

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФТИ

_____ В.П.КРИВОБОКОВ

“ ____ ” _____ 2010г.

«АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ»

Методические указания к выполнению лабораторных работ по
курсу «Адаптивные системы управления» для студентов 5 курса,
обучающихся по специальности 140306 направления 14030
«Ядерная физика и технологии»

Составил В.И. Карначук

Издательство
Томского политехнического университета
2010

УДК 519.71
ББК22.18
К

Адаптивные системы управления: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Адаптивные системы управления» для студентов 5 курса, обучающихся по специальности 140306 «Электроника и автоматика физических установок» направления 140300 «Ядерная физика и технологии»./сост. В.И.Карначук; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. –40 с.

УДК 519.71
ББК 22.18

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры электроники и автоматике физических установок ФТИ «15»января 2010 г.

профессор

Зав кафедрой ЭАФУ
доктор техн. наук,
_____ *С.Н.Ливенцов*

учебно-методической комиссии

Председатель
_____ *В.М.Павлов*

Рецензент

Кандидат технических наук,
А.Г.Горюнов

©Составление.ГОУ ВПО «Национальный
Исследовательский Томский политехнический
Университет», 2010

©Карначук В.И., составление, 2010

©Оформление. ИздательствоТомского
политехнического университета, 2010

Курс “Адаптивные системы управления” изучается студентами специальности 140306 в 9 семестре. Лабораторные работы начинаются с середины семестра.

Цикл состоит из 8 лабораторных работ, каждая из которых посвящена определенному разделу лекционного курса.

По разделу “Адаптивные системы” выполняется 5 работ:

1. “Экстремальная система регулирования”, анализ качества установления экстремума в системе с запоминанием экстремума;
2. “Способы движения системы к положению экстремума”, сравнительный анализ методов координатного и градиентного спуска;

3. “Адаптивная система с эталонной моделью”, анализ качества самонастройки системы на заданный (эталонный) переходный процесс;

4. “Метод реализации скользящего режима в системах с эталонной моделью”, применение знакопеременной обратной связи для реализации скользящего режима;

“Системы с переменной структурой”,

По разделу “Инвариантные системы” выполняется 1 работа:

“Системы, допускающие бесконечное увеличение коэффициента усиления без нарушения устойчивости”, анализ структуры подобных систем .

По разделу “Многосвязные системы управления” выполняется 2 работы:

“Многосвязная система управления мощностью реактора РБМК в режиме АРВ”, анализ переходных процессов в каналах локального регулирования однотипной МСАР при изменении уставок каналов и при изменении степени связности каналов;

“Многосвязная система регулирования расхода и давления в технологическом процессе ВОУ-НОУ”, анализ динамики системы при изменении связности каналов неоднотипной МСАР и различной структуре регуляторов.

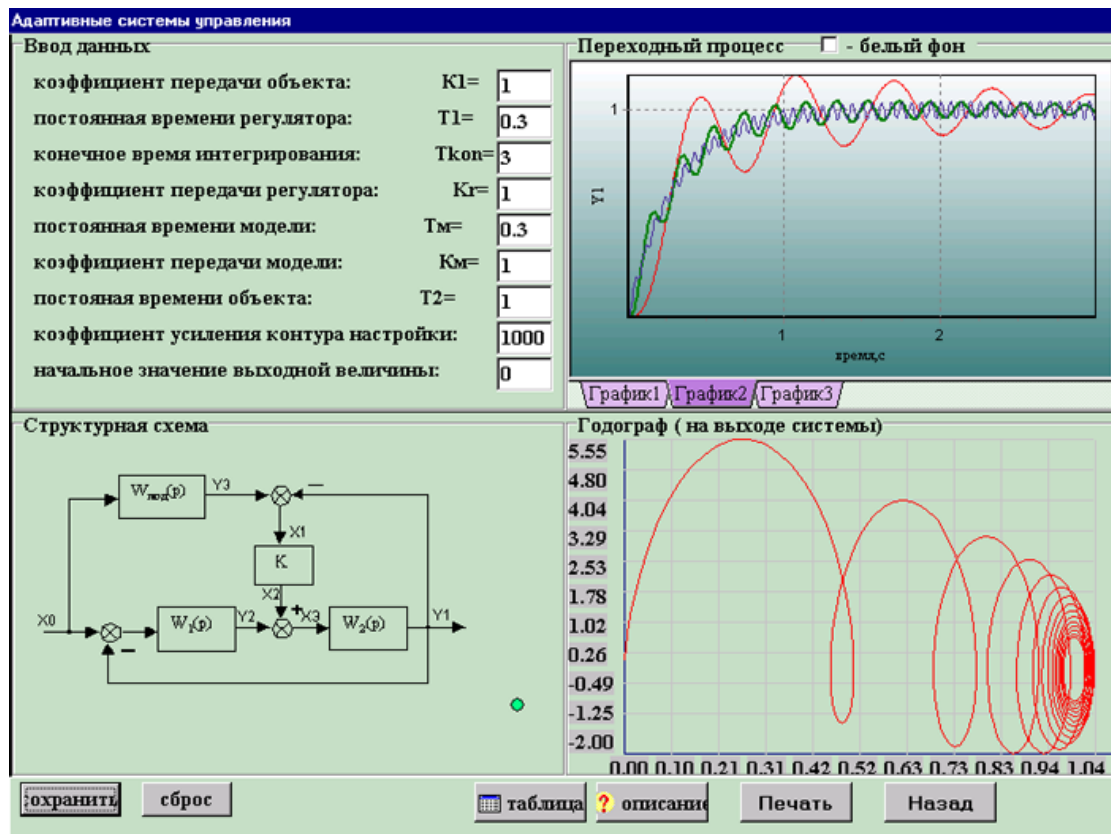
Программное обеспечение для выполнения цикла лабораторных работ создано в виде самостоятельной системы автоматического проектирования в среде программирования Delphi 5.0. Применение RAD (Rapid Application Development)-системы позволило в едином приложении создать и теоретическое описание работ, и графическую обработку результатов моделирования, и обеспечить варьирование параметров системы в широких пределах.

В первом окне, открываемом сразу после запуска приложения, можно выбрать в любой последовательности лабораторную работу

или выйти из приложения.

Второе окно является собственно рабочим окном для выполнения лабораторной работы.





На экране расположены четыре функциональных поля: поле выбора исходных данных для моделирования, поля построения переходного процесса решения и фазового портрета системы и поле структурная схема моделируемой системы. Ниже, на панели управления расположены кнопки управления работой: пуск работы, вызов описания работы, печать графика, возврат в окно выбора лабораторных работ.

Отличительной особенностью оболочки является то, что на поле графика можно сохранять и наблюдать в одном масштабе три варианта решения задачи, а также имеется возможность наблюдать поведение любой координаты системы. Для этого нужно только щелкнуть мышью на соответствующем звене структурной схемы.

Все приложение выставлено на сервере вычислительного класса ФТФ и доступно для индивидуальной работы с любого рабочего места локальной сети.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

"Экстремальная система автоматического регулирования"

Цель работы заключается в анализе переходных процессов в системе экстремального регулирования при изменении параметров регулятора. Качество установления экстремума определяется с

помощью потерь на рысканье (потерь на поиск).

Системой экстремального регулирования называются системы, в которых задающие воздействия, т. е. заданные значения регулируемых величин, определяются автоматически в соответствии с экстремумом управляемой функции $F(x_1, x_2, \dots, x_n, t)$. Здесь не случайно регулируемая величина представлена в зависимости от многих координат системы, а не от одной. Дело в том, что алгоритм экстремального регулирования наиболее часто применяется для сложных объектов управления, управляемых по нескольким координатам. В этом случае F называют функцией цели управления. Например, F может быть экономическим показателем процесса - себестоимостью продукции.

Экстремум функции F является неизвестным и непостоянным, так как и его величина и положение на статической характеристике объекта все время изменяются, поэтому экстремальные системы являются **нестационарными**. Недостаток априорной информации восполняется за счет текущей информации, получаемой в виде анализа реакции объекта на искусственно вводимые пробные воздействия.

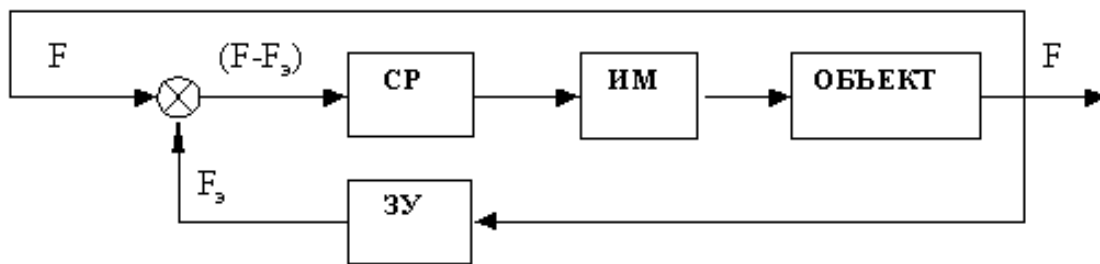
Наличие пробных движений - обязательная черта экстремальных систем.

В настоящее время разработано большое количество экстремальных систем. Движение к состоянию экстремума регулируемой функции F в этих системах осуществляется с помощью методов:

- слепого координатного поиска (в частности метода Гаусса-Зейделя),
- градиентного поиска,
- наискорейшего поиска.

