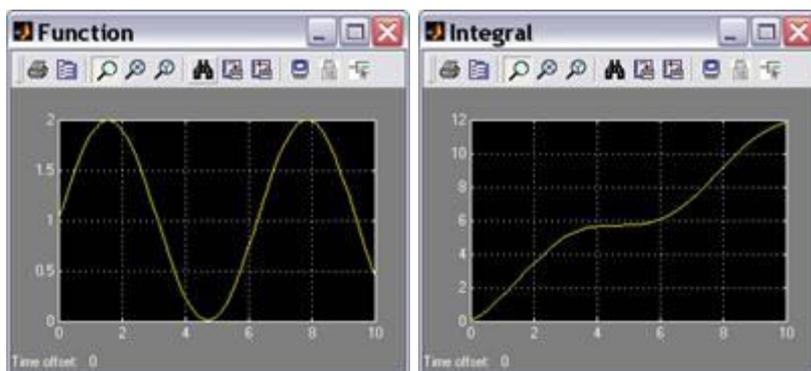


Рис.5

6. Выделив на модели блок *Sine Wave* щелкните правую кнопку мыши и установите единичные амплитуду и частоту параметров сигнала блока (*Block Parameters*).



7. Нажав кнопку **Start**, промоделируйте процессы в исследуемой системе и просмотрите графики изменения контролируемых переменных.
8. Выберите масштабы просмотра полученных кривых на *Function* и *Integral* (удобно использовать кнопку *Autoscale*).



9. Зафиксируйте графики в отчете, проанализируйте и объясните поведение моделируемой системы.
10. Для получения более подробных представлений о возможностях системы визуального моделирования *Simulink*, введите команду **demo** из основного окна *Matlab*.
11. В разделе *Simulink-General* найдите и откройте модель движения прыгающего шара (*Tracking a bouncing ball*). Нажмите кнопку *Open This model ...*

Динамики этой системы описывается дифференциальными уравнениями:

$$\dot{v} = -g, \quad \dot{h} = v.$$

На высоте  $h = 0$  находится преграда, ударяясь о которую шар изменяет знак скорости на обратный, а ее величина изменяется в  $k$  раз ( $k$  - коэффициент упругости удара  $0 \leq k \leq 1$ ).

12. Изучите состав блоков, используемых для моделирования этой системы, и связи между ними.
13. Нажмите кнопку *Start Simulation*. Зарисуйте и объясните результаты моделирования для значений  $k = -0.5, -0.75, -0.95, -1$ .
14. Откройте новое окно для программы моделирования. Сформируйте модель, позволяющую изучить процесс изменения тока в якорной цепи двигателя постоянного тока при неподвижном вале двигателя. Этот процесс описывается дифференциальным уравнением:

$$L_{\alpha} \frac{dI_{\alpha}}{dt} = U_{\alpha} - R_{\alpha} I_{\alpha},$$

где  $I_{\alpha}$  – ток якоря;  $U_{\alpha}$  – напряжение, подводимое к якорю двигателя;  $R_{\alpha}$  и  $L_{\alpha}$  – активное сопротивление и индуктивность якорной цепи. Значения параметров **ВАШЕГО ВАРИАНТА ЗАДАНИЯ** приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ вар	Uя, В	Rя, Ом	Ля, Гн
1	10	2	0,020
2	20	5	0,100
3	30	3	0,003
4	50	10	0,010
5	100	4	0,200
6	200	20	0,100
7	100	2	0,020
8	50	3	0,100
9	30	4	0,003
10	20	10	0,010

15. Установите значения параметров процесса моделирования (*Simulation – Parameters*) в окне создаваемой модели.

Общее время моделирования рекомендуется принимать равным  $4T_э$ , где  $T_э$  - электромагнитная постоянная времени якорной цепи двигателя. Поэтому необходимо предварительно вычислить и привести в отчете значения электромагнитной постоянной времени.

16. Проведите моделирование, зафиксируйте и объясните результаты.

17. Повторите предыдущие действия с моделью звена второго порядка, имеющего передаточную функцию:

$$W(s) = \frac{K}{T^2 s^2 + 2\xi T s + 1},$$

где  $K$  - коэффициент передачи,  $T$  - постоянная времени звена и  $\xi$  - коэффициент относительного демпфирования. Значения параметров приведены в табл.2.

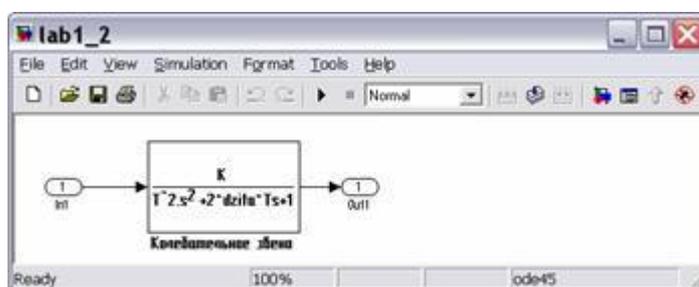


Таблица 2

№ вар.	K	T, с	ξ
1	1	2	0,1
2	2	0,5	0,5
3	5	0,03	1
4	10	10	0,01

5	0,1	0,01	0,05
6	0,3	1	0,25
7	1	0,01	0,1
8	2	0,03	0,5
9	5	0,5	1
10	10	2	0,05

При моделировании звена второго порядка рекомендуется использовать блок *Transfer Fcn* из раздела библиотеки *Continuous*. Раскройте панель установки параметров этого блока, которая имеет следующий вид:

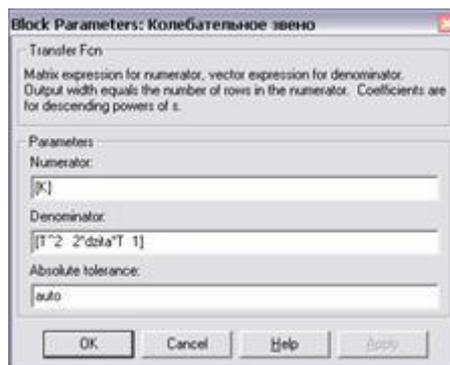


Рис. 7

Для его настройки необходимо изменить значения параметров, стоящих в разделах *Numerator* (коэффициенты в числителе передаточной функции) и *Denominator* (коэффициенты в знаменателе передаточной функции).

В числитель записывается значение коэффициента  $K$ , а знаменатель должен содержать значения коэффициентов:  $T^2$ ,  $2\xi T$  и  $1$ .

18. Для построения из структурной схемы математической модели, удобной для построения графиков переходных функций и частотных характеристик выполните в *Command Window* следующую программу:

*% Параметры колебательного звена*

```
K=1; T=1; dzita=0.2;
```

*% Построение математических моделей (sis\_) из структурной схемы 'lab1\_2'*

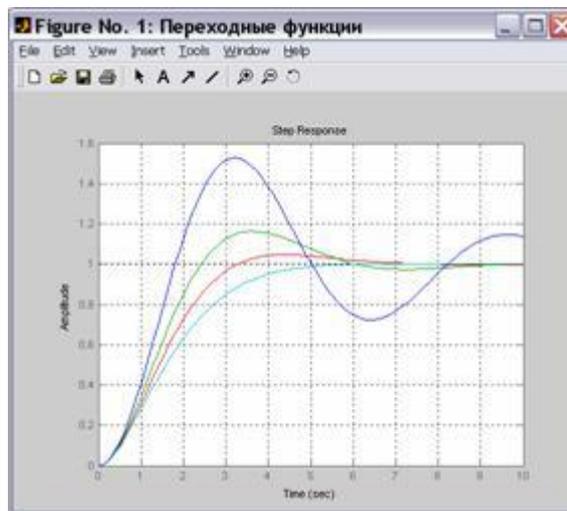
```
dzita=0.2; [a,b,c,d]=linmod('lab1_2'); sys1=ss(a, b, c, d);
dzita=0.5; [a,b,c,d]=linmod('lab1_2'); sys2=ss(a, b, c, d);
dzita=0.7; [a,b,c,d]=linmod('lab1_2'); sys3=ss(a, b, c, d);
dzita=0.9; [a,b,c,d]=linmod('lab1_2'); sys4=ss(a, b, c, d);
```

19. Постройте переходные функции исследуемой системы.

