

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О.М. Бекетова

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
з курсу

«ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ»

(для студентів 3, 4 курсів денної і 4 курсу заочної форм навчання
за напрямом підготовки 6.050701 "Електротехніка та електротехнології",
а також для слухачів другої вищої освіти
за спеціальністю "Електротехнічні системи електроспоживання")

Харків
ХНУМГ
2013

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт курсу «Перехідні процеси в електроенергетиці» (для студентів 3, 4 курсів денної і 4 курсу заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 "Електротехніка та електротехнології", а також для слухачів другої вищої освіти за спеціальністю "Електротехнічні системи електроспоживання") / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова ; уклад. : М. Ф. Піскурьов, С. В. Швець – Х. : ХНУМГ, 2013. - 47 с.

Укладачі: ст. викл. М. Ф. Піскурьов,
доц., к.т.н., доц. С. В. Швець

Рецензент: к.т.н., доц. А. В. Хітров

Рекомендовано кафедрою "Електропостачання міст",
протокол засідання № 3 від 24 листопада 2011 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	4
1. Загальні положення.....	4
2. Загальні відомості про Electronics Workbench пакет Multisim.....	5
3. Загальні відомості про пакет Simulink.....	12
Лабораторна робота 1.....	17
Лабораторна робота 2.....	24
Лабораторна робота 3.....	28
Лабораторна робота 4.....	31
Лабораторна робота 5.....	37
Лабораторна робота 6.....	415
Список джерел.....	46

ВСТУП

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни "Перехідні процеси в електроенергетиці" призначені для студентів 3, 4 курсу денної форми та 4 курсу заочної форми навчання, а також для слухачів другої вищої освіти за напрямом підготовки 6.050701 "Електротехніка та електротехнології", спеціальність 6.05070103 "Електротехнічні системи електроспоживання".

Комплекс лабораторних робіт приведених у даних методичних вказівках присвячений дослідженню перехідних процесів при різних видах коротких замикань. Мета комплексу лабораторних робіт – поглиблення і закріплення знань за курсом "Перехідні процеси в електроенергетиці" і освоєння методики дослідження перехідних процесів шляхом їхнього моделювання на комп'ютері.

Сучасні комп'ютерні технології, в основі яких лежать прикладні пакети, дають можливість більш глибокого вивчення питань, пов'язаних із процесами в електричних системах. Вони дозволяють якісно змінити та істотно поліпшити технологію вивчення, перевести її у віртуальну реальність, здійснити в цій віртуальній реальності необхідні дослідження з отриманням кількісних результатів.

В якості лабораторії виступає віртуальна комп'ютерна лабораторія, тобто лабораторні роботи представлені не фізичними установками, а комп'ютерними моделями. Інструментом дослідження перехідних процесів в електричних системах є засоби Matlab (основним пакетом розширення, що використовують при дослідженні, є Simulink) та Electronics Workbench пакет Multisim 8. Усі моделі представлені в методичних вказівках можуть бути реалізовані у версії пакета Matlab 6.0 і вище, Simulink не нижче версії 3, Electronics Workbench пакет Multisim 8 (Service Pack 1) і вище.

Докладний список літератури, наведений у методичних вказівках, дозволить студентам поглиблювати і розширювати здобуті знання, плідно використовувати час, призначений для самостійної роботи.

Методичні вказівки ухвалено:

Кафедрою електропостачання міст. (протокол № 3 від 24 листопада 2011 р.).

Вченою радою факультету електропостачання та освітлення міст. (протокол № 6 від 17 лютого 2011 р.).

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Системою електропостачання (СЕР) називається сукупність пристроїв для виробництва, передачі та розподілу електроенергії. Системи електропостачання в промислових підприємствах створюються для забезпечення живлення промислових приймачів, до яких відносяться електродвигуни різних машин і механізмів, електричні печі, освітлювальні установки та інше.

Завдання електропостачання промислових підприємств виникло одночасно із широким впровадженням електропривода як рушійної сили різних машин і механізмів.

Більшість споживачів одержують електроенергію від енергосистем. У той же

час на ряді підприємств триває спорудження власних електростанцій.

У процесі розвитку електроспоживання ускладнюється самі системи електропостачання промислових підприємств. У них включаються мережі високих напруг, розподільчі мережі, а в ряді випадків і мережі промислових електростанцій. Виникає необхідність впроваджувати автоматизацію систем електропостачання промислових підприємств і виробничих процесів, здійснювати у широких масштабах процес виробництва із застосуванням телесигналізації та телекерування, вести активну роботу з економії електроенергії.

Кожне виробництво існує тому, що його машини забезпечують роботу технологічних механізмів, що роблять промислову продукцію. Для їхньої нормальної роботи застосовують електроенергію як саму гнучку і зручну форму енергії, що забезпечує роботу виробничих механізмів. При цьому електроенергія повинна мати відповідні якості: стабільність частоти та напруги, синусоїдальність напруги і струму та симетрію напруги. