

Частотные критерии устойчивости

Критерий Найквиста: Формулировка та же, что и для непрерывных систем. Разница состоит лишь в том, что частота изменяется в пределах первого периода $(-\pi; +\pi)$ или от 0 до π . Поэтому АФЧХ не стягиваются в начало координат, а кончаются на действительной оси.

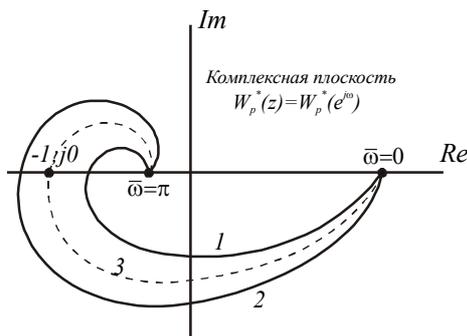


Рис.193

- 1 – устойчива;
- 2 – неустойчива;
- 3 – на границе устойчивости.

Критерий Михайлова: Для устойчивости импульсной САУ необходимо и достаточно, чтобы годограф Михайлова $M^*(e^{j\bar{\omega}})$ представляющий собой знаменатель $W_3^*(e^{j\bar{\omega}})$, начинаясь на положительной действительной оси комплексной плоскости q , охватывал начало координат, проходя последовательно $2n$ квадрантов, где n – порядок системы. $(0 \leq \bar{\omega} \leq \pi)$

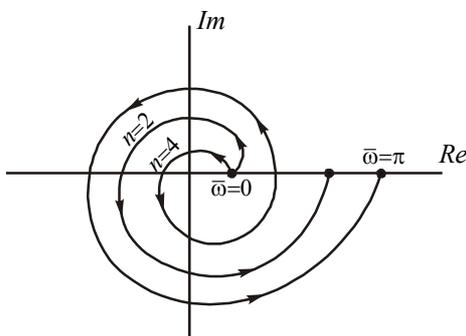


Рис.194

Точность и качество переходных процессов импульсных систем исследуются теми же методами, что и в случае непрерывных САУ. Для синтеза импульсных САУ часто используют логарифмические частотные характеристики, причем удобно применять подстановку (5).

Корректировка импульсных систем осуществляется либо включением корректирующих устройств в непрерывную часть САУ, либо корректирующих устройств импульсного действия, включаемых после ИЭ, они называются *импульсными фильтрами*.

В заключение отметим, что нелинейные импульсные системы исследуются с помощью общих методов исследования нелинейных САУ, ранее нами рассмотренных.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ЦИФРОВЫМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ МАШИНАМИ

Для современной техники управления производственными процессами широкое применение находят ЦВМ, которые используются не только для сбора и обработки информации, но и для непосредственного управления процессами.

Большинство САУ с ЦВМ можно представить в виде следующей блок-схемы (рис.195).

Преобразователи связывают ЦВМ, у которой входная и выходная величины представлены в цифровой форме, с НЧ САУ. Преобразование Н.–Ц. заключается в квантовании непрерывной величины в цифровой код. Любой преобразователь Н.–Ц. независимо от принципа действия и конструктивного исполнения осуществляет три основные функции:

1. квантование по времени;
2. квантование по амплитуде;
3. кодирование.

Перечисленные этапы выполняются либо последовательно, либо сразу в виде одной операции. Такое преобразование называется *кодо-импульсной модуляцией*. Поэтому САУ с ЦВМ иногда называют кодо-импульсными системами.

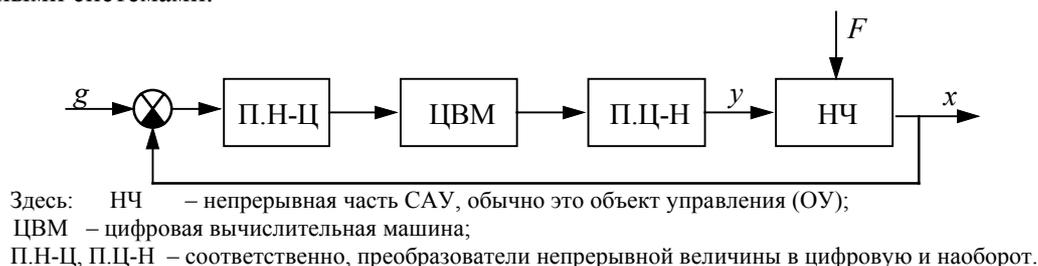


Рис.195

Преобразование Н-Ц называют кодированием.

Преобразование Ц-Н называют декодированием.

Отметим, что каждое значение преобразуемой входной величины представляется не одним, а серией импульсов в определенной комбинации модулируемого параметра (амплитуда, ширина, фаза) этих импульсов.

Наибольшее распространение, как известно, получил двоичный код, соответствующий системе счисления с основанием 2. Каждый разряд двоичного числа может иметь только одно из двух значений: 0 или 1, и соответственно, моделируемому параметру каждого импульса, представляющего значение одного из разрядов, тоже придается одно из двух крайних значений. Знак величины передается с помощью отдельного импульса тоже с двумя возможными значениями модулируемого параметра.

Преобразователь Ц-Н цифровой величины в непрерывную преобразует выходной сигнал ЦВМ в ступенчатую функцию $Y(nT_D)$.

Достоинства цифровых САУ:

1. высокая точность;
2. высокая помехозащищенность;
3. возможность реализации очень сложных алгоритмов управления (и простая их замена);
4. возможность многоточечного управления.

Следует помнить, что эти достоинства достигаются ценой значительно большей стоимости и сложности цифровых систем.

Однако область применения цифровых систем в настоящее время быстро расширяется. (Примеры: САУ судами, самолетами и ракетами; системы управления химическими и другими производствами: домны, энергосистемы, целые заводы и т.д.).

Особенности динамики цифровых САУ

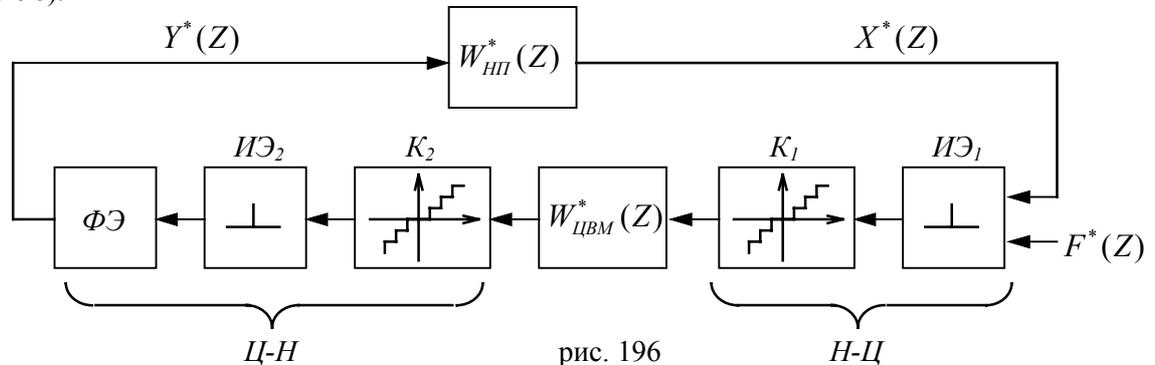
Как уже говорилось, важнейшим элементом цифровых САУ являются преобразователи Н-Ц. Следовательно квантование по времени делает САУ дискретной, а квантование по амплитуде приводит систему к нелинейной.

ЦВМ в САУ имеет значительное количество нелинейных элементов и обладает переменной структурой, изменяющейся по командам управляющих устройств. Для упрощения расчетов полагают, что входные данные ЦВМ связаны однозначной зависимостью и поэтому заменяют ЦВМ эквивалентной схемой, которая включает в себя дискретный фильтр, изменяющий вид модуляции входной последовательности импульсов и звено чистого запаздывания с ПФ, равной e^{-p} , где τ – время прохождения сигнала через дискретный фильтр. Основным элементом выходного устройства ЦВМ является преобразователь кода, который решает задачу преобразования кода в амплитудно-импульсный код в дискретные моменты времени $t = 0, T, 2T, 3T, \dots$ и т.д., где T – период повторения ЦВМ.

При таких допущениях можно САУ с ЦВМ считать линейной импульсной системой и для расчетов использовать уже рассмотренный нами математический аппарат.

Методы исследования цифровых САУ

Математическое описание цифровых САУ, аналогично импульсным, осуществляется с помощью разностных уравнений и дискретного преобразования Лапласа. Однако, в отличие от импульсных систем в САУ с ЦВМ имеется еще квантование по уровню. Структурная схема САУ с ЦВМ тогда принимает вид (рис.196).



В ней преобразователь Н-Ц представлен идеальным импульсным элементом ИЭ₁ с квантователем К₁, статическая характеристика которого показана на рис.196.

Преобразователь Ц-Н состоит из квантователя К₂, статическая характеристика которого в общем случае по числу ступенек, отличается от К₁; ИЭ₂ и формирующим элементом ФЭ.

ИЭ₂ и ФЭ преобразуют решетчатую функцию на выходе К₂ в П-образные импульсы с $\gamma = 1$.

Передаточная функция формирующего элемента, как и ранее для импульсных систем, имеет вид:

$$W_{\phi}(p) = L[y_u(t)] = \frac{K_u(1 - e^{-pT})}{p},$$

где $y_u(t)$ – импульс единичной высоты на выходе ИЭ₂.

Дискретная ПФ непрерывной части системы будет определяться

$$W_{НП}^*(z) = Z\{K_u \omega_u[n]\} = K_u \sum_{n=0}^{\infty} \omega_u[n] z^{-n}.$$

ПФ ЦВМ имеет вид $W_{ЦВМ}^*(z)$, её выражение определяется алгоритмом работы ЦВМ и имеет вид линейных разностных уравнений, следовательно дискретной ПФ.

ОПТИМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Системы, в которых обеспечено оптимальное значение какого-либо основного показателя качества работы системы – критерия оптимальности, называется *оптимальными САУ*.

В качестве критерия эффективности оптимальных САУ может быть: один из показателей качества переходного процесса, точность в установившихся режимах, потребляемая мощность, себестоимость продукции и т.п.

Примеры оптимальных САУ:

1. СУ полетом самолета, обеспечивающая минимальный расход горючего на заданном маршруте.
2. СУ курсом корабля, осуществляющая максимально быстрое изменение курса при наличии ограничений угла поворота и скорости перекидки руля.

Рассмотрим методику синтеза оптимальной САУ.

Наиболее важной задачей при осуществлении синтеза, является получение количественного критерия оптимальности. Критерий оптимальности, как правило, является функционалом (функционал – это величина, значение которой определяется заданием функции. Например, интегральные критерии качества в линейных САУ определяются всей кривой ПП, т.е. функцией $x(t)$).

Конечной целью синтеза является определение оператора УУ – $A_{УУ}$

$$\bar{U} = A_{УУ}(\bar{X}, \bar{X}_3, \bar{F}, t). \quad (6)$$

Если одно из внешних воздействий \bar{X}_3 или \bar{F} является случайным, то критерий оптимальности будет статистическим, отсюда, при синтезе оптимальных САУ различают две группы синтеза:

1. Оптимальные САУ, находящиеся под воздействием детерминированных сигналов;
2. Оптимальные САУ, находящиеся под случайными воздействиями.

Методы нахождения экстремумов функционалов

Общим математическим аппаратом, применяемым при синтезе оптимальных САУ, является вариационное исчисление, как классическое, основанное на применении уравнений Эйлера-Лагранжа, так и созданные в 50-е годы нашего столетия динамическое программирование Р.Беллмана и принцип максимума Л.С.Понтрягина. Последние два метода наиболее удобны для задач оптимального управления, т.к. в них присутствуют ограничения вида (4), и они удобны для численного решения на ЭВМ.

В простых случаях с одним - двумя управляющими воздействиями, определение оптимального управления возможно методом простого перебора вариантов управления с помощью ЭВМ. Для целей нахождения оптимального управления также находят широкое применение вычислительные машины непрерывного действия – АВМ.

Для систем второго порядка оптимальное управление может быть найдено с помощью метода фазовой плоскости.

На названных методах мы останавливаться не будем, т.к. они Вами изучены в различных дисциплинах учебного плана специальности 2202.

Квазиоптимальные САУ

Если управляющее устройство упрощено в отличие от оптимального, то в результате получаем САУ близкую к оптимальной или *квазиоптимальную*.

Возможны два пути синтеза квазиоптимальных САУ:

1. Упрощается предварительно найденный строго оптимальный оператор УУ до его простой технической реализации.
2. Упрощается предварительно ОУ и затем синтезируется оптимальный оператор УУ.

АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Общие понятия и классификация адаптивных САУ

Определение: Системы, которые автоматически приспосабливаются к изменению внешних условий и свойств ОУ, обеспечивая при этом необходимое качество управления путем изменения схемы и параметров УУ называются *адаптивными САУ*.

Качество управления численно определяется критерием качества J , который оценивает заранее выбранный, наиболее важный показатель работы САУ.

Критерием качества J может быть: показатель точности работы САУ, производительность, экономичность и т.п.

В общем случае критерий качества, так же как и критерий оптимальности в оптимальных САУ, представляет собой функционал, зависящий от входных и выходных координат системы. В простейших случаях J может быть просто функцией. Примером изменяющихся внешних условий, требующих применения адаптивной САУ, являются нестационарные случайные внешние воздействия на систему, характеристики которых (например, спектральная плотность) изменяются в широких пределах. Примером объекта с переменными параметрами, тоже требующего адаптивной САУ, является самолет или ракета. Действительно, на разных участках полета изменяются динамические характеристики самого объекта в очень широких пределах, т.к. изменяется масса объекта из-за уменьшения запаса горючего, изменяется форма ОУ и т.п. Поэтому обычная САУ не может выполнить свои функции без

изменения настройки или схемы УУ. Кроме того, областью применения адаптивных САУ является также ОУ с недостаточно известными свойствами или условиями работы.