Для построения удобно воспользоваться функцией *step*.

### % Построение переходные функции

```
figure(1); set(1,'Name', 'Переходные функции');  
time=10;  
step (sys1(1,1), sys2(1,1), sys3(1,1), sys4(1,1), time), grid;
```

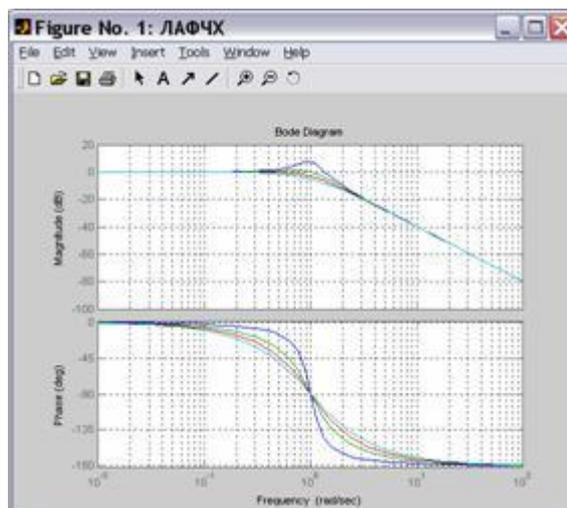


20. Постройте логарифмические частотные характеристики этого звена.

Для построения удобно воспользоваться функцией *bode*.

### % Построение частотных характеристик

```
figure(2); set(1,'Name', 'ЛАФЧХ');  
omega=logspace (-2,3);  
bode (sys1(1,1), sys2(1,1), sys3(1,1), sys4(1,1), omega), grid;
```



21. Оформите отчет, в который включите схемы моделирования, программы, исходные данные, полученные графики процессов. Объясните полученные результаты. Используя команду *help*, изучите возможности функций *step* и *bode*.

## Контрольная работа № 2

### Исследование характеристик модели коллекторного двигателя постоянного тока

**Цель контрольной работы:** изучение статических характеристик и характера переходных процессов в двигателе постоянного тока с независимым возбуждением от постоянных магнитов при изменении управляющего напряжения, внешнего силового воздействия, а также в зависимости от соотношения значений основных параметров двигателя.

#### Задачи контрольной работы

- приобретение навыков формирования математических моделей исполнительных двигателей электромеханических систем как динамических объектов с помощью средств системы визуального моделирования *Simulink* на примере модели коллекторного двигателя постоянного тока (ДПТ) с возбуждением от постоянного магнитного поля;
- изучение характера переходных процессов в ДПТ и определение электромагнитной и электромеханической постоянных времени двигателя путем проведения вычислительных экспериментов;
- исследование свойств ДПТ в установившихся режимах работы;
- определение регулировочной характеристики ДПТ при непрерывном регулировании напряжения, подаваемого на якорную цепь двигателя;
- определение механической характеристики ДПТ при изменении нагрузочного момента;
- исследование зависимости динамических свойств ДПТ от момента инерции ротора и приведенного момента инерции объекта управления.

#### Порядок выполнения контрольной работы

1. Запустите *Matlab* и откройте окно для создания модели *Simulink*. С помощью мыши «перетащите» нужные модули из библиотеки *Simulink* на рабочее поле модели и соедините их линиями связи в соответствии со структурной схемой модели двигателя постоянного тока. Присвойте имя программной модели и сохраните ее.

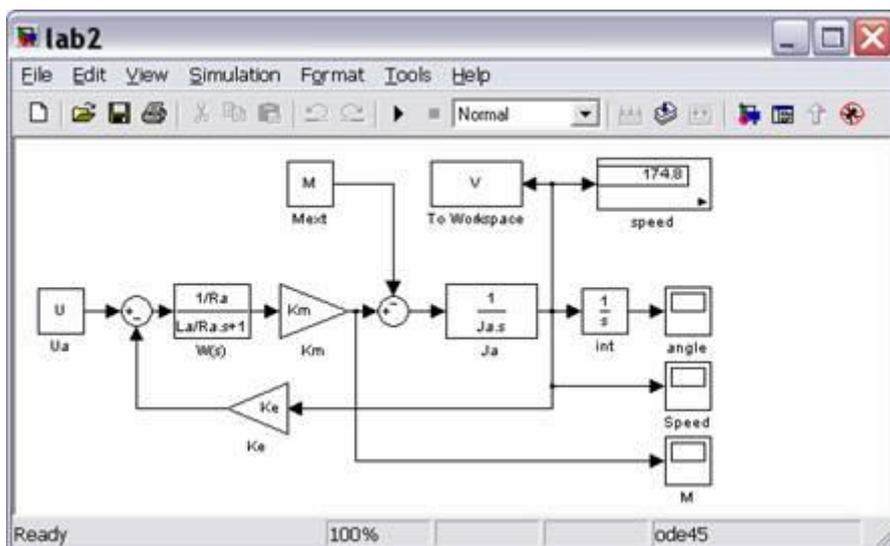


Рис.1

Числовые значения параметров модели ДПТ для **ВАШЕГО ВАРИАНТА ЗАДАНИЯ** задайте как переменные в окне *Command Window* в соответствии с таблицей.

```
clear % Очистка Workspace
Ra=4.0; % Активное сопротивление обмотки якоря
La=0.004; % Индуктивность обмотки якоря
Ja=0.00002; % Момент инерции ротора
Km=0.057; % Коэффициент двигателя
Ke=0.057; % Коэффициент противоЭДС
Unom=24; % Номинальное напряжение двигателя
Umax=40; % Напряжение источника энергии
Mnom=0.2; % Номинальный момент двигателя
```

Параметры можно задавать непосредственно в соответствующем блоке моделирования. Для того, чтобы изменить эти значения, надо открыть окно настройки соответствующего блока дважды «щелкнув» левой кнопкой мыши по изображению этого блока. В окне настройки следует изменить значения параметров. Например, в блоке  $W(s)$ , изображение которого имеет вид передаточной функции апериодического звена, необходимо изменить значения параметров. В полях *Numerator* (числитель) и *Denominator* (знаменатель).

