

4. ТОЧНОСТЬ САР В СТАТИЧЕСКОМ СТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ

Цель работы. Целью лабораторной работы является знакомство с понятием статической ошибки САР и методикой ее определения, исследование зависимости статической ошибки от коэффициента передачи регулятора и изучение методов устранения статической ошибки.

4.1. Уравнение статического стационарного режима

Рассмотрим систему стабилизации, которая включает объект управления ОУ и автоматическое управляющее устройство АУУ, состоящее из измерительного устройства ИУ, элемента сравнения и регулятора Р (рис. 4.1, а).

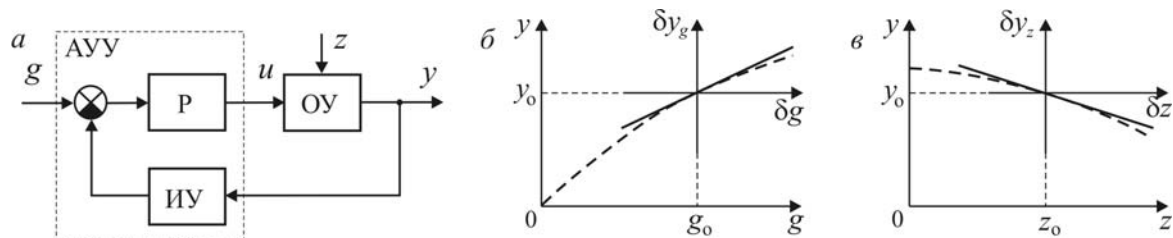


Рис.4.1. Статические характеристики САР:

а – функциональная схема; *б* – статическая характеристика $y = y(g, z_0)$;

в – статическая характеристика $y = y(g_0, z)$

Для оценки точности управления таких систем используется так называемый статический стационарный режим, который должен бы наблюдаться в изолированной системе при постоянных внешних воздействиях после окончания переходных процессов. Хотя в реальной системе пронаблюдать этот режим не удастся из-за изменения внешних воздействий и параметров системы, точность управления в статическом стационарном режиме относится к важнейшим показателям системы.

На рис. 4.1, б и в пунктиром показаны статическая характеристика $y = y(g, z_0)$ системы по задающему воздействию и статическая характеристика $y = y(g_0, z)$ по возмущающему воздействию. Здесь g_0, z_0 – значения задающего и возмущающего воздействий в стационарной точке.

Известна линеаризованная модель системы для переменных, представляющих собой отклонение δy управляемой величины, отклонение δg задающего воздействия, отклонение δz возмущающего воздействия

и отклонение δu управляющего воздействия. Операторно-структурная схема, построенная на основании линеаризованной модели системы, изображена на рис. 4.2.

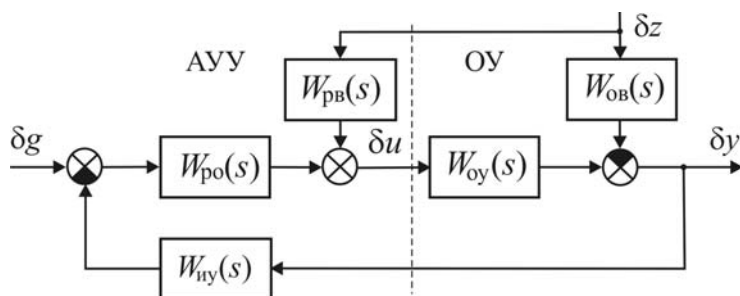


Рис.4.2. Операторно-структурная схема САУ

Здесь $W_{оу}(s)$ – передаточная функция объекта по управляющему воздействию; $W_{об}(s)$ – передаточная функция объекта по возмущающему воздействию; $W_{иу}(s)$ – передаточная функция измерительного устройства; $W_p(s)$ – передаточная функция регулятора.

Уравнение замкнутой системы в области изображений имеет вид

$$\delta Y(s) = W_{gy}(s) \cdot \delta G(s) + W_{zy}(s) \cdot \delta Z(s),$$

где передаточные функции замкнутой системы по задающему и возмущающему воздействиям определяются соответственно выражениями:

$$W_{gy}(s) = \frac{\delta Y(s)}{\delta G(s)} = \frac{W_p(s)W_{оу}(s)}{1 + W_{иу}(s)W_p(s)W_{оу}(s)}; \quad (4.1)$$

$$W_{zy}(s) = \frac{\delta Y(s)}{\delta Z(s)} = \frac{-W_{об}(s)}{1 + W_{иу}(s)W_p(s)W_{оу}(s)}. \quad (4.2)$$

При постоянных задающем $\delta g(t) = \delta g \cdot 1(t)$ и возмущающем $z(t) = \delta z \cdot 1(t)$ воздействиях для рассматриваемой системы будем иметь

$$\delta Y(s) = W_{gy}(s) \frac{\delta g}{s} + W_{zy}(s) \frac{\delta z}{s}.$$

Используя теорему о конечном значении преобразования Лапласа, согласно которой установившееся значение $x_{уст} = \lim_{s \rightarrow 0} sX(s)$, получим

уравнение САУ в статическом стационарном режиме

$$\delta y = W_{gy}(0)\delta g + W_{zy}(0)\delta z. \quad (4.3)$$

4.2. Статическая ошибка в статической САР

Предположим, что объект регулирования и регулятор представляют собой статические звенья. Тогда их передаточные функции можно записать в следующем виде:

$$W_{\text{иу}}(s) = k_{\text{иу}} W'_{\text{иу}}(s); W_{\text{р}}(s) = k_{\text{р}} W'_{\text{р}}(s); \\ W_{\text{оу}}(s) = k_{\text{оу}} W'_{\text{оу}}(s); W_{\text{об}}(s) = k_{\text{об}} W'_{\text{об}}(s),$$

где $k_{\text{иу}}$, $k_{\text{р}}$, $k_{\text{оу}}$, $k_{\text{об}}$ – статические коэффициенты передачи звеньев, $W'_{\text{иу}}(0) = W'_{\text{р}}(0) = W'_{\text{оу}}(0) = W'_{\text{об}}(0) = 1$.

Уравнение (4.3) статического стационарного режима с учетом (4.1) и (4.2) будет выглядеть так:

$$\delta y = \frac{k_{\text{р}} k_{\text{оу}}}{1 + k_{\text{иу}} k_{\text{р}} k_{\text{оу}}} \delta g - \frac{k_{\text{об}}}{1 + k_{\text{иу}} k_{\text{р}} k_{\text{оу}}} \delta z.$$

Уравнение позволяет рассчитать ошибку управления при наличии отклонений задающего и возмущающего воздействий от их значений g_0 и z_0 в стационарной точке. Первое слагаемое

$$\delta y_g = \frac{k_{\text{р}} k_{\text{оу}}}{1 + k_{\text{иу}} k_{\text{р}} k_{\text{оу}}} \delta g. \quad (4.4)$$

определяет составляющую статической ошибки, обусловленную неустойчивостью задающего воздействия. График зависимости (4.4) показан на рис. 4.1, б.

Второе слагаемое

$$\delta y_z = - \frac{k_{\text{об}}}{1 + k_{\text{иу}} k_{\text{р}} k_{\text{оу}}} \delta z. \quad (4.5)$$

будет составляющей статической ошибки, вызванной изменением возмущающего воздействия. График зависимости (4.5) показан на рис. 4.1, в.

Как видно из формул (4.4) и (4.5), при заданных значениях коэффициентов передачи $k_{\text{оу}}$ и $k_{\text{об}}$ объекта регулирования и возмущающего воздействия δz статическая ошибка зависит только от коэффициента передачи $k_{\text{иу}}$ измерительного устройства и коэффициента передачи $k_{\text{р}}$ регулятора. Чем больше коэффициенты передачи регулятора, тем меньше статическая ошибка. Однако уменьшение статической ошибки путем увеличения коэффициента передачи регулятора возможно только до некоторого предела, поскольку с увеличением коэффициента усиления система приближается к границе устойчивости, и качество переходных процессов может существенно ухудшиться.

4.3. Устранение статической ошибки по возмущению

Введение в регулятор интегрирующего звена

Статическая ошибка, обусловленная возмущающим воздействием δz , может быть устранена при помощи астатического (интегрирующего) звена, введенного в регулятор. Передаточную функцию регулятора с интегрирующим звеном запишем в виде

$$W_p(s) = \frac{k_p}{s} W'_p(s),$$

где k_p – коэффициент передачи регулятора и $W'_p(0) = 1$. В этом случае из выражений (4.1) и (4.2) найдем $W_{gy}(0) = 1/k_{и}$ и $W_{zy}(0) = 0$.

Уравнение статического стационарного режима (4.3) превращается в равенство

$$\delta y = (1/k_{иy}) \delta g.$$

Следовательно, статическая ошибка, вызванная возмущающим воздействием, равна нулю.

Введение дополнительной связи по возмущению

Для устранения статической ошибки, обусловленной возмущающим воздействием, может быть использована дополнительная связь. Операторно-структурная схема системы с дополнительной связью по возмущению приводится к виду, показанному на рис. 4.3.

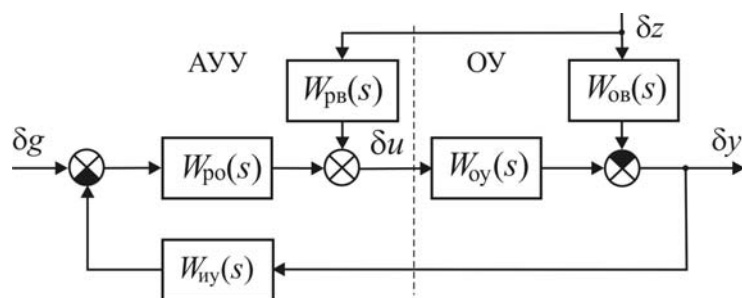


Рис.4.3. Операторно-структурная схема САР со связью по возмущению

Получив передаточные функции $W_{gy}(s)$, $W_{zy}(s)$ и используя (4.3), найдем уравнение статического стационарного режима

$$\delta y = \frac{k_{по}k_{оy}}{1 + k_{иy}k_{по}k_{оy}} \delta g + \frac{k_{пв}k_{оy} - k_{ов}}{1 + k_{иy}k_{по}k_{оy}} \delta z,$$

где $k_{пв}$ – коэффициент передачи регулятора по возмущению δz .

Отсюда видно, что если выбрать коэффициент передачи регулятора по возмущению равным

$$k_{рв} = k_{об}/k_{оу}, \quad (4.6)$$

то статическая ошибка, вызванная возмущением, обращается в нуль.

4.4. Программа лабораторной работы

Методические указания

В лабораторной работе рассматривается система, в которой объект управления описывается передаточными функциями

$$W_{оу}(s) = \frac{k_{оу}}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)(T_3s + 1)}, \quad W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{(T_3s + 1)},$$

измерительное устройство является безынерционным: $W_{иу}(s) = k_{иу}$.

Схемы моделирования системы с различными вариантами регуляторов показаны на рис. 4.4.

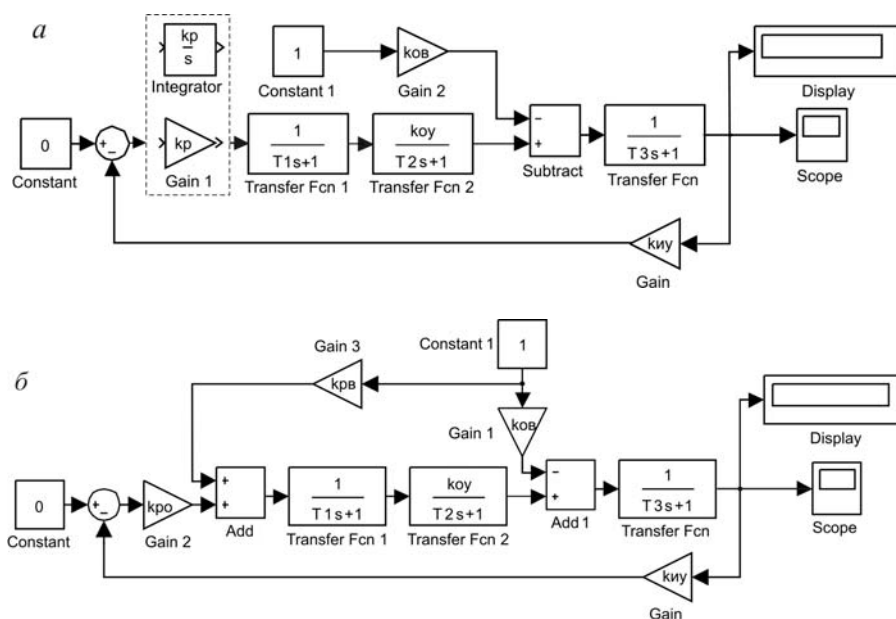


Рис.4.4. Схемы моделирования

Для регистрации результатов исследования в схемах моделирования использованы виртуальный осциллограф **Scope** и измеритель уровня сигнала в текущий момент времени **Display**. На виртуальном осциллографе **Scope** наблюдается переходный процесс для того, чтобы определить время его затухания и правильно выбрать время моделирования. С помощью измерителя уровня **Display** определяется значение статической ошибки.

Примечание. Значения параметров исследуемых в работе систем задаются преподавателем.

Программа

1. Составить в системе MATLAB/Simulink модель системы согласно рис. 4.4, *a* для заданных передаточных функций с заданными значениями параметров k_{ny} , k_{oy} , k_{ov} , T_1 , T_2 , T_3 и регулятором с передаточной функцией $W_p(s) = k_p$.

2. Найти пределы изменения коэффициента передачи k_p регулятора, в которых замкнутая система устойчива.

Примечание. Требуемые критические значения коэффициента передачи k_p можно определить:

- экспериментально на модели системы, приведя её на границы апериодической и колебательной устойчивости;
- аналитически, получив характеристическое уравнение замкнутой системы и используя критерий устойчивости Гурвица.

3. Меняя коэффициент передачи k_p регулятора от нуля до его критического значения на колебательной границе устойчивости, определить на модели значения статической ошибки δy_{zm} , обусловленной возмущением $\delta z = \text{const}$. Составить таблицу зависимости $\delta y_{zm} = f(k_p)$.

4. Записать формулу (4.5) для расчета статической ошибки δy_z , обусловленной возмущающим воздействием, для заданных значений k_{ny} , k_{oy} , k_{ov} и того же значения возмущения $\delta z = \text{const}$, что использовано в модели при выполнении предыдущего пункта. Составить таблицу зависимости $\delta y_{zp} = f(k_p)$.

5. По данным таблиц из п.3 и п.4 построить графики зависимостей $\delta y_{zm} = f(k_p)$ и $\delta y_{zp} = f(k_p)$. Сделать выводы.

Примечание. Для построения графиков этих зависимостей может быть использована система программирования MathCAD.

6. Изменить модель системы, заменив пропорциональный регулятор на интегральный:

$$W_p(s) = k_p/s.$$

Установить значение коэффициента передачи k_p , при котором система устойчива. Определить на модели значение статической ошибки δy_z , обусловленной возмущающим воздействием δz . Сделать выводы.

7. Составить модель системы с дополнительной связью по возмущающему воздействию $\delta z(t)$ согласно рис. 4.4, *б*. Передаточные функ-

ции регулятора и дополнительного звена, измеряющего возмущающее воздействие, принять равными: $W_{po}(s) = k_{po} = k_p$; $W_{pv}(s) = k_{pv}$.

6. Установить значение k_{po} , при котором система устойчива. Установить значение k_{pv} согласно (4.6). Определить на модели значение статической ошибки, обусловленной возмущающим воздействием. Сделать выводы.

7. Меняя коэффициент передачи k_{pv} в цепи дополнительной связи в ту и другую стороны от значения, рассчитанного по формуле (4.6), определить на модели значения статической ошибки, обусловленной возмущающим воздействием. Составить таблицу зависимости $\delta y_z = f(k_{pv})$. По данным таблицы построить график $\delta y_z = f(k_{pv})$. Сделать выводы.

4.5. Контрольные вопросы и задания

1. Какой объект управления называется статическим?
2. Дайте понятие статической ошибки.
3. Почему в статической САУ нельзя уменьшить статическую ошибку до сколь угодно малого значения?
3. Поясните физический смысл устранения статической ошибки при помощи интегрирующего (астатического) звена.
4. Поясните физический смысл устранения статической ошибки при помощи дополнительной связи по возмущению.
5. Влияет ли дополнительная связь по возмущению на устойчивость системы? Почему?