

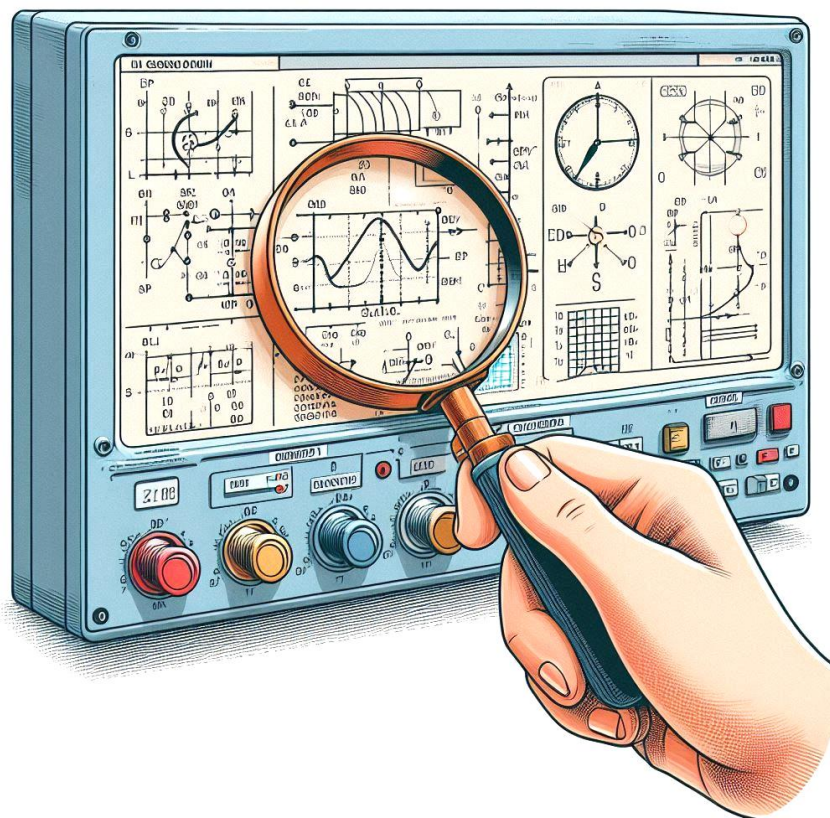


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

для виконання лабораторної роботи на тему

«Ідентифікація параметрів швидкоплинних процесів з використанням РТС Mathcad»



УДК 004.94

Гайденко О. С., Невгод М. Ю.

Методичні рекомендації для виконання лабораторної роботи на тему: «Ідентифікація параметрів швидкоплинних процесів з використанням РТС Mathcad». Перероблене видання. К.: КЕМТ, 2024. 20 с.

Методичні рекомендації підготовлено для виконання лабораторної роботи на тему «Ідентифікація параметрів швидкоплинних процесів з використанням РТС Mathcad» при викладанні дисципліни «Ідентифікація об'єктів автоматизації» для здобувачів 151 спеціальності або окремого модуля дисципліни «Теорія автоматичного керування» для здобувачів 174 спеціальності за ОП «Мікропроцесорні та комп'ютеризовані системи керування» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

РОЗГЛЯНУТО ТА СХВАЛЕНО

Цикловою комісією (кафедрою) бакалаврату
Київського електромеханічного фахового коледжу
Протокол №2 від «11» вересня 2024 р.

Науково-методичною радою
Київського електромеханічного фахового коледжу
Протокол №2 від «01» жовтня 2024 р.

ЗАТВЕРДЖЕНО

«01» жовтня 2024 р.
Заступник директора з навчальної роботи

 Олександр МАРЧЕНКО

Укладачі: **О. С. Гайденко**, кандидат технічних наук
М. Ю. Невгод, кандидат технічних наук

Рецензент: **І. І. Кульбовський**, кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій транспорту (Державний університет інфраструктури та технологій)

ЗМІСТ

ВИМОГИ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ.....	4
1 Теоретичні відомості.....	5
2 Практична частина	9
2.1 Варіанти завдання	9
2.2 Формування вихідних даних.....	10
2.3 Виконання розрахунків у Mathcad.....	12
2.4 Побудова графіків у Mathcad	14
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	15
ДОДАТОК А. Деякі способи вирішення СЛАР у Mathcad.....	16
ДОДАТОК Б. Приклади заповнення таблиць	18

ВИМОГИ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Мета роботи: формування знань і практичних навиків розв’язку систем лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) для ідентифікації параметрів швидкоплинних процесів на прикладі аварійних режимів функціонування систем електропостачання, використовуючи для математичних розрахунків спеціалізоване програмне забезпечення Mathcad.