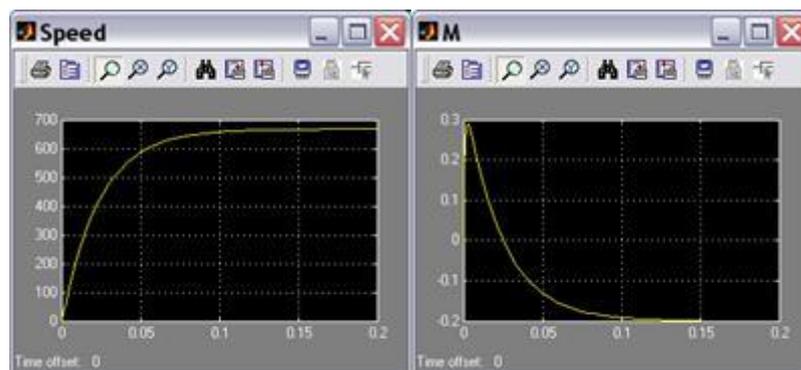
Двигатель (вариант контрольного задания)	$U_{ном}$	$n_{ном}$	$I_{ном}$	$R_{я}$	$T_{э}$	$J_{дв}$	$k_{э}$
	В	об/мин	А	Ом	мс	кгм <sup>2</sup>	Вс/рад
ДПР62Н1-02 (вариант 1)	27	6000	0,72	4	1	$3,60 \cdot 10^{-6}$	0,043
ДПР72Н1-07 (вариант 2)	12	4500	2,20	0,56	0,65	$7,80 \cdot 10^{-6}$	0,025
ПЯ250Ф (вариант 3)	36	3000	9,50	1	1	$2,92 \cdot 10^{-4}$	0,115
ДПУ200 (вариант 4)	92	3000	7,40	1,53	1,1	$7,80 \cdot 10^{-4}$	0,293
ДП40 (вариант 5)	24	4000	2,90	1,45	1	$1,27 \cdot 10^{-4}$	0,057

ДП50 (вариант 6)	24	4000	5,30	0,28	1,5	$6,08 \cdot 10^{-4}$	0,057
ДПР62Н1-04 (вариант 7)	36	4000	0,9	5	1,5	$5,60 \cdot 10^{-4}$	0,058
ДПР72Н1-07 (вариант 8)	24	3500	2,5	0,28	1,65	$3,80 \cdot 10^{-6}$	0,125
ДПУ300 (вариант 9)	12	5000	3,40	2,58	0,8	$5,80 \cdot 10^{-6}$	0,057
ДП67 (вариант 10)	24	5000	3,60	1,45	1,5	$1,5 \cdot 10^{-4}$	0,125

2. Снимите переходной процесс изменения угловой скорости вала двигателя  $\omega$  и тока якоря  $I_{\text{я}}$  при ступенчатом изменении напряжения  $U_{\text{я}}$ . Для этого введите номинальное значение  $U_{\text{я}}$ , указанное в табл.1, и задайте нулевое значение возмущающего момента  $M_{\text{в}}$  от внешних сил. Установите необходимые значения параметров процесса моделирования, раскрыв поочередно разделы *Simulation* и *Parameters*. Общее время моделирования рекомендуется принимать приблизительно равным  $4T_{\text{м}}$ . Предварительно необходимо вычислить значения электромагнитной и электромеханической постоянных времени рассматриваемого ДПТ.

$$T_e = \frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}}}, \quad T_m = \frac{J_{\text{я}} R_{\text{я}}}{k_e k_m}$$

3. Получите и зарисуйте переходные процессы скорости и тока при номинальном значении напряжения якоря и внешнем моменте, равном нулю.



4. Определите по полученным графикам время переходного процесса  $T_{\text{пп}}$  скорости двигателя  $\omega$  и перерегулирование  $\sigma$ . Экспериментально время переходного процесса можно оценить, как время, за которое процесс входит в 5% трубку относительно установившегося значения. Перегулирование  $\sigma$  определяется как % превышения максимального значения процесса относительно его установившегося значения.

Сопоставьте установившееся значение скорости вала двигателя со значением, которое ожидается на основании теоретических положений. Дайте объяснение характеру изменения тока якоря.

*Примечание:* Для апериодического процесса справедливо соотношение  $T_{\text{пп}} \approx 3\tau$ .

5. Определите значение электромеханической постоянной времени двигателя  $T_m$  по переходному процессу угловой скорости вращения вала двигателя. Сопоставьте полученное значение с ожидаемым значением, вычисленным теоретически. Если эти значения отличаются, объясните, чем это может быть вызвано.
6. Приложите к валу внешний момент  $M_{\text{вн}} = -0.5M_{\text{п}}$  и  $M_{\text{вн}} = 0.5M_{\text{п}}$ , где  $M_{\text{п}}$  - расчетное значение пускового момента двигателя. Получите переходные процессы скорости и тока якоря. Приведите графики в отчете.

Как изменяется характер переходных процессов при действии внешнего возмущающего момента? Как влияет  $M_{\text{в}}$  на установившиеся значения скорости и тока?

7. Изучите влияние момента инерции подвижных частей, приведенных к валу двигателя, на динамические свойства ДПТ ( $M_{\text{вн}} = 0$ ).

Для этого рассмотрите переходные процессы при ступенчатом изменении напряжения на якоре, при значении момента инерции на валу ротора:  $J = J_a$ ,  $J = 2J_a$  и  $J = 4J_a$ .

Последний два варианта означают, что вал двигателя связан с объектом, обладающим приведенным к валу ДПТ моментом инерции, равным моменту инерции ротора и превышающим его в 3 раза, соответственно.

Как изменяются  $T_{\text{пп}}$ ,  $\sigma$ ,  $\omega(\infty)$  и тока якоря?

Зафиксируйте в отчете и объясните результаты.

8. Путем вычислительного эксперимента определите значение электромагнитной постоянной времени двигателя  $T_{\text{э}}$ . Для этого необходимо рассмотреть переходные процессы при заторможенном валу двигателя. Поэтому измените структуру программы моделирования таким образом, чтобы внешний момент был равен электромагнитному моменту двигателя. Значение  $T_{\text{э}}$  определите непосредственно по графику переходного процесса

тока якоря и сопоставьте со значением, полученным на основании теоретического расчета. Объясните результаты.

9. Повторить предыдущий опыт при значениях напряжения управления, равных 50% и 25% от номинального напряжения. Зафиксируйте результаты и сделайте вывод о влиянии напряжения управления  $U_{\text{я}}$  на скорость и ток двигателя. Изменяются ли значения  $T_{\text{пп}}$  и  $\sigma$  ?

10. Постройте по 5 точкам ( $U_{\text{я}} = -U_{\text{ном}} \div U_{\text{ном}}$ ) регулировочную характеристику двигателя при  $M_{\text{вн}} = 0$ .

	$-U_{\text{ном}}$	$-0,5U_{\text{ном}}$	0	$0,5U_{\text{ном}}$	$U_{\text{ном}}$
$\omega(\infty)$					

11. Постройте по 5 точкам ( $M_{\text{вн}} = -M_{\text{п}} \div M_{\text{п}}$ ) механическую характеристику двигателя при  $U_{\text{я}} = 0,5U_{\text{ном}}$ .

	$-M_{\text{п}}$	$-0,5M_{\text{п}}$	0	$0,5M_{\text{п}}$	$M_{\text{п}}$
$\omega(\infty)$					

12. Постройте семейства механической и регулировочной характеристик ДПТ. Для этого проведите автоматизированную серию вычислительных экспериментов при значениях напряжения якоря и значениях внешнего момента приведенных в таблице:

	$-1,5U_{\text{ном}}$	$-U_{\text{ном}}$	$-0,5U_{\text{ном}}$	0	$0,5U_{\text{ном}}$	$U_{\text{ном}}$	$1,5U_{\text{ном}}$
$-1,5M_{\text{п}}$							
$-M_{\text{п}}$							
$-0,5M_{\text{п}}$							
0							
$0,5M_{\text{п}}$							
$M_{\text{п}}$							
$1,5M_{\text{п}}$							

