**Лабораторная работа №3**

**Преобразование структурных схем и исследование устойчивости**

**Цель работы:** приобретение навыков преобразования структурных схем, проведение анализа систем на устойчивость.

**Описание работы**

Структурной схемой называется графическое изображение системы управления в виде соединений звеньев. Она является математической моделью системы и отражает ее динамические свойства. Структурные схемы широко используют на практике при исследовании и проектировании систем автоматического управления для наглядного представления сложной системы как совокупности элементов и связей между ними, а также последовательности прохождения и преобразования сигналов в системе.

Динамическое звено изображается прямоугольником, в котором указывается передаточная функция звена или ее математическое выражение. Воздействия на систему и влияние звеньев друг на друга изображаются стрелками. В каждом звене воздействие передается от входа звена к его выходу. На динамическое звено может воздействовать лишь одна входная величина, поэтому используются блоки суммирования и сравнения сигналов.

Различные способы преобразования структурных схем облегчают определение передаточных функций сложных систем и дают возможность привести многоконтурную систему к эквивалентной ей одноконтурной. Преобразование структурной схемы должно осуществляться на основании правил. При выполнении преобразований следует каждое имеющееся в схеме типовое соединение заменить эквивалентным звеном. Затем можно выполнить перенос узлов и сумматоров, чтобы в преобразованной схеме образовались новые типовые соединения. Эти соединения опять заменяются эквивалентными звеньями и так далее.

Устойчивость системы управления является одним из основных условий ее работоспособности и включает требование затухания переходных процессов во времени. Система является устойчивой, если после приложения возмущения и дальнейшего его снятия выходной сигнал приходит к установившемуся значению. Если система устойчива, то она противостоит внешним воздействиям, а выведенная из состояния равновесия возвращается снова к нему. Система с расходящимся переходным процессом будет неустойчивой и неработоспособной. А.М. Ляпунов впервые исследовал условия устойчивости. Необходимое и достаточное условие устойчивости заключается в том, чтобы все корни характеристического уравнения (полюсы передаточной функции системы) имели отрицательные вещественные части. Иначе говоря, условием устойчивости системы является расположение всех полюсов в левой комплексной полуплоскости. Тогда все полюсы будут давать затухающую реакцию. Сформулированное условие устойчивости справедливо как для линейных, так и линеаризованных систем. Однако в случае нулевых и чисто мнимых корней характеристического уравнения вопрос об устойчивости системы может быть решен только на основании исследования ее нелинейных уравнений. Поскольку задача вычисления корней характеристического уравнения высокого порядка вызывала большие проблемы, были предложены несколько косвенных методов оценки устойчивости, позволяющих обойтись без вычисления корней – исследованием критериев устойчивости.

Критерии устойчивости разделяются на алгебраические и частотные. Чаще других среди алгебраических критериев используются критерии Рауса и Гурвица. Они применяются к коэффициентам характеристического уравнения системы.

**Порядок выполнения лабораторной работы**

1. Запустите среду **SimInTech**.
2. Создайте новый проект «**Файл → Новый проект → Схема модели общего вида**».
3. Настройте расчетные параметры схемы. Установите *Начальный шаг интегрирования* **startstep=0**, *Конечное время расчета* **endtime=50** (выбирается из соображения того, чтобы переходные процессы успевали завершиться), *Максимальный шаг* **hmax=0.01**.
4. Перед продолжением работы сохраните схему в файл с новым именем в своей рабочей папке. Для этого в **Главном меню** выбрать пункт «**Файл → Сохранить проект как...**» и далее, используя стандартный диалог, сохранить файл, указав соответствующий путь и имя файла – «**Работа ТАУ 3.prt**».
5. Для своего варианта, который приведен в конце описания работы, соберите заданную структурную схему. Для этого, используя **Палитру блоков**, наполните **Схемное окно** **SimInTech** необходимыми блоками в нужном числе из перечня:

* генератор ступенчатого сигнала (вкладка **Источники → Ступенька**);
* суммирующий элемент (вкладка **Операторы → Сумматор**);
* сравнивающее (вкладка **Операторы → Сравнивающее устройство**);
* апериодическое звено (вкладка **Динамические → Инерционное звено 1-го порядка**);
* усилительное звено (вкладка **Операторы → Усилитель**);
* график (вкладка **Вывод данных → Временной график**).

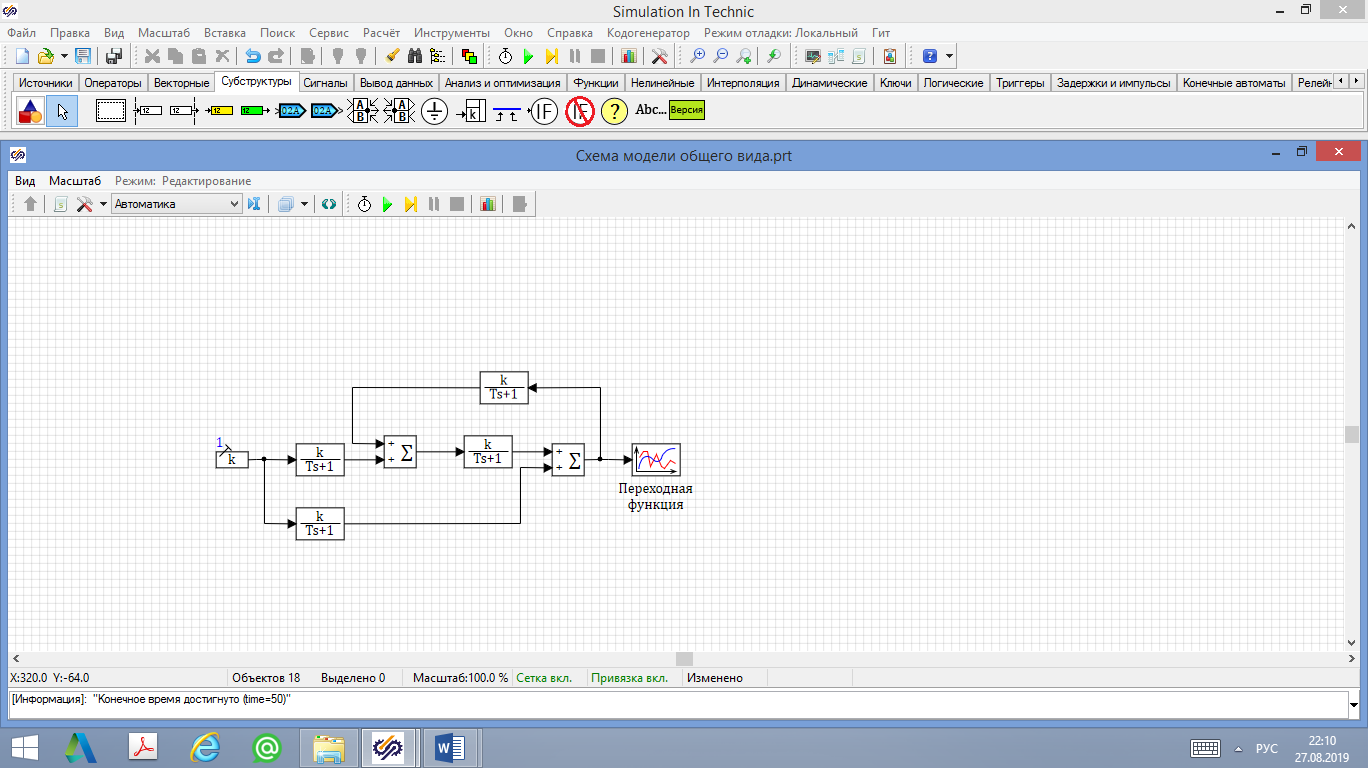
В свойствах блока **Ступенька** задайте *Время срабатывания* t=[0], *Начальное состояние* y0=[0], *Конечное состояние* yk=[1].

В свойствах блоков **Усилитель** и **Инерционное звено 1-го порядка** задайте *Коэффициенты усиления*, *Постоянные времени* согласно своему варианту, *Начальные условия* x0=[0].

При создании линий связи между блоками, если требуется сделать поворот на 90 градусов в линии связи, при «протаскивании» необходимо выполнить щелчок левой кнопкой мыши и продолжать проведение линии связи в новом направлении. Если нужно прервать процедуру проведения линии связи, нажмите правой кнопкой мыши в пустое место **Схемного Окна**: линия оборвется (завершится её создание). Чтобы сделать «ответвление» от линии связи, необходимо навести курсор на линию, нажать на правую кнопку мыши и в появившемся меню выбрать пункт «**Действия → Добавить ветвь**», появится новая точка на линии и возможность провести ответвление от данной точки. Для удаления линий связи необходимо навести курсор на линию, нажать левую кнопку мыши (выделить линию) и нажать «Delete».

Иногда (например, при изображении линий обратной связи) требуется развернуть блок, то есть расположить его так, чтобы его входы находились с правой стороны, а выходы - с левой. Для этого необходимо выделить нужный блок и нажать правую кнопку мыши, выбрать «**Действия → Повернуть порты на 180 градусов**».

1. Получите переходную функцию выходного сигнала. Для этого нажмите кнопку Пуск gif-file, 20KB на **Панели инструментов** или клавишу F9. В строке отображения расчетной информации **Схемного окна** должна появиться надпись: «Конечное время достигнуто (time=50)».



**Рисунок 3.1 - Исходная структурная схема (пример)**

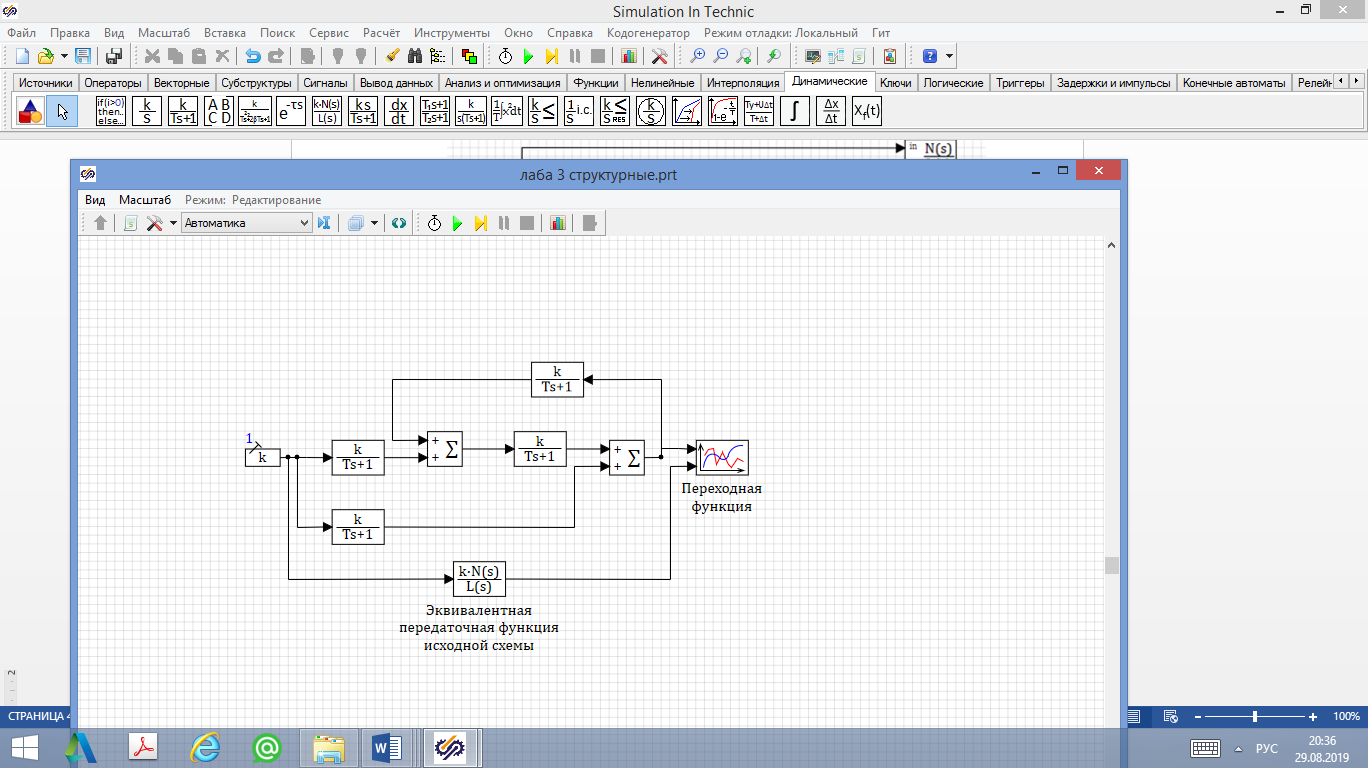
1. Преобразуйте собранную структурную схему с использованием известных правил преобразования и, подставив численные значения коэффициентов передаточных функций, определите эквивалентную передаточную функцию схемы. К исходной схеме добавится блок (рисунок 3.2):

* передаточная функция 2 шт. (вкладка **Динамические → Передаточная функция общего вида**).

В свойствах блока **Передаточная функция общего вида** задайте *Коэффициенты числителя и знаменателя* согласно рассчитанным данным (запись векторов необходимо начинать с нулевого элемента в порядке возрастания степени при s), *Начальные условия* оставьте без изменения y0=[0].

В свойствах блока **Временной график** задайте *Количество входных портов* InPortCount=2.

1. Постройте график эквивалентной передаточной функции, он должен совпасть с графиком выходного сигнала, полученным по исходной схеме. Для этого вновь запустите схему на расчет нажатием кнопки Пуск gif-file, 20KB на **Панели инструментов** или клавиши F9. В строке отображения расчетной информации **Схемного окна** должна появиться надпись: «Конечное время достигнуто (time=50)».

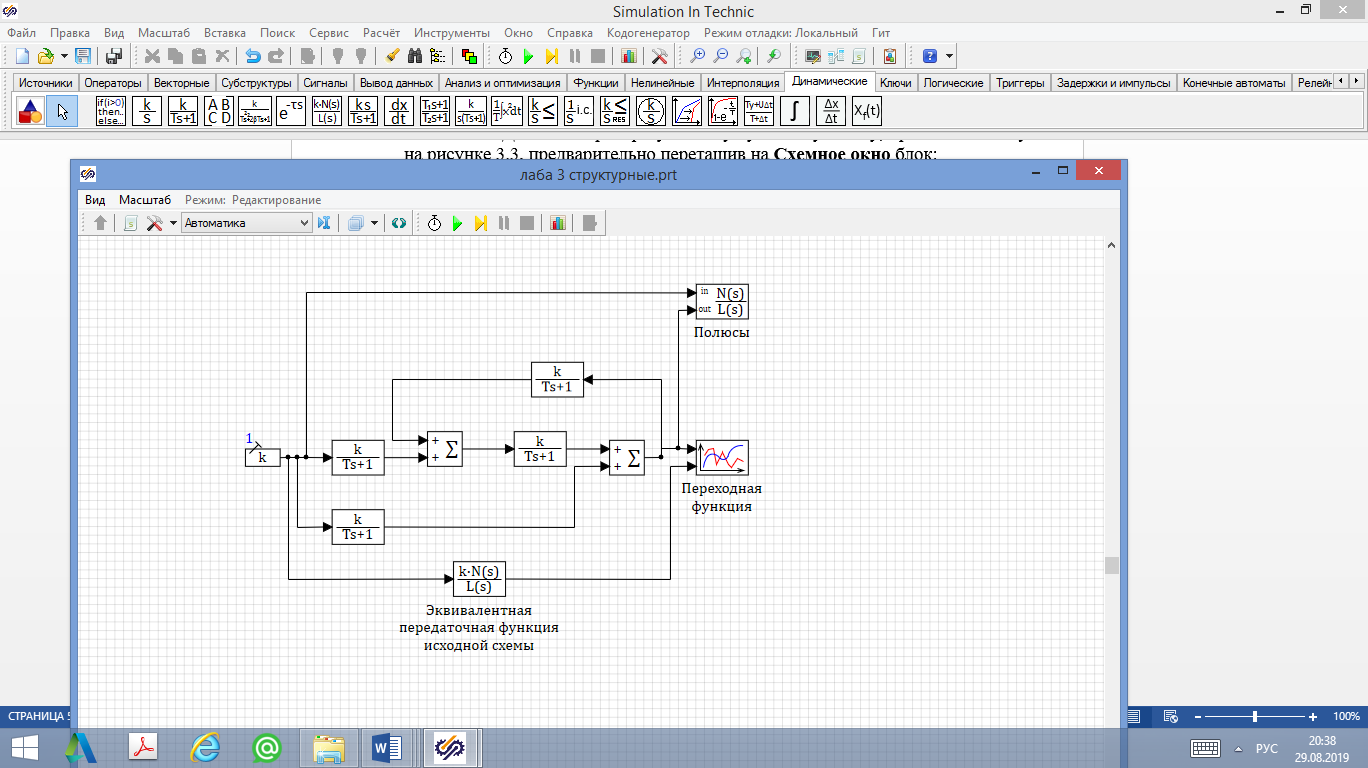


**Рисунок 3.2 - Результат преобразования схемы (пример)**

1. Используя выражение полученной эквивалентной передаточной функции, определите устойчивость структурной схемы: для нечетных вариантов по критерию Гурвица, а для четных вариантов по критерию Рауса.

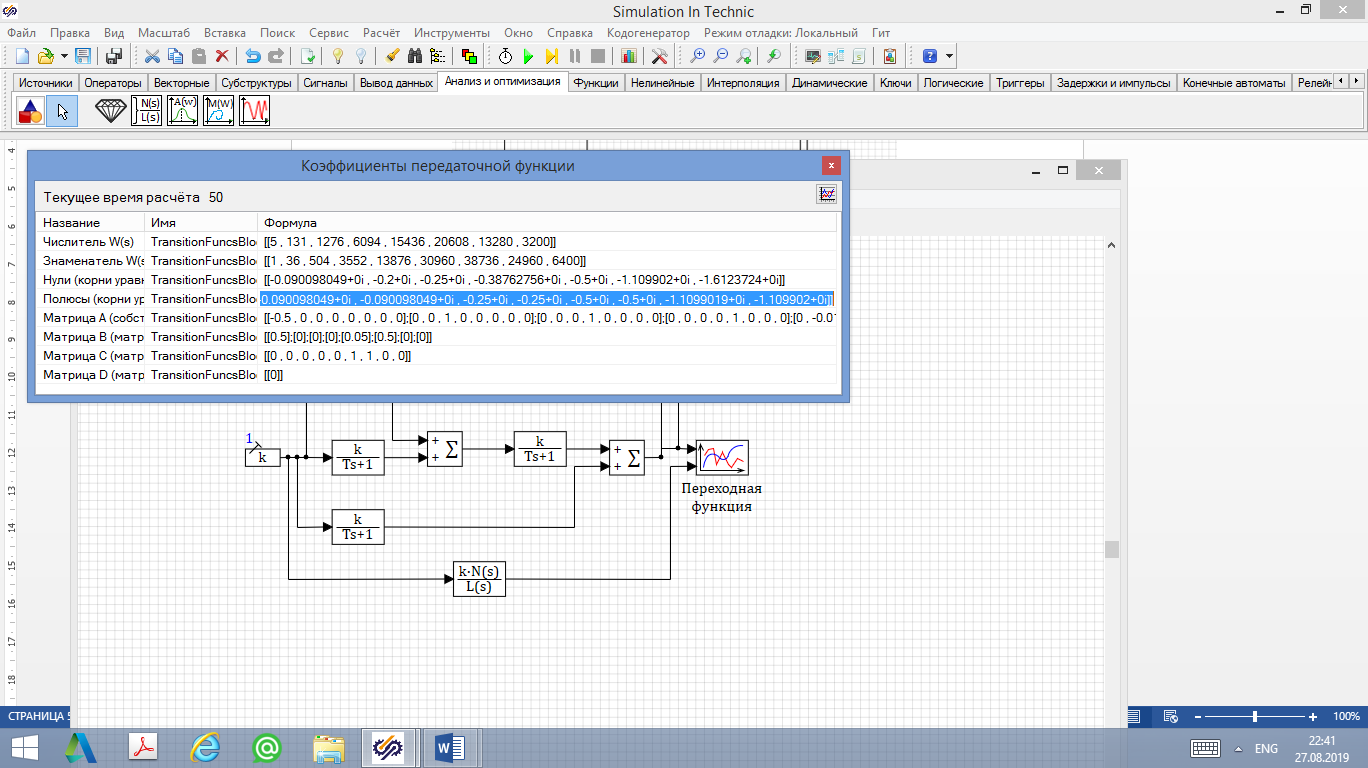
Корни характеристического уравнения могут быть найдены с помощью **SimInTech**. Для этого преобразуйте текущую схему к виду, представленному на рисунке 3.3, предварительно перетащив на **Схемное окно** блок:

* построение передаточных функций 1 шт. (вкладка **Анализ и оптимизация → Построение передаточных функций**).



**Рисунок 3.3 – Определение корней характеристического уравнения**

Вновь запустите схему на расчет нажатием кнопки Пуск gif-file, 20KB на **Панели инструментов** или клавиши F9. После 2-х кратного щелчка левой кнопкой мыши по блоку **Построение передаточных функций**, откроется окно *Коэффициенты передаточной функции* (рисунок 3.4). Значения в строке *Полюсы* и являются корнями характеристического уравнения.

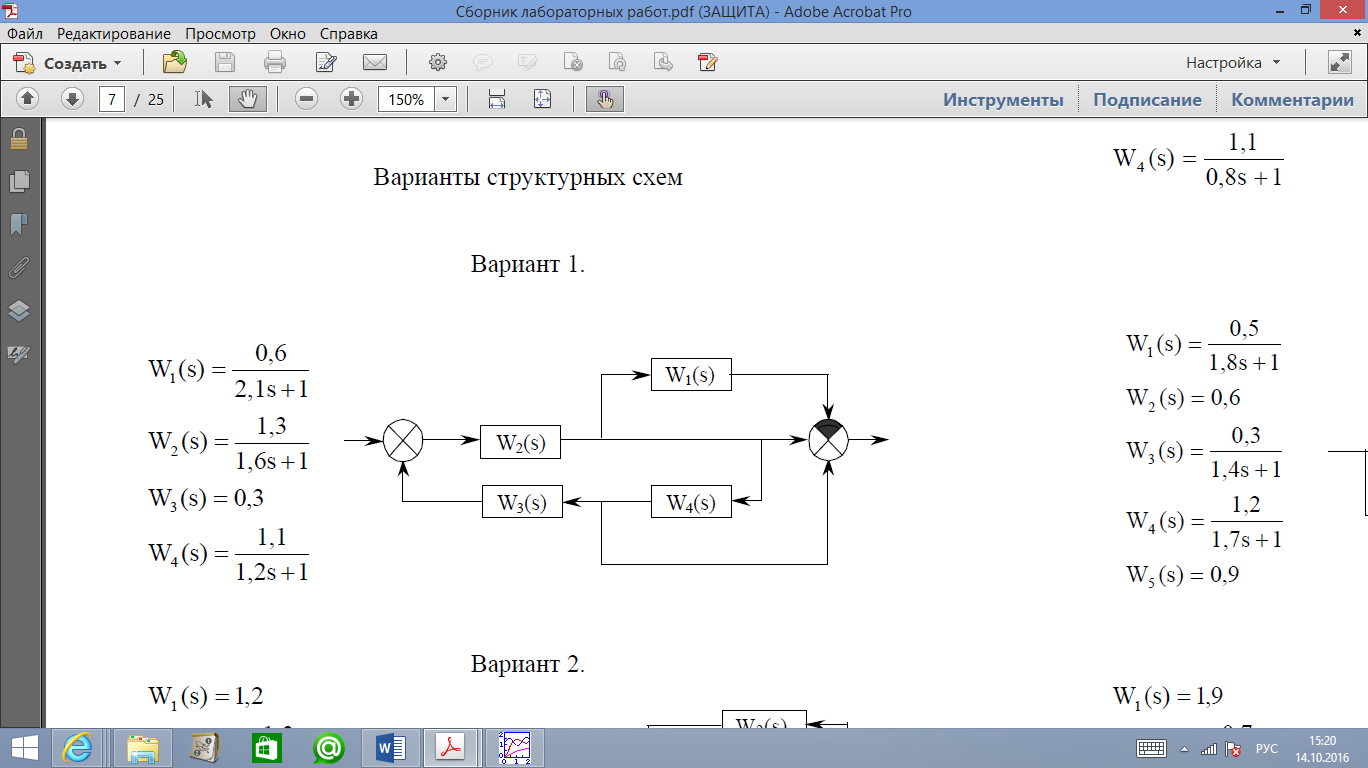


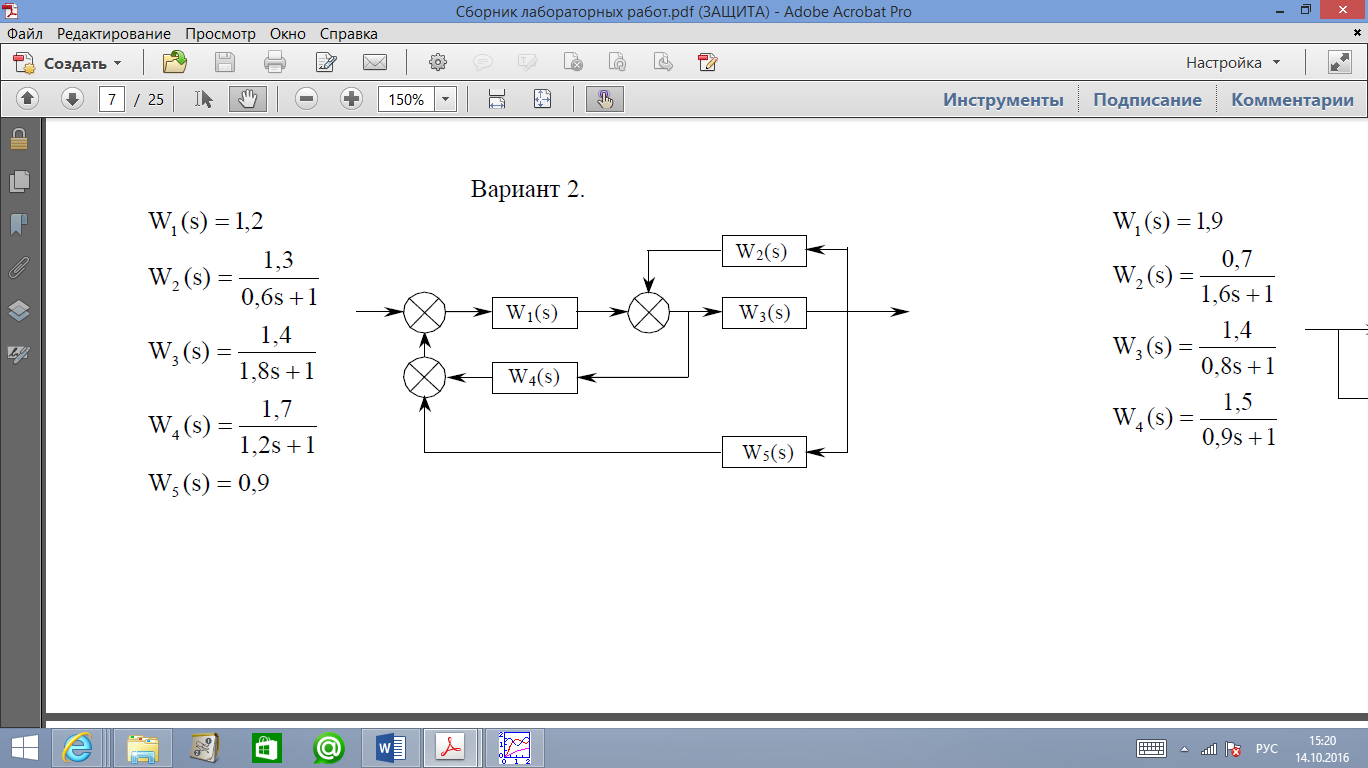
**Рисунок 3.4 – Коэффициенты передаточных функций**

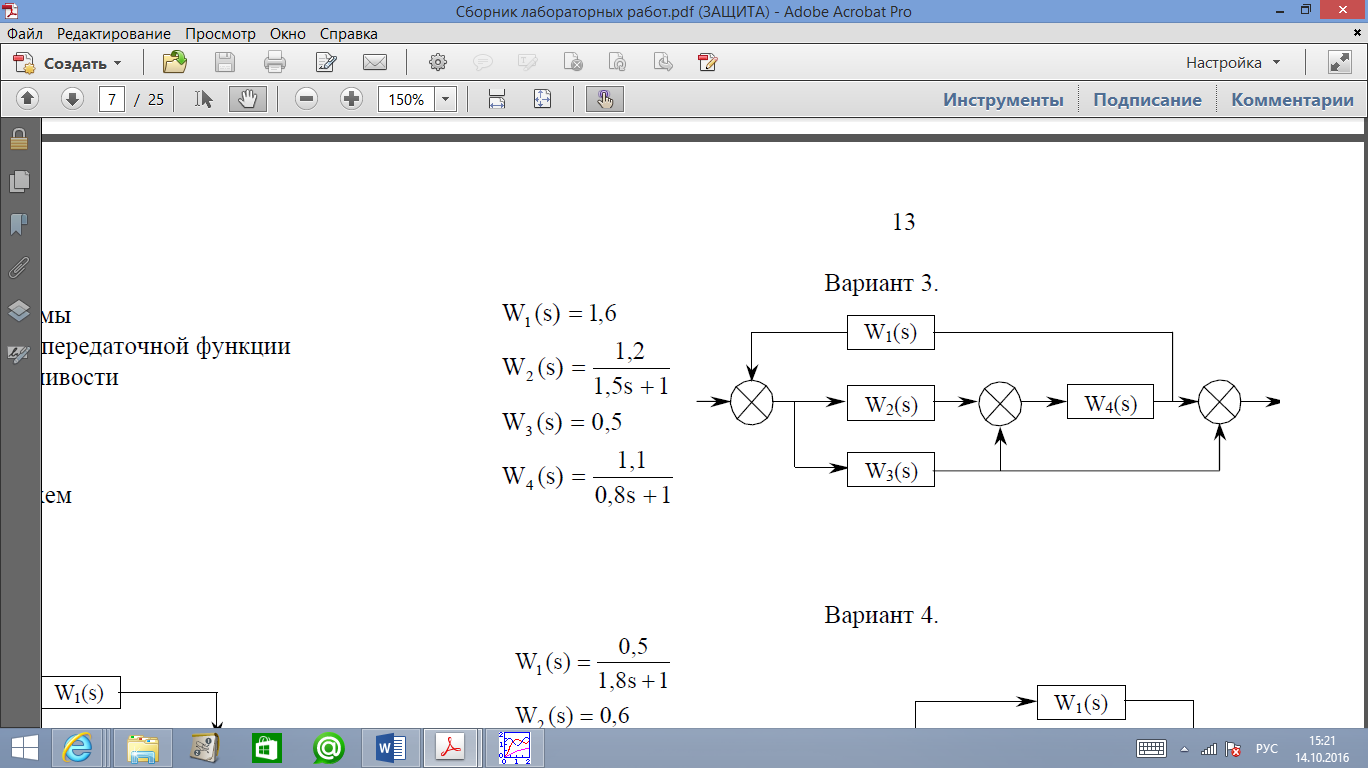
1. Сохраните расчетную схему «**Файл → Сохранить проект**». Оформите протокол лабораторной работы, который должен содержать:

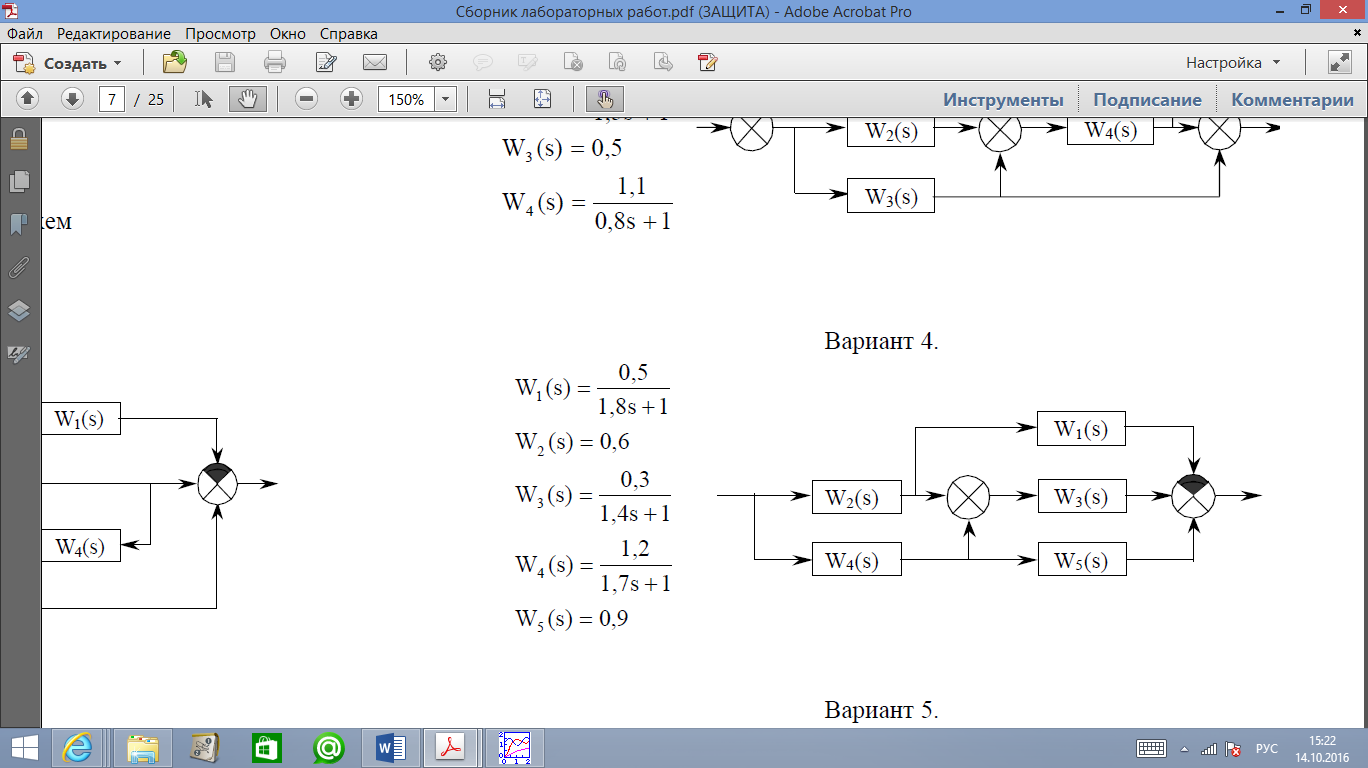
* цель работы;
* индивидуальное задание;
* структурную схему, построенную в **SimInTech**;
* график переходной функции;
* этапы преобразования структурной схемы;
* выражение полученной эквивалентной передаточной функции;
* расчеты по заданному критерию устойчивости;
* выводы об устойчивости системы.

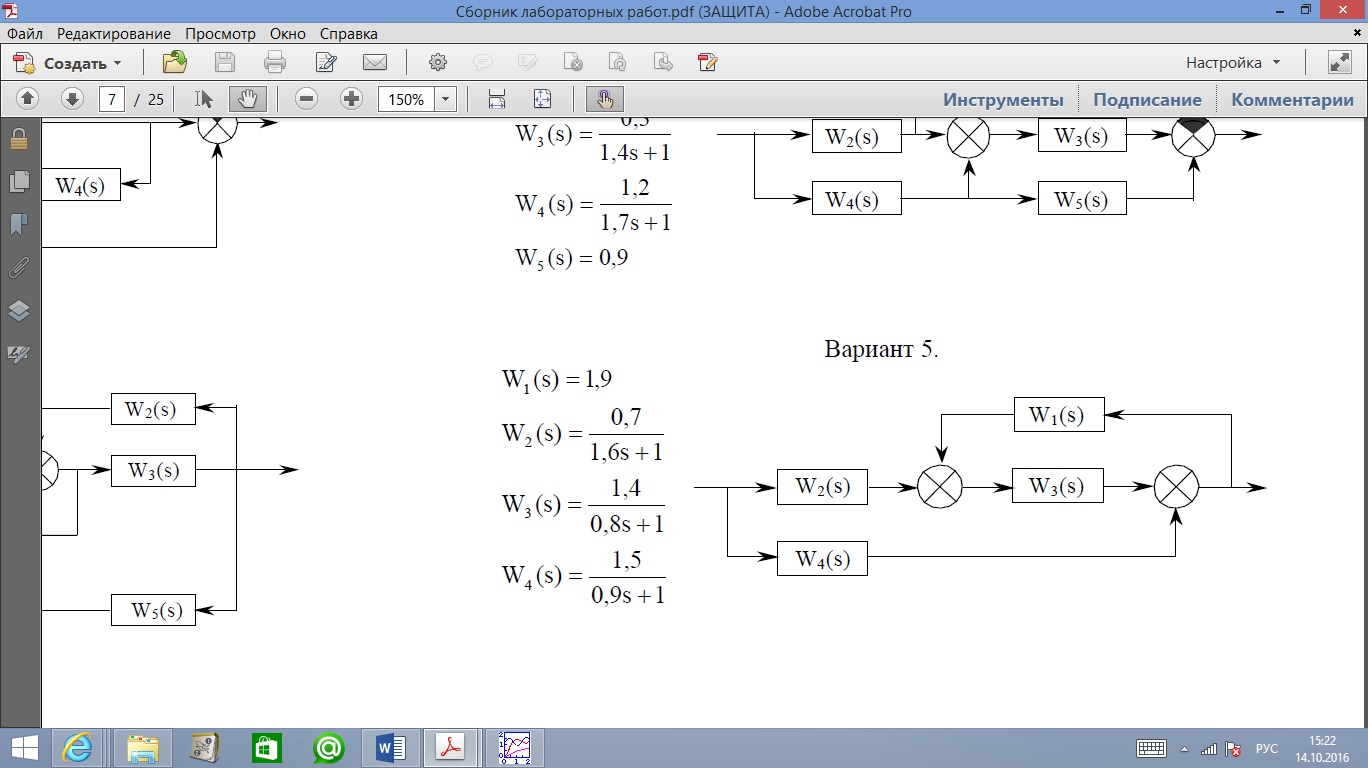
**Варианты структурных схем**

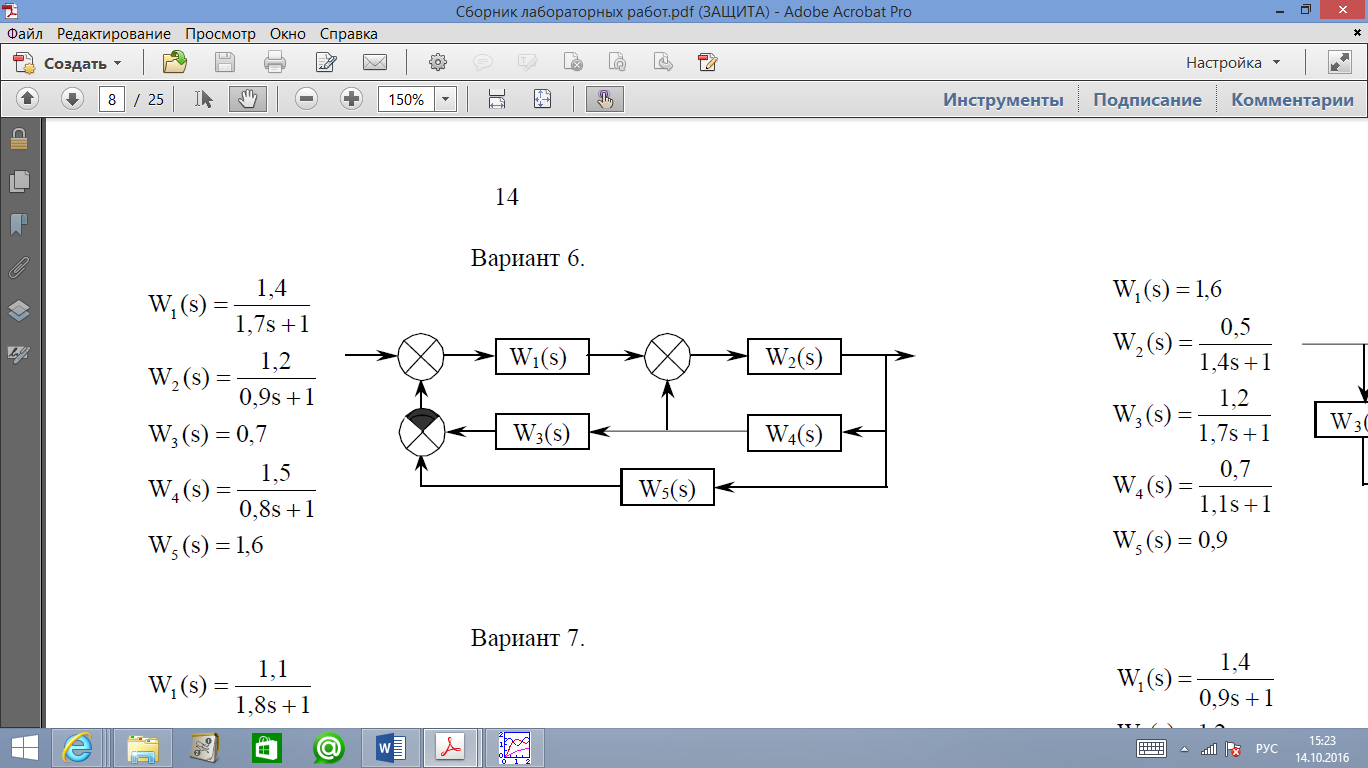


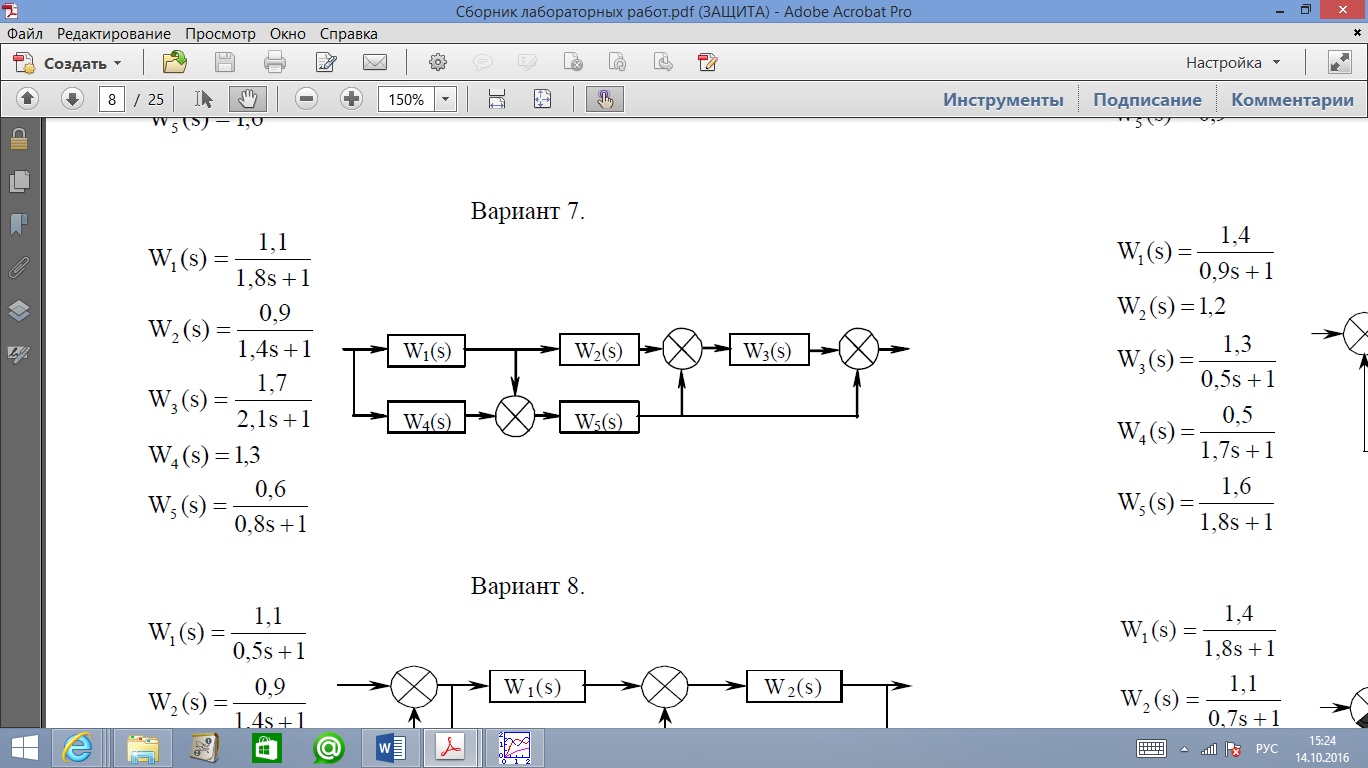


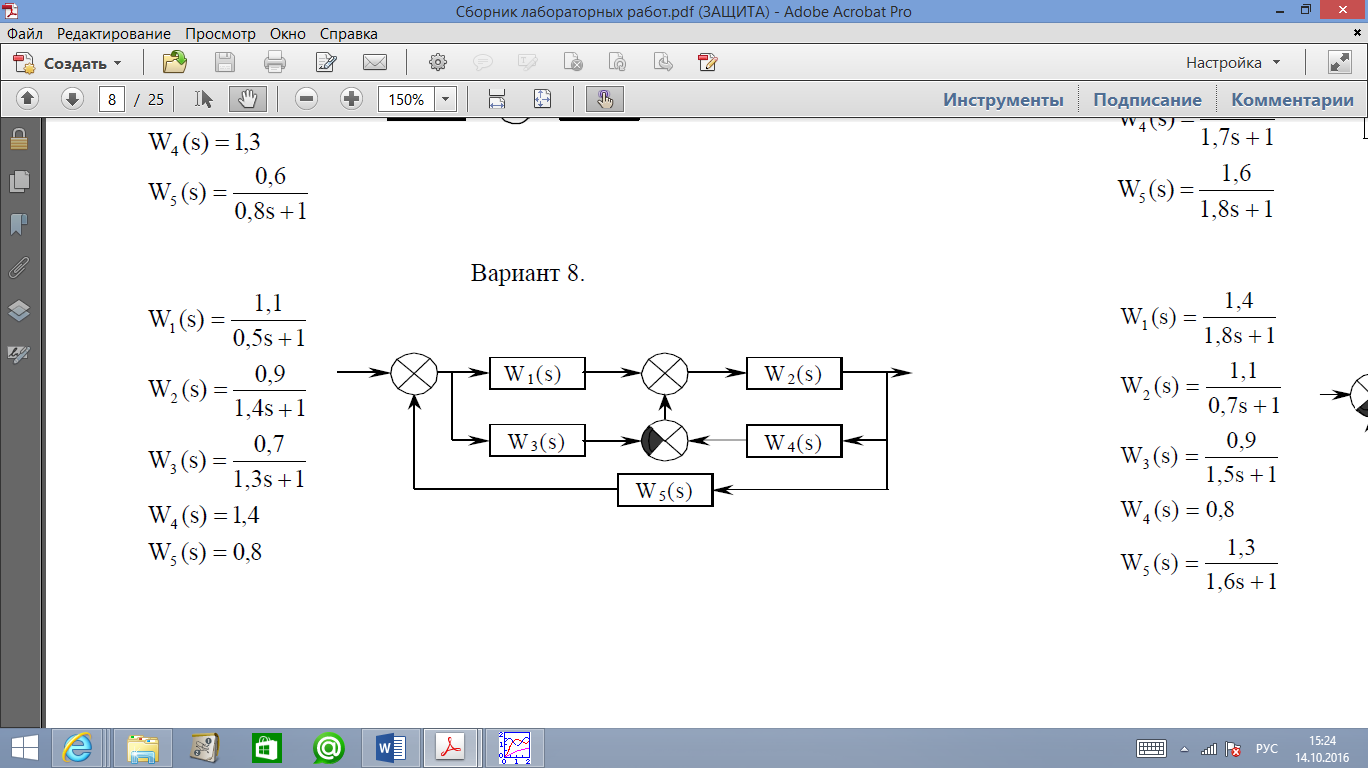


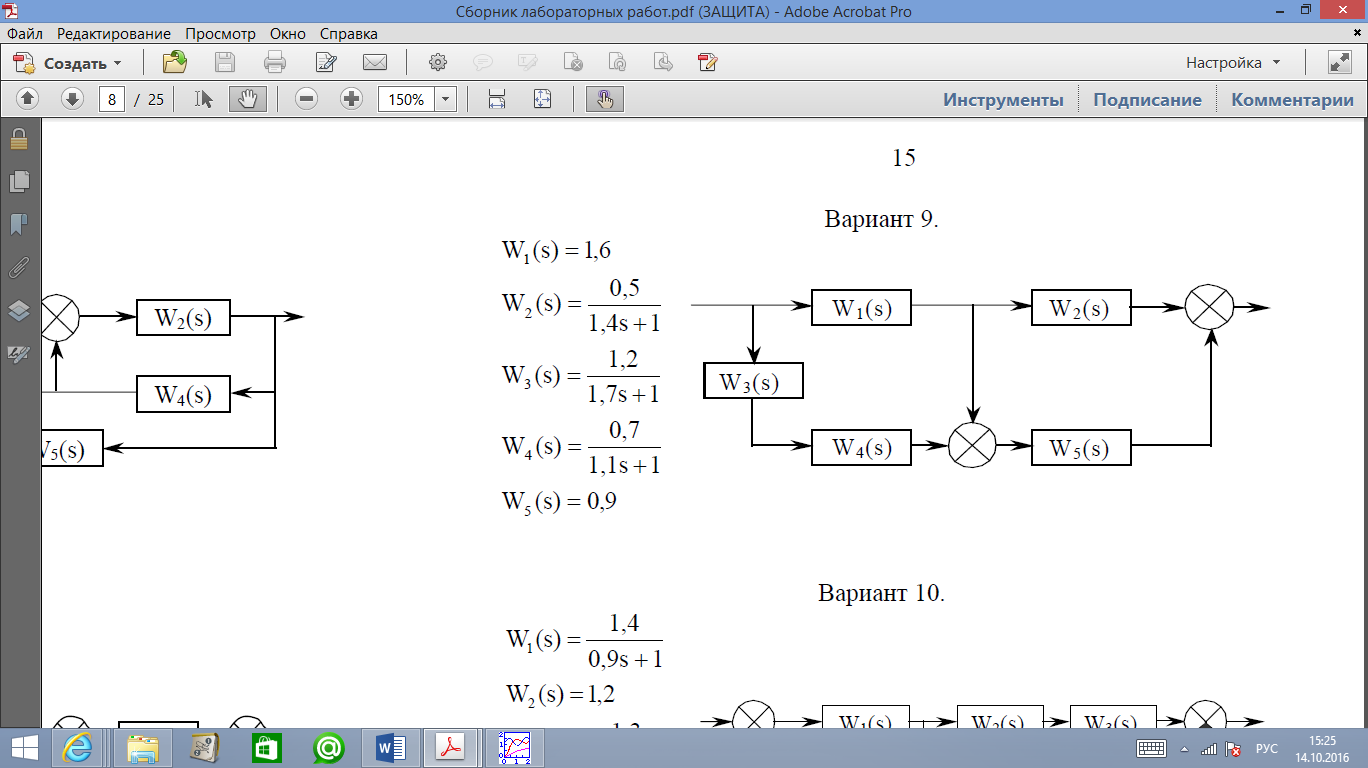


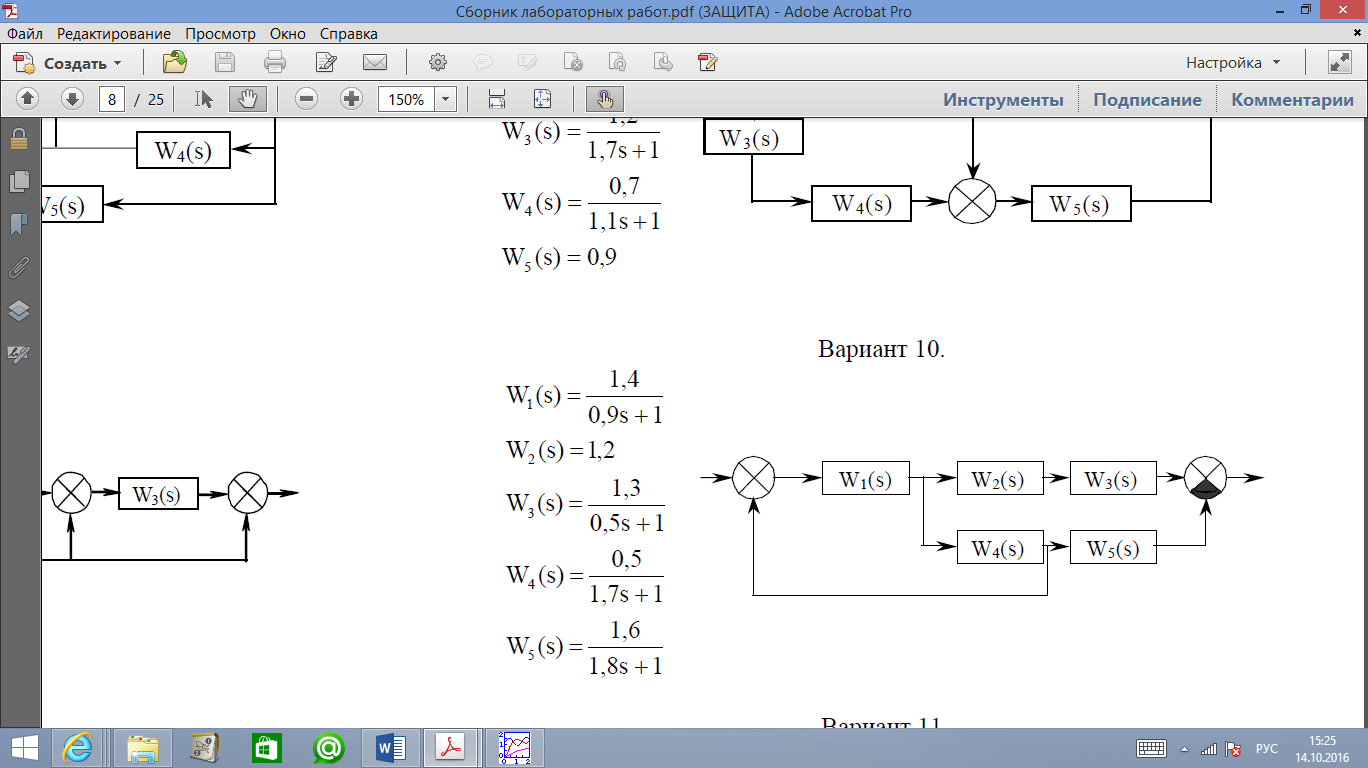


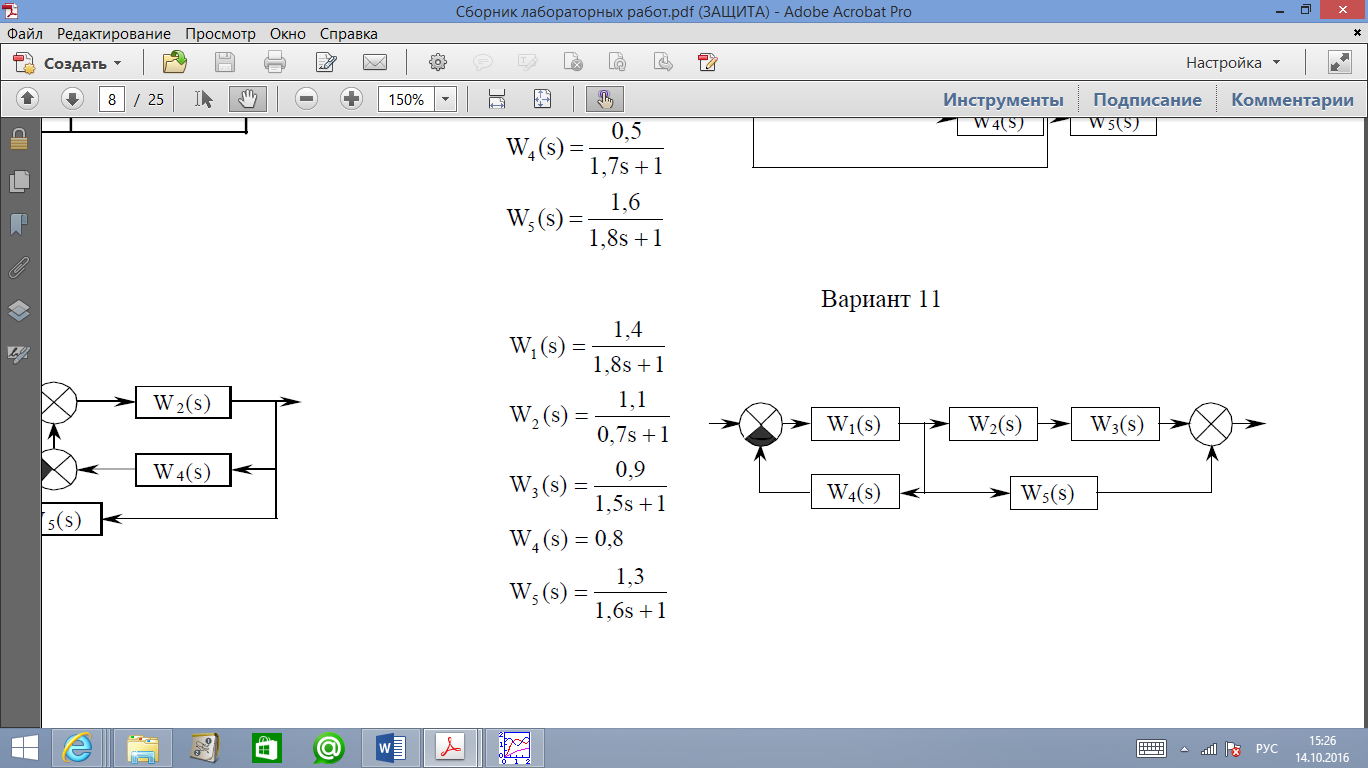


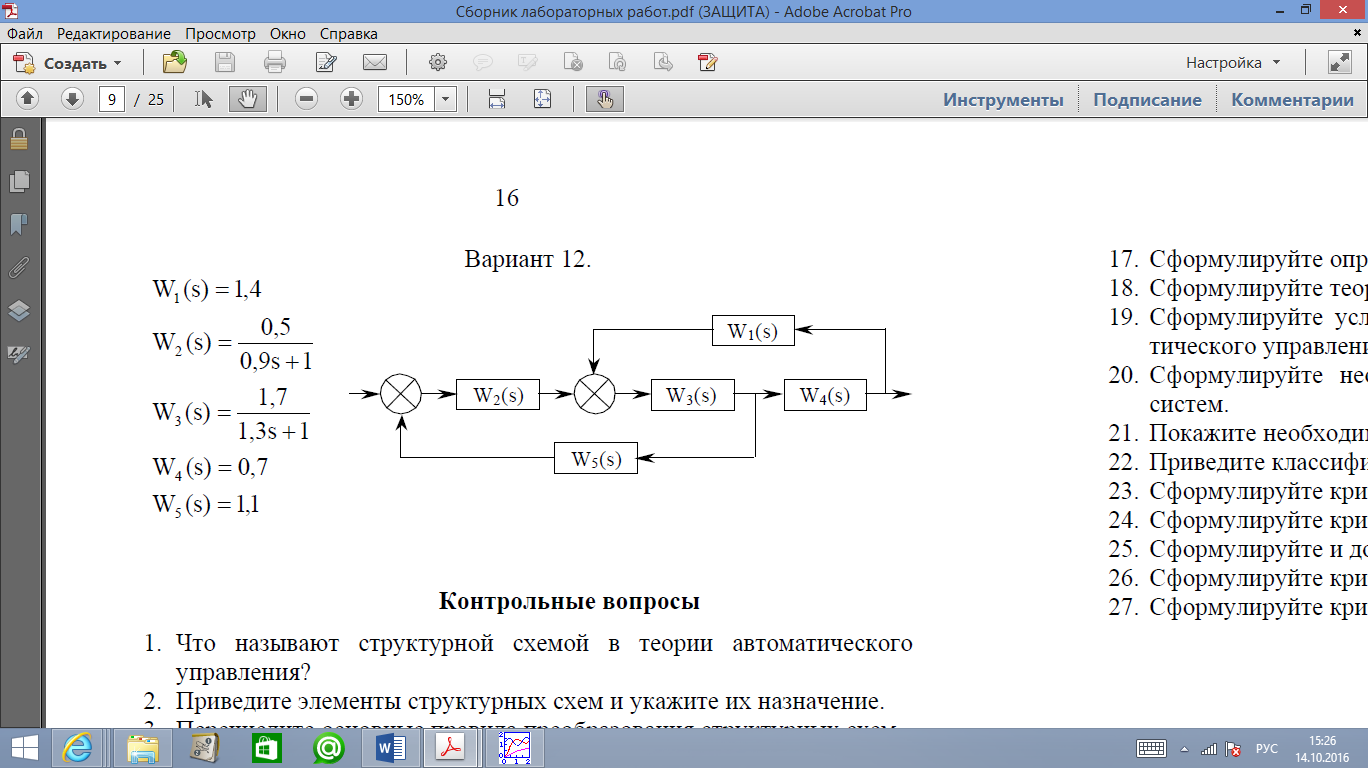












**Контрольные вопросы**

1. Что называют структурной схемой в теории автоматического управления?
2. Приведите элементы структурных схем и укажите их назначение.
3. Перечислите основные правила преобразования структурных схем.
4. Как определяется передаточная функция участка цепи с параллельным соединением звеньев?
5. Как определяется передаточная функция участка цепи с последовательным соединением звеньев?
6. Какое соединение называется соединением с обратной связью? Как определяется передаточная функция участка цепи, содержащего звено, охваченное положительной обратной связью?
7. Как определяется передаточная функция участка цепи, содержащего звено, охваченное отрицательной обратной связью?
8. Приведите структурные схемы с жесткой и гибкой обратной связью и выведите их эквивалентные передаточные функции.
9. Сформулируйте правила переноса сумматора через звено.
10. Сформулируйте правила переноса узла через звено.
11. Сформулируйте правила перестановки узлов и сумматоров.
12. Сформулируйте правило вычисления передаточной функции одноконтурной системы.
13. Сформулируйте правило вычисления передаточной функции многоконтурной системы.
14. Какие системы называют устойчивыми в малом, в большом и в целом.
15. Какое движение называется невозмущенным?
16. Какое движение называется возмущенным?
17. Сформулируйте условие устойчивости заданного невозмущенного движения.
18. Сформулируйте определение устойчивости по Ляпунову.
19. Сформулируйте теоремы Ляпунова об устойчивости.
20. Сформулируйте условие устойчивости линейных систем автоматического управления.
21. Сформулируйте необходимый признак устойчивости линейных систем.
22. Покажите необходимость применения критериев устойчивости.
23. Приведите классификацию критериев устойчивости.
24. Сформулируйте критерий Рауса. Приведите пример.
25. Сформулируйте критерий Гурвица. Приведите пример.
26. Сформулируйте и докажите принцип аргумента.
27. Сформулируйте критерий Найквиста. Приведите пример.
28. Сформулируйте критерий Михайлова. Приведите пример.