

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з вивчення дисципліни

“Системи автоматизованого проектування в енергозбереженні ”

та контрольні завдання для студентів спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

освітньо-професійної програми

«Енергетичний менеджмент»

заочної форми навчання

2021

Методичні вказівки з вивчення дисципліни “Системи автоматизованого проектування в енергозбереженні” та контрольні завдання для студентів спеціальності 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” освітньо-професійної програми «Енергетичний менеджмент» заочної форми навчання / Укл.: О. А. Шрам. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 14 с.

Укладач: О. А. Шрам, доцент, канд. техн. наук

Рецензент: О. М. Климко, доцент, канд. техн. наук

Відповідальний
за випуск О. А. Шрам, доцент, канд. техн. наук

Затверджено
на засіданні кафедри
електропостачання промислових
підприємств
протокол № 7 від 27.04.2021 р.

Рекомендовано до видання
на засіданні НМК
електротехнічного факультету
протокол № 8 від 20.05.2021 р.

ЗМІСТ

	Стор.
1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ	4
2 РОБОЧА ПРОГРАМА І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИВЧЕННЯ ТЕМ ДИСЦИПЛІНИ	5
2.1 Системи автоматизованого проектування (САПР)	5
2.1 Забезпечення систем автоматизованого проектування	6
2.3 Використання систем автоматизованого проектування для вирішення задач енергозбереження	6
2.4 Програмне забезпечення для аналізу методом скінченних елементів	7
3 КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ	8
3.1 Завдання на контрольну роботу	8
3.2 Методичні вказівки до виконання контрольної роботи	11
4 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	13
4.1 Основна література	13
4.2 Допоміжна література	14

1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Широке використання систем автоматизованого проектування в електроенергетиці та енергозбереженні дозволяє швидко та якісно вирішувати різноманітні задачі, пов'язані з керуванням, контролем та оптимізацією існуючих систем, а також з розробкою та проектуванням нових.

Основна мета дисципліни – формування у студентів базових теоретичних знань та практичних навичок використання систем автоматизованого проектування, застосування математичних методів в розрахунках задач енергозбереження.

В результаті вивчення дисципліни студенти повинні знати: призначення, класифікації, загальні принципи будови САПР; математичні моделі основних силових елементів енергосистеми, методи та алгоритми розрахунку втрат потужності та енергії; технології використання стандартних програм для комп'ютерного моделювання технічних задач; технічні та програмні засоби комп'ютера (комп'ютерного моделювання задач енергозбереження); робити інженерно-технічні розрахунки як з використанням програмування, так і за допомогою існуючого загально-математичного та загально-технічного програмного забезпечення при вирішенні задач енергозбереження.

Під час установчої сесії студенти прослуховують лекції, виконують та захищають лабораторні роботи, отримують варіанти завдань для виконання контрольних робіт.

При самостійному вивченні дисципліни студентам заочної форми навчання рекомендується:

- ознайомитись із програмою та методичними вказівками;
- вивчити курс за підручниками та посібниками в об'ємі програми;
- скласти короткий конспект з основними положеннями тем, математичними формулами, схемами, тощо;
- виконати та заздалегідь вислати або привезти в університет контрольні роботи.

Теми лекцій, які виносяться на установчу сесію:

1. Задачі та види САПР.
2. Класифікація САПР. Характеристики CAE/CAD/CAM-систем.

3. Система автоматизації науково-дослідних робіт Scilab.
4. Система імітаційного моделювання Scilab/Xcos.
5. Програмне забезпечення для аналізу методом скінченних елементів Comsol Multiphysics.

2 РОБОЧА ПРОГРАМА І МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИВЧЕННЯ ТЕМ ДИСЦИПЛІНИ

2.1 Системи автоматизованого проектування (САПР)

Предмет, завдання та значення дисципліни «Системи автоматизованого проектування в енергозбереженні». Основні визначення та поняття. Етапи автоматизованого проектування. Галузь використання систем автоматизованого проектування в енергозбереженні. Задачі та види САПР. Класифікація САПР. Характеристики CAE/CAD/CAM-систем. Системи геометричного моделювання та їх можливості. Основні способи підготовки та редагування моделей.

Самостійна робота – 30 годин.

Література: [1] с. 10 – 170.

[2, 3] с. 40 – 550.

Контрольні запитання

1. Процеси проектування та об'єкти проектування.
2. Основні визначення та поняття САПР.
3. Класифікація САПР.
4. Задачі та види САПР.
5. Переваги автоматизованого проектування.
6. Системи геометричного моделювання.
7. Характеристики CAE/CAD/CAM-систем.

