

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ

Методичні вказівки
до лабораторних робіт з дисципліни
**“МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ
СИСТЕМ”**

для студентів спеціальності
«Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»
денної та заочної форм навчання

затверджено
на засіданні метод. ради ДДМА
Протокол № від .2007 р.

КРАМАТОРСЬК 2008

УДК.681.3.068

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Моделювання електромеханічних систем» (для студентів спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» денної і заочної форм навчання) / Упорядник Квашнін В.О. – Краматорськ: ДДМА, 2008. – 36с.

Подано опис пакету прикладних програм МАСС (IMDS-інтерактивна версія). Приведені програми лабораторних робіт з вивчення пакета прикладних програм, моделювання впливів в електроприводі, розв'язання систем диференційних рівнянь. Дані методичні вказівки розроблені на основі методичних вказівок «Моделювання електромеханічних систем». – Краматорськ: ДДМА, 2005», з урахуванням помилок та виправлень в попередньому виданні.

Упорядник

Квашнін В.О., доц.

Відпов. за випуск

Наливайко О.М., доц.

ЗМІСТ

ВСТУП	
1 Опис пакета прикладних програм IMDS (MACC)	4
1.1 Редактор структури	4
1.2 Редактор блоків	4
1.3 Меню команд	5
1.4 Список активних клавіш	7
1.5 Пошук файлів	7
1.6 Опис блоків	7
2 Лабораторна робота № 1	13
3 Лабораторна робота №2	18
4 Лабораторна робота №3	27
5 Лабораторна робота №4	33
Список літератури	35

ВСТУП

Сучасні електроприводи, що забезпечують високі якості регулювання координат, досягають такого ступеня складності, що дослідження їх динаміки можливе лише з застосуванням обчислювальної техніки.

Дані вказівки удають із себе керівництво по методиці розв'язання задач моделювання, аналізу та синтезу нелінійних систем автоматичного управління з допомогою ЕОМ.

У вказівках подається методика користування мовою вводу даних і мовою цифрового моделювання програмної системи IMDS.

1 ОПИС ПАКЕТА ПРИКЛАДНХ ПРОГРАМ IMDS (МАСС)

Програма IMDS (інтерактивна версія пакета МАСС) призначена для моделювання динамічних систем. Основою для розробки моделей в IMDS слугують бібліотеки блоків (арифметичних, логічних, нелінійних та ін...), з яких необхідно скласти структурні схеми досліджуваних систем. IMDS може функціонувати в середовищі DOS, Windows 3.1, Windows 2000.

1.1 Редактор структури

Редактор структури –це основний режим роботи програми IMDS, з котрого викликаються всі решта режимів. Редактор дозволяє створювати , видаляти, переміщувати і редагувати блоки з допомогою наступних команд:

Edit *Copy* *Search* *Delete* *New*

Edit <F4> – редагування . Викликає редактор для поточного блоку (див.. п.1.2 «Редактор блоків»).

Copy <F5> – копіювання. Копіює поточний блок в буфер, з якого він може бути добутий командою *Paste*.

Paste <F6> – вставка. Вставляє блок із буфера між поточним і попереднім блоком.

Search <F7> – пошук. Здійснює швидкий пошук блока з заданим номером.

Delete <F8> –видалення. Видаляє блок із структури, зберігаючи його в буфері, із котрого він може бути відновлений командою *Paste*.

New <F9> – новий блок. Розміщує новий блок між поточним і попереднім.

1.2 Редактор блоків

Редактор блоків дає можливість встановити або змінити тип блоку, його параметри, номер і номери вхідних блоків.

1.2.1 Команди редактора

- – видалення в позиції курсору;
- <Backspace> – видалення перед курсором;
- <Home> – до початку поля;
- <End> – до кінця поля;
- <Enter> – перехід до наступного поля в стовпці;
- <Ctrl-Enter> – введення значення;
- <TAB> – перехід до наступного поля ;
- <Shift-Tab> – перехід до попереднього поля;
- <Esc> – вихід;
- <Ctrl-Y> – очищення поля.

1.2.2 Загальні зауваження

При вводе блоку в структуру необхідно задати його номер, тип, номера вхідних блоків, параметри блоку. Тип блоку вибирається із переліку блоків пакета IMDS (можна вибирати із списку назв типів, нажавши <F2>). Кількість входів і параметрів встановлюється у відповідності з введеним типом блоку, але не перевищуючи трьох. Якщо вхід блоку набирається зі знаком «мінус», це еквівалентно інвертуванню сигналу по цьому входу. На непідключений вхід блоку «по умовчужанню» подається нульовий сигнал. Параметром блоку може бути або число, або вираз з використанням символічних імен, котрі повинні бути описані в файлі параметрів.

1.3 Меню команд

Для входу в меню необхідно нажати <Esc>. Також можна вибрати розділ безпосередньо, нажавши <Alt> і велику букву розділу.

File Edit Run Option View Report

1.3.1 File

Команди розділу служать для зв'язку з операційною системою.

Load – завантаження файлу структури.

New – редагування нового файлу.

Save - збереження відредагованого файлу.

Write to – зміни імен файлу і збереження під новим іменем.

Directory – перегляд директорії.

Change directory – зміна поточної директорії.

OS shell – тимчасовий вихід в операційну систему.

Quit - *<Alt-X>* – вихід.

1.3.2 Edit

Пункти даного розділу вміщують команди, що розширюють можливості структурного редактора.

Replace – заміщує посилання на вихід одного блоку посиланнями на вихід другого.

Arrange – перегрупування блоків структури таким чином, щоб взаємозв'язані блоки розмістити поряд.

Режими інтегрування:

Крок інтегрування - *крок*, з котрим виконуються обчислення в режимі зі сталим кроком, мінімально допустимий крок в режимі з перемінним кроком.

Час інтегрування – абсолютна величина часу закінчення моделювання.

Перемінний крок – в даній версії не реалізовано.

1.3.3 Command

Команди даного розділу служать для запуску завдання на підрахунок .

Run - *<F10>* – обнулює всі виходи блоків, обнулює час, запускає підрахунок.

Continue – продовжує підрахунок задачі в межах встановленого часу. Виконання задачі може бути призупинено в будь-який момент натисканням будь-якої клавіші. При натискуванні клавіші *<Esc>* виконання призупиняється і може бути продовжено потім командою *Continue*.

1.3.4 Option

Y-blocks - *<Alt-Y>* – встановлює вихідний блок структури, завжди зареєстрований і виведений на екран в процесі обчислення першим.

Stored block – встановлює додаткові блоки, які необхідно реєструвати.

Points – встановлює кількість точок виходу.

1.3.5 View

Команди даного розділу дозволяють отримати різну інформацію про систему.

Struct – перегляд структури.

Block parameters – перегляд параметрів.

List – перегляд списку реєстрованих блоків,

Stored blocks – перегляд будь-яких 4 із реєстрованих блоків.

Graphics – побудова графіку будь-яких 4 із реєстрованих блоків. Якщо натиснути *<Ctrl-P>*, то буде роздрукована копія екрану. Принтер повинен сприймати коди *Esc/P*.

Info – коротка інформація про режим роботи.

Parameters – список імен змінних і їх значень, котрі можна використовувати при редагуванні блоку.

1.3.6 Report

Поданий розділ призначений для оформлення результатів обчислень.

Report – вивід результатів у співвідношенні з встановленими режимами.

Option – установка режимів виведення.

File name – імя файлу звіту.

Blocks – установка блоків, що виводяться у файл звіту.

Points – встановлює кількість точок виведення.

Comments – редагування коментарів, котрі будуть включені в текст звіту.

При редагуванні, окрім названих в редакторі блоків (див. *Редактор блоків*), можна використати наступні клавіші:

<Ctrl-Q><Ctrl-Y> – видалення до кінця рядка.

<Ctrl-T> – видалення слова.

Mode – вибір режиму звіту - "*текст*" або "*дані*". Режим "*текст*" дозволяє включити в звіт результати обчислень, коментарі та інформацію про структуру й параметри. Режим "*дані*" виводить інформацію тільки про результати обчислень для подальшої обробки іншими програмами.

Inserting – всі опції цього розділу, як і *Comments* діють тільки в режимі "*текст*".

Struct – включення інформації про структуру.

Parameters – включення інформації про параметри.

Blocks out – включення в звіт результатів обчислень.

1.4 Список активних клавіш

<F1> - допомога, <F2> - збереження файлу, <F3> - завантаження файлу, <F!0> - запуск задачі на підрахунок, <Alt-X> - вихід із програми, <Ctrl-D> - вхід в режим редагування, <Alt-Y> - установка Y-блоку, <Ctrl-S> - перегляд результатів, <Ctrl-G> - побудова графіків

1.5 Пошук файлів

Файли програмою відшуковуються в такому порядку:

- 1) Шляхом, указаним в імені файлу;
- 2) в поточній директорії;
- 3) в директорії, де знаходиться файл структури;
- 4) в директорії, де знаходиться програма IMDS.

