

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

Методичні вказівки

до виконання лабораторних робіт з курсу « Дінаміка гідропневмосистем » для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітніх програми « Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика », спеціальності D4 «Енерговиробництво», «Моделювання технічних систем» спеціальності D9 «Прикладна механіка», «Машини і обладнання для технологічних процесів» спеціальності D11 «Машинобудування»»

Затверджений
Редакційна та видавнича справа
Рада університету,
Протокол № 2 від 26.06.2025 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2025

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу « Дінаміка гідропневмосистем » для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітніх програми « Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика », спеціальності D4 «Енерговиробництво», «Моделювання технічних систем» спеціальності D9 «Прикладна механіка», «Машини і обладання для технологічних процесів» спеціальності D11 «Машинобудування» / Уклад.: А.И. Гасюк. Харків: НТУ «ХП», 2025. 38 с.

Укладач: А.І. Гасюк

Рецензент: Ю.М. Кухтенков

Кафедра гідравлічних машин імені Г.Ф. Проскури

ВСТУП

Ці методичні рекомендації призначені для виконання лабораторних робіт з курсу «Динамика гідропневмосистем» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітніх програми «Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика», спеціальності D4 «Енерговиробництво», «Моделювання технічних систем» спеціальності D9 «Прикладна механіка», «Машини і обладнання для технологічних процесів» спеціальності D11 «Машинобудування» та припускають знання студентами основних положень навчальної дисципліни.

Лабораторні роботи спрямовані на формування інженерних знань в області вивчення та дослідження стаціонарних і перехідних процесів в гідропневматичних системах (ГПС) для забезпечення сучасного технічного рівня і конкурентоспроможності проєктованих механізмів і машин.

Метою цих методичних рекомендацій є ознайомлення студентів із сучасними пакетами імітаційного моделювання, набуття навичок постановки та розв'язування задач динаміки GPS на комп'ютерах. Отримані навички можуть бути застосовані при виконанні спеціальних завдань дипломних та магістерських робіт.

Сучасні високоефективні чисельні методи вивчення динаміки GPS на комп'ютерах повинні гармонійно поєднуватися з аналітичними методами аналізу і розрахунку, фундаментальними законами механіки твердого тіла, механіки рідини і газу, теорією автоматичного керування, теорією оптимальних систем.

Ці лабораторні роботи сприятимуть подальшому поглибленому вивченню динаміки гідропневматичних систем.

Видання містить 6 лабораторних робіт.

Лабораторія 1

ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС VISSIM (ВІЗУАЛЬНИЙ СИМУЛЯТОР)

(РОЗРОБЛЕНО АМЕРИКАНСЬКОЮ КОМПАНІЄЮ VISUAL SOLUTIONS INC.)

Мета роботи: ознайомитися з середовищем моделювання VisSim.

1. Основні відомості про пакет

Пакет VisSim є однією з класичних програм блочного моделювання. Вона об'єднує більшість відомих апаратних і програмних методів для дослідження і розробки систем моделювання.

1.1. Принципи побудови

Програма VisSim дозволяє будувати моделі систем на основі структурних і функціональних схем (або, при достатньому досвіді роботи з VisSim, безпосередньо з математичного опису об'єкта моделювання, в якому диференціальні рівняння представлені в нормальному вигляді Коші). Кожен блок реалізує певну математичну функцію. Математична модель досліджуваної системи (її алгебраїчні, трансцендентні і звичайні диференціальні рівняння, нерівності і т. Д.) Повинна бути представлена у вигляді структурно-функціональної схеми для подальшої множини у вигляді набору блоків і зв'язків між ними (діаграм).

1.2. Основное меню VisSim, панель инструментов

Меню складається з таких пунктів: «File», «Edit» (редактор), «Simulate» (налаштування процесу моделювання та оптимізації), «Blocks» (функціональні блоки), «Analyze» (різні додатки, пов'язані з частотним критерієм, аналізом передавальних функцій і т.д.), «View» (налаштування шрифту, розміру блоків та символів, зміна кольору зображення на екрані монітора), «Help» (допомога).

На панелі інструментів розташовані кнопки, кожна з яких відповідає дії. Всі ці кнопки дублюють деякі команди в головному меню і призначені для полегшення роботи з пакетом.

1.3. Функціональні блоки

VisSim має в своєму розпорядженні бібліотекою з більш ніж 100 функціональних блоків для побудови лінійних, нелінійних, параметричних, безперервних, дискретних систем, за допомогою яких можна представити:

- передавальні функції типових ланок лінійних систем;
- імітація різних збурень, що діють на реальну систему (ступінчаста дія, гармонічна, пилкоподібна і т.д.);
- математичні та логічні операції;
- нелінійні характеристики і т.д.

Доступ до всіх блоків здійснюється через меню "Блоки". У меню вони організовані в групи, кожна з яких містить функціональні блоки.

1) Animation – група блоків анімації:

- animate – анімаційний блок,
- lineDraw – блок лінійної анімації;

2) Annotation – група блоків анотації на схемі:

- bezel – картинка из файла для вставки на лист діаграм;
- comment – пояснення на схемі (кілька рядків);
- date – вставити поточну дату;
- index — це блок, який використовується в матричному вичисленні;
- label – коментар, що використовується в блок-чарті;
- scalarToVec – переклад скалярної величини у векторну форму;
- vecToScalar – переведення векторної величини в скалярну форму;
- variable – варіативні (використання змінних дозволяє зменшити

захараченість діаграми лініями зв'язку);

- wirePositioner – позиціонер для формування напрямку ліній зв'язку;

3) Arithmetic – група блоків арифметичних функцій:

- * (multiply) – множення двох сигналів (має два входи і один вихід);
- -X (negate) – виворот знака;
- / (divide) – ділення;
- abs –модуль;
- gain – блок посилення сигналу (коефіцієнт посилення);

- pow – блок возведення сигналів в будь яку ступень;
- sign – знак сигналу (+ або -);
- summingJunction – суматор;

4) Boolean – група блоків логічних функцій:

- < – менш;
- <= – менше або дорівнює;
- == – рівності;
- != – не дорівнює;
- > – більше;
- >= – більше або дорівнює;
- and – І (логічний сполучник);
- not – НЕ (логічне заперечення);
- or – АБО (логічна диз'юнкція);
- xor – заперечення АБО+;

5) DDE – група блоків для організації обміну між програмами:

- DDE – блок обміну даними з іншою програмою;
- DDEreceive – блок для отримання даних з іншої програми;
- DDEsend – блок для відправки даних в іншу програму;

6) Integration – група інтеграційних одиниць:

- integrator – інтегруючий зв'язок;
- limitedIntegrator – обмежений інтегратор (має максимальні та

мінімальні вихідні значення);

- resetIntegrator – скидання інтегратора;

7) Linear Sistem – група лінійних системних блоків:

- stateSpace – простір станів;
- transferFunction – функція передачі;

8) Nonlinear – група блоків нелінійних систем:

● case – оператор варіанту (має кілька входів плюс вхід корпусу, який визначає, який вхідний сигнал виводити);

- crossDetect – реле, що фіксує сигнал певного рівня;
- deadband – реле мертвих зон;

- `int` – є цілою частиною числа;
- `limit` – обмежувач сигналу;
- `map` — блок побудови нелінійних функцій на площині та в просторі;
- `max` – визначення максимального значення сигналу;
- `merge` – програмний перемикач сигналу;
- `min` – визначення мінімального значення сигналу;
- `quantize` – дискретизація;
- `relay` – релейні (двох-) трипозиційні із зоною нечутливості;
- `sampleHold` – «морозильник» вихідного сигналу (має два входи: x і b , при подачі сигналу на вхід B на виході блоку встановлюється постійний сигнал, що дорівнює миттєвому значенню сигналу x);

9) Optimization – група блоків для оптимізації системи:

- `constraint` – блок є датчиком для неявних функцій, рішення яких реалізується ітераційними методами за відсутності похідних у неявних рівняннях;
- `cost` – блок являє собою датчик при оптимізації, завдання якого полягає в автоматичному виборі параметрів системи в ітераційному процесі повторних обчислень;
- `globalConstraint` – блок є додатковим датчиком, який може бути використаний для створення з'єднання з власним методом оптимізації, написаним на високорівневій мові (C++, Pascal, Fortran, ...), і компіляторами для введення в бібліотеку `dll`;
- `parameterUnknown` (невідомий параметр) – блок використовується методами оптимізації для перенесення на блок-схему в ітераційному процесі результатів повторних обчислень значень параметрів системи, мінімізуючи складений вами критерій;
- `unknown` (неизвестный) – це блок, який використовується неявними методами для передачі значень невідомих величин на блок-схему в ітераційному процесі;

10) Random Generator – група блоків для генерації випадкових сигналів:

- gaussian – генератор випадкових сигналів за методом Гауса, який генерує псевдовипадковий білий шум з нормальним законом розподілу;

- uniform – блок, що генерує псевдовипадковий сигнал з рівномірним розподілом по інтервалу від 0 до 1;

11) Real Time – група блоків для виконання функцій реального часу:

- rt-DataIn – пристрій зчитує на структурній схемі сигнал, що надходить від апаратної частини для взаємодії комп'ютера із зовнішніми предметами;

- rt-DataOut – блок реєструє сигнал, що надходить на його вхід в апаратну частину для взаємодії комп'ютера із зовнішніми об'єктами;

12) Signal Consumer – група блоків для відображення сигналів:

- display (індикатор цифрової) – блок відображає поточні значення вхідного сигналу за допомогою заданої вами кількості символів;

- error (ошибка) – блок контролює вхідний сигнал, і якщо він не дорівнює нулю, зупиняє процес моделювання. Встановлює прапорець помилки і розфарбовує блок, а також складені блоки, що його містять, червоним кольором;

- export (експорт) – це пристрій, який записує сигнали, що надходять на його входи у файл;

