

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Готшалк Олег Алексеевич,
доцент, кандидат технических наук.

Объем дисциплины и виды учебной нагрузки.
Дисциплина изучается в двух семестрах.

1 семестр.

Лекции- 26 часов.

Лабораторные работы- 8 часов.

Практические занятия -6 часов.

Курсовая работа.

Зачет.

2 семестр.

Лекции- 34 часа.

Лабораторные работы-20 часов.

Экзамен.

Литература

1. В.А. Бесекерский, Е. П. Попов. Теория систем автоматического регулирования. М. Из-во Наука. 1975 г.
2. В. Дьяконов. Simulink 4. Специальный справочник. С-Пб. Из-во ПИТЕР. 2002 г.
3. О. А. Готшальк. Промышленные контроллеры. С-Пб. СЗТУ 2003 г.

Методические указания к изучению дисциплины

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ**

Для успешного изучения данной дисциплины студенту необходимо предварительно открыть конспекты лекций (а если их нет, то взять соответствующую литературу) и внимательно просмотреть ранее изучаемый материал по следующим дисциплинам:

1. Теория автоматического управления.
2. Промышленные контроллеры.

Весь курс предлагаемой дисциплины условно разбит на четыре раздела.

- Разработка непрерывной системы управления.
- Анализ непрерывной системы управления.
- Разработка цифровой системы управления.
- Синтез цифровой системы управления.
- Анализ цифровых систем управления.

Введение

Быстрое развитие микроэлектроники и вычислительной техники привело к резкому повышению ее качественных показателей: уменьшению габаритов, повышению надежности, быстродействия и др.

Это, в свою очередь, расширило сферы применения микроэлектроники и вычислительной техники в системах автоматического управления.

Микроэлектроника - область электроники, занимающаяся созданием электронных функциональных узлов, блоков и устройств в микроминиатюрном интегральном исполнении.

Большинство компонентов обычной электроники также применяются и в микроэлектронике:

резисторы Большинство компонентов обычной электроники также применяются и в микроэлектронике: резисторы,

конденсаторы Большинство компонентов обычной электроники также применяются и в микроэлектронике:

резисторы, конденсаторы, катушки

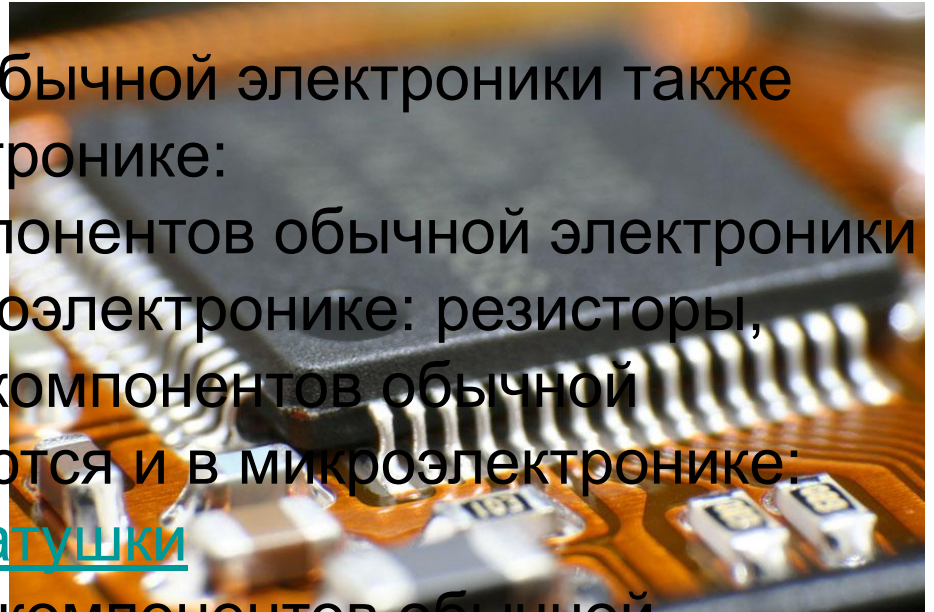
индуктивности Большинство компонентов обычной электроники также применяются и в микроэлектронике:

резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности,

диоды Большинство компонентов обычной электроники также применяются и в микроэлектронике: резисторы,

конденсаторы, катушки индуктивности, диоды,

транзисторы Большинство компонентов обычной



Вычислительная техника, совокупность технических и математических средств, методов и приёмов, используемых для облегчения и ускорения решения трудоёмких задач, связанных с обработкой информации, в частности числовой, путём частичной или полной автоматизации вычислительного процесса; отрасль техники, занимающаяся разработкой, изготовлением и эксплуатацией **вычислительных машин**.
Постепенно из простейших приспособлений для счёта рождались всё более и более сложные устройства:

абак Постепенно из простейших приспособлений для счёта рождались всё более и более сложные устройства: абак

(**счёты**) Постепенно из простейших приспособлений для счёта рождались всё более и более сложные устройства: абак

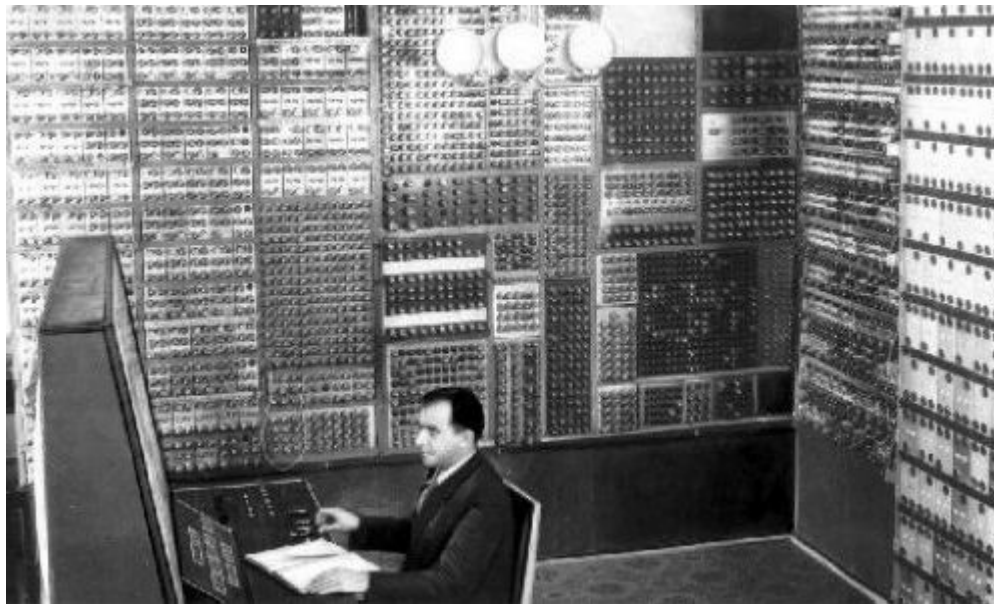
(счёты), **логарифмическая линейка** Постепенно из простейших приспособлений для счёта рождались всё более и более сложные устройства: абак (счёты), логарифмическая линейка

механический арифмометр Постепенно из простейших приспособлений для счёта рождались всё более и более

Автоматическое управление в технике, совокупность действий, направленных на поддержание или улучшение функционирования управляемого объекта без непосредственного участия человека в соответствии с заданной целью управления.

Система автоматического управления (САУ) поддерживает или улучшает функционирование управляемого объекта. В ряде случаев вспомогательные для САУ операции (пуск, остановка, контроль, наладка и т. д.) также могут быть автоматизированы. САУ функционирует в основном в составе производственного или какого-либо другого комплекса.

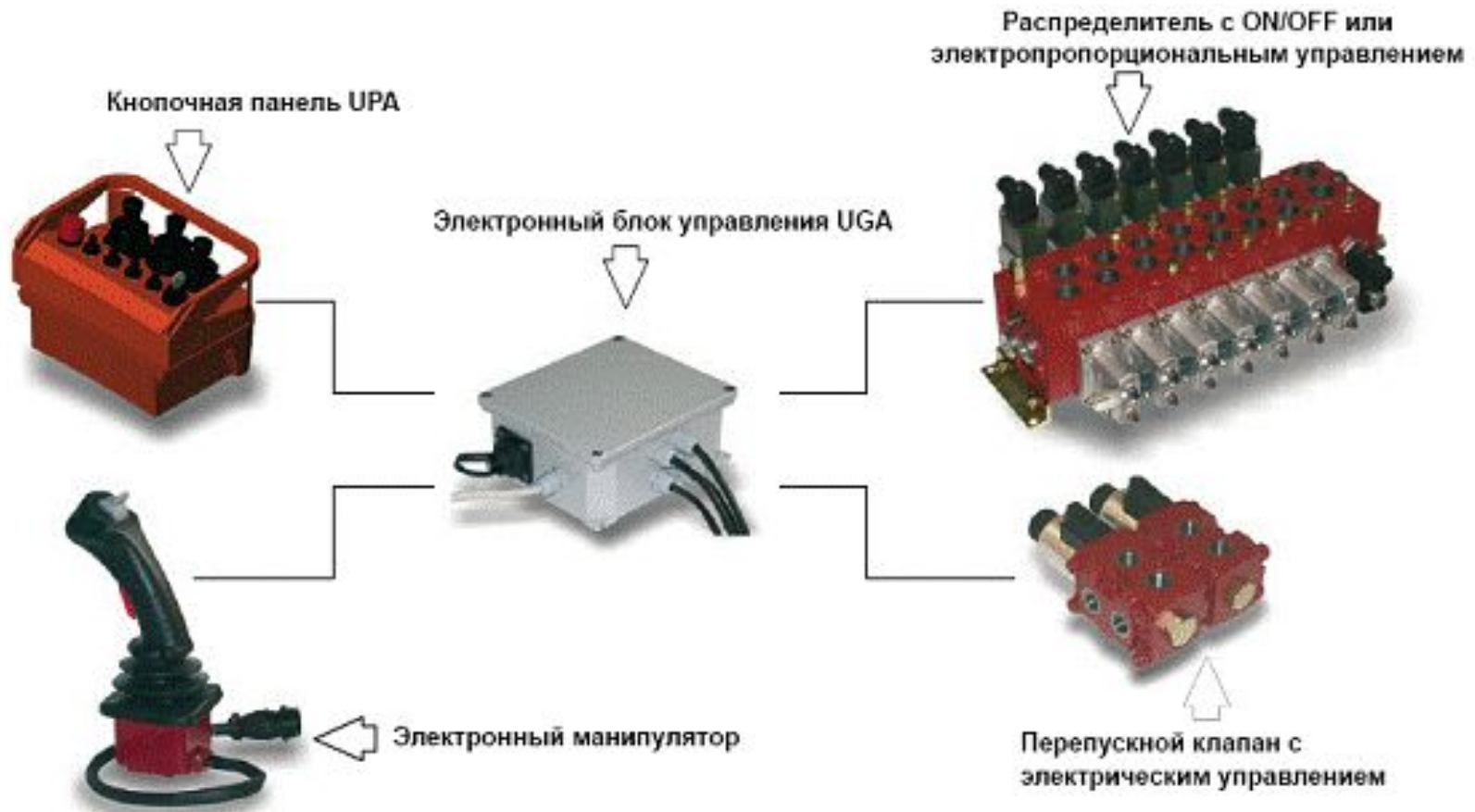
Использование микроэлектроники и вычислительной техники дало возможность решать те сложные задачи управления, которые не могли быть решены аналоговыми системами управления.



МЭСМ

В октябре 1951 года под руководством академика Сергея Алексеевича Лебедева вступила в эксплуатацию первая универсальная перепрограммируемая советская ЭВМ — малая электронная счетная машина (МЭСМ).

Аналоговая электронная система управления



Система состоит из манипуляторов, соединительных кабелей и модульного электронного блока управления, которые были разработаны для пропорционального дистанционного управления распределителем. Каждая плата SAS управляет двумя электроклапанами с током, пропорциональным сигналу, получаемому от джойстика. Датчик, расположенный на электронных платах, контролирует и стабилизирует ток на магнитах, поддерживая его постоянство также при наличии изменений температуры и напряжения питания.

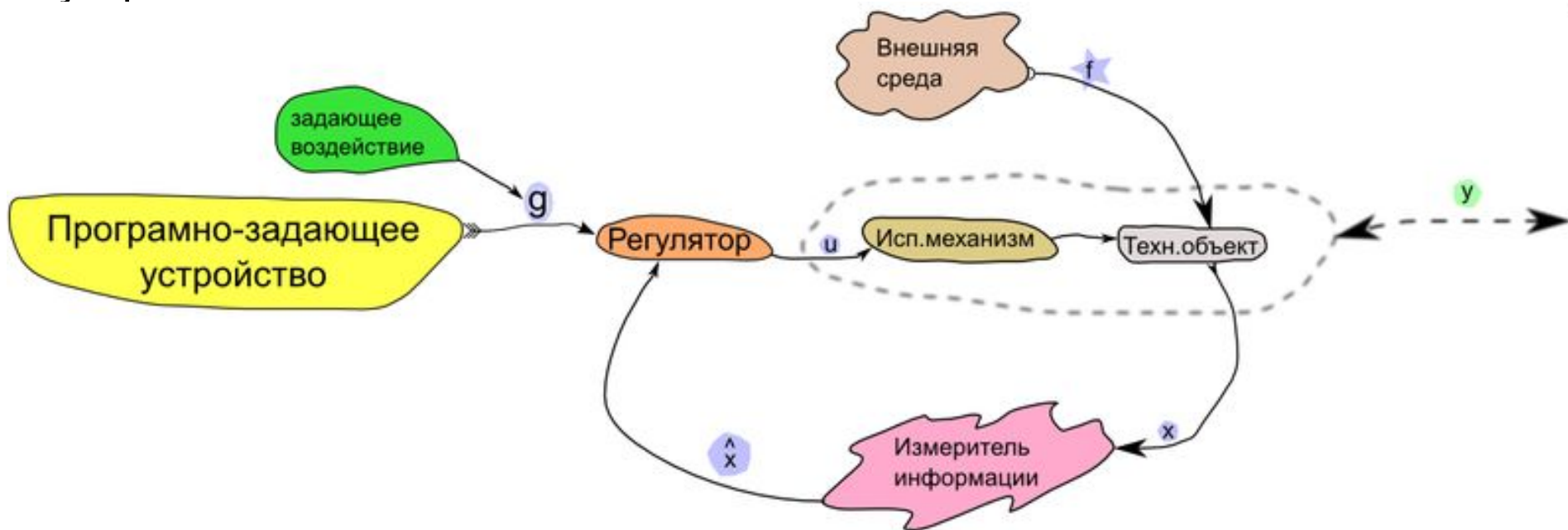
Применение микроэлектроники и вычислительной техники имеет существенные преимущества перед аналоговыми системами управления. К таким преимуществам можно отнести :

- гибкое программирование
- возможность реализации любой сложности алгоритмов управления за счет высокого быстродействия
- стабильность характеристик
- отсутствие дрейфа параметров и сигналов
- высокая точность выполнения различных арифметических операций.

Применение вычислительной техники для автоматизации технологических процессов и производств может идти по двум направлениям.

Первое направление обусловлено применением вычислительной техники при автоматизации управления отдельных технологических объектов, когда вычислительное устройство включено в замкнутый контур управления и обеспечивает сбор информации о состоянии объекта управления, обработку полученной информации и формирование сигнала управления для поддержания заданного режима работы этого объекта управления.

Система автоматического управления, как правило, состоит из двух основных элементов — объекта управления и управляющего устройства.



Замкнутые САУ

В замкнутых системах автоматического регулирования управляющее воздействие формируется в непосредственной зависимости от управляемой величины. Связь входа системы с его выходом называется обратной связью. Сигнал обратной связи вычитается из задающего воздействия. Такая обратная связь называется *отрицательной*.