1.6 Опис блоків

Прийняті позначення:

y – вихідна координата блоку;

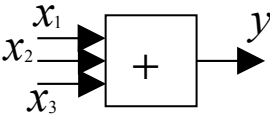
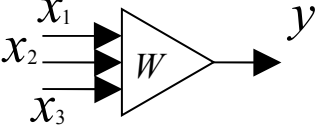
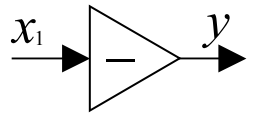
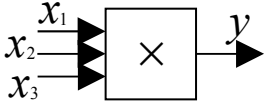
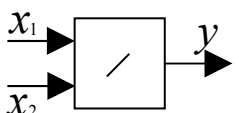
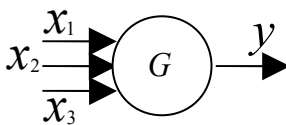
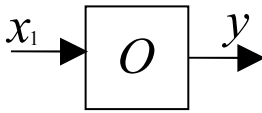
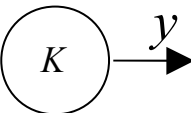
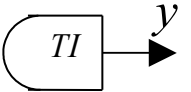
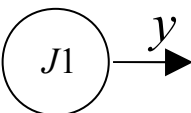
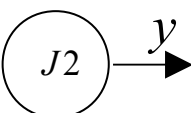
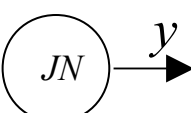
x_1, x_2, x_3 – вхідні впливи блоку;

p_1, p_2, P_3 – параметри блоку;

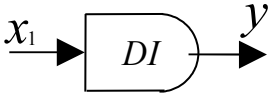
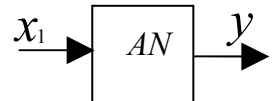
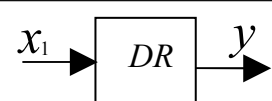
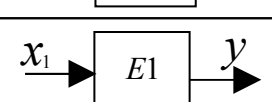
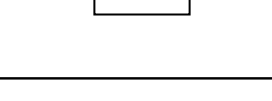
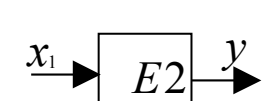
$W(s)$ – передавальна функція блоку;

$W(z)$ – дискретна передавальна функція блоку.

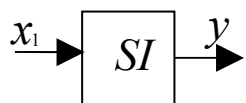
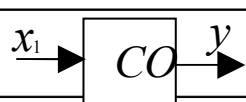
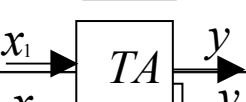


1.6.1 Арифметичні операції і діяння

Тип блока	Позначення	Математичний опис функції
Суматор		$y = x_1 + x_2 + x_3$
Суматор с ваговими коефіцієнтами		$y = p_1x_1 + p_2x_2 + p_3x_3$
Інвертор		$y = -x_1$
МНОЖНИК		$y = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$
Дільник		$y = \frac{x_1}{x_2}$
Сумарний підсилювач		$y = p_1(x_1 + x_2 + x_3)$
Зміщення		$y = p_1 + x_1$
Константа		$y = p_1$
Системний час		$y = t$
Шумовий вплив з рівномірним розподілом №1		Діапазон розподілення [0 ; p ₁]
Шумовий вплив з рівномірним розподілом №2		Діапазон розподілення [(p ₂ - p ₁)/2; (p ₂ + p ₁)/2]
Шумовий вплив з розподілом Гауса		Математичне очікування P ₂ , середньоквадратичне відхилення P ₁

1.6.2 Динамічні ланцюги

Тип блоку	Позначення	Математичний опис функції
Інтегратор		$y = p_1 + \int_0^t (x_1 + p_2 x_2 + p_3 x_3) \cdot dt$
Диференційний ланцюг		$y = \frac{dx_1}{dt}$
Інерційний ланцюг		$p_2 \frac{dy}{dt} + y = p_1 \frac{dx_1}{dt}; W(s) = \frac{p_1}{p_2 s + 1}$
Реально диференційний ланцюг		$p_2 \frac{dy}{dt} + y = p_1 \frac{dx_1}{dt}; W(s) = \frac{p_1 s}{p_2 s + 1}$
Форсажний ланцюг		$p_2 \frac{dy}{dt} + y = p_1 \frac{dx_1}{dt} + x_1; W(s) = \frac{p_1 s + 1}{p_2 s + 1}$
Коливальний ланцюг		$p_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + p_3 \frac{dy}{dt} + y = p_1 x_1;$ $W(s) = \frac{p_1}{p_2 s^2 + p_3 s + 1}$
Ланцюг чистого запізнення		$y = x_1(t - p_1)$

1.6.3 Математичні функції

Тип блоку	Позначення	Математичний опис функції
Синус		$y = \sin(x_1)$
Косинус		$y = \cos(x_1)$
Тангенс		$y = \tan(x_1)$
Арктангенс		$y = \arctan(x_1)$
Логарифм натуральний		$y = \ln(x_1)$
Показова Функція		$y = \exp(x_1)$

Логарифм десятичний		$y = \lg(x_1)$
Підведення до степеня		$y = x_1^{(P1)}$
Корінь квадратний		$y = \sqrt{x_1}$
Абсолютна величина		$y = x_1 $

1.6.4 Логічні функції

Тип блоку	Позначення	Математичний опис функції
Логічне «І»		$y = 1$, якщо $x_1 > 0$ і $x_2 > 0$ $y = 0$ у протилежному випадку
Логічне «АБО»		$y = 1$, якщо $x_1 \leq 0$ і $x_2 < 0$ $y = 0$ у протилежному випадку
Логічне «НЕ»		$y = 1$, якщо $x_1 \leq 0$ $y = 0$, якщо $x_2 > 0$

1.6.5 Нелінійні характеристики

Тип блоку	Позначення	Математичний опис функції
Знакова функція (реле)		$y = 1$ при $x_1 > 0$ $y = -1$ при $x_1 < 0$
нечутливість		

Реле с зоною		
--------------	--	--

нечутливості		
Насичення (обмеження)		$\alpha = 45$
Нечутливість з обмеженням		$\alpha = 45$
Несиметричний підсилювач		$\tan \alpha = p_1$ $\tan \beta = p_2$
Скачок		 $y = p_1$, при $x_1 < p_3$ $y = p_2$ при $x_1 > p_3$
Квантування		Шаг квантування $h = p_1$

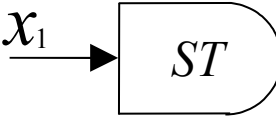
Люфт		
Реле с гістерезисом		

--	--	--

1.6.6 Дискретні й цифрові блоки

Тип блока	Позначення	Математичний опис функції
Тактовий генератор		$T = p_1$ – період квантування за часом
Дискретне диференціювання		$W(z) = \frac{1-z}{T}$, к x_2 – підключений тактовий генератор
Дискретне інтегрування		$W(z) = \frac{T}{1-z}$, к x_2 – підключений тактовий генератор
Тактовий суматор		$y = x_1 + x_2$, при $x_2 \neq 0$ к x_2 – підключений тактовий генератор
Аналого-цифровий перетворювач (АЦП)		P_1 – амплітуда P_2 – число розрядів

1.6.7 Керування моделюванням

Тип блоку	Позначення	Математичний опис функції
Умова закінчення моделювання		Переривання моделювання за умови, що $X_1 > 0$

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ЗНАЙОМСТВО З ДІАЛОГОВОЮ ОБОЛОНКОЮ ПАКЕТУ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ IMDS

2.1 Мета роботи: навчання основним прийомам роботи з пакетом програм IMDS (введення структури й параметрів моделі, завдання режимів інтегрування

моделі, завдання вихідних блоків, зберігання файлів структури й результатів розрахунків) при моделюванні силової частини електроприводу постійного струму незалежного збудження.

2.2 Вихідні дані: структурна схема силової частини електроприводу постійного струму незалежного збудження (рис.2.1) й відповідна їй структурна схема моделі IMDS (рис.2.2). Параметри системи електроприводу приведені в таблицю 2.1.

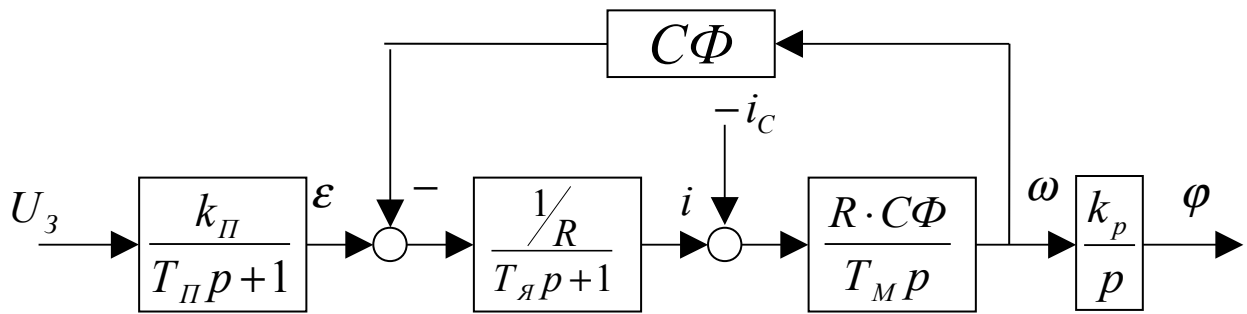


Рисунок 2.1 – Структурна схема силової частини електроприводу

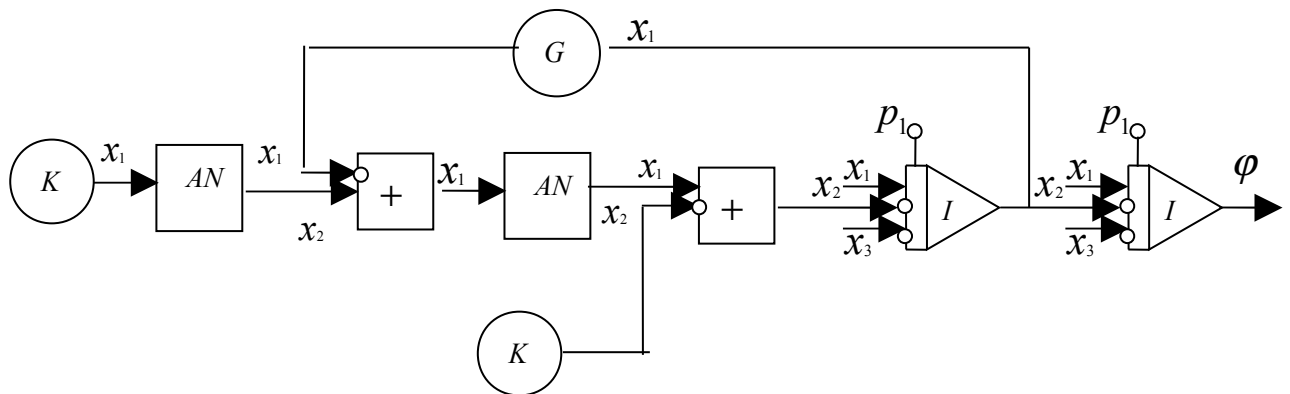


Рисунок 2.2 – Схема цифрової моделі силової частини електроприводу
Таблиця 2.1 – Параметри силової частини електроприводу

Назви параметра	Значення
Максимальна управляюча напруга	10
Коефіцієнт передачі перетворювача	3
Постійна часу перетворювача	0,001
Опір якоря двигуна	3
Електромагнітна постійна двигуна	0,006

Потокозчеплення	0,1
Ел.- механічна постійна двигуна	0,05
Номінальний струм двигуна	1,3
Коефіцієнт передачі редуктора	500

Примітка. При моделюванні струм навантаження варто прийняти рівним $I_c = 1,2 \cdot I_n$, а напруга сигналу завдання $U_3 = U_{y \max}$

2.3 Порядок виконання роботи

1 *Пронумеруйте блоки* на структурній схемі моделі (див. рис.2.2). Використовуючи структурну схему й таблицю 2.1, підготуйте початкові дані до вводу моделі в пам'ять комп'ютера, для цього заповніть таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Структура і параметри моделі силової частини електроприводу постійного струму

Номер блоку	Тип блоку	Вхідний сигнал			Параметр		
		X1	X2	X3	P1	P2	P3

Для збереження файлів структури моделі і файлів звіту утворить директорію **D:\LR_IX\EMS_(номер групи)\BR_(номер бригади)**.

2 *Запустіть програму IMDS.*

Примітка. По умовчаннянню програма IMDS (файл **IX.EXE**) розташовується в директорії **D:\LR 1X\1X,EXE**.

3 *Використовуючи редактор структури і редактор блоків пакету IMDS,* введіть модель в пам'ять комп'ютера .

Примітка. Після запуску пакету IMDS і натискання будь-якої клавіші користувач попадає в редактор структури. Переключення між редактором структури і меню команд здійснюється клавішею **<ESC>**; із редактора структури в редактор блоків можна потрапити, нажавши клавішу **<F4>**.

4 *Здайте крок h і час H інтегрування.* Так як постійні часу в даному випадку представлені в явному вигляді, то параметри інтегрування можна задати виходячи з умов :

$$h \leq (0.01 \div 0.001) T_{\min}$$

$$H \approx (5 \div 10) T_{\max}$$

де T_{\min} , T_{\max} – відповідно, найменша і найбільша постійні часу досліджуваного

об'єкту .

Примітка. Вікно режимів інтегрування знаходиться в меню Edit —> Mode.

5 *Задайте вихідні блоки моделі*, враховуючи, що в ході роботи повинні бути отримані графіки перехідних процесів ЕРС перетворювача E_{11} , струму I та швидкості двигуна ω , кута повороту вала навантаження φ .

а) Основний вихідний блок моделі Y-block задається в меню *Option* —> *Y-block*.

б) Блоки, що виводяться у файл звіту, задаються в меню *Report + Option* -> *Blocks*. Дані блоки автоматично попадають в число блоків, що зберігаються в ході інтегрування моделі, що можна проконтролювати, зайшовши в меню *Option* -> *Stored blocks*.

в) При необхідності в меню *Option* —> *Stored blocks* можуть бути задані додаткові (контрольні або відлагоджувальні) вихідні блоки.

Примітка . Слід зауважити, що вміст меню *Option* -> *Stored blocks* не зберігається в файлі структури.

6 *Задайте кількість точок*, що зберігаються в ході інтегрування моделі, що можна здійснити, перейшовши в меню *Report* -> *Option* --> *Points*,

7 *Збережіть структуру й параметри моделі* у файлі *LRI.MDS* в директорії *D:\LR_IX\EMS99_(номер групи)\BR_(номер бригади)*. Щоб вибрати дану директорію, необхідно звернутися до опцій меню *File* -> *Change directory*, щоб зберегти файл структури, необхідно скористатися опціями меню *File* -> *Save* или *File* -> *Write to*.

8. *Здійсніть інтегрування моделі*. Для запуску режиму інтегрування можна скористатися меню *RUN* -> *Run* чи клавішею <F10>.

9 *Використовуючи опції меню View, оцініть результати моделювання*. За необхідністю відкорегуйте модель й поверніться до п. 8.

10 *Збережіть результати розрахунків* у файлі *LRI_LREP* й *LRI_2.REP* у директорії *D:\LR_JX\EMS_(номер групи)\BR_(номер бригади)*. Файл *LRI_1.REP* повинен вміщувати коментарі (інформація про об'єкт моделювання), структуру й параметри моделі, таблицю з результатами інтегрування моделі (115 точок). Файл *LRI_ZREP* повинен вміщувати тільки таблицю з результатами інтегрування моделі (500 точок).

Примітка. Для виконання завдання даного пункту слід скористатися опціями меню *Report (Report > File name, Report --> Points, Report -> Comments, Report -> Mode, Report -> Insert)*.

11 *Підготуйте файл*, вміщуючий графіки перехідних процесів ЕРС перетворювача E_{11} , струму I й швидкості двигуна ω , кута повороту вала навантаження φ . Для цього можна скористатися наступною послідовністю операцій:

а) знаходячись в програмі *JX.EXE*, з допомогою команди *View* --> *Graphics* чи комбінації клавіш <Ctrl-G> виведіть на екран графік перехідного процесу

координати e_{11} на екран монітора;

б) нажавши клавішу *Print Screen*, перенесіть образ екрану в буфер обміну операційної системи *Windows*;

в) з допомогою комбінації клавіш $\langle \text{Alt-Tab} \rangle$ згорніть вікно програми *IX.EXE* й запустіть програму *Paint*;

г) знаходячись у програмі *Paint*, вилучіть із буфера обміну графік перехідного процесу (меню *Правка -> Вставити*);

д) проведіть обробку зображення (*Рисунок __*). Здійсніть інверсію зображення (комбінація клавіш *Ctrl-I*), змініть гаму кольорів на чорно-білу (*Рисунок >Атрибути... -> Палітра -> Чорно-біла*);

е) збережіть файл з графіком у форматі *LRI GR1.bmp* (*Файл ~> Зберегти як ...*);

є) аналогічним чином підготуйте файли *LRI_GR2.bmp*, *LRI GR3.bmp* і *LRI_GR4.bmp* з графіками перехідних процесів координат I , ω і φ ;

2.4 Додаткове завдання

Підготуйте з використанням текстового редактора *Word* файл звіту, вміщуючий графіки перехідних процесів з відповідними підписами й описами й т.д. Виконання даного завдання передбачає наявність ґрунтовних знань по роботі в операційній системі *Windows 9x* й пакеті програм *MS Office*.

2.5 Звіт про виконання роботи

Звіт про виконання роботи повинен вміщати:

- 1) тему й мету лабораторної роботи;
- 2) порядок виконання лабораторної роботи;
- 3) початкові дані (структурні схеми рис.2.1 и рис.2.2, таблицю 2.1);
- 4) таблиці зі структурою й параметрами моделі (таблиця 2.2);
- 5) графіки перехідних процесів ЕРС перетворювача E_{11} , струму I й ω ;
- 6) роздруківку вмісту файлу *LRI_1.REP*

2.6 Контрольні запитання

1 Призначення пакету прикладних програм МАСС (IMDS). З якими операційними системами може працювати даний пакет прикладних програм?

2 Які розділи знаходяться в меню команд програми IMDS? Дайте коротку характеристику кожного із розділів.

3 Дайте опис редактора блоків, команд й «гарячих клавіш» даного редактора.

4 Дайте опис розділу *File (Edit, Run, Option, View, Report)* та вхідних в нього команд. Яким чином можна визвати даний розділ?

5 Якими міркуваннями користуються при виборі таких параметрів, як крок і час інтегрування?

3 ЛАБОРАТОРНА РАБОТА №2

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЮЧИХ І ЗБУРЮЮЧИХ ВПЛИВІВ (СИГНАЛІВ) В ПАКЕТІ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ IMDS

3.1 **Мета роботи:** вивчити основні принципи й підходи до моделювання типових і складних впливів, що задають і збурюють.

3.2 Зміст роботи

Пакет прикладних програм IMDS призначений для дослідження статичних і динамічних характеристик систем автоматичного управління, в частковості систем управління електроприводом. При аналізі й синтезі таких систем використовують так звані типові впливи. В даній лабораторній роботі будуть розглянуті найбільш часто використововувані типові впливи: одинична ступінчата функція $1(t)$, лінійно-змінюваний вплив $v \cdot t \cdot 1(t)$ і $A \cdot \sin(Wt) \cdot 1(t)$ – гармонійний вплив. Важливою особливістю даних типових впливів є те, що вони мають нульове значення при $t < 0$.

Одинична ступінчата функція описується наступною залежністю:

$$1(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0 \\ 1 & \text{при } t \geq 0 \end{cases}, \quad (3.1)$$

І має вид, поданий на рис.3.1, а.

Якщо ступінчатий вплив виникає в момент час, відмінний від нуля, як це показано на рис.3.1, б, то така функція описується рівнянням

$$1(t-t_0) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < t_0 \\ 1 & \text{при } t \geq t_0 \end{cases}. \quad (3.2)$$

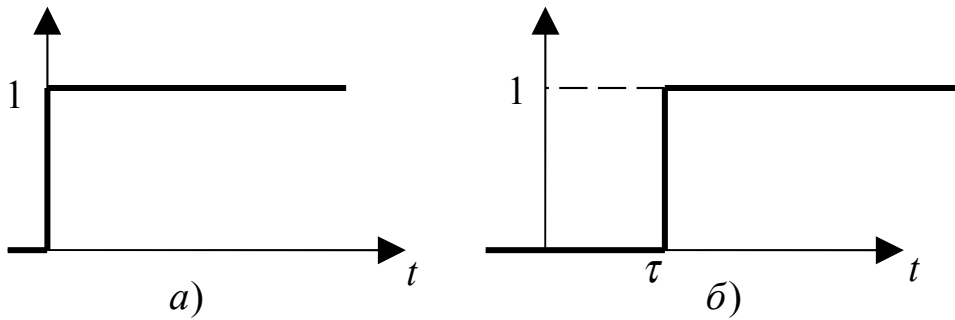


Рисунок 3.1 – Вид одиничних ступінчатих впливів: без затримки (а) , з затримкою на величину τ (б)

Одиничні ступінчаті функції (3.1) і (3.2) можна розглянути як "функції-вмикачі". Введемо в розгляд деяку довільну функцію часу $f(t)$. Щоб задати момент часу τ включення даної функції, достатньо її помножити на одиничну ступінчасту функцію, тобто.

$$1(t - \tau) \cdot f(t) = \bar{f}(t) \quad (3.3)$$

Рисунок 3.2 ілюструє вираз (3.3).

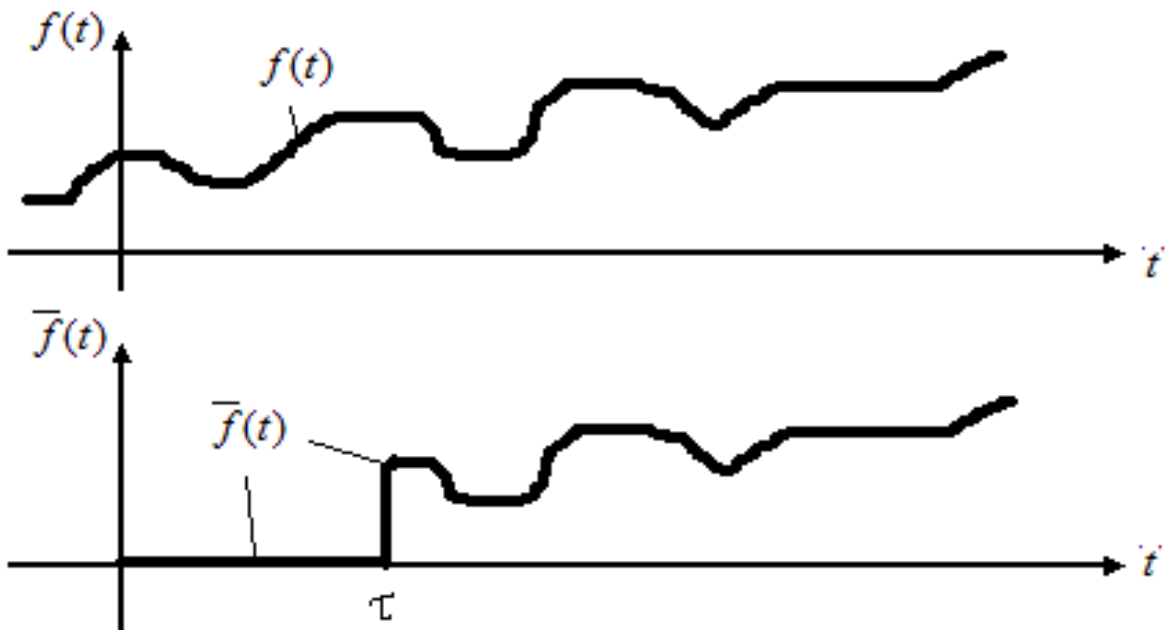


Рисунок 3.2 – Формування функції $\bar{f}(t)$ у відповідності з виразом (3.3)

Вираз (3.3) служить основою для отримання таких типових впливів, як скачок амплітудою a (при $f(t) = a = const$), типове лінійно-змінюваний вплив (при $f(t) = vt$, v – швидкість зміни сигналу), типовий гармонійний вплив (при $f(t) = A \sin(\omega t + \phi)$).

Лінійно-змінюваний вплив (рис. 3.3, а) описується наступною залежністю:

$$v(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ v \cdot t, & t \geq 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

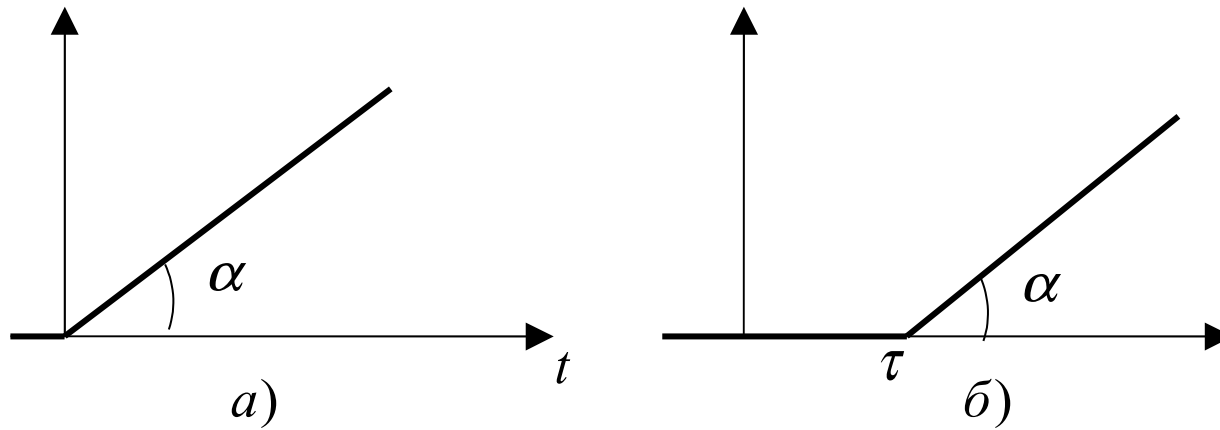


Рисунок 3.3 – Лінійно-змінювані типові впливи: без затримки (а) та з затримкою (б)

Лінійно-змінюваний вплив, виникаючий в момент часу t (рис. 3.3, б), описується як

$$v(t-\tau) = \begin{cases} 0, & t < \tau \\ v \cdot (t-\tau), & t \geq \tau \end{cases} \quad (3.5)$$

Взаємозв'язок між одиничними стрибкоподібно змінюваними й типовими лінійно-змінюваними впливами може бути також виражений і наступними виразами:

$$v \cdot t \cdot 1(t) = v \int_0^t 1(t) dt, \quad v \cdot (t-\tau) \cdot 1(t-\tau) = v \int_0^t 1(t-\tau) dt \quad (3.6)$$

Вираз (3.6) служить основою для складання моделей лінійно-змінюваних типових впливів у пакеті прикладних програм МАСС (IMDS).

Формула загальної залежності, що описує типовий гармонійний вплив, наступна:

$$\bar{f}(t) = 1(t) \cdot \text{Asin}(t-\varphi) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ \text{Asin}(t-\varphi), & t \geq 0 \end{cases} \quad (3.7)$$

У випадку використання затриманої функції її опис модифікується аналогічно вищенаведеним прикладам. Графік гармонійної функції показаний на рис.3.4.