2.2 Забезпечення систем автоматизованого проектування

Математичне забезпечення САПР. Загальні вимоги до математичних моделей, що використовуються у САПР. Метод скінченних елементів. Автоматизована побудова сітки. Оптимізаційні методи в енергозбереженні: лінійне програмування, дослідження операцій. Технічне та інформаційне забезпечення САПР. Вимоги до технічного та інформаційного забезпечення САПР. Склад технічних засобів систем автоматизованого проектування. Принципи побудови інформаційного забезпечення САПР. Системи керування базами даних (СКБД).

Самостійна робота – 30 годин.

Література: [1] с. 70 – 140.

[2, 3] с. 20 – 320.

Контрольні запитання

1. Математичне забезпечення САПР.
2. Основні вимоги до математичної моделі. Адекватність, точність, універсальність.
3. Оптимізаційні методи в енергетиці.
4. Лінійне програмування та дослідження операцій.
5. Технічне забезпечення САПР.
6. Інформаційне забезпечення САПР.
7. Яким чином здійснюється керування базами даних?

2.3 Використання систем автоматизованого проектування для вирішення задач енергозбереження

Система автоматизації науково-дослідних робіт Scilab. Розв'язок систем диференціальних рівнянь. Дослідження функцій на екстремум. Побудова двовимірних та тривимірних графіків. Основи програмування у Scilab. Система імітаційного моделювання Scilab/Xcos. Принципи імітаційного моделювання електротехнічних

пристроїв. Методи підготовки та редагування моделі. Вибір основних параметрів моделювання. Засоби візуалізації вихідних сигналів. Функціональні можливості графічної САПР AutoCAD. Спеціалізовані програми на основі AutoCAD. AutoCAD Electrical. Побудова 3D-моделей в AutoCAD. Функціональні можливості графічної САПР SolidWorks. Гібридне параметричне моделювання за допомогою SolidWorks. Електротехнічне проектування SolidWorks Electrical.

Самостійна робота – 30 годин.

Література: [4] с. 10 – 92.

[4, 7] с. 20 – 250.

Контрольні запитання

1. Особливості пакету науково-дослідних досліджень Scilab.
2. Побудова двовимірних та тривимірних графіків.
3. Як розв'язати диференційне рівняння у Scilab?
4. Як дослідити функцію на екстремум?
5. Система імітаційного моделювання Scilab/Xcos.
6. Яким чином вибираються основні параметри моделювання?
7. Функціональні можливості графічної САПР AutoCAD.
8. Функціональні можливості графічної САПР SolidWorks.

2.4 Програмне забезпечення для аналізу методом скінченних елементів

Принципи побудови мультифізичних моделей в Comsol Multiphysics. Використання AC/DC модуля для моделювання електротехніки, магнетизму та електромагнітних полів. Розв'язок нелінійних диференційних рівнянь за допомогою Comsol Multiphysics. Розв'язок 2D та 2D Axisymmetric задач в Comsol Multiphysics.

Самостійна робота – 30 годин.

Література: [5] с. 30 – 280.

[6] с. 10 – 110.

Контрольні запитання

1. Яким чином будуються мультифізичні моделі в Comsol Multiphysics?
2. Основні поняття методу скінченних елементів.
3. Види скінченних елементів.
4. Особливості використання AC/DC модуля Comsol Multiphysics.
5. Яким чином розв'язуються 2D та 2D Axisymmetric задач в Comsol Multiphysics?
6. Розв'язок нелінійних диференціальних рівнянь за допомогою Comsol Multiphysics.

3 КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ

3.1 Завдання на контрольну роботу

Під час вивчення дисципліни “Системи автоматизованого проектування в енергозбереженні” студенти заочної форми навчання повинні виконати контрольну роботу.

Для виконання контрольної роботи необхідно засвоїти теми 2.1 – 2.3.

Побудувати імітаційну модель заданої схеми електричної мережі (рис.3.1). За допомогою моделі отримати осцилограми струмів та напруг у нормальному режимі та при короткому замиканні. Параметри елементів електричної мережі наведено у таблиці 3.1.

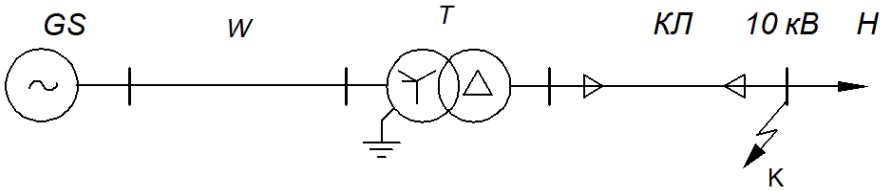


Рисунок 3.1 – Принципова схема електричної мережі

Таблиця 3.1 – Вихідні дані

Варіант	Номінальна напруга системи U_{GS} , кВ	Опір системи, X_{GS} , Ом	Тип проводу та довжина повітряної лінії, км	Тип трансформатору	Тип та довжина кабельної лінії, м	Навантаження S , МВА
1	2	3	4	5	6	7
1	115	1,5	АС-70, 15 км	ТДН-16000/110	ААШВ 3х120, 100м	8+j10
2	121	1,7	АС-95, 10 км	ТДН-10000/110	ААШВ 3х120, 150м	3+j7
3	110	1,6	АС-120, 12 км	ТДН-6300/110	ААШВ 3х120, 120м	1+j4
4	115	1,2	АС-70, 13 км	ТДН-16000/110	ААШВ 3х120, 200м	7+j9
5	121	1,0	АС-70, 14 км	ТДН-10000/110	ААШВ 3х120, 100м	2+j7

Продовження таблиці 3.1.