Анализ и синтез экстремальных систем проводят в так называемом **квазистационарном режиме**. Этот режим можно искусственно создать, выбирая частоты пробных воздействий много больше частот изменения рабочих управляемых координат, а постоянные времени сглаживающих фильтров выбирая заведомо большими. В этом случае управляемая функция F изменяется во времени медленнее, чем от изменения рабочих управляемых координат.

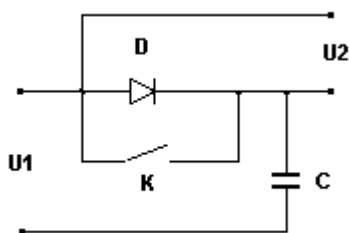
В лабораторной работе рассматривается одномерная система экстремального регулирования, работающая **по способу запоминания экстремума**.



Система действует следующим образом. На вход объекта подается пробное воздействие и оценивается значение управляемой функции F . Определяются те воздействия, которые приближают F к экстремуму. Затем прикладываются рабочие воздействия к объекту и т. д. После прохождения точки экстремума F происходит реверс на входе объекта и начинаются колебания системы вокруг этой точки. В непрерывных экстремальных системах поисковые и рабочие воздействия производятся одновременно.

Выходная величина объекта F подается на запоминающее устройство ЗУ экстремального регулятора. Пусть имеем экстремум-максимум и запоминание происходит только при увеличении F . На уменьшение F запоминающее устройство не реагирует. Сигнал с ЗУ непрерывно подается на элемент сравнения и затем сигнал разности $(F - F_з)$ поступает на сигнум-реле СР и далее на исполнительный механизм ИМ. При срабатывании реле запомненное значение F сбрасывается, и запоминание F начинается снова.

Например, если F является электрической величиной, то схема запоминающего устройства может быть такой:

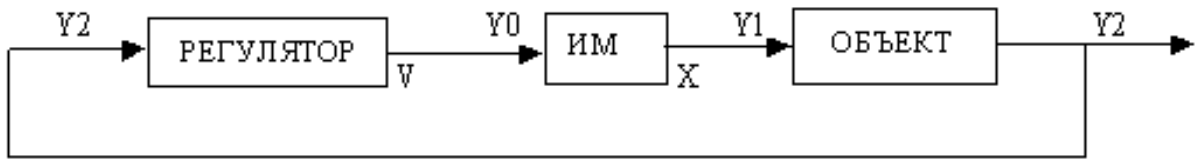


Напряжение $U1$, пропорциональное выходу объекта, подается на запоминающий конденсатор C через диод D . Диод шунтирован контактом сигнум-реле, который замыкается при срабатывании. При увеличении $U1$ диод пропускает входное напряжение, заряжая конденсатор до напряжения $U1$.

Когда экстремум-максимум достигнут и напряжение $U1$ начинает уменьшаться, то диод запирается, появляется напряжение $U2$ на выходе схемы, которое пропорционально разности $dF = (F - F_з)$. Когда dF превысит зону нечувствительности сигнум-реле, происходит его срабатывание и реверс исполнительного механизма

. При этом контакты К реле замыкаются и происходит сброс запомненного значения F. Конденсатор снова заряжается до текущего значения F, и цикл работы повторяется.

Обобщенная структурная схема исследуемой системы представлена на рисунке:



Статическая характеристика объекта имеет экстремум-максимум и описывается следующей зависимостью:

$$Y_2 = - (K * Y_1) * Y_1 ;$$

где K- коэффициент передачи объекта.

В динамике уравнение объекта можно представить звеном первого порядка:

$$T_1 \frac{dY_2}{dt} = -(K * Y_1) * Y_1 ;$$

где T1- постоянная времени объекта, или:

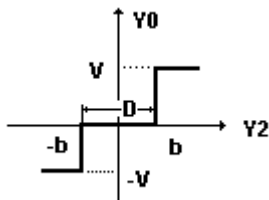
$$\frac{dY_2}{dt} = \frac{-(K * Y_1^2 + Y_2)}{T_1} ;$$

Уравнение исполнительного механизма с постоянной скоростью будет:

$$\frac{dY_1}{dt} = Y_0 ;$$

Уравнение релейного регулятора возьмем в виде:

$$Y_0 = K_r * \begin{cases} V & \text{при } V_2 > b \\ -V & \text{при } V_2 < -b \\ 0 & \text{при } -b < V_2 < b \end{cases}$$



Содержание работы.

1. Определить потери на поиск в переходном процессе экстремальной системы с параметрами:

$$K=1; T_1=1c; V=1; \text{ зона нечувствительности } D = 0.5$$

при изменении коэффициента усиления регулятора K_r .
Найти среднее значение потерь на поиск.

2. Выполнить пункт 1 для этой же системы при изменении зоны нечувствительности регулятора D .

3. Выводы отразить в отчете по работе.

Вопросы для самоподготовки:

1. Что называют потерями на поиск? Как они рассчитываются?

Покажите на графике время переходного процесса в экстремальной системе.

2. Что называют квацистационарным режимом работы экстремальной системы? Этот режим создается реально в системе при проектировании или это математический формализм, удобный для анализа системы.

3. Представьте математическую модель системы в форме Коши.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

"Методы организации движения к точки экстремума в самонастраивающихся системах"

Цель работы состоит в количественной оценке быстродействия и точности установления экстремума в конкретной экстремальной системе при использовании различных способов движения к состоянию экстремума.
Наиболее точным принять метод Гаусса – Зайделя .

В поисковых самонастраивающихся системах, к которым относятся и системы экстремального управления, оптимизация критерия качества осуществляется с помощью специальных поисковых сигналов. Они позволяют определить направление изменение контролируемых параметров системы, соответствующее приближению к положению экстремума показателя качества. Поэтому обязательной составной частью этих систем является устройство организации движения к положению экстремума. Сложность его определяется принятым алгоритмом поиска экстремума.

Методы поиска экстремума функций многих переменных часто используются в теории управления, им посвящена обширная

литература. Здесь будут кратко изложены основные сведения по наиболее часто используемым алгоритмам:

- методу Гауса-Зайделя,
- методу градиента,
- методу наискорейшего пуска.

Фактически все три процедуры относятся к градиентным методам и включают в себя два этапа:

- определение составляющих градиента,
- организация движения к состоянию экстремума.

Мы рассмотрим здесь именно второй этап – движение к экстремуму, считая, что составляющие градиента уже определены каким-либо способом.

1. Метод Гауса-Зайделя.

Процедура поиска экстремума здесь наиболее простая: начиная с начального значения управляемой функции $F_0(X_1, X_2, \dots, X_n)$, изменяют одну координату X_1 , оставляя другие неизменными, до тех пор, пока градиент функции F по координате X_1 не обратится в ноль:

$$\frac{\partial F}{\partial x_1} = 0.$$

Затем эту же процедуру повторяют, изменяя координату X_2 и т.д.

$$\frac{\partial F}{\partial x_2} = 0.$$

Дойдя до конца цикла, снова начинают изменять координату X_1 и измерять $\frac{\partial F}{\partial x_1}$, которая к этому времени стала отличной от нуля.

Несколько циклов такой процедуры приведут к положению, когда градиент функции $\text{grad } F$ с наперед заданной погрешностью будет близок к нулю.

Недостаток метода по сравнению с другими - малое быстродействие в достижении экстремума, преимущество - высокая точность определения положения экстремума.

2. Метод градиента.

В начальном положении F_0 определяют градиент функции F :

$$d\text{grad}F = k_1 \frac{\partial F}{\partial x_1} + k_2 \frac{\partial F}{\partial x_2} + \dots + \frac{\partial F}{\partial x_n}.$$

Затем устанавливают скорость изменения каждой координаты системы по правилу:

$$\frac{\partial x_i}{\partial t} = \pm a * \frac{\partial F}{\partial x_i}, \quad \mathbf{a} - \text{const.}$$

то есть пропорционально своей составляющей градиента.

Здесь значение “+a” соответствует экстремуму-максимуму, а “-a” соответствует экстремуму-минимуму.

Недостатком метода является тот факт, что его сходимость, т.е. точность установления экстремума существует только для глобального экстремума. Это значит, что, если функция **F** имеет много локальных экстремумов наряду с глобальным, то для выхода в область глобального экстремума необходимо применить другие методы либо многократно использовать метод градиента при разных начальных условиях.

3. Метод наискорейшего спуска.

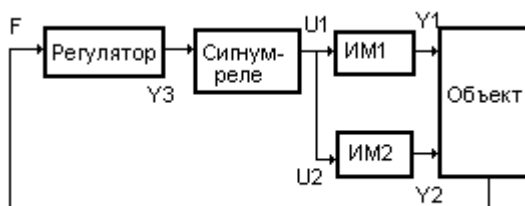
В начальном положении **F0** определяется градиент функции **F**, так же как при методе градиента. А затем все координаты системы изменяются пропорционально своим составляющим градиента в начальной точке. Это движение продолжается, пока градиент регулируемой функции **F** по направлению движения системы **m**, то-есть по направлению вектора градиента в начальной точке, не обратится в ноль:

$$\frac{\partial F}{\partial m} = 0.$$

В этом положении снова определяется направление вектора градиента и происходит движение системы в новом направлении.

Таким образом, в отличие от предыдущего метода, здесь направление градиента определяется только в начале каждого цикла движения. Погрешность достижения экстремума в этом методе наибольшая из трех, но этот недостаток сглаживается большим быстродействием.

Исследуемая система экстремального регулирования обслуживает объект управления с нелинейной квадратичной статической характеристикой. Регулируемая функция зависит от



двух регулирующих воздействий **Y1** и **Y2**:

Уравнения системы запишем в виде:

объект:

$$F = K_1 * (Y_1^2 + Y_2^2); \quad \mathbf{K1} \text{ - коэффициент передачи объекта,}$$

регулятор:

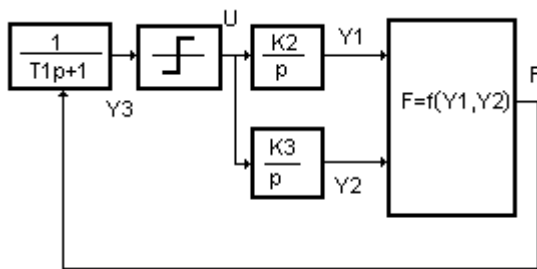
$$T_1 * \frac{dY_3}{dt} + Y_3 = F; \quad \mathbf{T1} \text{ - постоянная времени регулятора,}$$

исполнительный механизм:

$$\begin{cases} \frac{dY_1}{dt} = K_2 * U \\ \frac{dY_2}{dt} = K_3 * (-U); \end{cases}$$

K2 и **K3** - коэффициенты передачи.

Таким образом структурная схема системы имеет вид:



Содержание работы.

1. Определить параметры переходного процесса в экстремальной системе при использовании всех трех способов движения к положению экстремума. Параметры системы для определенности рекомендуется выбрать такими:

$K_1 = 1$; $T_1 = 1.0\text{с}$; $K_2 = 1$; $K_3 = 1$. Зона нечувствительности $= 0.5$.

2. Определить время достижения экстремума и точность достижения экстремума во всех трех случаях, считая наиболее точным значением экстремума значение, определенное методом Гаусса-Зайделя.

Вопросы для самоподготовки:

1. Почему метод Гаусса - Зайделя называют слепым методом поиска?
2. Какой из методов поиска обеспечивает устойчивость нахождения экстремума?
3. Как, по вашему, должно работать устройство поиска, обеспечивающее метод Гаусса-Зайделя?
4. А теперь постройте алгоритм работы устройства, обеспечивающего метод наискорейшего спуска. Что надо добавить, по сравнению с методом Гаусса- Зайделя?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

"Самонастраивающаяся система регулирования с эталонной моделью"

Цель работы: исследование качества адаптации самонастраивающейся системы (СНС) с эталонной моделью.

Необходимость применения адаптивных принципов управления возникает в тех случаях, когда диапазон изменения свойств объекта и внешних возмущений так велик, что показатели качества выходят за пределы заданных ограничений. А между тем любая неадаптивная система, работающая по принципу обратной связи, в силу этого принципа способна нейтрализовать изменения параметров объекта и среды в довольно больших пределах. И эти способности можно расширить, не прибегая к принципу адаптации.

Расширение функциональных возможностей неадаптивных систем управления с обратной связью, приближающее их по свойствам к адаптивным системам, возможно:

- с помощью увеличения коэффициентов усиления систем до бесконечности без нарушения устойчивости,
- с помощью введения автоколебательных скользящих режимов в релейных системах,
- с помощью систем с переменной структурой регулятора.

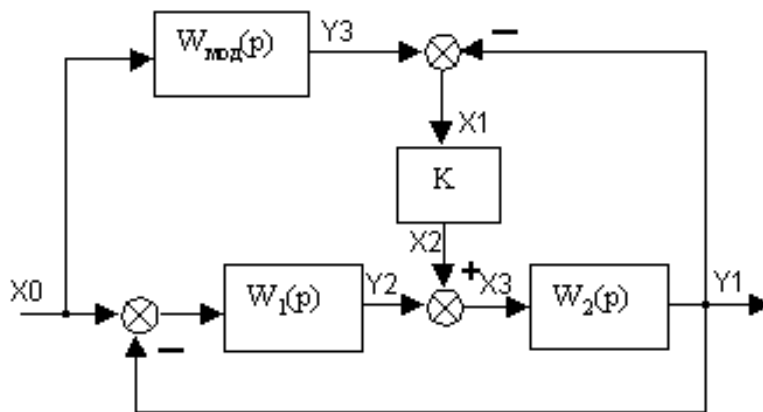
Такие системы управления называют иногда системами с пассивной адаптацией.

Самонастраивающиеся системы с эталонной моделью также являются системами с подобного рода адаптацией, использующей скользящий режим работы релейного регулятора. Техническую реализацию скользящего режима мы пока не затрагиваем, этот вопрос будет рассмотрен в Работе №8. Пока будем считать, что в

нашем распоряжении есть усилитель регулятора с очень большим коэффициентом усиления.

Самонастраивающиеся системы с эталонной моделью фактически представляют собой безпоисковые СНС с замкнутым контуром самонастройки, но, в отличие от СНС с настраиваемой моделью, здесь сигнал самонастройки не изменяет параметры настройки регулятора, как требует принцип адаптации, а формируется определенным образом и подается на вход объекта.

Структурная схема такой системы может быть представлена в следующем виде:



Модель $W_{\text{мод}}(p)$ является физическим устройством, реализованным в аналоговом или цифровом виде, и на вход ее подаются те же воздействия, что и на объект управления. Выходы объекта и модели вычитаются и разность их (ошибка контура настройки) подается на вход объекта через усилитель с большим коэффициентом усиления K .

Хотя сигнал разбаланса контура самонастройки в этой системе не воздействует непосредственно на параметры настройки регулятора $W_1(p)$, а подается на вход объекта, можно показать, что оба эти варианта являются равносильными.

В теории СНС различают два вида моделей - настраиваемые и эталонные. При настраиваемых моделях их параметры меняются в процессе идентификации до тех пор, пока сигналы с выходов объекта и модели не сравниваются. Если же задается эталонная модель процесса, то разность сигналов с выходов объекта и модели служит для изменения параметров регулятора, при которых качество процесса наконец станет соответствовать желаемому, заданному эталонной моделью.

Найдем передаточную функцию замкнутой системы. Уравнения звеньев, согласно схемы системы, имеют вид:

$$\begin{aligned}
Y_2 &= W_1(p) * (X_0 - Y_1); \\
Y_3 &= W_{\text{мод}}(p) * X_0; \\
X_1 &= Y_3 - Y_1; \\
X_2 &= K * X_1; \\
X_3 &= Y_2 + X_2; \\
Y_1 &= W_2(p) * X_3;
\end{aligned}$$

Исключая промежуточные переменные, находим передаточную функцию системы:

$$\Phi(p) = \frac{Y_1}{X_0}(p) = \frac{W_1(p) \cdot W_2(p) + K \cdot W_2(p) \cdot W_{\text{мод}}(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p) + K \cdot W_2(p)} \quad (1)$$

Если считать, что $K=K_3$ достаточно велико, а лучше всего K_3 стремится к бесконечности, тогда:

$$Y_1 \approx W_{\text{мод}}(p) * X_0 \quad (2)$$

то есть качество переходного процесса не зависит от медленноменяющихся параметров объекта, а определяется заданной эталонной моделью $W_{\text{мод}}(p)$.

Качество настройки в такой системе будет зависеть от того, насколько большим можно взять коэффициент усиления K_3 , чтобы не вызвать неустойчивости системы. Поэтому желательно выбрать $W_{\text{мод}}(p)$ так, чтобы условия устойчивости при бесконечно большом коэффициенте K_3 выполнялись.

В настоящей лабораторной работе исследуется система с эталонной моделью следующего вида:

передаточная функция объекта задана:

$$W_2(p) = \frac{K_2}{p \cdot (T_2 \cdot p + 1)}$$

передаточная функция регулятора:

$$W_1(p) = \frac{K_1}{(T_1 \cdot p + 1)}$$

передаточная функция эталонной модели выбрана в виде:

$$W_{\text{мод}}(p) = \frac{K_4}{(T_4 \cdot p + 1)}$$

функции адаптера в контуре самонастройки выполняет усилитель с коэффициентом усиления K_3 .

Содержание работы

1. Определить переходный процесс в системе без включения эталонной модели. Параметры объекта и регулятора рекомендуются следующие:

$$K_{ob} = 1; T_{ob} = 0.3; K_r = 1; T_r = 1;$$

Выявить зависимость качества регулирования от изменения параметров объекта регулирования ($K_{об}$ или $T_{об}$), вызванных внешними возмущениями.

2. Настроить контур самонастройки на приемлемое качество самонастройки, увеличивая коэффициент усиления контура КЗ.

3. Определить переходный процесс в этой же системе при включении контура самонастройки и эталонной модели с параметрами:

$$K_m = 1; T_m = 0.3;$$

при тех же изменениях параметров объекта, вызванных внешними возмущениями. Добиться наилучшей адаптации системы к внешним возмущениям.

Вопросы для самоподготовки:

1. Каковы основные недостатки адаптивных систем данного типа? Насколько легко практически реализовать данный алгоритм?
2. Как по-вашему можно реализовать усилитель с очень большим коэффициентом усиления?
3. Существуют ли какие-то ограничения на параметры эталонной модели, или их можно задавать сколь угодно малыми?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

"Исследование систем с переменной структурой"

Системы с переменной структурой (СПС) являются отдельным классом адаптивных систем, называемым иногда **САМООРГАНИЗУЮЩИМИСЯ** системами. Управляющее устройство СПС имеет несколько структур, реализующих различные законы регулирования. В процессе работы под действием определенных команд происходит подключение к объекту этих структур в определенной последовательности. В результате система в целом приобретает свойства, которых она не могла бы иметь при работе с фиксированной структурой управляющего устройства. Этим можно воспользоваться для существенного улучшения качества регулирования или для сохранения неизменным показателя качества в адаптивных

системах.

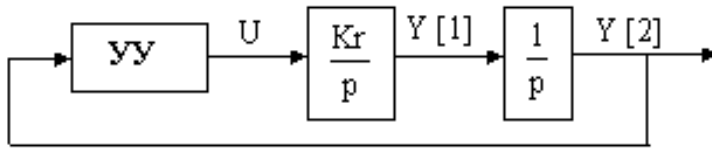
Анализ работы СПС проводят методом фазовой плоскости в координатах ошибки регулирования X_1 и ее производной X_2 . В этом фазовом пространстве выделяют гиперповерхность, проходящую через начало координат и пересекающую фазовую плоскость по определенным линиям (линиям переключения). Эта гиперповерхность называется **ГИПЕРПОВЕРХНОСТЬЮ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ**. Всякий раз, когда изображающая точка попадает на гиперповерхность, происходит переключение структур в управляющем устройстве. Логика переключения всегда можно подобрать так, чтобы в результате нескольких переключений устанавливался устойчивый режим работы.

В практике синтеза СПС наиболее интересно направление по созданию **ИСКУССТВЕННЫХ ГИПЕРПОВЕРХНОСТЕЙ**, когда структуры и их параметры подбираются таким образом, чтобы фазовые траектории изображающей точки в окрестности гиперповерхности располагались так, чтобы изображающая точка, раз попав на гиперповерхность, уже не могла ее покинуть и, двигаясь по ней в соответствии с ее дифференциальным уравнением, приходила бы в стационарное состояние. Такой режим называют идеально **СКОЛЬЗЯЩИМ**, вы познакомились с ним в третьей лабораторной работе. В скользящем режиме переключение структур происходит с большой частотой, а движение изображающей точки уже не зависит от параметров переключаемых структур и определяется только уравнением гиперповерхности.

ЦЕЛЬЮ РАБОТЫ является: изучение качества регулирования СПС в зависимости от параметров переключаемых регуляторов и от уравнения гиперповерхности переключения.

Мы рассматриваем работу объекта второго порядка, управляемого идеальным регулятором пропорционального или интегрального типа. В зависимости от свойств управляемого объекта фазовые портреты систем будут различные.

СИСТЕМА 1 состоит из астатического объекта и астатического регулятора, следовательно в такой фиксированной структуре является структурно-неустойчивой:



Уравнения движения системы относительно ошибки регулирования пусть имеют вид:

$$\begin{cases} \frac{dY_2}{dt} = Y_1; \\ \frac{dY_1}{dt} = -K_r * U; \\ U = K * Y_2; \end{cases}$$

или $\frac{d^2Y_2}{dt^2} = -K_r * K * Y_2;$

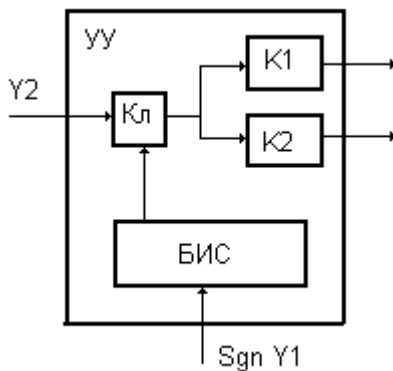
где K_r - коэффициент передачи регулятора;

K - коэффициент передачи управляющего устройства;

U - управляющее воздействие на входе регулятора.

Так как корни характеристического уравнения системы являются чисто мнимыми, то фазовый портрет представляет собой эллипс с центром в начале координат. Направление большей полуоси эллипса зависит от коэффициента усиления регулятора.

Предположим, что структура управляющего устройства имеет вид:



где K_1 и K_2 - коэффициенты усиления регулятора (пусть $K_1 > K_2 > 0$);

$K_л$ - управляемый ключ;

$БИС$ - блок изменения структуры.

$БИС$ управляет переключением структур с коэффициентами K_1 и K_2 в зависимости от информации о состоянии системы.

Допустим также, что информация о состоянии системы не является полной, мы можем измерять только сигнал ошибки $Y[2]$ и знак ее производной $Sgn Y[1]$.

Тогда логика переключений структур $УУ$ для обеспечения устойчивого режима работы должна быть такой:

$$U = \begin{cases} K_1 * Y_2; \text{при } Y_1 * Y_2 > 0; \\ K_2 * Y_2; \text{при } Y_1 * Y_2 < 0; \end{cases}$$

то есть когда система находится в 1 или 3 квадрантах фазовой плоскости, то работает регулятор K1, а когда она находится во 2 или 4 квадрантах, то включается регулятор K2.

Линиями переключения структур будут оси координат фазовой плоскости.

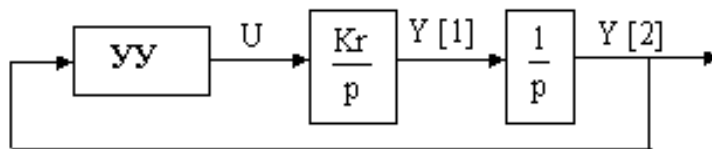
Уравнения движения системы будут иметь следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{d^2 Y[2]}{dt^2} = -K_r \cdot K_1 \cdot Y[2]; & \text{при } Y[2] \cdot Y[1] > 0; \\ \frac{d^2 Y[2]}{dt^2} = -K_r \cdot K_2 \cdot Y[2]; & \text{при } Y[2] \cdot Y[1] < 0 \end{cases}$$

Переходный процесс в такой системе представляет собой затухающие колебания. Это видно из фазового портрета системы.

Таким образом в этой системе за счет сочетания неустойчивых структур можно получить устойчивую структуру. Важно то, что для этого мы используем ограниченную информацию о процессе. Однако качество регулирования нас не устраивает, колебательность процесса слишком велика.

СИСТЕМА 2 имеет такую же структуру:



Уравнения движения системы относительно ошибки регулирования без учета управляющего устройства УУ имеют тот же вид:

$$\begin{cases} \frac{d^2 Y[2]}{dt^2} = -K_r \cdot K_1 \cdot Y[2]; & \text{при } Y[2] \cdot Y[1] > 0; \\ \frac{d^2 Y[2]}{dt^2} = -K_r \cdot K_2 \cdot Y[2]; & \text{при } Y[2] \cdot Y[1] < 0 \end{cases}$$

Фазовый портрет системы, так как корни ее являются чисто мнимыми, представляет собой эллипс с центром в начале координат. Направление большей полуоси эллипса зависит от коэффициента усиления регулятора.

Предположим, что структура управляющего устройства имеет тот же вид, но, в отличие от системы 1, мы можем измерять сигнал ошибки Y2 и знак некоторой S- комбинации сигналов Y1 и Y2:

$$S = \text{Sgn}Y_1 - C * Y_2;$$

где C –const.

Данное выражение является уравнением прямой, проведенной на фазовой плоскости через начало координат. Назовем эту линию **ГИПЕРЛИНИЕЙ ВЫРОЖДЕННОГО ДВИЖЕНИЯ**. Величина C определяет угол наклона линии. Эту линию и будем в данном случае считать линией переключения структур. Второй линией переключения является ось координат фазовой плоскости $Y[2]=0$.

Тогда логика переключений структур УУ для обеспечения устойчивого режима работы может быть иной:

$$u = \begin{cases} K_1 * Y[2]; & \text{при } Y[2]*S > 0; \\ K_2 * Y[2]; & \text{при } Y[2]*S < 0; \end{cases}$$

Таким образом, мы вводим искусственную линию переключения структур, проходящую через начало координат под определенным углом относительно осей, и организуем устойчивый режим. Важно заметить, что искусственные линии переключения не присутствуют в фазовом портрете ни одной из переключаемых структур. Подбирая угол наклона линии S и соотношение коэффициентов K_1 и K_2 , можно обеспечить определенное качество переходного процесса в системе, но видно, что он также будет колебательным.

СИСТЕМА 3 имеет ту же структуру, но для избежания колебаний в переходном процессе реализуем скользящий режим. Для этого переключения в системе должны производиться в таких местах, где фазовые траектории направлены навстречу друг другу. В настоящей системе это можно сделать, просто изменив знак сигнала на выходе второго регулятора.

Выбираем режим переключения следующим:

$$U = \begin{cases} K_1 * Y_2 & \text{при } Y_2 * S > 0; \\ -K_2 * Y_2 & \text{при } Y_2 * S < 0; \end{cases}$$

В результате изображающая точка, попадая на линию переключения, не может ее покинуть и вынуждена двигаться в начало координат, что и представляет скользящий режим в данной системе.

Практически этот режим будет сопровождаться вибрациями из-за быстрых переключений. В идеальном случае вибрации будут иметь амплитуду, равную нулю и бесконечную частоту.

Содержание работы

1. Определить параметры переходного процесса в системе с

переменной структурой №1. Параметры системы выбрать следующими:

$$K_1=3; K_2=1; K_r=1;$$

Изменяя параметры управляющего устройства K_1 и K_2 , получить наилучший в смысле быстродействия переходный процесс.