Для этого воспользуйтесь программой:

```
clear          % Очистка Workspace
Ra=4.0;       % Активное сопротивление обмотки якоря
La=0.004;    % Индуктивность обмотки якоря
Ja=0.00002;  % Момент инерции ротора
Km=0.057;    % Коментный коэффициент двигателя
Ke=0.057;    % Коэффициент противоЭДС
Uном=24;     % Номинальное напряжение двигателя
Umax=40;     % Напряжение источника энергии
Mном=0.35;   % Номинальный момент двигателя
Nu=7;        % Число точек Uдв, нечетное
Nm=7;        % Число точек Mвн, нечетное

% Выполнение расчетов
for j=1:Nu,   % Цикл изменения Uя
```

```

j1=j-(Nu+1)/2;
U=Unom*2*j1/(Nu-1); U1(j)=U;
for i=1:Nm, % Цикл изменения Mвн
i1=i-(Nm+1)/2;
M=Mnom*2*i1/(Nm-1); M1(i)=M;
sim('lab2.mdl',0.20),
n=size(V); % Размерность вектора
Au(j,i)=V(n(1)), % Заполнение массива
Am(i,j)=V(n(1)), % Заполнение массива
end
end

% Вывод графика "Семейство регулировочных характеристик"
figure(1); set(1,'Name','Семейство регулировочных характеристик');
plot(U1,Au); GRID;
title('Семейство регулировочных характеристик')
xlabel('Напряжение на якоре двигателя, V')
ylabel('Установившаяся скорость вращения, 1/s')
legend('Mext=', 'Mext=', 'Mext=', 'Mext=0', 'Mext=', 'Mext=', 'Mext=')

% Вывод графика "Семейство нагрузочных характеристик"
figure(2); set(2,'Name','Семейство нагрузочных характеристик');
plot(M1,Am); GRID;
title('Семейство нагрузочных характеристик')
xlabel('Внешний момент, Nm')
ylabel('Установившаяся скорость вращения, 1/s')
legend('Ua=', 'Ua=', 'Ua=', 'Ua=0', 'Ua=', 'Ua=', 'Ua=')

```

Изучите приведенную программу. Обработайте полученные графики. Если надписи не читаемы, примените к ним шрифт GOST type A.

Сделайте выводы по результатам построения механической и регулировочной характеристик ДПТ.

13. Оформите отчет, в который включите схемы моделирования, исходные данные, все полученные числовые оценки, графики процессов и выводы по результатам выполненной контрольной работы.



На рис.2 показана структура субмодели широтно-импульсного преобразователя - PWM.mdl.

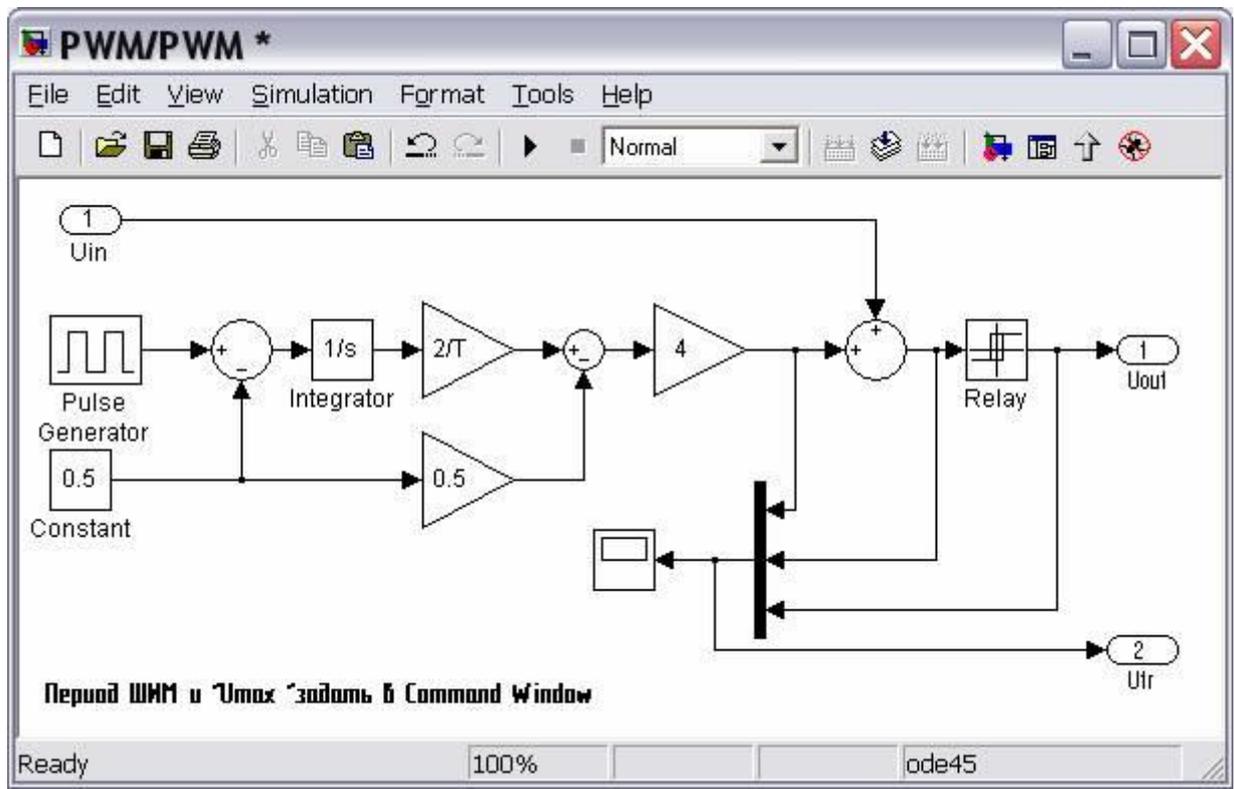


Рис.2

Для правильной работы субмодели PWM необходимо задать период опорной частоты  $T_s$  и амплитуду импульсов напряжения подаваемого на якорь ДПТ -  $U_{max}, V$ . Это удобно сделать на рабочем пространстве, задав значения переменных, например:

$$T=0.001;$$

$$U_{max}=24;$$

3. Задайте значение периода следования прямоугольных импульсов генератора, соответствующее частоте ШИМ, равной 1kHz.

Входное воздействие  $U_{in}$  влияет на среднее значение выходного напряжения. В свою очередь, оно влияет на средний ток якоря.

Диапазон изменения входного напряжения  $-1V \div 1V$ .

В качестве примера использована модель якорной цепи ДПТ в виде апериодического звена с коэффициентом передачи, равным 1, что соответствует  $R_{я}=1\Omega$ , и с электромагнитной постоянной времени,  $T_s=2ms$ .

4. Исследуйте процессы, в моделируемой системе при  $T=0.001$ ,  $U_{max}=4V$  и  $U_{in}=0.5V$ .

С учетом скорости протекающих процессов время моделирования следует задавать 0,02с.

5. Зафиксируйте и объясните характер сигналов на выходе ШИП, тока якоря и пилообразного напряжения.

6. Проведите серию экспериментов, задавая частоту ШИМ, равной 0,5 1, 2, 5, 10 и 20кГц. Постройте график влияния частоты ШИМ на величину пульсаций тока якоря.

7. Постройте статическую характеристику ШИП при частоте ШИМ 1кГц и  $U_{max}=24V$ , как отношение среднего значения выходного напряжения преобразователя к входному воздействию  $U_{in}$ . Определите коэффициент передачи ШИП:

$U_{вх}$	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5
$i_{a,уст}$							
$U_{вых}$							

*Примечание:* Поскольку якорная цепь фильтрует высокочастотные составляющих выходного напряжения, удобно измерять не выходное напряжение, а установившееся значение тока якоря.

8. Определите зависимость относительной длительности импульсов выходного напряжения  $\gamma$  от величины входного сигнала  $U_{in}$ . Постройте характеристику ШИП как зависимость среднего значения выходного напряжения от параметра  $\gamma$ . Сравните полученные характеристики.