1	2	3	4	5	6	7
6	110	1,3	АС-95, 15 км	ТДН- 6300/110	ААШВ 3х120, 110м	1+j3
7	37	1,6	АС-70, 10 км	ТМН 6300/35	ААШВ 3х120, 150м	1+j4
8	115	1,7	АС-120, 15 км	ТДН- 10000/110	ААШВ 3х120, 120м	3+j6
9	121	1,8	АС-95, 12 км	ТДН- 6300/110	ААШВ 3х120, 200м	2+j3
10	110	1,5	АС-70, 14 км	ТДН- 16000/110	ААШВ 3х120, 120м	8+j10
11	37	1,6	АС-120, 12 км	ТМН 6300/35	ААШВ 3х120, 100м	1+j4
12	115	1,4	АС-70, 10 км	ТДН- 6300/110	ААШВ 3х120, 150м	1+j3
13	121	1,7	АС-95, 15 км	ТДН- 16000/110	ААШВ 3х120, 130м	6+j9
14	110	1,0	АС-95, 12 км	ТДН- 10000/110	ААШВ 3х120, 110м	3+j7
15	37	1,4	АС-70, 11 км	ТМН 6300/35	ААШВ 3х120, 100м	1+j4

3.2 Методичні вказівки до виконання контрольної роботи

Для заданої схеми електричної мережі розробити модель в середовищі імітаційного моделювання (Scilab/Xcos, Matlab/Simulink та ін.). Розрахувати параметри окремих елементів імітаційної моделі та отримати осцилограми струмів та напруг нормального режиму та режиму трифазного замикання на шинах навантаження. Приклад імітаційної моделі для середовища Matlab / Simulink наведено на рис. 3.2, 3.3.

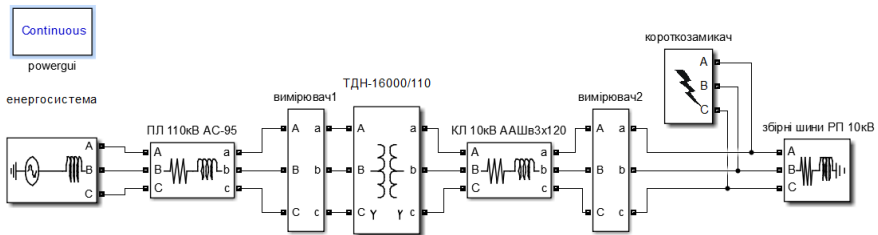


Рисунок 3.2 – Імітаційна модель для середовища Matlab / Simulink

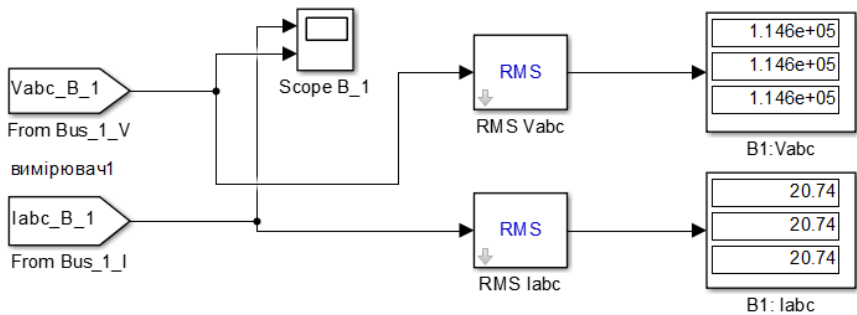


Рисунок 3.3 – Вимірювальні кола для імітаційної моделі

Для створення імітаційної моделі використовуються наступні блоки:

- (Electrical Sources)→ **Three-Phase Source** – трифазне джерело напруги, що моделює джерело живлення G_S ;

- (*Measurements*)→ **Three-Phase V-I Measurement** – трифазний вимірювач струмів та напруг;

- (*Elements*)→ **Three-Phase Fault** – короткозамикач, призначений для створення замикань між фазами або замикань на землю різного виду, **Three-Phase Series RLC Load** – трифазне послідовне RLC навантаження, **Three-Phase Series RLC Branch** - трифазне послідовне RLC коло, що моделює трифазну кабельну лінію, **Three-Phase Transformer (Two Windings)** – трифазний двообмотковий трансформатор.

У блоці **Three-Phase Source** задаємо параметри енергосистеми. Лінійна напруга (В) Phase-to-phase rms Voltage (V); початкова фаза напруги у фазі А (у градусах) Phase angle of phase A (degrees) = 0°; частота (Гц) Frequency(Hz) = 50 Гц; схема з'єднання обмоток джерела Internal connection Y_g – зірка з заземленою нейтраллю; опір джерела (Ом) Source resistance = 0 Ом; індуктивність джерела (Гн) Source inductance (H) = $5,28 \times 10^{-3}$ Гн.

Для блоку **Three-Phase Series RLC Branch** вносимо попередньо розраховані параметри для кабельної лінії.

В блоці вимірювача трифазних струмів та напруг **Three-Phase V-I Measurement**, для вимірювань параметрів електричної мережі з високої сторони трансформатора використовується вимірювач лінійної напруги (Voltage measurement phase-to-phase);

Three-Phase Transformer (Two Windings). Встановлюється група з'єднання обмоток трансформатора Y/Δ та задаються розраховані параметри трансформатора: номінальна потужність та частота (*Nominal power and frequency*), параметри первинної обмотки (*Winding 1 parameters*), параметри вторинної обмотки (*Winding 2 parameters*), опір намагнічування (*Magnetization resistance*), індуктивність намагнічування (*Magnetization inductance*) Lm.

Блок короткозамикача **Three-Phase Fault** призначений для моделювання трифазного короткого замикання. Час замикання та розмикання короткозамикача задається періодами (*Switching times*), наприклад [1/50 3/50] с.

Блок **Three-Phase Series RLC Load** моделює навантаження і задається наступними параметрами: номінальна лінійна напруга (*Nominal phase-to-phase voltage*) = 400 В; номінальна частота (*Nominal frequency*) = 50 Гц; активна потужність (*Active power*), індуктивна реактивна потужність (*Inductive reactive power*).

Коло для вимірювань електричних параметрів моделі складається з наступних блоків;

- (*Commonly Used Blocks*)→ **Scope** – осцилограф;

- (*Signal Routing*)→ **Mux** – блок об'єднання векторів, **From** – блок прийому сигналу;

- (*Sinks*)→ **Display** – цифровий екран;
- (*Math Operations*)→ **Real-Imag to Complex** – блок розрахунку дійсної та уявної частини комплексного числа, **Abs** – блок розрахунку модуля комплексного числа
- (*Measurements*)→ **Power (3ph, Instantaneous)** – блок розрахунку миттєвих значень активної та реактивної потужності трифазної симетричної системи, **RMS** – середньоквадратичне значення сигналу (струму або напруги).

Блоки **From** організовують безпроводний зв'язок з відповідним блоком вимірювача трифазних напруг та струмів **Bus_1**. Для візуалізації даних цих блоків використаємо блок **Scope B_1**, на який виводяться криві струму та напруги з шин вимірювача **Bus_1**.

Кожний перехідний режим, як правило змінюється сталим режимом, перехід до якого можна відслідкувати по осцилограмах. В цьому режимі інтерес представляють діючі значення синусоїдальних струмів та напруг, а також відповідні потужності на шинах трансформатора. Для отримання діючих значень струмів та напруг використаємо блок **RMS**, у вікно параметрів якого вводиться частота 50 Гц.

При виконання завдання слід дотримуватися найбільш доцільного порядку розв'язку, приводити необхідні пояснення. Формули потрібно записувати у загальному вигляді з подальшою підстановкою числових значень, вказувати розмірності отриманих величин. Схеми повинні виконуватися у відповідності зі стандартами.

Контрольна робота виконується в окремому зошиті, де потрібно вказати вихідні дані. Параметри елементів наносяться на розрахункову схему електричної мережі. У роботі приводиться список використаної літератури.

4 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

4.1 Основна література

1. Малюх В. Н. Введение в современные САПР: курс лекций / В. Н. Малюх. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 192 с.
2. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / К. Ли. – СПб: Питер, 2004. – 560 с.
3. Норенков И. П. Основы теории и проектирования САПР / И. П. Норенков. – М.: Высш. шк., 1990.

4. Ванін В. В., Перевертун В. В., Надкернична Т. О. Комп'ютерна інженерна графіка в середовищі AutoCAD / В. В. Ванін, В. В. Перевертун, Т. О. Надкернична. – К.: Каравела, 2006

5. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB.SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 288 с.

4.2 Допоміжна література

6. Огородников А. С. Моделирование в среде MATLAB – COMSOL 3.5a: учебное пособие. Ч. 1. / А. С. Огородников, Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 117 с.

7. Алямовский А. А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006-2007. Инженерный анализ методом конечных элементов / А. А. Алямовский. – М.: ДМК, 2007. – 784 с.