2. Определить влияние параметров управляющего устройства (K_1/K_2) и коэффициента наклона линии переключения (C) на качество регулирования в системах № 2 и № 3.

3. Добиться наилучшего в смысле быстродействия переходного процесса во всех трех системах. Какой способ переключения структур является более предпочтительным?

Вопросы для самоподготовки:

1. Почему для реализации систем СПС стремятся использовать неустойчивые структуры?
2. Постройте фазовые портреты для предложенных структур трех систем СПС.
3. Запишите уравнение и постройте искусственную линию вырожденного движения, проходящую через начало координат для 1 квадранта фазовой плоскости.
4. Для исследуемых систем имеет значение, с какого регулятора начать движение – с K_1 или с K_2 ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

"Система, допускающая неограниченное увеличение коэффициента усиления"

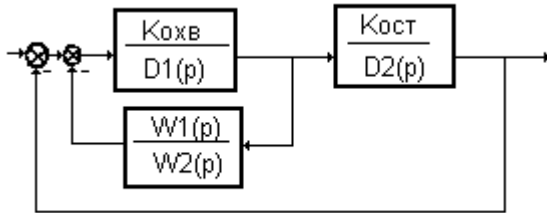
Системы, допускающие неограниченное увеличение коэффициента усиления без нарушения устойчивости, также относятся к системам пассивной адаптации.

Из классической автоматики известно, что увеличение коэффициента усиления разомкнутого контура системы регулирования неминуемо приводит к нарушению устойчивости. На самом деле это справедливо только для одноконтурных систем.

Для многоконтурной системы управления **Мееровым М.В.** найдено условие увеличения коэффициента усиления регулятора без нарушения устойчивости системы.

Целью настоящей работы является изучение устойчивости и качества системы регулирования, допускающей увеличение коэффициента усиления регулятора без нарушения устойчивости.

Определим структуру системы как многоконтурную:



Найдем условия, которыми определяется построение системы с указанными выше свойствами.

Передаточная функция разомкнутой системы будет:

$$W_{раз}(p) = \frac{\frac{K_{охв}}{D_1(p)} * \frac{K_{ост}}{D_2(p)}}{1 + \frac{K_{охв} * W_1(p)}{D_1(p) * W_2(p)}}; \quad (1)$$

$$1 + \frac{\frac{K_{охв}}{D_1(p)} * \frac{K_{ост}}{D_2(p)}}{1 + \frac{K_{охв} * W_1(p)}{D_1(p) * W_2(p)}}$$

После преобразований получаем характеристическое уравнение:

$$D_1(p) * D_2(p) * W_2(p) + K_{охв} * W_1(p) * D_2(p) + K_{ост} * W_2(p) = 0;$$

Если поделить его на **Кохв** и обозначить **m = 1/Кохв**, то оно принимает вид:

$$mD_1(p) * D_2(p) * W_2(p) + W_1(p) * D_2(p) + K_{ост} * W_2(p) = 0; \quad (2)$$

Раскрывая полиномы, получим характеристическое уравнение в виде:

$$m * (B_0 * p^{N_2} + B_1 * p^{N_2 - 1} + \dots + B_{N_2}) + (A_0 * p^{N_1} + A_1 * p^{N_1 - 1} + \dots + A_{N_1}) = 0; \quad (3)$$

Если **m=0**, то оставшаяся часть уравнения называется

вырожденным
уравнением:

$$A_0 * p^{N_1} + A_1 * p^{N_1 - 1} + \dots + A_{N_1} = 0; \quad (4)$$

Мееров М.В. показал, что при m , стремящемся к нулю, условиями устойчивости системы будут:

если $N_2 - N_1 = 1$:

1). отрицательность N_1 корней вырожденного уравнения (4),

$$2). \frac{A_0}{B_0} > 0;$$

если $N_2 - N_1 = 2$:

1). отрицательность N_1 корней вырожденного уравнения (4),

$$2). \left(\frac{B_1}{B_0} - \frac{A_1}{A_0} \right) > 0,$$

если $N_2 - N_1 > 2$:

то система всегда неустойчива при m , стремящемся к нулю.

Таким образом общим условием устойчивости системы автоматического регулирования при стремлении коэффициента усиления охваченной части системы к бесконечности является:

$$N_2 - N_1 \leq 0; \quad (5)$$

где N_1 - корни вырожденного уравнения,

N_2 - корни полного характеристического уравнения.

Допустим, что степени полиномов таковы:

для полинома D_1 - N ,

для полинома D_2 - R ,

для полинома W_1 - P_1 ,

для полинома W_2 - P_2 .

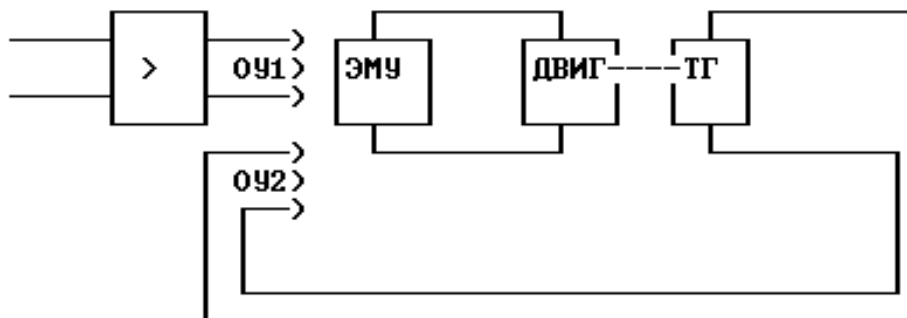
Тогда, если выразить N_1 и N_2 через степени полиномов звеньев системы, можно получить другую запись этого условия:

$$N \leq 2 + P_1 - P_2, \quad (6)$$

то-есть порядок полинома охваченной части системы должен не более, чем на два превышать разность полиномов числителя и

знаменателя местной обратной связи $\frac{W_1(p)}{W_2(p)}$.

Например, если оператор обратной связи имеет вид $\frac{\tau p}{\tau p + 1}$, то порядок полинома охваченной части должен быть не больше двух. В качестве примера рассматривается система регулирования скорости вращения двигателя постоянного тока. Местная обратная связь выполнена через тахогенератор по схеме:



ТГ - тахогенератор,
 ЭМУ - электромашинный усилитель,
 ОУ1 и ОУ2 - обмотки управления электромашинного усилителя.

Передаточные функции звеньев имеют вид:
 усилитель - K_y ,

электромашинный усилитель - $\frac{K_{my}}{(T_1 p + 1) * (T_2 p + 1)}$;

двигатель - $\frac{K_{dv}}{(T_3 p + 1) * (T_4 p + 1)}$;

тахогенератор - K_{tg} .

Передаточная функция замкнутой системы будет:

$$W(p) = \frac{K_y K_{my} K_{dv} K_{tg} (\tau p + 1)}{\prod_{i=1}^4 (T_i p + 1)(\tau p + 1) + K_y K_{my} \tau p (T_3 p + 1)(T_4 p + 1) + K_y K_{my} K_{dv} K_{tg} (\tau p + 1)};$$

а характеристическое уравнение:

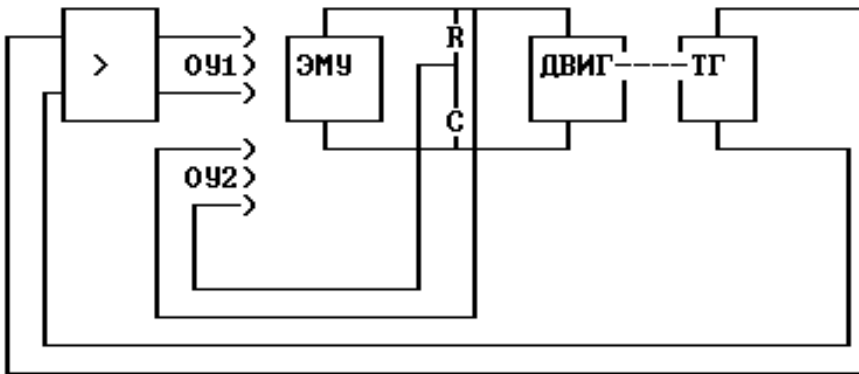
$$\prod_{i=1}^4 (T_i p + 1)(\tau p + 1) + K_y K_{my} \tau p (T_3 p + 1)(T_4 p + 1) + K_y K_{my} K_{dv} K_{tg} (\tau p + 1) = 0;$$

По условиям точности регулирования необходимо, чтобы коэффициент усиления системы был равен $K_{сис} = K_y * K_{my} * K_{dv} * K_{tg} = 800$.

Однако при таком большом коэффициенте усиления САР будет неустойчива. Таким образом условия устойчивости и точности регулирования вступают в противоречие друг к другу.

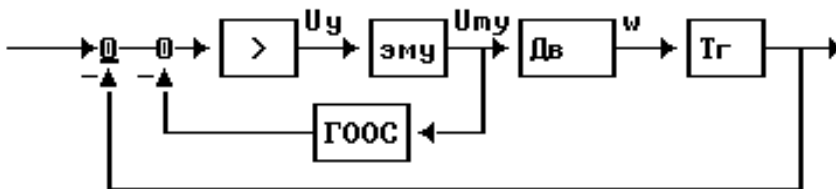
Для увеличения точности без потери устойчивости в систему и

введена местная обратная связь по схеме:

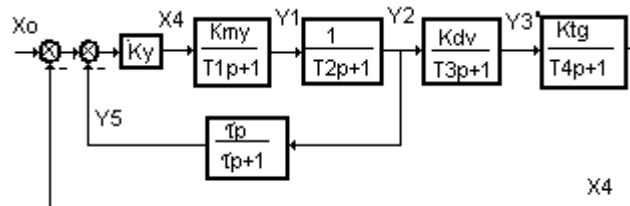


где R и C -сопротивление и емкость цепи обратной связи.