$U_{вх}$	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5
$\gamma$							

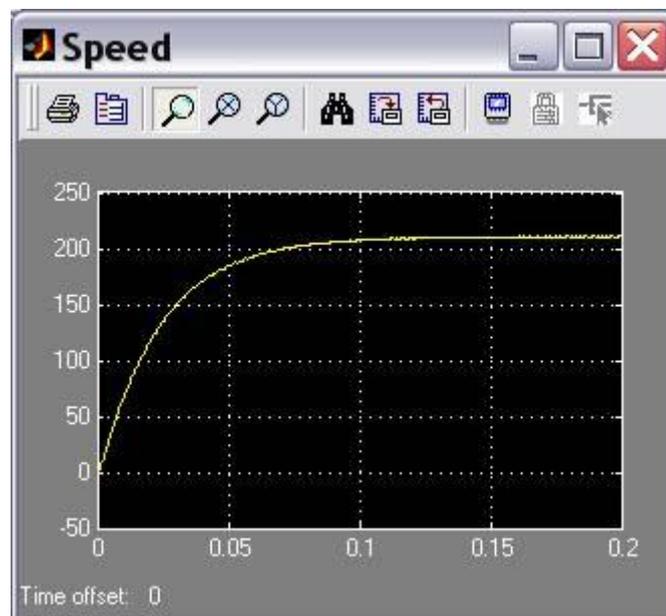
9. Соберите модель ДПТ с ШИП, представленную на рис.3. Используйте для этого модель ДПТ, полученную при выполнении контрольной работы №2.

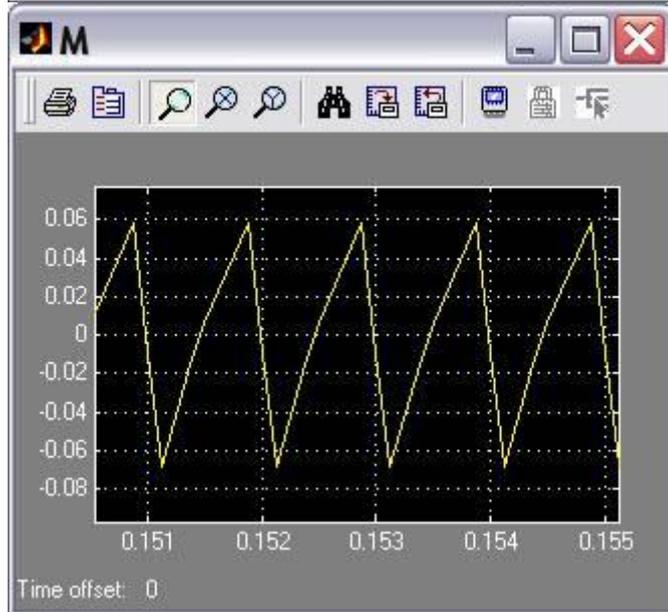
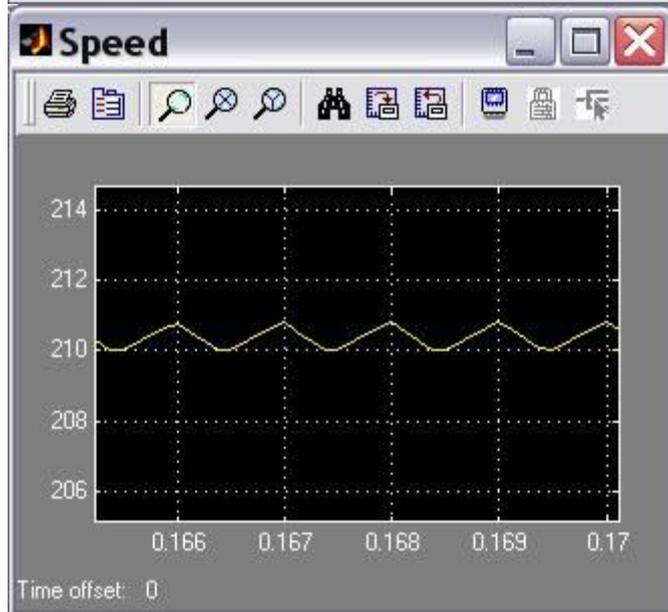
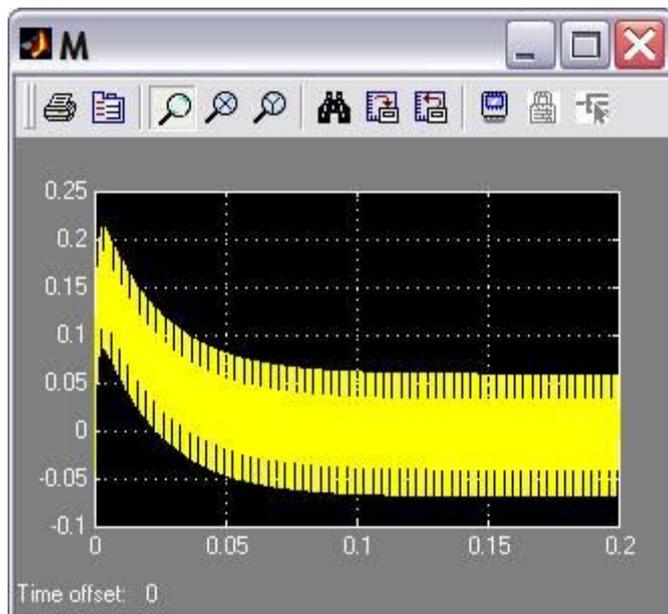


<b>ДПР62Н1-04 (вариант 7)</b>	36	4000	0,9	5	1,5	$5,60 \cdot 10^{-4}$	0,058
<b>ДПР72Н1-07 (вариант 8)</b>	24	3500	2,5	0,28	1,65	$3,80 \cdot 10^{-6}$	0,125
<b>ДПУ300 (вариант 9)</b>	12	5000	3,40	2,58	0,8	$5,80 \cdot 10^{-6}$	0,057
<b>ДП67 (вариант 10)</b>	24	5000	3,60	1,45	1,5	$1,5 \cdot 10^{-4}$	0,125

10. Проведите исследование характера изменения угловой скорости вала двигателя и тока якоря при частоте ШИМ 1кГц, входном воздействии, равном 0,5V, и нулевом значении момента внешних сил. Зафиксируйте и объясните результаты.

Время моделирования выбирается таким, чтобы успел завершиться процесс набора скорости.





11. Определите по полученным графикам и зафиксируйте в отчете время переходного процесса  $T_{\text{пт}}$  и среднее значение установившейся скорости двигателя, амплитуду пульсаций скорости и момента, величину перерегулирования  $\sigma$ . Сопоставьте установившееся среднее значение скорости вала двигателя со значением, которое ожидается на основании теоретических положений.

12. Определите экспериментально, как влияет нагрузочный момент на величину пульсаций скорости и момента при  $U_{\text{max}}=U_{\text{nom}}$ ,  $U_{\text{вх}}=1$ .

$M$	0	$0.25M_{\text{п}}$	$0.5M_{\text{п}}$	$0.75M_{\text{п}}$	$M_{\text{п}}$
$\Delta\omega(\infty)$					
$\Delta M(\infty)$					

13. Определите механическую и регулировочную характеристики ДПТ при широтно-импульсном регулировании частоты вращения вала двигателя. Для этого проведите серию вычислительных экспериментов при частоте ШИМ 1кГц, при следующих комбинациях значений  $U_{\text{вх}}$  и  $M_{\text{вн}}$ :

	-1.25	-1	-0.75	-0.5	-0.25	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25
$-1.5M_{\text{п}}$											
$-M_{\text{п}}$											
$-0.5M_{\text{п}}$											
0											
$0.5M_{\text{п}}$											
$M_{\text{п}}$											
$1.5M_{\text{п}}$											

где  $M_{\text{п}}$  - расчетное значение пускового момента двигателя.

Для этого можно воспользоваться программой, подставив параметры для **ВАШЕГО ВАРИАНТА ЗАДАНИЯ:**

```
clear          % Очистка Workspace
T=0.001       % Период ШИМ
Ra=4.0;      % Активное сопротивление обмотки якоря
La=0.004;    % Индуктивность обмотки якоря
Ja=0.00002;  % Момент инерции ротора
Km=0.057;   % Моментный коэффициент двигателя
Ke=0.057;   % Коэффициент противоЭДС
Unom=24;     % Номинальное напряжение двигателя
Umax=Unom;  % Напряжение источника энергии
Mnom=0.35;  % Номинальный момент двигателя
Nu=11;      % Число точек  $U_{in}$ , нечетное
Nm=5;       % Число точек  $M_{вн}$ , нечетное

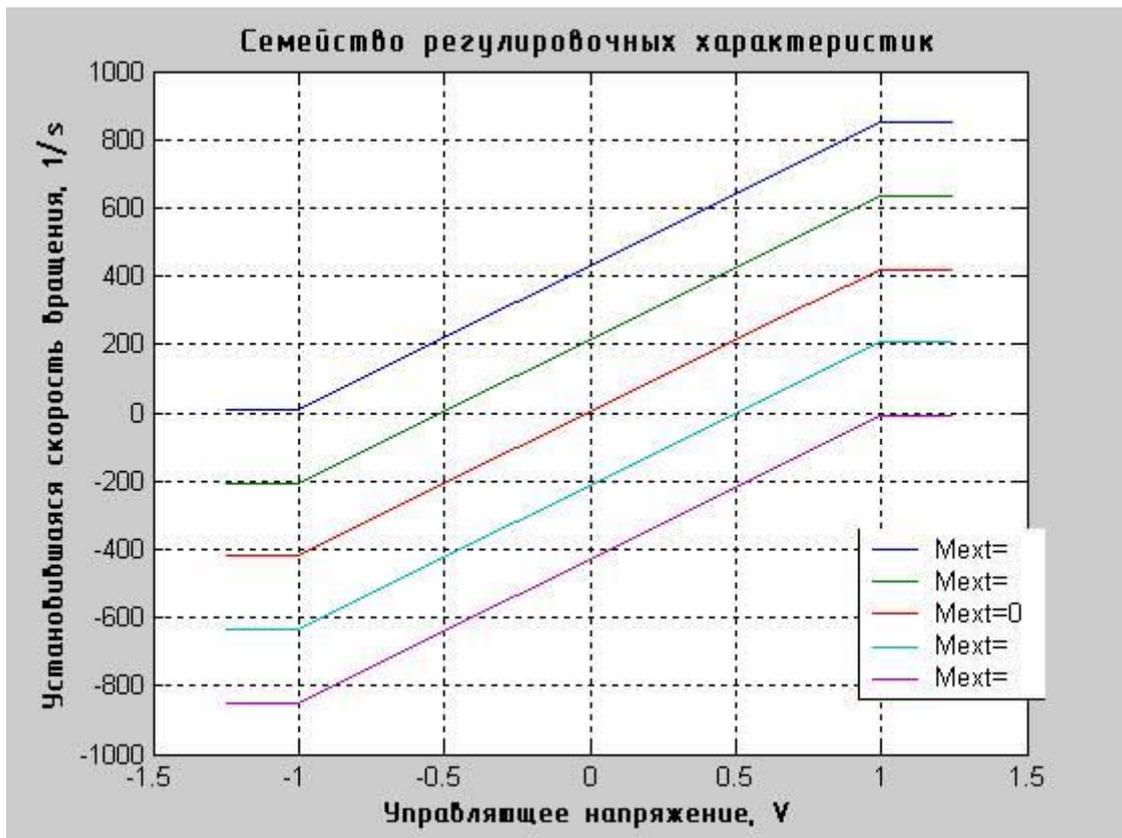
% Выполнение расчетов
for j=1:Nu,          % Цикл изменения  $U_{я}$ 
    j1=j-(Nu+1)/2;
    U=1.25*2*j1/(Nu-1); U1(j)=U;
    for i=1:Nm,     % Цикл изменения  $M_{вн}$ 
        i1=i-(Nm+1)/2;
        M=Mnom*2*i1/(Nm-1); M1(i)=M;
```

```

sim('lab3.mdl',0.20),
n=size(V);          % Размерность вектора
Au(j,i)=V(n(1)),   % Заполнение массива
Am(i,j)=V(n(1)),   % Заполнение массива
end
end

% Вывод графика "Семейство регулировочных характеристик"
figure(1); set(1,'Name','Семейство регулировочных характеристик');
plot(U1,Au); GRID;
title('Семейство регулировочных характеристик')
xlabel('Управляющее напряжение, V')
ylabel('Установившаяся скорость вращения, 1/s')
legend('Mext=', 'Mext=', 'Mext=0', 'Mext=', 'Mext=')

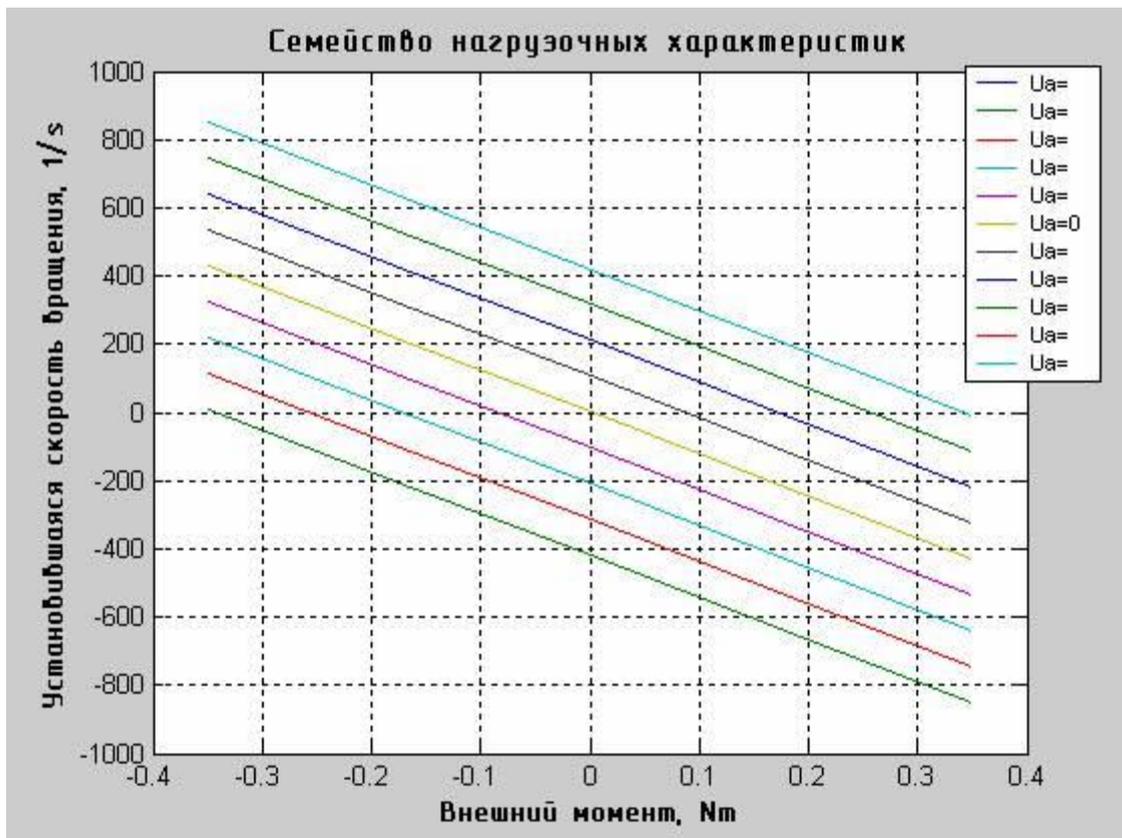
```



```

% Вывод графика "Семейство нагрузочных характеристик"
figure(2); set(2,'Name','Семейство нагрузочных характеристик');
plot(M1,Am); GRID;
title('Семейство нагрузочных характеристик')
xlabel('Внешний момент, Nm')
ylabel('Установившаяся скорость вращения, 1/s')
legend('Ua=', 'Ua=', 'Ua=', 'Ua=', 'Ua=', 'Ua=0', 'Ua=', 'Ua=', 'Ua=', 'Ua=', 'Ua=')

```



14. Сделайте выводы по результатам построения механической и регулировочной характеристик ДПТ при импульсном регулировании.
15. Оформите отчет, в который включите схемы моделирования, исходные данные, все полученные числовые оценки, графики процессов и выводы по результатам проведенной лабораторной работы. Объясните работу модели ШИП.

## Контрольная работа № 4

### Исследование характеристик трехфазного асинхронного двигателя с частотным регулированием скорости вращения<sup>[1]</sup>

#### Цель контрольной работы:

изучение механических характеристик и переходных процессов трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при частотном регулировании скорости вращения, реализованном с помощью широтно-импульсного преобразователя. Выполнение лабораторной работы возможно при установленной подсистеме Power (используемые модели находятся в библиотеке powerlib).

#### Задачи контрольной работы:

- изучение характера переходных процессов трехфазного асинхронного двигателя при частотном регулировании скорости вращения с помощью широтно-импульсного преобразователя;
- определение механических характеристик трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при частотном регулировании и широтно-импульсной модуляции напряжений, подаваемых на фазные обмотки статора двигателя.

#### Порядок выполнения контрольной работы

1. Запустите **MATLAB** и откройте окно для создания модели подсистемы **SIMULINK**. Скопируйте модуль *asinshim.mdl*, находящийся в подкаталоге **MATLAB\_USER**, в открывшееся пустое окно, обозначенное *Untitled*. Для копирования откройте модуль *asinshim.mdl*, выполните команды *Edit-Select All*, затем команды *Edit-Copy*. Перейдите в рабочее окно *Untitled* и выполните в нем команды *Edit-Paste*. Присвойте имя Вашей программной модели и сохраните ее в каталоге, указанном преподавателем.

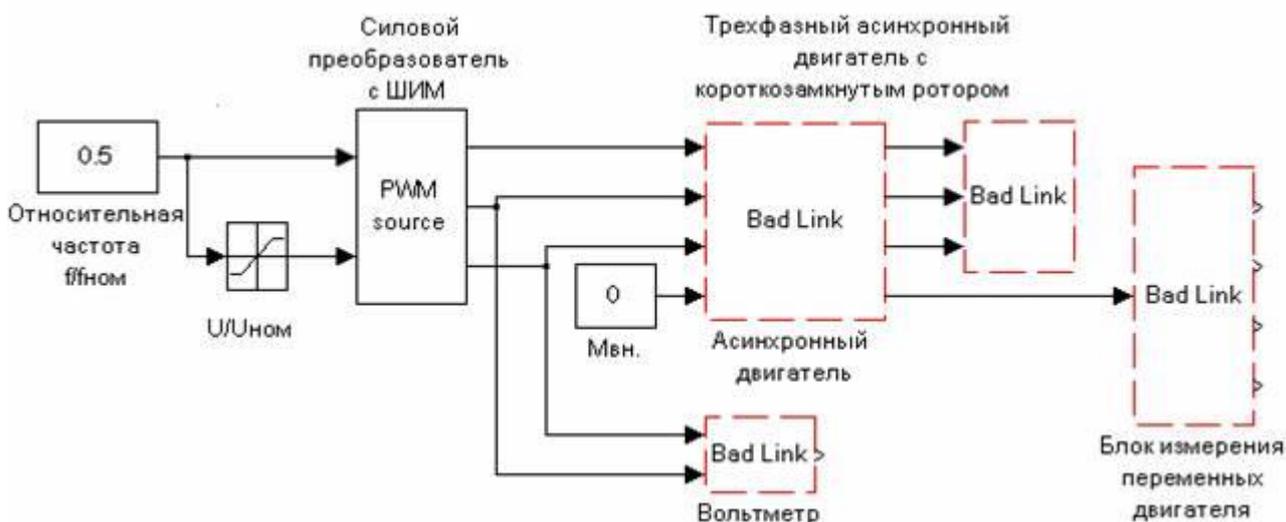


Рис. 1 Модуль *asinshim.mdl*

2. Соберите представленную на рис.2 схему моделирования и регистрации процессов в трехфазном асинхронном двигателе.

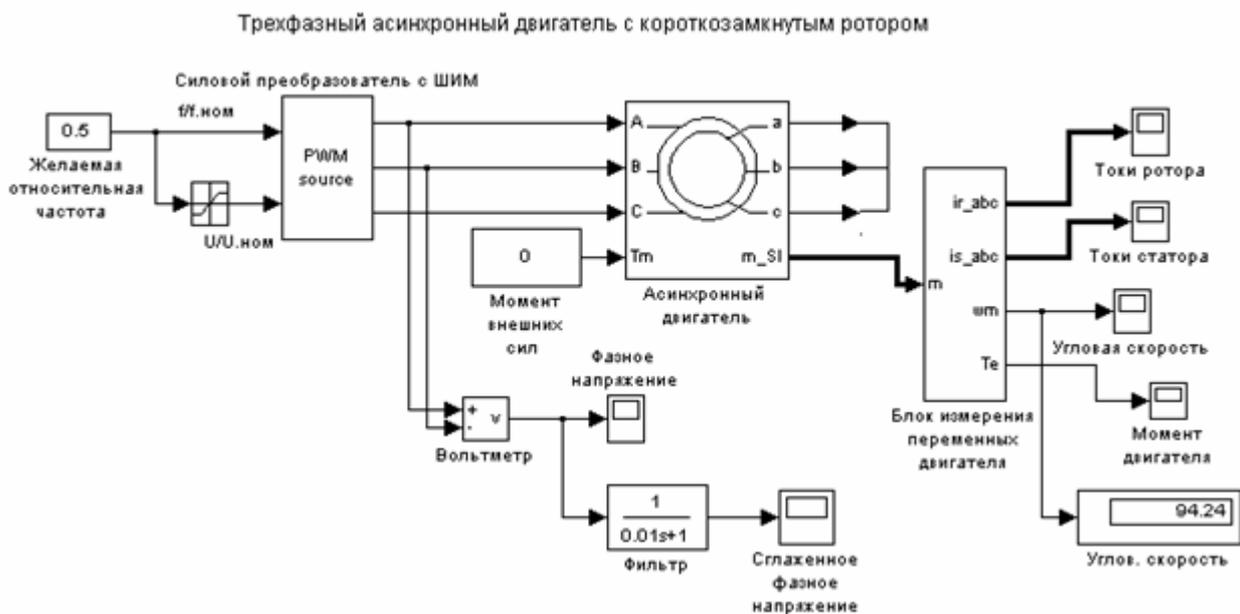


Рис. 1

Исследуемый двигатель имеет короткозамкнутые обмотки ротора, что отражено на схеме моделирования. Помимо модели собственно асинхронного двигателя в состав исходного модуля включены модель силового преобразователя с широтно-импульсным регулированием выходных напряжений и блок измерения переменных двигателя (токов в обмотках статора и ротора, угловой скорости вращения вала и электромагнитного момента двигателя).

В зависимости от требуемой скорости вращения вала двигателя выбирается значение желаемой относительной частоты  $f/f_{ном}$  изменения напряжений на фазных обмотках статора двигателя, влияющее на угловую скорость вала двигателя. Чем меньше фактическая частота  $f$  изменения напряжений на обмотках статора, тем меньше скорость вращения вала двигателя. Таким образом, желаемая относительная частота  $f/f_{ном}$  является параметром регулирования частоты вращения двигателя. Здесь  $f_{ном}$  - номинальная частота, на которую рассчитан асинхронный двигатель.

Для нормального функционирования асинхронного двигателя амплитуда  $U$  основной гармоники фазных напряжений автоматически подстраивается в зависимости от выбранного значения частоты  $f$ . Требуемые законы изменения напряжений обмоток статора обеспечиваются с помощью силового преобразователя.

Силовой преобразователь осуществляет широтно-импульсное регулирование напряжения на статорных обмотках трехфазного асинхронного двигателя. Вид этих напряжений отличается от вида синусоидального напряжения (см. рис.2).

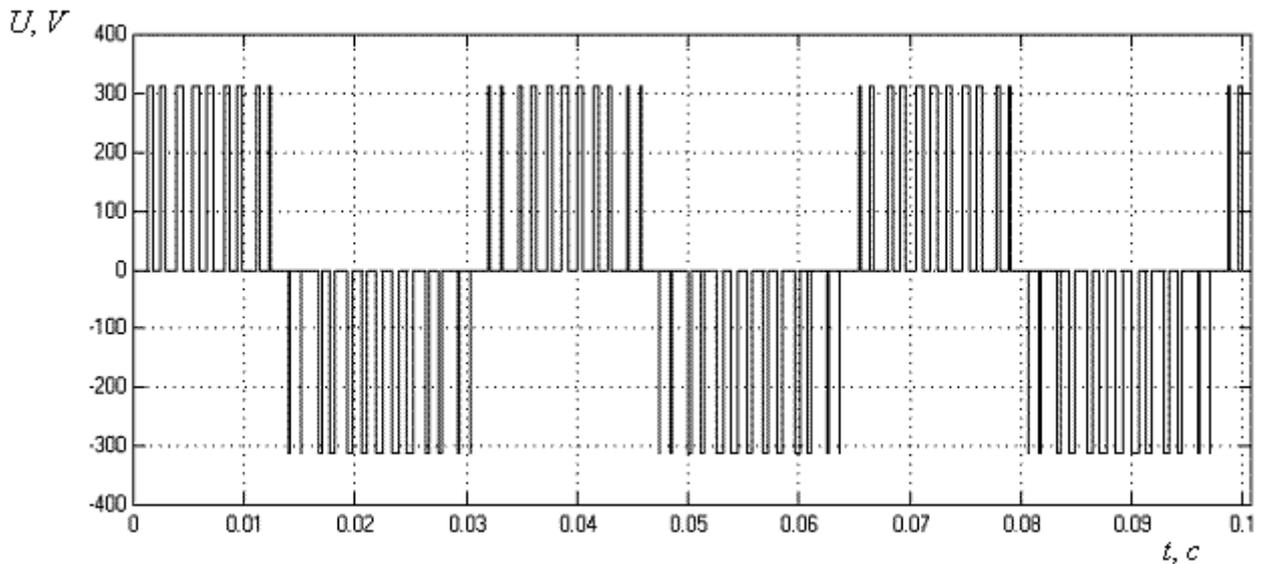


Рис. 2

Обмотки статора выполняют роль фильтров нижних частот, поэтому токи в обмотках определяются средним значением подведенного к ним модулированного напряжения. Среднее значение фазного напряжения можно оценить по выходному напряжению дополнительного внешнего фильтра, включенного на выходе измерителя фазного напряжения, обозначенного на схеме как вольтметр.

В контрольной работе исследуется асинхронный двигатель, имеющий следующие значения основных параметров:

- номинальная мощность двигателя 1000 VA;
- номинальное напряжение обмоток статора 220 V;
- номинальная частота питающих напряжений 60 Hz;
- число пар полюсов 2;
- активное сопротивление обмоток статора 0,435  $\Omega$ ;
- индуктивность обмоток статора 2 mHn;
- активное сопротивление обмоток ротора 0,816  $\Omega$ ;
- индуктивность обмоток ротора 2 mHn;
- взаимоиндуктивность 69,31 mHn;
- момент инерции ротора 0,089  $kgm^2$ .

3. Введите значения параметров модели асинхронного двигателя и силового преобразователя в соответствии с данными, приведенными в табл.1, в зависимости от заданного преподавателем исследуемого варианта.

Таблица 1

№ варианта	Параметры		
	Номинальная частота $f_{\text{ном}}, \text{Hz}$	Частота ШИМ $f_{\text{ШИМ}}, \text{Hz}$	Момент инерции подвижных частей, $\text{kgm}^2$
1	60	360	0,089
2	50	300	0,1
3	70	420	0,06
4	80	500	0,05
5	90	600	0,08
6	100	700	0,07
7	110	350	0,15
8	120	320	0,08
9	130	400	0,05
10	140	450	0,04

4. Для настройки параметров  $f_{\text{ном}}$  и  $f_{\text{ШИМ}}$  дважды щелкните левой кнопкой мыши по изображению силового преобразователя. В появившемся окне установите необходимое значение параметра  $f_{\text{ном}}$  в позиции ***Sine Wave...*** и значение параметра  $f_{\text{ШИМ}}$  в позиции ***Triangular Wave ...*** Для того, чтобы установить значение момента инерции подвижных частей (ротора и связанного с ним объекта регулирования), дважды щелкните левой кнопкой мыши по изображению двигателя. В открывшемся окне введите требуемое значение в позиции ***Inertia***. Другие значения параметров двигателя и силового преобразователя оставьте без изменения.

5. Проведите исследование переходных процессов при значении желаемой относительной частоты, равном 0,5 и моменте внешних сил, равном нулю. Задайте время моделирования 0,1 с и рассмотрите характер изменения напряжений на обмотках статора и токов во всех обмотках. Сравните вид напряжения на обмотке статора и вид того же напряжения, на выходе дополнительного фильтра. Зафиксируйте и объясните результаты.

6. Определите механическую и регулировочную характеристики исследуемого асинхронного двигателя при частотном регулировании скорости вращения его вала. Для этого проведите серию вычислительных экспериментов при значениях параметра регулирования, которым является желаемая относительная частота, равных 0,25; 0,5; 1, и значениях внешнего момента -20; -10; 0; 10; 20; 30 и 35 Nm.

7. При выполнении экспериментов зафиксируйте переходные процессы угловой скорости вала двигателя и электромагнитного момента. Определите по полученным графикам и зафиксируйте в отчете время переходного процесса  $t_{\text{пп}}$  средней составляющей скорости вала двигателя и перерегулирование  $\sigma$ .

8. Сделайте выводы по результатам исследования. В частности, определите, как влияет значение параметра регулирования на жесткость механических характеристик, характер и длительность переходного процесса (постройте

зависимость  $t_{\text{пн}}$  от значения параметра регулирования при нулевом внешнем моменте и от внешнего момента при параметре регулирования, равном 0,5).

9. Оформите отчет, в который включите схемы моделирования, исходные данные, все полученные числовые оценки, графики процессов и выводы по результатам выполненной работы. Объясните принцип работы асинхронного двигателя.