

Лозинський А. О., Мороз В. І., Паранчук Я. С.

**Розв’язування задач
електромеханіки в середовищах
пакетів MathCAD і MATLAB**

**Навчальний посібник
2-ге видання, виправлене**

Видавництво “Магнолія 2006”
Львів – 2025

УДК 621.34-501.72
Л 12

Гриф надано Міністерством освіти та науки України

Рецензенти:

- Плахтина О. Г.** – д. т. н., професор, професор кафедри електроприводу Національного університету “Львівська політехніка”;
Ткачук В. І. – д. т. н., завідувач кафедрою “Електричні машини та апарати” Національного університету “Львівська політехніка”;
Боднар Г. – к. т. н., начальник кафедри фундаментальних дисциплін Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Лозинський А.О., Мороз В.І., Паранчук Я.С.

- Л 12** Розв’язування задач електромеханіки в середовищах пакетів MathCAD і MATLAB: Навч. посібник. – 2-ге вид., доповн. – Львів: “Магнолія 2006”, 2025. – 215 с.

ISBN 966-8340-84-1

У посібнику подається опис і на конкретних задачах електромеханіки показано використання найрозповсюдженіших сучасних математичних пакетів MathCAD і MATLAB. Значну увагу надано вивченню засобу імітаційного моделювання Simulink, що входить до складу пакета MATLAB. Виклад матеріалу супроводжується численими прикладами, що сприяє глибокому вивченню і кращому засвоєнню практичної роботи у середовищах цих пакетів.

Призначений для студентів навчальних закладів III-го і IV-го рівнів акредитації електромеханічних і електротехнічних спеціальностей, а також може бути корисним для бажаючих самостійно опанувати та використовувати ці пакети для виконання наукових та інженерних розрахунків.

УДК 621.34-501.72
ББК 31.2

© Лозинський А. О., Мороз В. І.,
Паранчук Я. С., 2025
© “Магнолія 2006”, 2025

ISBN 966-8340-84-1

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	6
РОЗДІЛ 1. РОБОТА В ПАКЕТІ MathCAD	9
Вступ	9
1.1. Основи роботи в пакеті MathCAD	11
1.2. Математичні розрахунки в пакеті MathCAD	19
<i>Арифметичні операції</i>	19
<i>Змінні</i>	24
<i>Діапазонні (ранжовані) змінні</i>	25
<i>Вектори і матриці та операції з ними</i>	26
<i>Математичні функції</i>	28
1.3. Інженерні розрахунки в пакеті MathCAD	31
<i>Ввід / вивід даних у файл</i>	31
<i>Розв'язування рівнянь</i>	35
<i>Побудова графіків</i>	38
<i>Розв'язування диференціальних рівнянь</i>	41
<i>Символьна математика в пакеті MathCAD</i>	44
<i>Програмування в пакеті MathCAD</i>	51
<i>Оформлення технічних документів у пакеті MathCAD</i>	56
1.4. Приклади застосування пакета MathCAD для розв'язування задач керованих електромеханічних систем ...	58
<i>Апроксимація характеристики намагнічування</i>	58
<i>Дослідження частотних характеристик САР</i>	60
<i>Моделювання динамічних режимів генератора постійного струму</i>	63
<i>Моделювання динамічних режимів двигуна постійного струму</i>	66
<i>Розрахунок системи підпорядкованого керування</i>	70
РОЗДІЛ 2. ОСНОВИ РОБОТИ В СЕРЕДОВИЩІ ПАКЕТА MATLAB	76
Вступ	76
2.1. Режими роботи пакета	78

2.2. Типи та формати даних	80
2.3. Елементарні математичні функції пакета	81
2.4. Матричні операцій. Матричні функції	82
2.5. Статистичний аналіз	89
2.6. Графічне подання інформації	90
2.7. Циклічні оператори та організація розгалужень у середовищі пакета	95
2.8. Структура m-файлів	97
2.9. Підвищення швидкодії роботи програми	99
2.10. Обробка сигналів	100
2.11. Розв'язування систем нелінійних алгебричних рівнянь	103
2.12. Оптимізаційні алгоритми	107
2.13. Числове інтегрування та диференціювання функцій	111
2.14. Розв'язування систем диференціальних рівнянь	112
2.15. Операції над поліномами	114
2.16. Зворотне перетворення Лапласа	116
2.17. Апроксимація функцій поліномами	117

