

ЗМІСТ

Перелік скорочень, позначень, індексів	8
Латинська абетка	10
Грецька абетка	10
Передмова	11
1. Основи теорії подібності в задачах електроенергетики	13
1.1. Основні теореми подібності.....	14
1.2. Методи визначення критеріїв подібності явищ	16
2. Елементи теорії множин і теорії графів.....	19
2.1. Елементи теорії множин. Основні поняття та означення.....	21
2.2. Співвідношення між множинами. Операції над множинами.....	21
2.3. Відображення	23
2.4. Елементи теорії графів	24
2.5. Матриця суміжності	26
2.6. Матриці інциденцій, перетинів і коефіцієнтів розподілу дерева.....	27
2.6.1. Матриці інциденцій	28
2.6.2. Матриця перетинів	31
2.6.3. Матриця коефіцієнтів розподілу дерева	33
2.7. Елементи теорії нечітких множин.....	33
2.7.1. Основні поняття та визначення	34
2.7.2. Операції над нечіткими множинами.....	36
2.7.3. Поняття множин рівня і декомпозиції нечіткої множини	40
3. Формалізовані методи аналізу електричних кіл	43
3.1. Структурні елементи та фізичні величини	43
3.1.1. Параметри та координати заступної схеми електричного кола	43
3.2. Аналіз електричного кола на підставі законів Ома та Кірхгофа	46
3.3. Аналіз електричного кола на підставі вузлових і контурних рівнянь.....	49
3.4. Метод незалежних струмів	56
3.5. Метод контурних струмів	63
3.6. Метод незалежних напруг.....	69
3.7. Метод вузлових напруг	75
3.8. Метод міжвузлових напруг.....	80
3.9. Метод координат віток.....	85
3.10. Метод визначальних координат	88
3.11. Матриці входних і взаємних адмітансів, коефіцієнтів розподілу, вузлових і умовних вузлових імпедансів	97
3.12. Перетворення рівнянь із комплексної площини в дійсну	104
4. Спеціальні обчислювальні методи.....	107
4.1. Обчислення функцій. Похибки.....	107
4.2. Інтерполяція функцій	109
4.2.1. Інтерполяційна формула Лагранжа.....	110
4.2.2. Оцінка похибки інтерполяційної формули Лагранжа	111
4.2.3. Інтерполяційні формули Ньютона	115
4.2.4. Оцінка похибки інтерполяційних формул Ньютона	118
4.3. Апроксимація функції	121
4.3.1. Метод підставлення.....	122
4.3.2. Метод найменших квадратів	124

4.3.3. Кубічний сплайн	128
4.4. Наближене диференціювання функцій	131
4.5. Наближене інтегрування функцій	136
4.5.1. Квадратурні формули Ньютона–Котеса	138
4.5.2. Формули трапецій і прямокутників	139
4.5.3. Формула Сімпсона	142
4.5.4. Графічне інтегрування функції	145
4.6. Спеціальні функції	147
4.6.1. Ортогональний поліном	147
4.6.2. Гамма-, бета- і пси-функції	148
4.6.2.1. Гамма-функція	148
4.6.2.2. Бета-функція	150
4.6.2.3. Пси-функція	151
4.6.3. Функція Лежандра	152
4.6.4. Функція Бесселя	155
4.6.5. Модифікована функція Бесселя	156
4.6.6. Функція Кельвіна	159
5. Числові методи розв'язання алгебричних і трансцендентних рівнянь однієї змінної	161
5.1. Знаходження області існування коренів алгебричного рівняння	161
5.2. Метод половинного ділення	162
5.3. Метод хорд	167
5.4. Метод простої ітерації (метод нерухомої точки)	170
5.5. Метод Ньютона–Рафсона	174
6. Методи розв'язання системи скінченних лінійних рівнянь	178
6.1. Аналітичні методи розв'язання системи скінченних лінійних рівнянь	178
6.1.1. Розв'язання системи скінченних лінійних рівнянь з використанням детермінантів	178
6.1.2. Розв'язання системи скінченних лінійних рівнянь методом Гаусса	181
6.1.3. Розв'язання системи скінченних лінійних рівнянь методом послідовних виключень Гаусса LU -перетворення	188
6.2. Власні значення та власні вектори матриці	194
6.3. Норми матриці та вектора	201
6.4. Ітераційні методи розв'язання системи лінійних скінченних рівнянь	203
7. Числові методи розв'язання системи скінченних лінійних рівнянь	207
7.1. Метод простої ітерації	207
7.2. Метод ітерації Зайделя	210
7.3. Метод найшвидшого спуску (градієнтний метод)	214
8. Числові методи розв'язання системи скінченних нелінійних рівнянь	221
8.1. Метод простої ітерації	221
8.2. Метод ітерації Зайделя	224
8.3. Метод найшвидшого спуску (градієнтний метод)	227
8.4. Метод Ньютона–Рафсона	230
9. Математичні основи аналізу ustalених режимів електроенергетичних систем	237
9.1. Математична модель аналізу ustalених режимів ЕЕС у методі вузлових напруг	238
9.2. Про існування та єдиність розв'язання рівнянь стану ЕЕС	247