- histogram (гистограмма) – блок візуалізує розподіл ймовірностей значення під час моделювання;

- light – лампочка (одиначний вхід), поточне значення вхідного сигналу змушує блок світитися: синім, зеленим або червоним;

- meter (стрелочный индикатор) – блок візуалізує значення вхідного сигналу, відображаючи його за допомогою стрілки або індикатора шкали;

- plot – осцилограф, який одночасно відображає графіки (до 4 графіків) різними кольорами;

- stop (стоп) – блок, в залежності від значення вхідного сигналу, завершує процес моделювання і може заборонити автоперезапуск;

- stripChart (реєстратор) – агрегат є універсальним пристроєм для візуалізації тривалих процесів, що протікають;

13) Signal Producer – група блоків, які виконують роль генераторів сигналів:

- button (кнопка (один вихід)) — блок генерує дискретний керуючий сигнал для блок-схеми, дозволяючи користувачеві динамічно змінювати його значення за допомогою миші під час процесу моделювання за допомогою візуального графічного інтерфейсу;

- const (постійний) - генератор постійного сигналу, значення якого не змінюється в процесі експлуатації моделі;

- import (import) – отримати дані з файлу;

- parabola (парабола) – блок генерує сигнал, який змінюється з постійним прискоренням;

- pulseTrain (імпульсна дія) – блок генерує імпульси одиничної амплітуди, які використовуються для синхронізації інших одиниць;

- ramp (лінійної дії) – блок-генератор лінійно зростаючого сигналу;

- realTime (Real Time) – блок зчитує поточний час з системного годинника комп'ютера і генерує сигнал, значення якого дорівнює часу в мілісекундах з моменту початку процесу моделювання. За допомогою блоку ви можете оцінити швидкість виконання фрагментів вашої блок-схеми;

- sinusoid (синусоїда) – пристрій генерує синусоїду;

- slider (повзунок для формування вхідних сигналів) – блок управління формує постійний сигнал, значення якого, за допомогою миші, під час імітації можна змінювати або з довільним кроком, або з фіксованим;

- step – блок генерує однокрокову функцію, яка часто використовується в якості збурюючої дії для отримання перехідного процесу системи;

14) Time Delay – група блоків, які виконують функції лаг-ланки:

- timeDelay – затримка (два входи: затримка сигналу і значення затримки);

- `unitDelay` (регістр затримки) – блок затримує сигнал на один раз дискретно;

15) `Transcendental` – група трансцендентних блоків, що виконують тригонометричні, бesselо, експоненціальні, логарифмічні функції та вилучення квадратних коренів:

- `acos` – арккосинус;
- `asin` – арксинус;
- `atan2` – арктангенс;
- `bessel` – блок перетворює вхідний сигнал, повертаючи значення функції Бесселя 1-го порядку *n*-го порядку;

- `cos` – косинус;
- `cosh` – гіперболічний косинус;
- `exp` – експонента;
- `log10` – десятичний логаритм;
- `ln` – натуральний логарифм;
- `sin` – синус;
- `sinh` – гіперболічний синус;
- `sqrt` – блок обчислює квадратний корінь з вхідного сигналу;
- `tan` – тангенс;
- `tanh` – гіперболічний тангенс;

16) `UserFunction` – користувацький функціональний блок: якщо модель вимагає певного блоку, якого немає в бібліотеці, то ви можете створити його за допомогою мов програмування C, C++, Fortran, Pascal і підключити за допомогою функціонального блоку DLL;

17) `NeuralNet` (блок нейронної мережі) - блок, який використовується для ідентифікації нелінійних систем, в прикладній діагностиці, в прийнятті рішень, прогнозуванні і в інших завданнях, пов'язаних з розпізнаванням образів.

1.4. Методи інтеграції та оптимізації

1.4.1. Способи інтеграції

VisSim дозволяє вирішувати диференціальні рівняння за допомогою наступних методів: Ейлер – метод Ейлера, Трапецієподібний – трапецієподібний метод, RK2 – метод Рунге-Кутта 2-го порядку точності, RK4 – метод Рунге-Кутта 4-го порядку точності, Адаптивний RK5 – адаптивний метод Рунге-Кутта 5-го порядку точності, адаптивний метод Булірша-Стоера і Зворотний Ейлер – обернений метод Ейлера (або неявний метод Ейлера), який є одним з найпростіших чисельних методів для вирішення звичайних диференціальних рівнянь. Він схожий на стандартний метод Ейлера, але відрізняється тим, що є неявним методом.

1.4.2. Методи оптимізації

VisSim має три ітераційні методи для одновимірної (по одному критерію) параметричної оптимізації: Пауелла, Полака-Ріб'єра та Флетчера Рівза. Будь-який обраний метод послідовно модифікує параметри, виходячи з результатів, отриманих в режимі серії повторних моделювання, і прагне до зниження значення обраного критерію. Основне рівняння для модифікації параметра виглядає наступним чином

$$P_{K+1} = P_K + \Delta P_K,$$

где K - ітераційний індекс (число моделювань в ряду). Різниця між методами полягає в способі генерації значення ΔP_K .

1.4.3. Викладач знайомить учнів з основними функціональними можливостями пакету VisSim безпосередньо на комп'ютері. При цьому зазначаються: загальні відомості про пакет: налаштування, настройка і підключення блоків; розміщення блоків; налаштування властивостей моделювання; процес моделювання; візуалізація результатів моделювання; Детальний опис пакету VisSim міститься в статті [8], а більш коротка характеристика пакета VisSim наведена в статті [7].

Лабораторна робота 2

ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕМЕНТІВ GPS, ПРЕДСТАВЛЕНИХ ТИПОВИМИ ЛАНКАМИ ПРИ СТУПІНЧАСТОМУ КЕРУЮЧОМУ ВПЛИВІ

Типові зв'язки широко використовуються в математичному описі динаміки лінійної і лінеаризованої ГПС.

Мета роботи: оволодіння методом побудови розрахункових (структурних) схем з використанням пакету VisSim; вибір методів, дискретності та часу інтегрування; виведення на екран монітора та друк діаграм перехідних процесів типових ланок.

Методика проведення робіт

1. Ознайомлення з пакетом VisSim з точки зору досягнення мети
2. Вихідні дані

Функції передачі (ПФ) елементів ГПС (типові посилення):

ПФ підсилювальної ланки

$$W_1(S) = K_1; \quad (2.1)$$

ПФ аперіодичної (інерціальної) ланки

$$W_2(S) = \frac{K_2}{T_2 S + 1}; \quad (2.2)$$

ПФ інтегруючої ланки

$$W_3(S) = \frac{K_3}{S}; \quad (2.3)$$

ПФ стійкої коливальної ланки

$$W_4(S) = \frac{K_4}{T_4^2 S^2 + 2DT_4 S + 1}; \quad (2.4)$$

ПФ реальної диференціюючої ланки

$$W_5(S) = \frac{K_5 S}{T_5 S + 1}. \quad (2.5)$$

У загальному випадку перехідні процеси будуть спостерігатися одночасно у всіх 5 ланках (рис. 2.1)

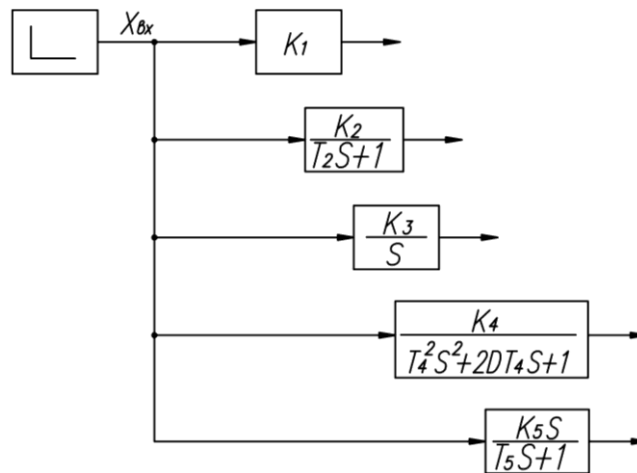


Рисунок 2.1 – Схема, що представляє передавальні функції 5 типових посилянь

3. Значення параметрів ПФ типових ланок згідно п.2

$K_1 = 5$; $K_2 = 2$; $K_3 = 0,4$; $K_4 = 1$; $K_5 = 0,1$; $T_2 = 0,1$ с; $T_4 = 0,02$ с (1-й варіант) и 0,05 (2-й варіант); $T_5 = 0,001$ с, $D = 0,2$ (1-й варіант) и 0,05 (2-й варіант).

4. Частоти безперервних і власних коливань коливальної ланки визначають за формулами (2.6) і (2.7) відповідно з урахуванням прийнятих в рівнянні позначень (2.4)

$$\omega_K = \omega_4 = \frac{1}{T_K} = \frac{1}{T_4}, \text{ с}^{-1}; \quad f_K = f_4 = \frac{\omega_K}{2\pi} = \frac{\omega_4}{2\pi}; \quad (2.6)$$

$$\omega_{\text{соб}} = \omega_K \sqrt{1-D^2} = \omega_4 \sqrt{1-D^2}; \quad f_{\text{соб}} = f_K \sqrt{1-D^2} = f_4 \sqrt{1-D^2}. \quad (2.7)$$

5. Наберіть схему (рис. 2.2) з параметрами кроку 3 в VisSim за допомогою блоку transferFunction, що входить в групу блоків Linear System, і підключіть 5 блоків Plot.

Для коливальної ланки на рис. 2.2 показані числові значення 1-го варіанту: $T_4^2 = 0,02^2 = 0,0004$ с²; $2DT_4 = 2 \cdot 0,2 \cdot 0,02 = 0,008$ с.

Потім, натиснувши на іконки меню Властивості/Симуляція, вибираємо метод, дискретність і час інтегрування (рекомендується метод Рунге-Кутта 2-го порядку точності, дискретність (крок інтегрування) становить 0,001 с, а час інтегрування t_K для 4 передавальних функцій (підсилювальна, аперіодична,

інтегруюча і два варіанти коливальних ланок) - 1,5 с. зменшено до 0,0075 с, а крок інтегрування зменшено до 0,0001 с).

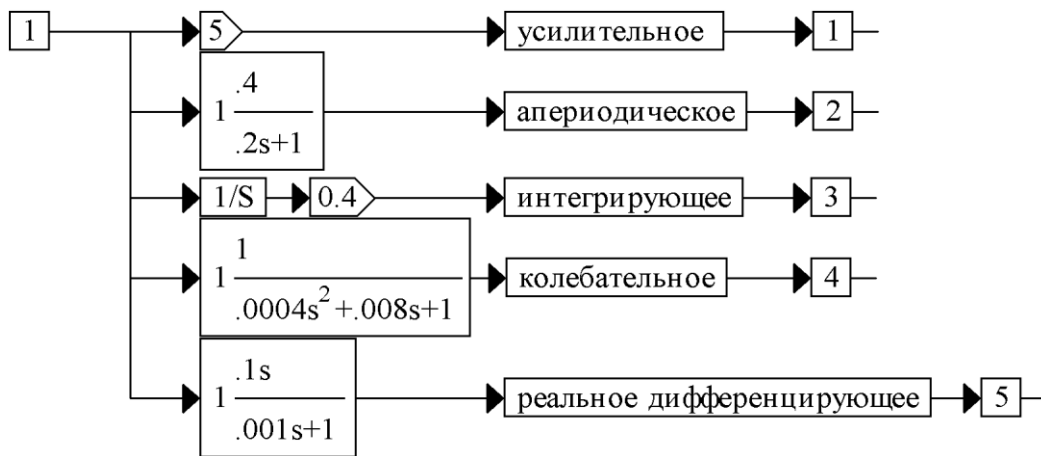


Рисунок 2.2 – Схема розташування обчислювальних блоків в корпусі VisSim, з заданими значеннями функцій передачі 5 типових ланок і вхідна експозиція

6. Увімкніть режим інтеграції та отримайте графіки (рис. 2.3) перехідних процесів ланок під вхідною покроковою дією $x_{вх} = 1$, в в тому числі і для 1-го варіанту коливальної ланки, і провести їх (за винятком реального диференціюючої ланки, візуальна крива якого показана нижче).

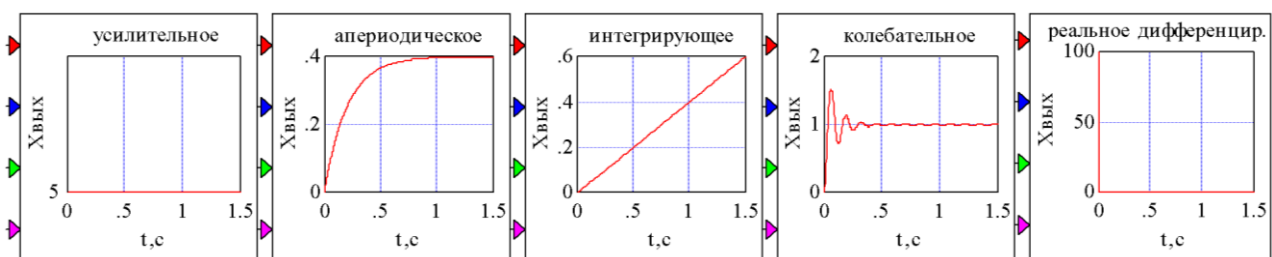


Рисунок 2.3 – Перехідні процеси типових ланок

На коливальній кривій за допомогою меню блоку «Графік» визначити число повних коливань і час, протягом якого вони відбуваються.

7. Повторити інтегрування, попередньо встановивши 2-й варіант параметрів коливальної ланки, отримати криву (рис. 2.4a), накреслити її і визначити число повних коливань і час, протягом якого вони відбуваються.

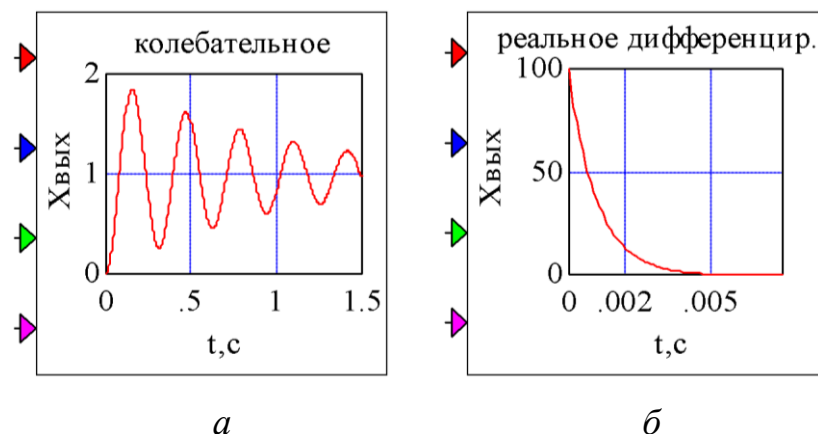


Рисунок 2.4 – Перехідні процеси зв'язку: *a* – коливається з параметрами 2-го варіанту; *б* – реальна диференціація в інтеграції з $t_k = 0,0075$ с і крок 0,0001 с

8. Встановіть час інтеграції $t_k = 0,0075$ с та етап інтеграції 0,0001 с, отримати перехідну криву дійсної диференціюючої ланки (рис. 2.4б) і провести її.

9. Розрахувати частоту безперервних коливань і частоту власних коливань коливальної ланки для двох варіантів параметрів за формулами п.4 T_4 і D .

10. Визначити $f_{вл}$ Коливальний ланка за графіками перехідних процесів двох варіантів виглядає наступним чином. Як приклад розглянемо криву (рис. 2.5), отримано для іншої коливальної ланки з $T_4 = 0,008$ с і $D = 0,0625$ при кількість коливань (на малюнку їх 4) і час $\Delta t = 0,202$ с (часу, протягом якого вони виникають) їх власна частота дорівнює 19,8 Гц.

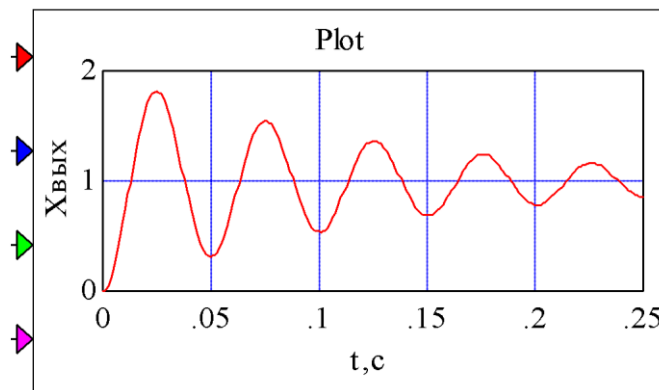


Рисунок 2.5 – Осцилограма переходного процесу вихідного значення коливальної ланки при одноступінчастій дії

11. Порівняти $f_{вл}$, определенные по графикам, с расчетными значениями $f_{вл}$ Відповідно до п. 9.

Зміст доповіді

У звіті повинна бути вказана мета лабораторної роботи та подані:

1. Формули (2.1) – (2.5) функції передачі типових ланок.
2. Креслення переходних процесів типових ланок.
3. Розрахункові значення безперервних і власних частот коливальної ланки для двох варіантів.
4. Значення власних частот визначаються за кривими коливальних ланок для двох варіантів параметрів.
5. Висновки.

Контрольні питання

1. Назвіть основні типові посилення.
2. Які функції передачі ви знаєте?
3. Як вибрати спосіб, дискретність і час інтеграції в пакет VisSim?
4. За якими формулами коливальної ланки можна розрахувати частоту безперервних коливань і частоту власних коливань?
5. Як визначити $f_{вл}$ коливальна ланка за графіками переходних процесів?

6. Як у вікні налаштувань блоку Plot пакета VisSim Позначте вісь ординат відповідно до розмірності похідних змінних, а вісь абсцис - відповідно до розмірності часу «с»?

7. Як у вікні налаштувань блоку Plot пакета VisSim визначити час коливань?

Лабораторна робота 3

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТИПОВИХ GPS

КАНАЛІВ

Частотні характеристики відіграють важливу роль у вивченні лінійних і лінеаризованих ГПС. Вони використовуються для оцінки коливань систем, характеру загасання вібрацій, резонансних частот, пропускну здатності тощо:

– амплітудно-фазна (АЧХ), що визначається ПФ, а саме за допомогою $W(j\omega)$ при $0 \leq \omega \leq \infty$, т.е. при заміні оператора Лапласа в Пенсійному фондї S на $j\omega$ (полярна система координат);

– амплітуда-частота (АЧХ), визначається за модулем

$|W(j\omega)| = \sqrt{\text{Re}^2 W(j\omega) + \text{Im}^2 W(j\omega)}$, при $0 \leq \omega \leq \infty$ (прямокутна система координат);

– Фазочастота (ФЧХ), визначається рівнянням

$$\varphi(\omega) = \arg W(j\omega) = \arctg \frac{\text{Im} W(j\omega)}{\text{Re} W(j\omega)} \text{ (прямокутна система координат).}$$

Тут $\text{Re} W(j\omega)$ – дійсна частина $W(j\omega)$, а $\text{Im} W(j\omega)$ – уявна частина $W(j\omega)$.

При вивченні лінійних і лінеаризованих ГПС часто використовується побудова частотних характеристик за логарифмічною шкалою.

