****

**АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ И КОРРЕКЦИЯ САР**

**ПО ЧАСТОТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ И ПО ПОЛЮСАМ**

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

по курсу «Управление в технических системах»

# ВВЕДЕНИЕ

В лабораторной работе №1 Вами рассмотрен ряд процедур работы в среде SimInTech применительно к основному режиму анализа динамических процессов в управляемых технических системах, а именно, к режиму МОДЕЛИРОВАНИЕ.

Для более глубокого анализа динамических характеристик систем автоматического регулирования (САР) широко используются методы, основанные на амплитудно-фазовых частотных характеристиках системы (АЧХ/ЛАХ, ФЧХ, годографы различного типа и др.). Поэтому в среде SimInTech реализован режим работы АНАЛИЗ, в виде набора блоков библиотеки Исследования, которые позволяют определить вышеперечисленные амплитудно-фазовые частотные характеристики большинства САР.

Для чисто линейных САР численные алгоритмы, реализованные в среде SimInTech, позволяют вычислить амплитудно-фазовые частотные характеристики (ЛАХ, ФЧХ, годограф Найквиста и др.) в "классическом" виде (по общеизвестным формулам из курса "Управление в технических системах"). Примерно аналогичный подход для расчета амплитудно-фазовых частотных характеристик в линейных САР реализован в известных зарубежных программ (SimuLink, VisSim и других).

Для определения амплитудно-фазовых частотных характеристик нелинейных САР в малой окрестности стационарного состояния (нулевые начальные условия) или какого-то динамического состояния (ненулевые начальные условия) необходимо предварительно выполнить линеаризацию уравнений динамики САР. Процедура линеаризации уравнений может быть выполнена либо автоматически (программным комплексом), либо "вручную" (Пользователем) на листе бумаги... Вышеуказанные зарубежные программы "предоставляют" Пользователю только 2-ой вариант...

Для многих нелинейных САР (не содержащих типовых нелинейных блоков с зоной нечувствительности) расчет частотных характеристик в среде SimInTech выполняется с использованием численной линеаризации динамической модели САР, выполняемой автоматически (расчетным ядром) в окрестности базовой точки.

# ЦЕЛЬ РАБОТЫ

* ознакомление с дополнительными возможностями среды SimInTech;
* освоение основных процедур работы в режиме АНАЛИЗ, включая:
  + подготовку структурной схемы САР для расчета АФЧХ;
  + расчет и построение графиков различных амплитудно-фазовых частотных характеристик (ЛАХ, ФЧХ, годограф Найквиста и др.);
  + анализ устойчивости замкнутой САР по амплитудно-фазовым частотным характеристикам разомкнутой САР, используя годограф Найквиста или одновременное рассмотрение графиков ЛАХ и ФЧХ;
  + расчет коэффициентов, полюсов и нулей передаточных функций и определение устойчивости по теоремам Ляпунова (по полюсам или по собственным числам);
* анализ устойчивости САР ядерного реактора с использованием частотного критерия Найквиста и по теоремам Ляпунова (по полюсам) с последующей коррекцией параметров САР.

# 1 ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ И ПРОЦЕДУРЫ РАБОТЫ В РЕЖИМЕ АНАЛИЗ

## 1.1 Анализ амплитудно-фазовых частотных характеристик

Методы и процедуры, обеспечивающие в среде SimInTech режим работы АНАЛИЗ, будут рассмотрены в процессе выполнения дополнительного задания к рассмотренной в лабораторной работе №1 демонстрационно-ознакомительной задаче. Сформулируем задачи, которые необходимо решить в процессе анализа АФЧХ САР, структурная схема которой создана Вами в лабораторной работе №1 и сохранена на жестком диске:

* исследовать на устойчивость исходную САР с использованием критерия Найквиста по годографу АФЧХ и по совместному рассмотрению ЛАХ – ФЧХ;
* исследовать на устойчивость скорректированную САР с использованием критерия Найквиста по годографу АФЧХ и по совместному рассмотрению ЛАХ – ФЧХ, определив запасы по фазе и амплитуде;

Поскольку структурная схема задачи (с исходными данными) была сохранена Вами на жестком диске, откройте эту задачу (проект), используя стандартные интерфейсные процедуры среды SimInTech.

**Этап 1** – исследование устойчивости исходной САР.

Переместите курсор на закладку ***Исследования*** и *однократным* щелчком *левой* клавиши "мыши" инициализируйте одноименный каталог в Общетехнической библиотеке типовых блоков. Перенесите в Схемное Окно блок ***Построение частотных характеристик*** и проведите к ним линии связи, как это показано на рис. 1.1.

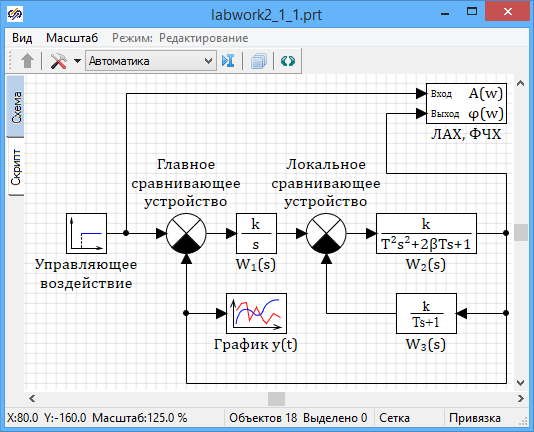


Рисунок 1.1 — Схемное окно проекта

Выполните оформление поясняющих подписей и надписей (щелчок *правой* клавишей "мыши" по блоку, далее пункт ***Свойства*** и далее ...) и структурная схема САР примет вид, подобный рис. 1.1. Также подписи можно вводить непосредственно на схеме, удачно попав курсосром мыши под нужным блоком на поле ввода подписи (при этом курсор изменяет свою форму).

Проверьте, что свойства всех блоков в структурной схеме соответствуют исходным (в т.ч. коэффициент усиления в блоке ***Интегратор*** равен **1.0**). Выполните "контрольное" моделирование и убедитесь, что переходной процесс расходящийся.

Известно, что критерий Найквиста позволяет оценить устойчивость (или неустойчивость) замкнутой линейной САР (с единичной Главной обратной связью) по АФЧХ разомкнутой САР. Поэтому, откройте диалоговое окно блока ***Сравнивающее устройство*** (выполняющего роль ***Главного сравнивающего устройства***) и разомкните ***Главную обратную связь***, установив 2-й весовой коэффициент равным ***нулю***.

Выполните моделирование и убедитесь, что вид переходного процесса типичен для САР, находящихся на апериодической границе устойчивости (один нулевой полюс).

Выделите блок ЛАХ, ФЧХ мышкой и сделайте щелчок правой кнопкой мыши. Из выпавшего контекстного меню выберите пункт ***Свойства объекта***, см. рис. 1.2*.*

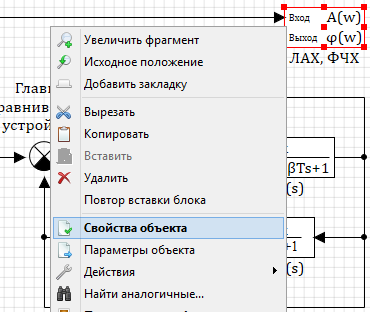


Рисунок 1.2 — Свойства объекта блока *Построение частотных характеристик*

Откроется диалоговое окно **Свойства** блока **Построение частотных характеристик**. Введите значения свойств, как показано на рисунке 1.3.

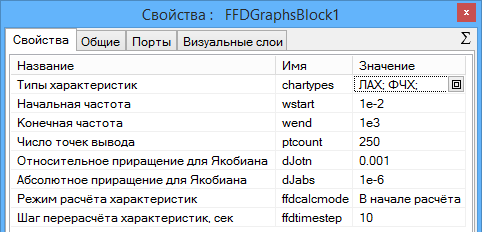


Рисунок 1.3 — Свойтства блока Построение частотных характеристик

Свойствами ***Начальная частота*** и ***Конечная частота*** задаются границы частотного диапазона (в 1/с), а свойством ***Число точек вывода*** – количество расчетных точек, равномерно распределенных (в логарифмическом масштабе) внутри частотного диапазона.

Значения свойств **Относительное (Абсолютное) приращение для Якобиана** используются в расчете АФЧХ при автоматической линеаризации САР, а в чисто линейных системах расчет частотных характеристик не использует этих данных. Начинающему Пользователю рекомендуется использовать значения, заданные "по умолчанию", которые установлены из личного практического опыта авторов среды SimInTech.

Заполнив по инструкции свойства блока **Построение частотных характеристик**, Вы задали следующее: рассчитать (ЛАХ) и (ФЧХ) разомкнутой САР, если:

Начальная частота – 0.01 Гц;

Конечная частота – 1000 Гц;

Число точек вывода – 250 (равномерно в логарифмическом масштабе);

Относительное приращение для Якобиана – 0.001 (установлено по умолчанию);

Абсолютное приращение для Якобиана – 10-6 (установлено по умолчанию).

Переместите курсор на кнопку ***Инициализация*** и выполните щелчок *левой* клавишей "мыши": начнется расчет частотных характеристик.

Переместите курсор на блок ***Построение частотных характеристик*** и выполните 2-х кратный щелчок *левой* клавишей "мыши": откроется ***График*** с результатами расчета. Используя настройки ***Графика*** (вызов контекстного меню – однократным щелчком *правой* клавиши "мыши") установите следующие параметры оси ординат: *Min Y =* **-270**; *Max Y* = **+90**; Шаг сетки = **90**. Если Вы выполните дополнительное оформление ***Графика***, то получите вид, близкий к рис. 1.4.

Вид графиков на рис. 1.4 показывает, что фазовая характеристика пересекает линию **-180°** вроде бы (!?) немного раньше, чем характеристика пересекает линию **0 дБ**. Уточним то, что видим... Переместите курсор в поле ***Графика – ЛАХ, ФЧХ***, выполните щелчок *правой* клавишей "мыши" и выберите пункт ***Таблица***: окно графиков заменится таблицей данных расчета. Прокруткой таблицы найдите строку, в которой ФЧХ пересекает уровень -180**°** (соответствующая частота *ω* = 0.02, см. рис. 1.5) и убедитесь, что > 0 (0.14123271), а фазовый сдвиг < -180**°** (-184.6). Следовательно, при замыкании САР единичной обратной связью она будет неустойчивой, что и показал ранее (в лабораторной работе №1) график переходного процесса при исходных параметрах САР.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рисунок 1.4 — графики ЛАХ, ФЧХ | Рисунок 1.5 — табличные значения ЛАХ, ФЧХ |

Верните предыдущий вид окна ***График – ЛАХ, ФЧХ*** (щелчок *правой* клавишей "мыши" в поле таблицы, затем щелчок *левой* клавишей "мыши" по пункту ***График***).

Для построения годографа *Найквиста* для разомкнутой САР переместите курсор на закладку ***Исследования*** и *однократным* щелчком *левой* клавиши "мыши" инициализируйте одноименный каталог в Общетехнической библиотеке типовых блоков. Перенесите в Схемное Окно блок ***Построение частотных характеристик*** и проведите к нему линии связи, как это показано на рис. 1.6.

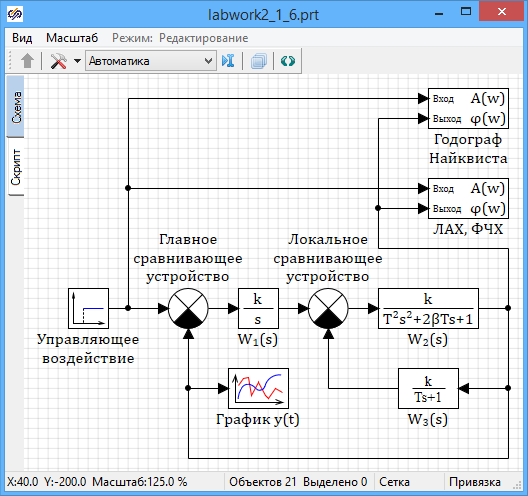


Рисунок 1.6 — Блок *годограф Найквиста* в Схемном окне проекта

Выделите блок ***годограф Найквиста*** мышкой и сделайте щелчок *правой* кнопкой мыши. В открывшемся меню выберите пункт ***Свойства объекта***. Откроется диалоговое окно ***Свойства*** блока ***Построение частотных характеристик***. Введите значения свойств, как показано на рисунке 1.7.

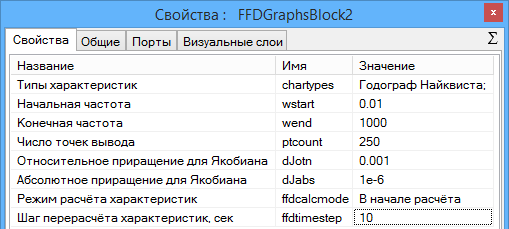


Рисунок 1.7 — свойства блока *годограф Найквиста*

Выполните щелчок *левой* клавишей "мыши" по кнопке ***Инициализация***: будет выполнен расчет годографа АФЧХ (называемого в среде SimInTech годографом Найквиста), а на ***Графике*** – отображение результатов расчета.

Используя пункт *Свойства* контекстного меню *Графика*, приведите изображение годографа к такому же виду, как и на рис. 1.8.

Из критерия Найквиста известно, что САР, находящаяся на апериодической границе устойчивости в разомкнутом состоянии, станет устойчивой при ее замыкании единичной Главной обратной связью, если годограф АФЧХ не охватывает на комплексной плоскости "точку Найквиста" (-1, 0·*i*). Поэтому рассмотрим более "внимательно" поведение линии годографа в окрестности точки (-1, 0·*i*). Для этого, используя еще раз пункт *Свойства* контекстного меню *Графика*, приведите изображение годографа к такому же виду, как и на рис. 1.9.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рисунок 1.8 – годограф Найквиста (k₁=1.00) | Рисунок 1.9 — годограф Найквиста (k₁=1.00) |

Так как линия годографа разомкнутой САР на рис. 1.9 без сомнения охватывает точку (-1, 0·*i*), то справедливо резюме: исходная САР в замкнутом состоянии будет неустойчива.

**Этап 2** – исследование устойчивости скорректированной САР.

Измените коэффициент *k₁* в блоке *W₁(s)* на **0.35**, что соответствует оптимальному значению (определенному в демонстрационно-ознакомительной задаче).

Переместите курсор на кнопку ***Инициализация*** и сделайте щелчок "мышью": произойдет инициализация всех блоков структурной схемы. Далее можно и не считать переходной процесс, так как вся информация о структурной схеме получена и расчет частотных характеристик выполнен. Переместите курсор на кнопку ***Стоп***и сделайте щелчок "мышью": расчет переходного процесса будет прерван, так и не начавшись.

Сделайте график годографа Найквиста более "симпатичным", изменив параметры осей координат ***Графика*** (см. рис. 1.10).

Еще раз измените параметры осей координат ***Графика*** (см. рис. 1.11). Линия годографа разомкнутой САР на рис. 1.11 без сомнения не охватывает точку (-1, 0·*i*). Вывод: скорректированная САР с коэффициентом *k₁*=0.35 в замкнутом состоянии будет устойчива.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рисунки 1.10 – годограф Найквиста (k₁=0.35) | Рисунок 1.11 — годограф Найквиста (k₁=0.35) |

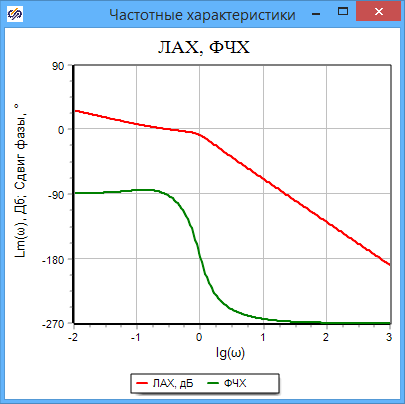


Рисунок 1.12 — ЛАХ, ФЧХ

Посмотрите на графики ***ЛАХ, ФЧХ*** (см. рис. 1.12). Из критерия Найквиста известно, что САР, находящаяся на апериодической границе устойчивости в разомкнутом состоянии, станет устойчивой при ее замыкании единичной Главной обратной связью, если график ЛАХ пересекает линию **0 дБ** раньше, чем график ФЧХ линию **-180°**. Анализ графиков и показывает, что при замыкании единичной обратной связью САР станет устойчивой.