Структурная схема системы имеет вид:



или в операторах передаточных функций:



Будем увеличивать коэффициент усиления системы за счет **Ky**.

Делим

характеристическое уравнение системы на **Ky*Kmy** и обозначаем:

$$m = \frac{1}{K_y * K_{my}}$$

Тогда характеристическое уравнение системы будет иметь вид:

$$m(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)(\tau p + 1) + \tau p(T_3 p + 1)(T_4 p + 1) + K_{dv} K_{tg} (\tau p + 1) = 0;$$

Как видно из уравнения, $N_2 - N_1 = 2$, следовательно, для устойчивости системы необходимо, чтобы при m , стремящемся к нулю, вырожденное уравнение удовлетворяло условиям устойчивости и, кроме того, должно выполняться условие:

$$\left(\frac{B_1}{B_0} - \frac{A_1}{A_0}\right) > 0. \quad (7)$$

Вырожденное уравнение здесь будет таким:

$$\tau p^*(T_3 p + 1)^*(T_4 p + 1) + K_{dv} * K_{tg} * (\tau p + 1) = 0;$$

Отсюда легко найти значение τ , удовлетворяющее условию устойчивости при любых $K_{dv} * K_{tg}$. По критерию Рауса-Гурвица:

$$\tau > \frac{T_3 * T_4}{T_3 + T_4}.$$

Условие (7) также выполняется, так как из характеристического уравнения следует:

$$\frac{B_1}{B_0} - \frac{A_1}{A_0} = \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} + \frac{1}{\tau} > 0.$$

Содержание работы

1. Определить параметры переходного процесса в системе без контура местной обратной связи. Рекомендуемые значения параметров системы:

$K_u = 2$; $K_{my} = 2$; $K_{dv} = 1$; $T_1 = 0.1c$; $T_2 = 0.1c$; $T_3 = 0.5c$; $T_4 = 0.01c$.

Очевидны ограничения по устойчивости для величины коэффициента усиления K_u .

2. Определить параметры переходного процесса в системе при включении контура местной обратной связи. Определить влияние параметров системы τ и K_u на устойчивость и качество регулирования.

Вопросы для самоподготовки:

1. Если коэффициент усиления регулятора в этой системе устремить к бесконечности, то будет ли эта система абсолютна инвариантна?
2. Каким еще способом можно добиться инвариантности до ϵ в этой системе?
3. Как можно реализовать практически большой коэффициент усиления?

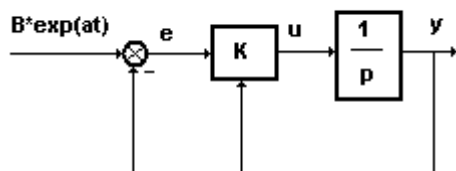
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

“РЕАЛИЗАЦИЯ СКОЛЬЗЯЩЕГО РЕЖИМА В АДАПТИВНЫХ СИСТЕМАХ С ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛЬЮ”

Цель работы заключается в ознакомлении со способом реализации скользящего режима с помощью знакопеременной обратной связи. Рассматривается самонастраивающаяся система из Работы №3. Требуется выбрать настройку параметров регулятора и эталонной модели такими, чтобы обеспечить наилучшую самонастройку системы на заданной качество.

Понятие скользящего режима в релейных системах довольно широко распространено. Так называется режим работы реле, на входе которого имеются колебания высокой частоты и малой амплитуды, меньшей, чем уровень выходного сигнала реле. Если заставить релейный регулятор работать в этом режиме, то это равносильно созданию бесконечно большого коэффициента усиления, что открывает путь к созданию простых адаптивных систем, инвариантных и автономных систем. Но практическая реализация этого режима затруднена и может быть выполнена с применением дифференцирующих устройств. Однако принцип работы систем с переменной структурой позволяет реализовать скользящий режим с помощью разрывной обратной связи с конечным коэффициентом усиления и без использования производных от задающего сигнала.

Рассмотрим следящую систему, структурная схема которой имеет вид:



Особенность системы в том, что знак коэффициента обратной связи определяется знаком ошибки слежения, то есть коэффициент K есть величина знакопеременная. Уравнение движения имеет вид:

$$\frac{dY}{dt} = K * Y * \text{Sgn}E;$$

и если $K > 0$, то при $E > 0$ выход объекта экспоненциально нарастает,

$$\text{так как } \frac{dY}{dt} = K * Y \quad \text{и} \quad Y = Y(0) * \exp(K * t).$$

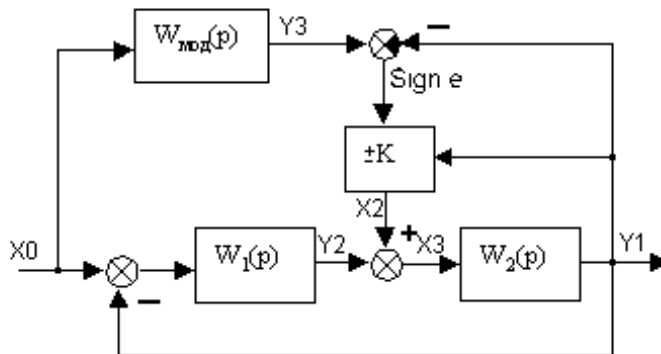
При $E < 0$ выход объекта экспоненциально убывает, так как

$$\frac{dY}{dt} = -K * Y \quad \text{и} \quad Y = Y(0) * \exp(-K * t).$$

Если теперь положить, что $K > a$ и $\text{Sgn}Y(0) = \text{Sgn}(B)$, то при $|Y(0)| < |B|$ экспонента $Y(0) * K \exp(K * t)$ догонит за конечное время экспоненту задающего сигнала $B * \exp(a * t)$. Возникает режим переключений, и выход объекта точно воспроизводит задание в скользящем режиме.

Таким образом астатизм бесконечного порядка достигается без использования производной от задания, за счет статического разрывного коэффициента усиления, включенного в контур обратной связи.

Структурная схема исследуемой адаптивной системы приобретает следующий вид:



Уравнение, описывающее объект, имеет вид:

$$T_2 \frac{d^2 Y_1}{dt^2} + \frac{dY_1}{dt} = X_3 * K_2;$$

Уравнение, описывающее регулятор:

$$T_1 \frac{dY_2}{dt} + Y_2 = X_0 * K_1;$$

Уравнение модели (фильтра):

$$T_{\phi} \frac{dY_3}{dt} + Y_3 = K_{\phi} * X_0.$$

Таким образом, на выходе системы, имеющей передаточную функцию

$$W(p) = \frac{K_1 K_2}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$$

должен при любых возмущениях поддерживаться монотонный переходный процесс, заданный на выходе эталонной модели с

передаточной функцией $W_{\phi}(p) = \frac{K_{\phi}}{T_{\phi} p + 1}$. С помощью модели

системы всегда можно подобрать такие параметры фильтра эталонной модели, которые обеспечат решение этой задачи.

Содержание работы:

1. Определить переходный процесс в системе без включения эталонной модели. Параметры объекта и регулятора рекомендуются следующие:

$$K_{ob} = 1; T_{ob} = 0.3; K_r = 1; T_r = 1;$$

Выявить зависимость качества регулирования от изменения параметров объекта регулирования ($K_{об}$ или $T_{об}$), вызванных внешними возмущениями.

2. Определить переходный процесс в этой же системе при включении контура самонастройки и эталонной модели с параметрами:

$$K_m = 1; T_m = 0.3; K_3 = 10;$$

при тех же изменениях параметров объекта, вызванных внешними возмущениями. Добиться наилучшей адаптации системы к внешним возмущениям, меняя K_3 .

3. Подобрать параметры эталонной модели для наилучшего соответствия передаточной функции канала регулирования.

Вопросы для самоподготовки:

1. Что такое скользящий режим? Как его реализовать на практике?
2. В чем заключается ограниченность такого принципа самонастройки?
3. Колебательность в переходном процессе здесь выше, чем в Работе №3. Почему, и как ее можно уменьшить?

Лабораторная работа №7

"Многосвязная система регулирования нейтронного поля реактора РБМК (режим АРВ)"

Система автоматического регулирования мощности реактора РБМК является наиболее сложной из всех систем управления отечественных реакторов. Это связано с тем, что наряду с поддержанием заданного значения средней (интегральной) мощности реактора в целом необходимо регулировать распределение мощности по пространству активной зоны, которое осуществляется с помощью внутриреакторного контроля за мощностью в отдельных частях активной зоны.

Автоматическое регулирование мощности реактора РБМК осуществляется:

1. в режиме АРБС – по показаниям датчиков внешнего контроля (ионизационных камер) на мощности от 0,3 до 20% $P_{ном}$;
2. в режиме АРБ – по показаниям также ионизационных камер на мощности 20-100% $P_{ном}$;
3. в режиме АРВ – по показаниям датчиков внутриреакторного контроля на мощности 20-100% $P_{ном}$.

Режимы АРБ и АРВ являются взаимозаменяемыми и оба предназначены и для регулирования средней мощности и для регулирования распределения мощности по активной зоне.

