

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению практических занятий
по дисциплине «Математические основы теории систем»
для студентов направления подготовки
10.03.01 «Информационная безопасность»
Направленность (профиль)
«Организация и технологии защиты информации (по отрасли или в сфере
профессиональной деятельности)»

Ставрополь
2026

СОДЕРЖАНИЕ:

Тема 1. Алгоритмы на топологических моделях. Задачи анализа топологии

Практическое занятие № 1-2 Алгоритмы на топологических моделях. Задачи анализа топологии

Тема 2. Этапы создания системы управления

Практическое занятие № 3-4 Этапы создания системы управления

Тема 3. Кибернетический подход к описанию систем

Практическое занятие № 5-6 Кибернетический подход к описанию систем

Тема 4. Методика системного анализа

Практическое занятие № 7-10 Методика системного анализа

Тема 5. Уровни представления информационных систем

Практическое занятие № 11-14 Уровни представления информационных систем

Тема 6. Закономерности систем

Практическое занятие № 15-16 Закономерности систем

Тема 7. Классификация сложных систем

Тема 8. Классификация систем

Тема 9. Основные понятия и определения

Практическое занятие № 17-18 Классификация систем

ВВЕДЕНИЕ

1. Цель и задачи освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины приобретение студентами знаний по специальным разделам математики, используемым в решении задач управления, передачи и переработки информации, и приобретения практических навыков по их использованию при описании систем различного назначения

Задачи освоения дисциплины заключаются в формировании у студентов знаний и умений в применении математического аппарата при овладении теорией автоматического управления и разработанной на ее основе методики анализа и синтеза автоматических систем

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	ИД-1 выделяет проблемную ситуацию, осуществляет ее многофакторный анализ и диагностику на основе системного подхода	выделяет проблемную ситуацию, осуществляет ее многофакторный анализ и диагностику на основе системного подхода
	ИД-3 определяет и оценивает риски возможных вариантов решений проблемной ситуации, выбирает оптимальный вариант её решения.	определяет и оценивает риски возможных вариантов решений проблемной ситуации, выбирает оптимальный вариант её решения.

ПЛАНЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Тема 1. Алгоритмы на топологических моделях. Задачи анализа топологии

Практическое занятие № 1-2

Название работы: Алгоритмы на топологических моделях. Задачи анализа топологии

1. Цель занятия

Изучение дискретизации случайных сигналов, вычисление шага РВД, исследование погрешности дискретизации.

Формируемые компетенции: УК-1.

2. Подготовка к занятию

1. Изучить (повторить) теоретический материал.
2. Ознакомиться с заданием на практическое занятие.
3. Ответить на контрольные вопросы.

3. Распределение времени занятия:

Всего: 180 мин

Вступительная часть 2 мин

Проверка готовности студентов к занятию 5 мин

Программа практического занятия

1. Сведения о дискретизации математических моделей 35 мин
 2. Решение типовых задач 35 мин
- Проверка выполнения практического занятия 10 мин
- Заключительная часть 3 мин

4. Правила работы в лаборатории

К работе в лаборатории допускаются лица, изучившие правила и меры безопасности, сдавшие зачет по ним и усвоившие порядок выполнения практического занятия.

5. Основные теоретические сведения

В качестве математической модели сигнала в этом случае рассматривается стационарная случайная функция времени, характеристики которой [математическое ожидание m_x , дисперсия D_x и функция автокорреляции $R_x(\tau)$] являются известными. Погрешность дискретизации обычно оценивается среднеквадратичным критерием приближения. Однако в принципе возможно применение критерия равномерного приближения. Для воспроизведения сигнала применяется полином Тейлора или Лагранжа.

Основные формулы для расчета шага РВД при среднеквадратичном критерии приближения приведены в табл.4.2.

Таблица 4.2

Полином	Степень n	Уравнение для расчета шага РВД
Тейлора	0	$R_x(\Delta t) = R_x(0) - \frac{\sigma_x^2}{2}$
	1	$\sigma_x^2 = 2R_x(0) - 2R_x(\Delta t) + \Delta t^2 R_{xx'}(0) - 2\Delta t R_{xx'}(\Delta t)$
Лагранжа	0	$R_x\left(\frac{\Delta t}{2}\right) = R_x(0) - \frac{\sigma_x^2}{2}$
	1	$\sigma_x^2 = 1.5R_x(0) + 0.5R_x(\Delta t) - 2R_x(\Delta t/2)$

В табл.4.2 приняты обозначения:

$R_x(\Delta t)$ – автокорреляционная функция сигнала при $\tau = \Delta t$;

$R_{x'}(0)$ – автокорреляционная функция 1-й производной сигнала при $\tau = 0$;

$R_{xx'}(\Delta t)$ – взаимная корреляционная функция сигнала и его 1-й производной при $\tau = \Delta t$.

Для стационарного дифференцируемого процесса автокорреляционная функция к-й производной будет

$$R_{x^{(k)}}(\tau) = (-1)^k \frac{d^{2k} R_x(\tau)}{d\tau^{2k}}, \quad (4.8)$$

а взаимная корреляционная функция сигнала и его 1-ой производной

$$R_{xx'}(\tau) = \frac{dR_x(\tau)}{d\tau}. \quad (4.9)$$

Для стационарного процесса возможен также выбор шага РВД по его частотным характеристикам. В этом случае используется критерий среднеквадратичного приближения и случайный сигнал воспроизводится функциями отсчетов, т.е. полиномом Котельникова.

Для применения теоремы Котельникова необходимо ограничить энергетический спектр частотой ω_c , отбросив высокочастотную часть спектра при условии обеспечения допустимой погрешности дискретизации (точнее аппроксимации). Тогда условие выбора частоты среза ω_c энергетического спектра будет

$$P_{\text{отб}} = \frac{1}{\pi} \int_{\omega_c}^{\infty} S(\omega) d\omega \leq \sigma_x^2. \quad (4.10)$$

Пример 1.

Стационарный случайный процесс $X(t)$ с параметрами $\sigma = 0.5 \text{ volt}$ и $\alpha := 0.5 \text{ sec}^{-1}$ характеризуется корреляционной функцией

$$R(\tau) := \sigma^2 \cdot \exp(-\alpha \cdot |\tau|).$$

Найти шаг временной дискретизации реализации случайного процесса при допустимой погрешности среднеквадратичного приближения

$\sigma = 0.2 \text{ volt}$ и восстановлении сигнала полиномом Лагранжа первой степени.

Решение.

Дисперсия $Dx := R(0 \text{ sec})$, т.е. $Dx := \sigma^2$. Для нахождения шага РВД при ЛИ решаем уравнение (см. табл.4.2)

$$1.5 \cdot \sigma^2 - 2 \cdot \left(\sigma^2 \cdot \exp \left(-\alpha \cdot \frac{\Delta t_{\text{ли}}}{2} \right) \right) + 0.5 \cdot \left(\sigma^2 \cdot \exp \left(-\alpha \cdot \Delta t_{\text{ли}} \right) \right) = \sigma_0^2.$$

Решение уравнения в символьическом виде дает его корни

$$\Delta t_1 := -2 \cdot \frac{\ln \left[\frac{.5}{\sigma^2} \left(4 \cdot \sigma^2 + 2 \cdot \sigma \cdot \sqrt{\sigma^2 + 2 \cdot \sigma_0^2} \right) \right]}{\alpha};$$

$$\Delta t_2 := -2 \cdot \frac{\ln \left[\frac{.5}{\sigma^2} \left(4 \cdot \sigma^2 - 2 \cdot \sigma \cdot \sqrt{\sigma^2 + 2 \cdot \sigma_0^2} \right) \right]}{\alpha}.$$

Численное значение корней будет

$$\Delta t_1 = -4.588 \text{ sec} ; \Delta t_2 = 0.645 \text{ sec}$$

Так как шаг РВД есть положительная величина, то окончательно имеем

$$\Delta t_{\text{ли}} := \Delta t_2 \text{ или } \Delta t_{\text{ли}} := -2 \cdot \frac{\ln \left[\frac{.5}{\sigma^2} \left(4 \cdot \sigma^2 - 2 \cdot \sigma \cdot \sqrt{\sigma^2 + 2 \cdot \sigma_0^2} \right) \right]}{\alpha}.$$

Пример 2.

Стационарный нормальный случайный процесс $X(t)$ с параметрами $\sigma := 2 \text{ volt}$ и $\alpha := 0.5 \text{ sec}^{-2}$ характеризуется корреляционной функцией

$$R(\tau) := \sigma^2 \cdot \exp(-\alpha \cdot \tau^2).$$

Найти шаг временной дискретизации реализации случайного процесса при допустимой погрешности равномерного приближения $\delta_0 := 0.1 \text{ volt}$ и восстановлении сигнала способом линейной экстраполяции (ЛЭ).

Решение. Согласно табл.4.1, при равномерном приближении и ЛЭ для расчета шага РВД необходимо знать значение модуль-максимума 2-й производной случайного сигнала. С этой целью сначала найдем корреляционную функцию дважды дифференцированного случайного процесса $X(t)$. На основании (4.8) можно получить

$$R_{x2}(\tau) := (-1)^2 \cdot \frac{d^4}{d\tau^4} \sigma^2 \cdot \exp(-\alpha \cdot \tau^2);$$

$$R_{x2}(\tau) := 4 \cdot \sigma^2 \cdot \alpha^2 \cdot \exp(-\alpha \cdot \tau^2) \cdot (3 - 12 \cdot \alpha \cdot \tau^2 + 4 \cdot \alpha^2 \cdot \tau^4).$$

Отсюда следует дисперсия 2-й производной случайного сигнала

assume $\alpha, \sigma, \alpha > 0$

$$D_{x2} := R_{x2}(0 \text{ sec}) \Rightarrow 12 \cdot \sigma^2 \cdot \alpha^2.$$

Для оценки модуль-максимума 2-й производной воспользуемся критерием "трех сигм", где $\sigma_{x2} := \sqrt{D_{x2}}$. Тогда имеем

$$M_2 := 3 \cdot \sigma_{x2} \text{ или } M_2 := 3 \cdot \sigma \cdot \alpha \cdot \sqrt{12}, M_2 = 10.392 \cdot \text{sec}^{-2} \cdot \text{volt}.$$

При этом вероятность превышения случайным нормальным процессом полученного значения 2-й производной составит

assume σ_{x2}, M_2

$$P := 1 - 2 \cdot \int_0^{M_2} \frac{1}{\sigma_{x2} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(-\frac{x2^2}{2 \cdot \sigma_{x2}^2}\right) dx2 \rightarrow 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{M_2}{\sigma_{x2}}\right).$$

$$P := 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{M_2}{\sigma_{x2}}\right), P = 0.003$$

Таким образом,

На основании формулы из табл.4.1 при равномерном приближении и ЛЭ шаг РВД будет

assume δ_0, σ, α

$$\Delta t_{\text{лэ}} := \sqrt{\frac{2 \cdot \delta_0}{M_2}} \rightarrow \frac{1}{3} \cdot \frac{\sqrt{\delta_0}}{(\sqrt{\sigma} \cdot \sqrt{\alpha})} \cdot 3^{\left(\frac{1}{4}\right)}.$$

Следовательно, в случае равномерного приближения и линейной экстраполяции при вероятности превышения заданной допустимой погрешности $P = 0.003$ шаг РВД

$$\Delta t_{\text{лэ}} := \frac{1}{3} \cdot \frac{\sqrt{\delta_0}}{(\sqrt{\sigma} \cdot \sqrt{\alpha})} \cdot 3^{\left(\frac{1}{4}\right)} \text{ и составляет } \Delta t_{\text{лэ}} = 0.139 \cdot \text{sec}.$$

Типовые задачи

Задача 1. Решить пример 1 при условии восстановления реализации сигнала полиномом Тейлора нулевой степени.

Ответ. Шаг РВД при СЭ

$$\Delta t_{\text{сэ}} := \frac{-\ln\left[\frac{1}{2} \cdot \frac{(2 \cdot \sigma^2 - \sigma_0^2)}{\sigma^2}\right]}{\alpha}, \Delta t_{\text{сэ}} = 0.167 \cdot \text{sec}.$$

Задача 2. Решить пример 1 при условии восстановления реализации сигнала функциями отсчетов.

Ответ. Частота среза спектра мощности случайного сигнала

$$\omega_c := \tan\left[\frac{\pi}{2} \cdot \frac{(\sigma^2 - \sigma_0^2)}{\sigma^2}\right] \cdot \alpha.$$

$$\text{Шаг РВД } \Delta t := \frac{\pi}{\alpha} \cdot \cot\left[\frac{\pi}{2} \cdot \frac{(\sigma^2 - \sigma_0^2)}{\sigma^2}\right] \text{ и составит } \Delta t = 1.613 \cdot \text{sec}.$$

Задача 3. Решить пример 1 при условии восстановления реализации сигнала полиномом Тейлора первой степени.

Ответ. Так как

$$\frac{d}{d\tau} |\tau| = \frac{|\tau|}{\tau} = \text{signum}(\tau) \text{ и } \frac{d^2}{d\tau^2} |\tau| = \frac{d}{d\tau} \text{signum}(\tau) = 2 \cdot \text{Dirac}(\tau),$$

то корреляционная функция 1-й производной случайного сигнала

$$R_{x1}(\tau) := \sigma^2 \cdot \alpha \cdot e^{-\alpha \cdot |\tau|} \cdot (2 \cdot \text{Dirac}(\tau) - \alpha \cdot \text{signum}(\tau)^2).$$

Отсюда следует, что дисперсия 1-й производной равна бесконечности. Это значит, что заданный случайный процесс является недифференцируемым. Поэтому для случая ЛЭ не представляется возможным найти шаг РВД.

Задача 4. Решить пример 2 при условии восстановления реализации сигнала полиномом Лагранжа нулевой степени.

Ответ. Шаг РВД

$$\Delta t_{\text{сн}} := \frac{1}{3} \cdot \delta_0 \cdot \frac{\sqrt{2}}{(\sigma \cdot \sqrt{\alpha})}, \Delta t_{\text{сн}} = 0.033 \cdot \text{sec}.$$

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме.

Основная: 1-2

Дополнительная: 1-4

Методическая: 1-2

Интернет-ресурсы: 1

Программное обеспечение: 1-2

Тема 2. Этапы создания системы управления

Практическое занятие № 3-4

Название работы: Этапы создания системы управления

1. Цель занятия

Изучение операторно-структурных схем линейных систем их построение и преобразование.

Формируемые компетенции: УК-1.

2. Подготовка к занятию

1. Изучить (повторить) теоретический материал.
2. Ознакомиться с заданием на практическое занятие.
3. Ответить на контрольные вопросы.

3. Распределение времени занятия:

Всего: 180 мин

Вступительная часть 2 мин

Проверка готовности студентов к занятию 5 мин

Программа практического занятия

1. Преобразование последовательно соединенных звеньев 35 мин
 2. Правила переноса узла разветвления сигнала 35 мин
- Проверка выполнения практического занятия 10 мин
Заключительная часть 3 мин

4. Правила работы в лаборатории

К работе в лаборатории допускаются лица, изучившие правила и меры безопасности, сдавшие зачет по ним и усвоившие порядок выполнения практического занятия.

5. Основные теоретические сведения

Изображение САУ в виде совокупности однонаправленных типовых звеньев с указанием связей между ними и внешней средой называется структурной схемой САУ (точнее, *алгоритмической структурной схемой* или просто *структурой* САУ), которая является графической интерпретацией описания математической модели САУ операторными функциями передачи (ОФП). Данный способ составляет сущность структурного метода представления, расчетов и исследования САУ различной физической природы, который дает наглядное представление о взаимосвязи элементов, звеньев и частей САУ и позволяет оценивать основные свойства переходных и установившихся процессов в САУ [1, 2, 6].

На структурных схемах САУ (рис. 1.4.1) каждое звено обозначается прямоугольником, в котором записывается ОФП звена или её обозначение. Входные воздействия обозначаются стрелками, направленными в звено, выходные величины — стрелками, направленными из звена. Сумматоры обозначаются кружком, в который направлены стрелки суммируемых величин (вычитаемые величины обозначаются с минусом около стрелки), а результирующая величина обозначается стрелкой, выходящей из кружка. В однонаправленных звеньях отсутствует влияние выходной величины на входное воздействие. Устройства САУ, в которых имеется обратная связь, представляются в структурной схеме контуром с обратной связью. Например, на рис. 1.4.1 контур с обратной связью состоит из звена $W_2(p)$ прямой связи, звена $W_5(p)$ отрицательной обратной связи и сумматора, в котором сигнал $x_8(p)$ отрицательной обратной связи уменьшает входное воздействие $x_3(p)$ на звено $W_2(p)$ до значения $x_4(p)$. Структурная схема составляется по функциональной схеме САУ с учётом математического описания процессов управления, происходящих в звеньях САУ.

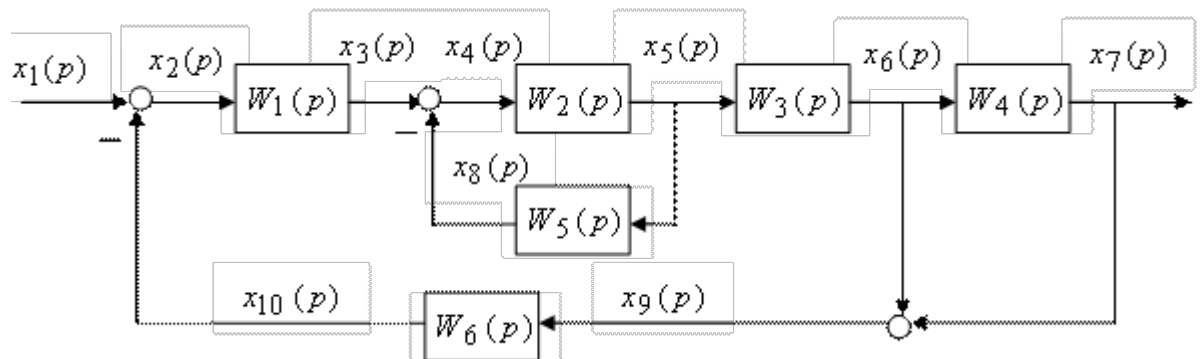
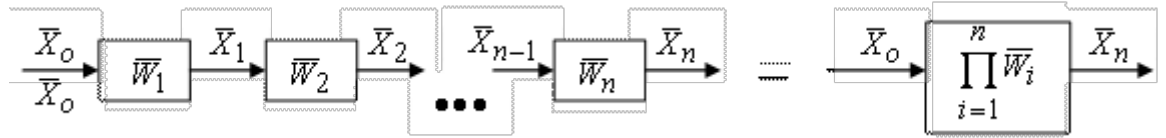


Рис. 1.3.1 — Структурная схема САУ

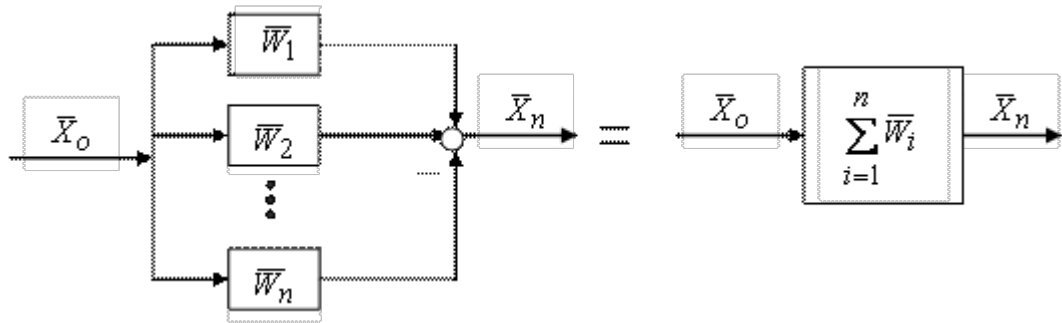
Используются следующие *основные правила эквивалентных преобразований структурных схем* без изменений ОФП САУ.

1. Преобразование последовательно соединенных звеньев:



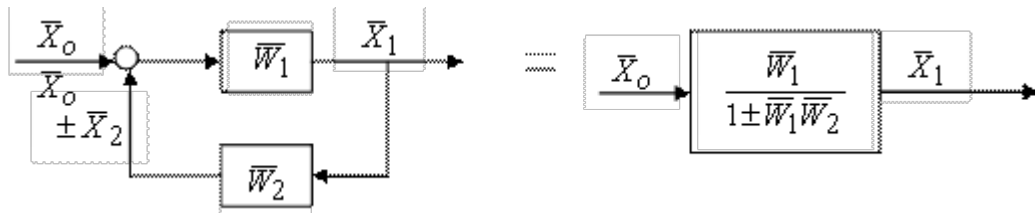
$$\bar{X}_n = (\bar{W}_1 \cdot \bar{W}_2 \dots \bar{W}_n) \bar{X}_0 = \left(\prod_{i=1}^n \bar{W}_i \right) \bar{X}_0. \quad (1.4.1)$$

2. Преобразование параллельно соединенных звеньев:



$$\bar{X}_n = (\bar{W}_1 + \bar{W}_2 \dots + \bar{W}_n) \bar{X}_0 = \left(\sum_{i=1}^n \bar{W}_i \right) \bar{X}_0. \quad (1.4.2)$$

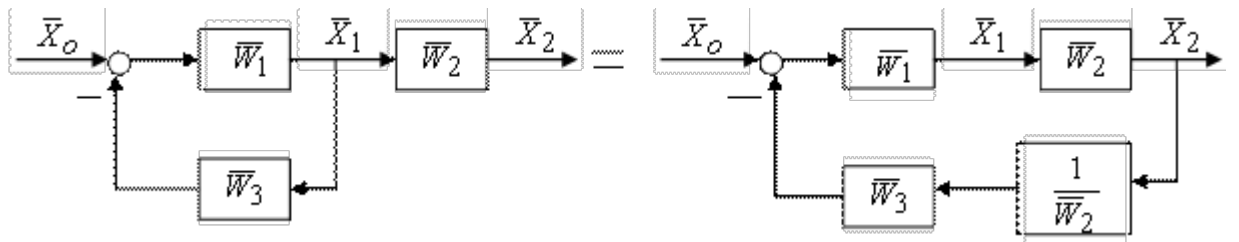
3. Правило преобразования контура с обратной связью:



$$\bar{X}_1 = \bar{W}_1 (\bar{X}_0 \pm \bar{X}_2) = \bar{W}_1 \bar{X}_0 \pm \bar{W}_1 \bar{W}_2 \bar{X}_1; \quad \bar{X}_1 = \frac{\bar{W}_1}{1 \mp \bar{W}_1 \bar{W}_2} \bar{X}_0. \quad (1.4.3)$$

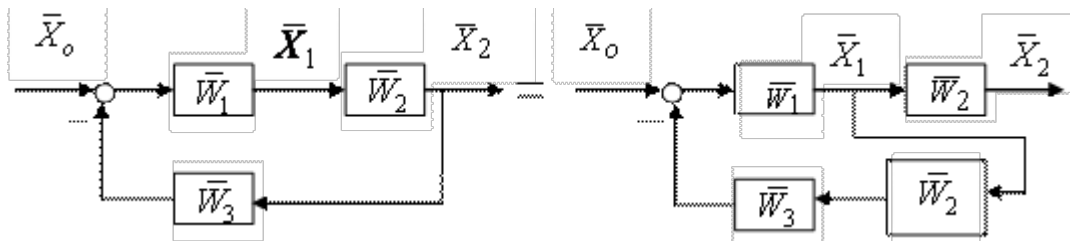
4. Правила переноса узла разветвления сигнала:

а) по направлению распространения сигналов:



$$\bar{X}_2 = \bar{W}_2 \frac{\bar{W}_1}{1 + \bar{W}_3 \bar{W}_1} \bar{X}_0; \quad \bar{X}_2 = \frac{\bar{W}_1 \bar{W}_2 \bar{X}_0}{1 + \bar{W}_3 \frac{1}{\bar{W}_2} \bar{W}_1 \bar{W}_2} = \frac{\bar{W}_1 \bar{W}_2 \bar{X}_0}{1 + \bar{W}_3 \bar{W}_1}. \quad (1.4.4)$$

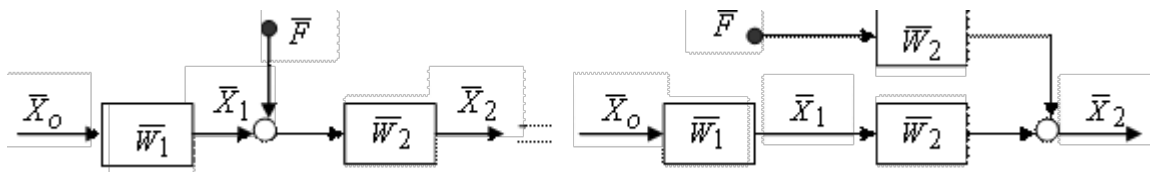
б) против направления распространения сигналов:



$$\bar{X}_2 = \frac{\bar{W}_1 \bar{W}_2}{1 + \bar{W}_1 \bar{W}_2 \bar{W}_3} \bar{X}_0; \quad \bar{X}_2 = \bar{W}_2 \frac{\bar{W}_1}{1 + \bar{W}_1 \bar{W}_2 \bar{W}_3} \bar{X}_0. \quad (1.4.5)$$

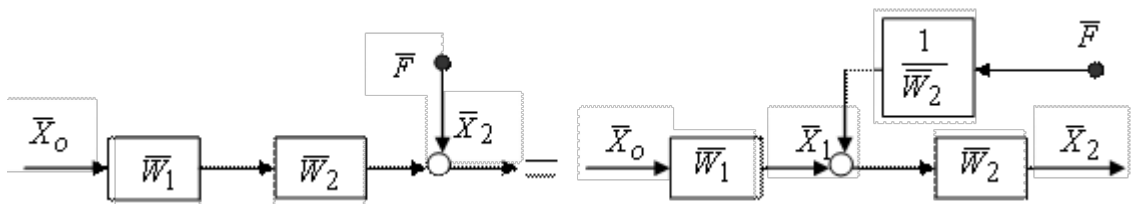
5. Правила переноса сумматора сигналов:

а) по направлению распространения сигналов:



$$\bar{X}_2 = \bar{W}_2 (\bar{F} + \bar{W}_1 \bar{X}_0); \quad \bar{X}_2 = \bar{W}_2 \bar{F} + \bar{W}_2 \bar{W}_1 \bar{X}_0; \quad (1.4.6)$$

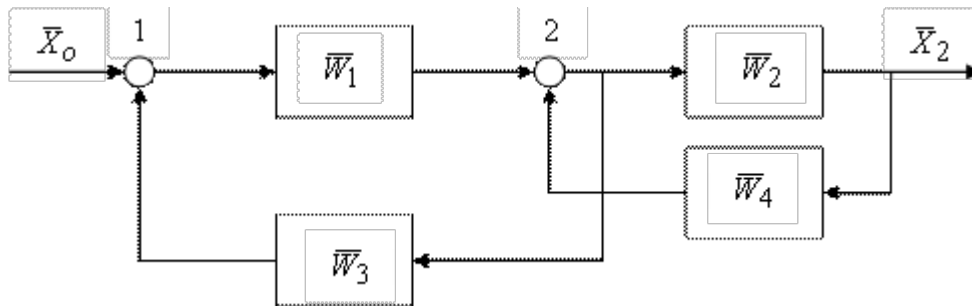
б) против направления распространения сигналов:



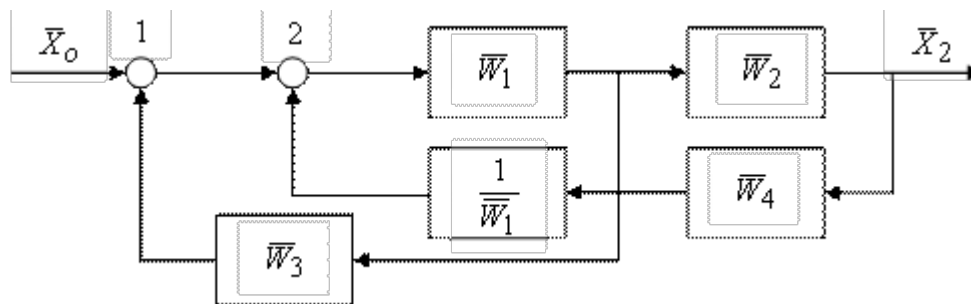
$$\bar{X}_2 = \bar{F} + \bar{W}_1 \bar{W}_2 \bar{X}_0; \quad \bar{X}_2 = \bar{W}_2 \left(\frac{1}{\bar{W}_2} \bar{F} + \bar{W}_1 \bar{X}_0 \right). \quad (1.4.7)$$

6. Правила перестановка сумматоров в структурных схемах с перекрещивающимися обратными связями для выделения явно выраженных замкнутых контуров управления.

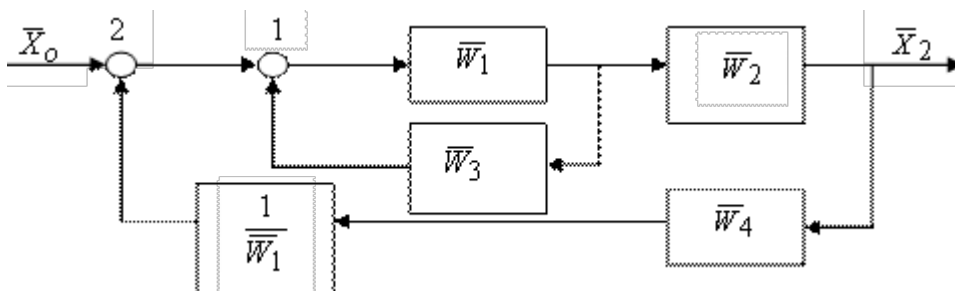
Перестановка сумматоров выполняется в два этапа. Например, в структурной схеме:



2.1.104 а) на первом этапе преобразования сумматоры совмещают в ближайшем к входу канале по правилу 5,б:



б) на втором этапе преобразования сумматоры переставляют местами в совмещенном канале так, чтобы образовались явно выраженные замкнутые контуры с обратной связью, которые преобразуются по правилу 3:



Пример 1.4.1. Для упрощения расчётов САУ применяют эквивалентные преобразования их структурных схем с заменой нетиповых элементов на типовые элементы, имеющие типовые временные и частотные характеристики. Например, ОФП двигателя постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов имеет не типовой вид

$$W(p) = \frac{\Omega(p)}{G(p)} = \frac{1/c_e}{T_M T_J p^2 + T_M p + 1},$$

где $\Omega(p)$ — выходная управляемая величина скорости двигателя; $G(p)$ —

$$T_M = \frac{(J_{\partial\partial} + J_{\text{раб. мех}})R_{\text{я}}}{c_e c_M} \quad \text{—}$$

задающее воздействие; $1/c_e$ — коэффициент передачи;

электрохимическая постоянная времени двигателя; $T_{\text{я}} = L_{\text{я}} / R_{\text{я}}$ — электромагнитная постоянная времени цепи якоря двигателя.

Заменим не типовую ОФП двигателя идентичной эквивалентной типовой расчетной ОФП с тем же коэффициентом передачи $1/c_e$ с двумя последовательно

$$W_{\text{э}} = \frac{1/c_e}{(1 + pT_1)(1 + pT_2)}.$$

соединенными апериодическими звеньями, с ОФП При равенстве числителей идентичность эквивалентной замены определяется равенством их

знаменателей $T_M T_{\text{я}} p^2 + T_M p + 1 = T_1 T_2 p^2 + (T_1 + T_2)p + 1$, что требует равенства

$$\begin{cases} T_M T_{\text{я}} = T_1 T_2; \\ T_M = T_1 + T_2. \end{cases}$$

коэффициентов T_2 из второго уравнения и подставив его значение в первое уравнение, получим квадратичное уравнение

$$T_1^2 - T_M T_1 + T_M T_{\text{я}} = 0, \quad \text{получим два решения} \quad T_{1,2} = T_M / 2 \pm \sqrt{(T_M / 2)^2 - T_M T_{\text{я}}}.$$

Полученные значения T_1 и T_2 являются постоянными времени двух апериодических звеньев эквивалентной расчетной передаточной функции, которая обеспечивает полную идентичность временных и частотных характеристик двигателя.

Аналогично можно преобразовать структурную схему любой САУ при соблюдении условий эквивалентности преобразований.

Контрольные вопросы

1. Как составляются алгоритмические структурные схемы САУ?
2. Какова основа эквивалентных преобразований структурных схем САУ?
3. Запишите ОФП последовательно соединенных звеньев.
4. Запишите ОФП параллельно соединенных звеньев.
5. Запишите ОФП контура с обратной связью.
6. Запишите условия эквивалентного переноса сумматора по направлению распространения сигналов в САУ.
7. Запишите условия эквивалентного переноса сумматора против направления распространения сигналов в САУ.
8. Как преобразуют структурные схемы САУ с перекрещивающимися обратными связями?
9. Как преобразуются нетиповые структурные схемы САУ в эквивалентные расчетные структурные схемы с сохранением всех временных и частотных характеристик САУ?

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме.

Основная: 1-2

Дополнительная: 1-4

Методическая: 1-2

Интернет-ресурсы: 1

Тема 3. Кибернетический подход к описанию систем

Практическое занятие № 5-6

Название работы: Кибернетический подход к описанию систем

1. Цель занятия

Исследование комплексной частотной характеристики системы, расчет фазочастотной характеристики.

Формируемые компетенции: УК-1.

2. Подготовка к занятию

1. Изучить (повторить) теоретический материал.
2. Ознакомиться с заданием на практическое занятие.
3. Ответить на контрольные вопросы.

3. Распределение времени занятия:

Всего: 180 мин

Вступительная часть 2 мин

Проверка готовности студентов к занятию 5 мин

Программа практического занятия

1. Сведения о частотных характеристиках 35 мин

2. Решение типовых задач 35 мин

Проверка выполнения практического занятия 10 мин

Заключительная часть 3 мин

4. Правила работы в лаборатории

К работе в лаборатории допускаются лица, изучившие правила и меры безопасности, сдавшие зачет по ним и усвоившие порядок выполнения практического занятия.

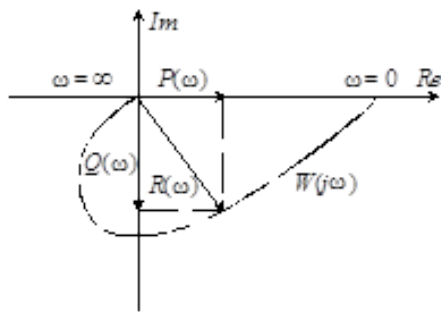
5. Основные теоретические сведения

Частотные характеристики элементов и систем представляют собой зависимость параметров установившихся реакций на гармонические сигналы всех частот и единичных амплитуд. В линейных системах форма и частота установившейся реакции совпадают с входом. Комплексная частотная характеристика $W(j\omega)$ дает возможность определить амплитуду $R(\omega)$ и фазу $\varphi(\omega)$ гармонического сигнала на выходе системы по значению частоты:

$$\begin{aligned} W(j\omega) &= R(\omega)e^{j\varphi(\omega)} = \\ &= P(\omega) + jQ(\omega). \end{aligned} \quad (6)$$

где $R(\omega) = \text{mod } W(j\omega)$ и $\varphi(\omega) = \arg W(j\omega)$ – амплитудная и фазовая частотные

характеристики; $P(\omega) = \operatorname{Re} W(j\omega)$, и $Q(\omega) = \operatorname{Im} W(j\omega)$ – вещественная и мнимая частотные характеристики.



На рис.5. изображен пример годографа $W(j\omega)$, называемого *амплитудно-фазовой характеристикой* (АФХ). Реальные объекты с повышением частоты хуже пропускают сигналы – ослабляют амплитуду и вносят отрицательный фазовый сдвиг.

Амплитудно-частотные характеристики удобно представлять в логарифмическом масштабе: $L(\omega) = 20 \lg R(\omega)$. Если частота изменяется в логарифмическом масштабе, то логарифмические амплитудно-частотные характеристики (ЛАЧХ) во многих практически важных случаях мало отличаются от прямолинейных асимптот с наклонами, кратными 20 дБ/дек. На рис.6 приведен примерный вид асимптотической ЛАЧХ; штриховая кривая – точная ЛАЧХ. Там же указаны наклоны асимптот в децибелах на декаду.

Хотя за основу задания динамических свойств систем может быть принята любая из форм представления операторов, для конкретных исследований та или иная форма оказывается более рациональной и возникает необходимость перехода от одной формы к другой. Многие задачи анализа связаны с преобразованием формы представления оператора. В ряде случаев эта процедура составляет наиболее трудоемкий этап анализа – построение частной модели, т.е. приведение к форме, позволяющей непосредственно вычислить показатели качества и вывести суждение о соответствии поведения системы заданным требованиям (например, построение временных или частотных характеристик системы управления).

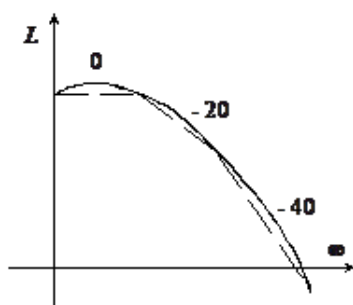


Рис.6. Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика

Наиболее прост формальный переход путем замены оператора дифференцирования $p \equiv d/dt$ на комплексный аргумент s от дифференциального уравнения (2) к передаточной функции (3) и обратно. Осуществляя переход к передаточным функциям, следует избегать сокращения общих делителей полиномов числителей и знаменателей, т.е. диполей рациональных функций. Такое сокращение приводит к потере части собственных

составляющих движения при ненулевых предначальных условиях (составляющих свободных движений).

Частотные характеристики (6) – амплитудную $R(\omega)$ и фазовую $\varphi(\omega)$ можно получать экспериментальным путем, если удастся подавать на вход устойчивого объекта гармонические воздействия различных частот из диапазона существенного для выявления требуемых свойств объекта. Статистические методы непараметрической идентификации (спектральный анализ) позволяют оценить значения частотных характеристик путем обработки временных последовательностей на входе и выходе объекта.

Частотные характеристики можно получить по временным характеристикам с помощью преобразования Фурье.

В том случае, когда исходная информация об объекте представлена в форме дифференциального уравнения (1), частотные характеристики строят расчетным путем.

Рассмотрим переходы от дифференциального уравнения n -порядка (1) и передаточной функции (3) к частотным характеристикам.

Установившиеся реакции линейной системы на гармоническое воздействие единичной амплитуды $f(t) = \exp\{j\omega t\} = \cos\omega t + j\sin\omega t$ соответствуют частному решению неоднородного дифференциального уравнения (2). Будем искать частное решение:

$$y(t) = R(\omega) \exp\{j(\omega t + \varphi(\omega))\},$$

где $R(\omega)$, $\varphi(\omega)$ – амплитуда и фаза, в общем случае зависящие от частоты.

Учтем, что

$$p f(t) = \frac{d}{dt} e^{j\omega t} = (j\omega) e^{j\omega t}, \quad p^2 f(t) = \frac{d^2}{dt^2} e^{j\omega t} = (j\omega)^2 e^{j\omega t};$$

$$p y(t) = R(\omega) e^{j\varphi(\omega)} (j\omega) e^{j\omega t}, \quad p^2 y(t) = R(\omega) e^{j\varphi(\omega)} (j\omega)^2 e^{j\omega t}.$$

Подставим эти соотношения в неоднородное дифференциальное уравнение (2), записанное в операторной форме,

$$A(j\omega) R(\omega) e^{j\varphi(\omega)} e^{j\omega t} = B(j\omega) e^{j\omega t}.$$

После деления обеих частей на $\exp\{j\omega t\}$ можно записать:

$$R(\omega) e^{j\varphi(\omega)} = \frac{B(j\omega)}{A(j\omega)} = W(j\omega).$$

Таким образом, амплитудно-частотная характеристика находится как модуль

$$R(\omega) = \text{mod } W(j\omega),$$

а фазовая частотная характеристика – как аргумент

$$\varphi(\omega) = \arg W(j\omega)$$

комплексной частотной характеристики $W(j\omega)$.

Одновременно получаем переход от передаточной функции к частотным характеристикам. Комплексная частотная характеристика получается заменой аргумента передаточной функции s на $j\omega$:

$$W(s) \Big|_{s=j\omega} = W(j\omega) = R(\omega) e^{j\varphi(\omega)}; \quad \omega \geq 0.$$

В общем случае s может принимать значения на любом контуре комплексной

плоскости.

Вычисление значений частотных характеристик для конкретного $s = j\omega$ (а в общем случае $s = a + j\omega$) сводится к вычислению значений полиномов $B(s)$ и $A(s)$ с последующим делением полученных комплексных чисел. При этом получаются значения вещественной $P(\omega)$ и мнимой $Q(\omega)$ частотных характеристик. Значение амплитудной частотной характеристики вычисляется как

$$R(\omega) = \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)}.$$

Трудности возникают при расчете значений фазочастотной характеристики по формуле

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{Q(\omega)}{P(\omega)} + k\pi; \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (15)$$

Значения $j(\omega)$ получаются на интервале $(-p, p)$, поэтому в случае систем высокого порядка для определения истинных значений фазовых сдвигов принимается предположение о том, что в пределах выбранного шага частот $j(\omega)$ не изменяется на $\pm p$, т.е. корни полиномов $B(s)$ и $A(s)$ располагаются достаточно далеко от мнимой оси.

Соотношение (15) не определяет аргумент $j(\omega)$ комплексного числа $W(j\omega)$, так как ему вместе с j удовлетворяет и $j + p$. Однако из-за непрерывности фазовой характеристики $j(\omega)$, принимающей отличные от нуля значения, она однозначно характеризуется текущим $\text{tg}j(\omega) = Q(\omega)/P(\omega)$, $\omega_{\min} < \omega < \omega_{\max}$ и начальным $j(\omega_0)$; $\omega_{\min} < \omega < \omega_{\max}$ значениями. На этом свойстве непрерывности фазовой характеристики можно получить алгоритм построения частотных характеристик, если истинное значение $j(\omega_0)$ лежит в пределах $(-p, p)$.

Пример:

Определить круговую частоту ω , с которой устройство САУ, состоящее из последовательно включенных двух апериодических и одного идеального интегрирующего звеньев, дает заданный сдвиг по фазе между входным и выходным сигналами. При этом следует определить амплитуду выходного сигнала Y_m на данной частоте, если известна амплитуда входного X_m .

Передающая функция заданной САУ имеет вид:

$$W(p) = \frac{2}{(0,5p+1)(0,05p+1)p}$$

Максимум входного сигнала и заданный фазовый сдвиг:

$$X_m = 5;$$

$$\varphi = -140^\circ.$$

Решение

По заданной передаточной функции САУ найдем вид комплексной частотной передаточной функции подстановкой аргумента $p = j\omega$:

$$W(j\omega) = \frac{2}{(1+j0,5\omega)(1+j0,05\omega)j\omega} = H(\omega)e^{j\varphi(\omega)},$$

где выражение АЧХ:

$$H(\omega) = \frac{2}{\sqrt{1+(0,5\omega)^2} \cdot \sqrt{1+(0,05\omega)^2} \cdot \omega}$$

а выражение ФЧХ:

$$\varphi(\omega) = -\frac{\pi}{2} - \arctan 0,5\omega - \arctan 0,05\omega$$

Таблица расчетных значений фазы для диапазона частот 1÷10 с-1:

ω, с-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
φ(ω), рад	-2,084	-2,456	-2,702	-2,875	-3,006	-3,111	-3,2	-3,277	-3,346	-3,408

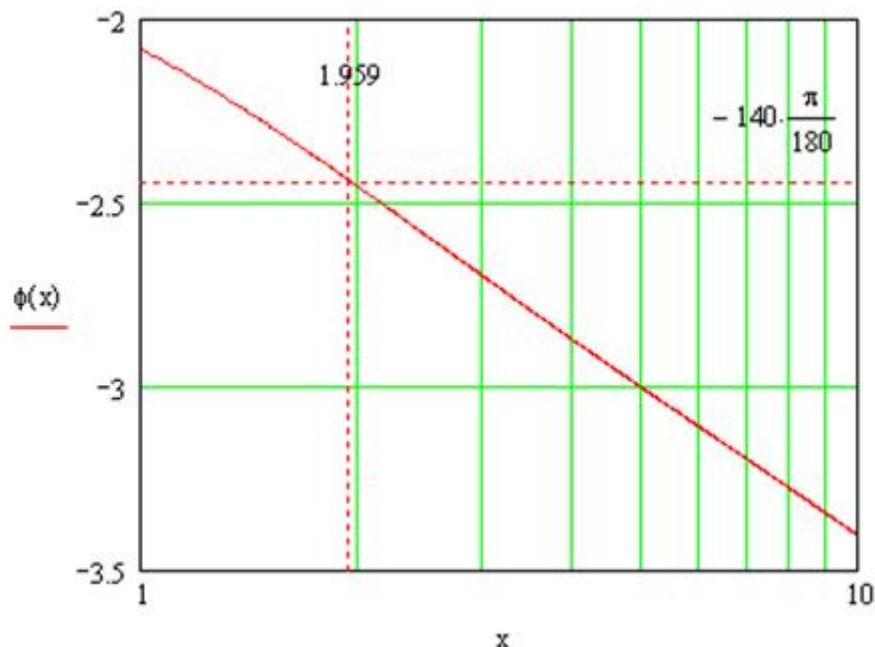
Решив уравнение:

$$\varphi(\omega_x) = -140^\circ = -2,443 \text{ рад},$$

получим:

$$\omega_x = 1,959 \text{ с}^{-1}$$

График ФЧХ с метками ωх и φ(ωх):



Для полученного значения частоты и заданного входного сигнала выходной сигнал будет равен:

$$Y_{\Sigma} = X_{\Sigma} H(\omega_x) = 5 \cdot 0,726 = 3,629$$

Задания:

- 1) Построить амплитудно-фазовую характеристику звена с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{k}{p}.$$

Ответ. Амплитудно-фазовая характеристика совпадает с отрицательной полуосью мнимых чисел (рис. 29, а).

- 2) Построить амплитудно-фазовую характеристику апериодического звена с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{k}{1 + Tp} = \frac{5}{1 + 0,1p}.$$

- 3) Построить логарифмические амплитудную и фазовую характеристики систем с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{K}{(1 + Tp)^2} = \frac{300}{(1 + 0,025p)^2}.$$

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме.

Основная: 1-2

Дополнительная: 1-4

Методическая: 1-2

Интернет-ресурсы: 1

Программное обеспечение: 1-2

Тема 4. Методика системного анализа

Практическое занятие № 7-10

Название работы: Методика системного анализа

1. Цель занятия

Исследование комплексной частотной характеристики системы, расчет фазочастотной характеристики.

Формируемые компетенции: УК-1.

2. Подготовка к занятию

1. Изучить (повторить) теоретический материал.
2. Ознакомиться с заданием на практическое занятие.
3. Ответить на контрольные вопросы.

3. Распределение времени занятия:

Всего: 360 мин

Вступительная часть 2 мин

Проверка готовности студентов к занятию 5 мин

Программа практического занятия

1. Сведения о частотных характеристиках 35 мин

2. Решение типовых задач 35 мин

Проверка выполнения практического занятия 10 мин

Заключительная часть 3 мин

4. Правила работы в лаборатории

К работе в лаборатории допускаются лица, изучившие правила и меры безопасности, сдавшие зачет по ним и усвоившие порядок выполнения практического занятия.

5. Основные теоретические сведения

В структурной схеме указываются все элементы системы, все связи между элементами внутри системы и связи определенных элементов с окружающей средой (входы и выходы системы).

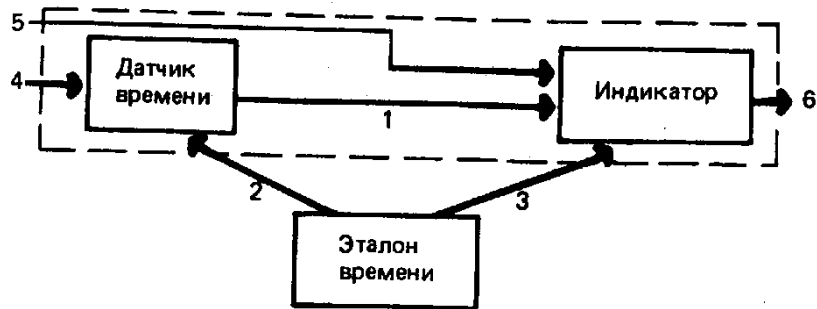


Рисунок 1 – Структурная схема часов

Пример 1. Структурная схема системы "синхронизируемые часы" приведена на рис. 1. Элементы системы изображены в виде прямоугольников; связи 1-3 между элементами описаны в табл. 1; вход 4 изображает поступление энергии извне; вход 5 соответствует регулировке индикатора; выход 6 – показание часов.

Все структурные схемы имеют нечто общее, и это побудило математиков рассматривать их как особый объект математических исследований. Для этого пришлось абстрагироваться от содержательной стороны структурных схем, оставив в рассматриваемой модели только общее для каждой схемы. В результате получилась схема, в которой обозначается только наличие элементов и связей между ними, а также (в случае необходимости) разница между элементами и между связями. Такая схема называется графом. Следовательно, граф состоит из обозначений элементов произвольной природы, называемых вершинами, и обозначений связей между ними, называемых ребрами (иногда дугами). На рис. 2 изображен граф: вершины обозначены в виде кружков, ребра – в виде линий.

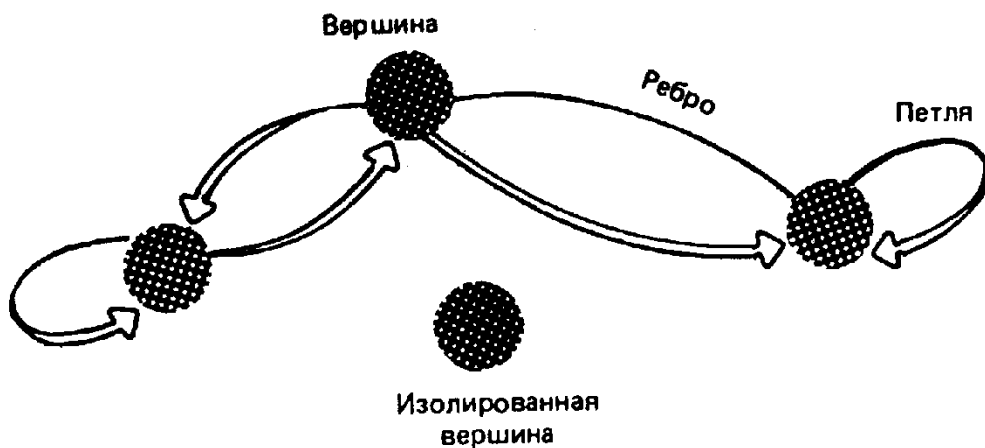


Рисунок 2 – Пример графа

Часто бывает необходимо отразить несимметричность некоторых связей; в таких случаях линию, изображающую ребро, снабжают стрелкой (в таком случае ребро становится дугой). Если направления связей не обозначаются, то граф называется неориентированным, при наличии стрелок – ориентированным (полностью или частично). Данная пара вершин может быть соединена любым количеством ребер; вершина может быть соединена сама с собой (тогда ребро называется петлей). Если в графе требуется отразить другие различия между элементами или связями, то либо приписывают разным ребрам различные веса (взвешенные графы), либо раскрашивают вершины или ребра (раскрашенные графы).

Оказалось, что для графов может быть построена интересная и содержательная теория, имеющая многочисленные приложения. Разнообразные задачи этой теории связаны с различными преобразованиями графов, а также с возможностью рассмотрения различных отношений в графах: весов, рангов, цветов, вероятностных характеристик (стохастические графы) и т.д. В связи с тем, что множества вершин и ребер формально можно поменять местами, получается два разных представления системы в виде вершинного или в виде реберного графа. Оказывается, что в одних задачах удобнее использовать вершинный, а в других – реберный граф.

Графы могут изображать любые структуры, если не накладывать ограничений на пересекаемость ребер. Некоторые типы структур имеют особенности, важные для практики, они выделены из других и получили специальные названия. Так, в организационных системах часто встречаются линейные, древовидные (иерархические) и матричные структуры; в технических системах чаще встречаются сетевые структуры (см. рис. 3.5); особое место в теории систем занимают структуры с обратными связями, которые соответствуют кольцевым путям в ориентированных графах.

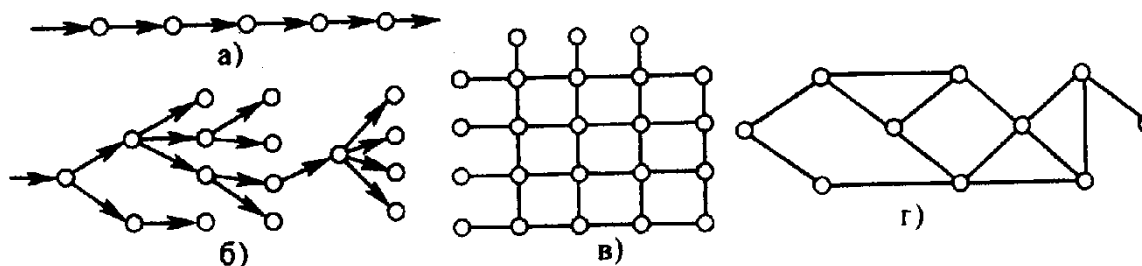


Рисунок 2 – Графы, соответствующие различным структурам: а) линейная структура; б) древовидная структура; в) матричная структура; г) сетевая структура

Пример 2. Структурная схема ЭВМ пятого поколения, с помощью которой пользователь, не умеющий программировать, может решать достаточно сложные задачи, приведена на рис. 3. Отметим, что в этой схеме имеются и иерархические, и линейные, и обратные связи.

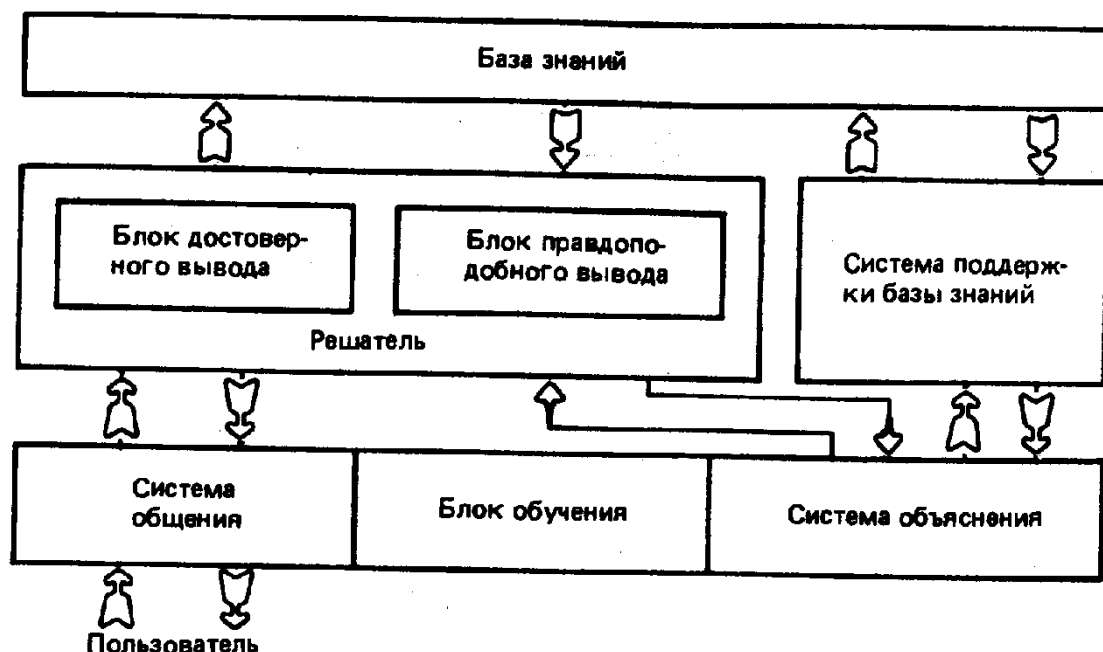


Рисунок 3 – Структурная схема ЭВМ пятого поколения

Одной структурной информации, которая содержится в графах, для ряда исследований недостаточно. В таких случаях методы теории графов становятся вспомогательными, а главным является рассмотрение конкретных функциональных связей между входными, внутренними и выходными переменными системы.

Вывод: Объединив модели "черного ящика", состава и структуры системы, мы получим самую полную (для наших целей), самую подробную (для нашего уровня знаний) модель системы – ее структурную схему.

До сих пор основное внимание было уделено понятию системы, ее составу и устройству. Были построены модели, которые являются как бы "фотографиями" системы, отображают ее в некоторый момент времени. В этом смысле рассмотренные варианты моделей "черного ящика", состава, структуры и структурной схемы системы могут быть названы статическими моделями, что подчеркивает их неподвижный, как бы застывший характер.

Следующий шаг в исследовании систем состоит в том, чтобы понять и описать, как система "работает", что происходит с ней самой и с окружающей средой в ходе реализации поставленной цели. Очевидно, и подход к описанию, и степень подробности описания происходящих процессов могут быть различными. Однако общим при этом является то, что разрабатываемые модели должны отражать поведение систем, описывать происходящие с течением времени изменения, последовательность каких-то этапов, операций, действий, причинно-следственные связи.

Системы, в которых происходят какие бы то ни было изменения со временем, будем называть динамическими, а модели, отображающих эти изменения, – динамическими моделями систем.

Для разных объектов и систем разработано большое количество динамических моделей, описывающих процессы с различной степенью детальности: от самого общего

понятия динамики, движения вообще, формальных математических моделей конкретных процессов типа уравнений движения в механике или волновых уравнений в теории поля. Развитие моделей происходит примерно в той последовательности, как это было изложено: от "черного ящика" к "белому". Однако этот путь конкретизации моделей непросто и нелегко и для многих систем еще не закончен из-за недостаточности имеющихся знаний.

Уже на этапе "черного ящика" различают два типа динамики системы: ее функционирование и развитие. Под функционированием подразумевают процессы, которые происходят в системе (и окружающей её среде), стабильно реализующей фиксированную цель (функционируют, например, часы, городской транспорт, кинотеатр, канцелярия, радиоприемник, станок, школа, и т.д.). Развитием называют то, что происходит с системой при изменении ее целей. Характерной чертой развития является тот факт, что существующая структура перестает соответствовать новой цели, и для обеспечения новой функции приходится изменять структуру, а иногда и состав системы, перестраивать всю систему.

Не следует считать, что система всегда находится либо в фазе развития, либо в состоянии функционирования. При реконструкции одного цеха остальные функционируют, завод в целом развивается. Даже при коренной перестройке системы какие-то элементы и даже подсистемы старой структуры могут продолжать функционировать в новой по-прежнему. Возможны и такие системы, для функционирования которых какие-то ее подсистемы должны быть постоянно в развитии.

Следующий шаг в построении динамических моделей состоит в том, чтобы конкретнее отобразить происходящие изменения. Это означает, что следует различать части, этапы происходящего процесса, рассматривать их взаимосвязи. Иными словами, типы динамических моделей такие же, как и статических, только элементы этих моделей имеют временной характер. Например, динамический вариант "черного ящика" – указание начального ("вход") и конечного ("выход") состояний системы. Модели состава соответствует перечень этапов в некоторой упорядоченной последовательности действий. Например, доказано, что любой алгоритм можно построить, используя всего три оператора: "выполнять последовательно", "если ... то ..." и "выполнять, пока не будет удовлетворено условие". Эти операторы можно рассматривать как модель минимального состава алгоритма, хотя не обязательно составлять алгоритм только из этих операторов. Динамический вариант "белого ящика" – это подробное описание происходящего или планируемого процесса. Например, на производстве широко используют так называемые сетевые графики – графы, имеющие сетевую структуру; их вершинами служат выполняемые производственные операции, а ребра указывают, какие операции не могут начаться, пока не окончатся предыдущие. Здесь же некоторым образом (например, с помощью задания длин или весов ребер) изображается длительность выполнения операций, что и позволяет находить на графе "критические" пути, т.е. последовательности операций, от которых главным образом зависит ритмичность всей работы.

Те же типы моделей прослеживаются и при более глубокой формализации динамических моделей. При математическом моделировании некоторого процесса его конкретная реализация описывается в виде соответствия между элементами множества X

возможных "значений x и элементов упорядоченного множества T "моментов времени" t , т.е. в виде отображения $T \rightarrow X: x(t) \in X^T, t \in T$. С помощью этих понятий можно строить математические модели систем.

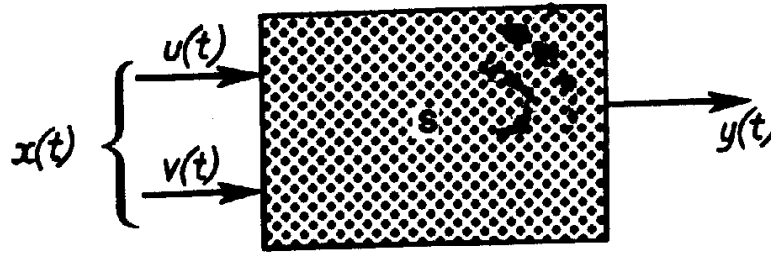


Рисунок 4 – Динамическая модель "черного ящика": задание процессов на входах и выходах системы

Рассматривая выход $y(t)$ системы (это может быть вектор) как её реакцию на управляемые $u(t)$ и неуправляемые $v(t)$ входы $x(t) = \{u(t), v(t)\}$ (рис. 3.7), можно модель "черного ящика" выразить как совокупность двух процессов: $X^T = \{x(t)\}$ и $Y^T = \{y(t)\}, t \in T$. Если даже считать $y(t)$ результатом некоторого преобразования Φ процесса $x(t)$, т.е. $y(t) = \Phi(x(t))$, то модель "черного ящика" предполагает, что это преобразование неизвестно. В том же случае, когда мы имеем дело с "белым ящиком", соответствие между входом и выходом можно описать тем или иным способом. Какой именно способ — зависит от того, что нам известно, и в какой форме можно использовать эти знания.

Например, иногда бывает известно, что система мгновенно преобразует вход в выход, т.е. что $y(t)$ является функцией только $x(t)$ в тот же момент времени. Остается задать или найти эту функцию. На практике чаще всего известна лишь безынерционность системы и требуется, наблюдая входы и выходы, восстановить неизвестную функцию $y = \Phi(x)$. По существу, это задача о переходе от модели "черного ящика" к модели "белого ящика" по наблюдениям входов и выходов при наличии информации о безынерционности системы. Даже в такой достаточно простой постановке задача имеет совсем не простые варианты, которые зависят от того, что известно о функции Φ (в параметризованном случае Φ принадлежит семейству функций, известных с точностью до параметров; в не параметризованном — вид функции Φ неизвестен), и от наличия или отсутствия некоторых общих сведений о ее свойствах (непрерывности, гладкости, монотонности, симметричности и т.п.). Дополнительные варианты (и дополнительные трудности) возникают, если входы и выходы наблюдаются с помехами или искажениями. При этом разные предположения о природе этих помех приводят к принципиально отличающимся решениям задачи (например, в случае, когда распределены помехи известно точно, известно с точностью до числовых параметров или неизвестно совсем).

Однако класс систем, которые можно считать безынерционными, весьма узок. Необходимо строить математические модели систем, выход которых определяется не только значением входа в данный момент времени, но и теми значениями, которые были на входе в предыдущие моменты. Более того, в самой системе с течением времени как под влиянием входных воздействий, так и независимо от них могут происходить изменения, что также следует отразить в модели.

В наиболее общей модели это достигается введением понятия состояния системы как некоторой (внутренней) характеристики системы, значение которой в настоящий момент времени определяет текущее значение выходной величины. Состояние можно рассматривать как своего рода хранилище информации, необходимой для предсказания влияния настоящего на будущее. Обозначим это состояние через $z(t)$. Все сказанное выше означает существование такого отображения $\eta: Z \times T \rightarrow Y$, что

$$y(t) = \eta(t, z(t)), \quad t \in T.$$

Явная зависимость η от t введена для учета возможности изменения зависимости выхода от состояния с течением времени. Это отображение называется отображением выхода.

Для завершения построения модели нужно описать связь между входом и состоянием, т.е. ввести параметрическое семейство отображений $\mu_{t\tau}: Z \times X \rightarrow Z$, заданных для всех значений параметров $t \in T$, $\tau \in T$ и $\tau \leq t$. Это означает принятие аксиомы о том, что состояние в любой момент $t > \tau$ однозначно определяется состоянием z_τ в момент τ и отрезком реализации входа $x(\cdot)$ от τ до t :

$$z(t) = \mu_{t\tau}(z_\tau, x(\cdot)) = \sigma(t; \tau, z_\tau, x(\cdot)).$$

Такое отображение называют переходным отображением.

Итак, математическая модель системы, соответствующая уровню "белого ящика", – это задание множеств входов, состояний и выходов, и связей между ними:

$$X \xrightarrow{\sigma} Z \xrightarrow{\eta} Y.$$

Конкретизируя множества X , Z и Y и отображения σ и η , можно перейти к моделям различных систем. Так, говорят о дискретных и непрерывных по времени системах в зависимости от того, дискретно или непрерывно множество T . Далее, если множества X , Z и Y дискретной по времени системы имеют конечное число элементов, то такую систему называют конечным автоматом. Это довольно просто класс систем в том смысле, что для исследования конечных автоматов необходимы лишь методы логики и алгебры; в то же время это широкий и практически важный класс, так как в него входят все дискретные (цифровые) измерительные, управляющие и вычислительные устройства, в том числе и ЭВМ. Если X , Z и Y – линейные пространства, а σ и η , – линейные операторы, то и система называется линейной. Если к линейной системе дополнительно предъявить требования, состоящие в том, чтобы пространства имели топологическую структуру, а σ и η были бы непрерывны в этой топологии, то мы приходим к гладким системам. Это класс систем имеет большое значение, так как оказалось, что для гладких систем переходное отображение σ является общим решением дифференциального уравнения $(dz/dt) = f(t, z, x)$, а для дискретных систем – общим решением уравнения $z(t_{k+1}) = f(t_k, z, x) = \sigma(t_{k+1}; t_k, z, x(\cdot))$, где $x(\cdot)$ – траектория для моментов времени $t \leq t_k$. Интенсивно исследовались стационарные системы, т.е. такие системы, свойства которых со временем не изменяются. Стационарность означает независимость от t функции η и инвариантность функции σ к сдвигу во времени:

$\eta(t, z(t)) = \eta(z(t)), \sigma(t; t_0, z, x(\cdot)) = \sigma(t + \tau; t_0 + \tau, z, !x(\cdot))$, где $!x(\cdot)$ есть $x(\cdot)$, сдвинутое на время τ .

Конкретизация моделей динамических систем на этом, конечно, не заканчивается; приведенные модели, скорее всего, являются просто примерами, которые можно рассматривать отдельно. Но на одном свойстве реальных динамических систем следует остановиться. Речь идет о подчиненности реальных систем принципу причинности. Согласно этому принципу, отклик системы на некоторое воздействие не может начаться раньше самого воздействия. Это условие, очевидное для реальных систем, совсем не автоматически выполняется в рамках их математических моделей. При этом модель, в которой нарушается принцип причинности, не обязательно является "плохой", бесполезной. Примером служит модель фильтра с конечной полосой пропускания: отклик такой системы на короткий импульс имеет вид $\sin(w_0 t / (w_0 t))$, т.е. начинается в минус бесконечности. Несмотря на явное нарушение принципа причинности, такую модель широко используют в радиотехнике. Однако, как только возникает вопрос о практической реализации такого фильтра, становится ясно, что она невозможна в точном смысле, хотя допустимы различные приближения. В связи с этим одна из проблем теории динамических систем состоит в выяснении условий физической реализуемости теоретических моделей, т.е. конкретных ограничений, которые приходится накладывать на модель при соблюдении принципа причинности.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме.

Основная: 1-2

Дополнительная: 1-4

Методическая: 1-2

Интернет-ресурсы: 1

Программное обеспечение: 1-2

Тема 5. Уровни представления информационных систем

Практическое занятие № 11-14

Название работы: Уровни представления информационных систем

1. Цель занятия

закрепление навыков действий над матрицами, вычисления определителя квадратной матрицы, нахождения матрицы, обратной данной.

Формируемые компетенции: УК-1.

2. Подготовка к занятию

1. Изучить (повторить) теоретический материал.
2. Ознакомиться с заданием на практическое занятие.
3. Ответить на контрольные вопросы.

3. Распределение времени занятия:

Всего: 360 мин

Вступительная часть 2 мин

Проверка готовности студентов к занятию 5 мин

Программа практического занятия

1. Последовательное соединение звеньев 25 мин

2. Параллельное соединение звеньев 25 мин

3. Передаточная функция цепи, охваченной обратной связью 20 мин

Проверка выполнения практического занятия 10 мин

Заключительная часть 3 мин

4. Правила работы в лаборатории

К работе в лаборатории допускаются лица, изучившие правила и меры безопасности, сдавшие зачет по ним и усвоившие порядок выполнения практического занятия.

5. Основные теоретические сведения

Последовательное соединение звеньев

Эквивалентная ПФ $W_0(p)$ последовательно соединенных звеньев с ПФ $W_1(p)$ и $W_2(p)$ равна произведению этих ПФ (рис.3.1):

$$W_0(p) = W_1(p) \cdot W_2(p)$$

$$\begin{array}{c} g(p) \rightarrow \underbrace{W_1(p)}_{\dot{a})} \xrightarrow{u(p)} \underbrace{W_2(p)}_{\dot{a})} \xrightarrow{x(p)} \quad \equiv \quad g(p) \rightarrow \underbrace{W_1(p) \cdot W_2(p)}_{\dot{a})} \xrightarrow{x(p)} \end{array}$$

Рис.3.1. Последовательное соединение звеньев

Доказательство. Для структурной схемы (рис.3.1а) справедливы уравнения в изображениях Лапласа:

$$\begin{cases} u(p) = W_1(p)g(p) \\ x(p) = W_2(p)u(p) \end{cases}$$

Подставив первое уравнение во второе, получим:

$$x(p) = W_2(p)W_1(p)g(p) = W_0(p)g(p),$$

причем этому уравнению соответствует структурная схема рис.3.1б.

Параллельное соединение звеньев

Эквивалентная ПФ $W_0(p)$ параллельно соединенных звеньев с ПФ $W_1(p)$ и

$W_2(p)$ равна сумме этих ПФ (рис.3.2):

$$W_0(p) = W_1(p) + W_2(p).$$

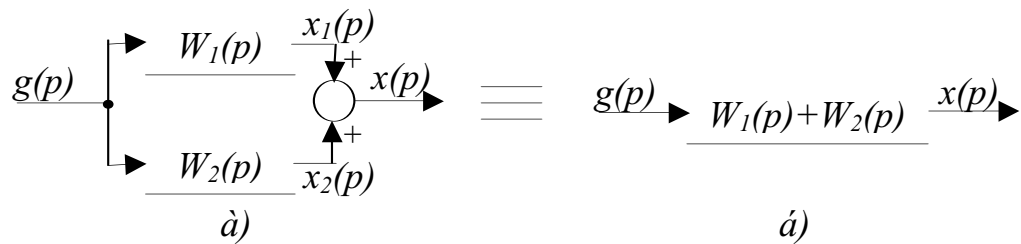


Рис. 3.2. Структурная схема системы с суммой передаточных функций

Доказательство. Для структурной схемы (рис.3.2а) справедливы уравнения в изображениях Лапласа:

$$\begin{cases} x_1(p) = W_1(p)g(p) \\ x_2(p) = W_2(p)g(p) \\ x(p) = x_1(p) + x_2(p) \end{cases}$$

Подставив первые два уравнения в третье, получим:

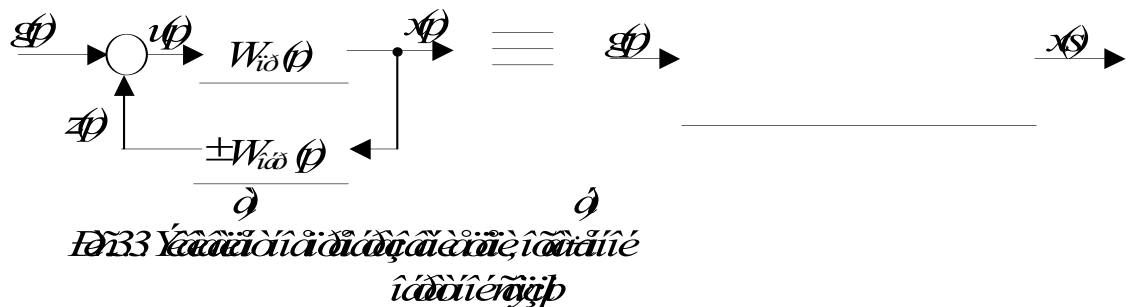
$$x(p) = W_1(p)g(p) + W_2(p)g(p) = [W_1(p) + W_2(p)]g(p) = W_0(p)g(p),$$

причем этому уравнению соответствует структурная схема рис.3.2б.

Передаточная функция цепи, охваченной обратной связью

Эквивалентная ПФ $W_0(p)$ цепи (прямой части САП) с ПФ $W_{i\delta}(p)$, охваченной обратной связью с ПФ $\pm W_{i\alpha\delta}(p)$ (положительной или отрицательной) равна (рис.3.3):

$$W_0(p) = \frac{W_{i\delta}(p)}{1 \mp W_{i\delta}(p)W_{i\alpha\delta}(p)}.$$



Доказательство. Система уравнений для структурной схемы рис.3.3а имеет вид:

$$\begin{cases} u(p) = g(p) + z(p) \\ x(p) = W_{i\delta}(p)u(p) \\ z(p) = \pm W_{i\alpha\delta}(p)x(p) \end{cases}$$

Из второго уравнения выразим:

$$u(p) = \frac{1}{W_{i\delta}(p)}x(p)$$

Теперь это выражение и третье уравнение системы подставим в первое уравнение:

$$\frac{1}{W_{i\delta}(p)}x(p) = g(p) \pm W_{i\alpha\delta}(p)x(p)$$

Последовательно преобразуем это уравнение:

$$\begin{aligned} \left[\frac{1}{W_{i\delta}(p)} \mp W_{i\alpha\delta}(p) \right] x(p) &= g(p) \\ \left[\mp W_{i\delta}(p)W_{i\alpha\delta}(p) \right] x(p) &= W_{i\delta}(p)g(p) \\ \frac{x(p)}{g(p)} &= \frac{W_{i\delta}(p)}{1 \mp W_{i\delta}(p)W_{i\alpha\delta}(p)} = W_0(p) \end{aligned}$$

Последнее уравнение соответствует структурной схеме рис.3.3б.

Перенос точки съёма воздействия

а) перенос вперед (с входа звена на выход) (рис.3.4).

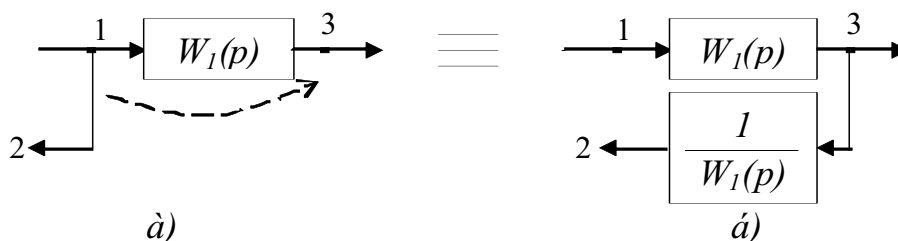


Рис. 3.4. Перенос точки съёма воздействия

Перенос точки разветвления должен быть эквивалентным. Переход из точки 1 в точку 2 (рис.3.4а), очевидно, происходит с ПФ (коэффициентом), равной 1. Если просто перенести точку съема из 1 в 3, то получится, что теперь в точку 2 сигнал будет переходить

с коэффициентом $W_1(p)$. Для компенсации этого необходимо поставить звено с обратной ПФ (рис.3.4б).

б) перенос назад (с выхода звена на вход) (рис.3.5).

Эквивалентный перенос из точки 3 в точку 1 (рис.3.5а) выполняется из тех же соображений, что и перенос вперед. Эквивалентная структурная схема представлена на рис.3.5б.

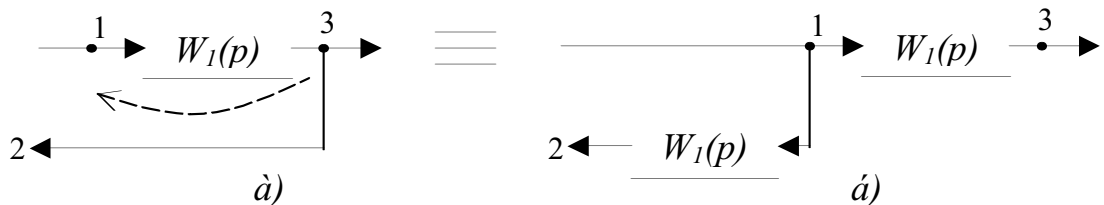


Рис.3.5. Перенос точки приложения воздействия (перенос сумматора)

а) перенос вперед (с входа звена на выход) (рис.3.6).

Этот перенос также основан на принципе эквивалентности. В схеме рис.3.6а выходной сигнал x формируется в результате передачи суммы сигналов g_1+g_2 с ПФ $W_1(p)$. Если просто перенести сумматор через звено, окажется, что воздействие g_2 будет передаваться с коэффициентом единица. Для коррекции этого в канале передачи воздействия g_2 следует установить звено с ПФ $W_1(p)$ (рис.3.6б).

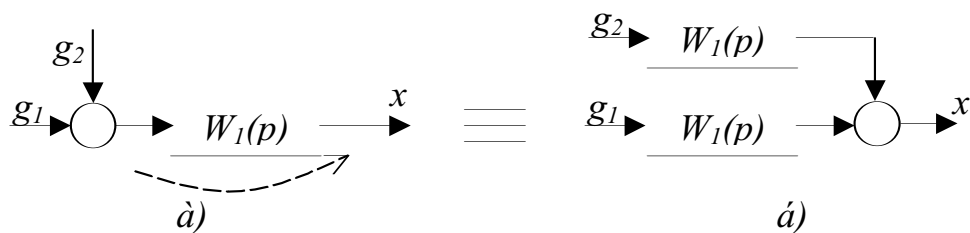


Рис.3.6. Перенос точки приложения воздействия (перенос сумматора)

Правильность такого преобразования подтверждается тем, что математические описания схем рис. 3.6а и 3.6б совершенно идентичны.

б) перенос назад (с выхода звена на вход) (рис.3.7).

Этот перенос производится, исходя из аналогичных рассуждений.

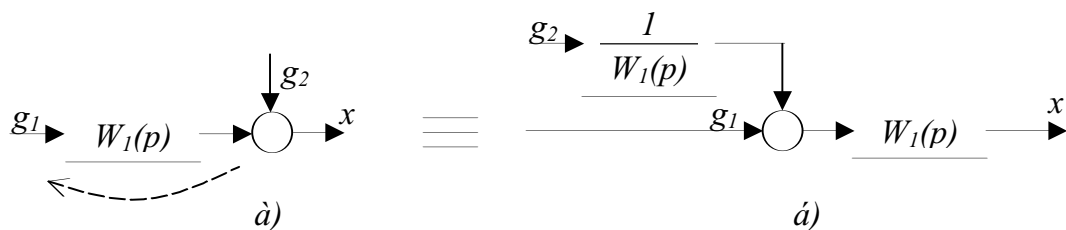


Рис.3.7. Преобразование структурной схемы

Преобразование структурных схем на основе принципа линейности

Повторим формулировку принципа линейности: Реакция линейной САР на сумму воздействий равна сумме реакций САР на каждое воздействие в отдельности.

Сущность применения этого принципа будет раскрыта позднее.

Пример. Найти ПФ САР, структурная схема которой изображена на рис.3.8, используя преобразование структурной схемы.

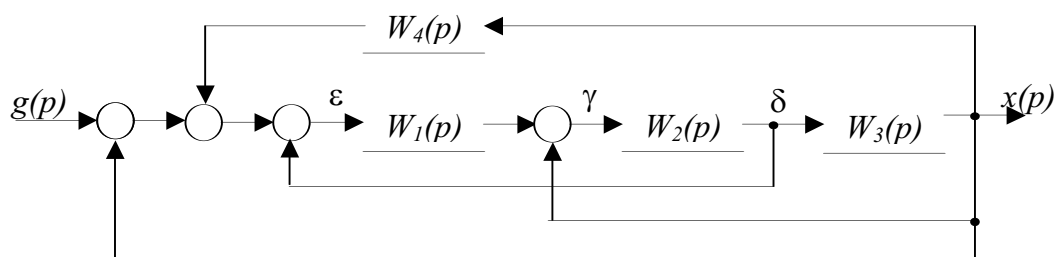


Рис.3.8.

Решение.

Переносим точку съема сигнала δ на звено вперед, используя правило 4а (рис.3.9).

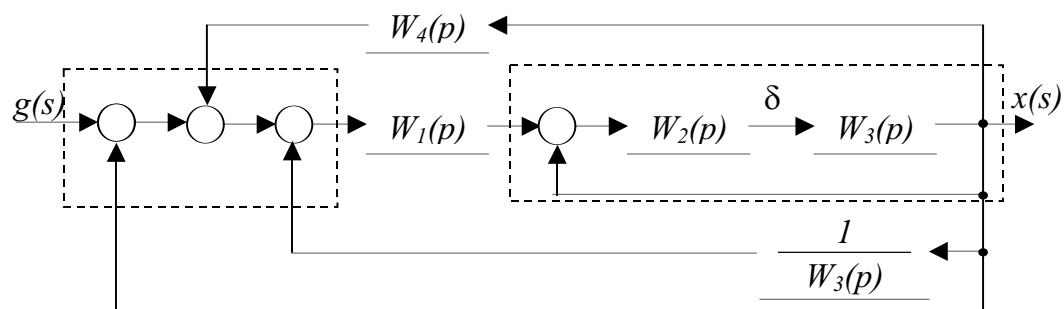


Рис.3.9.

Для выделенной за блоком $W_1(p)$ части схемы находим эквивалентную ПФ, используя правило 3 для цепи, охваченной положительной обратной связью:

$$W_5(p) = \frac{W_2(p)W_3(p)}{1 - W_2(p)W_3(p)}$$

На три сумматора в начальной части схемы параллельно приходит один и тот же

сигнал, но с разными ПФ. Используя правило 2, находим общую ПФ ветви отрицательной обратной связи:

$$W_6(p) = 1 + \frac{1}{W_3(p)} - W_4(p).$$

Теперь структурную схему можно представить в виде (рис.3.10).

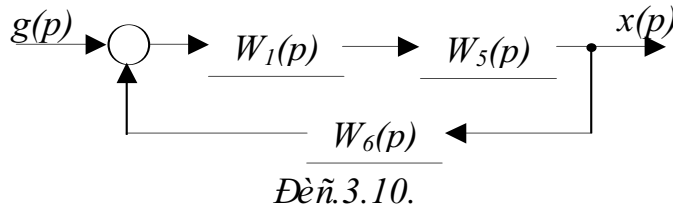


Рис. 3.10.

По схеме рис.3.10 определяем результирующую ПФ, используя правило 3:

$$W_0(p) = \frac{W_1(p)W_5(p)}{1 + W_1(p)W_5(p)W_6(p)}.$$

Передаточные функции разомкнутых и замкнутых САР

Выше отмечалось, что современные регулируемые ЭП, обладающие высококачественными динамическими и статическими характеристиками, как частный случай высококачественных САР, строятся с использованием отрицательной обратной связи (ОС), то есть, работают по замкнутому циклу. Рассмотрим обобщенную схему такой САР, состоящую из прямой ветви, охваченной отрицательной ОС (рис.3.11).

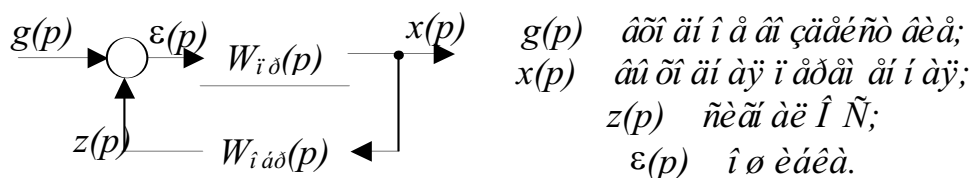


Рис. 3.11. Структурная схема замкнутой САР.

Передаточная функция замкнутой САР определяется по правилу 3 преобразования структурных схем:

$$W_{\text{замк}}(p) = K_0(p) = \frac{W_{i\delta}(p)}{1 + W_{i\delta}(p)W_{i\alpha}(p)},$$

где $W_{i\delta}(p)$ – ПФ прямой части САР, связывающая вход с интересующим нас выходом; $W_{i\alpha}(p)$ – ПФ цепи ОС.

При обозначении ПФ замкнутых систем вместо символа W используется символ K .

Смысл ПФ замкнутой САР в том, что она показывает, как входной сигнал $g(p)$ преобразуется в выходной $x(p)$:

$$x(p) = K_0(p)g(p).$$

Передаточная функция разомкнутой САР получается после размыкания замкнутой САР (рис.3.11) в произвольном месте, и рассмотрения образовавшегося разомкнутого контура как последовательного соединения звеньев, не учитывая знак сумматора. Таким образом, используя правило 1, ПФ разомкнутой САР запишем в виде:

$$W_{D\tilde{N}AD}(p) = W_0(p) = W_{i\delta}(p)W_{i\tilde{n}}(p).$$

Смысл ПФ разомкнутой САР в том, что она показывает, как сигнал ошибки $\varepsilon(p)$ преобразуется в сигнал обратной связи $z(p)$.

Отметим такие важные моменты:

1. ПФ разомкнутой САР $W(p)$ не зависит от места размыкания САР.
2. Неправильно считать, что ПФ разомкнутой САР равна ПФ САР, полученной после отбрасывания цепи ОС.
3. ПФ разомкнутой САР совпадает с ПФ прямой части САР только в одном случае, когда $W_{i\tilde{n}}(p) = 1$.

Связь между ПФ разомкнутой и замкнутой САР выражается следующей формулой:

$$K_0(p) = \frac{W_{i\delta}(p)}{1 + W_0(p)},$$

то есть, ПФ цепи, замкнутой отрицательной ОС, равна ПФ прямой части, разделенной на ПФ разомкнутой САР, увеличенную на единицу.

В редких случаях, когда ОС положительная, в знаменателе ПФ замкнутой САР символ "+" меняется на "-".

Правило Мейсона (Мезона)

Это правило позволяет определить ПФ сколь угодно сложной замкнутой САР, не прибегая к преобразованию ее структурной схемы. Для его формулирования введем следующие определения:

Путь между двумя координатами (простым или прямым путем) называется последовательность линий и звеньев между этими двумя координатами такая, что каждое звено и каждая промежуточная координата встречаются только один раз. Передаточная

функция пути равна произведению ПФ звеньев, встречающихся на этом пути.

Контур – это замкнутый путь. Другими словами – это такой путь, когда входная и выходная координаты совпадают. Передаточная функция замкнутого контура равна произведению ПФ звеньев, входящих в него, с учетом знаков сумматоров (если сигнал поступает на вход "+", ПФ сумматора равна единице, если на "-" – то -1).

Пример. Рассмотрим структурную схему рис.3.13а.

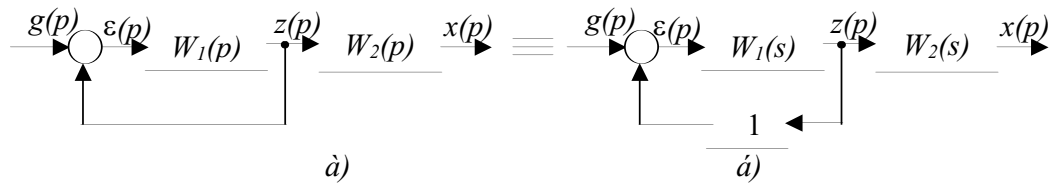


Рис.3.13.

В схеме присутствует один прямой путь – $g(p) \rightarrow x(p)$ – с ПФ $W_I(p) = W_1(p)W_2(p)$, и также один замкнутый контур – $\varepsilon(p) \rightarrow \varepsilon(p)$ – с ПФ $W_K(p) = -W_1(p)$, где наличие знака "минус" понятно из эквивалентной схемы рис.3.13б.

Правило Мейсона гласит:

Передаточная функция САР относительно каких либо входа g и выхода x может быть определена по формуле:

$$K_{g \rightarrow x}(p) = \frac{x(p)}{g(p)} = \frac{\sum_{i=1}^m W_{\check{i}i} \Delta_i}{\Delta},$$

где $W_{\check{i}i}$ – ПФ i -го прямого пути; m – число прямых путей;

Δ – главный определитель (опредетель графа САР), вычисляемый по правилу:

$$\Delta = 1 - \sum_j W_{Kj} + \sum_{j,k} W_{Kj} W_{Kk} - \sum_{j,k,l} W_{Kj} W_{Kk} W_{Kl} + \dots,$$

где $\sum_j W_{Kj}$ – сумма ПФ всех замкнутых контуров структурной схемы;

$\sum_{j,k} W_{Kj} W_{Kk}$ – сумма произведений всех пар контуров, которые не касаются друг друга (не имеют общих звеньев);

$\sum_{j,k,l} W_{Kj} W_{Kk} W_{Kl}$ – сумма произведений всех троек контуров, которые не касаются друг друга;

Δ_i – определитель i -го прямого пути (опредетель подграфа i -го прямого пути), который вычисляется по тому же правилу, что и главных определитель Δ , но с учетом того, что учитываемые контуры, пары контуров, тройки контуров и т.д. не должны касаться i -го прямого пути. В частном случае, когда все контуры касаются i -го пути, $\Delta_i = 1$.

Примеры. Найти ПФ от входа к выходу по правилу Мейсона.

Схема рис.3.14 содержит один прямой путь с ПФ $W_P = W_1$, и один контур с ПФ $W_K = -W_1 W_2$. Тогда $\Delta_1 = 1$, а $\Delta = 1 - W_K = 1 + W_1 W_2$. Следовательно, искомая ПФ равна

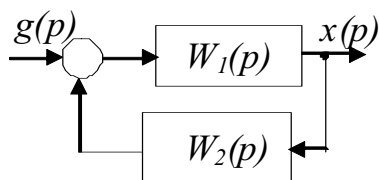


Рис. 3.14.

$$K(p) = \frac{W_1 \Delta_1}{\Delta} = \frac{W_1}{1 + W_1 W_2}.$$

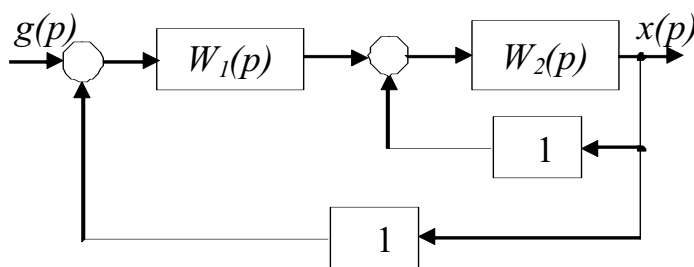


Рис. 3.15.

Схема рис.3.15 содержит один прямой путь с ПФ $W_{\Pi} = W_1 W_2$, и два контура с ПФ $W_{K1} = -W_1 W_2$ (внешний) и $W_{K2} = -W_2$ (внутренний), которые соприкасаются между собой (через звено W_2), а также касаются прямого пути. Тогда $\Delta_1 = 1$, а $\Delta = 1 - (W_{K1} + W_{K2}) = 1 - (-W_1 W_2 - W_2) = 1 + W_2 + W_1 W_2$. Искомая ПФ равна:

$$K(s) = \frac{W_1 \Delta_1}{\Delta} = \frac{W_1 W_2}{1 + W_2 + W_1 W_2}.$$

Схема рис.3.16 содержит два прямых пути с ПФ $W_{\Pi 1} = W_1 W_2 W_3$ и $W_{\Pi 2} = W_2 W_3$, и три контура с ПФ $W_{K1} = -W_2$, $W_{K2} = W_3$ (внутренние) и $W_{K3} = -W_1 W_2 W_3$ (внешний). Все контуры касаются обоих прямых путей. Два контура – W_{K1} и W_{K2} – не касаются друг друга.

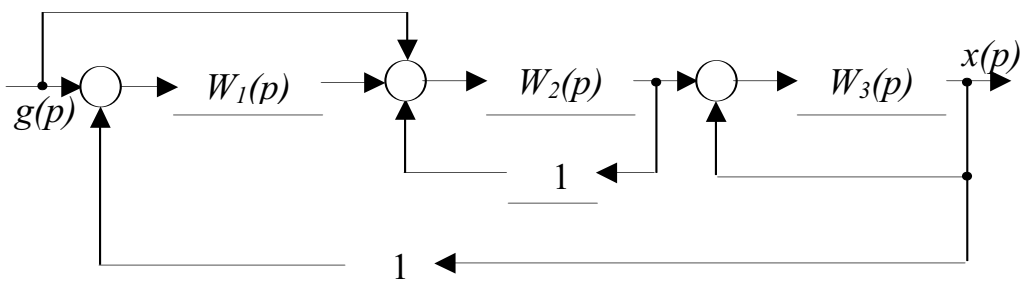


Рис. 3.16.

Тогда $\Delta_1 = 1$, $\Delta_2 = 1$, а $\Delta = 1 - (W_{K1} + W_{K2} + W_{K3}) + W_{K1}W_{K2}$. Искомая ПФ равна:

$$K(s) = \frac{W_{I1}\Delta_1 + W_{I2}\Delta_2}{\Delta} = \frac{W_1W_2W_3 + W_2W_3}{1 + W_2 - W_3 + W_1W_2W_3 - W_2W_3}.$$

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме.

Основная: 1-2

Дополнительная: 1-4

Методическая: 1-2

Интернет-ресурсы: 1

Программное обеспечение: 1-2

Тема 6. Закономерности систем

Практическое занятие № 15-16

Название работы: Закономерности систем

1. Цель занятия

Закрепление теоретических знаний по теме «Установившиеся и переходные процессы в непрерывных системах».

Формируемые компетенции: УК-1.

2. Подготовка к занятию

1. Изучить (повторить) теоретический материал.
2. Ознакомиться с заданием на практическое занятие.
3. Ответить на контрольные вопросы.

3. Распределение времени занятия:

Всего: 180 мин

Вступительная часть

Проверка готовности студентов к занятию

Программа практического занятия

1. Переходные процессы в апериодическом звене. Ступенчатое воздействие
2. Переходные процессы в колебательном звене и звеньях более высоких порядков при ступенчатом воздействии
3. Переходный процесс при непрерывном воздействии
4. Приближенное описание установившегося режима

Проверка выполнения практического занятия

Заключительная часть

4. Правила работы в лаборатории

К работе в лаборатории допускаются лица, изучившие правила и меры безопасности, сдавшие зачет по ним и усвоившие порядок выполнения практического занятия.

5. Основные теоретические сведения

1. Переходные процессы в апериодическом звене. Ступенчатое воздействие

Реальные системы и их адекватные модели обладают инерционностью. Поэтому они не могут мгновенно реагировать на резкое, скачкообразное, ступенчатое изменение воздействия. Переход системы из одного состояния, соответствующего некоторому исходному воздействию, в другое происходит некоторое время. Это и есть переходный процесс. Однако, в некоторых случаях, при подаче даже, например, ступенчатого воздействия, система уже готова его воспринять и переходный процесс в таком случае отсутствует (рис. 1).

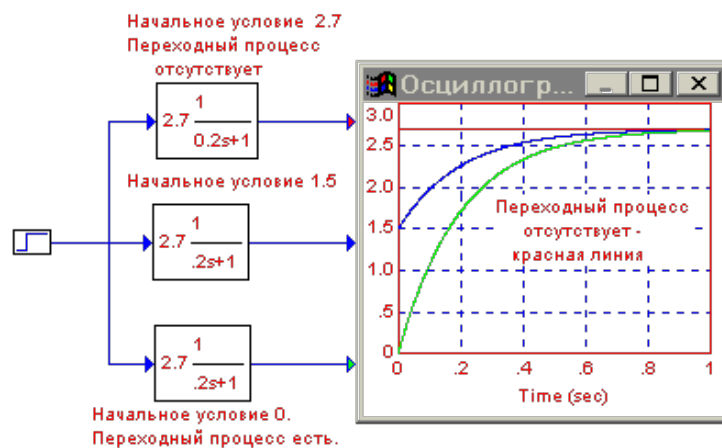


Рис. 1. Переходные процессы апериодического звена при разных значениях начальных условий

Величина, интенсивность переходного процесса уменьшается при приближении начального условия (исходного значения выходного напряжения интегратора модели) к установившемуся значению выходного сигнала. Таким образом корректнее было бы говорить не о том, есть или отсутствует переходный процесс, а о его величине, которую можно было бы определять по максимуму отклонения. Как видно на рис. 1, переходный процесс не возникает, если выходное напряжение апериодического звена в момент поступления ступенчатого воздействия равно установившемуся значению выходного сигнала звена. В этом случае звено "настроено" на прием ступеньки, готово его воспринять без переходного режима.

2. Переходные процессы в колебательном звене и звеньях более высоких порядков при ступенчатом воздействии

Для колебательного звена (рис. 2) и звеньев более высокого порядка вышесказанное остается в силе:

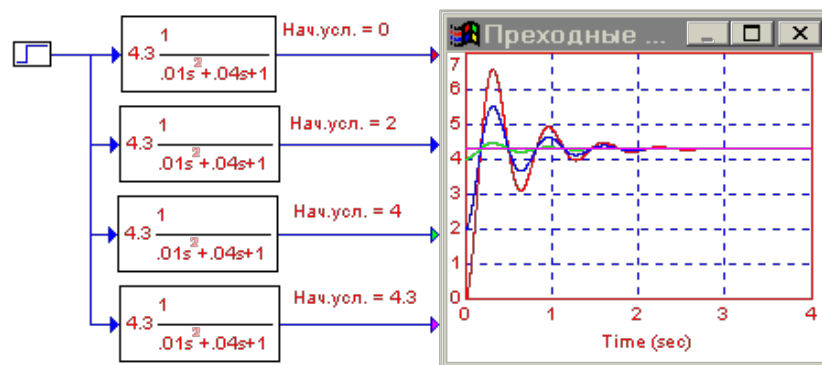


Рис. 2. Переходный процесс в колебательном звене
зависит от начальных условий

При начальном условии 4,3 (нижнее звено) выходной сигнал не испытывает колебаний, а сразу устанавливается на постоянном уровне (фиолетовая линия). Таким образом, даже при ступенчатом воздействии на входе линейной системы, переходный процесс может отсутствовать.

3. Переходный процесс при непрерывном воздействии

Модель любой линейной системы может быть построена с использованием только интеграторов, усилителей и сумматоров. На рис. 3 показаны две эквивалентные модели колебательного звена, на которые воздействует непрерывный сигнал вида:

(1)

$$x(t) = 1_0(t) t ,$$

где: $1_0(t)$ - ступенчатая функция, которая равна нулю, при $t < 0$; и равна единице при $t \geq 0$.

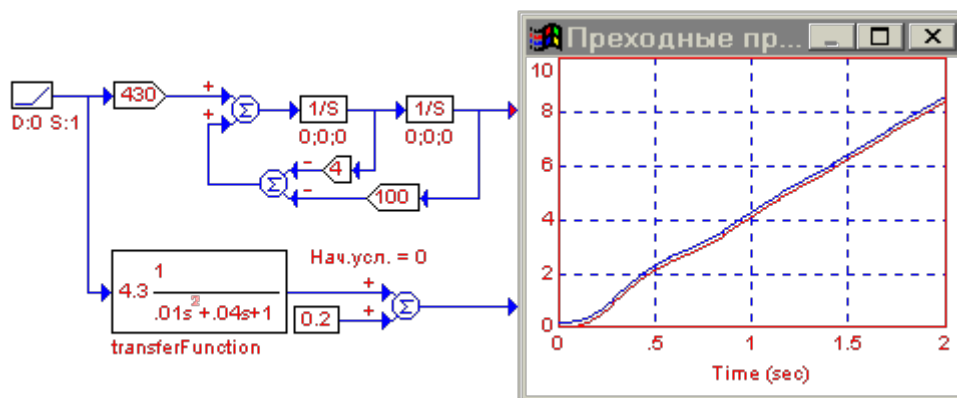


Рис. 3. Две эквивалентные модели колебательного звена
и осциллограмма их реакций на непрерывное, линейно растущее с нулевого момента
времени воздействие

Заметен переходный процесс, продолжающийся менее 1 сек. Осциллограммы совпадают. График выходного сигнала нижней схемы приподнят на 0,2 для удобства сравнения

Как видно на рис. 3, непрерывное воздействие вызывает переходный процесс. Это происходит потому, что в начальный момент времени колебательное звено не настроено воспринимать такое воздействие, нулевые начальные условия (первые нули в метках под осциллографами) не соответствуют подаваемому сигналу.

Начальные условия колебательного звена задаются на выходах двух интеграторов, поскольку это звено описывается дифференциальным уравнением второго порядка. Для устранения переходного процесса в колебательном звене для конкретного воздействия следует подобрать (или вычислить) соответствующие значения начальных условий. Это иллюстрируется рис. 4.

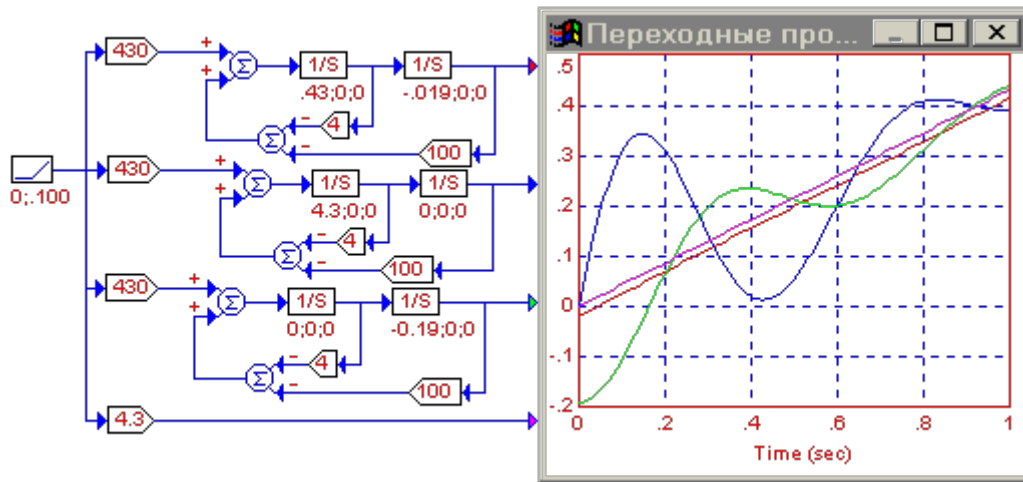


Рис. 4. Модели трех колебательных звеньев с различными значениями начальных условий

Только для верхнего звена с начальными условиями $y'(0) = 0,43$ и $y(0) = -0,19$ (красная кривая) переходный процесс отсутствует - график его выходного сигнала с самого начала идет параллельно графику входного сигнала, умноженного на коэффициент 4,3 усиления колебательного звена (фиолетовая кривая)

Таким образом, реакция линейной системы на непрерывное воздействие может как содержать переходный процесс, так и не содержать его, в зависимости от начальных условий, т.е. начального состояния модели, и конкретного входного сигнала.

Проинтегрировав линейно растущую функцию дважды можно получить сигнал, изменяющийся во времени в соответствии с законом параболы третьей степени:

(2)

$$x(t) = 1_0(t) \, t^3/3!$$

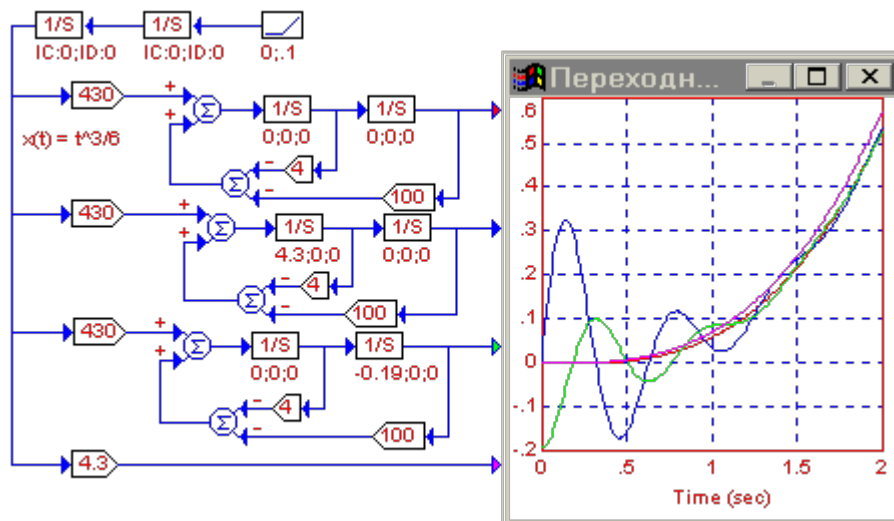


Рис. 5. Реакция верхнего колебательного звена с нулевыми начальными условиями на

параболу третьей степени не имеет переходной составляющей (красная кривая), в то время как такие же звенья с ненулевыми начальными условиями в отклике на тот же сигнал содержат и переходную составляющую

Как видно на рис. 5, гладкое воздействие в виде параболы третьей степени не вызывает переходного процесса только в колебательном звене с нулевыми начальными условиями. Выходной сигнал этого звена с течением времени плавно отстаёт от воздействия, что свидетельствует об установившемся режиме работы. Звеньям с ненулевыми начальными условиями, не соответствующими подаваемому сигналу, приходится к нему "приноравливаться" в переходном процессе.

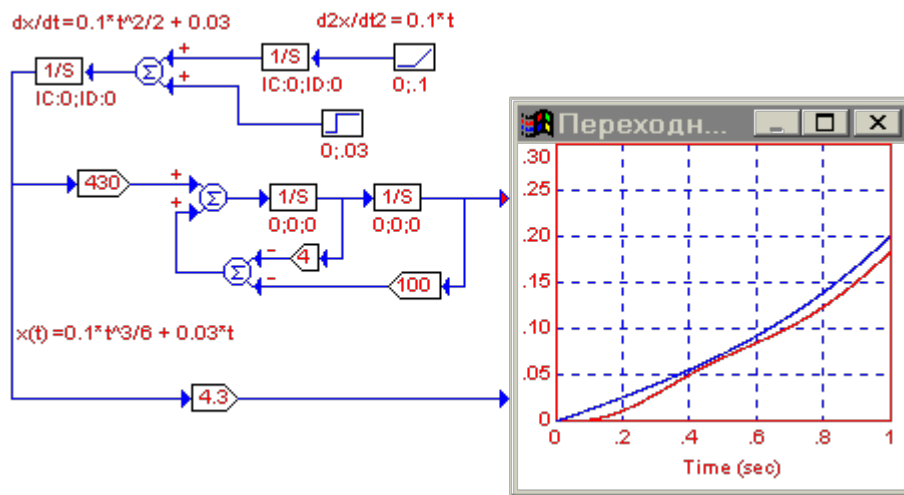


Рис. 6. Входной сигнал непрерывен

Ступенчатое изменение в первой производной входного сигнала приводит к появлению переходного процесса в колебательном звене с нулевыми начальными условиями. Переходный процесс завершается к концу первой секунды

Таким образом, непрерывное, гладкое воздействие может как вызывать переходный процесс, так и не вызывать его.

В теории автоматического управления обычно рассматриваются САУ с нулевыми начальными условиями. Это объясняется тем, что изучается реакция системы управления, работающей в установившемся, стационарном режиме, на малые приращения воздействий. Это часто позволяет рассматривать систему как линейную, и, кроме того, считать начальные условия нулевыми.

Рассмотрим систему третьего порядка:

(3)

$$W(s) = k \cdot \frac{b_0 s^2 + b_1 s + 1}{a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + 1}$$

Обычно модель такой системы представляется в виде, показанном в верхней части рис. 7, однако можно составить и эквивалентную схему, в которой дифференцирование входного воздействия будет осуществляться в явной форме, так, как показано в нижней части рис. 7.

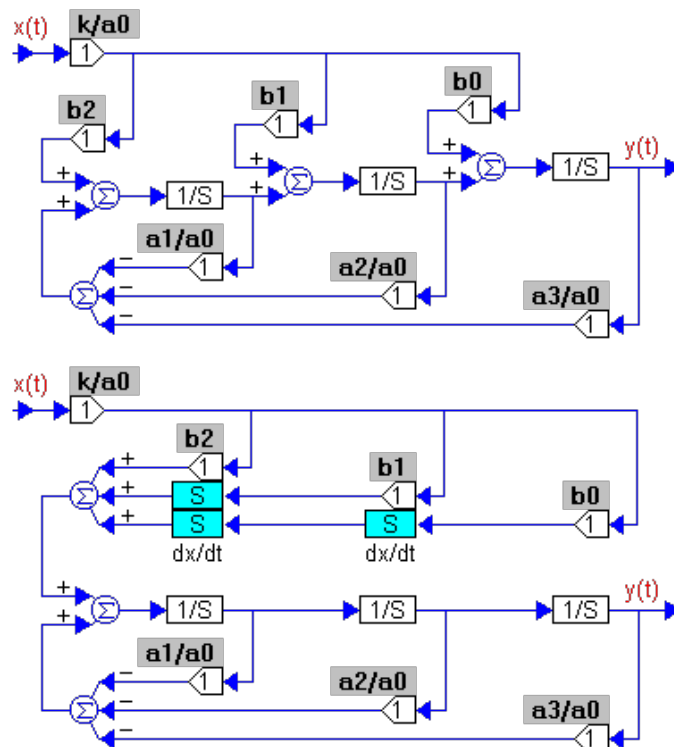


Рис. 7. Две эквивалентные формы представления модели системы третьего порядка.

Числитель (3) учитывается либо смещением точек приложения воздействий вправо по цепи интеграторов (верхняя схема), либо непосредственным дифференцированием входного сигнала, так, как показано на нижней схеме. Вторая форма по ряду причин, в частности ввиду наличия в реальном сигнале аддитивных шумов, которые гиперболизируются операцией дифференцирования, обычно на практике не используется, но по ее схеме хорошо видно, что входное воздействие, прежде чем попасть на модель контура управления, подвергается дифференцированию. Таким образом, для исключения переходного процесса в данной схеме необходимо, чтобы третья производная входного сигнала $x(t)$ была непрерывной. В этом случае, на контур скачки не поступят. Если начальные условия нулевые, т.е. напряжения на выходах интеграторов равны нулю, то названное условие является и достаточным.

Сказанное можно сформулировать и другим образом: скачки (разрывы первого рода) в производных воздействия, старших чем число нулей передаточной функции системы с нулевыми начальными условиями не приводят к возникновению переходного процесса.

В случае ненулевых начальных условий для обеспечения отсутствия переходного процесса, к сформулированному выше необходимому условию следует добавить условие согласования входного сигнала и его производных с начальными условиями.

Смысл переходного процесса - это согласование энергетического состояния взаимодействующих элементов системы с резко изменившимися входным сигналом и (или) его младшими производными.

Можно ли, изучая выходной сигнал САУ, определить, работает она на данном отрезке времени в переходном или установившемся режиме? Для этого нужно более точно сформулировать, что такое переходный и что такое установившийся режимы с практической точки зрения.

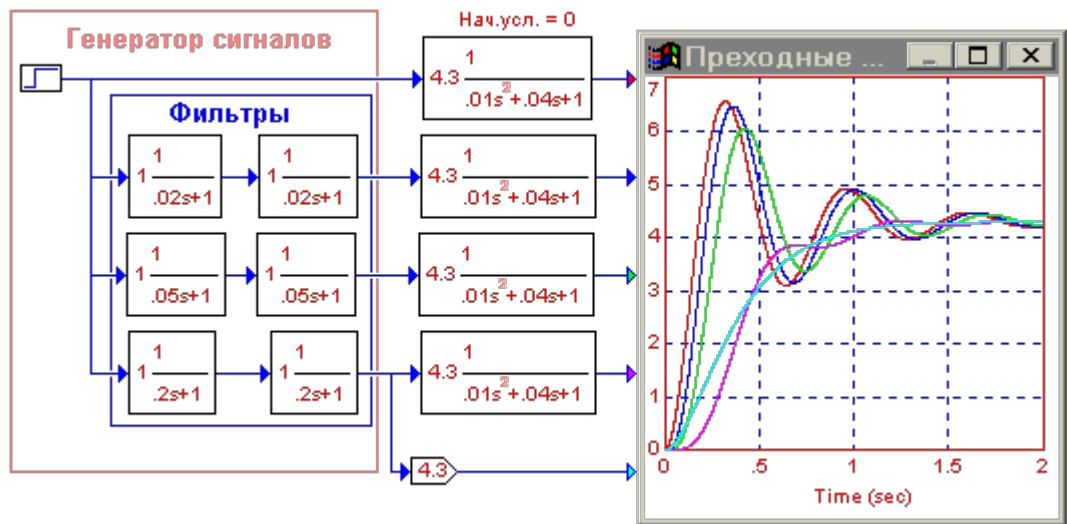


Рис. 8. Уменьшение размаха переходного процесса по мере сглаживания возмущения, поступающего на колебательное звено. Красная кривая - переходный процесс при идеальном ступенчатом воздействии. Синяя и зеленая кривые соответствуют все более сглаженному ступенчатому воздействию. Голубая кривая - существенно сглаженное ступенчатое воздействие, при котором интенсивность переходного процесса значительно снижена (фиолетовая кривая)

На рис. 8 сигналы, поступающие на три нижних колебательных звена, предварительно сглаживаются фильтрами, состоящими из двух последовательно включенных аperiодических звеньев. Инерционность этих звеньев выбрана нарастающей сверху вниз, что обеспечивает все большее сглаживание ступенчатой функции.

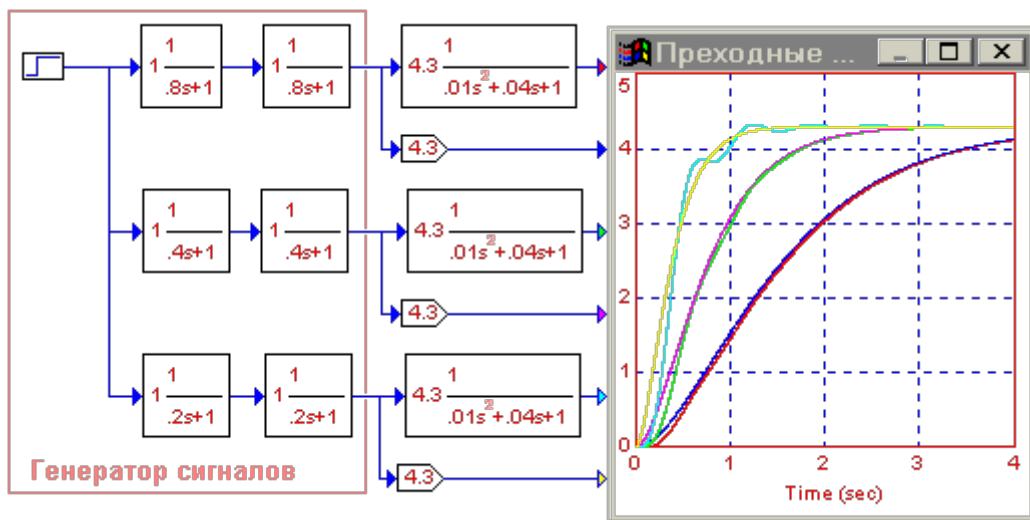


Рис. 9. Нарастание воздействия со скоростью примерно 8 ед/сек сопровождается заметным переходным процессом (голубая линия), при скорости 4 ед/сек переходный процесс существенно слабее (зеленая) и при скорости 2 ед/сек переходный процесс практически отсутствует (красная кривая)

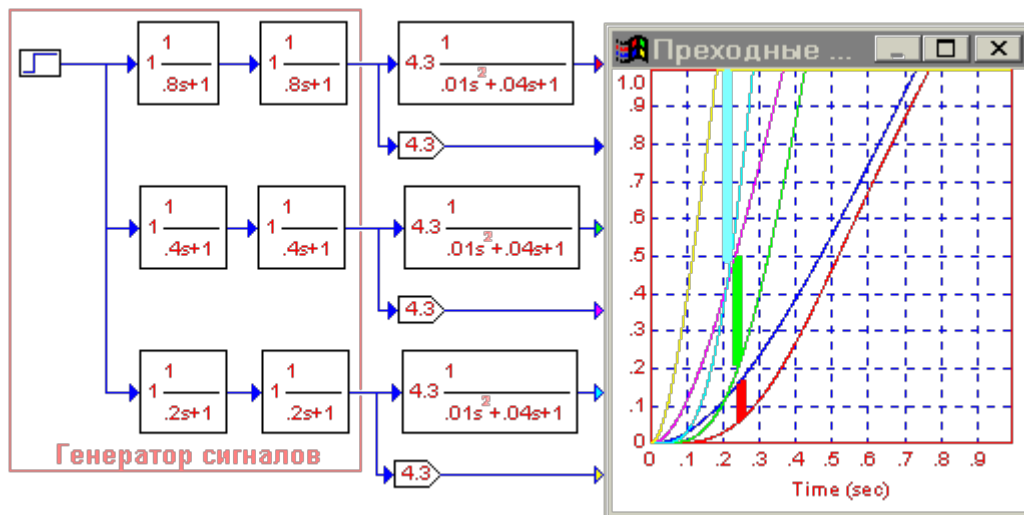


Рис. 10. Более крупный масштаб позволяет рассмотреть величины отклонений выходных величин колебательных звеньев от входных. Для красной кривой максимальное отклонение от задающего (синего) воздействия составляет относительно малую величину 0,1, т.е. колебательная система практически успевает отслеживать "синий" сигнал и отклонения уже можно трактовать не как переходный процесс, а как ошибку установившегося режима, определяемую коэффициентами ошибок системы

Таким образом, с практической точки зрения между переходным и установившимся режимами работы системы существует сравнительно размытая граница. Ее можно определять, задавая критическую скорость изменения воздействия, при которой величина переходного процесса становится пренебрежимо малой, например, менее 5 %. Эта скорость для конкретной системы будет определяться коэффициентами ошибок системы c_1 и c_2 .

Отметим, что в линейных системах формально переходный процесс длится бесконечно, поскольку выходной сигнал приближается к установившемуся значению асимптотически. На практике считается, что переходный процесс закончился в момент, когда его величина уменьшается в 20 раз по сравнению с максимальным его значением. В линейных амплитудно-импульсных системах при некоторых условиях переходный процесс может длиться конечное время. Тем не менее, и в АИСАР, как и в непрерывных САР, переходный процесс может при определенных условиях отсутствовать или составлять малую часть сигнала установившегося режима.

4. Приближенное описание установившегося режима

Передаточную функцию САР можно разложить в ряд по степеням s :

(4)

$$\Phi(s) = \Phi(0) + \frac{\Phi'(s)|_{s=0}}{1!} s + \frac{\Phi''(s)|_{s=0}}{2!} s^2 + \dots = g_0 + g_1 s + \frac{g_2}{2} s^2 + \dots$$

тогда, очевидно, выходной сигнал САР примет вид:

(5)

$$y(t) = g_0 x(t) + g_1 x'(t) + g_2 x''(t) / 2 + \dots$$

Как видно, коэффициенты g_k позволяют определить значение выходного сигнала системы, находящейся под воздействием $x(t)$. Поэтому эти коэффициенты могут быть названы, например, коэффициентами отклика или реакции системы на воздействие.

(Термины "переходный" и "передаточный" уже используются для определения других понятий). Первые коэффициенты отклика системы, по аналогии с коэффициентами ошибок, могут быть названы: g_0 - коэффициентом отклика по положению, g_1 - коэффициентом отклика по скорости, g_2 - коэффициентом отклика по ускорению.

Немаловажен для практики вопрос о скорости сходимости ряда (5). Дело упрощается, когда воздействие $x(t)$ имеет ограниченное число ненулевых производных. Это позволяет облегчить описание установившегося режима работы системы.

Для системы (3), ограничиваясь первыми тремя членами разложения, можно получить:

$$\Phi(s) \approx k \left[1 + (b_1 - a_2)s + [b_2 - a_1 + (-kb_1 + ka_2)a_2]s^2 \right],$$

или

$$\Phi(s) \approx k \left[1 + (b_1 - a_2)s + [b_2 - a_1 + (a_2 - b_1)a_2]s^2 \right],$$

(разложение выполнено в программе MathCAD).

Таким образом, коэффициенты отклика системы (3) имеют вид: $g_0 = k$; $g_1 = k(b_1 - a_2)$; $g_2 = k(b_2 - a_1 + (a_2 - b_1)a_2)$.

Рассмотрим модель САР в виде аperiodического звена. Для многих, даже сложных объектов и систем в определенных пределах это вполне адекватная модель. Передаточная функция аperiodического звена может быть разложена в ряд по степеням s :

(6)

$$\Phi(s) = k / (1 + Ts) = k (1 - Ts + T^2 s^2 - T^3 s^3 + \dots),$$

тогда, первые коэффициенты отклика в (5) равны: $g_0 = k$; $g_1 = -kT$; $g_2 = kT^2$. Пусть $k = 2,3$; $T = 0,2$ сек. Выходной сигнал аperiodического звена, как отклик на воздействие $x(t)$, в соответствии с (5) определится рядом:

(7)

$$y(t) = 2,3 x(t) - 0,46 x'(t) + 0,096 x''(t) + \dots$$

Ограничим ряд (6) тремя слагаемыми:

(8)

$$\Phi_3(s) = k (1 - Ts + T^2 s^2).$$

Пусть на входе звена действует линейно растущий с нулевого момента времени, сглаженный, сигнал:

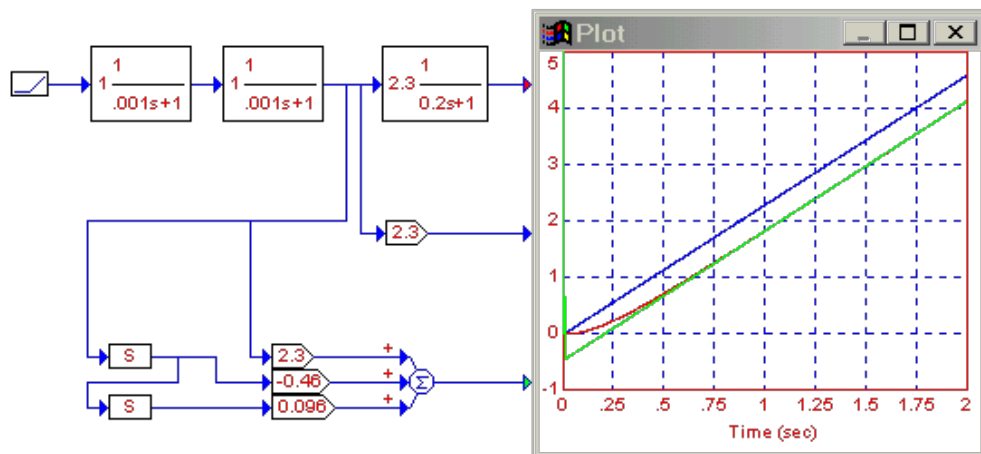


Рис. 11. Полная и усеченная модели дают в установившемся режиме одинаковые

результаты. Переходный процесс заканчивается к концу третьей четверти первой секунды и далее, в установившемся режиме усеченный ряд, состоящий из трех слагаемых, совпадает с выходным сигналом апериодического звена (красная кривая покрывается зеленой)

Как известно [3], система с передаточной функцией (8) в соответствии с критерием Пэли - Винера не реализуема [3, стр. 193], поскольку степень полинома числителя (равная 2) больше степени полинома знаменателя (равной 0). Тем не менее, для (8) может быть построена ее математическая модель:

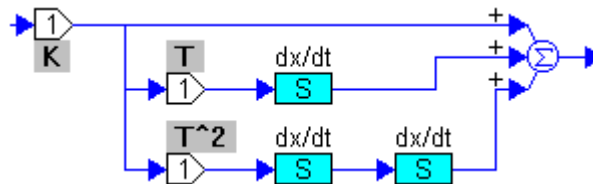


Рис. 12. Модель усеченного ряда разложения передаточной функции апериодического звена. Модель, определяя производные, тем самым прогнозирует значение выходного сигнала, она адекватна апериодическому звену в установившемся режиме

Как видно из рис. 11, нереализуемая модель рис. 12 обеспечивает тот же отклик, что и вполне реализуемое апериодическое звено. Сравнивая схему рис. 12 со схемой рис. 7 можно отметить, что усеченная модель вида рис. 12, полученная разложением передаточной функции в усеченный ряд, учитывает и инерционную часть схемы рис. 7, состоящую из интеграторов, охваченных обратными связями, моделирующими инерционность. Учет этот осуществляется только коэффициентами пропорциональности (коэффициентами отклика) и этого достаточно для правильной оценки реакции на воздействие в установившемся режиме! Важный вопрос о скорости сходимости ряда с физической точки зрения сводится к тому, что модель состоятельна в установившемся режиме, другими словами, при сравнительно медленно изменяющихся воздействиях. В этом случае поведение частотной характеристики модели системы на частотах, более высоких, чем ширина спектра воздействия роли не играет и всегда можно ввести достаточную инерционность с тем, чтобы нереализуемую модель заменить реализуемой.

Отметим, что ограничение двумя слагаемыми ряда разложения передаточной функции сводит усеченную модель любого порядка к усеченной модели апериодического звена. Известным недостатком моделей вида рис. 12 является то, что реальные сигналы сопровождаются аддитивными шумами, а операция дифференцирования их существенно "выпячивает".

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме.

Основная: 1-2

Дополнительная: 1-4

Методическая: 1-2

Интернет-ресурсы: 1

Программное обеспечение: 1-2

Тема 7. Классификация сложных систем
Тема 8. Классификация систем
Тема 9. Основные понятия и определения

Практическое занятие № 17-18
Название работы: Классификация систем

1. Цель занятия

Закрепление теоретических знаний по теме «Установившиеся и переходные процессы в непрерывных системах».

Формируемые компетенции: УК-1.

2. Подготовка к занятию

1. Изучить (повторить) теоретический материал.
2. Ознакомиться с заданием на практическое занятие.
3. Ответить на контрольные вопросы.

3. Распределение времени занятия:

Всего: 180 мин

Вступительная часть

Проверка готовности студентов к занятию

Программа практического занятия

1. Переходные процессы в апериодическом звене. Ступенчатое воздействие
2. Переходные процессы в колебательном звене и звеньях более высоких порядков при ступенчатом воздействии
3. Переходный процесс при непрерывном воздействии
4. Приближенное описание установившегося режима

Проверка выполнения практического занятия

Заключительная часть

4. Правила работы в лаборатории

К работе в лаборатории допускаются лица, изучившие правила и меры безопасности, сдавшие зачет по ним и усвоившие порядок выполнения практического занятия.

5. Основные теоретические сведения

Формирователи импульсов заданной длительности – одновибраторы, обеспечивают получение выходных одиночных импульсов с заданной длительностью при соответствующем перепаде входного сигнала. При этом длительность запускающего импульса $t_{и\text{ зап}}$ должна быть не больше длительности вырабатываемого одновибратором импульса $t_{и}$, т.е. $t_{и\text{ зап}} < t_{и}$. Схема одновибратора приведена на рис. 1. Он выполнен на двух элементах логики типа 2И-НЕ путем введения положительной обратной связи (выход второго элемента соединен с входом первого).

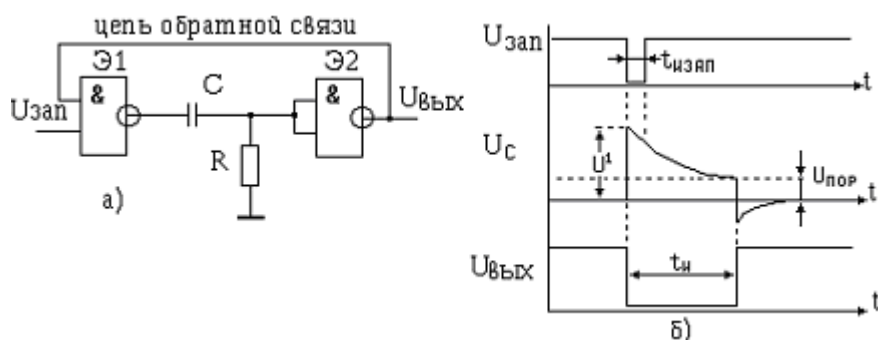


Рис.1 Одновибратор на логических элементах и эпюры напряжений.

В исходном состоянии на выходе элемента Э2 имеется уровень “1”, а на выходе элемента Э1- “0”, так как на обоих его входах имеется “1”(запускающие импульсы представляют отрицательный перепад напряжения). При поступлении на вход запускающего отрицательного перепада напряжения на выходе первого элемента появится уровень “1”, т.е. положительный скачок, который через конденсатор С поступит на вход второго элемента. Элемент Э2 инвертирует этот сигнал и уровень “0” по цепи обратной связи подается на второй вход элемента Э1. На выходе элемента Э2 поддерживается уровень “0” до тех пор, пока не зарядится конденсатор С до уровня $U_{с\text{ пор}} = U^1 - U_{\text{пор}}$, а напряжение на резисторе R не достигнет порогового уровня $U_{\text{пор}}$ (рис. 1, б). Длительность выходного импульса одновибратора может быть определена с помощью выражения:

$$t_{\text{н}} = C(R + R_{\text{вых}}) \ln \frac{U^1}{U_{\text{пор}}},$$

где $R_{\text{вых}}$ - выходное сопротивление первого элемента. $U_{\text{пор}}$ - пороговое напряжение логического элемента.

Одновибраторы выпускаются также и в виде готовых ИС, например К155АГ1. Обозначение, цоколевка и таблица истинности ИС приведены на рис.2 и табл.1

Микросхема представляет собой два ждущих одновибратора с возможностью перезапуска. Каждый одновибратор имеет прямой Q и инверсный Q выходы, вход сброса R (активный уровень напряжения — низкий) и два входа запуска В — прямой с активным высоким уровнем и А — инверсный с активным низким уровнем напряжения. Длительность выходного импульса определяется внешними времязадающими элементами R и C

1 — оА1	S	Q1	13
2 — В1		Q1о	4
		C1-x	14
3 — оR1		R/C1-x	15
9 — оА2		Q2	5
10 — В2		Q2о	12
		C2-x	6
11 — оR2		R/C2-x	7

Н выв.	Назначение	Н выв.	Назначение
1	Вход информационный	9	Вход информационный
2	Вход информационный	10	Вход информационный
3	Вход "сброс"	11	Вход "сброс"
4	Выход Q1	12	Выход Q2
5	Выход Q2	13	Выход Q1
6	Внешняя емкость C2	14	Внешняя емкость C1
7	Внешний компонент R/C2	15	Внешний компонент R/C1
8	Общий	16	Ucc

Рис. 2 Схема и назначение входов одновибратора К155АГ3

Таблица 1. Режимы работы и таблица истинности.

Сброс R1	Вход		Выход Q1
	A1	B1	
Н	↓	Н	↓
Н	L	↑	↓
↓	L	Н	↓

$\downarrow$	X	X	L
L	X	X	L

Условия установки одновибраторов в состояние низкого уровня напряжения на выходе Q, а также запуска на формирование выходного импульса приведены в таблице истинности. Если одновибратор запущен, выходной импульс можно продлить, подав на вход А перепад напряжения из высокого уровня в низкий или на вход В — из низкого в высокий. С момента этой операции перезапуска до окончания импульса пройдет время T, определяемое времязадающими элементами R и C. Выходной импульс можно оборвать, подав на вход сброса R напряжение низкого уровня. Если оба ждущих одновибратора в микросхеме включить по кольцевой схеме, то можно построить мультивибратор-автогенератор.

Длительность генерируемого импульса приближенно может быть определена по формуле:

$$T = 0,32(R + 0,7)C.$$

Размерности в этой формуле - килоомы, нанофарады, микросекунды или килоомы, микрофарады, миллисекунды.

Описание учебного комплекса на базе контроллера NI PCI 6221

Исследование работы микросхемы проводится с помощью учебного макета, соединенного с блоком коммутации многофункционального устройства сбора данных NI PCI 6221, рис. 3. Описание этого контроллера приведено в приложении 1.

Выводы контроллера NI PCI 6221 соединены с клеммами блока коммутации (Рис.3, п.2). В работе используются

- цифровые входы/выходы порта 1: Line 0-3,
- аналоговые входы AI 0-3,
- выход цифрового генератора «Out»,

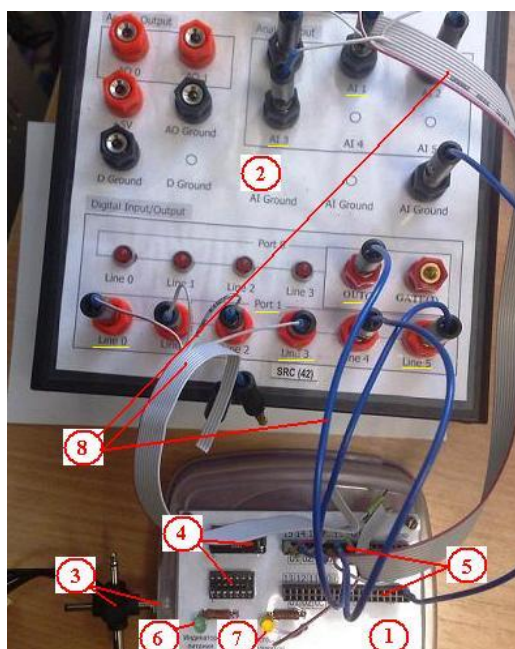


Рис.3 Внешний вид учебного комплекса, где: 1 –учебный стенд, 2 – блок коммутации NI PCI 6221, 3 - блок питания, 4 – микросхема, 5 – соединительная колодка, 6 – индикатор питания, 7 – индикатор тестера, 8 - соединительные провода.

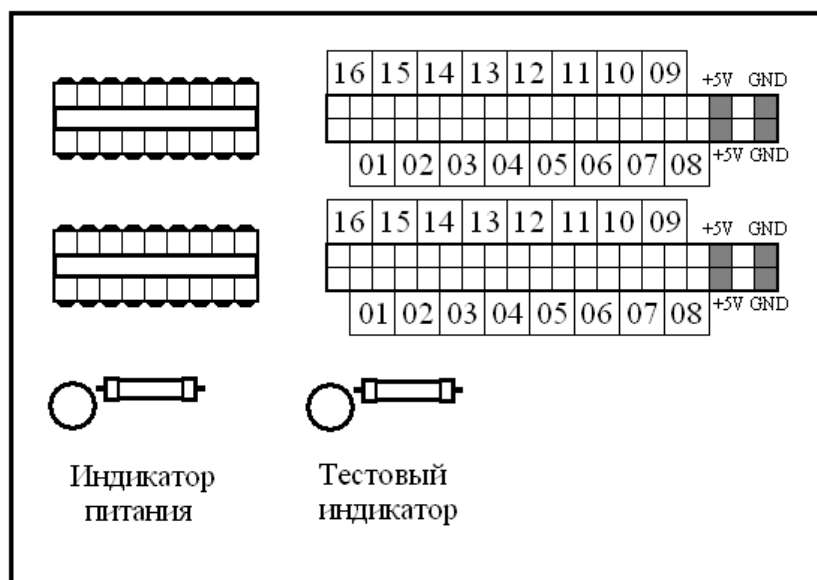


Рис. 4. Разъемы учебного стенда

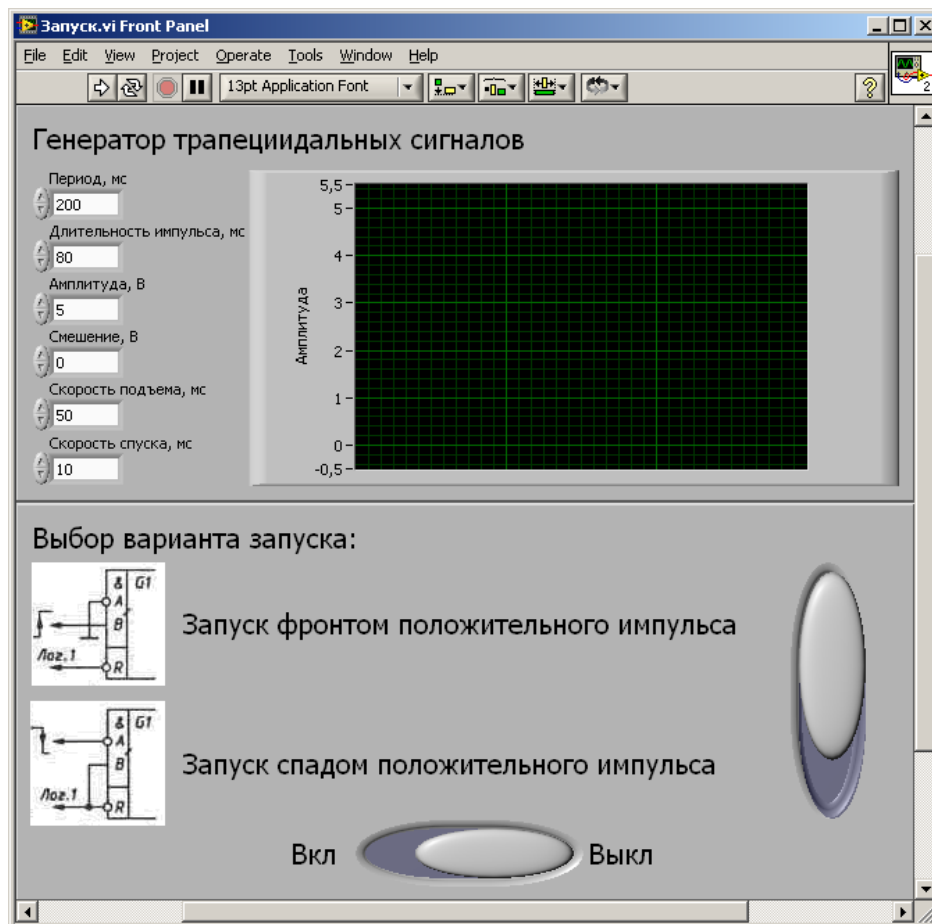
Для соединения блока сопряжения с **NI6221** и учебного макета соединить провода следующим образом

Таблица 2. Подключение микросхемы K155АГ3 (верхняя колодка)

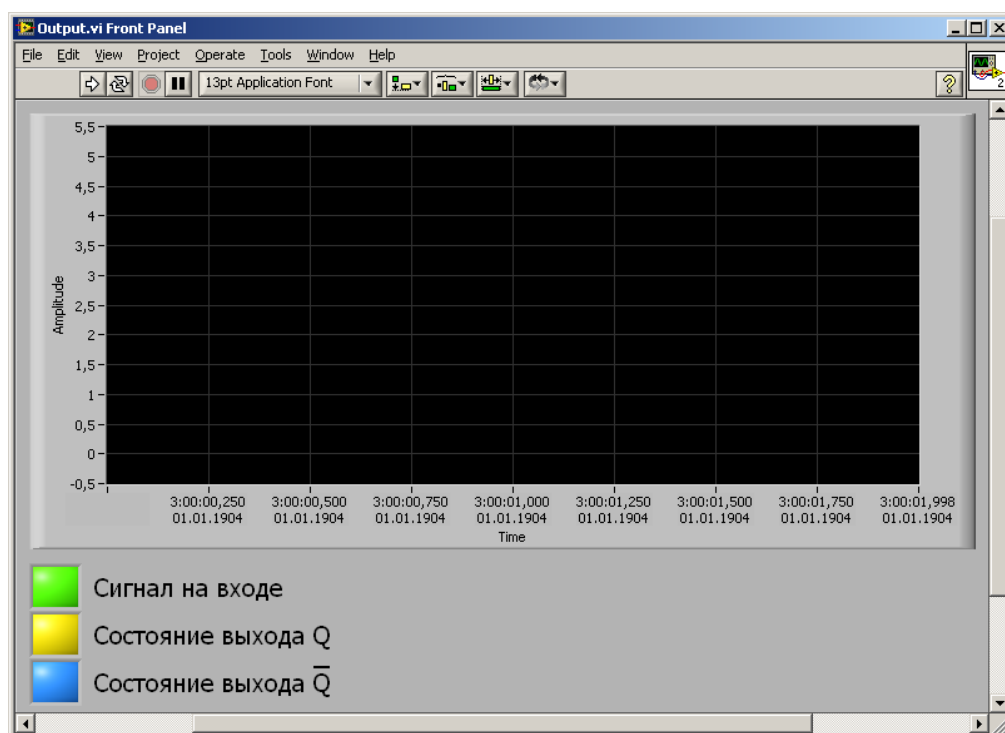
Описание	Ножка ИС	Разъем NI6221	Разъем верхней колодки
Напряжение питания	16	-	+5V
Внешний компонент R/C	15	-	-
Внешняя емкость С	14	-	-
Выход Q1	13	AI1/AI2	-
Общий	8	-	GND
Выход Q1	4	AI0	-
Вход “Сброс”	3	Line2Port1	-
Вход информационный В1	2	AO1	-
Вход информационный А1	1	Line0Port1	-

Внешний вид интерфейса управляющей программы:

Внешний вид программы “Start.exe”:



Внешний вид программы “Output.exe”:



Ход работы.

Для проведения измерений необходимо:

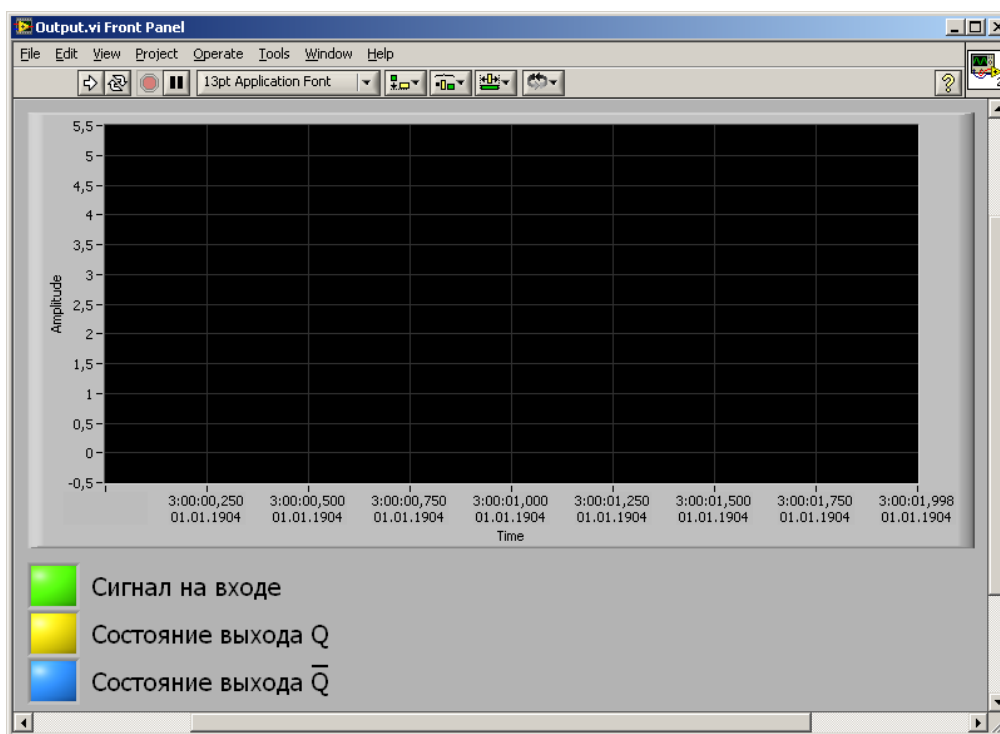
1. Провести необходимые соединения учебного стенда и блока коммутации PCI

6221,

2. Включить блок питания в сеть, должен загореться зеленый индикатор
3. Запустить программы «Start.exe» и «Output.exe», написанные в среде Lab VIEW
4. Выбрать параметры генератора трапецеидальных сигналов:
 - Период, мс
 - Длительность импульса, мс
 - Амплитуда, В
 - Смещение, В
 - Скорость подъема, мс
 - Скорость спуска, мс
5. Выбрать режим запуска:
 - Запуск фронтом положительного импульса
 - Запуск спадом положительного импульса
6. Запустить генератор
7. Наблюдать состояние выходов Q и $\bar{Q}$ на осциллограмме. Осциллограммы скопировать в отчет.
8. Сделайте выводы.

Внешний вид интерфейса управляющей программы:

Внешний вид программы “Start.exe”:



Ход работы:

1) Для соединения блока сопряжения с **NI6221** и учебного макета соединить провода следующим образом:

Описание	Ножка микросхемы	Разъем NI6221	Разъем нижней колодки	Разъем верхней колодки
Напряжение питания	16	-	-	+5V
Внешний компонент R/C	15	-	-	-
Внешняя емкость C	14	-	-	-
Выход Q1	13	AI1/AI2	-	-
Общий	8	-	-	GND
Выход Q1	4	AI0	-	-
Вход “Сброс”	3	Line2Port1	-	-
Вход информационный B1	2	AO1	-	-
Вход информационный A1	1	Line0Port1	-	-

- 2) Включить блок питания в сеть, должен загореться зеленый индикатор
- 3) Запустить программы «Start.exe» и «Output.exe», написанные в среде Lab VIEW
- 4) Выбрать параметры генератора трапецидальных сигналов:
 - Период, мс
 - Длительность импульса, мс
 - Амплитуда, В
 - Смещение, В
 - Скорость подъема, мс
 - Скорость спуска, мс

5) Выбрать режим запуска:

- Запуск фронтом положительного импульса
- Запуск спадом положительного импульса

6) Запустить генератор

9. Наблюдать состояние выходов Q и $\bar{Q}$ на осциллограмме. Осциллограммы скопировать в отчет.

10. Сделайте выводы.

7)

Контрольные вопросы.

1. Что такое одновибраторы? Чем они отличаются от мультивибраторов? Область их применения.
2. Чем определяются параметры генерируемых импульсов? Как рассчитать длительность импульса?
3. Одновибратор K155АГ3, его особенности. Схема и назначение входов
4. Одновибратор K155АГ3. Режимы работы и таблица истинности.

Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме.

Основная: 1-2

Дополнительная: 1-4

Методическая: 1-2

Интернет-ресурсы: 1

Программное обеспечение: 1-2

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для обучающихся по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «Математические основы теории систем»

для студентов направления подготовки
10.03.01 «Информационная безопасность»

Направленность (профиль):

«Организация и технологии защиты информации (по отрасли или в сфере профессиональной
деятельности)»

Ставрополь
2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

1. Общая характеристика самостоятельной работы студента
2. Технологическая карта самостоятельной работы студента
3. Самостоятельное изучение тем лекций
4. Паспорт фонда оценочных средств для проверки самостоятельной работы
5. Список рекомендуемой литературы

ВВЕДЕНИЕ

Целью дисциплины «Математические основы теории систем» является рассмотрение теоретических основ и закономерностей построения и функционирования систем, в том числе и организационных, методологических принципов их анализа и синтеза, применение изученных закономерностей для формирования набора общекультурных и профессиональных компетенций будущего бакалавра по направлению подготовки 10.03.01 «Информационная безопасность».

Основными задачами изучения дисциплины являются:

1. Изучение основных естественнонаучных законов для адекватного применения математического аппарата и выявления сущности проблем, возникающих в сфере защиты информации и информационной безопасности.
2. Формирование способностей применять методы теории систем и системного анализа при проведении предварительного технико-экономического анализа и обоснования проектных решений по обеспечению информационной безопасности.
3. Формирование способностей самостоятельно проводить эксперименты по заданной методике, обрабатывать результаты, оценивать погрешность и достоверность результатов.

1. Общая характеристика самостоятельной работы студента

Основными видами учебной работы по достижению результатов освоения дисциплины являются лекции, практические занятия и самостоятельная работа студентов (СРС).

На лекциях раскрываются основные положения и понятия курса, формируются знания в области математических основ теории систем. На практических занятиях формируются умения и навыки, необходимые для решения задач профессиональной деятельности.

Приступая к изучению учебной дисциплины, необходимо ознакомиться с учебной программой, получить в библиотеке рекомендованные учебные пособия, а также получить у ведущего преподавателя в электронном виде конспекты лекций, методические рекомендации к практическим занятиям и тестовые, завести новую тетрадь для конспектирования лекций.

Для изучения дисциплины предлагается список основной и дополнительной литературы. Основная литература предназначена для обязательного изучения, дополнительная – поможет более глубоко освоить отдельные вопросы, подготовить исследовательские задания и выполнить задания для самостоятельной работы.

В ходе лекционных занятий студент обязан осуществлять конспектирование учебного материала, особое внимание, обращая на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных понятий, физических явлений, процессов, эффектов. В рабочих конспектах желательно оставлять поля, на которых следует делать пометки из рекомендованной литературы, дополнять материал прослушанной лекции, формулировать научные выводы и практические рекомендации. Студент имеет право задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций.

Самостоятельная работа студентов над материалом учебной дисциплины является неотъемлемой частью учебного процесса и должна предполагать углубление знания учебного материала, излагаемого на аудиторных занятиях, и приобретение дополнительных знаний по отдельным вопросам самостоятельно.

Основными видами самостоятельной работы по учебной дисциплине являются:

- самостоятельное изучение учебного материала по заданным темам;
- подготовка к практическим занятиям, оформление отчета и подготовка к собеседованию по результатам работы.

Основными методами самостоятельной работы студентов являются:

- 1) для овладения знаниями:
 - чтение текста (конспекта лекций, учебника, дополнительной литературы) и конспектирование текста;

- работа с нормативными документами;
- поиск информации в Интернет;
- 2) для закрепления и систематизации знаний:
 - работа с конспектом лекции (обработка текста);
 - повторная работа над учебным материалом (учебника, дополнительной литературы, слайдами);
 - составление плана и тезисов ответа или графическое изображение структуры ответа;
 - составление таблиц для систематизации учебного материала;
 - изучение нормативных документов;
 - ответы на контрольные вопросы;
- 3) для формирования умений:
 - подготовка к практическим занятиям;
 - решение задач
 - подготовка отчетов по практическим занятиям;
 - рефлексивный анализ профессиональных умений.

В случае пропуска учебного занятия студент может воспользоваться содержанием различных блоков учебно-методического комплекса для самоподготовки и освоения темы. Для самоконтроля необходимо использовать вопросы и задания, предлагаемые к лабораторным занятиям, а также варианты тестовых заданий.

2. Технологическая карта самостоятельной работы студента

Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
5 семестр					
УК-1 ИД-1 УК-1 ИД-3	Подготовка к практическому занятию	Собеседование	10,55	0,25	10,8
УК-1 ИД-1 УК-1 ИД-3	Подготовка к лекции	Конспект	10,55	0,25	10,8
УК-1 ИД-1 УК-1 ИД-3	Подготовка доклада	Доклад	10,55	0,25	10,8
УК-1 ИД-1 УК-1 ИД-3	Самостоятельное изучение литературы	Конспект	10,55	0,25	10,8
УК-1 ИД-1 УК-1 ИД-3	Самостоятельное выполнение заданий по заданным темам.	Конспект. Письменный отчет	10,55	0,25	10,8
Итого за семестр			52,75	1,25	54,00
Итого			52,75	1,25	54,00

3. Порядок выполнения самостоятельной работы

3.1 Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Комплексное изучение предлагаемой студентам учебной дисциплины «Математические основы теории систем» предполагает овладение материалами лекций, учебников, программы, творческую работу студентов в ходе проведения лабораторных работ, а также систематическое выполнение заданий для самостоятельной работы.

В ходе лекций раскрываются основные вопросы в рамках рассматриваемых тем, делаются акценты на наиболее сложные и интересные положения изучаемого материала, которые должны быть приняты студентами во внимание. Материалы лекций являются основой для подготовки студентов к лабораторным занятиям.

Работа с конспектом лекций

Просмотрите конспект сразу после занятий. Отметьте материал конспекта лекций, который вызывает затруднения для понимания. Попытайтесь найти ответы на затруднительные вопросы, используя предлагаемую литературу. Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, сформулируйте вопросы и обратитесь на текущей консультации или на ближайшей лекции за помощью к преподавателю.

Каждую неделю отводите время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам и тестам.

Выполнение практических занятий по дисциплине «Математические основы теории систем»

На первом занятии получите у преподавателя задания по курсу, планы подготовки к лабораторным работам. Обзаведитесь всем необходимым методическим обеспечением.

Перед практическими занятиями изучите теорию вопроса, предполагаемого к исследованию, ознакомьтесь с опытом других исследователей в этом направлении.

Целью практических занятий является:

- закрепление методов приложения теории к решению практических задач анализа и синтеза психологического знания;
- проверка уровня понимания студентами вопросов, рассмотренных на лекциях и по учебной литературе, степени и качества усвоения материала;
- обучение навыкам освоения методики эксперимента и работы с нормативно-справочной литературой;
- восполнение пробелов в пройденной теоретической части курса и оказание помощи в его усвоении.

3.2 Методические рекомендации по написанию и оформлению доклада

1. Общие положения

1.1. Доклад, как вид самостоятельной работы в учебном процессе, способствует формированию навыков исследовательской работы, расширяет познавательные интересы, учит критически мыслить.

1.2. При написании доклада по заданной теме студент составляет план, подбирает основные источники.

1.3. В процессе работы с источниками систематизирует полученные сведения, делает выводы и обобщения.

1.4. К докладу по крупной теме могут привлекать несколько студентов, между которыми распределяются вопросы выступления.

2. Выбор темы доклада

2.1. Тематика доклада обычно определяется преподавателем, но в определении темы инициативу может проявить и студент.

2.2. Прежде чем выбрать тему доклада, автору необходимо выявить свой интерес, определить, над какой проблемой он хотел бы поработать, более глубоко ее изучить.

3. Этапы работы над докладом

3.1. Формулирование темы, причем она должна быть не только актуальной по своему значению, но и оригинальной, интересной по содержанию.

3.2. Подбор и изучение основных источников по теме (как правильно, при разработке доклада используется не менее 8-10 различных источников).

3.3. Составление списка использованных источников.

3.4. Обработка и систематизация информации

3.5. Разработка плана доклада.

3.6. Написание доклада.

3.7. Публичное выступление с результатами исследования.

4. Структура доклада:

- титульный лист

- оглавление (в нем последовательно излагаются названия пунктов доклада, указываются страницы, с которых начинается каждый пункт);

- введение (формулирует суть исследуемой проблемы, обосновывается выбор темы, определяются ее значимость и актуальность, указываются цель и задачи доклада, дается характеристика используемой литературы);

- основная часть (каждый раздел ее, доказательно раскрывая отдельную проблему или одну из ее сторон, логически является продолжением предыдущего; в основной части могут быть представлены таблицы, графики, схемы);

- заключение (подводятся итоги или дается обобщенный вывод по теме доклада, предлагаются рекомендации);

- список использованных источников

5. Структура и содержание доклада

5.1. Введение - это вступительная часть научно-исследовательской работы. Автор должен приложить все усилия, чтобы в этом небольшом по объему разделе показать актуальность темы, раскрыть практическую значимость ее, определить цели и задачи эксперимента или его фрагмента.

5.2. Основная часть. В ней раскрывается содержание доклада.

Как правило, основная часть состоит из теоретического и практического разделов. В теоретическом разделе раскрываются история и теория исследуемой проблемы, дается критический анализ литературы и показываются позиции автора. В практическом разделе излагаются методы, ход, и результаты самостоятельно проведенного эксперимента или фрагмента.

В основной части могут быть также представлены схемы, диаграммы, таблицы, рисунки и т.д.

5.3. В заключении содержатся итоги работы, выводы, к которым пришел автор, и рекомендации. Заключение должно быть кратким, обязательным и соответствовать поставленным задачам.

5.4. Список использованных источников представляет собой перечень использованных книг, статей, фамилии авторов приводятся в алфавитном порядке, при этом все источники даются под общей нумерацией литературы. В исходных данных источника указываются фамилия и инициалы автора, название работы, место и год издания.

5.5. Приложение к докладу оформляются на отдельных листах, причем каждое должно иметь свой тематический заголовок и номер, который пишется в правом верхнем углу, например: «Приложение 1»

6. Требования к оформлению доклада

6.1. Объем доклада может колебаться в пределах 5-15 печатных страниц; все приложения к работе не входят в ее объем.

6.2. Доклад должен быть выполнен грамотно, с соблюдением культуры изложения.

6.3. Обязательно должны иметься ссылки на используемую литературу.

6.4. Должна быть соблюдена последовательность написания библиографического аппарата.

7. Критерии оценки доклада

- актуальность темы исследования;
- соответствие содержания теме;
- глубина проработки материала; правильность и полнота использования источников;
- соответствие оформления доклада стандартам.

По усмотрению преподавателя доклады могут быть представлены на семинарах, научно-практических конференциях, а также использоваться как зачетные работы по пройденным темам.

3.3 Методические рекомендации по конспектированию первоисточников

Изучение и анализ литературных источников является обязательным видом самостоятельной работы студентов. Изучение литературы по избранной теме имеет своей

задачей проследить характер постановки и решения определенной проблемы различными авторами, аргументацию их выводов и обобщений, провести анализ и систематизировать полученный материал на основе собственного осмысления с целью выяснения современного состояния вопроса.

Проработка отобранного материала обязательно должна идти с одновременным ведением записей прочитанного и своих замечаний. Запись может иметь как форму конспекта, так и выписок, а также картотеку положений, тезисов, идей, методик, что в дальнейшем облегчит классификацию и систематизацию полученного материала. Такого рода записи являются лучшим способом накопления и первичной обработки материала, одной из обязательных форм организации умственного труда.

Планом удобно пользоваться при подготовке к устному выступлению по выбранной теме. Каждый пункт плана должен раскрывать одну из сторон избранной темы, а весь план должен охватывать ее целиком.

Тезисы предполагают сжатое изложение основных положений текста в форме утверждения или отрицания. Они являются более совершенной формой записей и представляют основу для дискуссии. К тому же их легко запомнить.

Конспектирование – процесс мысленной переработки и письменной фиксации информации, в виде краткого изложения основного содержания, смысла какого-либо текста.

Результат конспектирования – запись, позволяющая конспектирующему немедленно или через некоторый срок с нужной полнотой восстановить полученную информацию. Конспект в переводе с латыни означает «обзор». По существу его и составлять надо как обзор, содержащий основные мысли текста без подробностей и второстепенных деталей. Конспект носит индивидуализированный характер: он рассчитан на самого автора и поэтому может оказаться малопонятным для других.

Для того чтобы осуществлять этот вид работы, в каждом конкретном случае необходимо грамотно решить следующие задачи:

1. Сориентироваться в общей композиции текста (уметь определить вступление, основную часть, заключение).
2. Увидеть логико-смысловую канву сообщения, понять систему изложения автором информации в целом, а также ход развития каждой отдельной мысли.
3. Выявить «ключевые» мысли, т. е. основные смысловые вехи, на которые «нанизано» все содержание текста.
4. Определить детализирующую информацию.
5. Лаконично сформулировать основную информацию, не перенося на письмо все целиком и дословно.

Во всяком научном тексте содержится информация 2-х видов: основная и вспомогательная. Основной является информация, имеющая наиболее существенное значение для раскрытия содержания темы или вопроса. К ней относятся: определения научных понятий, формулировки законов, теоретических принципов и т. д. Назначение вспомогательной информации – помочь читателю лучше усвоить предлагаемый материал. К этому типу информации относятся разного рода комментарии. Основную – записываем как можно полнее, вспомогательную, как правило, опускаем. Содержание конспектирования составляет переработка основной информации в целях ее обобщения и сокращения. Обобщить – значит представить ее в более общей, схематической форме, в виде тезисов, выводов, отдельных заголовков, изложения основных результатов и т. п. Читая, мы интуитивно используем некоторые слова и фразы в качестве опорных. Такие опорные слова и фразы называются ключевыми. Ключевые слова и фразы несут основную смысловую и эмоциональную

нагрузку содержания текста.

Выбор ключевых слов – это первый этап смыслового свертывания, смыслового сжатия материала.

Важными требованиями к конспекту являются наглядность и обозримость записей и такое их расположение, которое давало бы возможность уяснить логические связи и иерархию понятий.

По форме конспекты подразделяются на формализованные и графические.

1. Формализованные (все записи вносятся в заранее подготовленные таблицы).

Это удобно, во-первых, при конспектировании материалов, когда перечень характеристик описываемых предметов или явлений более или менее постоянен, во-вторых, при подготовке единого конспекта по нескольким источникам. Особенно если есть необходимость сравнения отдельных данных. Разновидностью формализованного конспекта является запись, составленная в форме ответов на заранее подготовленные вопросы, обеспечивающие исчерпывающие характеристики однотипных предметов или явлений.

2. Графические (элементы конспектируемой работы располагаются в таком виде, при котором видна иерархия понятий и взаимосвязь между ними).

По каждой работе может быть не один, а несколько графических конспектов, отображающих книгу в целом и отдельные ее части. Ведение графического конспекта – наиболее совершенный способ изображения внутренней структуры книги, а сам этот процесс помогает усвоению ее содержания.

Можно выделить следующие основные **типы конспектов: плановый, текстуальный, сводный, тематический.**

Плановый – легко получить с помощью предварительно сделанного плана произведения, каждому вопросу плана отвечает определенная часть конспекта:

а) вопросно-ответный (на пункты плана, выраженные в вопросительной форме, конспект дает точные ответы);

б) схематичный плановый конспект (отражает логическую структуру и взаимосвязь отдельных положений).

Текстуальный – это конспект, созданный в основном из цитат.

Сводный конспект – сочетает выписки, цитаты, иногда тезисы; часть его текста может быть снабжена планом.

Тематический – дает более или менее исчерпывающий ответ (в зависимости из числа привлеченных источников и другого материала, например, своих же записей) на поставленный вопрос – тему: обзорный; хронологический.

Роль конспекта – чисто учебная: он помогает зафиксировать основные понятия и положения первичного текста и в нужный момент их воспроизвести, например, при написании реферата или подготовке к экзамену.

Способы конспектирования.

- **Тезисы** – это кратко сформулированные основные мысли, положения изучаемого материала. Тезисы лаконично выражают суть читаемого, дают возможность раскрыть содержание. Приступая к освоению записи в виде тезисов, полезно в самом тексте отмечать места, наиболее четко формулирующие основную мысль, которую автор доказывает (если, конечно, это не библиотечная книга). Часто такой отбор облегчается шрифтовым выделением, сделанным в самом тексте.

- **Линейно-последовательная запись текста.** При конспектировании линейно – последовательным способом целесообразно использование плакатно-оформительских средств, которые включают в себя следующие:

- сдвиг текста конспекта по горизонтали, по вертикали;
- выделение жирным (или другим) шрифтом особо значимых слов;
- использование различных цветов;
- подчеркивание;

- заключение в рамку главной информации.

- **Способ «вопросов – ответов».** Он заключается в том, что, поделив страницу тетради пополам вертикальной чертой, конспектирующий в левой части страницы самостоятельно формулирует вопросы или проблемы, затронутые в данном тексте, а в правой части дает ответы на них.

Одна из модификаций способа «вопросов – ответов» - таблица, где место вопроса занимает формулировка проблемы, поднятой автором (лектором), а место ответа – решение данной проблемы. Иногда в таблице могут появиться и дополнительные графы: например, «мое мнение» и т. п.

- **Схема с фрагментами** – способ конспектирования, позволяющий ярче выявить структуру текста, - при этом фрагменты текста (опорные слова, словосочетания, пояснения всякого рода) в сочетании с графикой помогают созданию рационально - лаконичного конспекта.

- **Простая схема** – способ конспектирования, близкий к схеме с фрагментами, объяснений к которой конспектирующий не пишет, но должен уметь давать их устно. Этот способ требует высокой квалификации конспектирующего. В противном случае такой конспект нельзя будет использовать.

- **Параллельный способ** конспектирования. Конспект оформляется на двух листах параллельно или один лист делится вертикальной чертой пополам и записи делаются в правой и в левой части листа.

Однако лучше использовать разные способы конспектирования для записи одного и того же материала.

Комбинированный конспект – вершина овладения рациональным конспектированием. При этом умело используются все перечисленные способы, сочетая их в одном конспекте (один из видов конспекта свободно перетекает в другой в зависимости от конспектируемого текста, от желания и умения конспектирующего). Именно при комбинированном конспекте более всего проявляется уровень подготовки и индивидуальность студента.

Принципы составления конспекта прочитанного.

1. Записать все выходные данные источника: автор, название, год и место издания. Если текст взят из периодического издания (газеты или журнала), то записать его название, год, месяц, номер, число, место издания.

2. Выделить поля слева или справа, можно с обеих сторон. Слева на полях отмечаются страницы оригинала, структурные разделы статьи или книги (названия параграфов, подзаголовки и т. п.), формулируются основные проблемы. Справа – способы фиксации прочитанной информации.

Один из видов чтения – углубленное – предполагает глубокое усвоение прочитанного и часто сохранение информации в целях последующего обращения к ней. Эффективность такого чтения повышается, если прочитанное зафиксировано не только в памяти, но и на бумаге. Психологи утверждают, что записанное лучше и полнее усваивается, прочнее откладывается в памяти. Установлено, что если прочитать 1000 слов и затем записать 50, подытоживающих прочитанное, то коэффициент усвоения будет выше, чем, если прочитать 10000 слов, не записав ни одного. Кроме того, при записи прочитанного формируется навык свертывания информации. И, наконец, чередование чтения и записывания уменьшает усталость, повышает работоспособность и производительность умственного труда.

1. Резюмирование.

Резюме – краткий итог прочитанного, содержащий его оценку. Резюме характеризует основные выводы книги, главные итоги.

Выбор языковых средств для построения резюме-выводов подчинен основной задаче свертывания информации: минимум языковых средств – максимум информации. Это обычно одно – три четких, кратких, выразительных предложения, раскрывающих, по мнению автора, самую суть описываемого объекта.

2. Аннотация.

Аннотация – краткая обобщенная характеристика печатной работы (книги, статьи), включающая иногда и его оценку. Это наикратчайшее изложение содержания первичного документа, дающее общее представление о теме.

Основное ее назначение – дать некоторое представление о книге (статье, научной работе) с тем, чтобы рекомендовать ее определенному кругу читателей или воспользоваться своими записями при выполнении работы исследовательского, реферативного характера. Поэтому аннотации не требуются изложения содержания произведения, в ней лишь перечисляются вопросы, которые освещены в первоисточнике (содержание этих вопросов не раскрывается). Аннотация отвечает на вопрос: «О чем говорится в первичном тексте?», дает представление только о главной теме и перечне вопросов, затрагиваемых в тексте первоисточника.

Текст аннотации не стандартизирован. В научной литературе можно встретить различные требования к составлению аннотаций. Например, текст справочной аннотации может включать следующие сведения:

- тип и название аннотируемого документа (монография, диссертация, сборник, статья и т. п.)
- задачи, поставленные автором аннотируемого документа
- метод, которым пользовался автор (эксперимент, сравнительный анализ, компиляция других источников)
- принадлежность автора к определенной научной школе или направлению
- структуру аннотируемого документа
- предмет и тему произведения, основные положения и выводы автора
- характеристику вспомогательных иллюстративных материалов, дополнений, приложений, справочного аппарата, включая указатели и библиографию.

4.1 Вопросы для собеседования по практическим занятиям

Типовые задачи:

Задания базового уровня:

- 1) Вклады различных школ управления в теорию менеджмента.
- 2) Школа человеческих отношений.
- 3) Психологическая школа управления.
- 4) Системный подход в теории управления.
- 5) Ситуационный подход в управлении.
- 6) Признаки эффективного менеджмента по Питеру Друкеру.
- 7) Характерные черты современных концепций управления.
- 8) Эксперименты по привлечению работников к участию в управлении.
- 9) Современное определение функций управления.
- 10) Функции контроля в управлении.

Задания повышенного уровня:

- 11) Разработать программу для отделения корня или корней уравнения
- 12) Разработать программу для подсчета произведения элементов матрицы $M1$ с нечетной суммой индексов
- 13) Разработать программу для решения полиномиальных уравнений

1. Функциональная и дивизионная организационные структуры.
2. Однолинейная и многолинейная системы управления организацией.
3. Линейно-штабная и матричная системы в управлении.
4. Корпоративная культура, её содержание.
5. Типология корпоративных культур.
6. Эффект синергии в экономике. Портфельная стратегия.
7. Сущность стратегического планирования. Его схема.
8. Целями организации. Ключевыми требованиями к правильно сформулированным целям.

9. Анализировать внешнее и внутреннее среды организации.
10. Общим понятием и базовым принципом управления персоналом.

1. Принципы управления.
2. Разделение труда в организации по уровням и сферам деятельности.
3. Сущность, социофакторы и этика менеджмента.

4. Природа и классификация функций менеджмента.
5. Сущность и взаимосвязь основных (общих) функций менеджмента.

1. Типовая структура системы управления персоналом.
2. Особенности организации системы управления в социотехнических системах.
3. Основные требования к организации службы персонала и ее ресурсному обеспечению

4. Формирование кадровой политики и другие базовые функции службы персонала.
5. Планирование как операционная подсистема персонального менеджмента и

основные требования к ее организации.

6. Планирование рабочих мест.
7. Цели, структура и основные требования к организации подсистемы привлечения, отбора и первичного развития персонала.

8. Основными аспектами выбора базовой концепции привлечения персонала и механизм ее практической реализации.

9. Организацией процесса непосредственного привлечения персонала.

10. Процессом отбора персонала и его базовые этапы.

1. Концепции руководства в менеджменте.
2. Лидерство в организации.
3. Стили руководства в менеджменте.

4. Имиджем менеджера.
5. Деловым общением в организации.

1. Организацию процесса первичного развития персонала.

2. Управление процессами повышения квалификации и профессиональной переподготовки.
3. Организацию и управление процессом оценки результатов деятельности персонала.
4. Управление процессом подготовки кандидатов в состав резерва.
5. Основные задачи подсистемы оплаты труда.
6. Обеспечение подсистемы оплаты труда.
7. Организацию основной и дополнительной оплаты труда персонала.
8. Структурами и основными требованиями к организации подсистемы социально-психологической поддержки персонала.
9. Организацией психологической поддержки персонала.
10. Организацией социально-экономической поддержки персонала.
1. Управление процессом подготовки кандидатов в состав резерва.
2. Основные задачи подсистемы оплаты труда.
3. Обеспечение подсистемы оплаты труда.
4. Организационной основной и дополнительной оплаты труда персонала.
5. Структурой и основными требованиями к организации подсистемы социально-психологической поддержки персонала.

4.2 Комплект разноуровневых задач и заданий

1. Исторический подход , к изучению менеджмента
2. Развитие управленческой мысли до и на ранних стадиях капитализма
3. Возникновение и эволюция менеджмента
4. Какие пять «органических» функций управления определил Ф. Тейлор?
5. Основные административные принципы Файоля разъясняющиеся в книге «Общее и промышленное управление», опубликованной в 1916 г?
6. Основные периоды, которые оказывали влияние экономики на управление, по направлению деятельности людей, занимавшихся управлением.
7. Современные проблемы управления?
8. Положениями характеризующие современный менеджмент?
9. Раскрыть содержание рациональной школы управления Ф. Тейлора и приведите примеры реализации его подхода в любом современном предприятии (учреждении).
10. Показать взаимосвязь принципов управления А. Файоля с производственными отношениями, изучаемыми в экономической теории.

Повышенный уровень:

1. Какие принципы и функции управления, использовавшиеся при строительстве египетских пирамид Моисеем при организации вывода израильтян из рабства, применяются в современном менеджменте?
2. Когда возник менеджмент и каковы были его экономические предпосылки?
3. Каковы факторы эволюции менеджмента? Почему сначала был научный (рациональный) подход к управлению (Ф.Тейлор), а позднее возникла необходимость гуманизации в отношениях управления?
4. Принципами А. Файоля, названные им «честь мундира», трансформировался в современном бизнесе и управлении
5. Черты характеризующие современный менеджмент

Базовый уровень:

1. Человеческий фактор и групповое взаимодействие
2. На какие группы классифицируются традиционно малые группы?
3. Понятие власти в менеджменте
4. Как власть в менеджменте может влиять на коллектив?
5. На какие виды классифицируется власть?
6. Стили управления
7. Российская традиционная классификация стилей управления.
8. Мотивацией в менеджменте
9. Лидерством в менеджменте
10. Правовыми аспектами менеджмента персонала

Повышенный уровень:

1. Почему человеческий фактор уже повсеместно признан как наиболее существенный и весомый?
2. Чем предопределяется выбор стиля руководства и какие классификации стилей руководства вам известны?
3. Какие теории мотивации вам известны?
4. Существенными нормами кадрового строительства в менеджменте организации
5. Фактором повышения производительности труда и максимизирования прибыли

Базовый уровень:

1. На чём основываются трудовые отношения?
2. Основные задачи подсистемы оплаты труда.
3. Основные формы оплаты труда
4. Что входит в состав основной заработной платы?
5. Что включают в дополнительную заработную платы?
6. Для чего служат формы Т1 и Т1а?
7. В какие формы записывается открытия лицевого счета работника?
8. Обеспечением подсистемы оплаты труда.
9. Рассчитать минимальный размер оплаты труда
10. Организационной основной и дополнительной оплаты труда персонала.

Повышенный уровень:

1. Системы оплаты труда
2. Оплата труда совместителей
3. Тарифная система оплаты труда
4. Составом и структурой заработной платы на торговом предприятии

5. Список рекомендуемой литературы

5.1.1. Основная литература:

1. Иванов, С. А. Теория систем и системный анализ : учебное пособие / С. А. Иванов. — Санкт-Петербург : ИЭО СПбУТУиЭ, 2021. — 87 с. — ISBN 978-5-94047-880-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/246509>
2. Овсянников, А. С. Теория информационных процессов и систем : учебник / А. С. Овсянников. — Самара : ПГУТИ, 2019. — 274 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/223301>

5.1.2. Дополнительная литература:

1. Артюхин, Г.А. Теория систем и системный анализ. Практикум принятия решений Электронный ресурс : учебное пособие / Г.А. Артюхин. - Казань : Казанский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016. - 166 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.

2. Клименко, И. С. Теория систем и системный анализ Электронный ресурс : Учебное пособие / И. С. Клименко. - Москва : Российский новый университет, 2014. - 264 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-89789-093-4

5.1.3. Методическая литература:

1. Электронный курс лекций.
2. Электронные методические рекомендации для выполнения практических заданий.

5.1.4. Интернет-ресурсы:

<http://www.intuit.ru/studies/courses/83/83/info> – учебный курс «Введение в анализ, синтез и моделирование систем: Информация».

5.1.5. Программное обеспечение

1. Программа тестового контроля «Айрен».
2. Программа «Mathcad v.14» для автоматизации математических вычислений.