

Министерство образования и науки Украины
Донбасская государственная машиностроительная академия

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам по дисциплине
«Автоматизированный электропривод»
(для студентов специальности 050202)

ПРАКТИКУМ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ

Краматорск 2016

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Автоматизированный электропривод» (для студентов специальности 050202). Практикум по моделированию / Сост. О. В. Субботин. - Краматорск : ДГМА, 2016 – 28 с.

Изложены общие вопросы и принципы структурного моделирования систем автоматизированного управления электроприводами постоянного тока. Рассмотрены особенности моделирования в среде MATLAB.

Составитель

О. В. Субботин, доцент

Ответственный за выпуск

О. В. Субботин, доцент

Введение

Во многих отраслях промышленности и на транспорте применяются различного рода тиристорные преобразователи и на их базе тиристорные электроприводы.

Для обеспечения их надежной и качественной работы требуется углубленное изучение переходных процессов в сложных системах, состоящих из тиристорных преобразователей электродвигателей, производственных механизмов и систем управления.

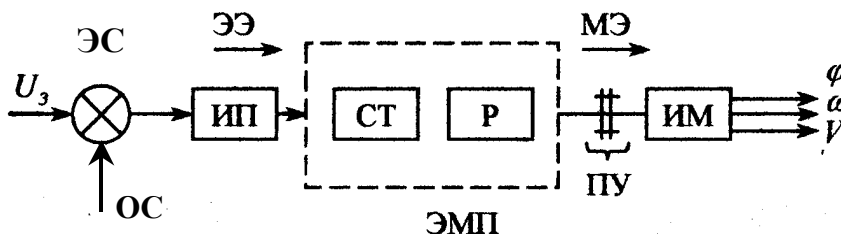
Аналитический расчет переходных процессов в таких системах, даже при значительных упрощениях и допущениях, представляет большие трудности. Наиболее быстрое и достаточно точное исследование переходных процессов в различных режимах работы проектируемой системы можно выполнить на соответствующей модели с использованием специальных систем и программных пакетов автоматического проектирования на ЭВМ.

Моделирование на ЭВМ дает возможность быстро исследовать в ходе проектирования влияние различных изменений параметров схемы на характер и качество переходных процессов, найти оптимальные параметры регуляторов и других элементов системы, обеспечивающие наилучшие динамические характеристики и более высокую надежность работы. Это позволяет существенно ускорить процесс проектирования и повысить точность расчетов.

1 Основные теоретические сведения

1.1 Структура автоматизированного электропривода

Электропривод — это система (рис. 1), состоящая из источника питания (ИП), электромеханического преобразователя (статор и ротор) и исполнительного механизма (ИМ):

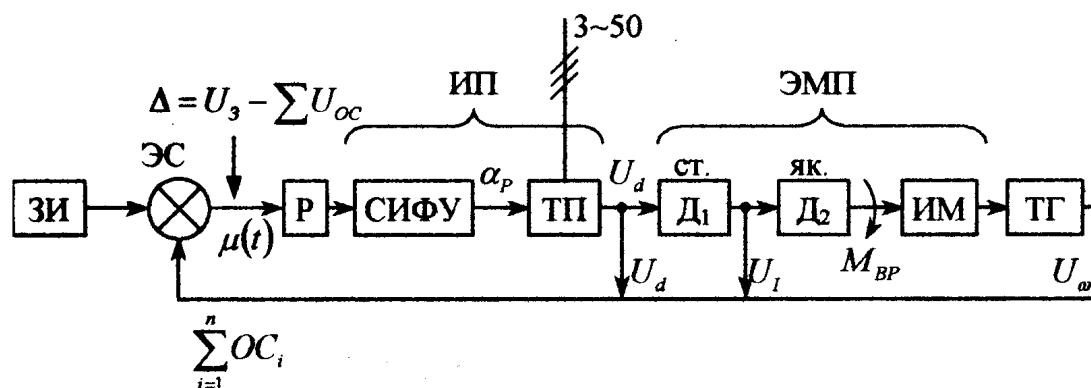


ПУ - передаточное устройство; ЭМП - двигатель; ЭЭ - электрическая энергия; МЭ - механическая энергия; U_3 - напряжение задания; ЭС - элемент сравнения; ОС - обратная связь

Рисунок 1 – Структура электропривода

Под системой автоматизированного управления электроприводом (САУ ЭП) понимают совокупность электропривода и технических устройств (источник питания, средства обратных связей (ОС) – датчики или измерительные преобразователи, регуляторы, корректирующие устройства, задающие устройства), предназначенную для реализации технологических режимов в статике и динамике в соответствии с требованиями, обусловленными выполнением технологических процессов (по обработке металлов, перемещению изделий и заготовок).

Структурная схема САУ ЭП представлена на рис. 2.



ЗИ – задатчик интенсивности; ЭС – элемент сравнения; Р – регулятор; СИФУ – система импульсно-фазового управления (α_p); ТП – тиристорный преобразователь; U_d – напряжение постоянного тока на выходе ТП; Д₁ – статорная обмотка (возбуждение); Д₂ – якорь двигателя; ТГ – тахогенератор; ИМ – исполнительный механизм

Рисунок 2 – Структурная схема САУ ЭП

В основу АЭП положена идея оптимального переходного процесса. Основной задачей автоматизированного электропривода является синтез оптимальных САУ ЭП – создание такой системы, которая обеспечивает наиболее приемлемый переходный процесс для определенных условий работы привода (рис. 3). Применительно к АЭП под оптимальностью понимается получение статической и динамической точности на уровне $\sigma \leq (5 \dots 10)\%$, высокого быстродействия ($t_{\text{пн}} \rightarrow \min$), абсолютной устойчивости.

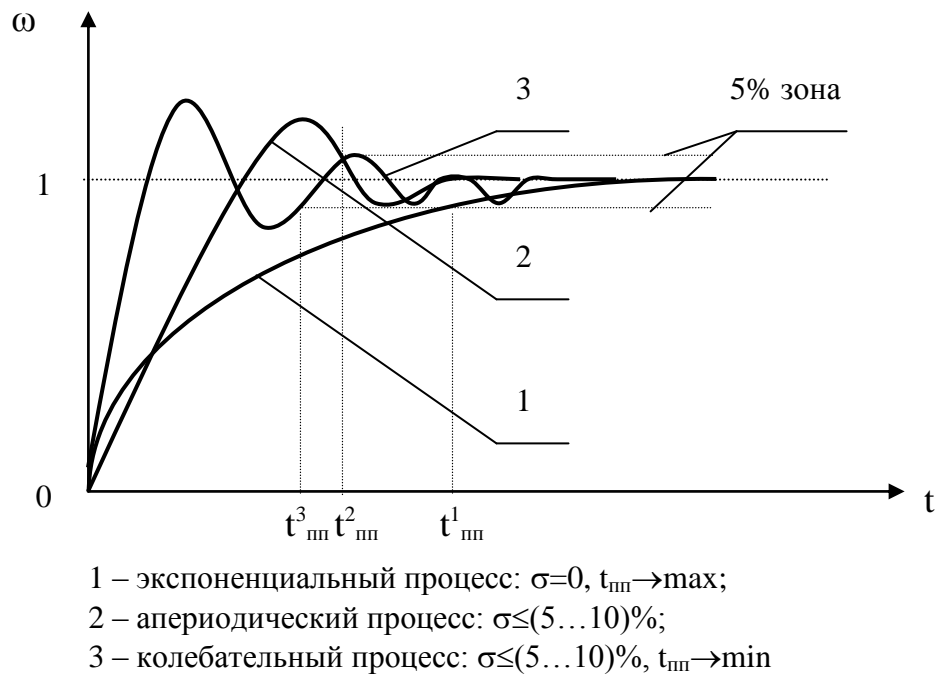


Рисунок 3 – Виды переходных процессов в САУ ЭП

В САУ ЭП выделяют два режима работы:

- статический режим, когда выходные параметры являются стабильными во времени ($\omega = f(M)$ - это установившийся режим);
- динамический режим, когда скорость является функцией нагрузки и времени ($\omega = f(M_n, t)$ - здесь время в неявном виде, как дифференциал).

Указанные режимы иллюстрируются переходными процессами, представленными на рис. 4.

Основной целью лабораторного практикума по моделированию электроприводов является изучение методов структурного моделирования и особенностей систем электропривода с подчиненным регулированием, исследование влияния параметров на статические и динамические характеристики привода.

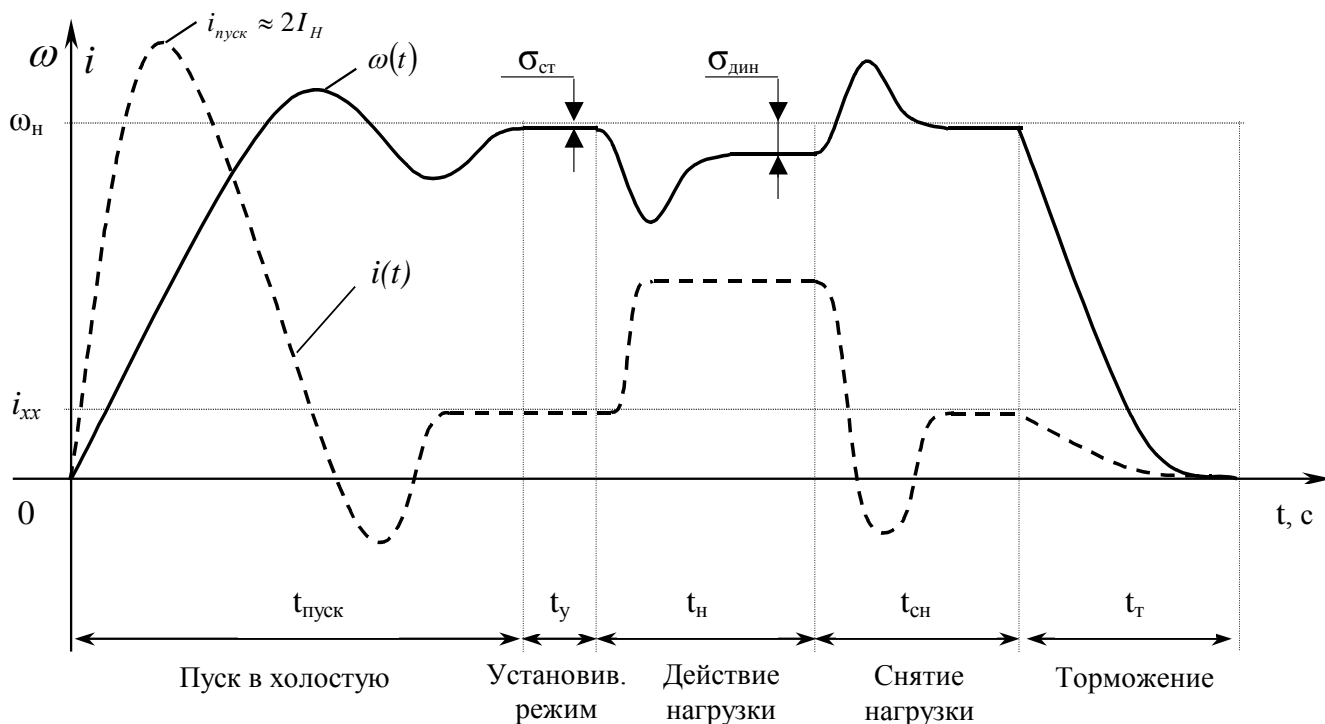


Рисунок 4 – Переходные процессы в САУ ЭП

1.2 Моделирование регулируемого электропривода

Системы электроприводов с подчиненным регулированием нашли широкое применение. Регуляторы скорости, тока, напряжения и других переменных параметров в таких системах обычно выполняются на базе операционных усилителей, позволяющих сравнительно легко создать большое многообразие корректирующих звеньев.

Структурные схемы систем подчиненного регулирования содержат типовые звенья САУ, в связи с чем их моделирование целесообразно осуществлять структурным методом. Суть структурного моделирования заключается в том, что типовые звенья соединяются в модели привода в той же последовательности, что и в структурной схеме системы.

Структурная схема такой системы регулируемого электропривода показана на рис. 5. Она включает в себя два контура регулирования: контур регулирования тока, состоящий из регулятора тока, тиристорного преобразователя (ТП) и цепи якоря двигателя; контур регулирования скорости, включающий в себя регулятор скорости, контур тока и интегрирующее звено, отображающее в структурной схеме механическую часть электропривода.

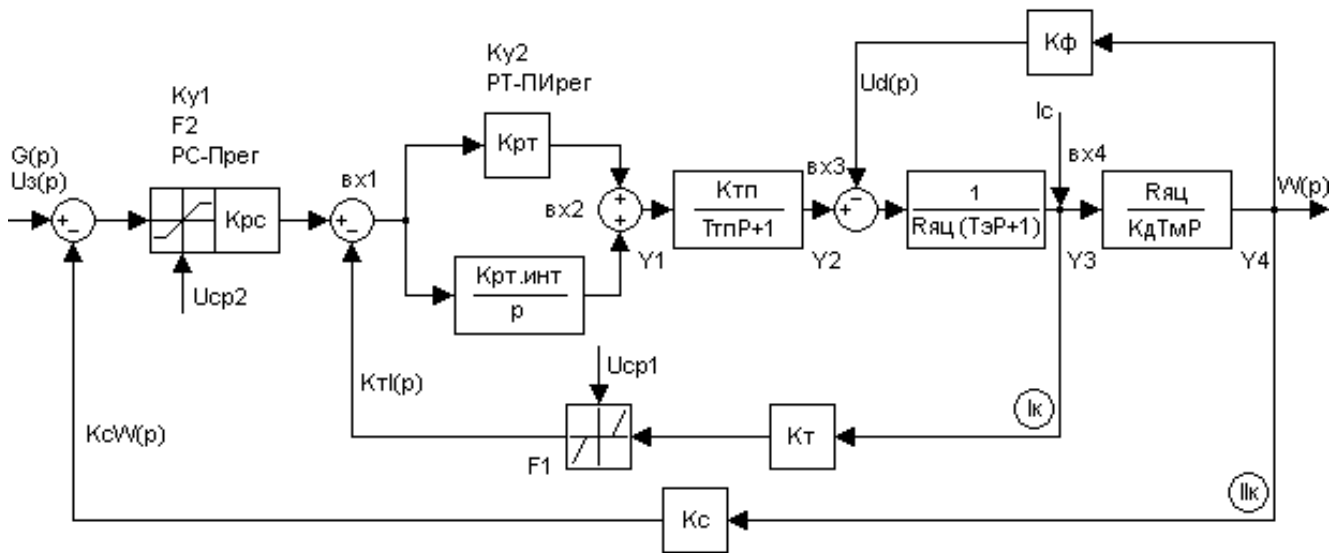


Рисунок 5 — Структурная схема РЭП

На схеме двигатель постоянного тока представлен в виде двух последовательно включенных звеньев — аperiodического и интегрирующего, охваченных отрицательной обратной связью по э.д.с. Аperiodическое звено соответствует цепи ТП-якорь, включая электромеханическое преобразование энергии:

$$W_{я}(p) = \frac{M(p)}{e_{п}(p) e_{дв}(p)} = \frac{c i_{я}(p)}{e_{п}(p) e_{дв}(p)} = \frac{c/R_{я}}{T_{я}p+1},$$

где $e_{п}(p)$, $M(p)$, $e_{дв}(p)$, $i_{я}(p)$ — изображение э.д.с. ТП, а также момента, э.д.с. и тока якоря двигателя; $T_{я}$ — постоянная времени цепи якоря. Интегрирующее звено соответствует жесткому механическому звену электропривода. Его передаточная функция

$$W_{м}(p) = \frac{\omega(p)}{M_{дв}(p) M_{мех}(p)} = \frac{1}{Jp} = \frac{R_{я}}{T_{м}c^2p},$$

где $M_{мех}(p)$ — изображение приведенного к валу двигателя момента сопротивления механизма; $\omega(p)$ — изображение угловой скорости двигателя; J , $T_{м}$ — момент инерции и электромеханическая постоянная времени электропривода; $R_{я}$ — сопротивление цепи «ТП — якорь двигателя».

Тиристорный преобразователь вместе с системой управления представляется в виде аperiodического звена с коэффициентом усиления $k_{п}$ и постоянной времени $T_{п}$:

$$W_{т.п.}(p) = \frac{k_{п}}{T_{п}p+1}.$$

Рассматриваемая схема обеспечивает возможность настройки системы управления с минимальной величиной перерегулирования в кривых тока и скорости (около 5%), при статическом перепаде угловой скорости, определяемом параметрами системы по следующей формуле:

$$\Delta\omega_c = \frac{4T_{II}}{T_M} \Delta\omega_{c\text{ PAB}} ,$$

где $\Delta\omega_{c\text{ PAB}}$ — перепад скорости в разомкнутой системе; T_{II} , T_M — постоянные времени соответственно преобразователя и электромеханическая.

Статический перепад скорости зависит от соотношения $4T_{II}/T_M$. Для уменьшения статизма в ряде случаев используют системы с двукратным интегрированием, когда регулятор скорости выполняется также пропорционально-интегральным. В этом случае имеет место астатическая система, но характер переходного процесса ухудшается. Перерегулирование в кривой тока достигает 30—40%.

Для ограничения величины тока цепи якоря двигателя регулятор скорости шунтируют стабилитронами или специальными блоками ограничения. Настройка параметров электропривода в системах подчиненного регулирования отличается тем преимуществом, что можно проводить настройку отдельных контуров последовательно, одного за другим. В двухконтурных системах сначала настраивают контур тока при отключенном возбуждении двигателя. В этом случае двигатель рассматривается как инерционное звено. При подаче скачкообразного сигнала на вход РТ настраивается желаемый характер переходного процесса тока $i(t)$. Затем включается возбуждение двигателя и настраивается контур скорости.

Такой же порядок рекомендуется для настройки системы на модели. Вначале моделируется контур тока и проверяется характер переходного процесса. После проверки правильности настройки контура тока собирается вся схема модели.

В САУ ЭП применяются задержанные обратные связи (с отсечками), вступающие в действие при определенных значениях контролируемых параметров. Отключение или включение обратных связей осуществляется с помощью специальных ключей в виде нелинейных элементов (НЭ).

Реализация нелинейных элементов НЭ1 (в регуляторе тока) и НЭ2 (в регуляторе скорости) показана на рис. 6 и 7 соответственно.

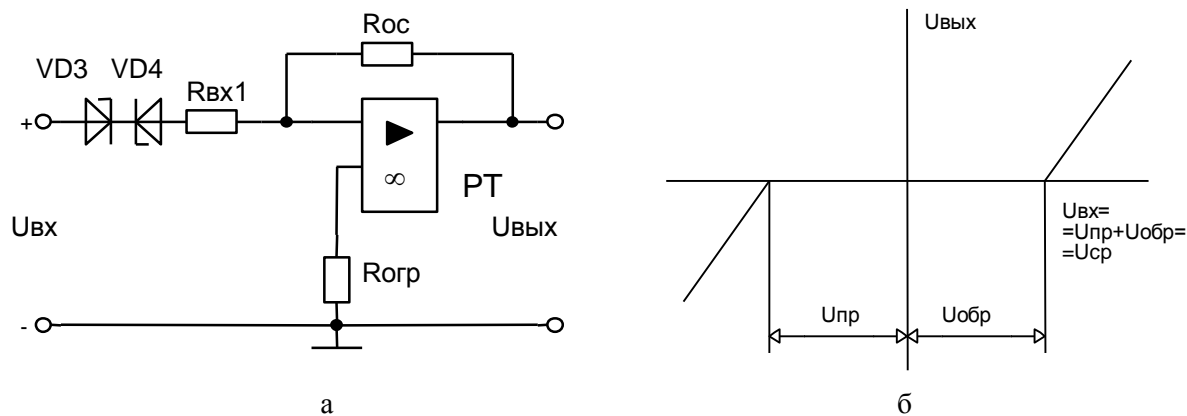


Рисунок 6 – Схемная реализация регулятора тока (а) и статическая характеристика НЭ1 – зоны нечувствительности (б)

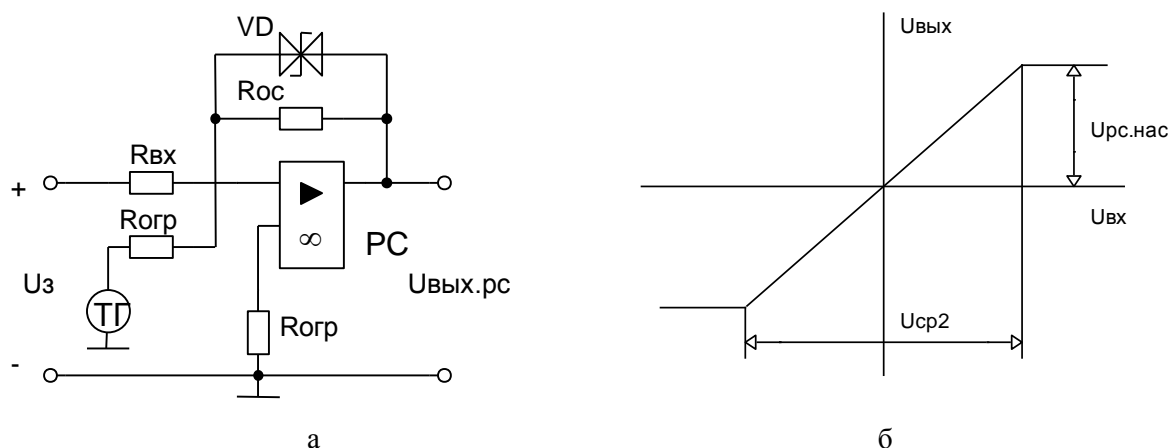


Рисунок 7 – Схемная реализация регулятора скорости (а) и статическая характеристика НЭ2 – зоны насыщения (б)

1.3 Моделирование следящего электропривода

Задачей следящих систем автоматического управления электроприводом (САУ ЭП) рабочих органов механизмов является обеспечение перемещения исполнительного органа (ИО) в соответствии с изменяющимся по произвольному закону управляющим (входным) сигналом. Функциональная схема, реализующая задачи следящих САУ, приведена на рис. 8.

При этом выделяют 2 группы следящих систем:

- САУ позиционирования, осуществляющие режим управления положением (линейным L или угловым Q), при котором задачей системы является перемещение рабочего органа из одного фиксированного положения в другое. Входное воздействие при этом является единичным скачком: $g(t) = Q_{вх}(t) = 1(t)$.

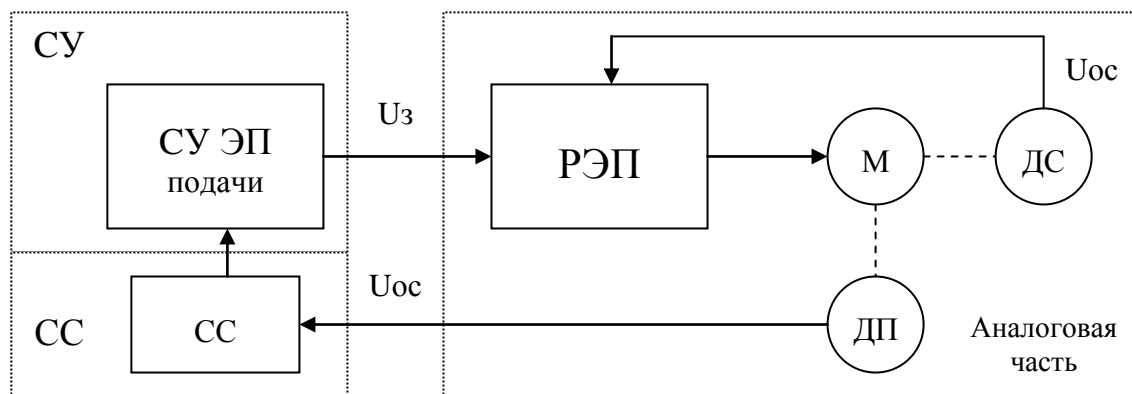
- Собственно следящие САУ, осуществляющие воспроизведение входного сигнала, нарастающего с постоянной скоростью [$g(t)=Vt$], с постоянным ускорением [$g(t)=at^2/2$], или гармонического сигнала [$g(t)=\theta \sin \omega t$]. При этом $g(t)=Vt$ называют линейно нарастающим, а $g(t)=at^2/2$ - квадратичным сигналом.

Следящая САУ рассматривается с позиции теории подчиненного регулирования с последовательной коррекцией (последовательным включением регуляторов). Как известно, величина ошибки САУ в установившемся режиме зависит от порядка астатизма (числа интегрирующих звеньев в системе) - V .

Статические САУ ($V=0$) при управлении положением рабочего органа [$g(t)=\theta_{ex}(t)=const$] имеют установившуюся ошибку, называемую статической или ошибкой по положению:

$$\sigma_{cm} = \frac{\theta_{ex}}{1 + K_c},$$

где K_c – коэффициент передачи разомкнутой САУ.



СУ – система управления приводом; СС – схема сопряжения датчика положения с СУ; ДП – датчик положения; ДС – датчик скорости; М – двигатель

Рисунок 8 – Реализация следящего привода

При управлении скоростью перемещения рабочего органа $g(t)=Vt$ или ускорением $g(t)=at^2/2$ в статических следящих САУ установившиеся ошибки возрастают неограниченно: $\sigma_{cm} \rightarrow \infty$.

В статических САУ I порядка ($V=1$) при управлении положением, скоростью и ускорением рабочего органа ошибки определяются: по положению - $\sigma_{cm} = 0$; по скорости - $\sigma_{cm} = a_1 V / K_v$; по ускорению - $\sigma_{cm} \rightarrow \infty$. Здесь V – скорость изменения входного

сигнала; K_v – коэффициент передачи разомкнутой системы по скорости (добротность системы по скорости); a_1 – коэффициент в передаточной функции разомкнутой САУ.

В астатических САУ II порядка ($V=2$) установившиеся ошибки по положению и скорости компенсируются: $\sigma_{cm} = 0$, а по ускорению при квадратичном сигнале $\sigma_{cm} = a / K_a$, где a – ускорение изменения входного сигнала; K_a – добротность системы по ускорению.

Как следует из приведенного, величины ошибок при соответствующем порядке астатизма определяются также величиной, скоростью и ускорением входного сигнала и находятся в обратной зависимости от коэффициента передачи системы K_c . Последний определяет устойчивость САУ – при неограниченном возрастании погрешность может быть полностью скомпенсирована, однако устойчивость будет нарушена. Поэтому между качеством (величиной σ_{cm}) и устойчивостью существует противоречие, которое решается выбором компромиссного значения.

Аппаратное решение следящих САУ обычно осуществляется на базе ТП-Д с активными корректирующими звеньями последовательного действия – регуляторами на операционных усилителях. В отличие от схемы РЭП в следящей системе имеется еще одно интегрирующее звено, соответствующее преобразованию угловой скорости двигателя $\omega_{дв}$ в угол поворота объекта регулирования $Q_{вых}$. Его передаточная функция при отсутствии зазоров в редукторе имеет вид

$$W_{РЕД}(p) = \frac{Q_{ВЫХ}(p)}{\omega_{ВЫХ}(p)} = \frac{k_P}{p} = \frac{i}{ip},$$

где i – передаточное отношение редуктора.

Устройству для измерения угла рассогласования (СС) – $\delta = Q_{ВХ} - Q_{ВЫХ}$ и фазовому детектору, выполняющему функции регулятора положения, соответствует пропорциональное звено с коэффициентом усиления k_δ (в данном случае $k_\delta = K_{рп}$), т. е.

$$W_{ИЗМ}(p) = \frac{u\delta(p)}{\delta(p)} = k_\delta.$$

В следящем электроприводе, где не используются контуры регулирования тока и скорости, передаточная функция регулятора угла должна выбираться из условия

обеспечения заданных значений добротности по скорости, ускорению и рывку. В этом случае необходимо использование ПИД - регулятора с передаточной функцией

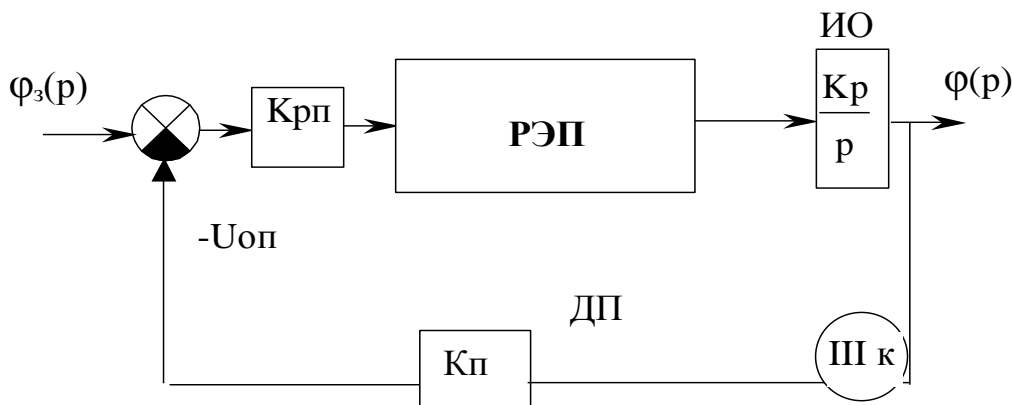
$$W_{K1} = \frac{(T_{K1}p + 1)(T_{K2} + 1)}{T_{Ka}p},$$

где T_{K1} — низкочастотная постоянная времени дифференцирования, обеспечивающая устойчивость системы; T_{K2} — высокочастотная постоянная времени дифференцирования, повышающая динамические свойства системы; T_{K3} — постоянная времени интегрирования, обеспечивающая ограничение ускорения привода и компенсирующая скоростную ошибку системы.

На практике для обеспечения заданных значений угла рассогласования в статических и динамических режимах достаточно использовать ПИ - регулятор с передаточной функцией

$$W_{K_r}(p) = \frac{T_{K1}p + 1}{T_{Ka}p}.$$

В соответствии со структурной схемой на рис. 8 и передаточными функциями ее звеньев на рис. 9 представлена схема модели следящего электропривода, реализованного на базе модели РЭП (см. рис. 5).



ИО – исполнительный орган; $\varphi_z(p)$, $\varphi(p)$ – угол задания и фактически отработанный соответственно; ДП – датчик положения; Кп – коэффициент передачи датчика положения; Крп – коэффициент передачи регулятора положения; Кр - коэффициент передачи редуктора; Uоп – значение напряжения в обратной связи по положению

Рисунок 9 – Модель следящего электропривода

Лабораторный практикум проводится с использованием пакета *MATLAB 5.x* и выше.

2 Краткие сведения о пакете MathLab

2.1 Система MathLab

MathLab - это высокопроизводительный язык для технических расчетов. Он включает в себя вычисления, визуализацию и программирование в удобной среде, где задачи и решения выражаются в форме, близкой к математической. Типичное использование *MathLab*:

- математические вычисления;
- создание алгоритмов;
- моделирование;
- анализ данных, исследования и визуализация;
- научная и инженерная графика;
- разработка приложений, включая создание графического интерфейса.

MathLab - это интерактивная система, в которой основным элементом данных является массив. Это позволяет решать различные задачи, связанные с техническими вычислениями, особенно те, в которых используются матрицы и векторы, в несколько раз быстрее, чем при написании программ с использованием "скалярных" языков программирования, таких как *Cu* или *Фортран*.

Слово *MathLab* означает матричная лаборатория (matrix laboratory). *MathLab* был специально написан для обеспечения легкого доступа к *LINPACK* и *EIS PACK*, которые представляют собой современные программные средства для матричных вычислений. Он развивался в течение нескольких лет, ориентируясь на различных пользователей. В университетской среде он представляет собой стандартный инструмент для работы в различных областях науки. В промышленности *MathLab* - это инструмент для высокопродуктивных исследований, разработок и анализа данных.

В *MathLab* важная роль отводится специализированным группам программ, называемых *toolboxes*. Они очень важны для большинства пользователей *MathLab*, так как позволяют изучать и применять специализированные методы. *Toolboxes* - это всесторонняя коллекция функций *MathLab* (М-файлов), которые позволяют решать частные классы задач. *Toolboxes* применяются для обработки сигналов, систем контроля, нейронных сетей, нечеткой логики, вэйвлетов, моделирования и т.д.

2.2 Структура MathLab

Система *MathLab* состоит из пяти основных частей:

- *Язык MathLab* — это язык матриц и массивов высокого уровня с управлением потоками, функциями, структурами данных, вводом-выводом и особенностями объектно-ориентированного программирования. Это позволяет программировать как в "небольшом масштабе", для быстрого создания черновых программ, так и в "большом" — для создания больших и сложных приложений.

- *Среда MathLab* — это набор инструментов и приспособлений, с которыми работает пользователь или программист *MathLab*. Она включает в себя средства для управления переменными в рабочем пространстве *MathLab*, вводом и выводом данных, а также для создания, контроля и отладки М-файлов и приложений *MathLab*.

- *Управляемая графика* — это графическая система *MathLab*, которая включает в себя команды высокого уровня для визуализации двух- и трехмерных данных, обработки изображений, анимации и иллюстрированной графики. Она также включает в себя команды низкого уровня, позволяющие полностью редактировать внешний вид графики, как при создании Графического Пользовательского Интерфейса (GUI) для *MathLa*-приложений.

- *Библиотека математических функций* — это обширная коллекция вычислительных алгоритмов от элементарных функций, таких как сумма, синус, косинус, комплексная арифметика, до более сложных, таких как обращение матриц, нахождение собственных значений, функции Бесселя, быстрое преобразование Фурье.

- *Программный интерфейс* — это библиотека, позволяющая писать программы на *Cu* и *Фортране*, которые взаимодействуют с *MathLab*. Она включает средства для вызова программ из *MathLab* (динамическая связь), для вызова *MathLab* в качестве вычислительного инструмента и для чтения-записи MAT-файлов и программ *Simulink* и *Real-Time Workshop*:

— *Simulink* — сопутствующая *MathLab* программа. Это интерактивная система для моделирования нелинейных динамических систем. Она представляет собой среду, управляемую мышью, которая позволяет моделиро-

вать процесс путем перетаскивания блоков диаграмм на экране и их манипуляции. *Simulink* работает с линейными, нелинейными, непрерывными, дискретными, многомерными системами.

— *Blocksets* — это дополнения к *Simulink*, которые обеспечивают библиотеки блоков для специализированных приложений, таких как связь, обработка сигналов, энергетические системы.

— *Real-Time Workshop* — это программа, которая позволяет генерировать С-код из блоков диаграмм и запускать их на выполнение на различных системах реального времени.

2.3 Работа в MathLab

В данном лабораторном курсе мы будем проводить исследования в среде программы *Simulink*. Для работы с программой *Simulink*, необходимо запустить *MathLab*, в результате чего откроется окно (рис.10).