Второе направление связано с автоматизацией группы технологических объектов, объединенных одним целевым назначением, например цеха. В этом случае создается локальная вычислительная сеть, в которую входит ряд специализированных вычислительных устройств, каждый из которых обеспечивает работу одного из технологических объектов. Общее управление локальной вычислительной сетью осуществляет центральный компьютер.

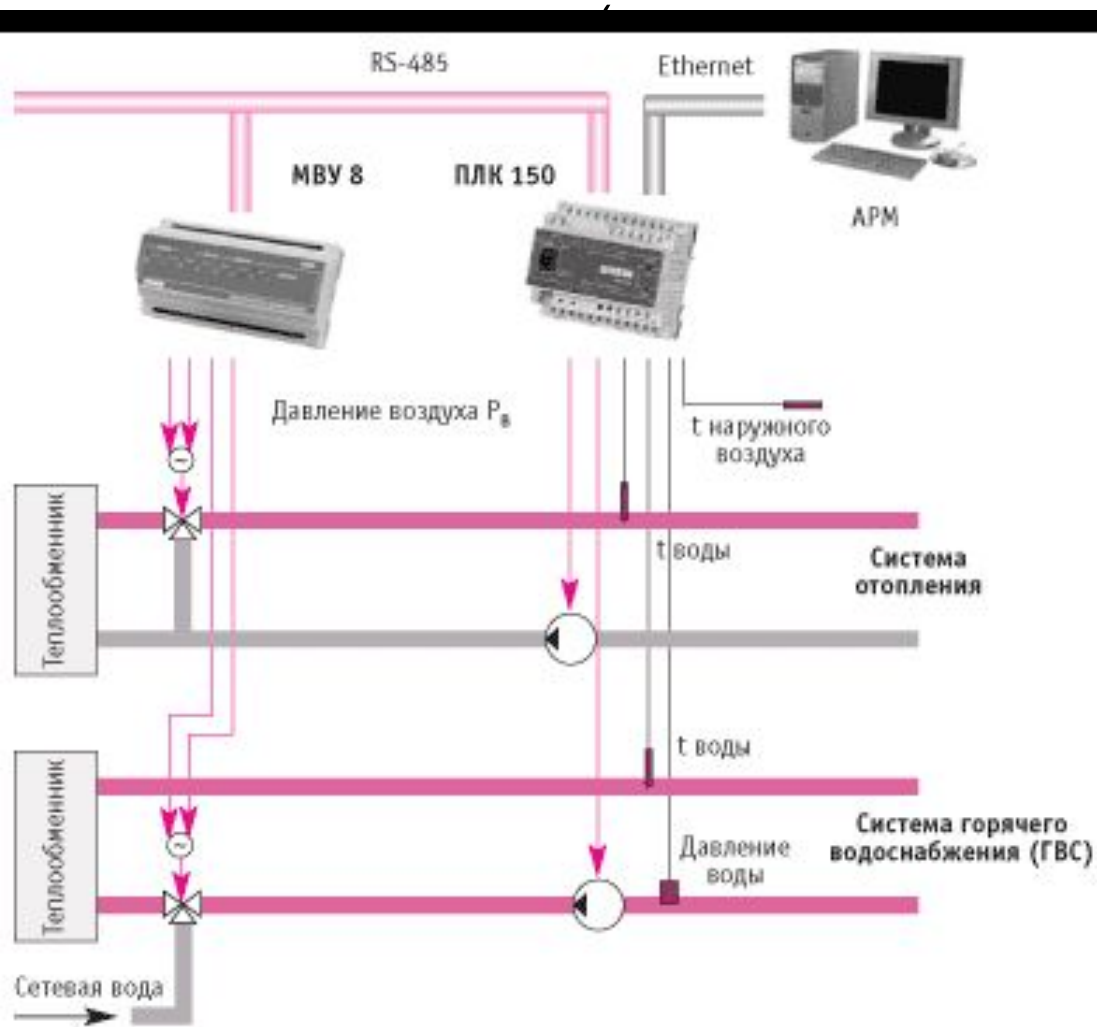
Студент должен уметь объединять все ранее полученные знания по различным дисциплинам, обеспечивая автоматизацию технологических процессов и производств на современном уровне технического развития.

Раздел 1. Программное обеспечение цифровых систем управления

1.1. Постановка задачи

Для сбора и обработки информации и формирования команд управления в системах управления в качестве вычислительных устройств могут быть использованы компьютеры или промышленные контроллеры (ПК). Использование промышленных контроллеров предпочтительнее, так как в своем составе они уже содержат устройства связи промышленного контроллера с объектами управления. Систему управления, которая в своем составе содержит промышленный контроллер, можно рассматривать как цифровую систему управления (ЦСУ).

([контроллер](#) — управляющее устройство (контроллер от [англ. control](#) — управлять), применяемое в [промышленности](#) — управлять), применяемое в промышленности и других отраслях по условию применения и задачам, близким к промышленным (например, на [транспорте](#) — управлять), применяемое в промышленности и других отраслях по условию применения и задачам, близким к транспортным).
Применяется в [промышленности](#) и других отраслях по условию применения и задачам, близким к транспортным).



Применение в замкнутом контуре системы управления промышленного контроллера позволяет часть функций системы управления перевести с аппаратных на программные средства. Это дает возможность:

1) обеспечить быструю переналадку системы управления за счет смены программы управления;

2) повысить качество управления за счет применения более сложных алгоритмов управления;

3) часть устройств системы, выполненных аппаратно, перевести на программную реализацию. К устройствам, которые могут быть переведены с аппаратных на программные средства, относятся устройства сравнения, ПИД-регуляторы, усилители сигналов, корректирующие устройства и др.

Но применение промышленных контроллеров в системах управления требует:

1) рассчитывать систему управления не как аналоговую, а как цифровую (дискретную) автоматическую замкнутую систему управления;

2) обеспечивать перевод аналоговых сигналов в цифровую форму и наоборот;

3) учитывать задержку выполнения программы на время аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразований и времени обработки введенной в промышленный контроллер информации;

4) определять период квантования сигнала, как по времени, так и по уровню.

1.2. Структуры цифровых систем управления

Цифровая система управления представляет собой структуру, состоящую из двух частей:

- 1) аналоговой части, основу которой составляет объект управления (например, двигатель), различного рода усилители и датчики физических величин;
- 2) цифровую часть, в качестве которой выступают либо компьютер, либо промышленный контроллер.

В большинстве случаев аналоговая система управления содержит в общем случае (рис. 1.2.1) объект управления (ОУ), управляемый источник питания объекта управления (ИП), датчик обратной связи для контроля текущих значений параметров объекта управления (ДОС) и устройство сравнения (УС), которое позволяет определить соответствие между действительным (Y) и заданным (UЗ) значениями параметров объекта управления.

В цифровой системе управления промышленный контроллер может выполнять простейшую функцию — играть роль устройства сравнения. В этом случае цифровая система управления будет иметь структурную схему, как указано на рис. 1.2.2.

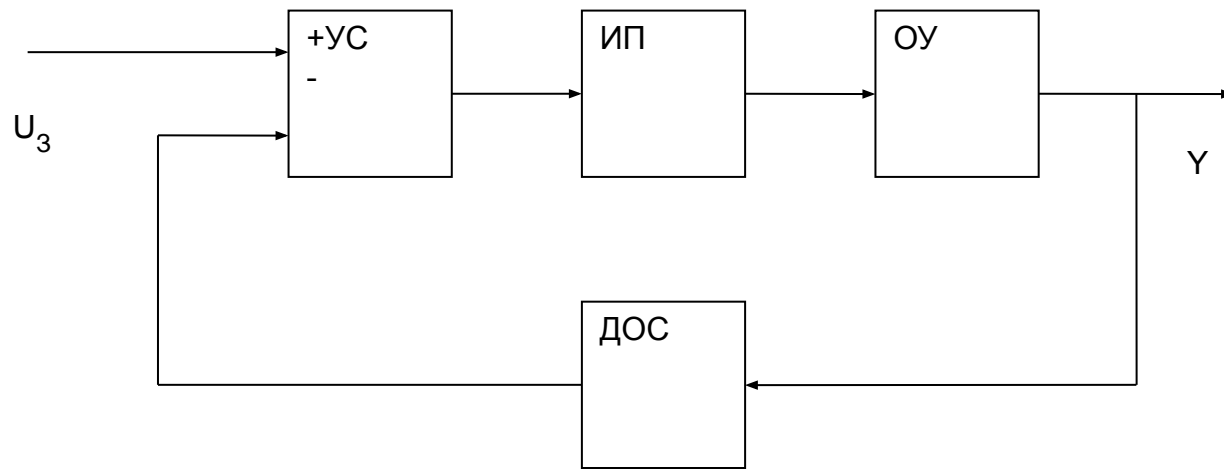


Рис. 1.2.1.

Структурная схема цифровой системы управления (рис. 1.2.2) позволяет сделать вывод, что любая цифровая система должна состоять из аналоговой части (АЧ), включающей те элементы системы, которые не могут быть реализованы программным методом, и дискретной (цифровой) части, которая в данном примере реализована на промышленном контроллере (ПК).

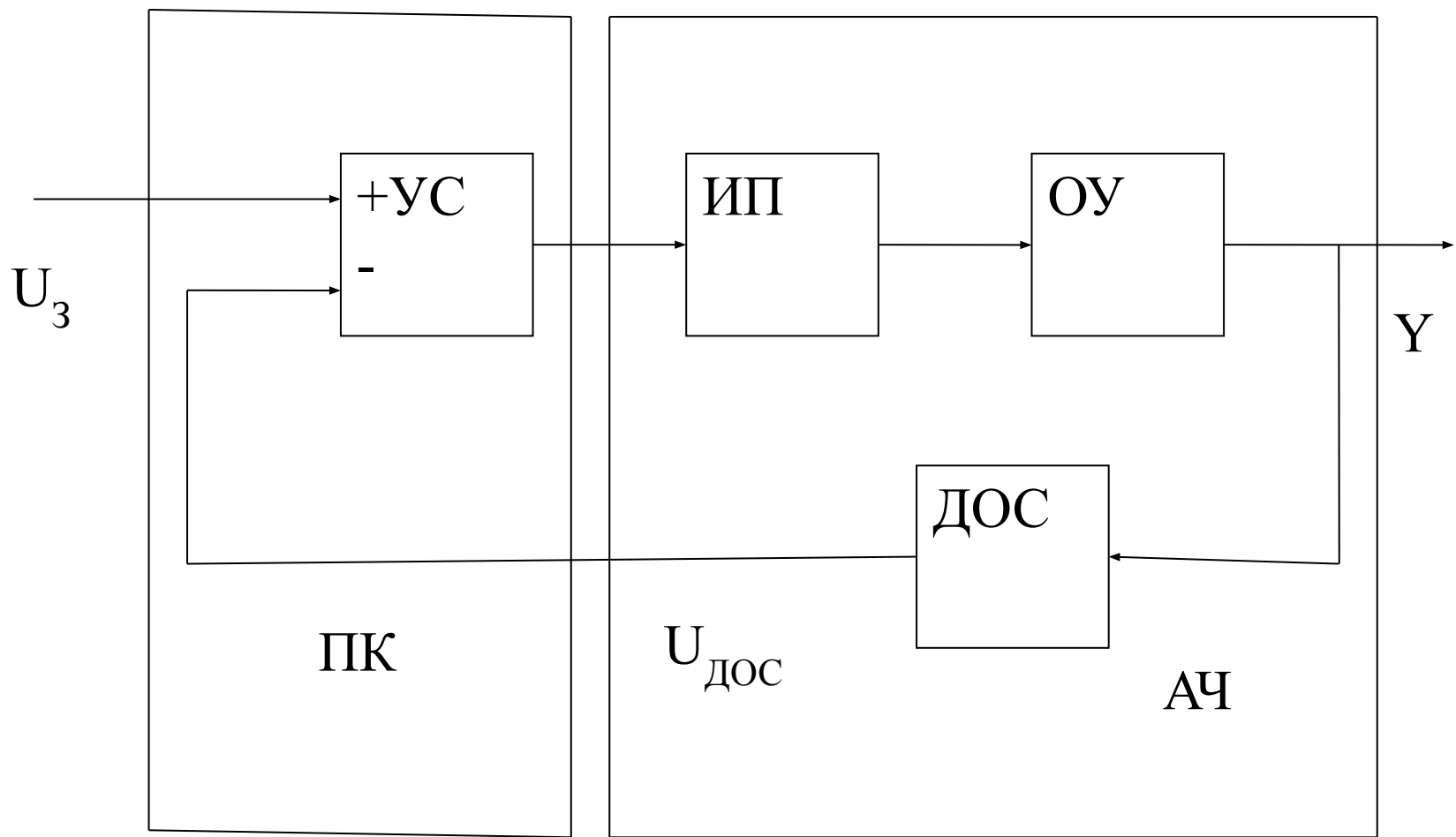


Рис. 1.2.2.

Необходимо подчеркнуть, что промышленный контроллер может обрабатывать информацию, только если она выражена в цифровой форме. Поэтому сигнал задающего воздействия (УЗ) и сигнал с датчика обратной связи (УДОС) для перевода их из аналоговых в дискретные формы должны поступать на вход аналого-цифровых преобразователей. Эти преобразователи являются штатными устройствами промышленного контроллера и обеспечивают его связь с объектом управления и устройством, задающим режим работы объекта управления.

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП, [англ. Analog-to-digital converter, ADC](#)) — устройство, преобразующее входной [аналоговый сигнал](#)) — устройство, преобразующее входной аналоговый сигнал в дискретный код ([цифровой сигнал](#)).

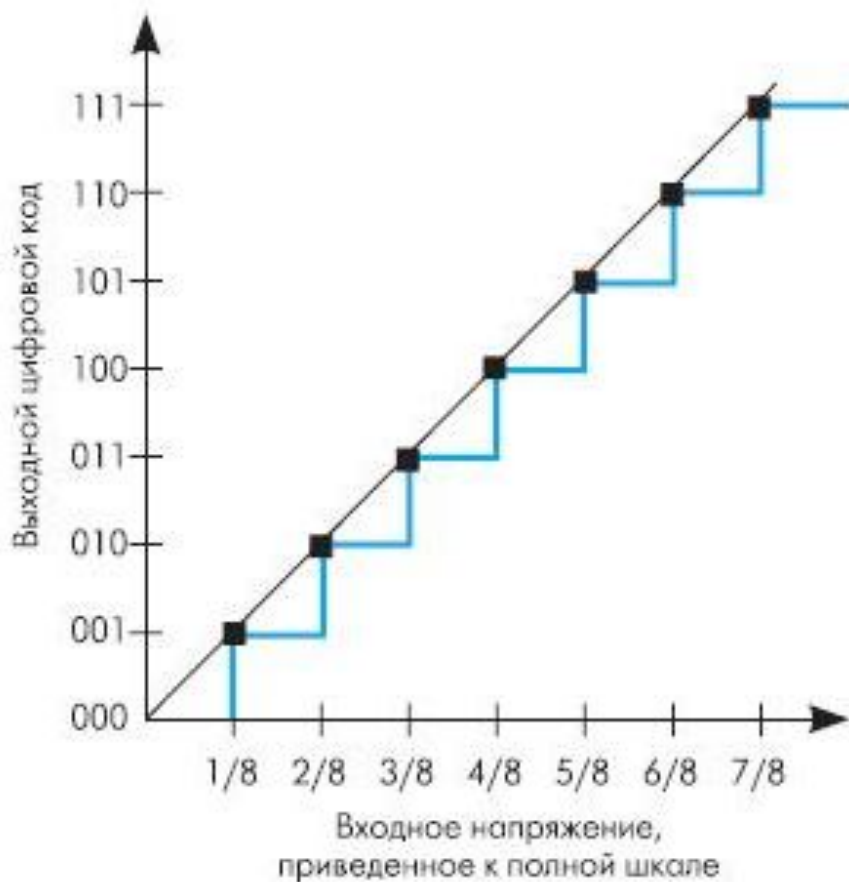


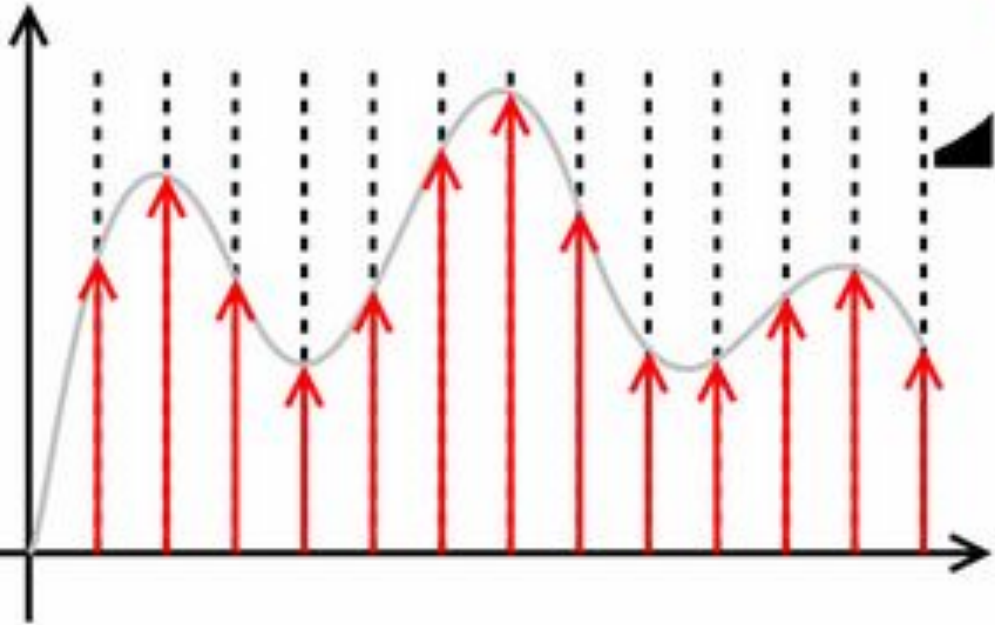
Рис. 7. Идеальная передаточная характеристика 3-разрядного АЦП

