

Лабораторная работа № 1

ТИПОВЫЕ ЗВЕНЬЯ САУ

1. Цель работы

Исследовать динамические характеристики типовых звеньев систем автоматического управления (САУ), а также познакомиться с основными правилами структурного метода.

2. Основные сведения

Всё разнообразие линейных САУ можно, при определённых допущениях, представить в виде комбинации достаточно простых (элементарных) звеньев. Их дифференциальные уравнения (основная динамическая характеристика) имеют невысокий порядок, легко анализируются и позволяют найти все другие часто используемые характеристики: переходную функцию $h(t)$, импульсную переходную функцию $w(t)$, передаточную функцию $W(s)$, частотные характеристики (импульсную переходную функцию также обозначают символом $g(t)$).

В лабораторной работе предлагается исследовать следующие элементарные звенья: интегрирующее звено, апериодическое звено, звено второго порядка, дифференцирующее звено.

1) Интегрирующее звено, дифференциальное уравнение которого имеет вид

$$\dot{y} = ku$$

где y - выходная координата звена; u - входное воздействие; k - коэффициент передачи; передаточная функция звена имеет вид:

$$W(s) = Y(s) / U(s) = k / s,$$

где $Y(s) = L\{y(t)\}$ и $U(s) = L\{u(t)\}$ есть преобразования Лапласа для сигналов $u(t)$ и $y(t)$, полученные при нулевых начальных условиях. Применяя оператор дифференцирования $p = d / dt$, можно представить дифференциальное уравнение звена в виде $M(p)y = N(p)u$. Тогда передаточную функцию можно определить как отношение оператора входа $N(p)$ к собственному оператору звена $M(p)$, т.е. $W(p) = N(p) / M(p) = k / p$.

В пакете программ Matlab/Simulink при обозначении передаточных функций на структурных схемах используют переменную преобразования Лапласа s вместо оператора дифференцирования $p = d / dt$.

Переходная функция (ПФ) интегрирующего звена, как реакция на входное воздействие в виде единичной ступенчатой функции $u(t) = l(t)$ при

нулевых начальных условиях, может быть найдена путем интегрирования дифференциального уравнения $\dot{y} = ku$, тогда:

$$h(t) = k t I(t),$$

Импульсная переходная функция (ИПФ) является производной ПФ звена, т.е. $w(t) = \dot{h}(t)$, тогда получаем:

$$w(t) = k I(t).$$

Частотные характеристики можно получить, заменив в передаточной функции s (или p) на $j\omega$:

$$W(j\omega) - A\Phi\chi; \quad A(\omega) = \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)} - A\chi\chi$$

$$P(\omega) = \text{Re}[W(j\omega)] - B\chi\chi; \quad Q(\omega) = \text{Im}[W(j\omega)] - M\chi\chi;$$

$$\varphi(\omega) = \text{arctg}[Q(\omega)/P(\omega)] - \Phi\chi\chi.$$

Примером интегрирующего звена может служить линейризованная модель гидравлического двигателя и пневматического двигателя, схемы которых изображены на рис.1.1.

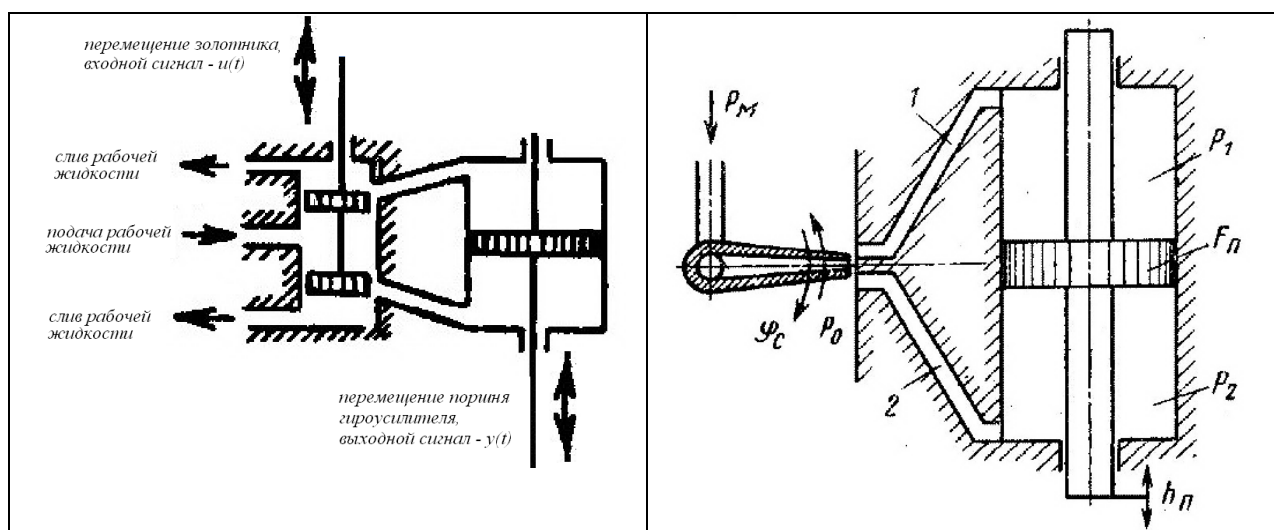


Рис.1.1. Схемы гидравлического и пневматического двигателей [1,2]

2) Аperiodическое звено описывается дифференциальным уравнением

$$T \dot{y} + y = ku$$

где T - постоянная времени, k - коэффициент передачи. Передаточная функция аperiodического звена имеет вид:

$$W(s) = \frac{k}{Ts + 1}.$$

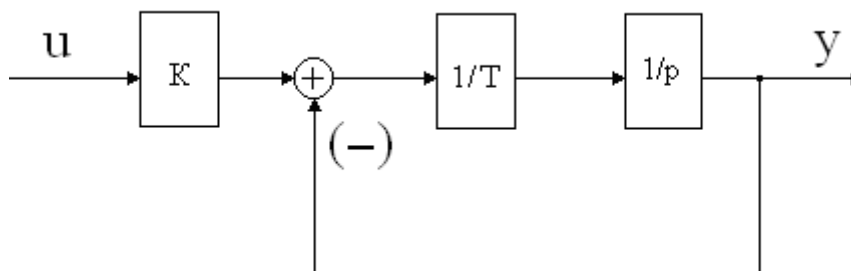


Рис.1.2. Структурная схема для реализации аperiodического звена

Примером аperiodического звена может служить линеаризованная модель турбореактивного двигателя, схема которого изображены на рис.1.3, где в качестве входного сигнала $u(t)$ рассматривается изменение подачи топлива $\Delta G_T(t)$, в качестве выходного сигнала $y(t)$ рассматривается изменение скорости вращения турбины $\Delta n(t)$.

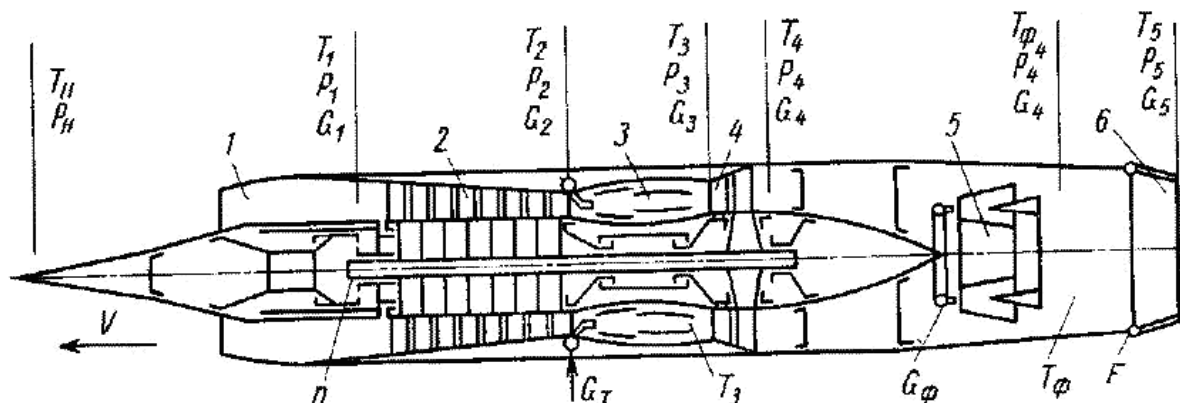


Рис.1.3. Схема турбореактивного двигателя с форсажной камерой [2], где 1 – воздухозаборник, 2 - компрессор, 3 – основная камера сгорания, 4 – турбина, 5 – форсажная камера сгорания, 6 – реактивное сопло

Вторым примером аperiodического звена может служить линеаризованная модель гидроусилителя с жесткой обратной связью, схема которого изображены на рис.1.4, где в качестве входного сигнала $u(t)$ рассматривается перемещение δz рукоятки управления, в качестве выходного сигнала $y(t)$ рассматривается перемещение δm поршня гидроусилителя.