Якщо ми прологимо вираз для комплексного коефіцієнта підсилення

$$W(j\omega) = \frac{x_{\text{ВЫХ}}(t)_{t \rightarrow \infty}}{e^{j\omega t}} = A(\omega) e^{j\varphi(\omega)},$$

тоді ми отримуємо

$$\ln W(j\omega) = \ln A(\omega) + j\varphi(\omega).$$

Крива $\ln A(\omega)$, побудована на логарифмічній шкалі частот, називається логарифмічною амплітудно-частотною характеристикою (ЛАЧХ). Зазвичай, уздовж осі ординат, а не значення $A(\omega)$, Але величина, пропорційна йому $L(\omega)$, виражається в децибелах

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega), \text{ дБ.}$$

Розмір $L(\omega)$ показує посилення ланки в децибелах (нагадаємо, що $A(\omega)$ показує посилення ланки в фізичних одиницях). У наступній таблиці показано відповідність між значеннями $L(\omega)$ и $A(\omega)$.

$A(\omega)$	$L(\omega)$, дБ
1	0
2	6
10	20
100	40
0,1	-20
0,01	-40

Крива $\varphi(\omega)$, побудована на логарифмічній шкалі частот називається логарифмічною фазовою частотною характеристикою (ЛФЧХ). При побудові логарифмічних характеристик на логарифмічній шкалі наносяться частоти уздовж осі частот в декади (десятикратна зміна частоти називається зміною частоти за декаду).

Як він побудований ЛАЧХ Простежимо на прикладі інерційного зв'язку. Прологарифмуємо рівняння АЧХ інерційної ланки

$$L(\omega) = 20 \lg \frac{k}{\sqrt{T^2 \omega^2 + 1}} = 20 \lg k - 20 \lg \sqrt{T^2 \omega^2 + 1}. \quad (3.1)$$

Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика інерційної ланки, побудована за цим виразом, представлена на рис. 3.1 жирною лінією.

Уздовж осі абсциси знаходиться безрозмірна величина ωT на логарифмічній шкалі, на осі ординат-величина $L(\omega)$ (посилення) – в децибелах.

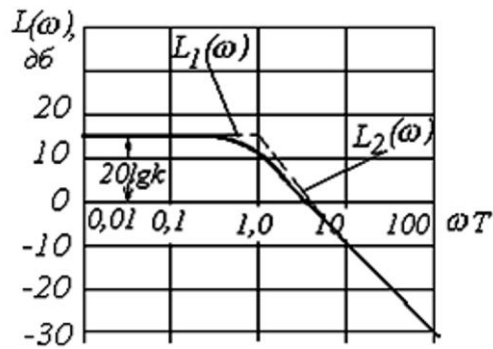


Рисунок 3.1 – Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика інерційної ланки

Побудова логарифмічних характеристик значно спрощується, якщо використовувати наближений метод побудови, заснований на використанні асимптоти. Побудована за рівнянням характеристика (3.1) може бути замінена приблизно двома прямими асимптотами:

1) в прямому діапазоні $0 \leq \omega T \leq 1$ частот

$$L_1 = 20 \lg k. \quad (3.2)$$

Лінія $L_1(\omega)$, показана на рисунку 3.1, виходить з (3.1), якщо знехтувати величиною ωT .

2) в діапазоні частот $\omega T > 1$ прямий

$$L_2(\omega) = 20 \lg \frac{k}{\omega T} = 20 \lg k - 20 \lg \omega T. \quad (3.3)$$

Пряма L_2 (див. рисунок 3.1) виходить з (3.1), якщо знехтувати одиницею в знаменнику. Пряма L_2 має нахил 20 дБ/декаду.

При $\omega = \omega_1$ (см. формулу (3.3)) $L_2(\omega_1) = 20 \lg k - 20 \lg \omega_1 T$,

а при $\omega = 10\omega_1$ $L_2(10\omega_1) = 20 \lg k - 20 \lg 10\omega_1 T = 20 \lg k - 20 \lg \omega_1 T - 20$.

Потім зміна приросту за 1 декаду,

$$\frac{\Delta L}{1 \text{ дек}} = \frac{L_2(10\omega_1) - L_2(\omega_1)}{1 \text{ дек}} = -20 \text{ дБ/дек}.$$

Характеристика, що складається з відрізків $L_1(\omega)$ і $L_2(\omega)$, називається асимптотичною характеристикою. Різниця між ординатами точних і асимптотичних характеристик називається похибкою $\delta\omega$. Вона максимальна при $\omega T = 1$ і дорівнює -3 дБ.

Перейдемо до мети і методу виконання лабораторних робіт.

Мета роботи: оволодіння методом побудови частотних характеристик типових посилювачів на прикладі аперіодичного зв'язку з використанням пакета VisSim; вибір методу, дискретності та часу розрахунку; виведення графіків частотних характеристик на екран монітора

Методика проведення робіт

1. Ознайомлення з пакетом VisSim в плані побудови частотних характеристик типових посилювачів на прикладі аперіодичного зв'язку

2. Вихідні дані та аналітичні рівняння

2.1. Комплексне посилення (ККУ)

$$W(j\omega) = \frac{k}{jT\omega + 1} = \frac{k(1 - jT\omega)}{T^2\omega^2 + 1} = \frac{k}{T^2\omega^2 + 1} - j \frac{kT\omega}{T^2\omega^2 + 1} = U(\omega) - jV(\omega). \quad (3.4)$$

2.2. Матеріальна частина ККУ

$$\operatorname{Re}W(j\omega) = U(\omega) = \frac{k}{T^2\omega^2 + 1}. \quad (3.5)$$

2.3. Уявна частина ККУ

$$\operatorname{Im}W(j\omega) = V(\omega) = \frac{kT\omega}{T^2\omega^2 + 1}. \quad (3.6)$$

2.4. АФХ

$$W(j\omega) = \frac{k}{jT\omega + 1} = \frac{k(1 - jT\omega)}{T^2\omega^2 + 1} = \frac{k}{T^2\omega^2 + 1} - j \frac{kT\omega}{T^2\omega^2 + 1} = U(\omega) - jV(\omega). \quad (3.7)$$

2.5. АЧХ

$$A(\omega) = \text{mod } W(j\omega) = \frac{k}{\sqrt{T^2\omega^2 + 1}}. \quad (3.8)$$



При $\omega = 0$ $A(0) = k$, при $\omega = \infty$ $A(\infty) = 0$.

2.6. ФЧХ

$$\varphi(\omega) = \arg W(j\omega) = \text{arctg}(-T\omega) = -\text{arctg } T\omega = -\arcsin \frac{T\omega}{\sqrt{T^2\omega^2 + 1}}. \quad (3.9)$$

3. Значення параметрів

$$K = 2, \quad T = 0,1 \text{ с.}$$

4. Наберіть діаграму (структурно-функціональну діаграму) обчислювальних блоків відповідно до рівнянь (3.4) – (3.9), включаючи графік. Додайте два блоки зверху  → , формування змін ω за лінійним законом з коефіцієнтом 1.

5. Щоб побудувати АФХ у меню Plot активувати кнопку X·Y, яка забезпечує побудову фазової траєкторії в процесі розрахунку. У розглянутій роботі програмне забезпечення VisSim будує функцію на основі залежностей $U(\omega)$ і $V(\omega)$ конструює функцію $V(U)$, яка в ТАУ називається фазовою траєкторією в загальному випадку, і по відношенню до частотних характеристик – АФХ.

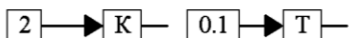
6. Налаштування: Моделювання, Імітаційні властивості, де рекомендується встановлювати зміни ω інтервалу $(0, 200 \text{ с}^{-1})$, метод Рунге-Кутта 2-го порядку точності з дискретністю 0,001 с і часом відліку 200 с; Запустіть процес розрахунку.

7. Ескізні криві АФХ, АЧХ и ФЧХ.

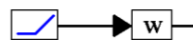
8. Рис. На рисунку 3.2 наведено приклад діаграми обчислювальних одиниць у задачі розв'язку VisSim Lab No 3.

Лабораторная работа №3
"Определение частотных характеристик инерционного звена"

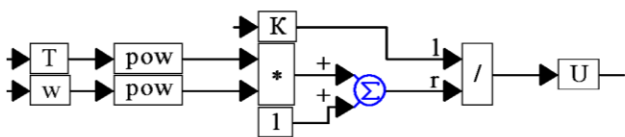
Исходные данные



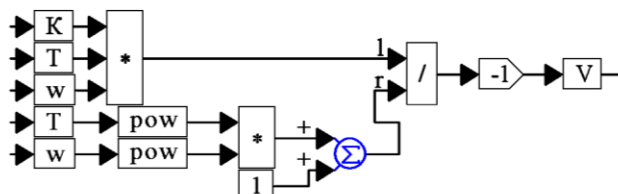
Формирование изменения угловой частоты ω с ускорением $1/c^2$



Определение вещественной части комплексного коэффициента усиления - $\text{Re}W(j\omega)$

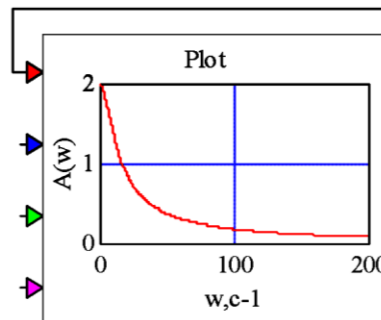
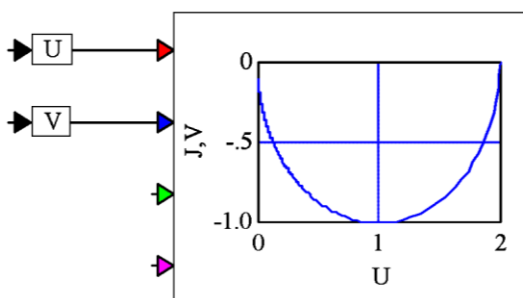
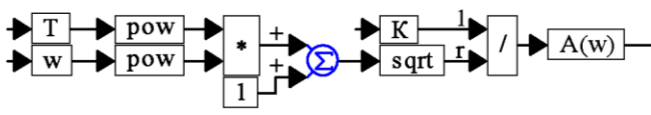