Используя контекстное меню ***Графика***, переведите его в режим ***Таблица*** и определите запасы по фазе (в градусах) и амплитуде (в дБ). Эти запасы должны составлять ~ 86**°** и ~ 8.2 дБ, соответственно (см. рис. 1.13 и рис. 1.14). Запас по фазе достаточен, однако крайне малый запас по амплитуде (должно быть ~ 30...40 дБ) обосновывает "не очень хорошее" качество переходного процесса в демонстрационно-ознакомительной задаче при *k₁* = 0.35.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рисунок 1.13 — значения ЛАХ, ФЧХ | Рисунок 1.14 — значения ЛАХ, ФЧХ |

## 1.2 Определение полюсов, нулей и коэффициентов передаточных функций

Верните исходное значение скоростной эффективности интегрирующего регулятора (*k₁* = **1**). Разомкните ***Главную обратную связь***(2-ой весовой коэффициент в ***Главном сравнивающем устройстве*** должен быть равен нулю).

Переместите курсор на закладку ***Исследования*** и *однократным* щелчком *левой* клавиши "мыши" инициализируйте одноименный каталог в Общетехнической библиотеке типовых блоков. Перенесите в Схемное Окно блок ***Построение передаточных функций***и проведите к нему линии связи, как это показано на рис. 1.15.

Как уже говорилось выше, значения свойств **Относительное приращение для Якобиана** и **Абсолютное приращение для Якобиана** можно оставить без изменений, так как в чисто линейных САР расчет параметров передаточных функций не использует данных по приращениям Якобиана. Использование данных по приращениям Якобиана имеет место в расчете параметров линеаризуемых САР (среда SimInTech автоматически выполняет линеаризацию в окрестности базовой точки). Значения "по умолчанию" данных по приращениям Якобиана выбраны из личного опыта авторов среды SimInTech. Начинающему Пользователю рекомендуется использовать параметры "по умолчанию", как показано на рисунке 1.16.

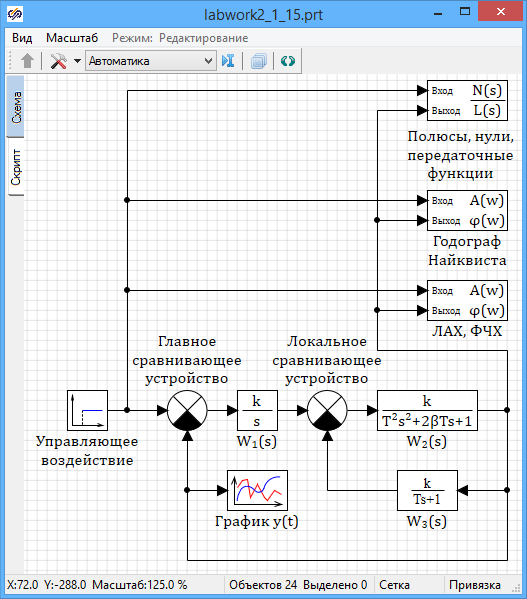


Рисунок 1.15 — Блок Построение передаточных функций

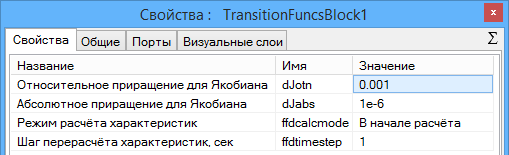


Рисунок 1.16 — Свойства блока Построение передаточных функций

Переместите курсор на кнопку **Инициализация**, выполните щелчок "мышью", а затем двойной щелчок мышью по блоку ***Построение передаточных функций***: мгновенно появится информационное окно с результатами расчета параметров передаточных функций. В окне приведены результаты расчета коэффициентов Знаменателя и Числителей по возрастающим степеням **s**, полюсы и нули передаточных функций САР (см. рис. 1.17).

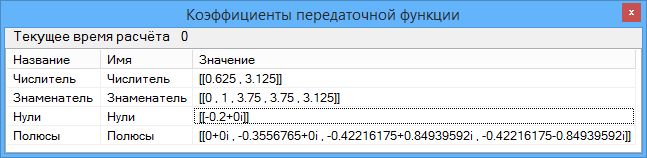


Рисунок 1.17 — Результаты расчета параметров передаточной функции   
для разомкнутой САР со значением скоростной эффективности интегрирующего регулятора равным 1.0

Учитывая, что эквивалентная передаточная функция рассматриваемой разомкнутой САР определяется не очень громоздким соотношением:

прямой подстановкой исходных передаточных функций в это соотношение легко убедиться в правильности расчета средой SimInTech коэффициентов эквивалентной передаточной функции (выполните "ручной" расчет и сравните...).