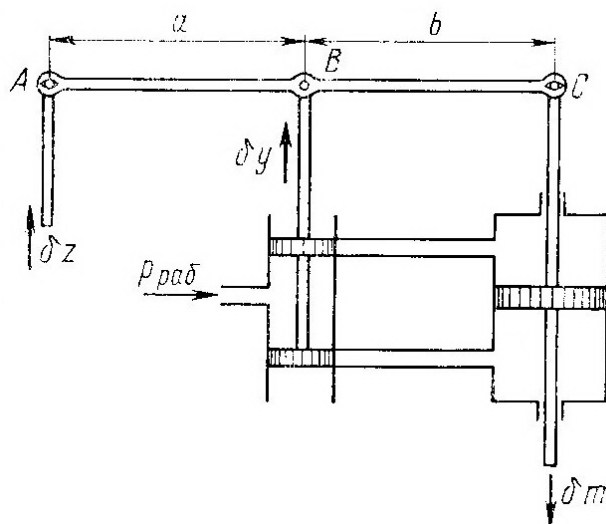


Рис.1.4. Схема гидросилителя с жесткой обратной связью [3]

3) Звено второго порядка описывается дифференциальным уравнением

$$T^2 \ddot{y} + 2dT \dot{y} + y = ku,$$

где d - коэффициент демпфирования. Передаточная функция звена имеет вид:

$$W(s) = \frac{k}{T^2 s^2 + 2dT s + 1}.$$

При $d = 0$ получаем консервативное звено, при $0 < d < 1$ получаем колебательное звено, при $d \geq 1$ получаем апериодическое звено 2-го порядка.

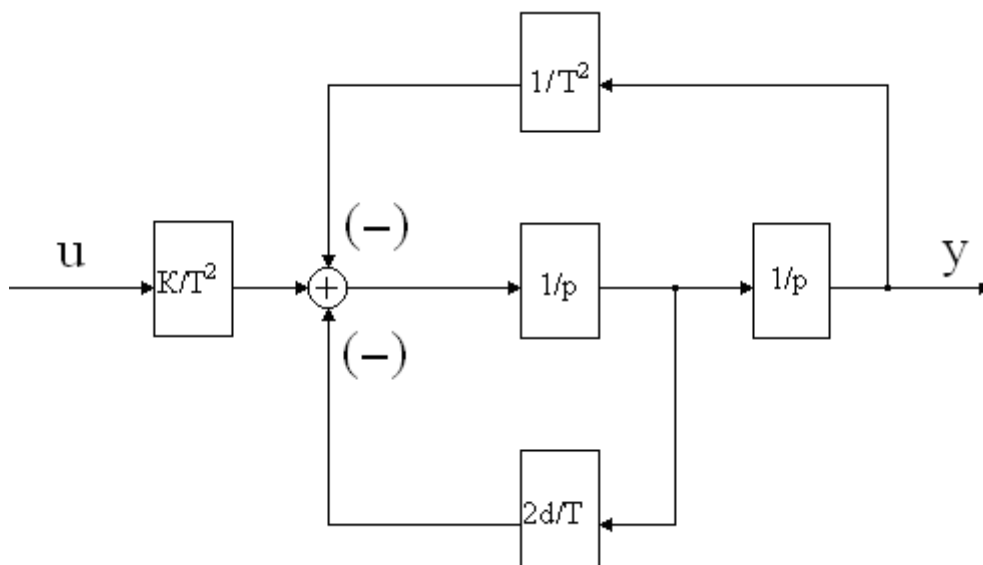


Рис.1.5. Структурная схема звена второго порядка

Примером колебательного звена может служить линеаризованная модель центробежного устройства для измерения скорости вращения вала, схема которого изображены на рис.1.6, где в качестве входного сигнала $u(t)$ рассматривается изменение скорости вращения грузов $\Delta\omega(t)$, в качестве вы-

ходного сигнала $y(t)$ рассматривается смещение управляющего рычага $\Delta x(t)$.

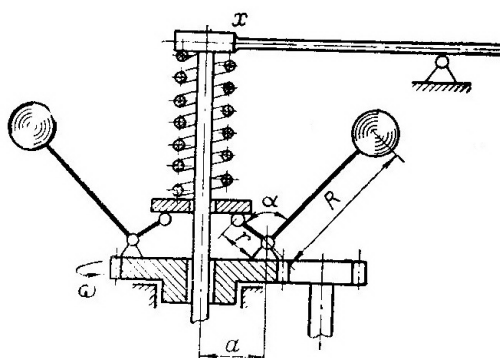


Рис.1.6. Схема центробежного устройства для измерения скорости вращения вала

4) Идеальное дифференцирующее звено описывается уравнением

$$y = k \dot{u},$$

которое не может быть реализовано на практике. Дифференциальное уравнение реального дифференцирующего звена имеет следующий вид:

$$\mu \dot{y} + y = k \dot{u}$$

а его передаточная функция:

$$W(s) = \frac{ks}{\mu s + 1}.$$

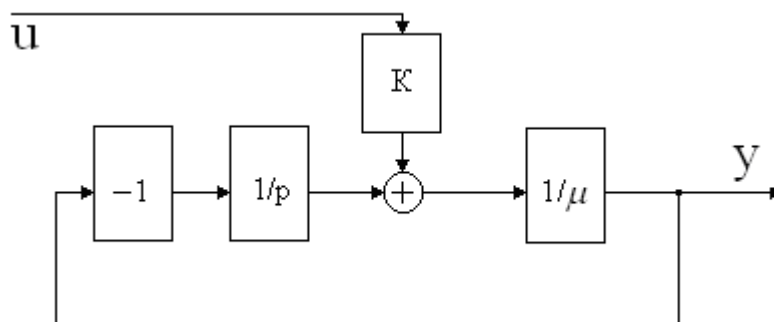


Рис.1.7. Структурная схема для реализации реального дифференцирующего звена

Примером реального дифференцирующего звена может служить линейризованная модель гидравлического дифференцирующего устройства и пневматического дифференцирующего устройства, схемы которых изображены на рис.1.8, где входной сигнал $u(t)$ есть перемещение поршня $h_{II}(t)$ и давление P , а выходным сигналом $y(t)$ является перемещение цилиндра $h_{II}(t)$ и перемещение $h(t)$, соответственно.

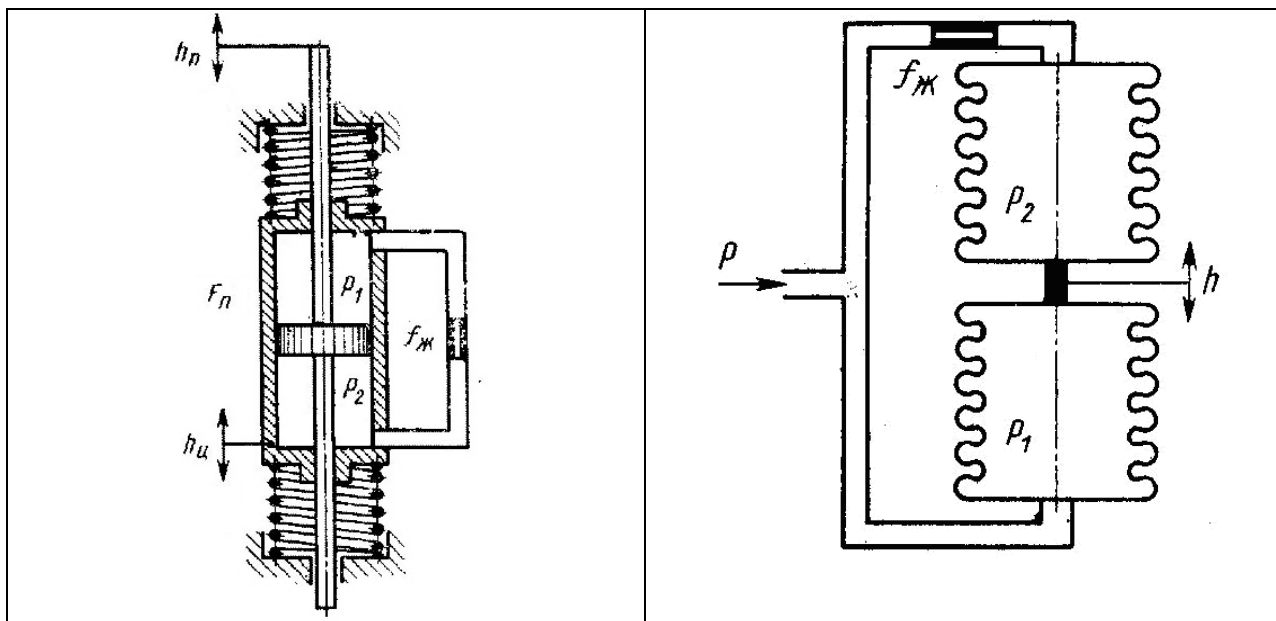


Рис.1.8. Схемы гидравлического и пневматического дифференцирующих устройств [2]

3. Методические указания

Импульсную переходную характеристику звеньев можно получить, подавая на вход “короткий” импульс большой амплитуды, площадь которого равна единице (приближение δ -функции), при нулевых начальных условиях.

В случае если пакет прикладных программ не даёт возможности расчёта частотной характеристики, можно получить её, подавая на вход звена синусоидальное воздействие заданной амплитуды и фиксируя амплитуду и фазу выходного сигнала звена в установившемся режиме (рис.1.9.).

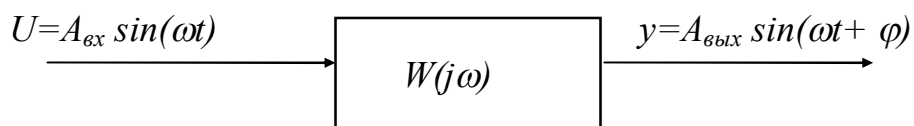


Рис.1.9. Схема эксперимента для исследования частотных характеристик элементарных звеньев

Амплитудная частотная характеристика (АЧХ) строится по точкам при фиксированных значениях частот ω_i :

$$A(\omega_i) = A_{вых}(\omega_i) / A_{ex}(\omega_i),$$

а фазовая частотная характеристика (ФЧХ) - как разница фаз выходного и входного синусоидальных сигналов в установившемся режиме.

При исследовании влияния коэффициента μ реального дифференцирующего звена на точность воспроизведения производной необходимо построить звено второго порядка на интеграторах (рис.1.5.), сигнал с выхода

которого подать на вход реального дифференцирующего звена. Сигнал на выходе реального дифференцирующего звена сравнивать с сигналом для точного значения производной, который имеется на выходе первого интегратора звена второго порядка. Сравнение выполнить при различных значениях параметра μ .

4. Порядок выполнения работы

4.1. Используя пакет прикладных программ Matlab/Simulink, исследовать свойства модели интегрирующего звена, параметры которого необходимо выбрать в табл.1.1. Получить график переходной функции, импульсной переходной функции.

4.2. На основе численного эксперимента, получить частотные характеристики интегрирующего звена (АЧХ и ФЧХ).

Таблица 1.1.

Параметр	Номер варианта								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
K	2.50	2.00	4.00	1.50	5.00	0.80	3.00	0.50	6.00
T	0.20	0.40	4.00	0.80	2.00	1.50	0.50	1.00	3.00
D	0.40	0.50	0.10	0.30	0.60	0.80	0.30	0.40	0.00
μ	0.05	0.10	0.50	0.15	0.30	0.20	0.08	0.60	0.40

4.3. Увеличивая и уменьшая k интегрирующего звена в два раза оценить его влияние на вид ПФ и ИПФ.

4.4. Повторить эксперименты п.4.1 для апериодического звена.

4.5. Изменяя последовательно k и T апериодического звена, оценить их влияние на вид ПФ.

4.6. Провести эксперименты для колебательного звена аналогично п.4.1.

4.7. Изменяя последовательно k , T , d , оценить их влияние на переходную характеристику колебательного звена.

4.8. Исследовать характеристики реального дифференцирующего звена аналогично п.4.1.

4.9. На вход реального дифференцирующего звена подать выходной сигнал колебательного звена. Сравнить выходной сигнал реального дифференцирующего звена с сигналом для точного значения производной. Оценить влияние μ на точность воспроизведения производной.

5. Содержание отчёта

5.1. Дифференциальные уравнения, передаточные функции, схемы моделирования, исследуемых звеньев.

5.2. Экспериментально полученные данные по разд.4.

5.3. Экспериментально полученные частотные характеристики интегрирующего звена.

5.4. Выводы для результатов моделирования в пунктах 4.3,4.5, 4.7, 4.9.

6. Контрольные вопросы

6.1. Построить ВЧХ, МЧХ, АЧХ, АФХ исследованного в работе колебательного звена.

6.2. Как влияют величины k, μ реального дифференцирующего звена на вид ЛАЧХ звена?

6.3. Записать выражение для переходной характеристики апериодического звена и проанализировать влияние k и T на параметры переходного процесса.

6.4. Записать передаточную функцию для системы с единичной отрицательной обратной связью с интегратором (или с апериодическим звеном) в прямой цепи.

7. Дополнительная литература

1. Добронравов О. Е., Кириленко Ю. И. Основы автоматического регулирования, автоматы и системы управления летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1965

2. Рязанов Ю.А. Проектирование систем автоматического регулирования. 2-е изд. - М.: Машиностроение, 1967.

3. Черкасов Б.А. Автоматика и регулирование воздушно-реактивных двигателей. - М.: Машиностроение, 1974.

4. Синяков А. Н., Шаймарданов Ф. А. Системы автоматического управления ЛА и их силовыми установками. Москва : Машиностроение, 1991.