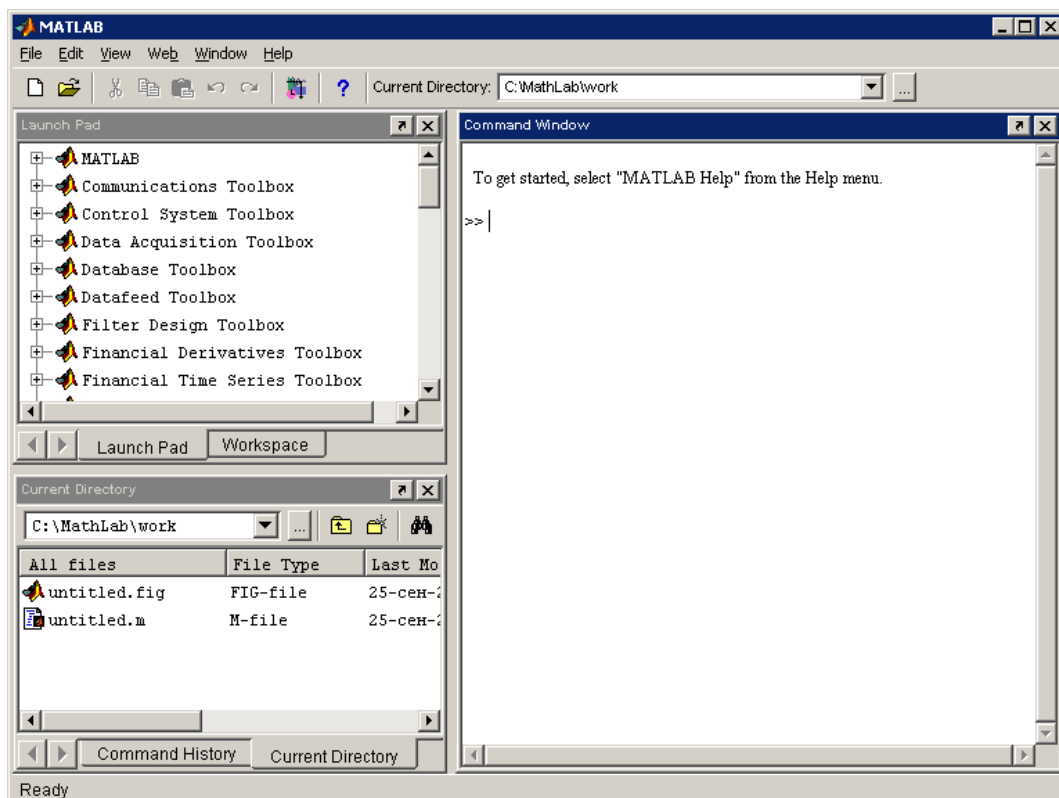


Рисунок 10 – Окно *MathLab*

Для перехода к *Simulink* выполняется команда: File → New → Model. Появится следующее окно (рис. 11).

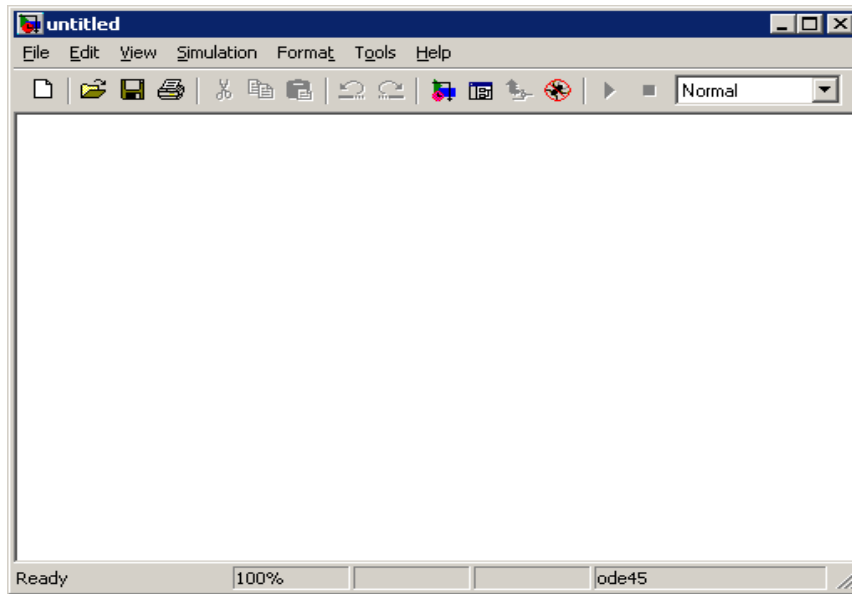



Рисунок 11 – Окно *MathLab*

Это и есть рабочая область, куда будут перемещаться готовые блоки для моделирования систем. Все блоки располагаются в Library Browser ( — находится на панели инструментов). Library Browser представляет собой состоящий из трех частей и панели инструментов проводник (рис. 12).

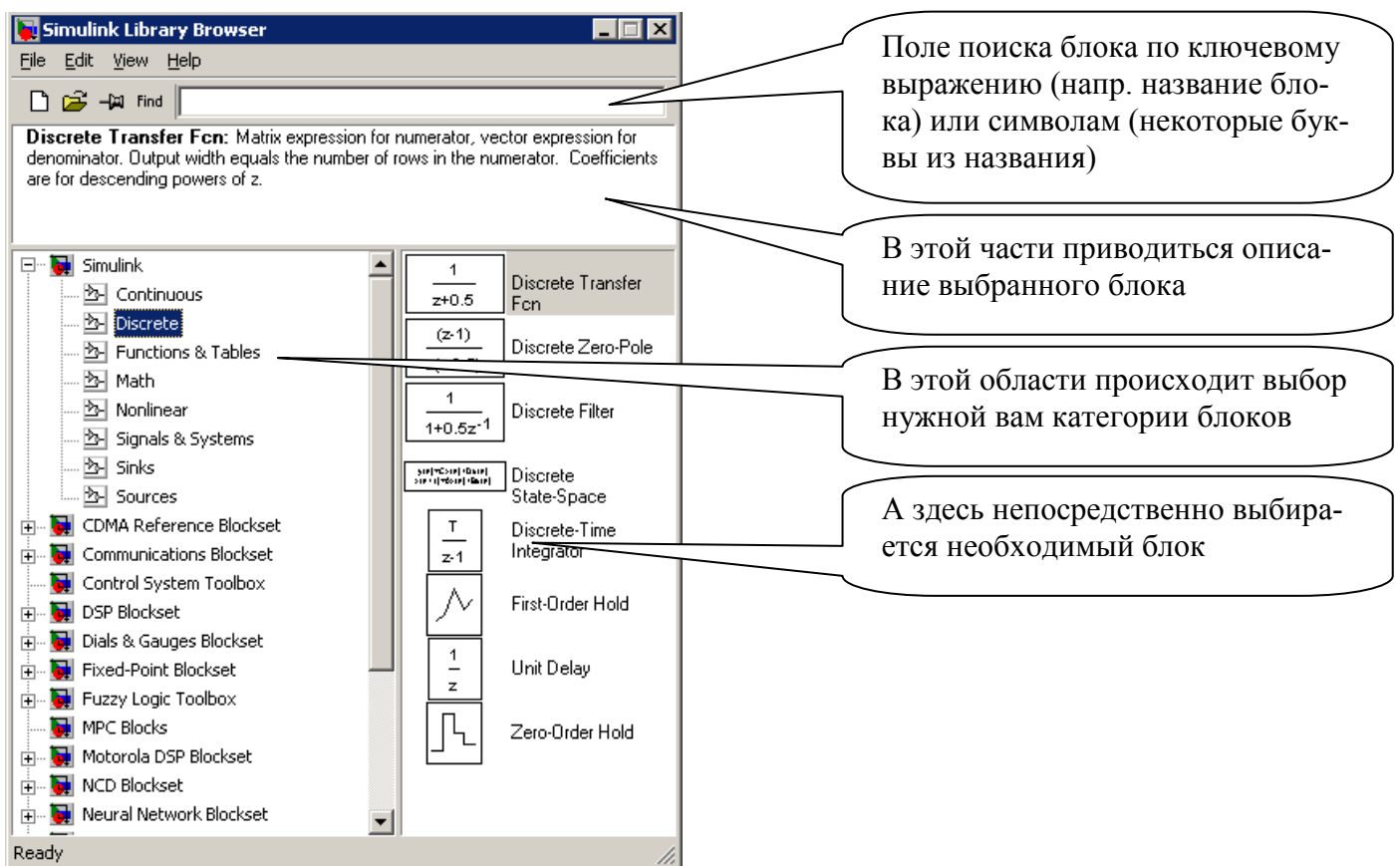




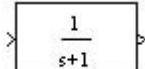





Рисунок 12 – Окно *Library Browser*

Помещение объектов на рабочую область производится путем перетаскивания блока при помощи мышки (удерживая нажатой левую клавишу) либо из контекстного меню правой кнопки **Add to** 'наименование_проекта'.

В ходе лабораторных работ будут использоваться следующие блоки:

- *Constant* 
- *Saturation* 
- *Gain* 
- *Scope* 
- *Transfer Fcn* 
- *Mux* 
- *Dead Zone* 
- *Sum* 

Для операций с блоками (вращение блока, изменение направления цепи блока) используется контекстное меню правой кнопки мыши на рабочей области Format (рис. 13).