Результаты расчета полюсов показывают, что исходная САР в разомкнутом состоянии находится на апериодической границе устойчивости, так как три полюса расположены в левой полуплоскости, а один – в начале координат.

Замкните Главную обратную связь. Выполните щелчок "мышью" по кнопке **Инициализация** (структурная схема замкнутой САР инициализировалась).

Откройте блок ***Построение передаточных функций*** с результатами расчета параметров передаточной функции исходной САР в замкнутом состоянии. В верхней части информационного окна приведены результаты расчета коэффициентов Знаменателя и Числителя по возрастающим степеням **s**, а в нижней части – полюсы и нули передаточной функции САР (см. рис. 1.18).

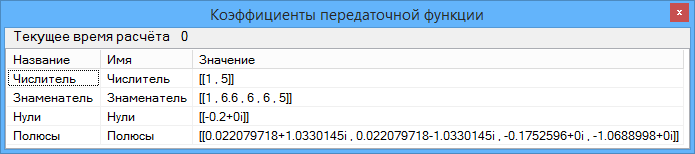


Рисунок 1.18 — Результаты расчета параметров передаточной   
функции для замкнутой САР со значением скоростной эффективности   
интегрирующего регулятора равным 1.0

В правильности расчета коэффициентов числителя и знаменателя передаточной функции замкнутой САР Вы можете убедиться, выполнив "ручной" расчет.

Анализ нижней строки в информационном окне еще раз подтверждает вывод об отсутствии устойчивости исходной САР в замкнутом состоянии: два действительных полюса расположены в левой полуплоскости, а два комплексно-сопряженных полюса – в правой полуплоскости.

Измените значение коэффициента *k₁* на **0.35**, при котором замкнутая САР несомненно должна быть устойчивой.

Выполните щелчок "мышью" по кнопке ***Инициализация*** (структурная схема замкнутой САР инициализировалась).

Щелчком мыши по блоку ***Построение передаточных функций*** откройте окно с результатами расчета для скорректированной САР (см. рис. 1.19).

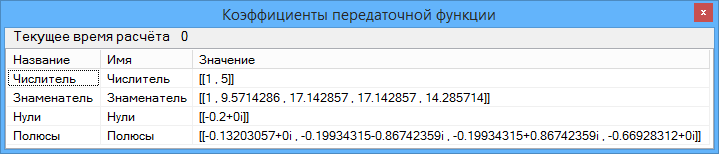


Рисунок 1.19 — Результаты расчета параметров передаточной функции для   
замкнутой САР со значением скоростной эффективности интегрирующего   
регулятора равным 0.35

Анализ нижней строки в окне блока ***Построение передаточных функций*** (см. рис. 1.19) еще раз подтверждает вывод об устойчивости скорректированной САР в замкнутом состоянии: все четыре полюса расположены в левой полуплоскости (два отрицательных вещественных и два комплексно-сопряженных с отрицательной вещественной частью).

Сохраните структурную схему на жесткий диск под "оригинальным" именем, так она Вам еще потребуется при выполнении лабораторной работы № 3.

## 1.3 Построение графиков частотных характеристик ряда типовых звеньев

Перед выполнением самостоятельного исследования частотных характеристик САР ядерного реактора (загляните в следующий раздел...) в качестве "легкой разминки" необходимо построить графики основных частотных характеристик для некоторых типовых звеньев и сравнить построенное с аналогичными графиками в лекциях по курсу "Управление в технических системах"...

Используя освоенные процедуры работы с блоками Общетехнической библиотеки ***Исследования***, постройте для каждого из перечисленных ниже звеньев следующие частотные характеристики:

* графики годографов АФЧХ (годографов Найквиста);
* графики (ЛАХ);
* графики ФЧХ.

Рекомендуется задавать **600** расчетных точек, равномерно расположенных в логарифмическом масштабе в диапазоне частот от **10-3** до **103** Гц.

Список типовых звеньев, для которых необходимо построить вышеуказанные частотные характеристики:

1. Апериодическое звено 1-го порядка:
   1. K₁ = 10; T₁ = 1 c;
   2. K₂ = 10; T₂ = 10 c.
2. Колебательное звено:
   1. K₁ = 10; T₁ = 1 c; β₁ = 0.8;
   2. K₂ = 10; T₂ = 1 c; β₂ = 0.2.
3. Инерционно-дифференцирующее звено:
   1. τ₁ = 10 c; T₁ = 1 c;
   2. τ₂ = 10 c; T₂ = 10 c.

Рекомендуется строить требуемые частотные характеристики сразу для двух звеньев одного типа, что позволит выявить влияние варьируемого параметра (T или β) на соответствующие графики (см. рис. 1.20 для примера).

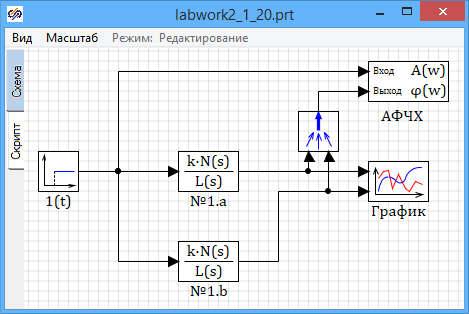
,

Рисунок 1.20 — Пример структурной схемы

**Внимание**: параллельно с исследованием АФЧХ вышеуказанных типовых звеньев в этом задании имеется возможность дополнительно "вспомнить" и переходные функции исследуемых типовых звеньев (при конечном в ремени моделировании **40** с), поэтому структурная схема на рис. 1.20 содержит типовой блок ***Ступенчатое воздействие*** (со свойствами **0 0 1**) и типовой блок ***Временной график****.*

# 2 АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ И КОРРЕКЦИЯ САР ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ПО АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫМ ЧАСТОТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

В процессе выполнения лабораторной работы №1 Вы сформировали структурную схему простейшей математической модели динамики САР ядерного реактора, внешний вид которой (с точностью до Ваших художественно-оформительских способностей) имел вид, приблизительно соответствующий структурной схеме на рис. 2.1.

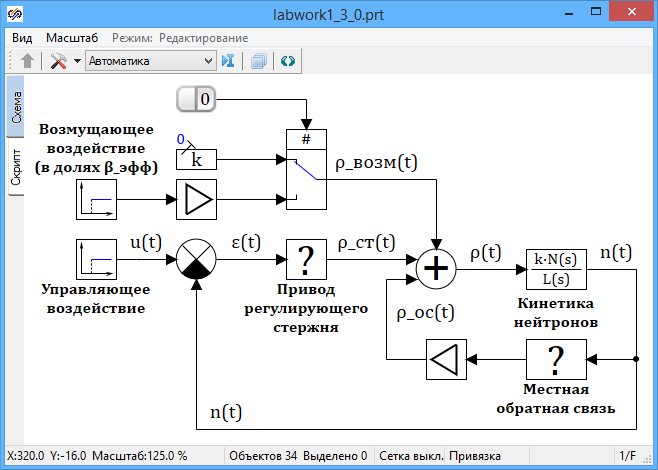


Рисунок 2.1 — Структурная схема простейшей математической   
модели динамики САР ядерного реактора

Подписи под блоками, которые формируют преобразование и отображение сигналов (см. рис. 2.1) дают минимальную информацию, по которой Вы должны (?!) "вспомнить" цель задания в предыдущей лабораторной работе и примененные Вами "нестандартные" методы ее решения.

Поскольку задача (проект) Вами была сохранена на жестком диске, запустите среду SimInTech и откройте "свою" модель динамики САР ЯР.

В данной части лабораторной работы Вам предстоит выполнить последовательно ряд этапов, направленных как на исследование частотных характеристик только ядерного реактора ("голый" реактор, реактор с местной обратной связью), так и на анализ САР ЯР в целом (исходной, а затем и скорректированной), включая анализ устойчивости САР ЯР с использованием частотного критерия Найквиста (различные варианты его формулировки) и по теоремам Ляпунова (по полюсам).