Передаточная характеристика АЦП - это функция зависимости кода на выходе АЦП от напряжения на его входе. Такой график представляет собой кусочно-линейную функцию из $2N$ "ступеней", где N - разрядность АЦП. Каждый горизонтальный отрезок этой функции соответствует одному из значений выходного кода АЦП (см. [рис. 7](#)). Если соединить линиями начала этих горизонтальных отрезков (на границах перехода от одного значения кода к другому), то идеальная передаточная характеристика будет представлять собой прямую линию, проходящую через начало координат.

сигнал) — устройство для преобразования цифрового (обычно двоичного) кода в аналоговый сигнал (**ток**) — устройство для преобразования цифрового (обычно двоичного) кода в аналоговый сигнал (ток, **напряжение**) — устройство для преобразования цифрового (обычно двоичного) кода в аналоговый сигнал (ток, напряжение или **заряд**) — устройство для преобразования цифрового (обычно двоичного) кода в аналоговый сигнал (ток, напряжение или заряд).

Задача ЦАП — преобразование полученных входных данных в аналоговый выходной сигнал.

Мультибитные ЦАПы, работающие по схеме R/2R (внутри находится резисторная схема лестничного типа), считаются наиболее распространенными. Каждая «ступенька лестницы» соответствует одному разряду двоичного кода. То есть 16-разрядный ЦАП имеет 16 ступенек сопротивления, которые обеспечивают 65536 возможных входных кодов.



Поступающие на вход данные действуют как переключатели ступенек. Бинарная «единичка» замыкает соответствующий разрядный ключ и пропускает ток через сопротивление, «ноль» — ключ разомкнут, ток не течет. Выходной ток ЦАПа определяется входным цифровым кодом.

Детализированная структурная схема цифровой системы управления с промышленным контроллером в замкнутом контуре представлена на рис. 1.2.3.

Аналоговые сигналы задающего воздействия (U_3) и с датчика обратной связи после преобразования в аналого-цифровых преобразователях (АЦП) подаются в центральный процессор (ЦП). В центральном процессоре производится операция вычитания сигнала датчика обратной связи из сигнала задающего воздействия, в результате чего находится сигнал ошибки ε .

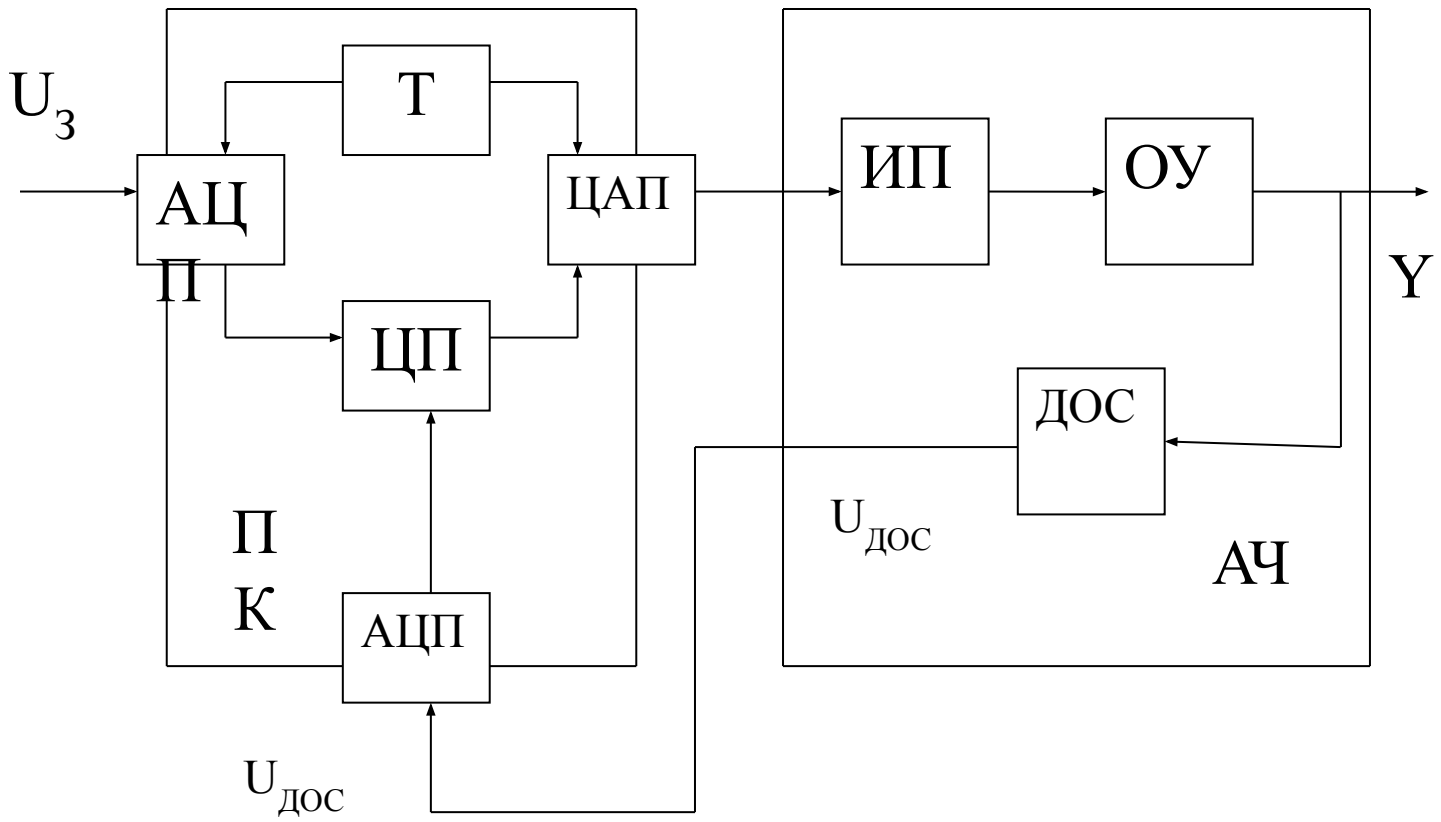
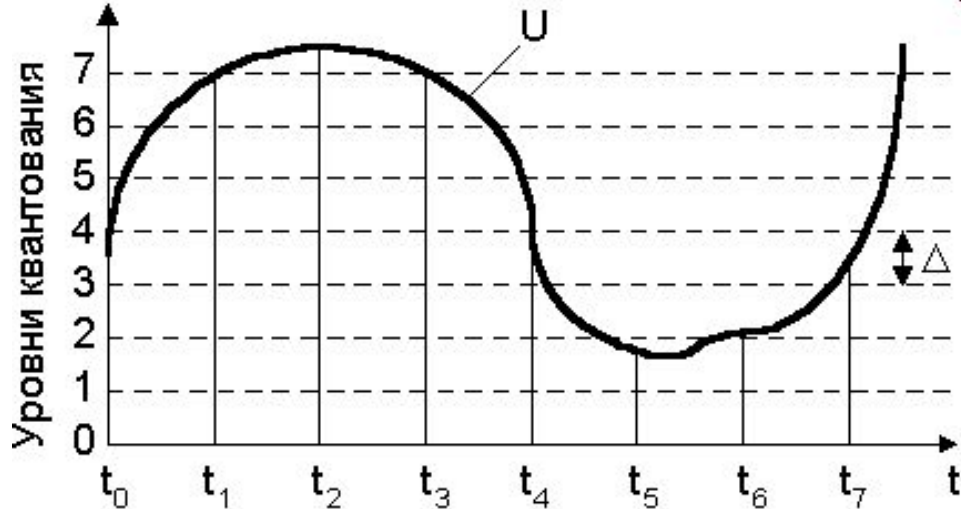


Рис. 1.2.3.

На базе сигнала ошибки формируется в цифро-аналоговом преобразователе (ЦАП) аналоговый сигнал управления регулируемым источником питания (ИП).

Сигнал задающего воздействия и сигнал с датчика обратной связи подаются в аналого-цифровые преобразователи через определенные промежутки времени, которые называются периодом квантования сигналов по времени. Эти периоды квантования необходимы для предоставления промышленному контроллеру время на обработку информации в центральном процессоре и выводе сигнала управления из цифро-аналогового преобразователя на регулируемый источник питания. Период квантования по времени обеспечивается таймером (Т), который производит временную задержку выполнения программы управления на период квантования по времени.

Первым этапом разработки цифровой системы управления является определение влияния процессов квантования сигналов по уровню в аналого-цифровых преобразователях и квантования сигналов по времени на качественные показатели разрабатываемой цифровой системы управления.



Процесс дискретизации заключается в том, что из непрерывного во времени сигнала (сигнал является напряжением) выбираются отдельные его значения, соответствующие тактовым моментам времени (это моменты времени $t_0, t_1 \dots$), следующим через определенный временной интервал T , называемый тактовым интервалом. Операция квантования состоит в округлении значений аналогового напряжения, выбранных в тактовые моменты времени, до ближайшего уровня квантования. Уровни квантования сдвинуты друг относительно друга на величину Δ , называемую шагом квантования. Каждому уровню квантования присваивается порядковый номер (0, 1, 2, 3 и т.д.)

На диаграмме значение напряжения в тактовый момент времени t_0 заменяется ближайшим к нему уровнем квантования с номером 3, в момент t_1 – уровнем 6, $t_2 - 7, t_3 - 7, t_4 - 3, t_5 - 1, t_6 - 2, t_7 - 3$. Смысл операции кодирования заключается в представлении полученной в результате квантования последовательности десятичных чисел (3, 6, 7, 7, 3, 1, 2, 3) двоичным кодом. Теперь рассматриваемая выше последовательность будет выглядеть следующим образом: 011, 110, 111, 111, 011, 001, 010, 011.

Так как с цифро-аналогового преобразователя на вход регулируемого источника питания поступают ступенчатые сигналы, то основной задачей исследования качества цифровой системы управления сводится к определению реакции аналоговой части системы на эти ступенчатые сигналы. Ступенчатые сигналы могут влиять как на точность работы системы, ее колебательность, так и на устойчивость.

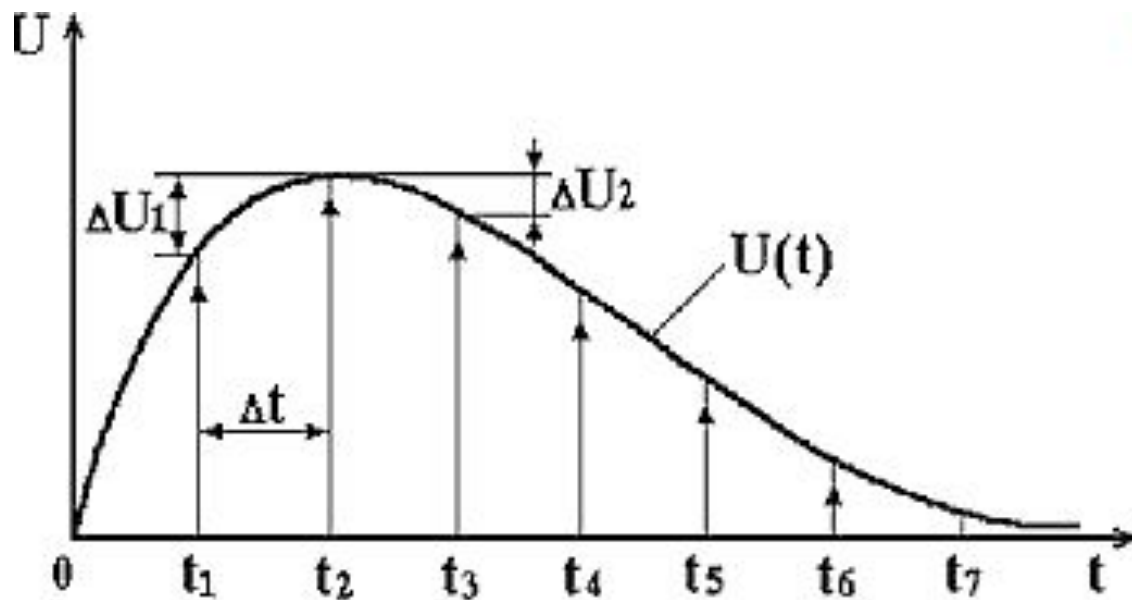
Цифровая система управления имеет следующие отличительные признаки по сравнению с аналоговой (и частично дискретной) автоматической системой.

1. Наличие в замкнутом контуре системы вычислительного устройства для цифровой обработки информации.

2. Наличие квантования по уровню сигнала на входе при помощи аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и на выходе при помощи цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) системы. В этом случае цифровую систему управления надо рассматривать как нелинейную систему.
3. Наличие квантования по времени. Это приводит к разрыву во времени сигналов управления.
4. Наличие запаздывания по времени между моментами контроля состояния объекта управления и формированием сигнала на выходе цифро-аналогового преобразователя;

1.4. Квантования сигнала по времени

Процедура преобразования мгновенных значений непрерывного сигнала через определенные промежутки времени (t_k) в цифровую форму называется квантованием сигнала по времени. В результате квантования по времени на входе промышленного контроллера получается цифровая последовательность, отражающая значения входного сигнала в определенные моменты времени.



При выполнении операции квантования по времени непрерывный входной сигнал заменяется решетчатым (дискретным), снимаемым с выхода квантователя в дискретные моменты времени t_1, t_2, t_3, \dots . Интервал между соседними моментами времени $\Delta t = t_1 - t_0 = t_2 - t_1 = \dots = \text{const}$. Очевидно, что разность соседних значений входного сигнала при нелинейном законе изменения входного напряжения является переменной величиной ($\Delta U = \text{var}$).

Квантование сигнала дискретизация непрерывных сигналов, преобразование электрического сигнала, непрерывного во времени и по уровню, в последовательность дискретных (отдельных) либо дискретно-непрерывных сигналов, в совокупности отображающих исходный сигнал с заранее установленной ошибкой. К.с. осуществляется, при аналого-цифровом преобразовании в вычислительной технике, в импульсных системах автоматики.

Одним из вариантов решения вопроса нахождения периода квантования по времени является задание величины погрешности (δ), которую не должна превысить цифровая система относительно исходной аналоговой системы управления при введении в цифровую систему периода квантования по времени.

Сигнал задающего воздействия и сигнал с датчика обратной связи подаются в аналого-цифровые преобразователи через определенные промежутки времени, которые называются периодом квантования сигналов по времени. Эти периоды квантования необходимы для выполнения операций аналого-цифрового преобразования, операций обработки информации в центральном процессоре и выводе сигнала управления из цифро-аналогового преобразователя на регулируемый источник питания

Рациональный выбор величины периода квантования по времени определяет качество цифровой системы управления. С одной стороны он должен быть не меньше, чем период времени, необходимый для выполнения операций ввода, обработки и вывода информации. С другой стороны слишком большой период квантования приводит, как правило, к увеличению колебательности цифровой системы управления, а в ряде случаев и к потере ее устойчивости.

На рис. 1.4.1 представлены результаты моделирования двух систем управления. Обе системы описываются передаточными функциями апериодических звеньев. Первая система работает в аналоговом режиме. Вторая система является цифровой и работает в режиме квантования по времени задающего воздействия и сигнала с датчика обратной связи.

В аналоговой системе сигнал ошибки $\varepsilon(t)$ в начальный момент времени равен задающему воздействию (единице), так как в этот момент сигнал с датчика обратной связи равен нулю. В последующие моменты времени сигнал ошибки начинает уменьшаться за счет возрастания сигнала с датчика обратной связи. Возрастание сигнала с датчика обратной связи связано с возрастанием выходного параметра системы $y(t)$.

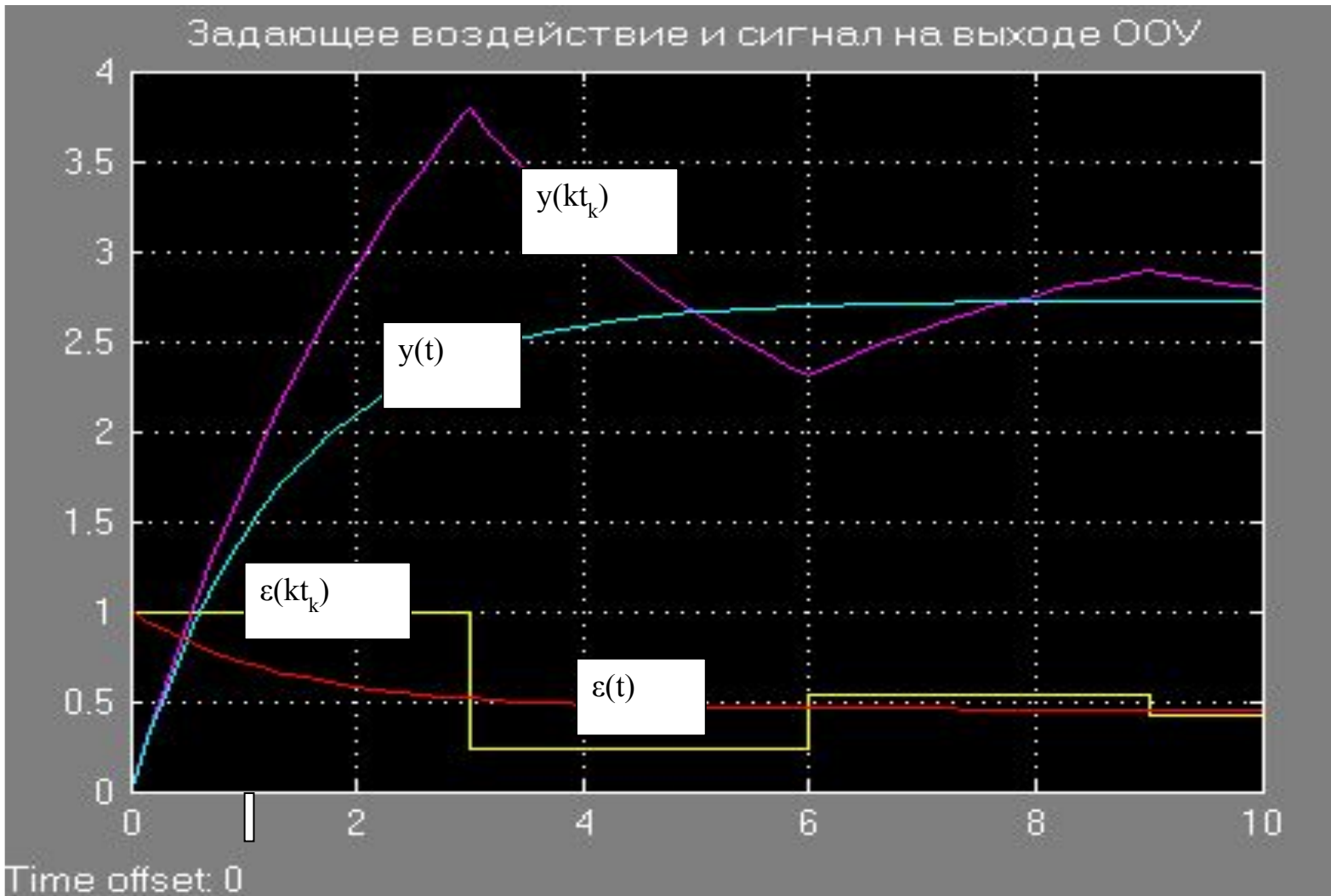


Рис. 1.4.1

В цифровой системе сигнал ошибки $\varepsilon(kT_k)$ также в начальный момент времени равен величине задающего воздействия (единице). Но в отличие от аналоговой системы значение сигнала ошибки в цифровой системе остается неизменным в течение всего периода квантования ($T_k=3c$). Так как сигнал ошибки в цифровой системе управления в течение всего периода квантования остается максимальным, то выходной параметр $y(kT_k)$ цифровой системы начинает быстро расти. Поэтому на следующем периоде квантования сигнал ошибки резко уменьшается по величине, а, следовательно, начинает уменьшаться и выходной параметр цифровой системы.

Следовательно, значительная величина периода квантования приводит к колебательным процессам в цифровых системах управления. Уменьшение величины периода квантования ограничивает быстрый рост выходного параметра, что значительно снижает вероятность появления колебательных процессов в цифровой системе.

Чтобы исключить возможность появления колебаний выходного параметра цифровой системы необходимо стремиться к уменьшению величины периода квантования.

Однако чем меньше величина периода квантования по времени, тем интенсивнее работа промышленного контроллера. Увеличение интенсивности работы промышленного контроллера приводит к ограничению его функциональных возможностей.

Поэтому с точки зрения повышения эффективности использования промышленного контроллера необходимо стремиться к увеличению величины периода квантования.

Оптимальная величина периода квантования может быть найдена из условия построения цифровой системы управления с качественными показателями не хуже качественных показателей исходной аналоговой системы управления.

В этом случае необходимо создать две системы — исходную аналоговую и цифровую системы управления. Вводя различные величины периодов квантования, и сравнивая при этом выходные параметры обеих систем, найти оптимальную величину периода квантования исходя из заданной погрешности на ввод величины периода квантования. Действительно, исходную аналоговую систему с точки зрения периода квантования можно считать идеальной. Для этой системы можно считать, что величина периода квантования, a , следовательно, и погрешность, связанная с квантованием по времени, стремятся к нулю.

Для определения величины периода квантования может быть использована прикладная программа для персонального компьютера MatLab+Simulink.

Чтобы определить оптимальный период квантования по времени цифровой системы управления необходимо выполнить следующие операции.

1. В одном наборном поле программы Simulink создать две модели разрабатываемой автоматической системы управления. Первая модель должна быть исходной аналоговой. Вторая модель (цифровая) должна быть аналогична первой, но с введенным в нее дискретным блоком Zero-Order Hold, имитирующим работу промышленного контроллера с определенным периодом квантования по времени.

2. На обе модели должен подаваться входной сигнал с одного источника (задающее воздействие). Выходные сигналы моделей обеих систем управления надо подключить к виртуальному осциллографу. Кроме того, на вход виртуального осциллографа необходимо подать и разность выходных сигналов. Это даст возможность сравнить выходные сигналы и определить влияние величины периода квантования на работу цифровой системы управления.

3. Решая обратную задачу, возможно определить величину периода квантования исходя из заданной погрешности работы цифровой системы управления по сравнению с исходной аналоговой системой

Пример 1.4.1.

Рассчитать параметры, найти передаточные функции и построить структурную схему в наборном поле программы Simulink аналоговой системы управления для поддержания заданной температуры в термокамере. Функциональная схема системы представлена на рис. 1.4.2.

На рис. 1.4.2 сделаны следующие обозначения: ТК – термокамера; НЭ – нагревательный элемент; ТПМ – тиристорный преобразователь мощности; ДТ – датчик температуры; УС – устройство сравнения.

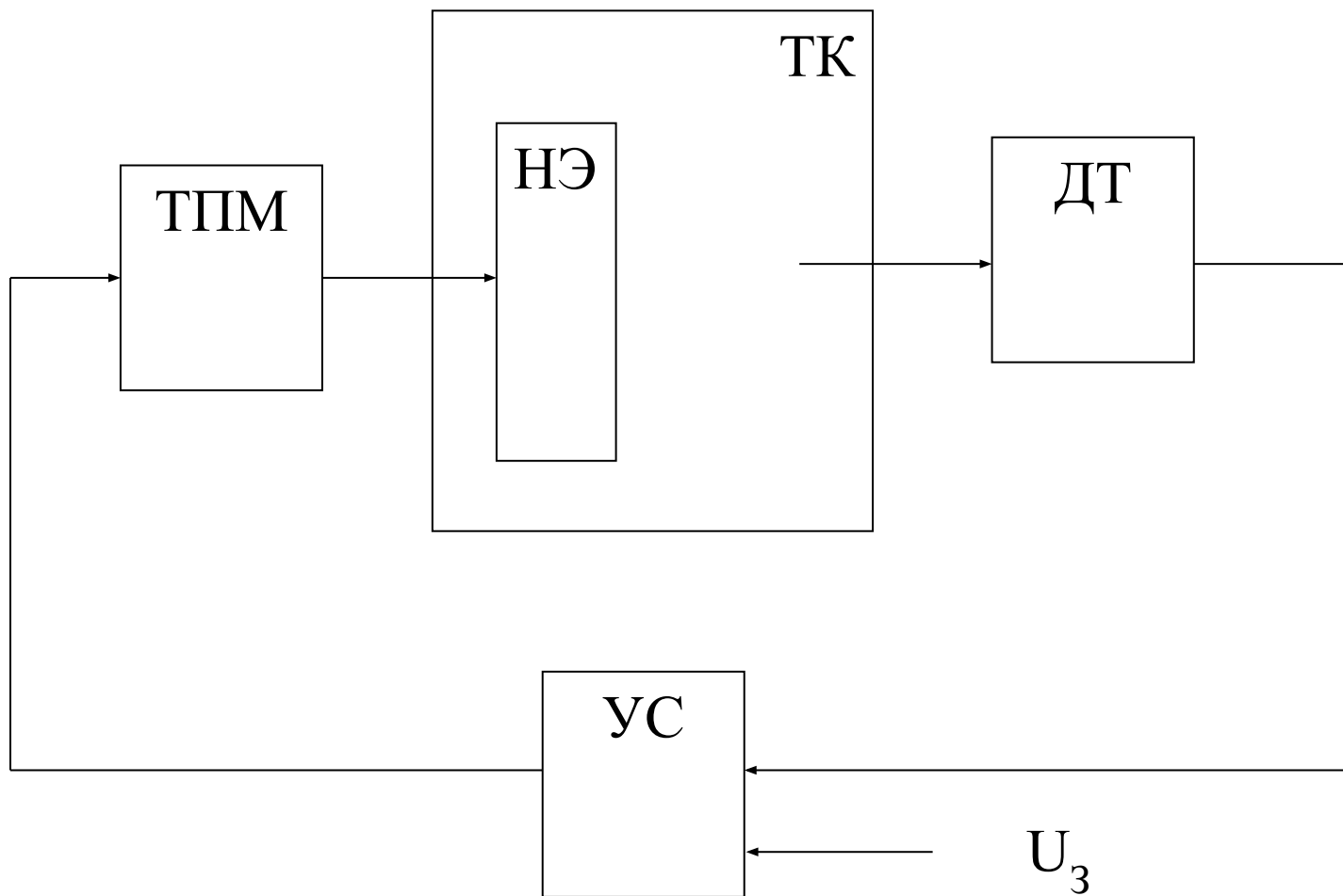


Рис. 1.4.2.

Исходные данные для расчета системы.

1. Теплоемкость ТК $\rho_{TK}=5,1$ Вт/град.
2. Теплоотдача ТК $\nu_{TK}=0,1$ Вт/м² град.
3. Поверхностная площадь ТК, м² $F_{TK}=2,5$;
4. Максимально допустимая температура в ТК $\theta_m=100$ град.
5. Температурная погрешность $\delta=5$ град.
6. Максимальный ток через НЭ $I_m=81.73$ А (при $U_3=5$).
7. Теплоемкость НЭ $\rho_{НЭ}=35$ Вт/град.
8. Теплоотдача НЭ $\nu_{НЭ}=25$ Вт/м² град.
9. Поверхностная площадь НЭ, м² $F_{НЭ}=0,5$;
10. Время переходного процесса не более $t_{пер}=7$ с.
11. Коэффициент перерегулирования не более $\sigma=10\%$.

1. Нагревательный элемент

Если по спирали НЭ протекает электрический ток $I_{\text{НЭ}}$, то энергия, подаваемая к НЭ за промежуток времени dt , будет равна

$$I_{\text{НЭ}}^2 \cdot R_{\text{НЭ}} \cdot dt$$

. Эта энергия расходуется на нагрев НЭ и на наружное излучение с поверхности НЭ.

Обозначи

М

$$T_{нэ} = \frac{\rho_{нэ}}{\nu_{нэ} \cdot F_{нэ}} \quad \text{– постоянная времени НЭ;}$$

$$K_{нэ} = \frac{U_{нэ}}{\nu_{нэ} \cdot F_{нэ}} \quad \text{– коэффициент преобразования НЭ.}$$

Найдем численные
значения
параметров НЭ.

$$T_{iy} = \frac{\rho_{iy}}{v_{iy} \cdot F_{iy}} = \frac{35}{25 \cdot 0.5} = 2.8c$$

$$K_{HЭ} = \frac{U_{HЭ}}{v_{HЭ} \cdot F_{HЭ}} = \frac{54.66}{25 \cdot 0.5} = 4.372$$

Передаточная функция НЭ
будет
иметь вид

$$W_{НЭ}(s) = \frac{\theta_{НЭ}(s)}{I_{НЭ}(s)} = \frac{K_{НЭ}}{T_{НЭ} \cdot s + 1} = \frac{4.372}{2.8 \cdot s + 1}$$

2. Термокамера

Если внутри ТК выделяется тепло с поверхности НЭ, то это тепло, подаваемое за промежуток времени dt , будет равно

$$\theta \cdot dt$$

. Это тепло расходуется на нагрев ТК и на наружное излучение с поверхности ТК. В этом случае можно записать

$$\theta_{\text{НЭ}} \cdot dt = \rho_{\text{МК}} \cdot d\theta_{\text{МК}} + \nu_{\text{МК}} \cdot F_{\text{МК}} \cdot \theta_{\text{МК}} \cdot dt$$

Обозначим

$$T_{mk} = \frac{\rho_{mk}}{v_{mk} \cdot F_{mk}} \quad \text{– постоянная времени ТК;}$$

$$K_{mk} = \frac{1}{v_{mk} \cdot F_{mk}} \quad \text{– коэффициент преобразования ТК.}$$

Найдем численные значения параметров ТК.

$$T_{\dot{e}} = \frac{\rho_{\dot{e}}}{v_{\dot{e}} \cdot F_{\dot{e}}} = \frac{5.1}{0.1 \cdot 2.5} = 20.4c$$

$$K_{\dot{e}} = \frac{1}{v_{\dot{e}} \cdot F_{\dot{e}}} = \frac{1}{0.1 \cdot 2.5} = 4$$

Передаточная функция ТК будет иметь
вид

$$W_{\hat{e}}(s) = \frac{\theta_{\hat{e}}(s)}{\theta_{\hat{y}}(s)} = \frac{K_{\hat{e}}}{T_{\hat{e}} \cdot s + 1} = \frac{4}{20.4 \cdot s + 1}$$

3. Тиристорный преобразователь мощности

В системе в качестве регулируемого источника питания используется тиристорный преобразователь мощности.

Тиристорный преобразователь мощности вместе с системой управления в первом приближении может быть представлен апериодическим звеном с передаточной функцией вида

$$W_{ТПМ}(s) = \frac{I_{II}(s)}{U_{У}(s)} = \frac{K_{ТПМ}}{T_{ТПМ} \cdot s + 1}$$

,
где $T_{ТПМ} = T + \tau$; τ – время запаздывания силовой части тиристорного преобразователя; этой величиной ввиду ее малости можно пренебречь.

В данном случае

$$T_{ТПМ} = \frac{1}{m \cdot f} = \frac{1}{3 \cdot 50} = 0.0066 \cong 0.01c$$

– постоянная времени ТПМ (m –количество фаз напряжения питания, $m=3$; f – промышленная частота источника питания, $f=50$ гц);

Величина $K_{ТПМ}$ является передаточным коэффициентом тиристорного преобразователя.

$$K_{ТПМ} = \frac{I_{II}}{U_{y}}$$

– передаточный коэффициент тиристорного преобразователя мощности (U_{y} – максимальное значение сигнала управления).

Передаточный коэффициент будет равен

$$K_{ТПМ} = \frac{I_{II}}{U_{У}} = \frac{81.73}{5} = 16.346$$

Передаточная функция тиристорного преобразователя мощности в численном значении будет иметь вид

$$W_{ТПМ}(s) = \frac{I_{II}(s)}{U_{У}(s)} = \frac{K_{ТПМ}}{T_{ТПМ} \cdot s + 1} = \frac{16.346}{0.01 \cdot s + 1}$$

Ввиду малой величины постоянной времени передаточную функцию тиристорного преобразователя мощности возможно выразить безынерционным звеном типа

$$W_{ТПМ} = 16,346.$$

4. Датчик температуры

В качестве датчика температуры используется термсопротивление ЭТС-5.6, включенное в мостовую схему постоянного тока. Напряжение питания мостовой схемы $U_{MC}=1$ В. Датчик температуры является безынерционным звеном и характеризуется только передаточным коэффициентом. Электрическая схема моста представлена на рис. 1.4.3.

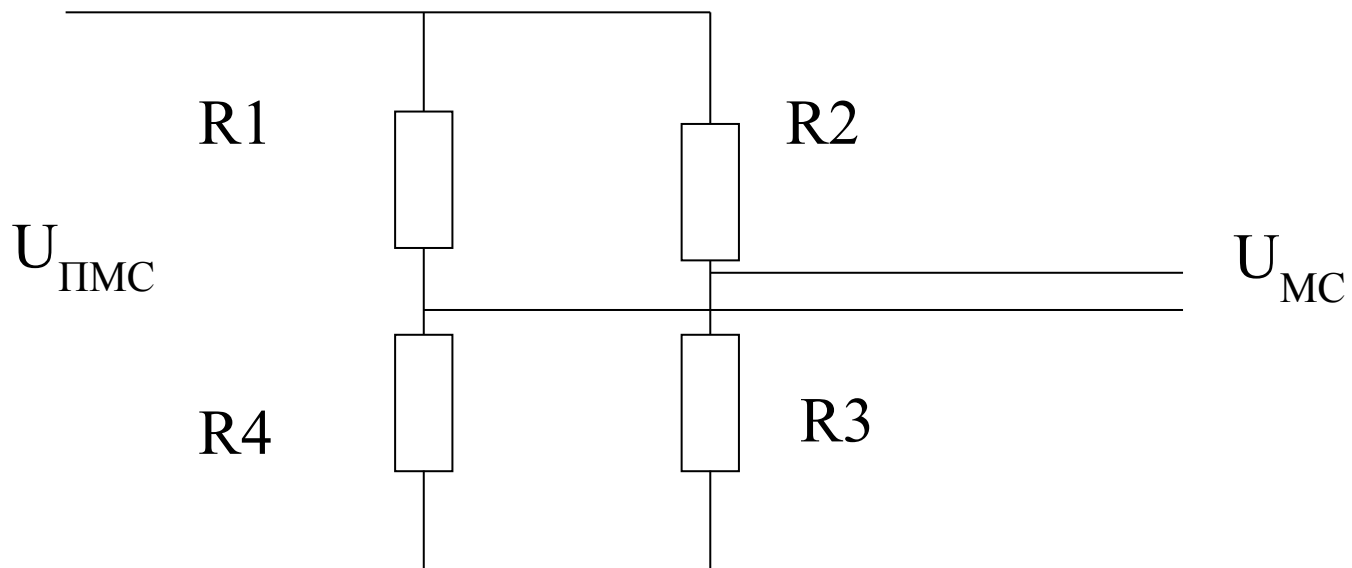


Рис.1.4.3

Терморезист ЭТС-5.6 работает при температурах от -50°C до 400°C . Номинальное сопротивление при 0°C 75 Ом. Погрешность измерения $0,3^{\circ}\text{C}$. При изменении температуры на 100°C сопротивление резистора увеличивается на 15,198 Ом и становится равным 90,198 Ом. В мостовой схеме терморезистор обозначен как R1. При измерении температуры в 100°C напряжение на выходе мостовой схемы составит

$$U_{i\ddot{n}} = \frac{U_i \cdot R3}{R2 + R3} - \frac{U_i \cdot R4}{R1 + R4} = 1 \cdot \left(\frac{75}{150} - \frac{75}{165,198} \right) = 0.046\text{В}$$

На рис. 1.4.4 построена структурная схема аналоговой системы управления температурой в термокамере. На входе системы установлено устройство задающего воздействия (Step), а на выходе системы включен виртуальный осциллограф (Scope) для контроля выходного параметра.

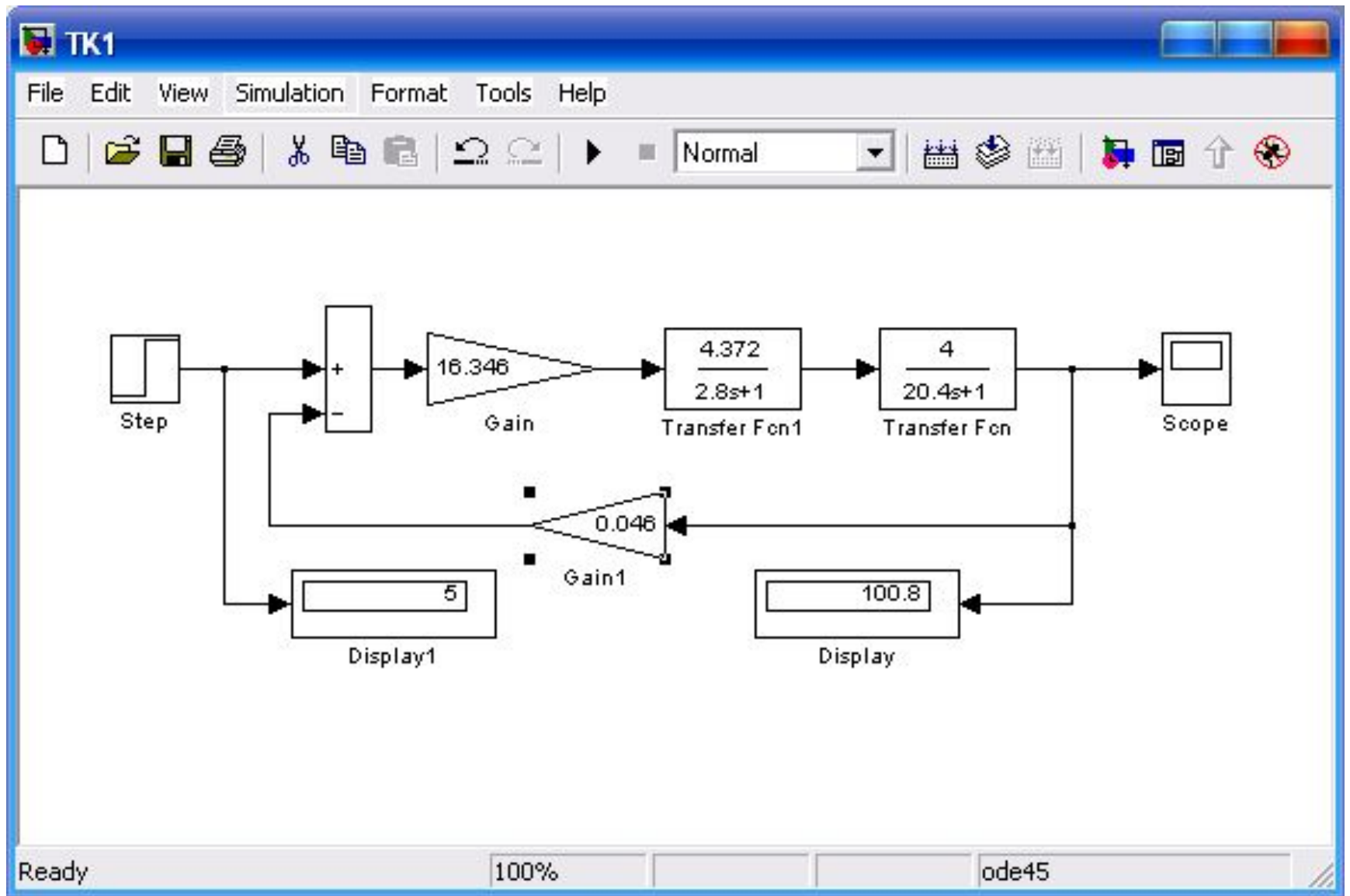
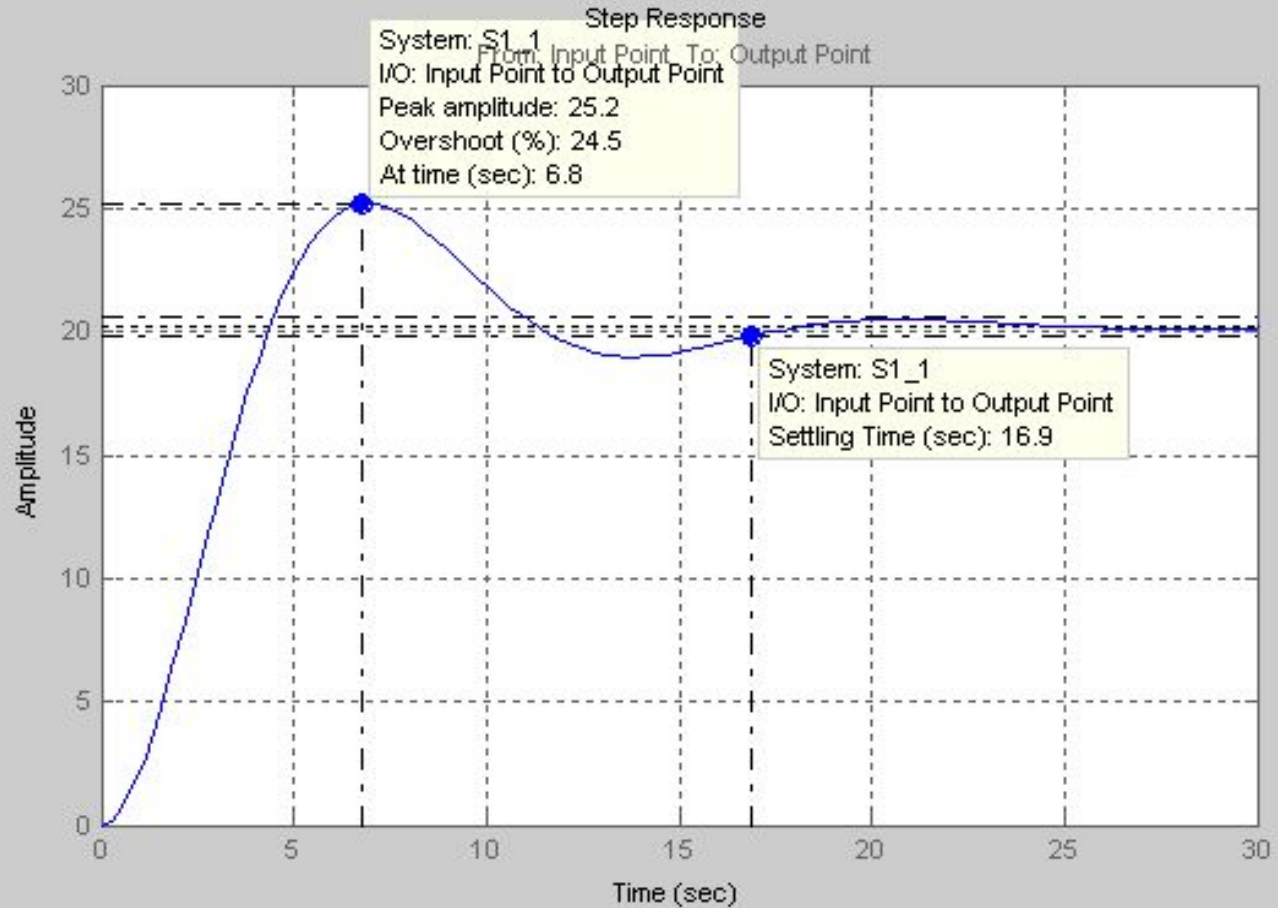
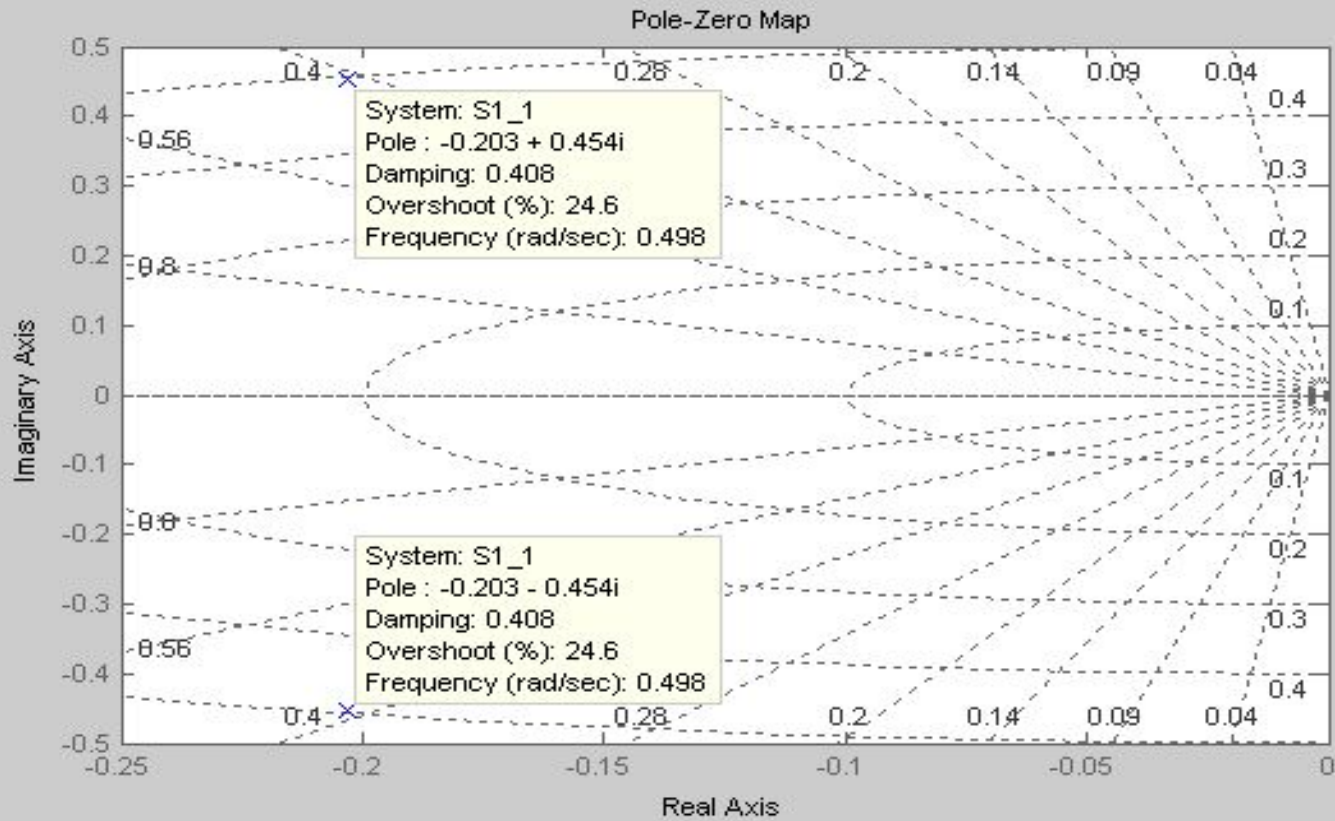


Рис. 1.4.4.