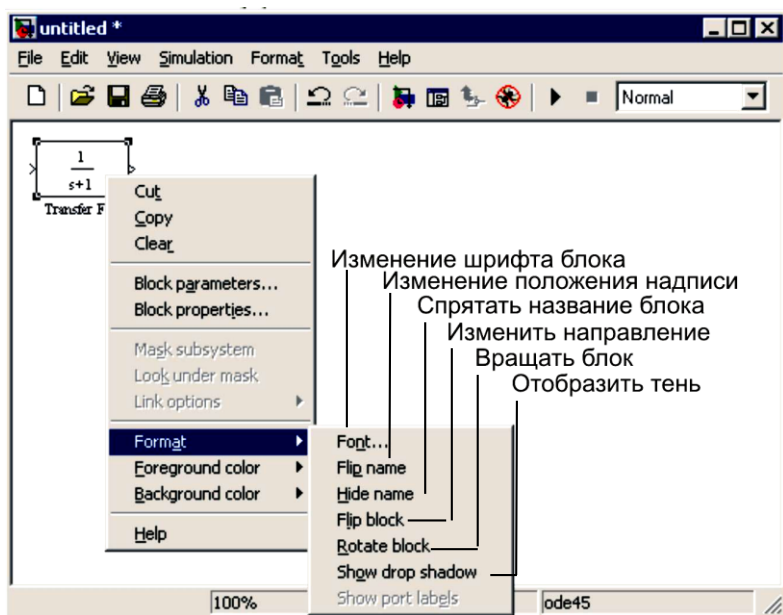


Рисунок 13 – Область Format

Для изменения параметров блока используется либо контекстное меню правой кнопки мыши *Block Parameters* (рис. 14), либо двойной щелчок левой кнопкой на блоке (пример для блока *Transfer Fcn*):

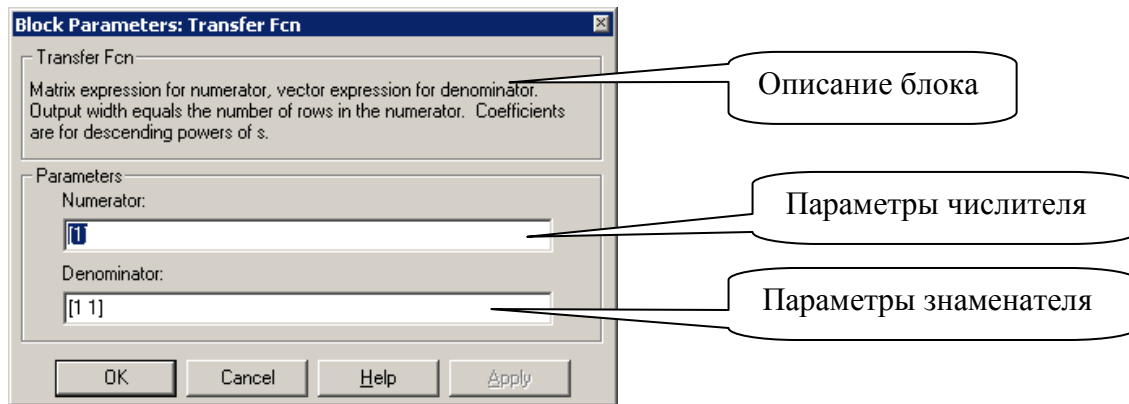


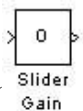
Рисунок 14 – Контекстное меню *Block Parameters*

Причем, если вам необходимо получить функцию вида $\frac{1}{s}$, то в параметрах знаменателя следует вводить [1 0], а не [1].

Соединение блоков производят путем наведения курсора мыши на выход блока (курсор меняется на крестик) и, удерживая левую кнопку мыши, соединяют с нужной точки (до ввода следующего блока либо до места соединения проводников).

Таким образом, задавая значения передаточных функций блоков и соединяя их между собой, можно получить модель практически любого механизма.

При выполнении работ, где требуется изменение параметров элемента *Gain*, возможно применение элемента *Slider Gain* (*Slider* — *Ползунок(Слайдер)*). Этот элемент характерен возможностью динамического изменения параметра путем перемещения ползунка. Режим изменения активизируется путем двойного щелчка на икон-



ке элемента (). При этом откроется окно (рис. 15).

При необходимости можно использовать элементы подобные *Slider Gain*, представленные на рис. 16.

Следует учесть, что эти элементы, в отличие от *Slider Gain*, имеют только выходную точку.

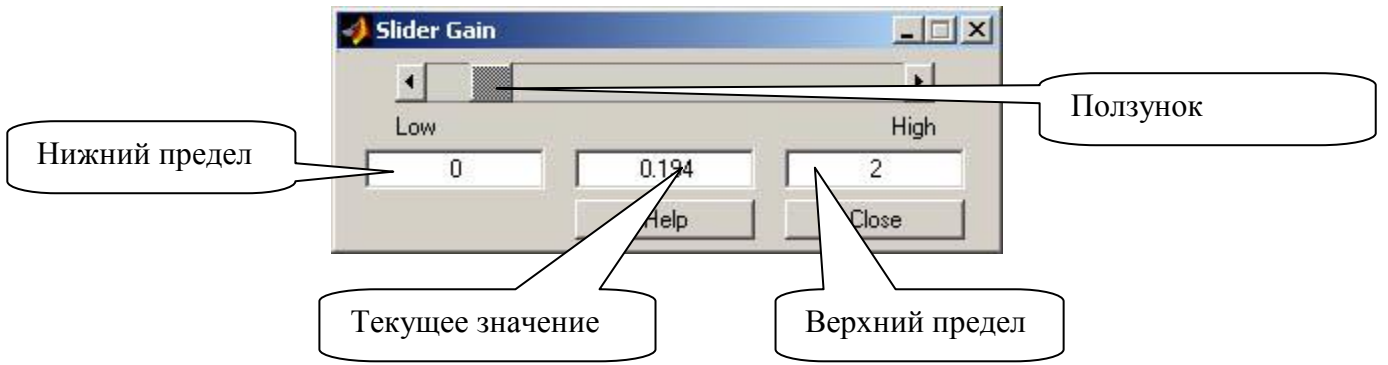


Рисунок 15 – Окно *Slider Gain*

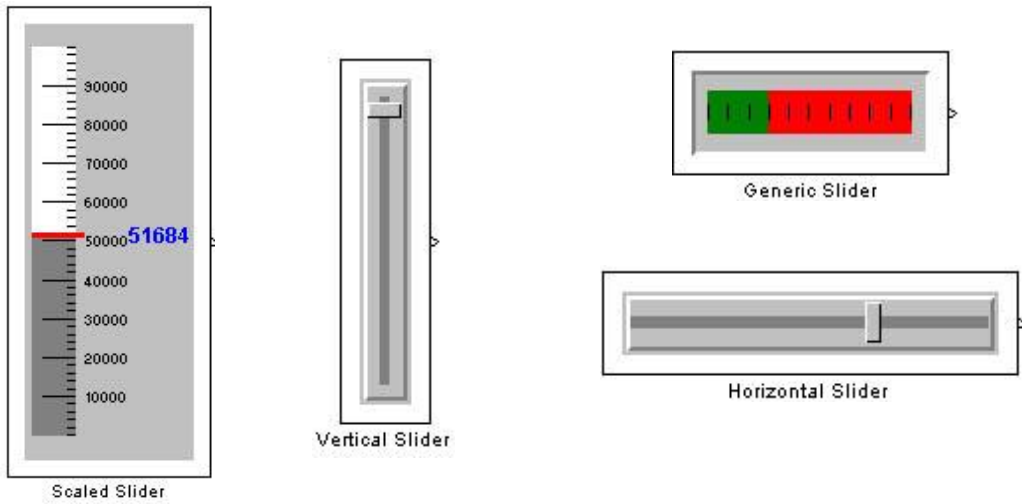


Рисунок 16 – Элементы, подобные *Slider Gain*

3 Практикум по моделированию

3.1 Лабораторная работа № 1

Моделирование и исследование одноконтурной САУ ЭП

Цель работы:

- 1 Ознакомиться с особенностями одноконтурной САУ ЭП.
- 2 Выяснить влияние коэффициентов САУ на динамику переходных процессов.
- 3 Приобрести навыки работы с пакетом MATLAB.

Исходные данные: структурная схема одноконтурной САУ ЭП; коэффициенты системы: $U_3=10$ В, $U_{cp2}=0.31$ В, $K_\phi=2.01$, $K_{pc}=5.17$, $K_c=0.09$, $K_{тп}=37.5$, $K_{д1}=0.545$ Р/В, $K_{д2}=0.9$ Р/В, $I_c=3.7$ А, $T_M=0.4$ с, $T_3=0.017$ с, $T_{тп}=0.005\dots 0.01$ с.

Ход работы:

1 Согласно структурной схеме одноконтурной САУ ЭП собрать модель привода в среде *MathLab* (рис. 17).

2 Получить (на элементе *Scope*) исходный переходной процесс по току и скорости. В случае необходимости произвести коррекцию коэффициентов модели. По виду переходного процесса оценить качество регулирования.