Програмне забезпечення: РТС Mathcad, програма аналізу ІДК «Регіна».

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з теоретичними відомостями.
2. Ознайомитися з призначенням та основними характеристиками інформаційно-діагностичного комплексу (ІДК) «Регіна» на офіційному сайті виробника [1].
3. Виконати завдання практичної частини згідно варіанту.

Підсумковий звіт повинен містити:

- назву роботи;
- мету роботи;
- варіант виконаного завдання;
- належно заповнені таблиці 2 і 3;
- висновки;
- в електронному вигляді окремим файлом збережені результати виконання лабораторної роботи в Mathcad для перевірки викладачем.

Звіт до лабораторної роботи необхідно оформити за вимогами стандарту організації СТО КЕМТ 01-2023 [2].

1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Особливістю функціонування систем електропостачання на тягу є швидкоплинність електромеханічних і електромагнітних процесів при аварійних (аномальних) станах системи, в зв'язку з чим у диспетчерського та оперативного персоналу не завжди є можливість впливати на аварійний процес для зупинки його розвитку. При порушеннях нормального режиму роботи системи електропостачання, аномальні процеси протікають із такою швидкістю, що зупинити їх шляхом втручання персоналу неможливо, тому й виникла необхідність в інтелектуалізованих системах діагностики, якою, наприклад, є ІДК «Регіна».

Інформаційно-діагностичний комплекс «Регіна» призначений для реєстрації аналогових та дискретних сигналів, аналізу розвитку аварійних ситуацій, оцінки функціонування пристроїв релейного захисту та автоматики, визначення місця пошкодження при коротких замиканнях на лініях електропередачі, визначення залишкового ресурсу високовольтних вимикачів, побудови добової відомості режимів, проведення фазового та гармонічного аналізу синусоїдальних сигналів, виділення симетричних складових в трифазних мережах змінної напруги, виведення інформації у вигляді текстових повідомлень, графіків і таблиць на екран дисплею і на друк, а також передачі зареєстрованої та обробленої інформації на будь-які вищі рівні керування.

Зареєстровані ІДК «Регіна» первинні дані аварій мереж електропостачання будуть використані в якості вхідних даних лабораторної роботи.

Так як струм і напруга у найбільшій мірі визначають основний технологічний процес в електроенергетиці, та є пріоритетними параметрами моніторингу, ідентифікацію параметрів швидкоплинних процесів розглянемо на прикладі динаміки струму та напруги аномальних режимів, що з'являються в процесі постачання електроенергії.

Аномальний чи аварійний процес постачання електроенергії може бути представлений сукупністю m миттєвих значень струму $i(t_0), i(t_1), i(t_2), \dots i(t_j), \dots i(t_m)$, та, відповідно, напруги $u(t_0), u(t_1), u(t_2), \dots u(t_j), \dots u(t_m)$, на всьому інтервалі нестационарного процесу.

Синтез диференційних математичних методів визначення параметрів режимів енергосистем реалізуємо на основі теорії диференційних перетворень Пухова, фундаментальні положення якої можна представити у вигляді наступної пари перетворень

$$I_0(k) = \frac{H^k}{k!} \left[\frac{d^k i(t)}{dt^k} \right]_{t=t_0} \quad \mp \quad i(t) = \sum_{k=0}^{k=\infty} \left(\frac{t}{H} \right)^k I_0(k), \quad t_0 = 0, \quad (1)$$

де $i(t)$ – первинна функція аргументу t , яка може бути n – раз диференційована та має відповідні обмеження разом із усіма своїми похідними;

$I_j(k)$ – зображення функції – оригіналу $i(t)$, яке представляє собою дискретну функцію $I_j(k)$ цілочислового аргументу $k = 0, 1, 2, \dots, j = 0, 1, \dots m$;

H – масштабний коефіцієнт, який має ту ж розмірність, що й аргумент t і, в більшості випадків, вибирається з умов на всьому діапазоні функції-оригіналу $i(t)$;

$\mp$ – символ, що характеризує відповідність між оригіналом $i(t)$ і його диференціальним Т-зображенням $I_j(k)$, ($k = 0, 1, 2, \dots$).