В общем случае схема адаптивной САУ имеет вид (рис.197):

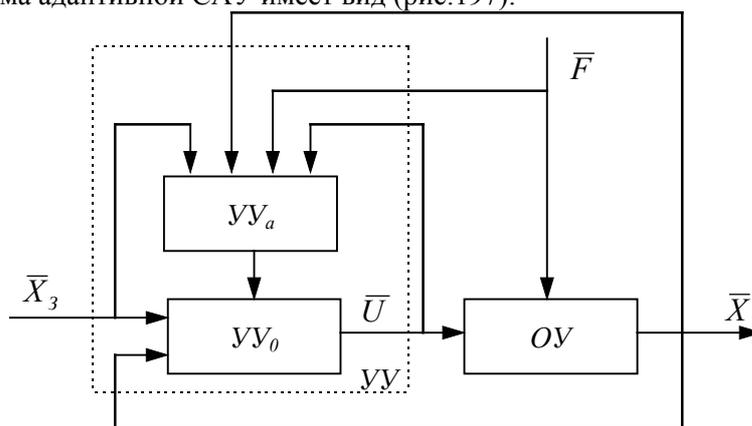


Рис.197

УУ состоит:

- УУ₀ – основное УУ;
- УУ_а – УУ адаптации.

Контур, состоящий из ОУ и УУ₀ представляет собой обычную САУ с обратной связью.

УУ_а управляет УУ₀, изменяя его оператор, т.е. схему и значение параметров, в соответствии с изменением внешних условий работы и свойств ОУ. Для чего УУ_а измеряет в общем случае внешние воздействия \bar{X}_3 и \bar{F} и входную и выходную величины ОУ \bar{U} и \bar{X} . По этим данным определяется значение показателя качества управления

$$J = J(\bar{X}, \bar{X}_3, \bar{U}, \bar{F}). \quad (1)$$

В зависимости от алгоритма работы УУ_а оно определяет отклонение J от заданного или экстремального его значения и воздействует на УУ₀, так, чтобы ликвидировать это отклонение.

Таким образом адаптивная САУ содержит два контура управления – основной и контур адаптации. Для второго контура ОУ является вся основная САУ, т.е. контур адаптации образует второй уровень управления.

Аналогично возможно создание многоступенчатых САУ, содержащих большее число уровней адаптации.

В свою очередь автоматическая адаптация, выполняемая УУ_а может осуществляться:

1. разомкнутой;
2. замкнутой;
3. комбинированной САУ (как показано на рис.197).

Наибольшее распространение получили замкнутые адаптивные САУ, в которых еще производится компенсация основных возмущающих сигналов.

Система адаптации, точнее УУ_а может работать:

1. постоянно;
2. периодически (включаться через определенные интервалы времени);
3. однократно (путем подключения вручную к САУ для настройки).

Адаптивные САУ подразделяются:

1. САУ со стабилизацией критерия качества (J поддерживается на определенном уровне);
2. САУ с оптимизацией критерия качества (J поддерживается на оптимальном значении);

Кроме того адаптивные САУ подразделяются:

1. Самонастраивающиеся (изменяются значения параметров УУ₀);
2. Самоорганизующиеся (изменяется структура УУ₀).

Самонастраивающиеся САУ со стабилизацией критерия качества управления

Такие САУ получили наибольшее распространение для стабилизации динамических свойств систем, критерием качества в которых служат косвенные критерии качества переходных процессов (корневые, частотные, интегральные), статистический критерий точности и непосредственно динамические характеристики ОУ, т.е. его частотные и переходные характеристики.

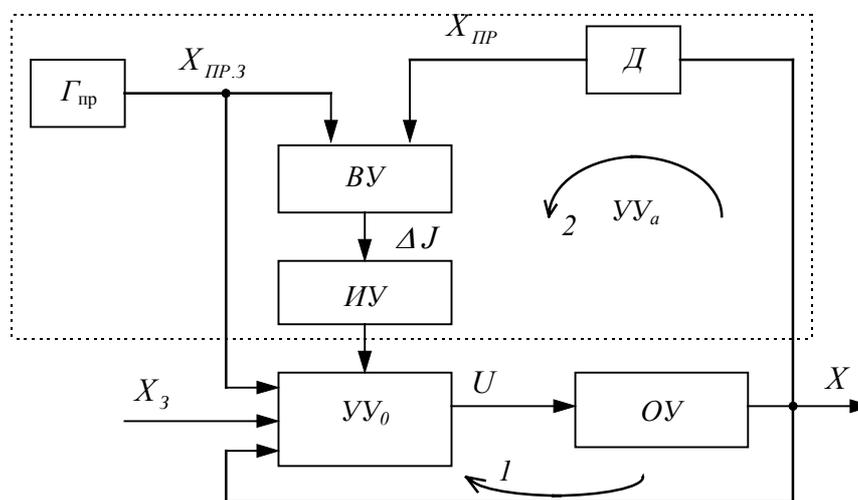


Рис.198

На рис.198 показана функциональная схема САУ со стабилизацией динамических свойств. $УУ_a$ состоит из генератора пробных сигналов – $\Gamma_{пр}$, на выходе которого имеем пробный сигнал $X_{пр.3}$, детектора D сигналов на выходе ОУ, вычислительного ВУ и исполнительного ИУ устройств.

Контур 1 – контур основной САУ;

Контур 2 – контур самонастройки.

Пробный сигнал $X_{пр.3}$ является специально выбранным воздействием на систему, по реакции на которое можно определить текущее значение выбранного критерия качества.

Детектор D служит для выделения из сигнала X составляющей $x_{пр}$, вызванной пробным сигналом $X_{пр.3}$.

По сигналам $X_{пр.3}$ и $x_{пр}$ ВУ вычисляет величину отклонения ΔJ критерия качества от его заданного значения и подает ΔJ на ИУ, которое изменяет настройку $УУ_0$ в направлении, соответствующем знаку отклонения ΔJ . В качестве настроечных параметров $УУ_0$ могут быть: коэффициент усиления, коэффициенты и постоянные времени корректирующих звеньев.

В качестве пробного сигнала $X_{пр.3}$ применяют: ступенчатый, импульсный, гармонический или случайный сигналы. Выбор пробного сигнала определяется видом критерия качества J , т.е. теми динамическими характеристиками системы, которые требуется контролировать.

Например, колебательность системы может быть оценена путем вычисления отношения соседних максимумов или числом колебаний сигнала X на ступенчатое или импульсное пробное воздействие. Колебательность системы может быть определена и с помощью частотных критериев качества, для чего применяются гармонические пробные сигналы.

Следует отметить, что к контуру самонастройки предъявляются следующие два требования:

1. быстродействие контура должно быть больше скорости изменения стабилизируемых динамических свойств основной САУ;
2. пробные сигналы должны быть достаточно малы, т.к. они представляют собой помеху для основной САУ.

Самонастраивающиеся САУ с оптимизацией качества управления

Такие САУ еще называют экстремальными самонастраивающимися САУ. В них должно поддерживаться оптимальное значение критерия качества управления J .

Основой автоматической оптимизации является автоматический поиск оптимального алгоритма УУ₀.

Среди самонастраивающихся САУ с автоматической оптимизацией качества управления наибольшее распространение получили:

1. САУ с экстремальной настройкой коррекции (оптимальные динамические свойства системы);
2. САУ экстремального регулирования. (оптимальные статические свойства системы).

1. САУ с экстремальной настройкой коррекции

В таких системах целью самонастройки является поддержание экстремума какого-либо критерия качества, характеризующего динамические свойства системы, путем изменения настройки корректирующих звеньев основной САУ.

Таким критерием качества чаще всего являются: показатель качества ПП; точность основной САУ при случайных воздействиях.

Поиск экстремума критерия качества J осуществляется изменением настроечных параметров корректирующих звеньев, от которых зависит величина J , и вычисления соответствующего приращения ΔJ . На основании полученного приращения определяется направление, в котором нужно изменять настройку корректирующего звена, чтобы приблизиться к экстремуму J и найти его.

Рассмотрим САУ с экстремальной настройкой коррекции (рис.199).

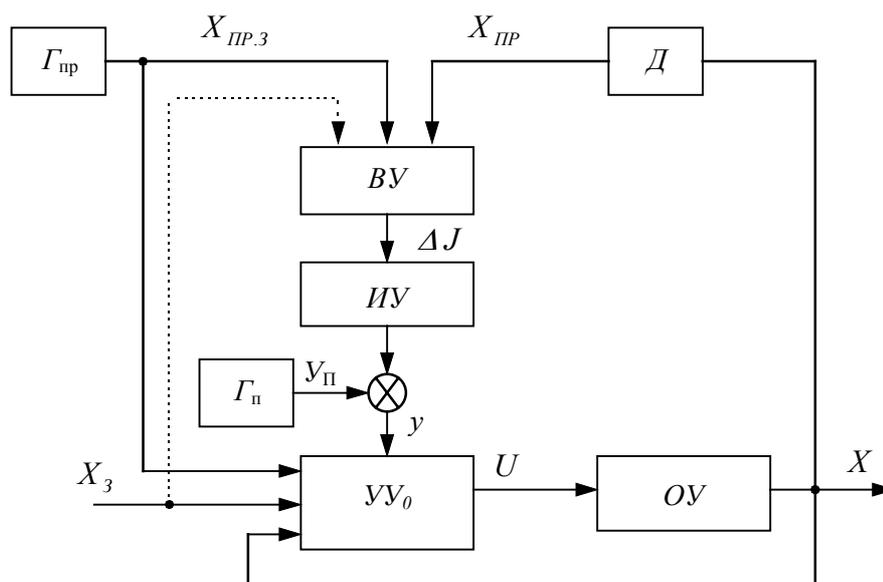


Рис.199

На схеме (рис.199): $\Gamma_{пр}$ – генератор пробного сигнала $X_{пр.з}$;

$\Gamma_{п}$ – генератор поискового сигнала $U_{п}$;

Δ – детектор, выделяющий из сигнала X составляющую $X_{пр}$, вызванную пробным сигналом $X_{пр.з}$;

$ВУ$ – автоматический оптимизатор, вырабатывающий сигнал ΔJ , который определяет отклонение J от экстремального значения.

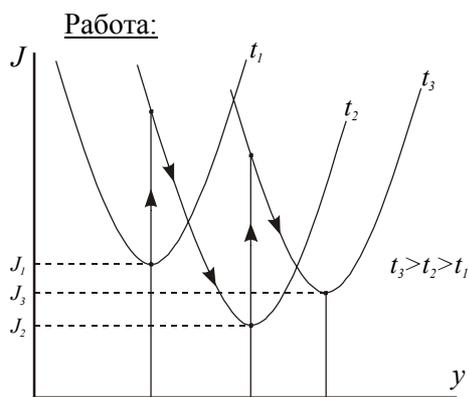


Рис.200

1. пробный сигнал $X_{ПР.З}$ (для определения J при фиксированном y);
2. поисковый сигнал $У_{П}$ (для определения направления изменения настроечного параметра y при движении к экстремуму J).

2. САУ экстремального регулирования

Такие системы являются простейшими самонастраивающимися САУ с оптимизацией качества управления. Критерий качества в них характеризует работу ОУ в статическом режиме.

Рассмотрим пример САУ нестройки колебательного контура в резонанс (рис.201).

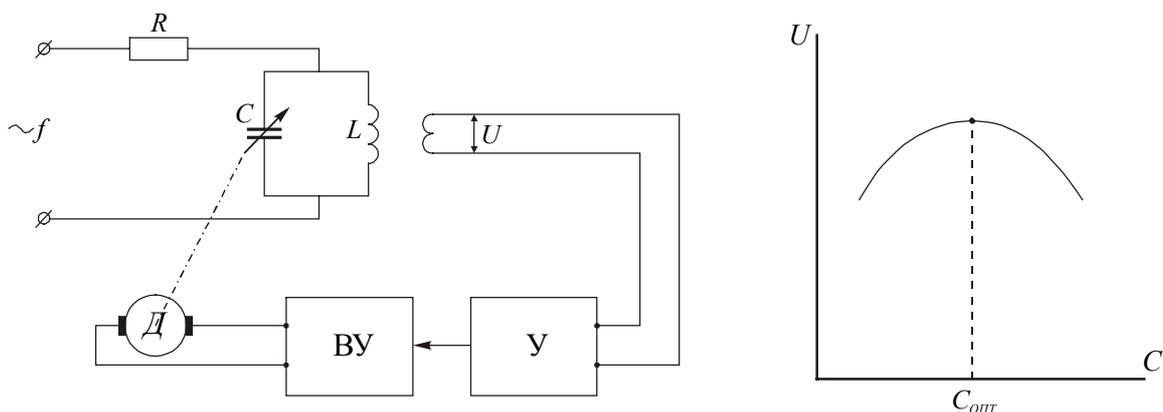


Рис.201

Контур LC настраивается с помощью переменного конденсатора C . Задача настройки – установить такое значение C , при котором резонансная частота контура совпадает с частотой f подаваемого на контур напряжения. Признаком такой настройки является максимум напряжения на резонансном контуре.

Характеристика $U = f(C)$ – имеет экстремальный характер (рис.201). Причиной ухода от $C_{опт}$ может быть: изменение частоты питания контура f , изменение температуры, изменение в процессе работы индуктивности L и т.п.

Экстремальный регулятор состоит из усилителя – $У$, вычислительного устройства – $ВУ$ и исполнительного двигателя – $Д$, поворачивающего ротор конденсатора C . $ВУ$ определяет направление, в котором необходимо изменять C , чтобы напряжение на контуре возрастало, для чего $Д$ сначала включается в одном направлении, а затем при необходимости в другом.

Например, оно может быть определено по условию, чтобы первые производные по времени от C и U имели одинаковый знак. Движение в найденном направлении продолжается до тех пор, пока напряжение U не начинает уменьшаться после нахождения максимума. После чего $ВУ$ изменяет направление вращения двигателя, чтобы вернуться в точку экстремума. В установившемся режиме $Д$ периодически реверсируется, создавая небольшие колебания напряжения около экстремума.

Методы поиска экстремума функции J

Рассмотрим возможные алгоритмы поиска экстремума критерия качества управления:

1. Метод градиента;
2. Метод наискорейшего спуска;
3. Метод Гаусса-Зейделя;
4. Метод слепого поиска.

1. Метод градиента

Если J является функцией одной переменной y , то направление движения к экстремуму определяется знаком производной $\frac{dJ}{dy}$. Там где $\frac{dJ}{dy} = 0$ – будет экстремум J (рис.202).

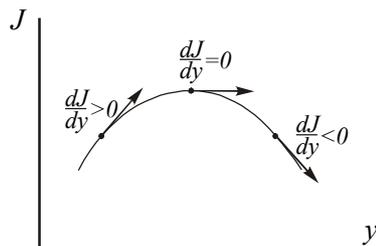


Рис.202

В общем случае, когда $J = J(y_1, y_2, \dots, y_n)$, то направление движения к экстремуму будет определяться градиентом, т.е. вектором

$$\text{grad } J = \sum_{i=1}^n k_i \frac{\partial J}{\partial y_i},$$

где k_i ($i = \overline{1, n}$) – единичные векторы координатных осей y_i .

В точке экстремума $\text{grad } J = 0$, т.е. $\frac{\partial J}{\partial y_i} = 0$ ($i = \overline{1, n}$).

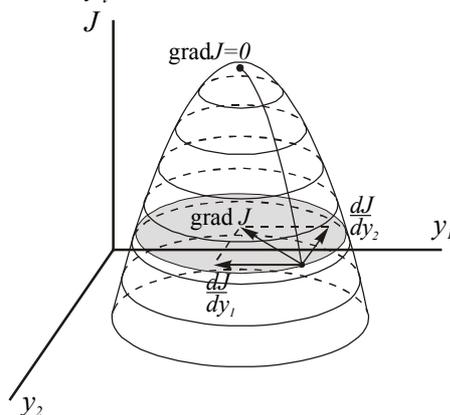


Рис.203

2. Метод наискорейшего спуска

Сущность метода заключается в следующем: В начальной точке находится направление вектора $\text{grad } J$ и организуется движение в этом направлении до тех пор, пока не прекратиться увеличение J (в случае максимизации J), т.е. не обратится в нуль производная от J по принятому направлению движения (рис.204).

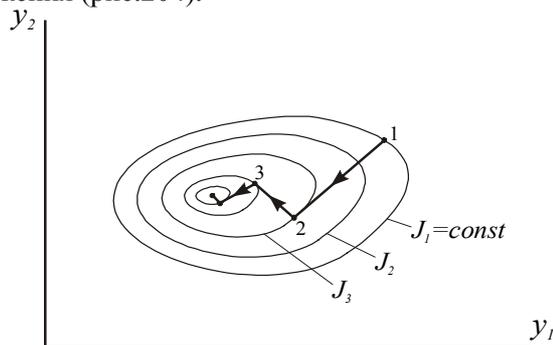


Рис.204

Этому моменту соответствует касание траектории с линией $J_3 = \text{const}$ в точке 2.

В точке 2 вновь определяется $\text{grad } J$ и движение осуществляется по этому направлению опять до момента изменения знака приращения J в выбранном направлении и т.д.

Как видно, метод наискорейшего спуска проще метода градиента из-за того, что требует определение направления $\text{grad } J$ только в небольшом числе точек траектории.

3. Метод Гаусса-Зейделя

Сущность метода заключается в поочередном изменении каждой из координат y_i и поочередном движении составляющих $grad$, пока не будет достигнута экстремальная точка по выбранному параметру y_i .

Алгоритм сводится к следующему (рис.205): В начальной точке траектории определяется $grad \frac{dJ}{dy_1}$ при постоянных значениях других координат $y_i = const$ ($i = 2, 3, 4, \dots$). В момент, когда $grad \frac{dJ}{dy_1} = 0$, определяется $grad \frac{dJ}{dy_2}$ при $y_i = const$ ($i = 1, 3, 4, \dots$) и т.д. по всем параметрам.

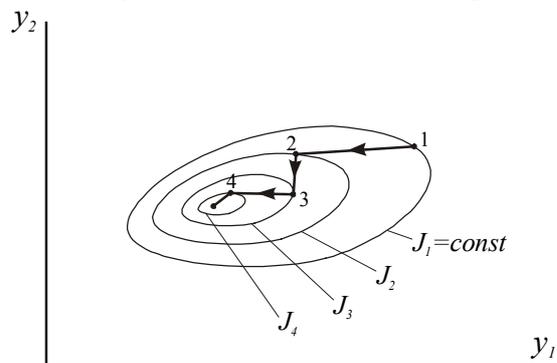


Рис.205

Процесс поиска экстремума заканчивается, когда $gradJ = 0$.

Метод удобен тем, что поиск функции нескольких переменных сводится к последовательному нахождению экстремума этой функции от каждой из переменных. Поэтому данный метод еще проще метода наискорейшего спуска, однако движение к экстремуму осуществляется далеко не кратчайшим путем.

4. Метод случайного (слепого) поиска

Суть метода заключается в том, что экстремум функции нескольких переменных находится путем случайного изменения координат y_i .

Алгоритм: Из начальной точки делается случайный шаг, приданием одной координате случайного приращения и определяется приращение J . Если $\Delta J < 0$, то производится возврат в исходную точку (при поиске максимального J) и делается новый случайный шаг. Так продолжается до тех пор, пока не будет получено $\Delta J > 0$. В этом случае система переводится в новую точку и из неё производятся новые случайные шаги, как из исходной точки.

Кроме названного аппарата поиска используется ещё метод статистического градиента, при котором совершив несколько пробных случайных шагов из начальной точки, и найдя для каждого шага приращение ΔJ , определяется направление наиболее интенсивного изменения J . В этом направлении делается рабочий шаг.

Если в найденном направлении делается не один шаг, а движение продолжается до тех пор, пока приращение ΔJ не изменит знака, то такой метод называется методом наискорейшего спуска.

Следует отметить, что при числе координат y_i , ($i > 3$), случайный поиск по скорости достижения экстремума превосходит перечисленные выше детерминированные методы. Вторым достоинством метода случайного поиска является пригодность его при наличии нескольких экстремумов, из которых необходимо найти глобальный, например максимум, а также при наличии особых точек, в которых $gradJ = 0$. В названных случаях детерминированные методы поиска непригодны, т.к. поиск может закончиться либо на локальном максимуме, либо в особой точке.

В настоящее время применяется комбинация нескольких перечисленных выше методов. Так, например, вдали от точки экстремума используют один метод, обеспечивающий скорейшее попадание в район экстремума, а затем переходят к другому методу. Например, комбинируют метод наискорейшего спуска и метод градиента. При нахождении глобального экстремума часто комбинируют слепой поиск с методом градиента, и т.п.

В заключение отметим, что рассмотренные методы применимы, если J является функцией настроечных параметров y_i , а не функционалом. В случае, если J является функционалом, описанные методы поиска экстремума не применимы, тогда необходимо использовать уже известные методы нахождения экстремума функционалов: вариационное исчисление, динамическое программирование, принцип максимума Понтрягина.

Методы определения производных J

Для поиска экстремума функции $J = J(y_1, y_2, \dots, y_n)$ требуется, как мы видели, знать частные производные $\frac{\partial J}{\partial y_i}$ по настроечным параметрам y_i ($i = \overline{1, n}$). Их можно находить:

1. последовательно, т.е. путем временного разделения каналов измерения отдельных производных;
2. параллельно, т.е. частотным разделением этих каналов.

1. Метод синхронного детектирования

Названный метод основан на частотном разделении каналов определения $\frac{\partial J}{\partial y_i}$.

Поисковые сигналы $y_{i\Pi}$, создающие отклонения y_i , могут быть как детерминированными, так и случайными (рис.206).

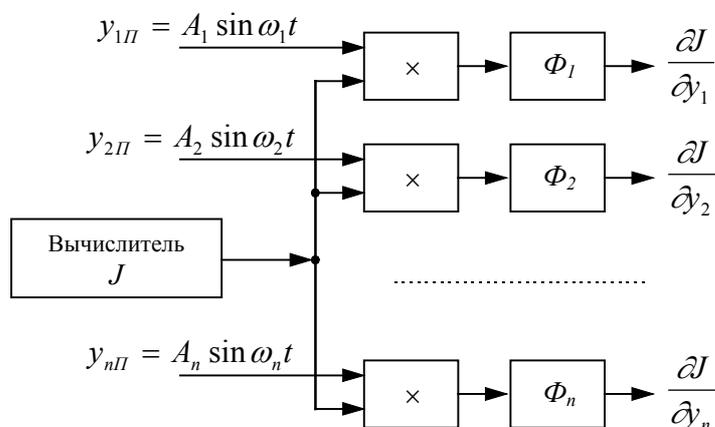


Рис.206

Детерминированные поисковые сигналы есть гармонические колебания разных частот и достаточно малых амплитуд

$$y_{i\Pi} = A_i \sin \omega_i t. \quad (1)$$

A_i – выбирается достаточно малыми, чтобы незначительно нарушать режим работы основной САУ.

Эти поисковые сигналы создают колебания настроечных параметров y_i относительно их исходных значений y_{i0} , т.е.

$$y_i = y_{i0} + y_{i\Pi}. \quad (2)$$

Схема состоит из вычислителя J и каналов определения частных производных $\frac{\partial J}{\partial y_i}$, состоящих из множительного устройства и фильтра нижних частот Φ_i . Блок произведения выполняет умножение величины J на соответствующий поисковый сигнал $y_{i\Pi}$, подаваемый одновременно на УУ основной САУ.

Фильтры Φ_i осуществляют усреднение полученного результата во времени.

Покажем, что выходные величины синхронных детекторов будут пропорциональны частным производным $\frac{\partial J}{\partial y_i}$.

Разложим для этого функцию $J(y_1, y_2, \dots, y_n)$ в ряд Тейлора по малым приращениям Δy_i , ограничиваясь только первыми членами ряда

$$J(y_1, y_2, \dots, y_n) = J_0(y_{10}, y_{20}, \dots, y_{n0}) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial J}{\partial y_i} \Delta y_i, \quad (3)$$

где $\Delta y_i = A_i \sin \omega_i t$.

На выходе k -го множительного устройства получаем величину, равную произведению $J(y_1, y_2, \dots, y_n) A_k \sin \omega_k t$, тогда с учетом (3) будем иметь

$$J_0 A_k \sin \omega_k t + \sum_{i=1}^n \frac{\partial J}{\partial y_i} A_i A_k \sin \omega_i t \cdot \sin \omega_k t. \quad (4)$$

Эта величина (4) в синхронном детекторе усредняется по времени, причем она включает составляющую с $\sin \omega_k t$ и n составляющих, содержащих произведение синусовид $\sin \omega_i t \cdot \sin \omega_k t$. Отметим, что средние значения указанных составляющих при $i \neq k$ равняются нулю. При $i = k$, т.к.

$\sin^2 \omega_k t = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\omega_k t$, среднее значение отлично от нуля и равно $\frac{1}{2}$. Следовательно, на выходе k -го канала синхронного детектора в первом приближении сигнал равен $\frac{1}{2} A_k^2 \frac{\partial J}{\partial y_k}$, т.е. пропорционален

производной $\frac{\partial J}{\partial y_k}$.

Следует отметить, что в качестве поисковых сигналов можно применять и другие сигналы с одним только условием, чтобы их средние значения и их произведения друг с другом были достаточно близки нулю. Таким образом в качестве поисковых сигналов можно использовать и независимые (некоррелированные) стационарные случайные поисковые сигналы.

2. Метод производной по времени

Этот метод дает поочередное определение частных производных $\frac{\partial J}{\partial y_i}$.

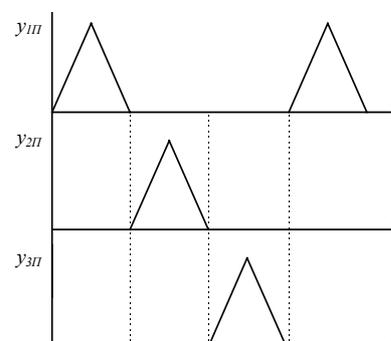
Суть метода заключается в применении производной от J по времени. Если все настроечные параметры, кроме одного, неизменны, то частную производную по этому параметру можно представить

$$\frac{\partial J}{\partial y_i} = \frac{dJ}{dt} \cdot \frac{dy_i}{dt} \quad (5)$$

Из (5) видно, что если изменять y_i настроечный параметр с известной постоянной скоростью $\frac{dy_i}{dt} = const$, то $\frac{dJ}{dt}$, вызванная изменением настроечного параметра будет мерой изменения искомой частной производной $\frac{\partial J}{\partial y_i}$.

Приведем один из вариантов схемы определения $\frac{\partial J}{\partial y_i}$, с применением производной по времени (рис.207).

Генератор поискового сигнала Γ_{II} выдает импульсы треугольной формы, которые через распределитель P_I подаются поочередно в цепи управления отдельными настроечными параметрами (на рис.207 приведена временная эпюра в случае трёх каналов настройки). Благодаря треугольной форме импульсов настроечные параметры изменяются с постоянной скоростью сначала в одну, а затем в другую сторону.



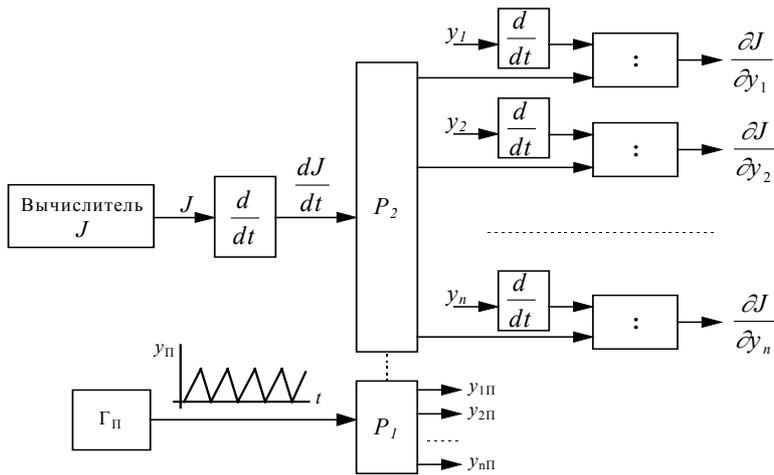


Рис.207

Распределитель P_2 работает синхронно с P_1 и передает производную $\frac{dJ}{dt}$ на вход того делительного устройства, на который поступает производная $\frac{dy_i}{dt}$ того подстроечного параметра y_i , который в данный момент изменяется треугольным импульсом.

- Недостатки:**
1. Время настройки пропорционально числу настроечных параметров y_i ;
 2. Низкая помехозащищенность, т.к. применяются дифференцирующие устройства, которые чувствительны к высокочастотным помехам.

3. Метод конечных приращений (шагов)

Этот метод также дает поочередное определение частных производных в виде отношения конечных приращений, т.е.

$$\frac{\partial J}{\partial y_i} \approx \frac{\Delta_i J}{\Delta y_i}. \quad (6)$$

Каждому настроечному параметру y_i поочередно дается малое конечное приращение Δy_i , определяется вызванное им приращение $\Delta_i J$ и согласно (6) находится их отношение.

Этот метод получил наибольшее распространение в случае инерционных ОУ, когда остальные рассмотренные методы дают большую амплитуду колебаний относительно экстремума.

О задачах и методах исследования и расчета самонастраивающихся САУ

Для исследования и расчета самонастраивающихся САУ могут быть использованы все инженерные методы ТАУ. Однако их применимость, из-за наличия контура самонастройки, естественно ограничена.

Одной из основных особенностей самонастраивающихся САУ является то, что они описываются дифференциальными уравнениями с переменными во времени коэффициентами. Следовательно, самонастраивающиеся САУ в общем случае являются нестационарными системами.

Кроме того, нелинейность экстремального звена, как правило, является несимметричной.

Итак, для расчета могут быть использованы следующие методы расчета:

1. Гармонической линеаризации;
2. Фазового пространства;
3. Графо-аналитические;
4. Статистические;
5. Линейной теории;
6. Математического моделирования и др.

Основными этапами, выполняемыми при расчете и исследовании самонастраивающихся систем, являются:

1. Обоснование необходимости применения самонастройки;
2. Расчет процесса самонастройки;
3. Обеспечение устойчивости;
4. Расчет выхода на экстремум;
5. Обеспечение устойчивости в области экстремума;
6. Определение показателей качества динамики самонастраивающейся системы и др.

Итак,

1. Обоснование самонастройки может быть осуществлено аналитически, экспериментально либо на основании физических соображений. Основными условиями при этом считаются экономическая эффективность, достигаемый за счет применения самонастройки, либо невозможность создания системы с постоянными параметрами для обеспечения требуемой точности управления, заданного запаса устойчивости и качества переходного процесса.

Допустим имеем САУ вида (рис.208):

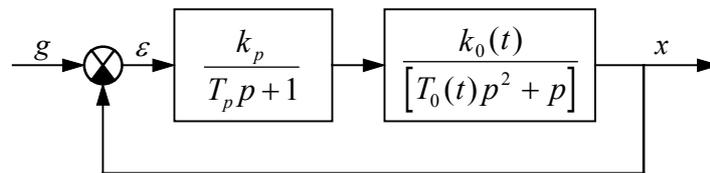


рис. 208

$k_0(t)$, $T_0(t)$ – коэффициент усиления и постоянная времени ОУ, изменяющиеся в результате изменения внешних условий.

Характеристическое уравнение САУ

$$T_p T_0(t) p^3 + [T_p + T_0(t)] p^2 + \{ p + k_p k_0(t) \} = 0. \quad (1)$$

По критерию Гурвица условие устойчивости имеет вид:

$$k_p k_0(t) \leq \frac{1}{T_0(t)} + \frac{1}{T_p}. \quad (2)$$

Если известно, что $T_p = 0,01$ сек, а $T_{0,\max} = 0,2$ сек, то максимально допустимое значение коэффициента усиления из условия (2)

$$k_{\max} = k_p k_0(t) = \frac{1}{0,01} + \frac{1}{0,2} = 105. \quad (3)$$

Если известно, что диапазон изменения $k_0(t) = 1 \div 10$, тогда из выражения (3) $k_p = 105 \div 10,5$. Таким образом, для того, чтобы САУ была устойчива необходимо при изменении свойств ОУ изменять коэффициент усиления УУ в диапазоне $105 \div 10,5$.

Методы расчета самонастраивающихся САУ

Методы расчета самонастраивающихся систем (СНС) должны прежде всего учитывать изменяемость параметров во времени.

Часто удается свести системы с переменными параметрами к классу квазистационарных систем, т.е. к САУ с медленно изменяющимися параметрами (САУ у которых коэффициенты дифференциального уравнения изменяются незначительно за время переходного процесса $x(t)$) (рис.209).

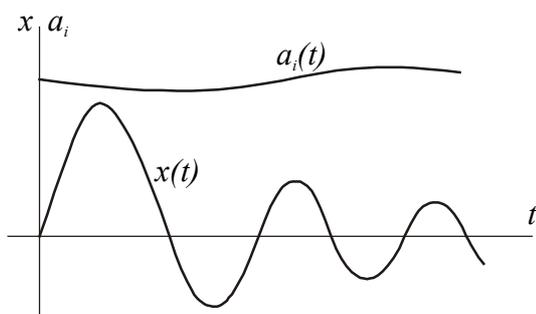


Рис.209

Для исследования квазистационарных СНС применяется метод замороженных коэффициентов.

В данном методе полагают, что начиная с момента времени t_i параметры САУ остаются неизменными. Тогда дифференциальные уравнения, описывающие динамику СНС, становятся дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами, которые исследуются обычными методами ТАУ. Это позволяет оценить динамику СНС для выбранного момента времени t_i . Далее выбирают другие моменты времени

t_k и производят аналогичные исследования.

Кроме того квазистационарные системы можно рассчитывать графо-аналитическими методами Башкирова и Башарина, если известны характеристики и параметры элементов системы на расчетных интервалах времени. Например, при применении метода Башарина, надо построить поле статических характеристик объекта для различных моментов времени, причем угол наклона луча на соответствующих интервалах времени будет определяться статической характеристикой справедливой для данного момента времени.

Наиболее удобным методом исследования СНС в общем случае является метод математического моделирования. На математической модели набирается как основной контур с изменяющимися параметрами, так и контур самонастройки, что позволяет широко исследовать СНС.

В настоящее время для исследования СНС применяются численные методы с применением ЭВМ.

Если для расчета СНС используется метод гармонической линеаризации, то т.к. нелинейное звено имеет, как правило, несимметричную характеристику, автоколебания в СНС имеют постоянную составляющую и сложную форму. Поэтому гармоническую линеаризацию необходимо производить с учетом высших гармоник во входном сигнале нелинейного элемента.

Следует отметить, что методы исследования и расчета СНС в настоящее время только разрабатываются и отличаются большой сложностью.

Литература:

1. Под ред. Воронова А.А. Теория автоматического управления. – М.: Высшая школа, ч.1,2. 1977. (681.5 Т338)^{*})
2. Воронов А.А. и др. Основы теории автоматического регулирования и управления. – М.: Высшая школа, 1977. (681.5 В754)
3. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1974.
4. Под ред. Чемоданова Б.К., Математические основы теории автоматического регулирования. – М.: Высшая школа, ч.1,2. 1977. (681.5 М34)
5. Под ред. Нетушила А.В., Теория автоматического управления. – М.: Высшая школа, ч.1 1976, ч.2 1983. (681.5 М34)
6. Под ред. Шаталова А.С., Теория автоматического управления. – М.: Высшая школа, 1977. (681.5 Т338)
7. Солодовников В.В. и др., Основы теории и элементы систем автоматического регулирования. – М.: Машиностроение, 1985. (681.5 С604)
8. Цыпкин Я.З., Основы теории автоматических систем. – М.: Наука, 1977. (681.5 Б53)
9. Бесекерский В.А., Цифровые автоматические системы. – М.: Наука, 1976. (681.5 Б53)
10. Изерман Р., Цифровые системы управления. – М.: Мир, 1984. (681.5 И364)
11. Попов Е.П., Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1978. (681.5 П58)
12. Воронов А.А., Основы теории автоматического управления. – М.: Энергия, 1980. (681.5 В754)
13. Воронов А.А., Устойчивость, управляемость, наблюдаемость. – М.: Наука, 1979.
14. Директор С., Рорер Р., Введение в теорию систем. – М.: Мир, 1974.
15. Андреев Ю.Н., Управление конечномерными линейными объектами. – М.: Наука, 1978. (681.5 А655)
16. Попов Е.П., Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1979.
17. Под ред. Бесекерского В.А., Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1978. (681.5 С239)
18. Белова Д.А., Кузин Р.Е., Применение ЭВМ для анализа и синтеза автоматических систем управления. – М.: Энергия, 1979. (681.5 Б435)

^{*}) В скобках приведены данные каталога библиотеки НГТУ.

СОДЕРЖАНИЕ:

Введение	3
Общие понятия об управлении	3
Общие замечания по объектам	4
Принципы построения систем автоматического управления	5
Задачи ТАУ, классификация САУ, примеры	6
Классификация САУ	7
Математическое описание САУ	7
Примеры САУ	8
ЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	10
Линеаризация нелинейных функций	10
Линеаризация дифференциальных уравнений	11
Математическое описание линейных САУ	12
Свободное поведение САУ	13
Передаточные функции	15
Частотные характеристики САУ	18
Структурные методы ТАУ	20
Типовые звенья САУ	20
1. Усилительное звено	21
2. Интегрирующее звено	22
3. Аperiodическое звено	24
4. Колебательное звено или звено 2-го порядка	26
5. Идеальное дифференцирующее звено	29
6. Реальное дифференцирующее звено	30
Охват аperiodического звена обратными связями	31
Структурные преобразования	32
Правила преобразования структурных схем	32
Правила переноса сигнала	34
Передаточные функции систем по управляющему и возмущающему воздействиям	35
Проблема устойчивости САУ	36
Основное условие устойчивости	37
Критерий устойчивости линейных САУ	38
Понятие запаса устойчивости по фазе и по модулю	43
Физический смысл запаса устойчивости по фазе и по модулю	44
Критерий Найквиста в логарифмическом масштабе	45
Д-разбиение	47
Качество регулирования	48
Анализ статических режимов	48
Анализ статических режимов скалярных систем	49
Коэффициенты ошибок	54
Динамическое поведение САУ	55
Показатели качества регулирования при единичном ступенчатом сигнале	55
Количественные характеристики переходных процессов	56
Оценка качества регулирования по косвенным критериям	58
Частотные критерии качества переходных процессов	58
Свойства вещественно-частотных характеристик и соответствующих им переходных функций	60
Построение переходной характеристики по ВЧХ замкнутой системы	63
Связь ВЧХ замкнутой системы с амплитудно-фазовой характеристикой разомкнутой системы (круговые диаграммы)	65
Определение ВЧХ замкнутой системы по ЛЧХ разомкнутой системы	67
Синтез линейных систем автоматического управления	68
Формулировка задачи синтеза	69
Управляемость динамических систем	69

Критерий управляемости	70
Реализуемость	71
1. Реализуемость равновесного состояния	71
2. Реализуемость желаемых дифференциальных уравнений	72
Модальный метод синтеза	73
Канонические преобразования	75
Синтез скалярных систем модальным методом	77
Статический расчёт системы	78
Определение коэффициента усиления разомкнутой САУ скалярной системы	79
Частотный метод синтеза	80
Параллельная коррекция по вырожденной структуре	82
Пересчёт последовательной коррекции в параллельную	84
Построение желаемой частотной характеристики	85
Исследование САУ со звеном чистого запаздывания	86
Оценка состояния линейных динамических систем	87
Способ прямого вычисления вектора состояния	87
Условия наблюдаемости	88
Линейные САУ при случайных воздействиях	88
Характеристики случайных функций	89
Спектральная плотность	92
Прохождение стационарных случайных сигналов через линейную САУ	93
Статистический расчёт ошибки в замкнутой системе автоматического управления	94
Синтез систем с оптимальными параметрами, обеспечивающих минимальную среднеквадратичную ошибку	96
НЕЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	98
Математическое описание нелинейных систем. Особенности процессов в нелинейных системах	99
Общая характеристика методов исследования нелинейных систем	100
Метод фазовой плоскости	100
Порядок исследования методом фазовой плоскости	101
Построение фазового портрета методом изоклин	104
Классификация предельных циклов с точки зрения устойчивости	105
Построение фазового портрета для нелинейной системы с кусочно-линейными звеньями	105
Метод точечного преобразования академика А.А.Андропова	108
Построение переходного процесса по фазовой траектории	109
Прямой (второй) метод А.М.Ляпунова для исследования нелинейных систем	109
Построение V -функций Ляпунова (примеры)	111
Определение абсолютной устойчивости нелинейных систем	112
Критерий абсолютной устойчивости В.М.Попова	112
Обобщение критерия Попова на случай нейтральной и неустойчивой линейной части системы	114
Связь критерия Попова с критерием Найквиста	115
Приближённые методы исследования нелинейных систем	115
1. Метод гармонической линеаризации	115
Критерий Гольдфарба	117
Определение устойчивости автоколебаний по алгебраическим критериям (метод Е.П.Попова)	
Пример нахождения автоколебания релейной САУ	119
2. Графо-аналитические методы построения переходных процессов	120
Примеры построения переходных процессов методом Башкирова	122
Импульсные системы автоматического управления	125
Особенности динамики импульсных САУ	126
Математическое описание линейных импульсных систем	126
Основные свойства дискретного преобразования Лапласа	131
Частотные характеристики линейных импульсных САУ с АИМ	131
Устойчивость импульсных САУ	133
Частотные критерии устойчивости	135

Системы автоматического управления с цифровыми вычислительными машинами	135
Особенности динамики цифровых САУ	136
Методы исследования цифровых САУ	137
Оптимальные системы автоматического управления	137
Адаптивные системы автоматического управления	139
Самонастраивающиеся САУ со стабилизацией критерия качества управления	141
Самонастраивающиеся САУ с оптимизацией качества управления	142
Методы поиска экстремума функции J	144
Методы определения производных J	146
О задачах и методах исследования и расчёта самонастраивающихся САУ	148
Литература	151