Select Simulink -> Get Linearized Model to import system.



Пример 1.4.2.

Определить оптимальный период квантования по времени в цифровой системе управления при заданной погрешности выходного параметра этой системы относительно аналоговой не более 5 процентов (5 градусов).

На рис. 1.4.5 построены две структурные схемы систем управления. Верхняя схема является структурной схемой аналоговой системы управления, а нижняя схема является структурной схемой цифровой системы управления с имитирующим работу промышленного контроллера блоком Zero-Order Hold.

Изменяя величину периода квантования в блоке Zero-Order Hold, добиваются, чтобы разность (погрешность) между выходными параметрами двух схем не превышала 5 процентов (рис. 1.4.6).

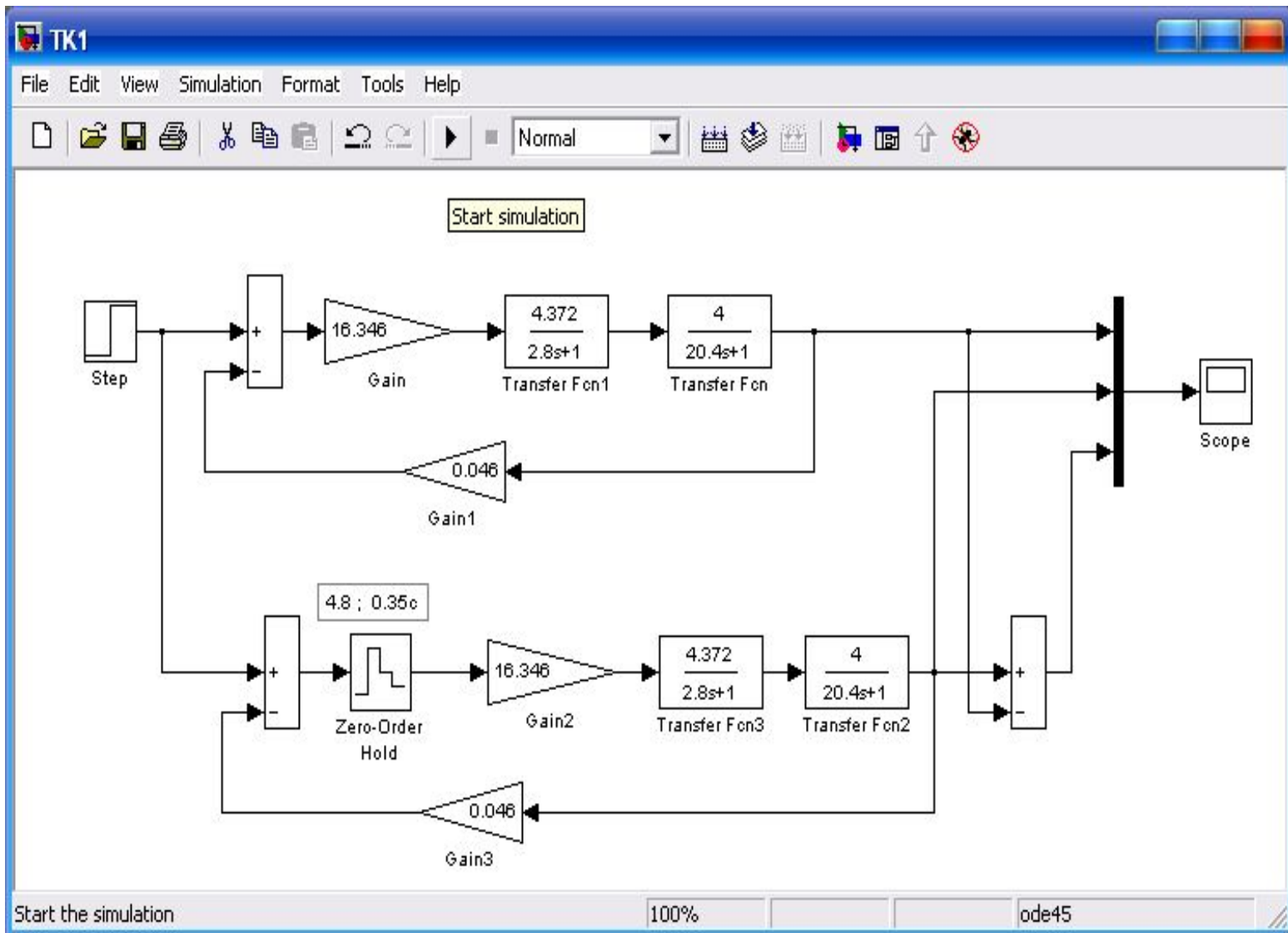


Рис. 1.4.5.



Рис. 1.4.6.

На рис. 1.4.6 верхняя кривая характеризует выходной параметр цифровой системы управления. Средняя кривая характеризует выходной параметр аналоговой системы управления. Нижняя кривая характеризует разность между выходными параметрами обеих систем. Эта кривая указывает величину погрешности цифровой системы управления относительно аналоговой системы управления при введении в цифровую систему периода квантования по времени. Для рассматриваемого примера при величине заданной погрешности в 5% величина периода квантования по времени составила $t_k=0,35$ с.

1.4.1. Определение качественных показателей исходной аналоговой системы управления

- Для определения качественных показателей СУ используется подпрограмма Control System Toolbox программы MatLab.
- Пакет прикладной программы Control System Toolbox – *инструментарий систем управления* – предназначен для моделирования, анализа и проектирования непрерывных автоматических систем. Основным вычислительным ядром рассматриваемого пакета является программа подраздела LTI (Linear Time-Invariant Systems – программа разработки линейных инвариантных во времени систем управления, которые в отечественной литературе называются линейными стационарными системами управления). Программа LTI позволяет анализировать характеристики заданной системы.

Для вызова программы LTI из наборного поля программы Simulink необходимо:

- * использовать графическую модель, созданную в п.1.4 (рис. 1.4.1.1);
- * произвести один щелчок левой клавишей мыши по кнопке Tools в строке меню наборного поля (рис. 1.4.1.2);
- * произвести один щелчок левой клавишей мыши по строке Linear Analysis; открывается окно с входным и выходным портами Model Inputs and Outputs (рис. 1.4.1.3) и пустое окно программы LTI Viewer (рис. 1.4.1.4) (***интерактивный обозреватель***);