Определение мнимой части комплексного коэффициента усиления - $\text{Im}W(j\omega)$



АФХ - это уравнение полуокружности, начинающейся в точке K на вещественной оси при $\omega=0$, и заканчивающейся в начале координат при ω стремящейся к бесконечности

Определение АЧХ



Определение ФЧХ

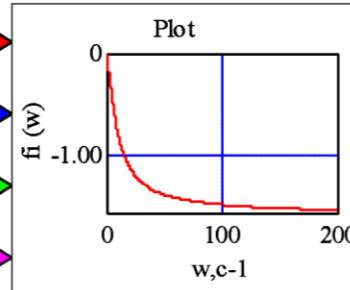
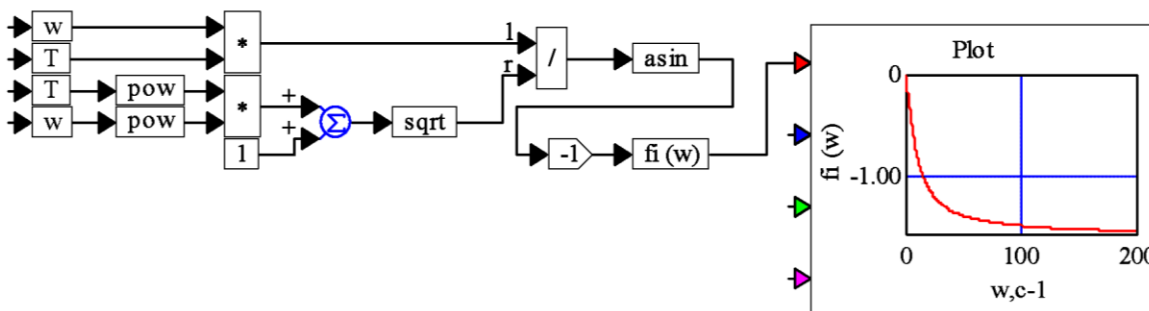


Рисунок 3.2 – Схема обчислювальних блоків л.р. № 3

Зміст звіта

У звіті повинна бути вказана мета лабораторної роботи та подані:

1. Аналітичні рівняння (3.4) – (3.9) для розрахунку ККУ, АФХ, АЧХ и ФЧХ.
2. Алгоритм побудови АФХ в меню.

1. Результиуюча частотна характеристика АФХ, АЧХ и ФЧХ аперіодичний зв'язок.
2. Висновки.

Контрольные вопросы

1. Назвіть частотні характеристики лінійних ГПС.
2. Яке значення вона має АЧХ при $\omega = 0$?
3. Розкажіть, як працює VisSim при побудові частотних характеристик.
4. На який кут вона зміщується ФЧХ аперіодична ланка при збільшенні ω від 0 до ∞ ?
5. Якою мірою зміна частоти по осі абсцис відображено в побудові логарифмічних частотних характеристик?
6. З якої точки на осі абсциси починається будівництво? АФХ?
7. Яка кнопка в меню Plot повинна бути активована при побудові графіка АФХ?

Лабораторна робота 4

ВИЗНАЧЕННЯ $p_1(t)$ ТИСКУ В НАГНІТАЛЬНОМУ І $p_2(t)$

У ЗЛИВНІЙ ПОРОЖНИНІ ГІДРОЦИЛІНДРА

Мета роботи: ознайомитися з математичним описом (диференціальними рівняннями) витрати робочої рідини в нагнітальних і зливних порожнинах навантаженого гідроциліндра, з представленням диференціальних рівнянь, структурно-функціональних діаграм і діаграм обчислювальних блоків пакету VisSim для визначення тисків $p_1(t)$ і $p_2(t)$.

Математичний опис (математична модель) об'єкта (елемента) ГПС) – це сукупність рівнянь, графіків і таблиць, які кількісно описують статичні і динамічні відносини між величинами і початковими умовами з рівнянь статички системи і фізичного стану системи до початку процесу інтегрування.

До основних елементів ГПС У загальному випадку до них відносяться: гідропневматичні машини і гідропневматичні двигуни (насоси, компресори, гідропневматичні двигуни, гідропневматичні циліндри); гідропневматичні пристрої (розподільники, дроселі, клапани, гідропневматичні акумулятори); гідропневматичні лінії (трубопроводи та сполучне обладнання); робоче тіло, повітря.

У даній роботі розглядається рішення диференціальних рівнянь витрат РР в порожнинах навантаженого гідроциліндра (Ц), розрахункова схема якого наведена на рис. 4.1.

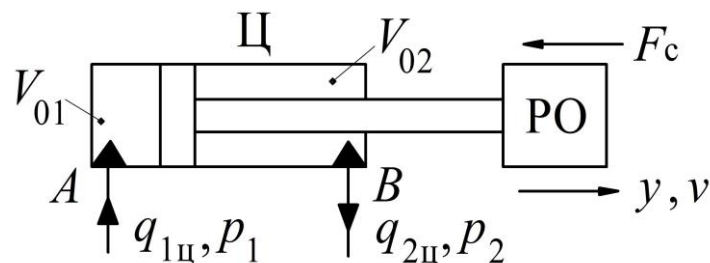


Рисунок 4.1 – Конструктивна схема подолання гідравлічного циліндра зовнішнє навантаження робочого органу РО

Методика проведення робіт

1. Ознайомлення з пакетом VisSim з точки зору досягнення мети
2. Вихідні дані

При написанні диференціальних рівнянь t ми опускаємо незалежний аргумент для спрощення позначення.

Диференціальні рівняння вартості:

– у нагнітальній (поршневій) порожнині

$$q_{1ц} = A_{\Pi} \cdot v + \frac{V_{01} + A_{\Pi} \cdot y}{E} \cdot \dot{p}_1 \quad (4.1)$$

або в нормальній формі Коші щодо похідної \dot{p}_1

$$\dot{p}_1 = \frac{q_{1ц} - A_{\Pi} \cdot v}{V_{01} + A_{\Pi} \cdot y} \cdot E, \quad p_1 = \int_0^{t_k} \dot{p}_1 dt; \quad (4.2)$$

– в зливної (штокової) полості

$$q_{2Ц} = A_{Ш} \cdot v - \frac{V_{02} - A_{Ш} \cdot y}{E} \cdot \dot{p}_2 \quad (4.3)$$

або в нормальній формі Коші щодо похідної \dot{p}_2

$$\dot{p}_2 = \frac{A_{Ш} \cdot v - q_{2Ц}}{V_{02} + A_{Ш} \cdot y} \cdot E, \quad p_2 = \int_0^{t_k} \dot{p}_2 dt. \quad (4.4)$$

Начальні умови (НУ), тобто $p_1(0)$ и $p_2(0)$, приймаються рівними атмосферному тиску, тобто 100 000 Па.

Тут $A_{П}$, $A_{Ш}$, V_{01} и V_{02} – ефективна площа і початкові обсяги РР у порожнини поршнів і штоків Ц, відповідно; E – об'ємний модуль пружності РР; v та y – частота обертання і зміщення штока з робочим органом РО механізму.

3. Значення параметрів

3.1. Для визначення тиску p_1

$$q_{1Ц} = 0,0032 \text{ м}^3/\text{с}; \quad A_{П} = 0,008 \text{ м}^2; \quad v = 0,35 \text{ м/с};$$

$$V_{01} = 0,003 \text{ м}^3; \quad y = 0,0025 \text{ м}; \quad E = 10^9 \text{ Па}.$$

3.2. Для визначення тиску p_2

$$q_{2Ц} = 0,0016 \text{ м}^3/\text{с}; \quad A_{Ш} = 0,005 \text{ м}^2; \quad v = 0,35 \text{ м/с};$$

$$V_{02} = 0,0025 \text{ м}^3; \quad y = 0,0025 \text{ м}; \quad E = 10^9 \text{ Па}.$$

4. Структурно-функціональні діаграми для рівнянь (4.2) і (4.4) наведені на рис. 4.2 і 4.3

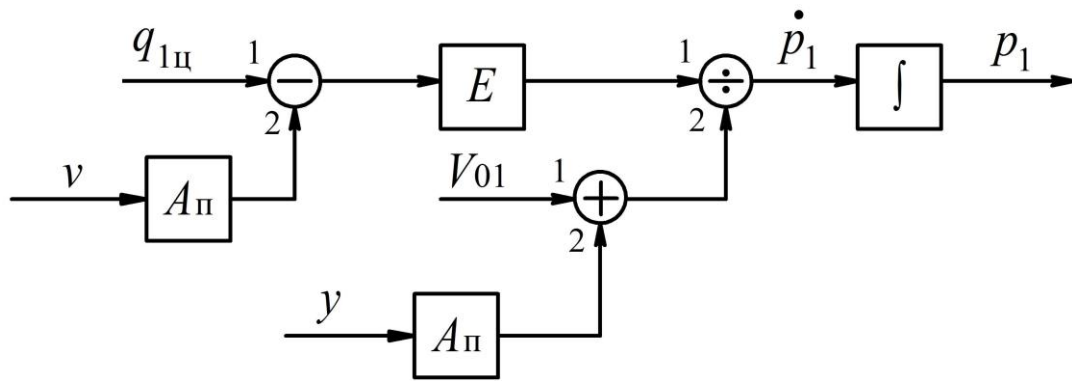


Рисунок 4.2 – Схема за рівнянням (4.2)

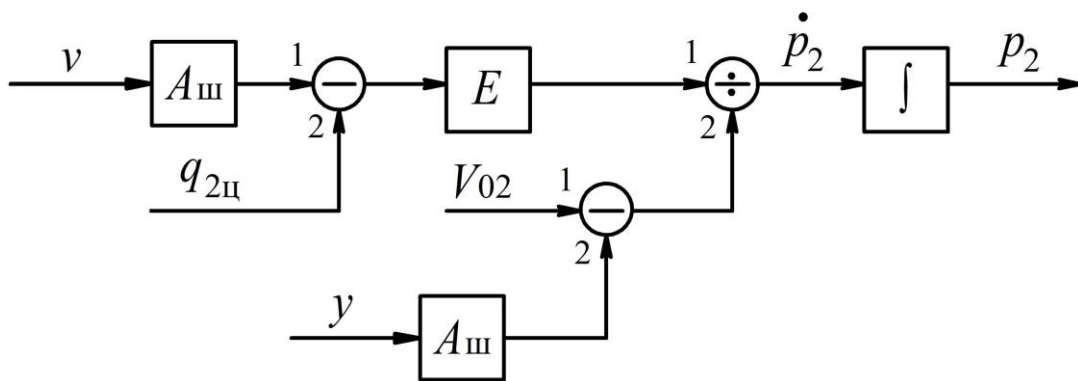


Рисунок 4.3 – Схема за рівнянням (4.4)

На основі структурних і функціональних схем рис. 4.2 і 4.3 з урахуванням властивостей пакета VisSim складається схема обчислювальних блоків (рис. 4.4).

У верхній частині знаходяться блоки вихідних даних про завдання. За допомогою блоків Const записуються значення параметрів відповідно до пункту 3. За допомогою блоків змінних записуються умовні позначення параметрів і змінних за рівняннями (4.2) і (4.4), а також їх розмірність в системі СІ. Далі йдуть ланцюжки блоків і ланки між ними на основі схеми рис. 4.2 і 4.3. Так, щоб після блоків встановлюються значення тиску в МПа і p_1 p_2 блоках коефіцієнтів (Gain) зі значеннями 10^{-6} (перерахунок Па в МПа).

Зміни тисків p_1 і p_2 функції часу записуються на двох графіках, координатні осі яких вказуються за допомогою вікна настройки Для визначення значень p_1 і p_2 після закінчення процесу в схему вводяться два блоки Display, підключені на виході обчислювального ланцюжка, а також блоки Plot. Якщо є необхідність

змінити значення ряду параметрів, то досить задати їх в блоках вихідних даних.

p_1 p_2

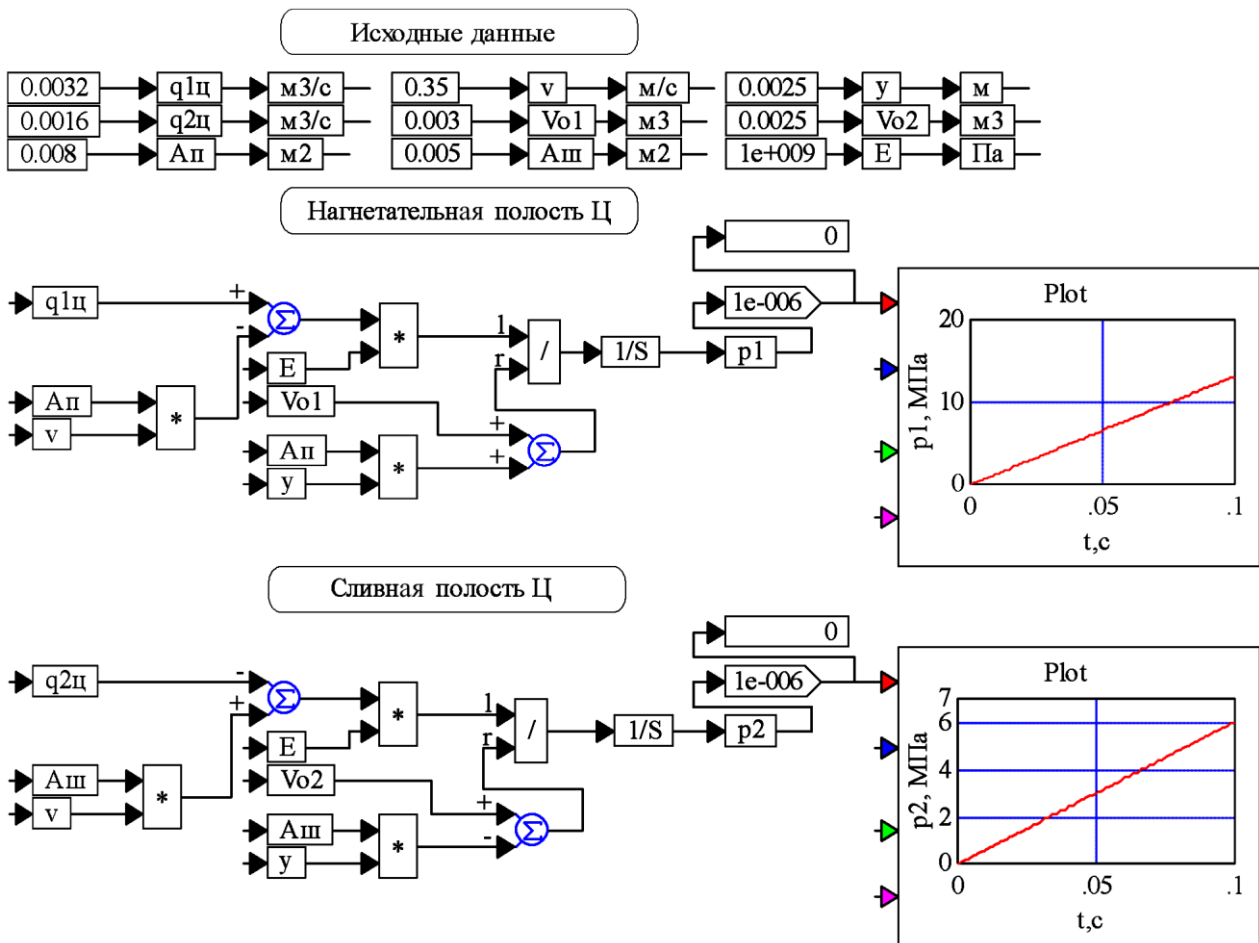


Рисунок 4.4 – Схема блоків VisSim для розв'язання лабораторна робота № 4

5. Наберіть схему, наведену на рис. 4.4. Використовуйте блоки Коментарі в групі блоку Анотації та пишть "Вихідні дані", "Порожнина розряду", "Дренажна порожнина". Також для цього можна використовувати блок Label. Далі робимо налаштування: Simulate, Simulation Properties, де можна встановити часовий інтервал 0,1 с і метод інтеграції Рунге-Кутта 4-го порядку точності з кроком інтегрування 0,001 с (дискретність), після чого запусити процес інтегрування.

6. Ескіз залежності $p_1(t)$ і $p_2(t)$. Запис значень p_1 і p_2 після завершення процесу інтеграції, $t_K = 0,1$ с за показаннями блоків Display (або блоків Plot).

Зміст доповіді

У звіті повинна бути вказана мета лабораторної роботи та подані:

1. Аналітичні рівняння потоку (4.2) і (4.4) в нагнітальній і зливній порожнинах навантаженого гідроциліндра, записані в нормальному вигляді Коші.
2. Структурно-функціональні схеми (рис. 4.2 і 4.3).
3. Схема блоків VisSim (рис. 4.4).
4. Висновки.

Контрольні питання

1. Поясніть фізичний зміст термінів у правій частині рівнянь диференціальної вартості (4.1) і (4.3).
2. Яка характеристика представлення диференціальних рівнянь (4.1) і (4.3) в нормальному вигляді Коші (рівняння (4.2) і (4.4))?
3. Поясніть лінійну зміну тисків p_1 і p_2 у функції часу інтеграції.
4. Якщо видалити блоки вихідних даних параметрів $q_{1Ц}$, $q_{2Ц}$, $A_{П}$, $A_{Ш}$, v , V_{01} , V_{02} , u и E , то як буде діаграма на рис. 4.4?
5. Чи достатньо визначити тиск для вирішення проблеми p_1 і p_2 рівняння (4.1) – (4.4) та вихідні дані п.3?
6. Натисканням якої клавіші панелі управління і якої кнопки миші змінюється знак блоку суматора з "+" на "-"?
7. Як можна збільшити кількість входів (більше двох) або зменшити його на блоках суматора і множника?
8. Як у вікні налаштувань блоку Plot визначення координатних осей?
9. Як зменшити довжину блоку Дисплей при малих цифрах розв'язуваної задачі?
10. Що змусило блок Gain встановити зі значенням 10^{-6} на діаграмі рис. 4.4?

Лабораторна робота 5
ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ І ВОДОТОННАЖНОСТІ
ШТАНГИ
НАВАНТАЖЕНИЙ ЦИЛІНДР

Конструктивна схема навантаженого гідроциліндра представлена на рис. 4.1 л.р. №4. Сили діють на шток, з'єднаний з робочим органом: тиски p_1 , тиск p_2 , опір F_C , тертя рідини $F_{р.тр}$. Тут слід додати $F_{тр}$ – сила напівсухого тертя поршня і штока об внутрішню поверхню гідроциліндра, зусилля пружини $F_{пр}$.

Мета роботи: оволодіння методом розв'язання диференціального рівняння руху штока навантаженого гідроциліндра з використанням пакета VisSim та визначення його швидкості та водотоннажності.

Методика проведення робіт

1. Ознайомлення з пакетом VisSim з точки зору вирішення поставленої задачі, а саме вибір методу інтегрування, встановлення різних значень дискретності, використання вікна налаштування блоку Plot в частині вимірювання значень ординатних та абсцисних точок кривих швидкості та переміщення.

2. Вихідні дані

2.1. Диференціальне рівняння руху штока гідроциліндра і початкових умов:

$$\dot{v} = \frac{1}{m} \cdot [A_{п} p_1 - A_{ш} p_2 - F_C - F_{ж.тр} - F_{тр} - F_{пр}], \quad (5.1)$$

$$v = \int_0^{t_k} \dot{v} dt, \quad y = \int_0^{t_k} v dt, \quad (5.2)$$

где $F_{ж.тр} = \beta \cdot v, \quad (5.3)$

$$F_{тр} = F_{тр0} \cdot \text{sign } v, \quad \text{sign } v = \begin{cases} +1 & \text{при } v > 0, \\ 0 & \text{при } v = 0, \\ -1 & \text{при } v < 0. \end{cases} \quad (5.4)$$

Начальні умови (НУ): $v(0) = y(0) = 0$. (5.5)

2.2. Значення параметрів

$$A_{II} = 0,008 \text{ м}^2, \quad F_c = 45\,000 \text{ Н}, \quad p_2 = 5 \cdot 10^6 \text{ Па}, \quad F_{TPO} = 10\,000 \text{ Н},$$

$$A_{III} = 0,006 \text{ м}^2, \quad p_1 = 1,07 \cdot 10^7 \text{ Па}, \quad C_{II} = 20\,000 \text{ Н/м}, \quad \beta = 1500 \text{ Н} \cdot \text{с/м}.$$

2.3. Структурно-функціональна схема рівнянь (5.1) – (5.5) наведена на рис. 5.1. Оскільки без рівнянь витрати в його порожнинах моделюються тільки рівняння руху штока гідроциліндра, то тиск p_1 и p_2 встановлюються як вхідні параметри.

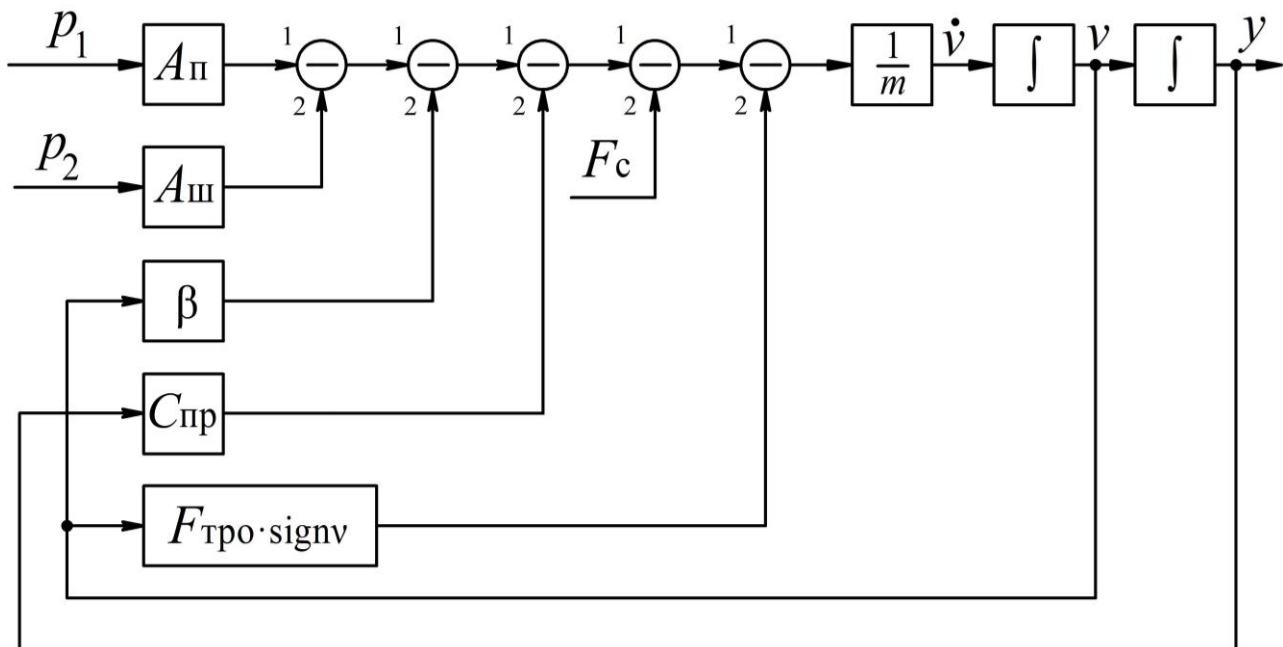


Рисунок 5.1 \u2012 Структурно-функціональна схема рівнянь (5.1) – (5.5)

3. Схема обчислювальних блоків пакету VisSim для вирішення задачі наведена на рис. 5.2.

У верхній частині діаграми розташовані блоки вихідних даних із зазначенням їх розмірності в системі СІ на блоках Variable. Нижче наведена група блоків, що відповідають схемі рис. 5.1 з тими ж параметрами і змінними позначеннями, що і в рівняннях (5.1) – (5.5) і діаграмі. Діаграма закінчується у

двох блоках Plot, де рішення задачі зображується у вигляді графіків v і y . Блок «sign» знаходиться в меню «Blocks» у групі «Arithmetic».

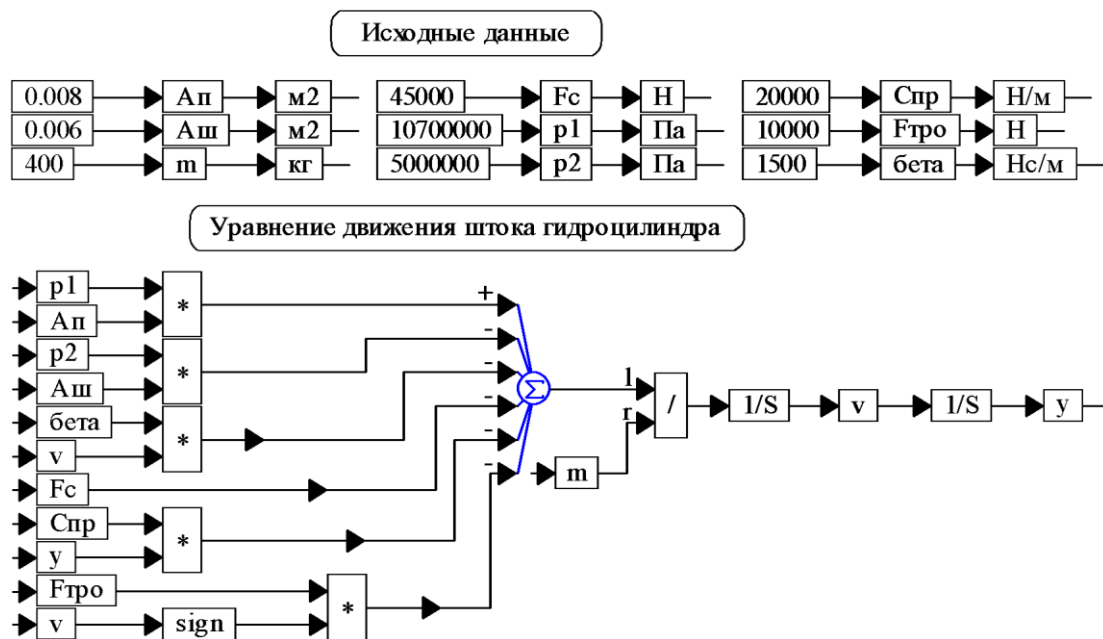


Рисунок 5.2 – Діаграма обчислювальних блоків пакета VisSim для визначення частоти обертання та водотоннажності штока гідроциліндра

4. При вирішенні поставленої задачі використовується інтегрування системи рівнянь (5.1) – (5.5), представленої діаграмою на рис. 5.2, виконується 2-ма методами інтегрування (методи Ейлера і Рунге-Кутта 4-го порядку точності) з трьома значеннями дискретності інтегрування $\Delta = 0,001$ с, $\Delta = 0,0001$ с, $\Delta = 0,00001$ с. При цьому t_K для двох методів одне і теж, дорівнює 0,75 с.

4.1. Із заданими вихідними даними та інтеграцією за методом Ейлера с $\Delta = 0,001$ с крива $v(t)$ досягає нульового значення при $t = 0,443$ с (рис. 5.3a).

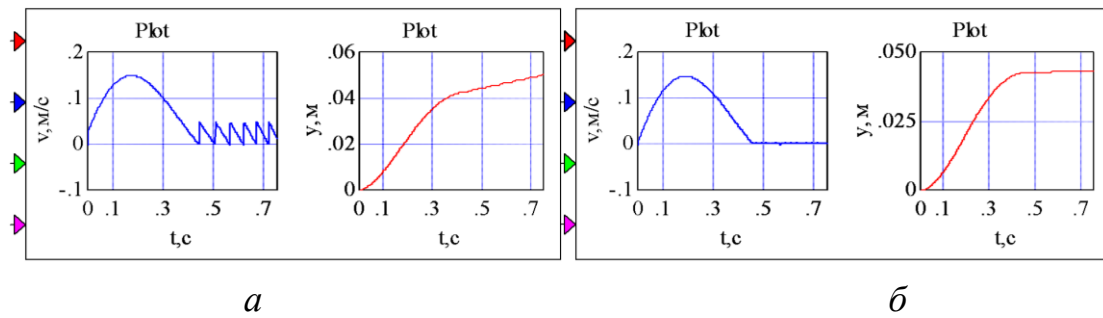


Рисунок – 5.3 Осцилограми швидкості і переміщення штока навантаженого циліндра отримані за допомогою методу Ейлера і наступних дискрет інтегрування: *a* – при $\Delta = 0,001$ с ; *б* – при $\Delta = 0,0001$ с

Після досягнення нульового значення v виникають коливання трикутної форми з амплітудою $a = 0,048$ м/с і власною частотою $f_{\text{соб}} = \frac{5 \text{ колеб}}{0,7188 - 0,4437} = \frac{5}{0,2751} = 18,2$ Гц. Ці коливання, будучи позитивними, викликають подальше збільшення зміщення « y » стрижень майже за лінійним законом з незначною пульсацією. Так як після $t = 0,46$ с є незначне відхилення v від нуля в зоні мінусових значень, потім блокова шкала Plot Уздовж осі ордината починається з $-0,1$. Сама крива після $t = 0,46$ с практично збігається з нульовою лінією. За допомогою методу Ейлера та $\Delta = 0,0001$ с (рис. 5.3б) кривая $v(t)$ досягає нуля при $t = 0,457$ с, а далі йдуть трикутні коливання з амплітудою $a = 0,00348$ м/с, тобто набагато менше, ніж у випадку з $\Delta = 0,001$ с (рис. 5.3а). Значення « y » після $t = 0,457$ с збільшується незначно. При інтеграції з $\Delta = 0,00001$ с крива $v(t)$ досягає нуля при $t = 0,46$ с (на рис. 5.3 не відображається). Так як після $t = 0,46$ с Якщо є незначне відхилення v від нуля до зони мінусових значень, то і тут блокова шкала Plot На осі ордината починається з позначки « $-0,1$ ». Сама крива після $t = 0,46$ с практично збігається з нульовою лінією. На кривій $y(t)$ відсутність змін у значенні після $t = 0,46$ с. Таким чином, якщо ми використовуємо метод Ейлера, то для цієї задачі слід прийняти $\Delta = 0,00001$ с.

Щоб визначити координати будь-якої точки кривої (попередньо збільшеної), потрібно натиснути на ПКМ. У вікні налаштувань блоку Plot натиснути ЛКМ пункт «Read Coordinates» і з'являється рухома система координат, початок якої необхідно поєднати з обраною точкою кривої.

4.2. Розглянемо процес інтегрування методу Рунге-Кутта 4-го порядку точності. При $\Delta = 0,001$ с (рис. 5.4а) крива $v(t)$ досягає нуля при $t = 0,46$ с. Далі виникають хаотичні коливання, які визивають ріст переміщення y .

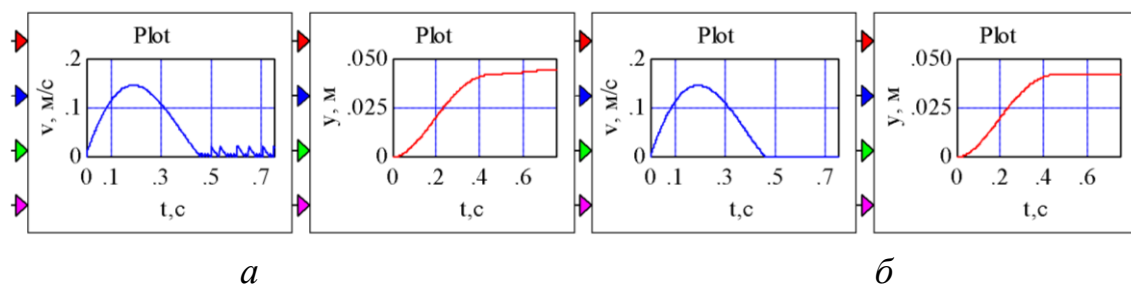


Рисунок 5.4 – Осцилограми швидкості і зміщення штока навантаженого циліндра отримані за допомогою методу Рунге-Кутта 4-го порядку точності і наступних дискрет інтегрування: *а* – при $\Delta = 0,001$ с ; *б* – при $\Delta = 0,0001$ с

При $\Delta = 0,0001$ с (рис. 5.4б) час $t = 0,46$ с не змінюється, незначні коливання кривої $v(t)$ і майже постійним значенням після $t = 0,46$ с координати $y(t)$.

При $\Delta = 0,00001$ с в кривій $v(t)$ рис. 5.5 після $t = 0,46$ с значення залишається нульовим, а значення залишається незмінним y .

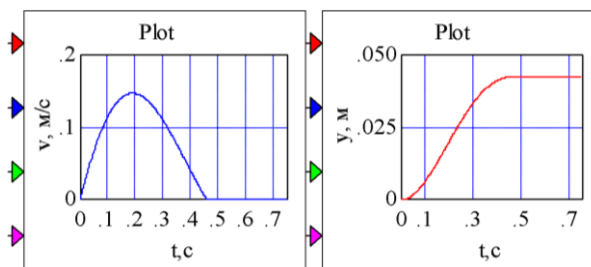


Рисунок 5.5 – Осцилограми швидкості і переміщення штока навантаженого циліндра отримані за допомогою методу Рунге-Кутта 4-го порядку точності і дискретності інтегрування $\Delta = 0,00001$ с

Порівняння кривих швидкості і переміщення на рис. 5.4 б і 5.5 показують, що навіть для методу Рунге-Кутта 4-го порядку точності доцільно використовувати $\Delta = 0,00001$ с.

Проведені дослідження показують, що при розв'язанні задач динаміки, а саме для підвищення точності, практичне значення має вибір методу інтегрування та значень дискретності. Для проблеми, що розглядається в даній лабораторній роботі, можна використовувати не тільки методи Ейлера і Рунге-Кутта 4-го порядку точності, але і трапецієподібний і метод Рунге-Кутта 2-го порядку точності, тобто чотири методи з дискретністю $\Delta = 0,00001$ с.

5. Намалювати криві рис. 5.5.

Зміст доповіді

У звіті повинна бути вказана мета лабораторної роботи та подані:

1. Аналітичне рівняння руху (5.1) і його складових (5.2) є (5.5) навантаженого гідроциліндра.
2. Структурно-функціональна схема (рис. 5.1).
3. Схема блоків пакетів VisSim (рис. 5.2).
4. Криві рис. 5.5.
5. Висновки.

Контрольні питання

1. На основі якого закону механіки виходить диференціальне рівняння руху (5.1) штока гідроциліндра?
2. Вкажіть розмірність і коефіцієнта β та його фізичний зміст.
3. На чому ґрунтується нелінійність диференціального рівняння руху (5.1) штока гідроциліндра?
4. Що визначають вихідні умови в складі математичної моделі руху штока гідроциліндра?
5. Як визначити порядок математичної моделі руху стрижня (за диференціальними рівняннями, що входять до неї)?

6. Як визначити порядок математичної моделі руху стержня за структурно-функціональною схемою рис. 5.1?

7. У яких блоках діаграми рис. 5.2 Чи існують ненульові початкові умови?

8. Як задається час інтеграції і дискретність в пакеті VisSim?

9. Як в блоці Plot Чи встановлені змінні на осі ординат і час на осі абсциси?

10. Як розширюється кількість входів одиниць підсумовування і множення в пакеті VisSim?

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. А. В. Назаров, О. В. Кочерган, В. А. Голуб'єв. Системний підхід до дослідження динаміки механічних систем: теорія та методи. Київ: Видавництво "Наукова думка", 2018. 352 с.
2. Луговський О. Ф., Струтинський С.В., Гришко І.А., Семінська Н.В., Ночніченко І.В., Зілінський А.І. «Гідроавтоматика та робототехніка»: навч. посіб. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 61 с.
3. Нестеренко В.П. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: навч. Посібник. Рівне: НУВГП, 2013.-328 с.
4. Лур'є З.Я., Іваніцька О.П., Жерняк А.І. Моделювання та оптимізація гідравлічних систем. Учбов. посібник. Київ: ІСДО, 1995. 144с.
5. Лур'є З.Я., Іваніцька О.П. Моделювання та динаміка гідравлічних систем. Учбов. Посібник.- Харків, ХДПУ, 2000. 132с.
6. Лур'є З.Я., Гасюк О.І. Динаміка об'ємних гідропневмосистем загальнопромислового призначення: навч. посібник. Харків: НТУ «ХП», 2008.- 112с. (<http://library.kpi.kharkov.ua>)
7. С. П. Мовчана та Ю. В. Дехтяренка Гідравліка та пневматика: навчальний посібник. Донбаська видавнича спілка", 2017, 416 с.

ЗМІСТ

Вступ	3
Лабораторна робота 1. Програмний пакет VisSim (Visual Simulator) (розроблений американською компанією Visual Solutions Inc.)	4
Лабораторна робота 2. Визначення транз'єнтів елементи GPS, представлені типовими зв'язками, з покроковою дією керування	12
Лабораторна робота 3. Визначення частотної характеристики типові зв'язки Державної пожежної служби	17
Лабораторна робота 4. Визначення тиску в кімнаті для скидання а також у дренажних порожнинах гідравлічного циліндра	23
Лабораторна робота 5. Визначення швидкості та робочого об'єму стрижня Завантажений гідравлічний циліндр	29
Лабораторна робота 6. Динаміка навантаженого гідравлічного циліндра	35
Список джерел інформації	36

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

з курсу « Дінаміка гідропневмосистем »

для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
освітніх програми « Відновлювані джерела енергії та гідроенергетика »,
спеціальності D4 « ЕНЕРГОВИРОБНІЦТВО », «Моделювання технічних
систем» спеціальності D9 « ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА », «Машини і
обладнання для технологічних процесів» спеціальності D11 «
МАШИНОБУДУВАННЯ»ЧАСТИНА I
Динаміка гідропневопристроїв

Укладач: ГАСЮК Олександр Іванович

В авторській редакції

План 2025 р., поз. 653

Підписано до друку 01.04.2019 р. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.

Гарнітура Times New Roman Cyr. Віддруковано на ризографі.

Умовн. друк. арк. 3,75.

Замовлення № 01/04/19. Наклад 50 прим. Ціна договірна.

Віддруковано ФОП Гончаренко В.Ю.

Свідоцтво В02 № 984968 видане виконавчим комітетом

Харківської міської ради 18.11.2008 р.