РОЗДІЛ 3. ЗАСОБИ ПАКЕТА ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА СИНТЕЗУ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

Вступ	119
3.1. Форми опису моделі системи	119
3.2. Перетворення форми подання моделей системи	120
3.3. Часові та частотні характеристики системи	122
3.4. Засоби для аналізу системи	125
3.5. Оцінка динамічних характеристик системи	130
3.6. Дослідження систем, поданих у векторно-матричній формі	130
3.7. Створення моделі системи	132
3.8. Засоби проектування систем керування	134
<i>Розміщення полюсів системи</i>	<i>134</i>
<i>Синтез системи керування методом LQG-регулятора</i>	<i>136</i>
<i>Синтез системи методом кореневого годографа</i>	<i>140</i>
<i>Аналіз характеристик синтезованої системи</i>	<i>144</i>
<i>Проектування компенсатора</i>	<i>144</i>
<i>Перетворення між неперервними і дискретними моделями ...</i>	<i>148</i>

РОЗДІЛ 4. СЕРЕДОВИЩЕ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ СИСТЕМ – SIMULINK	149
Вступ	149
4.1. Бібліотеки елементів	151
4.2. Створення моделі	162
4.3. Задання параметрів моделювання і вибір способу розв’язування системи рівнянь	169
4.4. Запуск режиму моделювання	172
4.5. Завершення роботи з Simulink	173
4.6. Приклад розрахунку перехідних процесів у середовищі пакета Simulink	173
4.7. Засоби для проведення аналізу поведінки системи пакета Simulink	177
РОЗДІЛ 5. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ	180
Вступ	180
5.1. Бібліотеки елементів	180
5.2. Процес моделювання системи	183
5.3. Модель асинхронного двигуна	184
5.4. Модель явнополюсної синхронної машини	188
5.5. Модель двигуна постійного струму	195
5.6. Елементи бібліотеки Power Electronics	197
5.7. Моделі трансформаторів	204
5.8. Задання початкових умов для розрахунку процесів у досліджуваній системі	207
5.9. Приклад дослідження моделі електромеханічної системи в середовищі пакета	208
ВИКОРИСТАНА І РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	213

ПЕРЕДМОВА

*“Якщо в цьому Лісі хтось мусить думати, –
а коли я кажу “думати”, я маю на увазі
думати по-справжньому, – то це наша
з тобою справа.”*

(А. Мілн “Вінні-Пух та його друзі”
у перекладі з англ. Л. Солонька)

Увазі читача пропонується навчальний посібник, який, сподіваємось, допоможе опанувати знані у світі математичні пакети MathCAD і MATLAB і покаже, як розв’язувати в їх середовищі задачі електромеханіки. Чому саме електромеханіки? Це пояснюється тим, що автори за фахом інженери у царині автоматизованого електропривода, тому більшість розв’язуваних ними задач знаходиться у близькій їх серцю галузі, а згадані пакети дозволяють легко і ефективно їх розв’язувати.

З-поміж досить великої кількості існуючих математичних і прикладних пакетів (а це і Maple V, і Mathematica, і Derive, і PSpice, і MicroCAP – всього й не перерахуєш) ми вибрали два: MathCAD і MATLAB. Кожен вибір є суб’єктивним, таким він є і у цьому випадку, тому спробуємо пояснити чому.

MathCAD є досить давно відомим інструментом наукових та інженерних розрахунків, що має дуже цінну властивість – об’єднання в один документ формул, розрахунків, тексту, графіків і рисунків. Такого спектра можливостей жоден інший пакет не має. У документі MathCAD’а математичні формули подаються у своєму звичному вигляді: символи інтеграла, похідної, грецькі літери, індекси, знаки суми і добутку тощо. Тому, глянувши на документ MathCAD’а, можна відразу зорієнтуватися, про що в ньому йдеться, які розрахунки виконуються і який отримано результат. Саме тому цей пакет є дуже зручним для оформлення різних технічних і наукових документів, звітів з великою кількістю складних розрахунків. Унікальна можливість унаочнення обчислень у звичному вигляді робить MathCAD дуже при-

вабливим і в застосуванні до задач електромеханіки: практично без змін зі сторінок підручників з теоретичної електротехніки, теорії автоматичного керування, теорії електропривода в нього можна перенести всі задачі та дослідження, що далі ми і спробуємо показати.

Пакет MATLAB (Internet-сторінка <http://www.mathworks.com>) має значно ширші обчислювальні можливості і вже давно з суто математичних пакетів перейшов у розряд прикладних і знайшов широке застосування на багатьох комп'ютерних платформах (до суперкомп'ютерів включно). Він не має такого зручного подання процесу розрахунку і таких можливостей оформлення результатів, як MathCAD, але для цього є інші, спеціалізовані пакети (наприклад, Microsoft Office). А можливості розрахунків найрізноманітніших задач також є унікальними, враховуючи наявність спеціально розроблених програмних засобів з теорії керування, обробки сигналів, оптимізації, нейронних мереж, нечіткої логіки тощо. Окрім цього, MATLAB містить пакет Simulink, призначений для структурного моделювання систем. Модель "набирається" з окремих блоків, як у дитячому конструкторі. Особливо тішить нас поява в останніх версіях пакета Power System Toolbox'a, який містить практично всі блоки, що необхідні для моделювання силових кіл керованих електромеханічних систем.

За можливостями обчислень (але не оформлення) і складністю MATLAB переважає MathCAD, але багато задач легше, простіше і, головне, значно наочніше розв'язувати в середовищі саме MathCAD. Зокрема, наші студенти виконували в MathCAD'і курсові роботи з теорії автоматичного керування та електричних машин (включно з оформленням пояснювальної записки), а MATLAB застосовували для проведення досліджень електромеханічних систем під час дипломного проектування. Зрештою, кожен користувач персонального комп'ютера сам вибирає, в якому середовищі розв'язувати свою задачу, і тут знання не одного, а кількох пакетів дає можливість вибрати найраціональніший варіант.

Висловлюємо свою подяку кафедрі теоретичної електротехніки та електричних вимірювань Варшавської політехніки (керівник – професор, докт. габ. Казимир Миколаюк) за надану можливість працювати в середовищі пакета MATLAB під час стажування одного з авторів та професорові, докт. габ. Станіславу Осовському за допо-

Передмова

могу в освоєнні цього пакета і корисні поради та зауваження під час написання книжки.

Зацікавленим у цивілізованому використанні пакета MathCAD радимо звернутись на Internet-сторінку фірми MathSoft за адресою **<http://www.mathsoft.com>**, де завжди наявний безкоштовний MathCAD Explorer – програма, що підтримує основні можливості повного пакета, але без можливості збереження документа на диску.

З повагою автори

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Лозинський Андрій Орестович
Мороз Володимир Іванович
Паранчук Ярослав Степанович

**РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ
В СЕРЕДОВИЩАХ ПАКЕТІВ
MATHCAD І MATLAB**

Навчальний посібник
2-ге видання, виправлене

Керівник видавничого проекту В. М. Піча

Формат 60×84/16. Папір офсетний. Гарнітура Тип Тайм

Умовн. друк. арк. 12,36.

ПП «Магнолія 2006»

м. Львів–53, 79053 Україна.

Тел +380503701957; e-mail: magnol06@ukr.net

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції;
серія ДК № 2534 від 21.06.2006 року, видане Державним комітетом
телебачення і радіомовлення України.

Віддруковано у поліграфічному центрі ПП «Магнолія 2006»