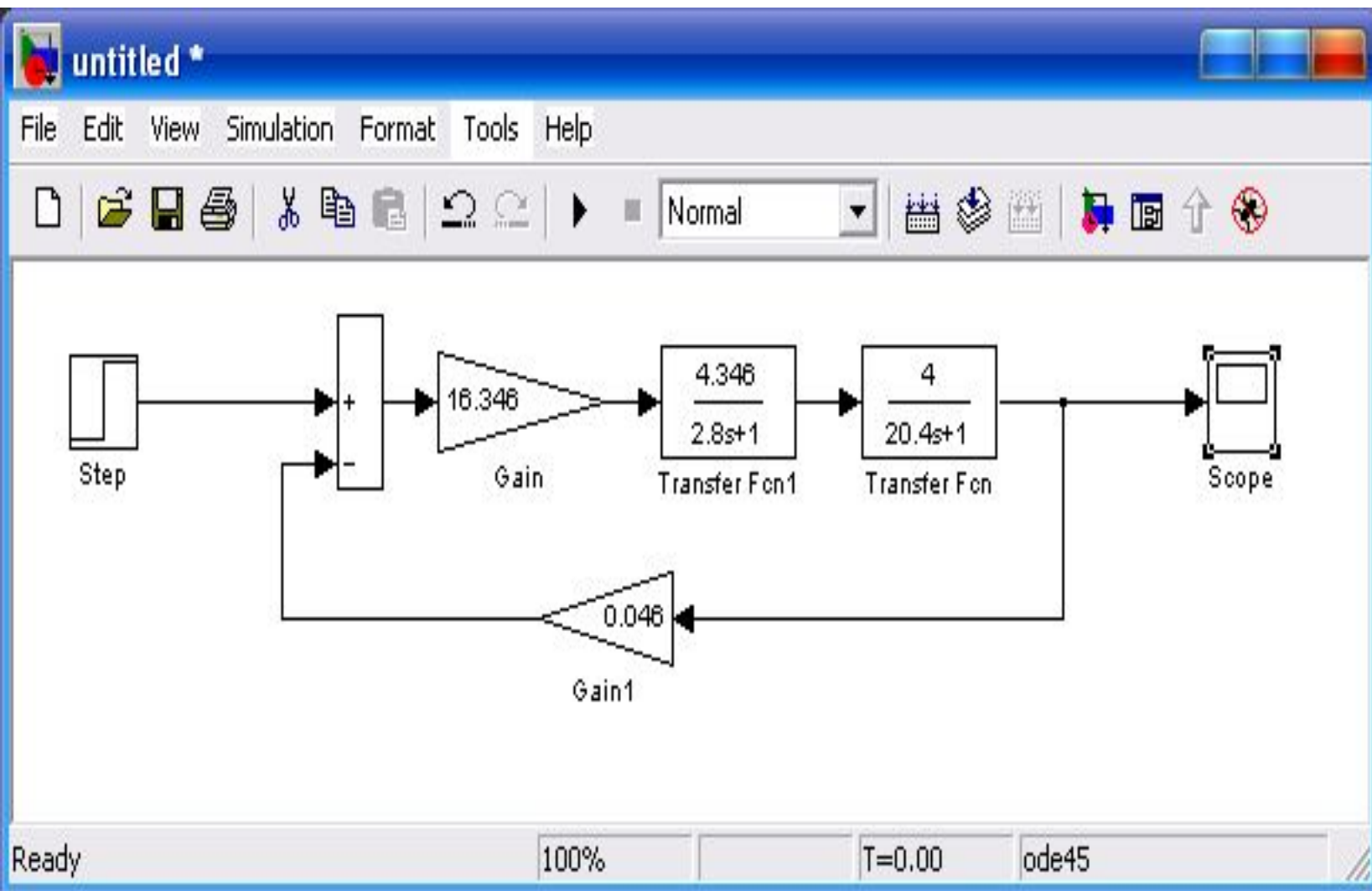


Рис. 1.4.1.1

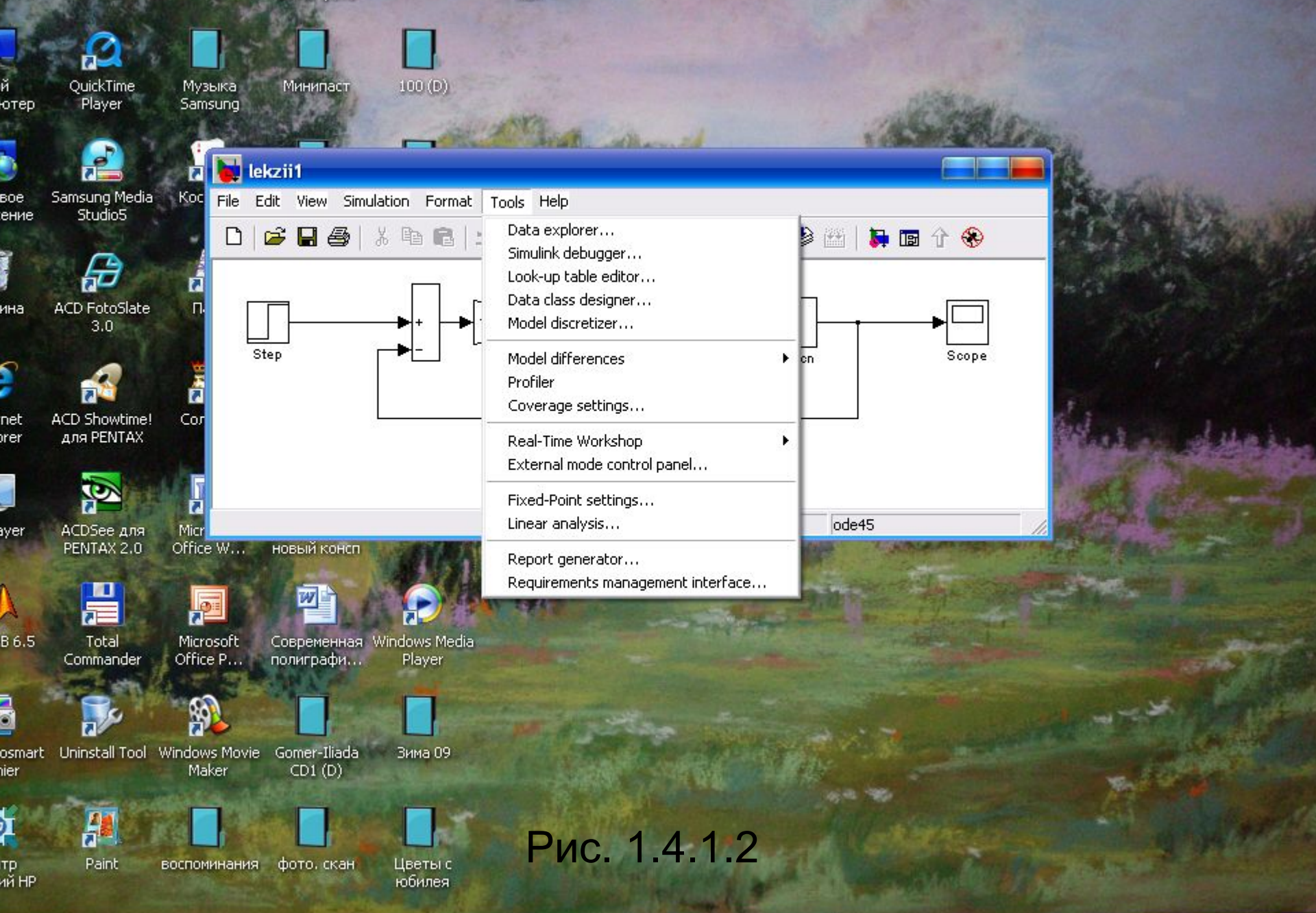


Рис. 1.4.1.2

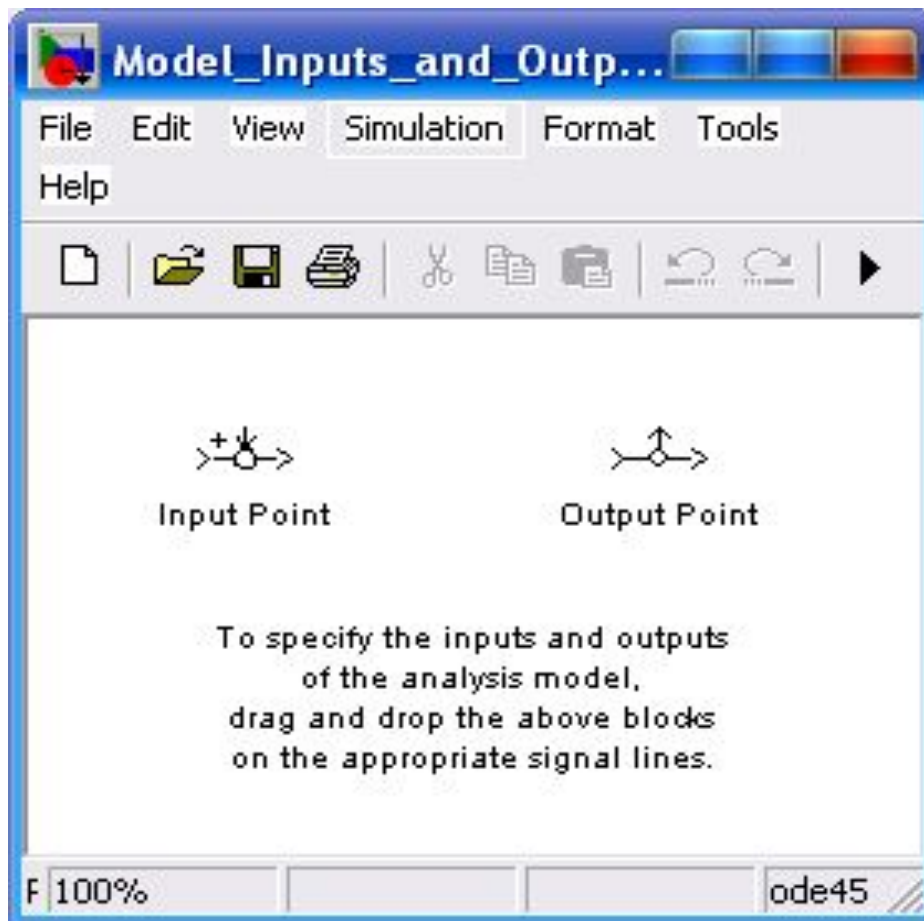


Рис. 1.4.1.3

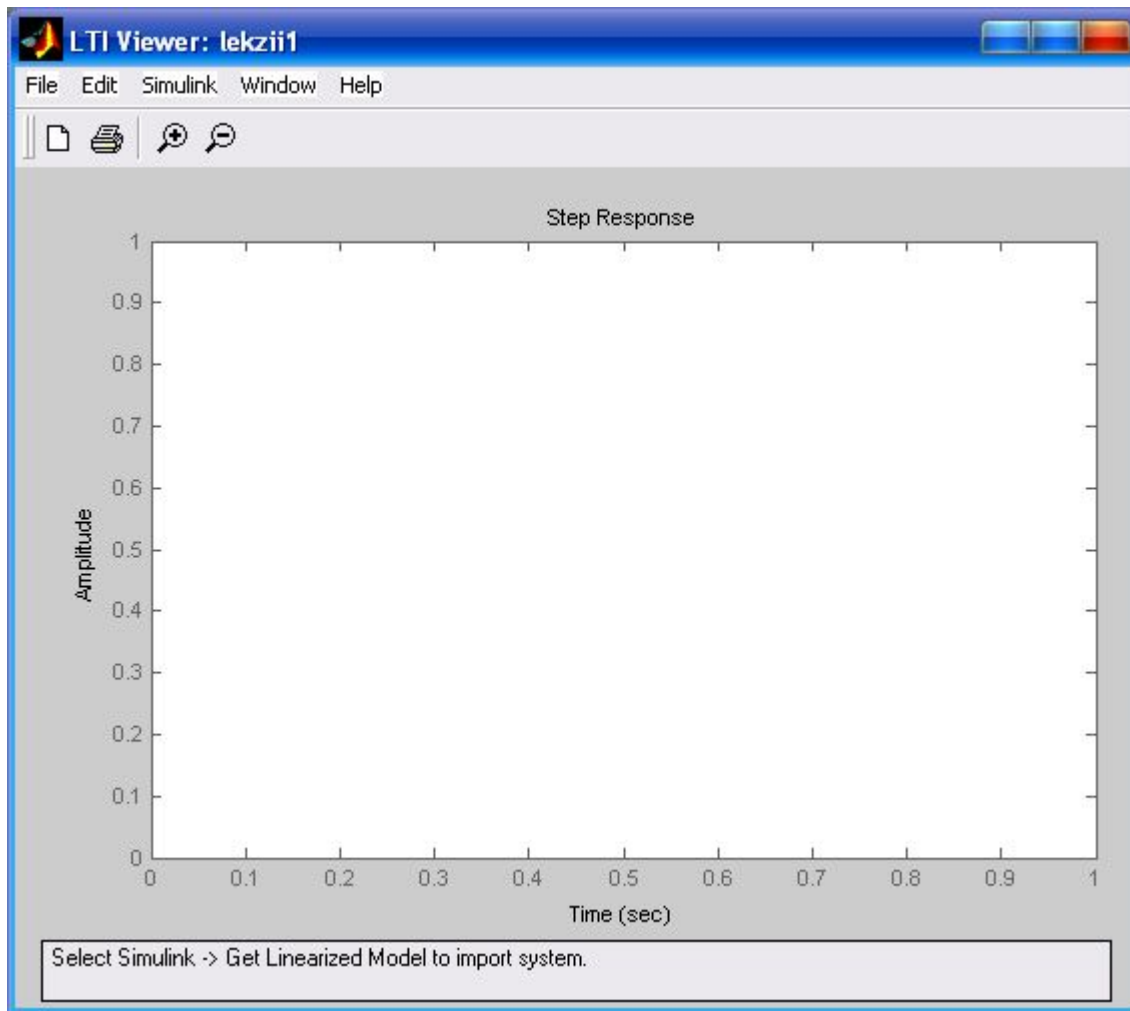


Рис. 1.4.1.4

*перетащить входной и выходной порты в наборное поле и установить порт Input Point (входной порт) на входе модели (между блоком, вырабатывающим задающее воздействие, и устройством сравнения), а порт Outputs Point (выходной порт) на выходе модели (рис. 1.4.1.5);

* произвести один щелчок левой клавишей мыши по кнопке Edit (редактор) в окне LTI Viewer;

* произвести один щелчок левой клавишей мыши по строке Viewer Preferences и в открывшемся окне активизировать вставку Characteristics; в строке Show setting time within установить заданное значение статической ошибки в процентах (рис. 1.4.1.6);

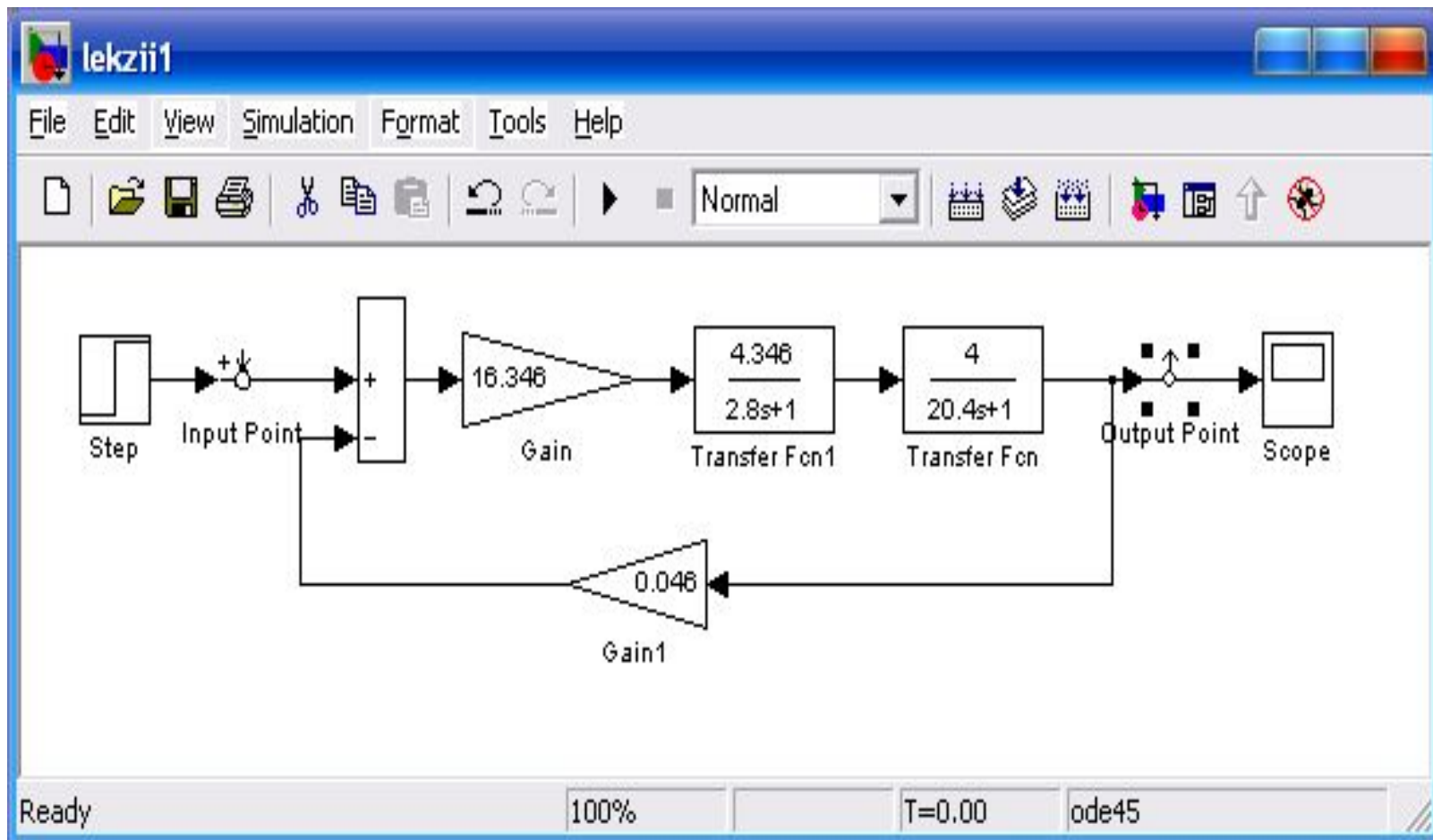


Рис. 1.4.1.5

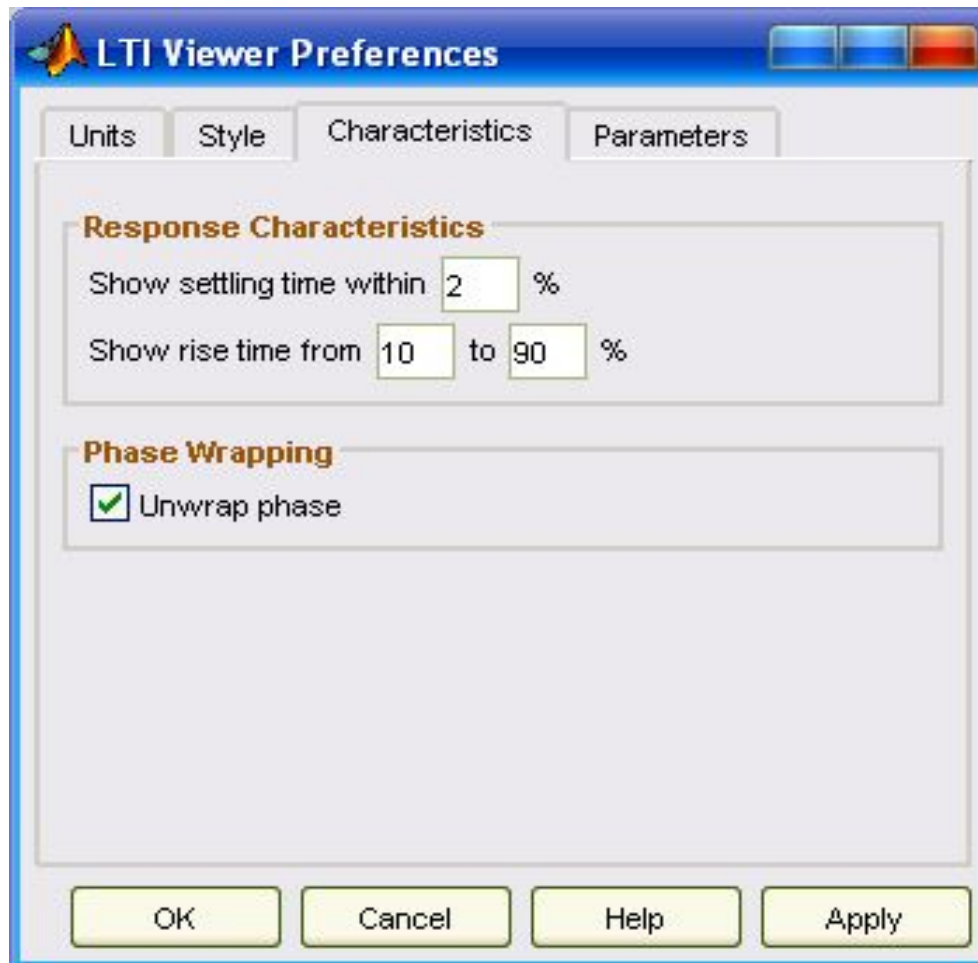


Рис. 1.4.1.6

* произвести один щелчок левой клавишей мыши по кнопке Edit в окне LTI и произвести один щелчок левой клавишей мыши по строке Plot Configuration (вид графика); в открывшемся окне (рис. 1.4.1.7) в поле Select a response plot configuration (выбор конфигурации графиков) выбрать количество одновременно отображаемых графиков; для размещения в выбранных полях тех или иных графиков необходимо в правой части окна (Response type – отображаемые виды) указать названия этих графиков.