Учитывая, что для расчета в среде SimInTech амплитудно-фазовых частотных характеристик необходимо указать на структурной схеме точки приложения единичного гармонического воздействия и точки "выхода", Вы должны определить (самостоятельно) места расположения вышеуказанных точек и затем внести в структурную схему соответствующие добавления (а возможно и изменения?...).

**Примечания**:

При выполнении ряда этапов Вам предстоит, в частности, исследовать АФЧХ "голого" реактора при двух значениях времени жизни мгновенных нейтронов и двух значениях доли запаздывающих нейтронов. Это потребует от Вас создания "дополнительной" модели кинетики для второго ядерного реактора, которую Вы можете расположить в свободном месте Схемного окна (например, в правом нижнем углу, см. рис. 2.1).

При расчете и построении графиков АФЧХ рекомендуется задавать **700** расчетных точек, равномерно расположенных в логарифмическом масштабе в диапазоне частот от **10-3** до **104** Гц.

Для выполнения данной части лабораторной работы каждой подгруппе необходимо выполнить следующие этапы:

1) В рамках одного графика построить АФХЧ "голого" реактора (без любых обратных связей) при двух значениях времени жизни мгновенных нейтронов (реактор типа РБМК) и  (реактор типа ВВЭР для плавучих АЭС) и построить графики следующих характеристик:

* годографы Найквиста (два годографа на одном графике);
* логарифмические амплитудные характеристики (две ЛАХ на одном графике);
* фазовые частотные характеристики (две ФЧХ на одном графике).

Уяснить качественное влияние на вид этих характеристик значения времени жизни мгновенных нейтронов.

2) В рамках одного графика рассчитать АФХЧ "голого" реактора (без любых обратных связей) при двух значениях доли запаздывающих нейтронов (топливо U-235) и  (топливо Pu-239) построить графики следующих частотных характеристик:

* годографы Найквиста (два годографа на одном графике);
* логарифмические амплитудные характеристики (две ЛАХ на одном графике);
* фазовые частотные характеристики (две ФЧХ на одном графике).

3) В рамках одного графика при исходных параметрах САР ЯР рассчитать АФХЧ "голого" реактора (без любых обратных связей) и АФЧХ ядерного реактора с местной обратной связью и построить графики следующих частотных характеристик:

* годографы Найквиста (два годографа на одном графике);
* логарифмические амплитудные характеристики (две ЛАХ на одном графике);
* фазовые частотные характеристики (две ФЧХ на одном графике).

Уяснить качественное влияние на вид этих характеристик отрицательной обратной связи по температуре топлива.

4) Выполнить оценку устойчивости исходной САР в разомкнутом и замкнутом состояниях, использую непосредственное вычисление полюсов соответствующих передаточных функций.

5) Выполнить "контрольное" моделирование при подаче управляющего воздействия и убедиться, что исходная САР в замкнутом состоянии либо неустойчива, либо имеет явно "плохое" качество переходного процесса

6) Выполнить анализ устойчивости исходной замкнутой САР, используя критерий Найквиста в следующих вариантах его применения:

* по годографу АФЧХ разомкнутой САР;
* по одновременному рассмотрению ЛАХ и ФЧХ разомкнутой САР.

7) Определить во сколько раз необходимо уменьшить скоростную эффективность привода регулирующего стержня, чтобы запас устойчивости по амплитуде составлял не менее 30 дБ, а запас по фазе – не менее 60°.

8) Выполнить коррекцию САР (уменьшить Kпр) и прямым моделированием убедиться, что при подаче управляющего воздействия скорректированная САР устойчива и имеет удовлетворительное качество переходного процесса.

9) Проверить устойчивость скорректированной замкнутой САР, используя критерий Найквиста в следующих вариантах его применения:

* по годографу АФЧХ разомкнутой САР;
* по одновременному рассмотрению ЛАХ и ФЧХ разомкнутой САР.

10) Определить запасы устойчивости скорректированной САР по амплитуде и по фазе.

11) Выполнить проверку устойчивости скорректированной САР в замкнутом состоянии, используя непосредственное вычисление полюсов характеристического полинома замкнутой САР.

12) Определить аналитические выражения главной передаточной функции и передаточной функции по возмущающему воздействию .

13) Сохраните проект (задачу) на жесткий диск, так как он (проект) частично будет использован Вами при выполнении лабораторной работы № 3.