У математичній залежності (1) вираз, що знаходиться ліворуч від символу $\mp$ представляє собою пряме диференційне перетворення. Завдяки прямому диференційному перетворенню, на основі функції-оригіналу $i(t)$, формується Т-зображення дискретної функції $I_j(k)$ цілочислового аргументу $k = 0, 1, 2, \dots$ Праворуч математичної залежності (1) – записано математичний вираз, що дозволяє за значенням Т-дискрет функції цілочислового аргументу $I_j(k)$ $k = 0, 1, 2, \dots$ одержати функцію-оригінал $i(t)$.

При $k = 0$ згідно (1), для будь-якого миттєвого значення t_i кожного j^{20} параметру $i(t_j)$ виконується відповідна рівність $i(t_j) = I_j^i(0)$.

Скористаємося зворотним диференційним перетворенням і для кожного дискретного значення аргументу аномального параметру $t_0, t_1, t_2, \dots, t_m$ сформуємо систему диференційних рівнянь виду

$$\begin{aligned} I_j(1) \cdot \frac{t_{j+1}}{H} + I_j(2) \cdot \left(\frac{t_{j+1}}{H}\right)^2 + I_j(3) \cdot \left(\frac{t_{j+1}}{H}\right)^3 + I_j(4) \cdot \left(\frac{t_{j+1}}{H}\right)^4 &= i(t_{j+1}) - i_j(t_j) \\ I_j(1) \cdot \frac{t_{j+2}}{H} + I_j(2) \cdot \left(\frac{t_{j+2}}{H}\right)^2 + I_j(3) \cdot \left(\frac{t_{j+2}}{H}\right)^3 + I_j(4) \cdot \left(\frac{t_{j+2}}{H}\right)^4 &= i(t_{j+2}) - i_j(t_j) \\ I_j(1) \cdot \frac{t_{j+3}}{H} + I_j(2) \cdot \left(\frac{t_{j+3}}{H}\right)^2 + I_j(3) \cdot \left(\frac{t_{j+3}}{H}\right)^3 + I_j(4) \cdot \left(\frac{t_{j+3}}{H}\right)^4 &= i(t_{j+3}) - i_j(t_j) \\ I_j(1) \cdot \frac{t_{j+4}}{H} + I_j(2) \cdot \left(\frac{t_{j+4}}{H}\right)^2 + I_j(3) \cdot \left(\frac{t_{j+4}}{H}\right)^3 + I_j(4) \cdot \left(\frac{t_{j+4}}{H}\right)^4 &= i(t_{j+4}) - i_j(t_j). \end{aligned} \quad (2)$$

На основі прямого диференційного перетворення $I_0(k) = \frac{H^k}{k!} \left[\frac{d^k i(t)}{dt^k} \right]_{t=t_0}$, згідно виразу (1), мають місце наступні рівності $i(t_0) = I_0(0)$, $i(t_1) = I_1(0)$, .. $i(t_j) = I_j(0)$, .. $i(t_m) = I_m(0)$, використавши які та розв'язавши систему алгебраїчних рівнянь (2) у випадку, коли $j = 0$ отримаємо наступну сукупність Т-дискрет $I_0(0), I_0(1), I_0(2), I_0(3), I_0(4)$ функції $I_0(k)$ цілочислового аргументу $k = 0, 1, 2, \dots$, що є зображенням $i(t_0)$ у точці (t_0) . На основі аналізу отриманих значень $I_0(0), I_0(1), I_0(2), I_0(3), I_0(4)$ можна звернути увагу на те, що функція $i(t)$, представлена в точці (t_0) є не лише величиною її миттєвого значення $i(t_0) = I_0(0)$, а і сукупністю Т-дискрет $I_0(1), I_0(2), \dots, I_0(k)$, кожна k з яких еквівалентна k -похідній функції $i(t)$ в цій же точці t_0 .

Таким чином, завдяки тому, що при обробці використовуються не лише миттєві значення параметрів у точках t_j , а також і значення n похідних у цих же точках, визначається повна інформативність зареєстрованих первинних даних.

На основі виразів (2), (3), аналогічно вищеописаному синтезуємо визначення сукупності диференційних спектрів у кожній точці $t_1, t_2, \dots, t_m$ перехідного процесу представлену у вигляді

$$A_j I_j'(k) = F_j, \quad (3)$$

де $A_j =$

$\frac{\tau_j}{H}$	$\left(\frac{\tau_j}{H}\right)^2$	$\cdot$	$\left(\frac{\tau_j}{H}\right)^n$
$\frac{\tau_{j+1}}{H}$	$\left(\frac{\tau_{j+1}}{H}\right)^2$	$\cdot$	$\left(\frac{\tau_{j+1}}{H}\right)^n$
$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$
$\frac{\tau_{j+n}}{H}$	$\left(\frac{\tau_{j+n}}{H}\right)^2$	$\cdot$	$\left(\frac{\tau_{j+n}}{H}\right)^n$

 – матриця, яка формується відомим

способом, враховуючи, що $\tau_j = t_j - t_{j-1}$;

F_j – вектор правих частин;

$$I_j'(k) = \begin{bmatrix} I_j(0) & I_j(1) & I_j(2) & \cdot & I_j(n) \end{bmatrix}^t \quad - \quad \text{вектор невідомих величин,}$$

компоненти якого представляють собою диференційний спектр у точці j .

Реалізуювши рішення системи рівнянь (2) для кожної наступної точки $t_1, t_2, \dots, t_j$ отримаємо первинні дані представлених в області диференційних зображень у наступному вигляді $I_0(0), I_0(1), \dots, I_0(k); I_1(0), I_1(1), \dots, I_1(k); I_j(0), I_j(1), \dots, I_j(k)$.

2 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Розглянемо процес формування диференційних спектрів на основі аналогових сигналів $A_0(0), A_0(1), \dots A_0(k)$; $A_1(0), A_1(1), \dots A_1(k)$; $A_j(0), A_j(1), \dots A_j(k)$ на прикладі реальних первинних даних, що представляють аварійний режим, який зареєстровано ІДК «Регіна» мережі електропостачання.

Аварійний процес системи електропостачання характеризується відхиленням миттєвих значень напруги і струму та виходу одного з цих параметрів за межі уставки, після чого ІДК «Регіна» реєструє початок аварійного процесу на об'єкті моніторингу. Момент виходу параметрів аналогових сигналів за межі уставки програма аналізу обирає як точку відліку (t_0).

2.1 Варіанти завдання

Варіанти завдання обираються за порядковим номером студента в журналі відповідно таблиці 1.

Таблиця 1 – Варіанти завдання

Місце виникнення аварії	Варіант	Порядковий номер аварії у програмі аналізу ІДК «РЕГІНА»	Варіант	Порядковий номер аварії у програмі аналізу ІДК «РЕГІНА»
Аккаржа	1	1	11	2
Козятин-2	2	1	12	2
Радивилів	3	1	13	2
Тернопіль-тягова	4	1	14	2
Щирець	5	1	15	2
Миронівка	6	1	16	2
Бабариковська	7	1	17	2
Безлюдівка	8	1	18	2
Лозова	9	1	19	2
Колосове	10	1	20	2

Якщо порядковий номер студента в журналі більший за наведені в таблиці, завдання видається викладачем індивідуально.

2.2 Формування вихідних даних

Набір миттєвих значень (струму / напруги) аварійного режиму в точках $t_0, t_1, t_2, \dots, t_j$ представимо у табличній формі для перших j точок (табл. 2). У додатку можна знайти приклади заповнення.

Таблиця 2 – Миттєві значення параметрів, зареєстровані під час аварійного процесу

j	$t_j,$ мс	$i/u(t_j),$ кА/кВ	j	$t_j,$ мс	$i/u(t_j),$ кА/кВ	j	$t_j,$ мс	$i/u(t_j),$ кА/кВ	j	$t_j,$ мс	$i/u(t_j),$ кА/кВ
0	0		5			10			15		
1			6			11			16		
2			7			12			17		
3			8			13			18		
4			9			14			19		

Подальшу роботу слід виконувати зі значеннями каналу, на якому відбулася реєстрація аварійного процесу, інформацію про який можна отримати, викликавши вікно «Информация о событии» в Програмі аналізу ІДК «Регіна» натиском на кнопку «Информация» .

Дані для заповнення табл. 2 у зручній формі можна отримати, натиснувши «Печать значений» (рис.1) в меню «Вывод» Програми аналізу.