9.3. Математична модель аналізу усталених режимів ЕЕС у методі контурних струмів	248
9.4. Математична модель ЕЕС у фазних координатах у методі контурних струмів	256
9.5. Математична модель аналізу усталених режимів ЕЕС у методі балансу потужностей	267
10. Методи розв'язання системи диференційних рівнянь	271
10.1. Основні відомості про диференційні рівняння, які використовують в електротехніці	273
10.2. Лінійні диференційні рівняння зі сталими коефіцієнтами у матрично-векторній формі	303
10.3. Аналіз і синтез електричних кіл методом змінних стану	306
10.3.1. Розв'язання рівнянь змінних стану	310
10.4. Числові методи розв'язання звичайних диференційних рівнянь	311
10.4.1. Однокрокові явні методи	312
10.4.1.1. Метод Ейлера	313
10.4.1.2. Метод Ейлера–Коші	318
10.4.1.3. Обчислювальна схема методу Ейлера–Коші з ітераціями	322
10.4.1.4. Метод Рунге–Кутта	330
10.4.1.5. Метод Кутта–Мерсона	339
10.4.2. Однокрокові неявні методи	347
10.4.2.1. Метод Ейлера	348
10.4.2.2. Метод Ейлера–Коші	358
10.4.3. Багатокрокові явні методи	358
10.4.4. Багатокрокові неявні методи	359
10.5. Алгоритм розв'язання диференційно-алгебричних систем рівнянь неявними числовими методами	359
10.5.1. Виведення формули диференціювання назад	361
10.5.2. Прогноз початкових умов для ітераційного процесу Ньютона–Рафсона	364
10.6. Алгоритм визначення усталеного режиму електричних кіл	380
10.7. Методи розв'язання диференційних рівнянь у часткових похідних	385
10.7.1. Загальні засади про рівняння в часткових похідних	385
10.7.2. Розв'язання диференційних рівнянь у часткових похідних на підставі формули Д'Аламбера	388
10.7.3. Розв'язання диференційних рівнянь у часткових похідних методом розділення змінних	391
10.7.4. Розв'язання диференційних рівнянь у часткових похідних числовими методами	396
10.7.5. Розв'язання диференційних рівнянь у часткових похідних методом конформних відображень	399
10.7.5.1. Комплексні функції та конформні відображення	399
10.7.5.2. Визначення конформних відображень	401
11. Математичні моделі аналізу перехідних процесів електроенергетичних систем	404
11.1. Математична модель аналізу перехідних процесів ЕЕС у методі вузлових і контурних рівнянь	404
11.2. Математична модель аналізу перехідних процесів ЕЕС у методі контурних координат	408

11.3. Математична модель аналізу перехідних процесів ЕЕС у методі вузлових координат	408
11.4. Математична модель аналізу електромагнетних процесів в ЕЕС із вентиляними елементами та динамічним навантаженням	409
11.4.1. Математична модель електромагнетних апаратів	410
11.4.2. Математична модель асинхронного двигуна	413
11.4.3. Математична модель лінії електропересилання	416
11.4.4. Математична модель регулятора СТК.....	416
11.4.5. Математична модель СТК.....	417
11.4.6. Математичне моделювання несиметричних режимів	417
11.4.7. Математична модель ЕЕС із вентиляними елементами та динамічним навантаженням	421
12. Математичне моделювання хвильових процесів у електроенергетичних системах	425
12.1. Математичне моделювання хвильових процесів у довгих лініях електропересилання.....	425
12.2. Поширення хвиль у лініях електропересилання за наявності корони.....	433
12.3. Урахування скін-ефекту в проводах під час дослідження хвильових процесів у довгих лініях	438
12.4. Математичне моделювання хвильових процесів у трансформаторах.....	444
13. Структурні схеми та частотні характеристики систем	452
13.1. Структурні схеми систем.....	452
13.2. Оцінка впливу зовнішніх сил, що діють на елементи системи, та одержання еквівалентної вхідної величини	460
13.3. Частотні характеристики систем	464
14. Ідентифікація систем	469
14.1. Поняття про задачі ідентифікації.....	469
14.2. Класифікація методів ідентифікації	470
14.3. Ідентифікація лінійного стаціонарного об'єкта за частотними характеристиками	473
14.4. Еквівалентування складної системи з використанням частотної характеристики.....	475
15. Елементи теорії стійкості електроенергетичних систем	480
15.1. Поняття статичної та динамічної стійкості ЕЕС	480
15.2. Визначення стійкості руху	483
15.3. Про основні підходи, які використовують для оцінки динамічної стійкості ЕЕС.....	486
15.3.1. Про деякі особливості моделювання електромеханічних перехідних процесів у ЕЕС для оцінки її динамічної стійкості.....	486
15.3.2. Прямий метод Ляпунова та його використання для оцінки динамічної стійкості ЕЕС.....	488
15.3.2.1. Теореми про стійкість руху	488
15.3.2.2. Теореми про нестійкість руху	489
15.3.2.3. Про деякі особливості використання прямого методу Ляпунова для оцінки динамічної стійкості ЕЕС.....	490
15.4. Про основні підходи, які використовують для оцінки статичної стійкості ЕЕС... ..	494
15.5. Визначення стійкості за рівняннями першого наближення	497
15.5.1. Теорема Ляпунова про стійкість руху за рівняннями першого наближення	500

15.5.2. Теорема Ляпунова про нестійкість руху за рівняннями першого наближення	501
15.5.3. Про особливі випадки	502
15.6. Необхідні умови стійкості та аперіодична стійкість ЕЕС	505
15.7. Поняття запасу стійкості ЕЕС	508
15.8. Поняття ступеня стійкості ЕЕС	511
15.9. Деякі критерії стійкості	512
15.9.1. Критерій Гурвіца	512
15.9.2. Алгоритм Рауса	515
15.9.3. Критерій Михайлова	518
15.9.4. Критерій Найквіста	524
15.9.5. Використання інверсної амплітудно-фазової частотної характеристики	530
15.10. Інформативність критеріїв стійкості за необхідними умовами та обчислення коефіцієнтів характеристичного рівняння ЕЕС	531
15.10.1. Інформативність критеріїв стійкості ЕЕС за необхідними умовами	531
15.10.2. Алгоритм обчислення коефіцієнтів характеристичного рівняння складної регульованої ЕЕС	534
15.11. Про чутливість коренів характеристичного рівняння до зміни його коефіцієнтів	549
15.12. Деякі питання розрахунку критерію статичної стійкості складних ЕЕС	551
15.12.1. Особливості розв'язання задачі розрахунку критерію статичної стійкості складних ЕЕС	551
15.12.2. Подання математичної моделі для розрахунку критерію статичної стійкості ЕЕС	552
15.12.3. Трансформація характеристичного рівняння ЕЕС у формі визначника поліноміальної матриці	558
15.12.3.1. Загальні положення	558
15.12.3.2. Трансформація характеристичного рівняння ЕЕС у разі використання спрощених моделей АРЗ СМ	559
15.12.3.3. Трансформація характеристичного рівняння ЕЕС у разі використання детальнішого подання АРЗ СМ	562
15.12.4. Деякі застереження стосовно достовірності обчислення власних чисел матриць	564
15.13. Область стійкості системи та метод D-розбиття	566
15.13.1. Основні поняття	566
15.13.2. Метод D-розбиття за одним параметром	570
15.13.3. Метод D-розбиття у просторі двох параметрів	574
15.13.4. Метод D-розбиття у просторі трьох і більшої кількості параметрів	574
15.13.5. Використання методу D-розбиття для розв'язання задачі забезпечення максимального ступеня стійкості ЕЕС	576
Список літератури	587
Додатки	593
Предметний покажчик	604