В режиме АРВ используются 9 локальных систем регулирования (ЛАР), каждая из которых управляет мощностью в своей зоне управления. Управляющий сигнал вырабатывается усреднением показаний 4 датчиков внутриреакторного контроля (ВРК), расположенных в окрестности управляющего стержня данной зоны управления. В целом вся система представляет собой многосвязную систему регулирования (МСАР), работающую в режиме так называемого зонного управления.

Прогресс, достигнутый в области разработки безинерционных датчиков ВРК, таких как миниатюрные токовые камеры деления, позволил обеспечить требуемые параметры качества регулирования ЛАР в режиме АРВ. В данной работе исследуется качество регулирования и устойчивость работы системы в режиме АРВ.

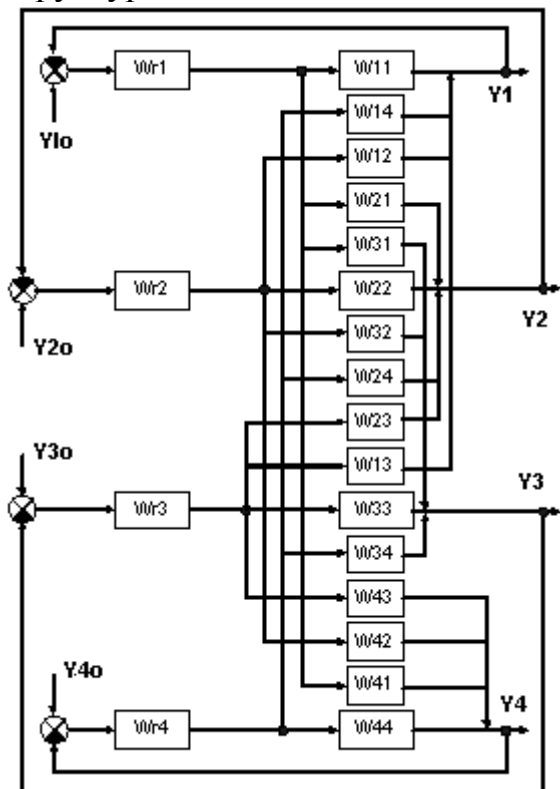
Для упрощения задачи моделирования в модель системы внесены следующие изменения:

1. взято 4 канала ЛАР, а не 9, как в штатной системе;
2. вместо релейного регулятора в каналах ЛАР приняты простые пропорциональные регуляторы;
3. температурный коэффициент реактивности реактора не

учитывается.

Внесенные изменения позволили уменьшить порядок уравнения движения МСАР до 19 – го и провести процесс моделирования без существенного накопления ошибки и нарушения сходимости.

Структурная схема системы имеет вид:



Здесь передаточные функции зон управления реактора обозначены как $W_{ii}(p)$, а передаточные функции взаимосвязи зон управления друг с другом обозначены как $W_{ij}(p)$. Передаточные функции регуляторов $W_r(p)$ идентичны, все каналы регулирования используют одинаковые приводы и датчики ВРК. Система зонного регулирования позволяет поддерживать заданное распределение потока при случайных изменениях профиля поля, наряду с поддержанием средней мощности по реактору. В случае больших незапланированных возмущений реактивности, требующих снижения общей мощности реактора, система позволяет избежать глобального снижения мощности, уменьшая мощность локально лишь в зоне имеющегося возмущения.

Передаточную матричную функцию реактора \bar{H} представим в виде:

$$\bar{H} = \begin{bmatrix} H_{11}(p) & H_{12}(p) \dots & H_{1n}(p) \\ H_{21}(p) & H_{22}(p) \dots & H_{2n}(p) \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

Здесь передаточные функции зон управления расположены по диагонали, а недиагональные элементы являются

передаточными функциями взаимосвязи зон.

Согласно адиабатической модели многосвязного реактора, передаточные функции зон управления являются астатическими и могут быть описаны приближенно для одной усредненной группы запаздывающих нейтронов как:

$$H_{ii}(p) = \frac{p + \lambda}{p(l_{eff}p + \beta)}$$

Передаточные функции недиагональных элементов имеют в этом случае вид:

$$H_{ij}(p) = \frac{L_{ij}p + \lambda}{p(l_{eff}p + \beta)}$$

Здесь параметры L_{ij} , влияющие на величину фазового упреждения, являются коэффициентами взаимосвязи зон управления.

Недостатками систем зонного регулирования являются: одинаковое быстродействие в локальных каналах регулирования; если использовать инерционные датчики ВРК, то быстродействие явно недостаточно для регулирования средней мощности реактора, поэтому такие системы могут быть созданы и работать только тогда, когда есть малоинерционные датчики нейтронного потока. Можно показать также, что при малом количестве регуляторов точность выравнивания распределения потока будет очень мала.

Однако, положительные качества таких систем весьма значительны:

- однотипность и простота обслуживания всех локальных контуров регулирования;
- большая надежность поддержания средней мощности реактора, так как регулятор средней мощности фактически получается как бы N - кратно зарезервированным.

Содержание работы

1. Установить одинаковые уставки в ЛАР. Меняя коэффициенты взаимосвязи зон (то есть, меняя взаимное удаление стержней управления друг от друга,) определить характер изменения переходных процессов в каналах регулирования.
2. Изменить уставку в одном из ЛАР, определить характер изменения переходных процессов в системе. Повторить этот процесс при других коэффициентах взаимосвязи. Определить влияние взаимосвязей на качество регулирования при изменении

задающих воздействий.

3. Отключить один из ЛАР, перевести его на ручное управление. Переместить управляющий стержень этого регулятора, создав возмущение по реактивности в этой зоне управления. Меняя в ряде опытов коэффициент взаимосвязи зон, определить характер переходных процессов при отработке системой искажений формы распределения нейтронного потока.

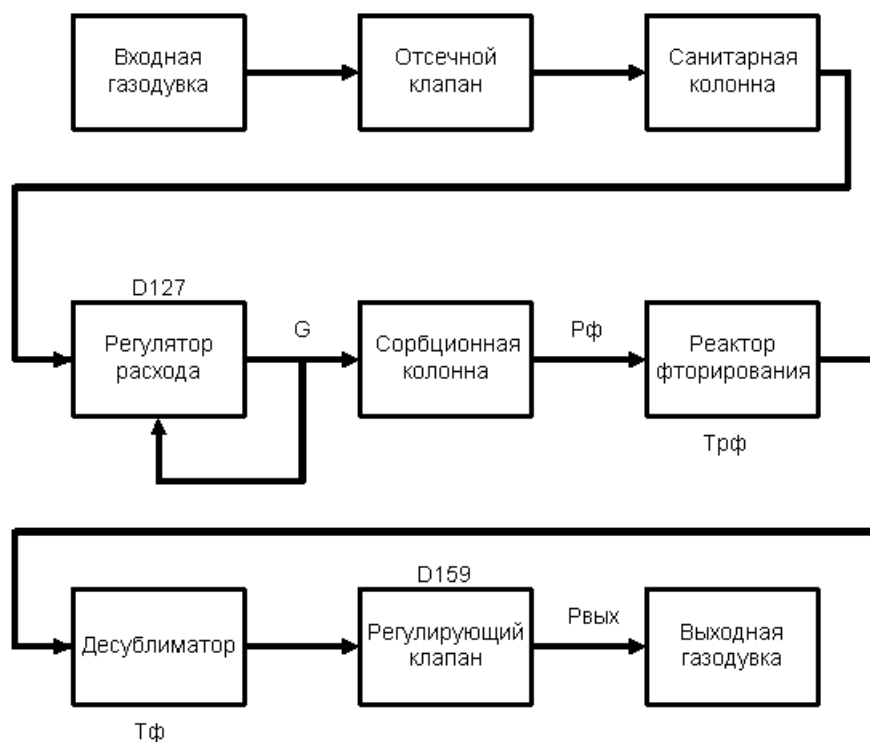
Вопросы для самоконтроля:

1. Является ли МСАР зонного регулирования реактора автономной, или каналы ЛАР работают в связанном режиме?
2. Будет ли данная МСАР устойчива при отработке локальных возмущений реактивности?
3. От каких факторов зависит качество регулирования в каналах ЛАР?
4. Почему точность регулирования формы распределения нейтронного потока здесь не может быть высокой?

Лабораторная работа №8

“Система стабилизации давлений в установке М-2079”

Некоторое время назад специалистами ТПУ и СХК была разработана система стабилизации давлений в установке М-2079, в рамках работы по созданию системы управления технологическими процессами переработки высокообогащенного урана (ВОУ) в низкообогащенный (НОУ). Упрощенная технологическая схема установки имеет такой вид:



Участок по переработке высокообогащенных оксидов урана (ВОУ), содержит три технологические линии, каждая из которых содержит в своем составе узел фторирования, узел конденсации, узел переконденсации, узел сорбции. Узел очистки анодного газа является общим для всех трех технологических линий УП ВОУ. Узел питания и очистки анодного газа принимает технический фтор через входную газодувку от электролизеров, очищает его от фтористого водорода в сорбционных колоннах и через санитарную колонну подает очищенный фтор на технологические линии фторирования оксидов урана. Расход фтора регулируется с помощью регулирующего клапана D-127.