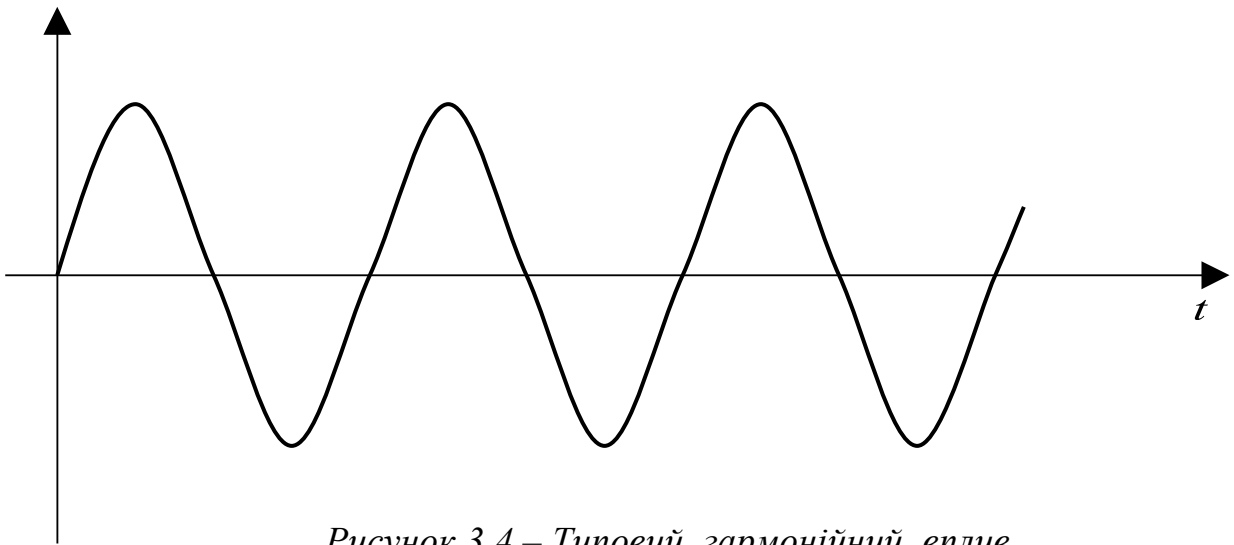
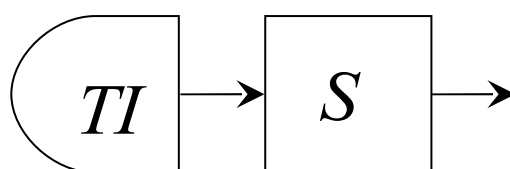


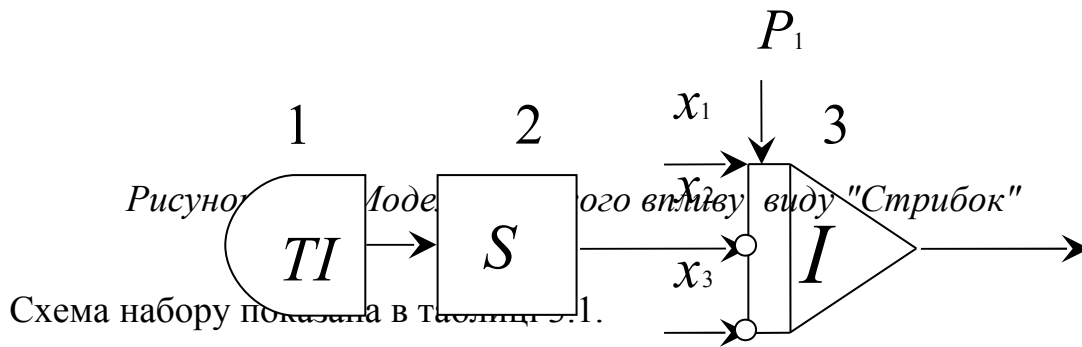
Рисунок 3.4 – Типовий гармонійний вплив

С допомогою блоків, що входять до складу пакету прикладних програм IMDS, можлива побудова відмінних варіантів моделей, реалізуючих ту чи іншу функцію або описуючих поведінку якої-небудь системи управління в цілому. Моделі при цьому буду відрізнятися використаними наборами блоків, схемами їх з'єднань, але з функціональної точки зору - ці варіанти повинні бути аналогічними.

Найпростіше реалізується засобами пакету IMDS вхідний вплив типу «стрибок». Для його моделювання, як правило, використовується блок К (константа). До початку інтегрування вихідне значення даного блоку можна умовно вважати рівним нулю, при розрахунку першої ж точки в якості початкового значення цього блоку приймається значення його параметру p_1 . З використанням даного блоку для формування вхідних впливів ви вже ознайомились при виконанні лабораторної роботи №1.

Якщо є потреба сформувавши вплив типу «стрибок», затриманий в часі (поступаючий в систему в момент часу , відмінного від нуля), то структура моделі незначно ускладниться. Один із варіантів моделювання подібного впливу складається в сумісному використанні блоків системного таймера T і стрибка S . Блок системного часу може бути в моделі тільки один і дозволяє контролювати поточний час розрахунку й вводити потрібні зміни в хід інтегрування. Блок стрибка S володіє трьома параметрами: p_1 - рівень вихідного значення блоку до моменту переключання (стрибка); p_2 - початкове значення після переключання; p_3 - момент переключання (час стрибка). Фрагмент моделі показаний на рис.3.5.





Таблиця 3.1

Номер блоку	Тип блоку	Вхідний сигнал			Параметр		
		X1	X2	X3	P1	P2	P3
1	TI	-	-	-	-	-	-
2	S	1	-	-	0	1	τ

Примітка: a – амплітуда стрибкоподібно змінюваного сигналу.

Реалізація лінійно-змінюваних впливів, як правило, виконується з використанням інтегруючих ланцюгів (див. вираз (3.6)). Варіанти моделей для лінійно-змінюваних впливів подані на рис.3.6 й в таблиці 3.2, для закону з тимчасовою затримкою – на рис.3.7 й в таблиці 3.3.

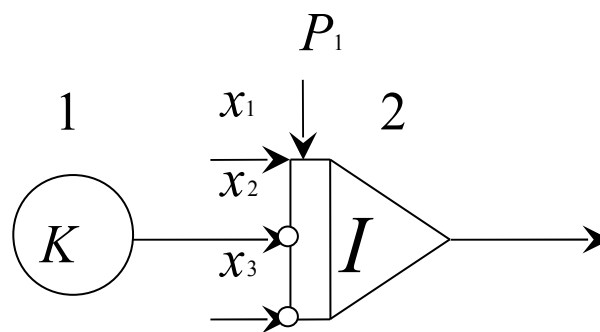


Рисунок 3.6 – Модель лінійно-змінюваного типового впливу

Таблиця 3.2

Номер блоку	Тип блоку	Вхідний сигнал			Параметр		
		X1	X2	X3	P1	P2	P3
1	K	-			V		
2	I	0	1	0	0	1	0

Рисунок 3.7 – Модель лінійно-змінюваного типового впливу з часовою затримкою

Таблиця 3.3

Номер блоку	Тип блоку	Вхідний сигнал			Параметр		
		X1	X2	X3	P1	P2	P3
1	TI	-			-	-	-
2	S	1			0	1	τ
3	I	0	2	0	0	v	0

Зверніть увагу, як формується подання коефіцієнта інтегрування в кожній із моделей: в першому випадку коефіцієнт подається з допомогою блоку константи, а інтегратор сприймає його вихід по першому входу, що володіє внутрішнім одиничним коефіцієнтом передачі; в другому – блок стрибка формує одиничний сигнал, а коефіцієнт подається як коефіцієнт передачі інтегратора по входу, відмінному від першого (в даному випадку – по другому).

Варіант моделі, що реалізує гармонійний вплив, поданий на рис.3.8, а схема набору – в таблиці 3.4.

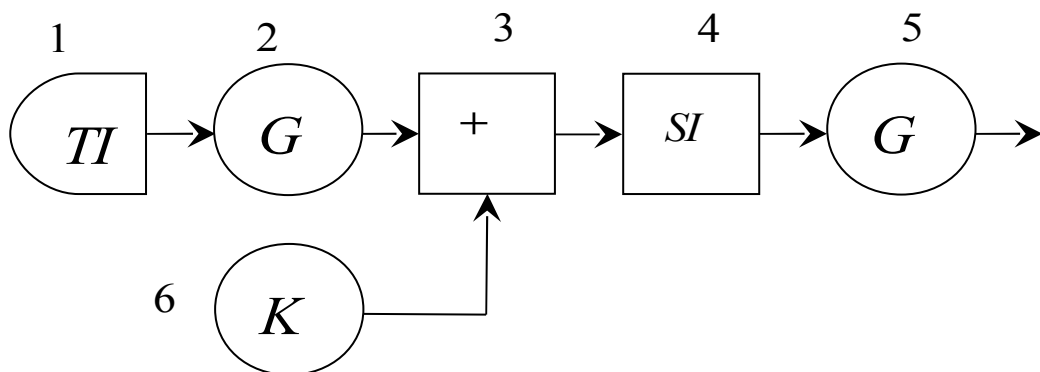


Рисунок 3.8 – Модель, що реалізує гармонійний вплив

Таблиця 3.4

Номер блоку	Тип блоку	Вхідний сигнал			Параметр		
		X1	X2	X3	P1	P2	P3
1	TI	-			-		

2	G	1			ω
3	+	2	6	-	-
4	SI	3			-
5	G	4			A
6	K	-			φ

А тепер розглянемо рішення трохи більш складної задачі. Необхідно сформулювати вплив, поданий на рис.3.9.

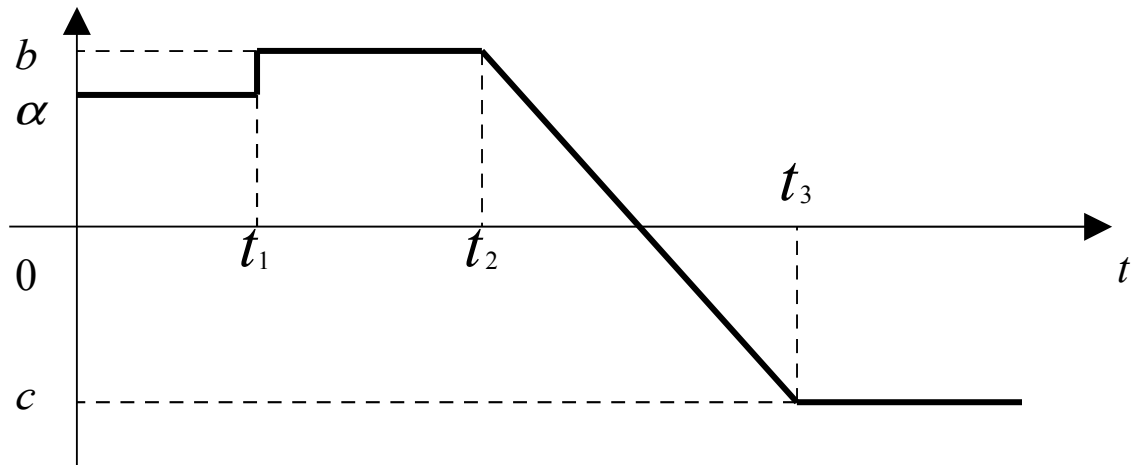


Рисунок 3.9 – Вплив довільної форми

Для виконання даної задачі попередньо необхідно скласти математичний опис заданої функції. Розклавши дану функцію на складові у вигляді типових впливів, кожний з яких виникає в певний момент часу, отримаємо наступний математичний запис:

$$f(t) = a \cdot 1(t) + (b - a) 1(t - t_1) - \frac{c - b}{t_3 - t_2} 1(t_2 - t) + \frac{c - b}{t_3 - t_2} (t - t_3) 1(t - t_3) \quad (3.8)$$

В цій формулі кожний з доданків описує власну складову, графік котрої на рисунку 3.10 позначений номером відповідного доданку. Геометрична сума графіків всіх доданків і дасть потрібний графік вихідної функції. Тому запропонована модель забезпечує якраз цей принцип формування характеристики. Моделюється кожний із доданків окремо, а потім усі вони додаються.

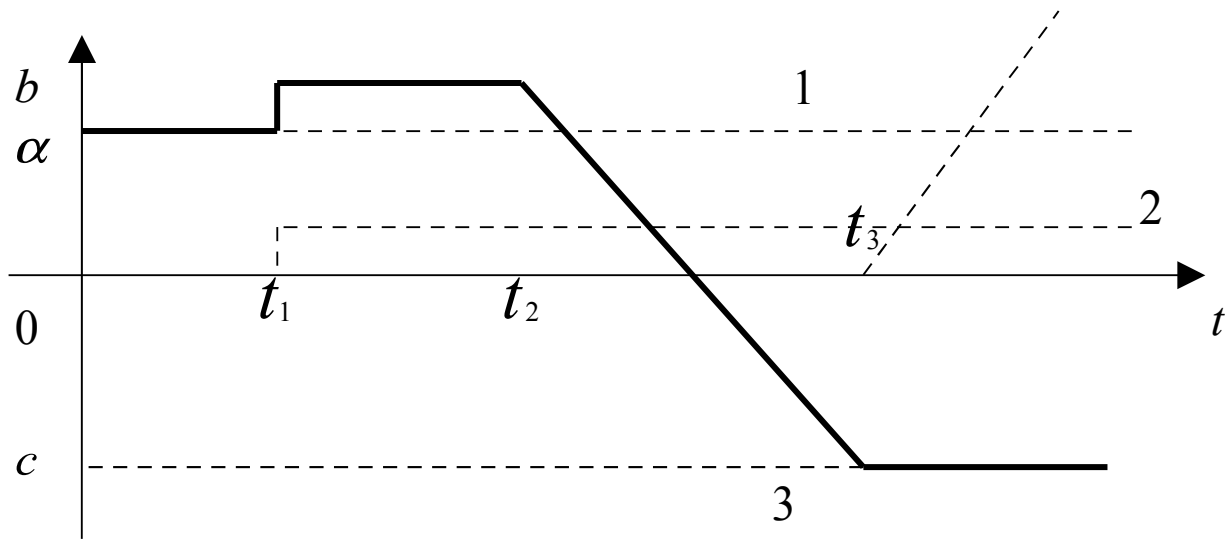


Рисунок 3.10 – Розкладання вихідної функції на складові

При складанні моделі більш зручно користуватися формулою, яка походить із виразу (3.8), в якому лінійно-змінювані складові замінюються у відповідності до виразу (3.9):

$$\begin{aligned}
 f(t) &= a \cdot 1(t) + (b - a) \cdot 1(t - t_1) + \frac{c - b}{t_3 - t_2} \int_0^t 1(t - t_2) dt - \frac{c - b}{t_3 - t_2} \int_0^t 1(t - t_3) dt \\
 &= a \cdot 1(t) + (b - a) \cdot 1(t - t_1) + \int_0^t \left[\frac{c - b}{t_3 - t_2} \cdot 1(t - t_2) - \frac{c - b}{t_3 - t_2} \cdot 1(t - t_3) \right] dt. \quad (3.9)
 \end{aligned}$$

Структурна схема моделі, відповідній виразу (3.9), приведена на рисунку 3.11, а дані для набору даної моделі зведені в таблицю 3.5.

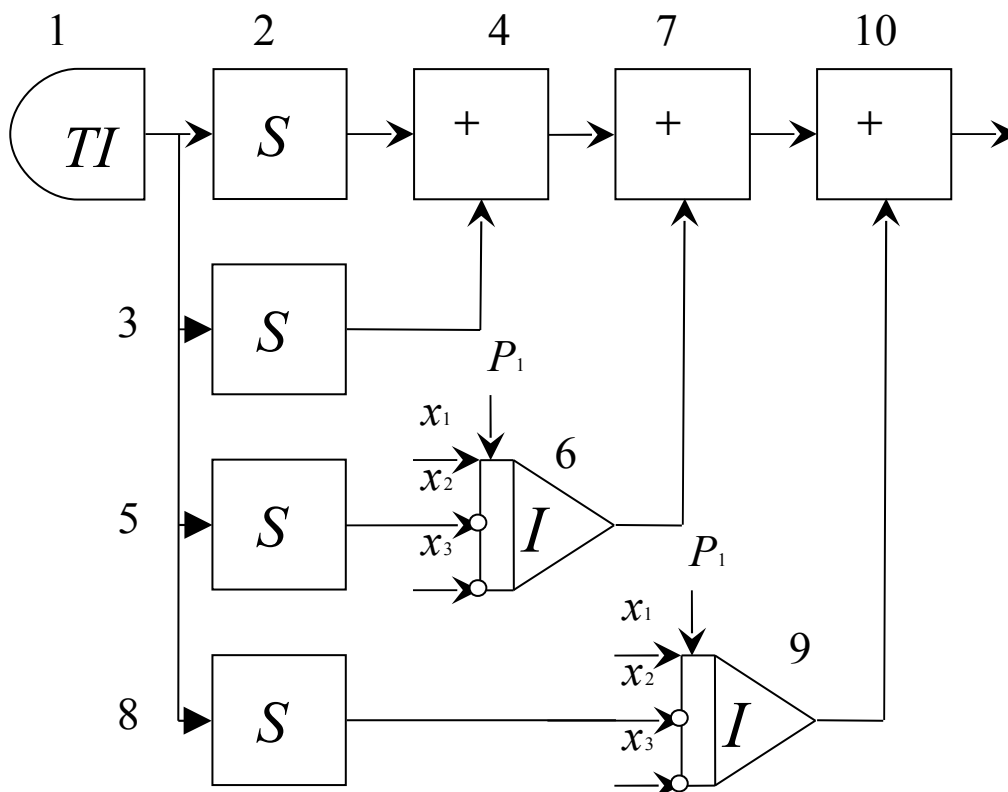
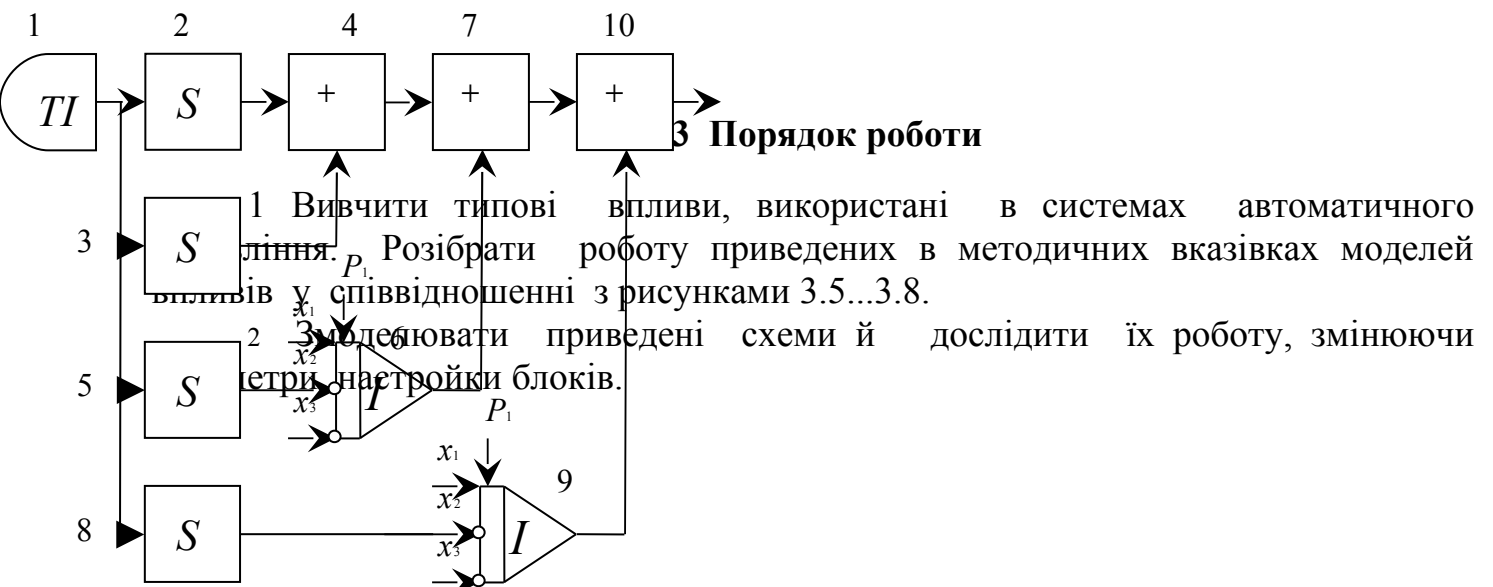


Рисунок 3.11 – Модель, реалізуюча функцію (3.9)

Таблиця 3.5

Номер блоку	Тип блоку	Вхідний сигнал			Параметр		
		X1	X2	X3	P1	P2	P3
1	TI	-			-		
2	S	1			a		
3	S	1			0	(b - a)	t ₁
4	+	2	3	0	-		
5	S	1			0	$\frac{c-b}{t_2-t_3}$	t ₂
6	I	0	5	0	0	1	0
7	+	4	6	0	-		
8	S	1			0	$-\frac{c-b}{t_2-t_3}$	t ₃
9	I	0	8	0	0	1	0
10	+	7	9	0	-		



3 Виконати моделювання й дослідити роботу схеми, зображеної на рис. 3.11, згідно приведеної таблиці варіантів (табл. 3.6). Виконати варіації параметрів та (відзначити) відмітити їх вплив на поведінку моделі.

Таблиця 3.6

Номер бригади	Параметри					
	a	b	c	t1	t2	t3
1	10	15	-10	0,2	0,3	0,5
2	-5	3	-20	1	5	10
3	-40	-60	120	0,05	0,08	0,11
4	4	-15	12	12	20	30
5	0,8	-1,25	-5,45	0,003	0,009	0,018
6	-300	500	1200	0,1	0,8	1,5
7	18,5	25	60	3	6	12
8	-75	-15	50	0,15	0,4	0,8
9	80	20	-90	2,5	4	6
10	1	-5	-10	0,009	0,015	0,026

3.4 Контрольні запитання

1 Які типові впливи, розглядаються виданою лабораторною роботою? Дайте їх математичний опис.

2 Чи можливо по-іншому задати параметри блоків у схемі на рис.3.11?

3 Яким чином можна видозмінити схему на рис.3.8, використовуючи блок «ЗМІЩЕННЯ» (див. п. 1.6.1 даних методичних вказівок)?

Рисунок 3.11 – Модель, реалізуюча функцію (3.9) кладачем функцію часу на складові – типові впливи. Дайте математичний опис даного розкладання й складіть модель заданої функції часу.

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

РІШЕННЯ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ РІВНЯНЬ

3 ВИКОРИСТАННЯМ ПАКЕТУ ПРОГРАМ IMDS

4.1 Мета роботи: освоєння методики рішення й дослідження лінійних диференційних рівнянь на ЕОМ через (з) використанням пакету прикладних програм IMDS.

4.2 Зміст роботи

При виконанні лабораторної роботи розв'яжіть на ЕОМ лінійне диференційне рівняння другого порядку:

$$A_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + A_1 \frac{dy}{dt} + A_0 y = u(t), \quad (4.1)$$

при відомих початкових умовах:

$$y(0) = y_0, \quad \frac{dy(0)}{dt} = y'_0,$$

де $y(t)$ – функція часу, котра повинна бути визначена з допомогою ЕОМ.

Перетворення рівняння (4.1) проведіть шляхом приведення його до нормального виду та отримання рішення відносно старшої похідної. Розділимо коефіцієнти в правій і лівій частині рівняння на коефіцієнт A_2 :

$$p^2 y + a_1 p y + a_0 y = b u, \quad (4.2)$$

$$\text{де } a_1 = \frac{A_1}{A_2}; \quad a_0 = \frac{A_0}{A_2}; \quad b = \frac{1}{A_2};$$

$p = \frac{d}{dt}$ – оператор диференціювання

Виразимо рівняння відносно старшої похідної:

$$p^2 y = -a_1 p y - a_0 y + b u. \quad (4.3)$$

$$\text{Введемо позначення: } y = y_1; \quad p y = p y_1 = y_2; \quad p^2 y_1 = p y_2. \quad (4.4)$$

Тоді, підставивши рівняння (4.4) у вираз (4.3), отримаємо систему диференційних рівнянь другого порядку:

$$\begin{cases} p y_2 = y_2, \\ p y_2 = a_{21} y_1 + a_{22} y_2 + b_2 u, \end{cases} \quad (4.5)$$

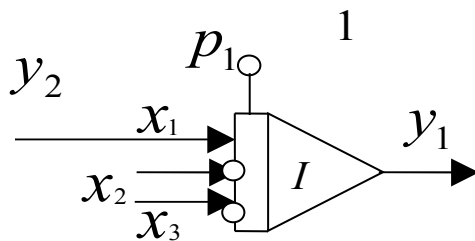
$$\text{де } a_{21} = -a_0; \quad a_{22} = -a_1; \quad b_2 = b. \quad (4.6)$$

Інтегруємо систему рівнянь (4.5):

$$\begin{cases} y_1 = \frac{1}{p} y_2, \\ y_2 = \frac{1}{p} (a_{21} y_1 + a_{22} y_2 + b_2 u). \end{cases} \quad (4.7.)$$

$$\begin{cases} y_1 = \int y_2 dt \\ y_2 = \int (a_{21} y_1 + a_{22} y_2 + b_2 u) dt \end{cases} \quad (4.8)$$

4.2.1 Структурні схеми моделей для рішення рівнянь 1 та 2 системи (4.8) на ЕОМ представлені, відповідно, на рис. 4.1 и рис 4.2. Об'єднуючи дані структурні схеми, отримаємо загальне рішення системи (4.8), котре представлено на рис. 4.3.



Параметри блоку №1

$$\begin{aligned} p_1 &= y_0; \\ p_2 &= p_3 = 0; \end{aligned}$$

Рисунок 4.1 – Схема рішення рівняння 1 системи (4.8)

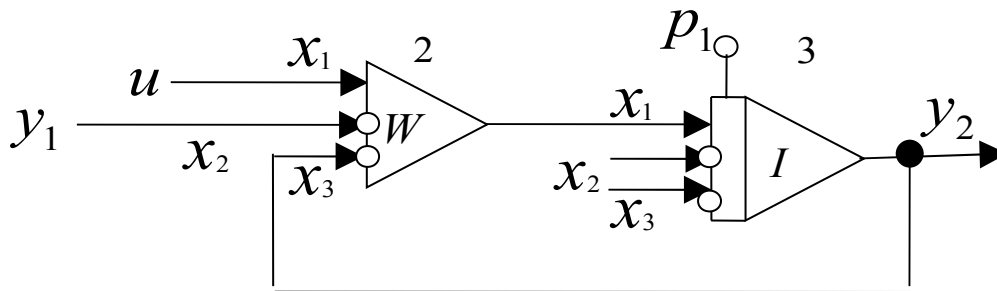


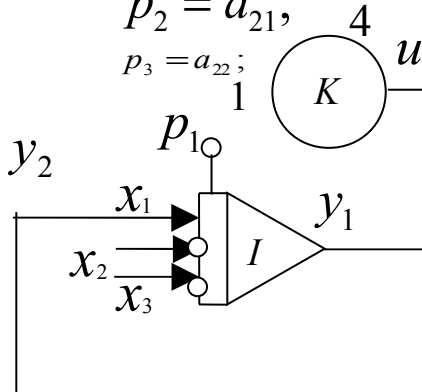
Рисунок 4.2 – Схема рішення рівняння 2 системи (4.8)

Параметри блоку №2

$$p_1 = b_2;$$

$$p_2 = a_{21};$$

$$p_3 = a_{22};$$



Параметри блоку №3

$$p_1 = y_2(0);$$

$$p_2 = 0;$$

$$p_3 = 0;$$

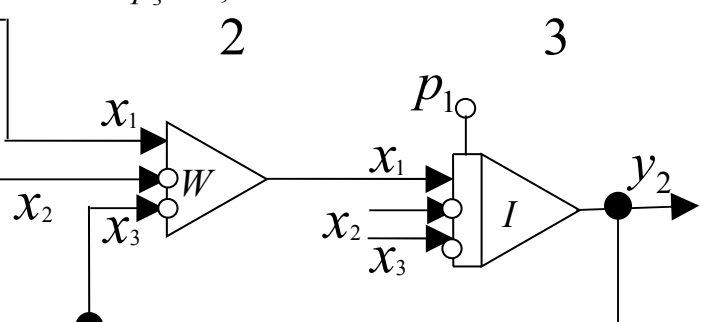


Рисунок 4.3 – Структурна схема рішення системи (4.8)

4.2.2 З використанням отриманої структурної схеми (див. рис.4.3), складається таблиця набору моделі.

Таблиця 4.1 – Початкові дані машинної моделі рішення диференційного рівняння другого порядку

Номер блоку	Тип блоку	Вхідний сигнал			Параметри		
		X1	X2	X3	P1	P2	P3
1	I	3	0	0	Y2(0)	0	0
2	W	4	1	3	b1	a ₂₁	a ₂₂
3	I	2	0	0	Y1(0)	0	0
4	K	-			u		

4.2.3 Робиться визначення часу й кроку інтегрування.

При моделюванні крок і час інтегрування визначаються як параметрами модельованої системи, так і параметрами зовнішніх впливів. Вільний рух (при $u(t) = 0$) досліджуваної системи (4.2) описується рівнянням

$$p^2 y + a_1 p y + a_0 y = 0. \quad (4.9)$$

В залежності від коренів рівняння (4.9) розв'язання може носити періодичний (коливальний) чи аперіодичний характер. Якщо обидва корені є дійсними числами, то вільний рух системи (4.2) буде носити аперіодичний характер, якщо корені будуть комплексно-сполученими, то рух буде складати періодичну сполуку. Якщо $a_1 = 0$ – корені будуть комплексними числами, і рух досліджуваної системи буде вмещувати тільки періодичні складові.

Рівняння (4.9) при нульових початкових умовах й коливальному характері руху має рішення виду:

$$y(t) = Ae^{-\lambda t} \cos(\omega t + \varphi), \quad (4.10.)$$

де

$$\lambda = \frac{a_1}{2}, \quad \omega = \sqrt{a_0 - \frac{a_1^2}{4}}. \quad (4.11)$$

Крок інтегрування моделі **h** при цьому слід вибирати, виходячи з наступних умов:

$$h \leq (0.01 \div 0.001) \frac{1}{|\lambda|} \quad \text{и} \quad h \leq (0.01 \div 0.001) \frac{1}{\omega}. \quad (4.12)$$

Рівняння (4.9) при нульових початкових умовах й аперіодичному характері руху має рішення виду:

$$y(t) = A_1 e^{-p_1 t} + A_2 e^{-p_2 t}, \quad (4.13)$$

де p_1, p_2 – корені рівняння (4.9).

В цьому випадку при визначенні кроку інтегрування слід врахувати таку нерівність:

$$h \leq (0.01 \div 0.001) \frac{1}{|P_{MAX}|}, \quad (4.14)$$

де P_{MAX} – найбільший з коренів рівняння.

У випадку, якщо зовнішній вплив носить періодичний характер чи вміщає періодичні складові, при виборі кроку інтегрування слід врахувати наступну нерівність:

$$h \leq (0.01 \div 0.001) \frac{1}{\omega_c}, \quad (4.15)$$

де ω_c – кругова частота найбільш швидкої з періодичних складових.

Остаточно приймається найменше із значень h у виразах (4.12), (4.14) та (4.15).

Час інтегрування вибираємо із умов найкращого спостереження змодельованого перехідного процесу чи його частини.

Приблизно час перехідного процесу можна прийняти рівним:

$$t_{III} \approx (3 \div 5) T_{max},$$

де $T_{max} = 1/P_{min}$ – найбільша із постійних часу змодельованої системи.

4.3 Порядок виконання роботи

1 Підготуйте до моделювання на ЕОМ диференційне рівняння другого порядку по методиці, вказаній в п. 4.2.1...4.2.3. Початкові дані необхідно вибрати відповідно заданому варіанту в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Варіанти завдань

П-ри	Варіант											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
A1	0,15	0,08	0,11	0,17	0,13	0,09	0,17	0,09	0,14	0,11	0,08	0,02
A2	1,00	0,80	1,10	0,90	0,20	1,00	0,85	0,90	1,20	1,00	1,20	1,10
u	3,80	0,50	0,24	1,46	0,36	0,10	0,50	2,60	0,40	0,06	0,44	0,01
y(0)	0,00	10,00	20,00	0,00	15,00	30,00	0,00	5,00	10,00	20,00	0,00	15,00
py(0)	15,00	5,00	0,00	20,00	3,00	0,00	30,00	10,00	0,00	5,00	25,00	0,00

2 Складіть схему набору математичної моделі диференційного рівняння на ЕОМ і заповніть таблицю 4.1 у відповідності з даними свого варіанту.

3 Введіть математичну модель в комп'ютер й дослідіть рівняння для трьох різних зовнішніх впливів

$$u_1(t) = 10 \cdot 1(t), \quad u_2(t) = 0.5t \cdot 1(t - 0.05), \quad u_3(t) = 4 \sin(0.1t).$$

4 Задокументуйте результати роботи.

4.4 Контрольні запитання

- 1 Що являє собою метод моделювання диференціальних рівнянь використанням пакету прикладних програм МАСС?
- 2 Як складається структурна схема моделі диференціального рівняння?
- 3 Як вибирається крок інтегрування при моделюванні ?
- 4 Як вибирається час інтегрування при моделюванні?
- 5 Яка послідовність перетворення диференціального рівняння n-го порядку до системи диференціальних рівнянь?

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

РЕАЛІЗАЦІЯ ВХІДНОГО ВПЛИВУ ПО КЛОССОВСЬКІЙ ХАРАКТЕРИСТИЦІ З ВИКОРИТАННЯМ ПАКЕТУ IMDS

5.1 Мета роботи: освоєння методики формування вхідного впливу в результаті математичного опису заданих формул на ЕОМ з використанням прикладних програм IMDS.

5.2 Зміст роботи

В даній лабораторній роботі заданими є ω_0, S_K, M_K .

В ході лабораторної роботи реалізується математичний опис системи, що складається із двох рівнянь:

$$M = \frac{2 \cdot M_K}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S}}; \quad S = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}.$$

Відомі величини задамо константами й отримаємо таку цифрову модель (рис.5.1).

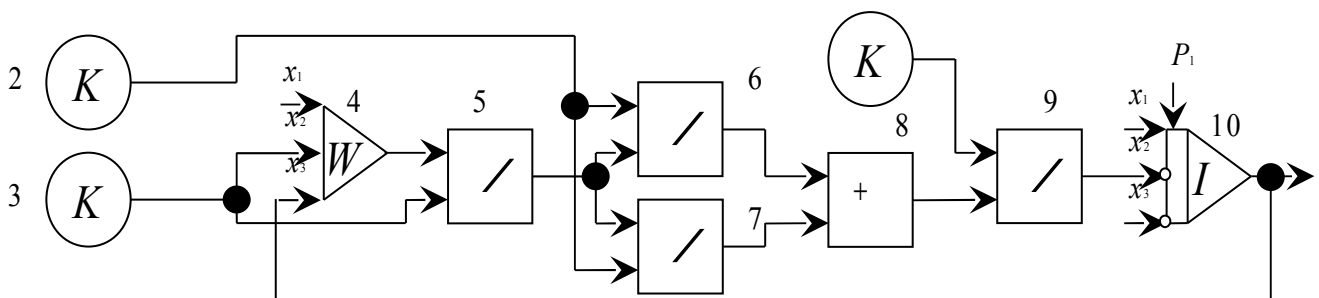


Рисунок 5.1

Також складемо таблицю вводу для даної цифрової моделі (табл.5.1).

Таблиця 5.1

Номер блоку	Тип	Входи			Параметри		
		X1	X2	X3	P1	P2	P3
1	К	-			2Mk		
2	К	-			Sk		
3	К	-			W0		
4	W	3	10	0	1	-1	0
5	/	4	3	-	1	1	0
6	/	2	5	-	1	1	-
7	/	5	2	-	/	/	-
8	W	6	7	0	/	/	0
9	/	1	8	-	/	/	-
10	I	9	0	0	1/J1	0	0

Вихідними в даній лабораторній роботі є блоки 9 і 10.

5.3 Порядок виконання роботи

- 1 Наберіть в пакеті прикладних програм IMDS таблицю вводу.
- 2 Зніміть залежність моменту й швидкості в залежності від часу (блоки 9 і 10).
- 3 Задokumentуйте результати роботи.

5.4 Контрольні запитання

- 1 Що показує собою метод моделювання впливу по заданих формулах?
- 2 Як складається(збирається) цифрова схема моделі вхідного впливу Клоссовської характеристики?
- 3 Для чого вводиться зворотній зв'язок по швидкості в моделі вхідного впливу ?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 В.П. Яблонь. Прикладні пакети машинного аналізу й синтезу систем електроприводу: Методичні вказівки . – Алчевськ: ДГМІ, 2003. – 45 с.

2 І.П. Копилов. Математичне моделювання електричних машин. – М.: Вища школа, 2001. – 327 с.

3 Зеленов А.Б. Синтез та цифрове моделювання систем управління електроприводів постійного струму з вентильними перетворювачами: Навч. посібник для студ. вузів/ А.Б.Зеленов, І.С.Шевченко, Н.І.Андрєєва. – Алчевськ: ДГМІ, 2002. – 400 с.

4 В.Н. Киричков. Ідентифікація об'єктів систем управління технологічними процесами (Автоматика управління в технологічних системах 2). – К.: Вища школа, 1990. – 263 с.

5 А. Гультяєв. Імітаційне моделювання в середовищі Windows (Візуалізація. Програмування . Аналіз даних.). – СПб.: Коронарій , 1999. – 288 с.

6 Капустін Н.М. Автоматизація машинобудування/ Н.М. Капустін, Н.П. Дьяконов , П.М. Кузнєцов. – М.: Вища школа, 2002. – 223 с.

7 Конспект лекцій до курсу МЕМС/ Упоряд. Квашнін В.О. – Краматорськ: ДДМА, 2003. (В електронному варіанті).

Методичні вказівки
до лабораторних робіт з дисципліни
**«МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ
СИСТЕМ»**

для студентів спеціальності
«Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»
денної та заочної форм навчання

Упорядник

Квашнін Валерій Олегович

Редактор

Дудченко Олена Олександрівна

Підп. до печ.
Ризограф. печать.
Тираж экз.

Усл.печ.л.

Формат 60x90/16
Уч.-вид.л