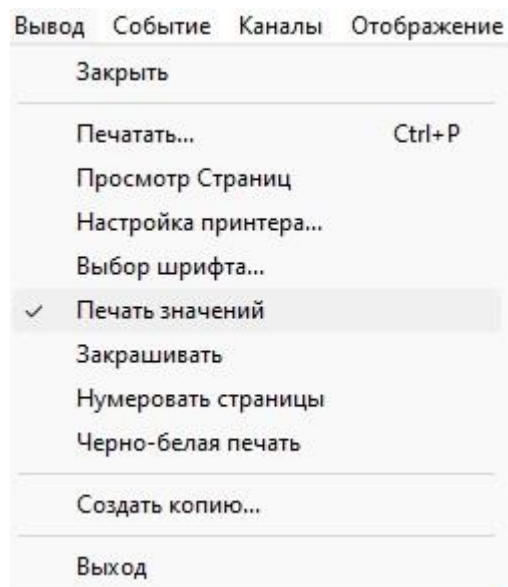


Рисунок 1. Меню «Вывод» Програми аналізу

Після того як навпроти «Печать значений» з'явилася «галочка» (рис. 1), необхідно виконати звичайну процедуру друку, натиснувши «Печать», або сполучення клавіш «Ctrl+P». У результаті отримаєте документ у pdf форматі зі значеннями параметрів **виділеного** каналу.

Зверніть увагу, що при цьому на друк піде інформація про поточний виділений канал, виділити який можна натиснувши на нього лівою кнопкою миші в основному вікні Програми аналізу. Крім того, щоб на вивід пішли саме дані про аварійний режим, потрібно натиснути кнопку  та після цього виділити інтервал від його початку та до закінчення.

Для заповнення табл. 2 слід поділити загальну кількість значень в отриманому pdf-документі на 20 (стільки значень треба занести до таблиці). Таким чином буде визначено крок вибірки. Наприклад, якщо ціла частина отриманого числа дорівнює «4», то до табл. 2. треба занести кожне четверте значення, починаючи з того, яке відповідає t_0 .

2.3 Виконання розрахунків у Mathcad

На основі виразу (2) необхідно реалізувати рішення відповідної системи рівнянь для кожної точки $t_0, t_1, t_2, \dots, t_j$ миттєвих значень параметру аварійного режиму будь-яким зручним методом рішення СЛАР.

Якщо параметром ідентифікації у вашому випадку буде напруга, то вираз (2) набере виду

$$\begin{aligned}U_j(1) \cdot \frac{t_{j+1}}{H} + U_j(2) \cdot \left(\frac{t_{j+1}}{H}\right)^2 + U_j(3) \cdot \left(\frac{t_{j+1}}{H}\right)^3 + U_j(4) \cdot \left(\frac{t_{j+1}}{H}\right)^4 &= u(t_{j+1}) - u_j(t_j) \\U_j(1) \cdot \frac{t_{j+2}}{H} + U_j(2) \cdot \left(\frac{t_{j+2}}{H}\right)^2 + U_j(3) \cdot \left(\frac{t_{j+2}}{H}\right)^3 + U_j(4) \cdot \left(\frac{t_{j+2}}{H}\right)^4 &= u(t_{j+2}) - u_j(t_j) \\U_j(1) \cdot \frac{t_{j+3}}{H} + U_j(2) \cdot \left(\frac{t_{j+3}}{H}\right)^2 + U_j(3) \cdot \left(\frac{t_{j+3}}{H}\right)^3 + U_j(4) \cdot \left(\frac{t_{j+3}}{H}\right)^4 &= u(t_{j+3}) - u_j(t_j) \\U_j(1) \cdot \frac{t_{j+4}}{H} + U_j(2) \cdot \left(\frac{t_{j+4}}{H}\right)^2 + U_j(3) \cdot \left(\frac{t_{j+4}}{H}\right)^3 + U_j(4) \cdot \left(\frac{t_{j+4}}{H}\right)^4 &= u(t_{j+4}) - u_j(t_j).\end{aligned}\quad (4)$$

Для спрощення розрахунку значення масштабного коефіцієнту H оберемо $H = 1$.

Способи вирішення СЛАР у Mathcad діляться на дві групи: точні методи, що представляють собою кінцеві алгоритми для обчислення коренів системи (рішення систем за допомогою методу Гауса, оберненої матриці, правила Крамера, та ін.), а також ітераційні методи, які дозволяють отримати рішення системи з заданою точністю шляхом збіжних ітераційних процесів (метод Зейделя, метод ітерації, тощо). Деякі з них наведені у додатку А.

Незалежно від обраного способу рекомендується почати зі створення двох матриць для занесення до них даних із табл. 2.

Якщо уважно вивчити системи (2) і (4), то можна прийти до висновку, що матрицю t можна створити на 19 значень, так як значення t_0 для їх розв'язку не буде потрібне.

Щоб знайти диференційний спектр в заданій точці, необхідно мати вихідні значення чотирьох наступних. Таким чином необхідно розв'язати систему (2) або (4) (залежно від варіанту завдання) для $j = 0..15$, тобто 16 разів.

У результаті рішення СЛАР буде отримано сукупність диференційних спектрів, у виді диференційних зображень, значення яких слід занести до табл. 3.

Таблиця 3 – Сукупність диференційних спектрів

j	$I/U_j(0),$ кА/кВ	$I/U_j(1),$ кА/кВ	$I/U_j(2),$ кА/кВ	$I/U_j(3),$ кА/кВ	$I/U_j(4),$ кА/кВ
0					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

Приклади заповнення таблиці 3 можна знайти у додатку Б.

2.4 Побудова графіків у Mathcad

Завдання: Побудувати графіки залежностей отриманих у табл. 3 $I/U(1)(t)$, $I/U(2)(t)$, $I/U(3)(t)$, $I/U(4)(t)$.

Для цього слід створити відповідні 4 матриці по 16 елементів, які міститимуть посилання на отримані результати та ще одну матрицю t зі значеннями від t_0 до t_{15} .

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ІДК Регіна МПП «АНІГЕР». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.regina.org.ua/Pages/IDKRegina.html>
2. СТО КЕМТ 01-2023 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.kemt.kiev.ua/assets/content/normativni%20dok/sto-kemt-01-2023.pdf>
3. Mathcad Express Free Download. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.mathcad.com/en/try-and-buy/mathcad-express-free-download>

ДОДАТОК А

ДЕЯКІ СПОСОБИ ВИРІШЕННЯ СЛАР У MATHCAD

Нехай

$\mathbf{m}$ – матриця з дійсних або комплексних значень, сформована з відомих множників лівої частини СЛАР.

$\mathbf{v}$ – дійсний або комплексний вектор чи матриця, що має таку ж кількість стрічок, як і $\mathbf{m}$, сформований з правої частини СЛАР.

Наприклад, для СЛАР
$$\begin{cases} 5x + 2y + 3z = 5 \\ 6x + 5y + 4z = 6, \\ 8x + 7y + 3z = 9 \end{cases}$$

$$\mathbf{M} := \begin{bmatrix} 5 & 2 & 3 \\ 6 & 5 & 4 \\ 8 & 7 & 3 \end{bmatrix}, \mathbf{v} := \begin{bmatrix} 5 \\ 6 \\ 9 \end{bmatrix}.$$

Метод Гауса

1. Задати значення 1 змінній **ORIGIN**. Це можна зробити або на вкладці «Calculation», або прописавши на аркуші **ORIGIN:= 1**.

2. Застосувати функцію **augment(m, v)**. Функція **augment** приєднає ці дві матриці.

3. До об'єднаної матриці застосувати функцію **rref()**, яка поверне матрицю приведену до ступінчатої форми по стрічках, в останньому стовпці якої буде рішення СЛАР.

Наприклад, **A := rref(augment(m, v))**

4. Щоб його звідти «забрати», слід використати функцію **submatrix(A, ir, jr, 4, 4)**, де **A** – матриця з якої буде вилучено з **ir** по **jr** стрічки та з **ic** по **jc** стовпці.

Метод оберненої матриці

$$\mathbf{m}^{-1} \cdot \mathbf{v}$$

Метод функції *lsolve()*

lsolve(m, v) – повертає розв’язок x СЛАР $m \cdot x = v$. Базується на використанні LU-розкладання.

Інструмент Solve Block (блок вирішення) шукає рішення в ітераційний спосіб, використовуючи припущені значення.



1. На вкладці «Math» вибрати «Solve Block» або натиснути «Ctrl+7».
2. У частині створеного блоку «Guess Values» створити вектор початкових значень з кількістю стрічок як у матриці m , наприклад, x .
3. У частині блоку «Constraints» написати рівняння типу $m \cdot x = v$. Щоб прописати дорівнює як символ рівності (виглядає жирнішим, ніж звичайний символ виведення результату) слід натиснути «Ctrl + =»
4. У частині блоку «Solver» написати функцію **Find(x)**. Її результат буде розв’язком СЛАР.

ДОДАТОК Б

ПРИКЛАДИ ЗАПОВНЕННЯ ТАБЛИЦЬ

Таблиця – Миттєві значення струму, зареєстровані під час аварійного процесу

j	t_j , мс	$i(t_j)$, кА	j	t_j , мс	$i(t_j)$, кА
0	0	1.507	7	14	2.289
1	2	1.703	8	16	2.345
2	4	1.801	9	18	2.345
3	6	1.856	10	20	2.163
4	8	1.94	11	22	1.856
5	10	2.038	12	24	1.424
6	12	2.177	13	26	1.396

Таблиця – Миттєві значення напруги, зареєстровані під час аварійного процесу

j	t_j , мс	$u(t_j)$, кВ	j	t_i , мс	$u(t_j)$, кВ	j	t_i , мс	$u(t_j)$, кВ
0	0	3.102	8	56	2.830	16	112	3.513
1	7	1.929	9	63	3.195	17	119	3.392
2	14	2.718	10	70	4.132	18	126	3.416
3	21	3.612	11	77	3.528	19	133	3.688
4	28	5.508	12	84	3.489	20	140	3.555
5	35	4.613	13	91	3.223	21	147	3.422
6	42	3.126	14	98	3.585	22	154	3.479
7	49	4.492	15	105	3.749	23	161	3.57

Таблиця – Сукупність диференційних спектрів струму

j	$I_j(0), \text{кА}$	$I_j(1), \text{кА}$	$I_j(2), \text{кА}$	$I_j(3), \text{кА}$	$I_j(4), \text{кА}$
0	1.507	0.13	-0.017	6.146×10^{-4}	4.427×10^{-5}
1	1.703	0.045	-0.011	1.656×10^{-3}	-7.031×10^{-5}
2	1.801	-0.059	0.02	-1.831×10^{-3}	6.649×10^{-5}
3	1.856	0.093	-0.03	3.37×10^{-3}	-1.088×10^{-4}
4	1.94	-0.111	0.018	-5.79×10^{-4}	-4.836×10^{-7}
5	2.038	-0.228	0.04	-2.119×10^{-3}	3.532×10^{-5}
6	2.177	0.325	-0.068	4.742×10^{-3}	-1.083×10^{-4}
7	2.289	-0.924	0.14	-6.811×10^{-3}	1.052×10^{-4}
8	2.345	-0.265	0.04	-1.762×10^{-3}	2.098×10^{-5}
9	2.345	-4.673	0.644	-0.029	4.384×10^{-4}

Таблиця – Сукупність диференційних спектрів напруги

j	$U_j(0), \text{кВ}$	$U_j(1), \text{кВ}$	$U_j(2), \text{кВ}$	$U_j(3), \text{кВ}$	$U_j(4), \text{кВ}$
0	3.102	-0.495	0.065	-2.91×10^{-3}	4.779×10^{-5}
1	1.929	0.571	-0.081	4×10^{-3}	-5.962×10^{-5}
2	2.718	-1.781	0.175	-5.277×10^{-3}	5.036×10^{-5}
3	3.612	-1.202	0.12	-3.621×10^{-3}	3.438×10^{-5}
4	5.508	5.694	-0.389	8.656×10^{-3}	-6.326×10^{-5}
5	4.613	-7.198	0.414	-7.851×10^{-3}	4.908×10^{-5}
6	3.126	4.11	-0.196	3.069×10^{-3}	-1.586×10^{-5}
7	4.492	3.627	-0.175	2.744×10^{-3}	-1.418×10^{-5}
8	2.830	-6.173	0.25	-3.356×10^{-3}	1.49×10^{-5}
9	3.195	2.89	-0.105	1.274×10^{-3}	-5.153×10^{-6}

Навчально-методичне видання

Олесь Сергійович Гайденко

Максим Юрійович Невгод

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
для виконання лабораторної роботи на тему
«Ідентифікація параметрів швидкоплинних процесів з
використанням РТС Mathcad»

За авторською редакцією

Відповідальний за випуск О. С. Гайденко

Підготовлено до видання
на цикловій комісії (кафедрі) бакалаврату
Київського електромеханічного фахового коледжу
03037, м. Київ, проспект Повітряних сил, 35