Узел фторирования предназначен для фторирования оксидов урана в трубчатом реакторе с мешалкой при температуре $350-400^{\circ}C$. Реактор работает в двух режимах: фторирование – одновременная подача сырья и фтора, и “дожиг” – подача фтора без загрузки сырья, при перемешивании реакционной смеси. Перемешивание и транспортировка реакционной смеси в реакторе производится мешалкой, которая в одном направлении вращения перемешивает фторируемое сырье, а в обратном направлении вращения транспортирует к узлу выгрузки. Технологический газ (газообразный гексафторид урана) из реактора направляется в десублиматоры узла конденсации.

Узел конденсации предназначен для конденсации гексафторида урана, то есть переводу из газовой фазы в твердую фазу. Здесь установлены три стационарных десублиматора, два из которых работают в режиме основной конденсации, а третий в режиме

испарения (переконденсации) гексафторида урана в транспортные емкости, охлаждаемые жидким азотом. По мере накопления продукта в первом по ходу газа конденсаторе, он выводится из схемы и подлежит вводу в режим переконденсации. Десублиматор, работающий вторым по ходу газа, становится в схему первым, а вторым вводится резервный десублиматор.

“Хвостовой газ”, имеющий в своем составе остаточное количество гексафторида урана, фтор и фтористый водород, направляется в блок сорбции – две последовательно соединенные колонны. Давление на выходе технологической цепочки регулируется открытием клапана D-169.

Одной из основных задач при ведении процесса переработки высокообогащенных оксидов урана является стабилизация всех давлений в системе, поскольку именно нестабильность давлений увеличивает возможность возникновения аварийных ситуаций. Такой же важной задачей является поддержание постоянства расхода фтора, так как благодаря этому минимизируются потери дорогостоящего продукта. Поскольку расход прямо связан со всеми давлениями в системе, то спроектированная система регулирования давления и расхода является двухканальной системой многосвязного регулирования. В нашей лабораторной работе рассматриваются особенности динамики этой системы.

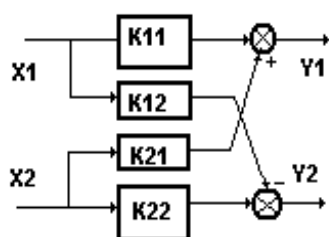
Целью работы является оценка устойчивости и качества регулирования многосвязной системы управления расходом и давлением в технологической цепочке ВОУ-НОУ.

Построение аналитическими методами динамической модели, приемлемой для применения в системе управления, не представляется возможным, так как из-за сложных физических зависимостей достаточно точное аналитическое описание затруднительно. Поэтому определение динамических характеристик технологической цепочки проведено на основе анализа экспериментов, проведенных на статической математической модели объекта и подтвержденных на реальном объекте. Модель представляет собой систему математических уравнений статики описывающую все давления в системе, в зависимости от проходных сечений десублиматора и регулирующих клапанов D-127 и D-159. Проходное сечение десублиматора является в данном случае возмущающим воздействием. Исследовалось, как будет влиять степень открытия выходного клапана D-159 на давления в системе. Весь эксперимент проводился при работающем регуляторе расхода, оценивалась степень влияния регулятора расхода на стабильность давлений в системе.

Анализируя результаты эксперимента можно сказать, что регулятор расхода фтора сам стремится стабилизировать давление в системе. То есть, если скачок давлений в системе возникает в результате действия десублиматора, то давления в системе перед регулятором расхода стабилизируются им самим, так как расход зависит от перепада давлений, а перепад давлений должен оставаться постоянным. Выходной клапан D-159 сильно влияет на давления в системе после регулятора расхода. Поэтому стабилизировать давления перед реактором имеет смысл именно им. Чтобы оценить влияние соседних контуров (по расходу и по давлению) друг на друга была рассмотрена работа модели при отключенном регуляторе расхода. Подавали скачок давления с помощью регулирующего клапана D-159 и смотрели, как изменятся давление и расход в системе. Затем то же проделали с регулирующим клапаном D-127.

В результате проведенного эксперимента, показывающего, как изменяется давление и расход в системе в результате открытия регулирующих клапанов D-127 и D-159, видно, что при открытии клапана D-159 давление, подлежащее стабилизации (перед реактором), уменьшается, а расход увеличивается. А при открытии регулирующего вентиля D-127 и расход, и давление растут. Отсюда можно сделать вывод, что контуры расхода и давления имеют перекрестные связи, причем связь между регулирующим клапаном D-159 и давлением отрицательна, а все остальные положительны. По результатам анализа можно составить структурную схему статической модели.

Динамические характеристики процесса были получены на основе

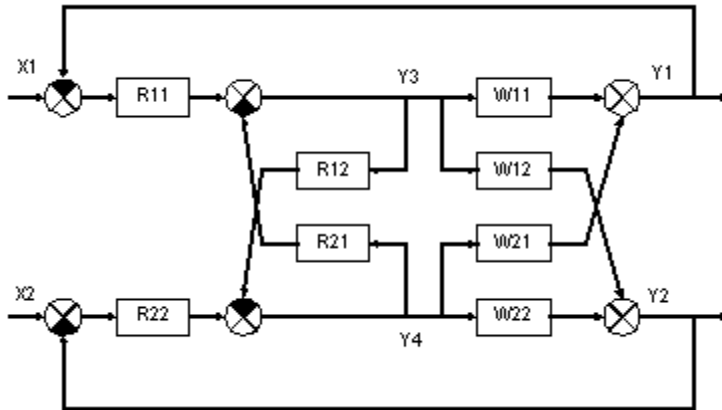


обработки кривых разгона, полученных непосредственно на самом объекте. Экспериментальные данные показывают, что кривая переходных процессов по каналам соответствуют в первом приближении следующим передаточным функциям:

$$W_{11}(p) = K_{11} + \frac{T_0 p}{T_0 p + 1}; \quad W_{12}(p) = \frac{K_{12}}{T_0 p + 1};$$

$$W_{21}(p) = \frac{K_{21}}{T_0 p + 1}; \quad W_{22}(p) = \frac{K_{22}}{T_0 p + 1};$$

Таким образом, структурная схема многосвязной системы принимает вид:



здесь:

Передаточные функции объекта управления.	Параметры регуляторов.
$W_{11} = \frac{K_{11} + T_0 s (K_{11} + 1)}{T_0 s + 1}$	$R_{11} = \frac{1}{(T_0 + \frac{T_0}{K_{11}})s + 1} \cdot \frac{T_0}{T_{\hat{e}} \cdot K_{r1}} \cdot \left(1 + \frac{1}{T_0} \cdot \frac{1}{s}\right)$
$W_{12} = \frac{K_{12}}{T_0 s + 1}$	$R_{12} = \frac{K_{12}}{K_{22}}$
$W_{21} = \frac{K_{21}}{T_0 s + 1}$	$R_{21} = \frac{\frac{K_{21}}{K_{11}}}{(K_{11} + 1) \cdot T_0 s + 1} \cdot T_0 s + 1$
$W_{22} = \frac{K_{22}}{T_0 s + 1}$	$R_{22} = \frac{T_0}{T_{\hat{e}} \cdot \hat{E}_{22}} \cdot \left(1 + \frac{1}{T_0} \cdot \frac{1}{s}\right)$

Приведенные передаточные функции регуляторов прямых каналов были получены с помощью метода динамической компенсации, а передаточные функции перекрестных регуляторов по принципу двухканальности Петрова.

В результате анализа экспериментальных данных параметры динамической модели объекта регулирования были приняты следующими.

Параметр динамической модели	Значение.	Погрешность определения.
T0	100сек	
K11	4,9	± 0,7%
K12	5,7	± 1,2%
K21	38,5	± 17,0%
K22	25,5	± 12,%

Таким образом были приняты следующие передаточные функции используемых в системе регуляторов:

$$R_{11}(p) = \frac{2}{120p+1} * (1 + \frac{1}{100p});$$

$$R_{12}(p) = 0,224;$$

$$R_{21}(p) = \frac{7.86}{120p+1};$$

$$R_{22}(p) = 0.78 * (1 + \frac{1}{100p});$$

Содержание работы:

1. Определить переходные процессы в каналах регулирования давления и расхода при рассчитанных значениях передаточных функций:

To=100с.; K11=4.9; K12=5.7; K21=38.5; K22=25.5. Уставки установить: по расходу U1=0.5; по давлению U2=1.0.

Перекрестные связи в регуляторах не использовать.

2. Определить переходные процессы в каналах многосвязной системы при включении перекрестных связей в регуляторах при тех же параметрах передаточных функций элементов системы.

3. Меняя коэффициенты передачи объекта K11, K22, определите, при каких предельных отклонениях от расчетных значений, работоспособность МСАР сохраняется.

Вопросы для самоподготовки:

1. Является ли рассматриваемая МСАР автономной?
2. Если да, то будет ли система работоспособна при возмущающих воздействиях, то есть при изменении проходных сечений

десублиматоров?

3. Попробуйте методом двухканальности пересчитать перекрестные связи K_{12} и K_{21} для компенсации взаимовлияния каналов по возмущающим воздействиям. Будут ли они равны тем, которые используются в работе?

Учебное издание

АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Адаптивные системы управления» для студентов 5 курса, обучающихся по специальности 140306 «Электроника и автоматика физических установок» направления «Ядерная физика и технологии»

Составитель

КАРНАЧУК Виктор Иванович

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии с
качеством представленного оригинал-макета**

Подписано к печати 15.01.2010. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка»

Печать XEROX. Усл. печ.л. ___ Уч.изд.л. _____

Заказ _____ Тираж 100 экз.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества

Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru