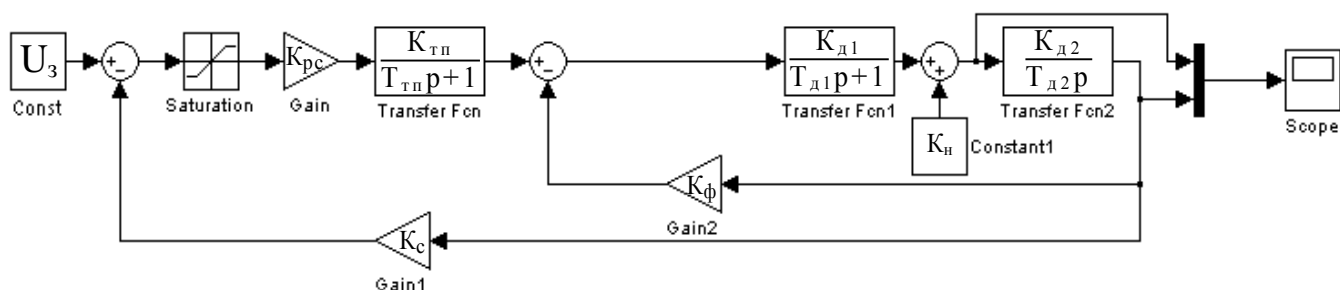


Рисунок 17 — Модель одноконтурной САУ ЭП

3 Оценить влияние на динамику переходного процесса следующих коэффициентов: K_{pc} , K_c , $K_{д1}$, $K_{д2}$, $K_{тп}$, I_{c2} , U_{cp2} . (Привести графики переходных процессов.)

4 Сделать выводы о влиянии указанных коэффициентов на устойчивость системы.

5 Оформить отчет о лабораторной работе. Отчет должен содержать:

- наименование работы;
- цель работы;
- схему одноконтурной САУ ЭП;

- графики, полученные при выполнении п. 3;
- выводы по работе.

3.2 Лабораторная работа № 2

Моделирование и исследование двухконтурной САУ ЭП

Цель работы:

- 1 Ознакомиться с особенностями двухконтурной САУ ЭП.
- 2 Выяснить влияние коэффициентов САУ на динамику переходных процессов.

Исходные данные: структурная схема двухконтурной САУ ЭП; коэффициенты системы для контура тока: $K_{pr}=0.1$, $K_T=0.14$, $K_{pr}^H=3.5$, $U_{cp1}=8.8$ В.

Ход работы:

1 Согласно структурной схеме двухконтурной САУ ЭП собрать модель привода в среде *MathLab* (рис. 18).

2 Получить (на элементе *Scope*) исходный переходный процесс по току и скорости. В случае необходимости произвести коррекцию коэффициентов модели. По виду переходного процесса оценить качество регулирования.

3 Оценить влияние на динамику переходного процесса следующих коэффициентов: K_{pr} , $K_{pr}^{инт.}$, K_T , $H_{з1}$, U_{cp1} . (Привести графики переходных процессов.)

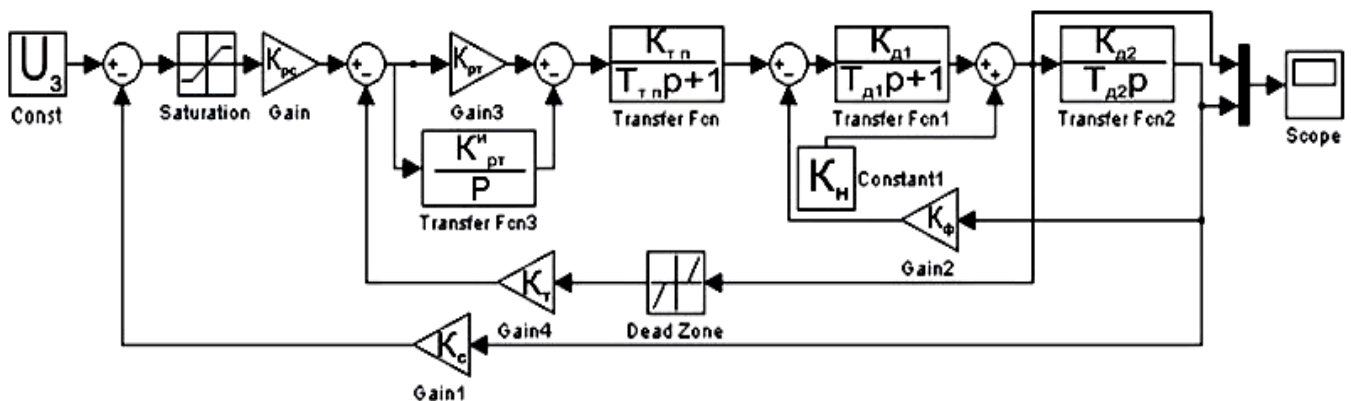


Рисунок 18 — Модель двухконтурной САУ ЭП

4 Сделать выводы о влиянии указанных коэффициентов на устойчивость системы.

5 Оформить отчет о лабораторной работе. Отчет должен содержать:

- наименование работы;

- цель работы;
- схему двухконтурной САУ ЭП;
- графики, полученные при выполнении п. 3;
- выводы по работе.

3.3 Лабораторная работа № 3

Моделирование и исследование трехконтурной САУ ЭП

Цель работы:

- 1 Ознакомиться с особенностями трехконтурной САУ ЭП.
- 2 Выяснить влияние коэффициентов САУ на динамику переходных процессов.

Исходные данные: структурная схема трехконтурной САУ ЭП; коэффициенты системы для контура положения: $K_{ред} \approx 0.8$, $K_{п} \approx 1$, $K_{рп} \approx 0.5$.

Ход работы:

1 Согласно структурной схеме трехконтурной САУ ЭП собрать модель привода в среде *MathLab* (рис. 19).

2 Получить (на элементе *Scope*) исходный переходный процесс по току, скорости и положению. В случае необходимости произвести коррекцию коэффициентов контура положения для получения устойчивого переходного процесса. По виду переходного процесса оценить качество регулирования.

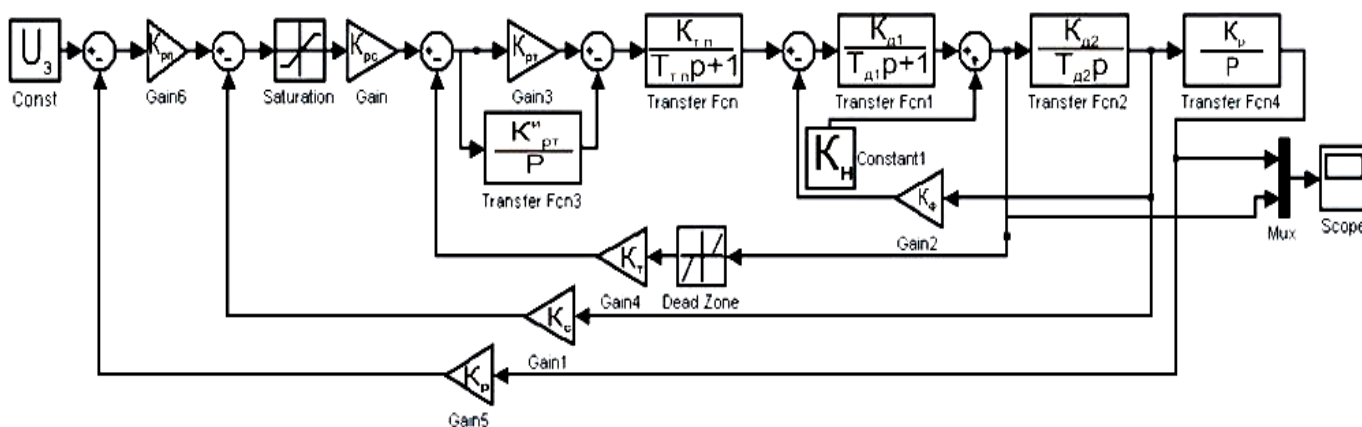


Рисунок 19 — Модель трехконтурной САУ ЭП

3 Оценить влияние на динамику переходного процесса следующих коэффициентов: $K_{рп}$, $K_{п}$, $K_{ред}$. (Привести графики переходных процессов.)

4 Сделать выводы о влиянии указанных коэффициентов на устойчивость системы.

5 Оформить отчет о лабораторной работе. Отчет должен содержать:

- наименование работы;
- цель работы;
- схему трехконтурной САУ ЭП;
- графики, полученные при выполнении п. 3;
- выводы по работе.

3.4 Лабораторная работа № 4

Исследование влияния нелинейных элементов на качество регулирования в многоконтурных САУ ЭП

Цель работы:

- 1 Исследовать влияния НЭ1 на качество регулирования двухконтурной САУ ЭП.
- 2 Исследовать влияния НЭ2 на качество регулирования двухконтурной САУ ЭП.
- 3 Исследовать совместное влияние НЭ1 и НЭ2 на качество регулирования двухконтурной САУ ЭП.

Исходные данные: модели одно-, двух-, трехконтурной САУ ЭП.

Ход работы:

1 Используя модель одноконтурной САУ РЭП (см. рис. 17), исследовать влияние НЭ2 на качество регулирования в САУ. Получить графики переходных процессов по току и скорости. Определить время регулирования основного параметра. Результаты исследований занести в таблицу (табл. 1).

2 Используя модель двухконтурной САУ РЭП (см. рис. 18), исследовать влияние НЭ1 на качество регулирования в САУ. Получить графики переходных процессов по току и скорости. Определить время регулирования основного параметра. Результаты исследований занести в таблицу (табл. 1).

3 Используя модель двухконтурной САУ РЭП (см. рис. 18), исследовать совместное влияние НЭ1 и НЭ2 на качество регулирования в САУ. Получить графики переходных процессов по току и скорости. Определить время регулирования основ-

ного параметра. Результаты исследований занести в таблицу (табл. 1).

4 Используя модель трехконтурной САУ СЭП (см. рис. 19), исследовать совместное влияние НЭ1 и НЭ2 на качество регулирования в САУ. Получить графики переходных процессов по току, скорости и положению. Определить время регулирования основного параметра. Результаты исследований занести в таблицу (табл. 1).

Таблица 1 - Результаты исследований

№ п/п	Параметры НЭ1	Параметры НЭ2	Вид переходного процесса (по рис. 3)*									
			1-контурная САУ ЭП			2-контурная САУ ЭП			3-контурная САУ ЭП			
			i	ω	t ^{оп} _p	i	ω	t ^{оп} _p	i	ω	φ	t ^{оп} _p
1	K _{дт} ↑	---										
2	K _{дт} ↓	---										
3	±U _{ср} ↓	---										
4	±U _{ср} ↑	---										
5	K _{дт} ↑, ±U _{ср} ↓	---										
6	K _{дт} ↑, ±U _{ср} ↑	---										
7	---	K _{рс} ↑										
8	---	K _{рс} ↓										
9	---	±U _п ↓										
10	---	±U _п ↑										
11	---	K _{рс} ↑, ±U _п ↓										
12	---	K _{рс} ↑, ±U _п ↑										
13	±U _{ср} ↓	±U _п ↓										
14	±U _{ср} ↓	±U _п ↑										
15	±U _{ср} ↑	±U _п ↓										
16	±U _{ср} ↑	±U _п ↑										

- * 1 или Э – экспоненциальный процесс;
 2 или А – аperiodический процесс;
 3 или К – колебательный процесс:
 КЗ (ЗЗ) – затухающий колебательный процесс,
 КН (ЗН) – незатухающий колебательный процесс.

В таблице должны быть отображены выходные данные моделирования с указанием вида переходного процесса основного и зависимого параметра системы и времени переходного процесса (или времени регулирования).

При анализе результатов необходимо выделить оптимальный переходный процесс с точки зрения обеспечения максимального быстродействия и точности отработки задания.

Определить область устойчивости системы путем выделения граничных значений параметров нелинейных элементов, при которых переходный процесс переходит в установившийся режим.

5 Оформить отчет о лабораторной работе. Отчет должен содержать:

- наименование работы;
- цель работы;
- схемы одно-, двух-, трехконтурной САУ ЭП;
- заполненную таблицу и графики оптимальных переходных процессов;
- вывод по проделанной работе.

3.5 Лабораторная работа № 5

Динамика САУ РЭП

Цель работы:

- 1 Исследовать динамические процессы в двухконтурной САУ ЭП.
- 2 Выяснить влияние задержанных обратных связей на качество регулирования в САУ ЭП.

Исходные данные: модель двухконтурной САУ ЭП; наброс 2-кратной нагрузки производится через 30 с, снятие нагрузки – через 35 с, торможение – через 40 с.

Ход работы:

1 Используя модель двухконтурной САУ ЭП (рис. 18), дополняем ее элементами Step-Step2, как показано на рис. 20.

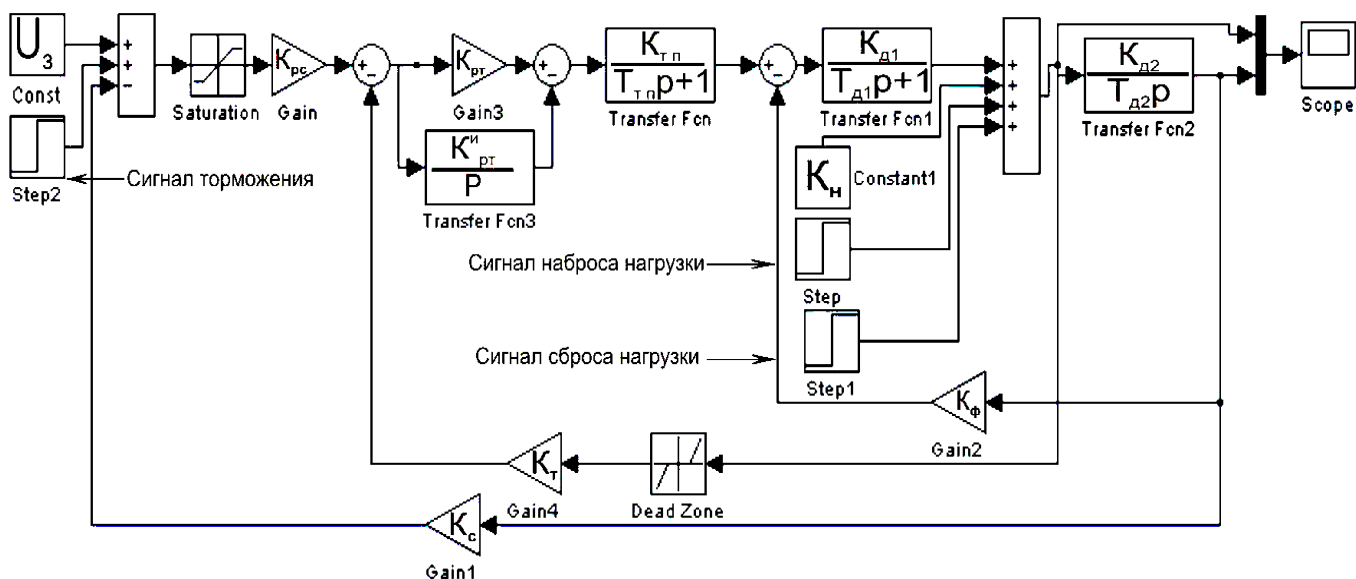


Рисунок 20 — Модель двухконтурной САУ для моделирования динамики РЭП

2 Задав необходимые значения времени и величин нагрузки получить переходные процессы по току и скорости. По виду переходных процессов оценить качество регулирования в САУ РЭП.

3 Оформить отчет о лабораторной работе. Отчет должен содержать:

- наименование работы;
- цель работы;
- схему модели двухконтурной САУ РЭП;
- графики, полученные при моделировании пуска на холостом ходу, наброса нагрузки, снятия нагрузки и торможения;
- выводы по работе.

4 Вопросы для самопроверки

- 1 Особенности структуры тиристорного электропривода.
- 2 Особенности структуры аналоговых систем автоматизированного управления электроприводами.
- 3 Влияние обратной связи по скорости на свойства автоматизированного электропривода в статике.
- 4 Влияние обратной связи по току на свойства автоматизированного электропривода в статике.
- 5 Влияние обратной связи по положению на свойства автоматизированного электропривода в статике.
- 6 Влияние обратной связи по напряжению на свойства автоматизированного электропривода в статике.
- 7 Особенности статического режима САУ ЭП с подчиненным регулированием при отсечках по скорости и току.
- 8 Роль нелинейных звеньев в САУ ЭП. Схемная реализация нелинейных звеньев.
- 9 Оценки статического режима САУ ЭП.
- 10 Динамический режим аналоговой САУ ЭП. Оценки динамического режима САУ ЭП.

Список рекомендуемой литературы

- 1 Комплектные системы управления электроприводами тяжелых металлорежущих станков /Н.В. Донской, А.А. Кириллов, Я.Н. Купчан и др.; Под ред. А.А. Поздеева. — М.: Энергия, 1980. — 288 с.
- 2 Моделирование тиристорных электроприводов /Е.В. Колчев, В.П. Метельский, В.И. Стульников. — К. : Техника, 1980. — 85 с.: ил.
- 3 Общий курс электропривода: Учебник для вузов /Н.Ф. Ильинский, В.Ф. Козаченко. — М.: Энергоиздат, 1992.- 544с.: ил.
- 4 Проектирование систем автоматического управления электроприводами /В.Л. Анхимюк, О.Ф. Олейко: Учебное пособие для ВУЗов по спец. “Электропривод и автоматизация промышленных установок”. — Минск: Вышейша шк., 1986. — 143 с.
- 5 Электромеханические системы циклического нагружения/ В.Ф. Егоров — Челябинск: Metallургия. Челябинск. Отд-е, 1991. — 208 с.