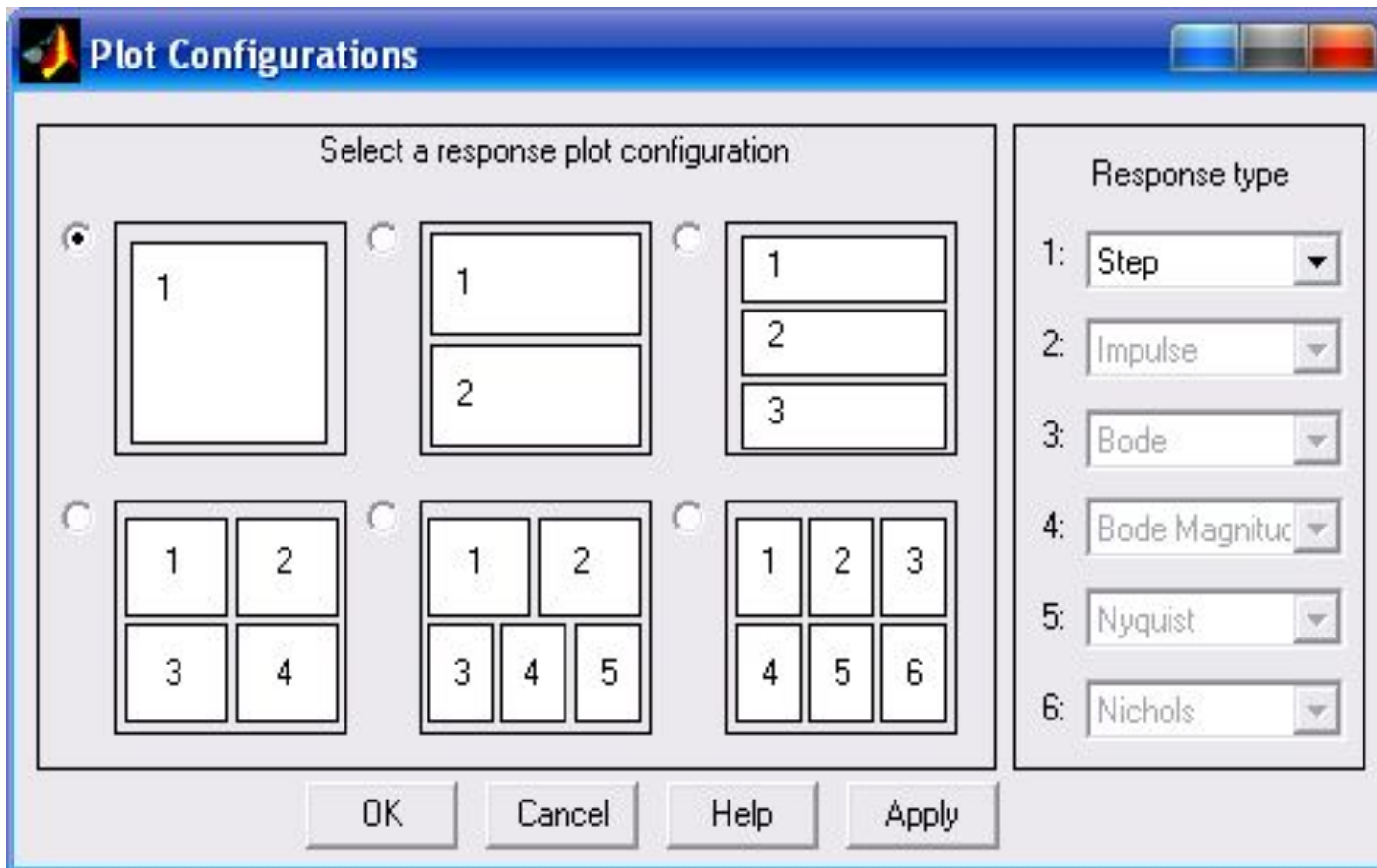


Рис. 1.4.1.7

Программа LTI позволяет отобразить следующие графики:

*Step – реакция системы на единичную ступенчатую функцию;

*Impulse – реакция системы на единичную функцию;

*Bode – амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики системы;

*Bode-mag. – абсолютная величина изменения амплитудно-частотной характеристики;

*Nyquist – корневой годограф (Найквиста);

*Nichols – годограф Николса;

*Pole/zero – карта нулей и полюсов;

Для проведения моделирования по программе LTI в окне LTI Viewer необходимо произвести следующие операции:

* произвести один щелчок левой клавишей мыши по кнопке Simulink в окне LTI;

- произвести один щелчок левой клавишей мыши по строке Get Linearized Model.
- В окне LTI будет построена кривая переходного процесса (рис. 1.4.1.8).

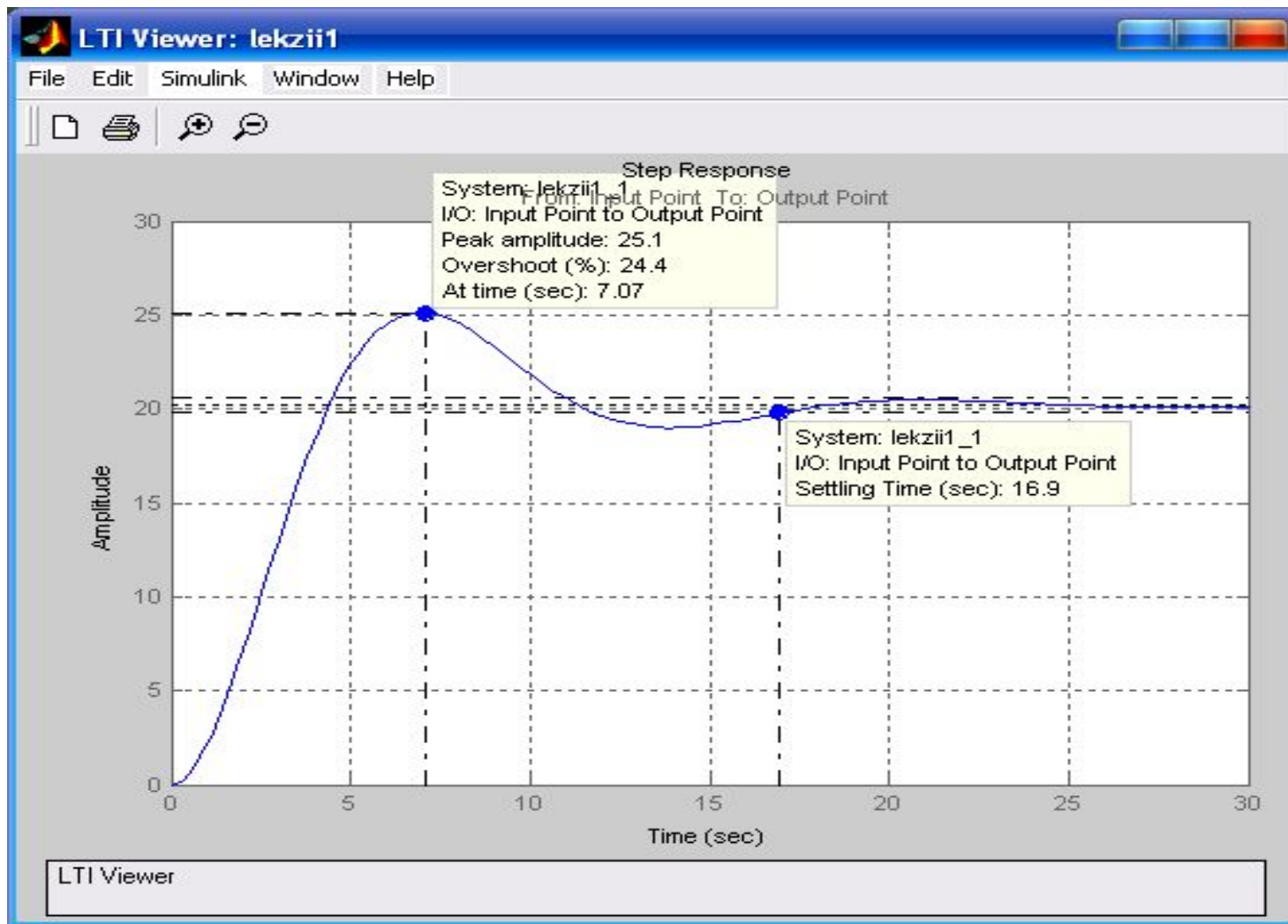


Рис. 1.4.1.8

С целью облегчения проведения анализа выводимых графиков в программе LTI имеется набор следующего инструментария.

1. При подводе курсора к линии графика с последующим щелчком левой клавишей мыши даются численные значения и комментарии относительно выбранной точки графика.

2. При щелчке правой клавишей мыши по полю графика появляется окно, в котором есть две важные строки: Grid – сетка, наносимая на график, и Characteristics – характеристики, при помощи которых возможно в автоматическом режиме получить значения некоторых характеристик графика.

*Peak Response – пик изменяющейся характеристики;

*Setting Time – время переходного процесса;

*Rise Time – максимальная скорость;

*Steady State – точка достижения заданного значения;

*Stability Margins (Minimum only, All crossings) – запас устойчивости.

*Pole – корни характеристического уравнения;

*Damping – коэффициент демпфирования;

*Overshoot – перерегулирование;

*Frequency – период собственных колебаний.

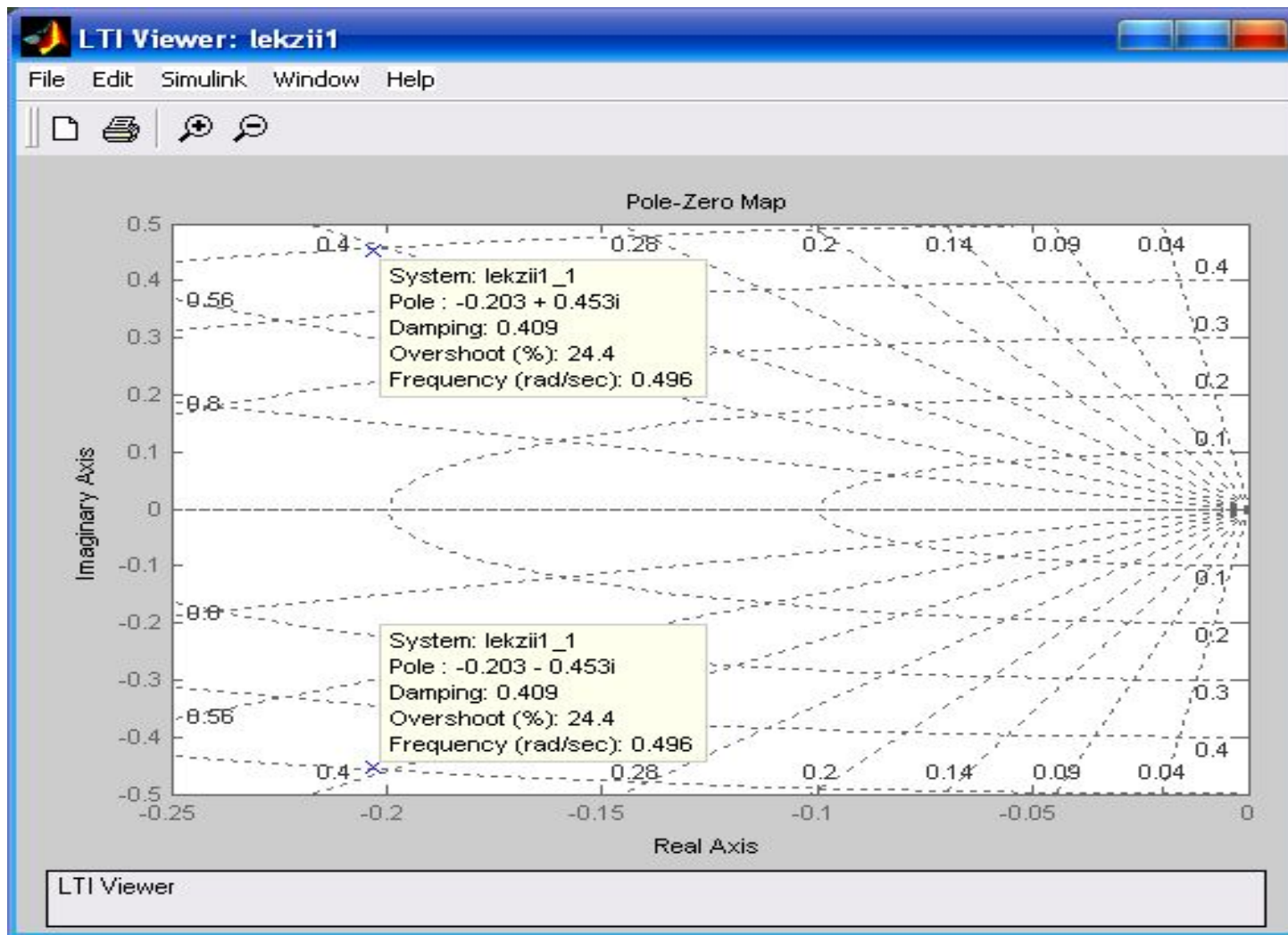


Рис. 1.4.1.9

3.1. Вывод передаточной функции двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.

В соответствии с законом Кирхгофа

$$U_H = E + I \cdot R + L \frac{dI}{dt}$$

где U_H —напряжение питания двигателя;

$E = C_E \cdot \omega$ —противо-ЭДС;

I —ток якоря двигателя;

R и L —активное сопротивление и индуктивность якорной обмотки двигателя;

C_E —постоянная двигателя по скорости;

ω —угловая скорость ротора двигателя.

Представим дифференциальное уравнение в операторной форме

$$U_H = E + I \cdot R + L \cdot s \cdot I \quad (3.1).$$

Уравнение вращения ротора двигателя имеет вид

$$M_D = M_C,$$

где M_D – вращающий момент двигателя;
 M_C – момент сопротивления.

Вращающий момент двигателя равен

$$M_D = C_M \cdot I$$

где C_M – постоянная двигателя по моменту.

Момент сопротивления равен

$$M_C = J \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

где J – момент инерции нагрузки (на валу двигателя).

В операторной форме это уравнение примет вид

$$J \cdot s \cdot \omega = C_M \cdot I \quad (3.2).$$

Решим уравнения (3.1) и (3.2) относительно тока якоря

$$(R + L \cdot s) \cdot I = U_f - E$$

$$I = \frac{J}{C_M} \cdot s \cdot \omega$$

ил
и

$$(R + L \cdot s) \frac{J}{C_E} \cdot s \cdot \omega = U_f - C_E \cdot \omega$$

Сгруппируем переменную ω в левой части уравнения

$$\frac{J \cdot L}{C_M \cdot C_E} \cdot s^2 \cdot \omega + \frac{J \cdot R}{C_M \cdot C_E} \cdot s \cdot \omega + \omega = \frac{1}{C_E} \cdot U_i$$

Умножим и разделим коэффициент при s^2 на R

$$\frac{J \cdot L \cdot R}{C_M \cdot C_E \cdot R} \cdot s^2 \cdot \omega + \frac{J \cdot R}{C_M \cdot C_E} \cdot s \cdot \omega + \omega = \frac{1}{C_E} \cdot U_i$$

Обозначи

м

$$\frac{L}{R} = T_{\mathcal{E}}$$

–электромагнитная постоянная времени двигателя;

$$\frac{J \cdot R}{C_M \cdot C_E} = T_M$$

–электромеханическая постоянная времени двигателя;

$$\frac{1}{C_E} = K_D$$

–добротность.

Окончательно можно записать

$$\left(T_{\mathcal{E}} \cdot T_M \cdot s^2 + T_M \cdot s + 1 \right) \cdot \omega = K_D \cdot U_H \ .$$

Передаточная функция электрического
двигателя
с независимым возбуждением примет вид

$$W_D(s) = \frac{\omega(s)}{U_H(s)} = \frac{K_D}{T_\varepsilon \cdot T_M \cdot s^2 + T_M \cdot s + 1}$$

$$T_{\dot{Y}} = \frac{L}{R} = \frac{1}{2} = 0.5c$$

$$C_M = \frac{M}{I_\beta} = \frac{0.005}{0.02} = 0.25$$

$$C_E = \frac{U_{\dot{i}} - R \cdot I}{2\pi n} 60 = \frac{50 - 10 \cdot 0.02}{6.28 \cdot 2400} 60 = 0.198$$

$$K_g = \frac{1}{C_E} = \frac{1}{0.198} = 1.02$$

$$T_M = \frac{J \cdot R}{C_E \cdot C_M} = \frac{0.05 \cdot 10}{0.198 \cdot 0.25} = 1.01c$$

$$W(s) = \frac{\omega_m(s)}{U(s)} = \frac{K_g}{T_{\dot{Y}} \cdot T_M \cdot s^2 + T_M \cdot s + 1} =$$
$$\frac{1.02}{0.505 \cdot s^2 + 1.01 \cdot s + 1}$$

3.2. Вывод передаточной функции и расчет параметров усилителя мощности

В качестве усилителя мощности в лабораторной установке используется однокаскадный усилитель на транзисторе типа 2Т603В.

На вход усилителя мощности поступает сигнал величиной 5В. Это обусловлено тем, что при использовании ПК максимальная величина напряжения на АЦП не должна превышать +5В. Выходное же максимальное напряжение усилителя должно быть 50В, равное максимальному напряжению питания двигателя.

В этом случае коэффициент усилителя будет иметь величину $K_U=10$.

Усилитель мощности является безынерционным звеном.

3.2. Нахождение передаточного коэффициента тахогенератора.

В качестве тахогенератора используется двигатель постоянного тока с постоянным магнитом в качестве обмотки возбуждения. Тип двигателя ДПМ-25-Н1-04. Для снижения выходного напряжения тахогенератора на его выходе устанавливается делитель напряжения и выбирается коэффициент деления исходя из заданной точности работы системы. В первом приближении выбирается передаточный коэффициент обратной связи равный $K_{OC} = 0.3$.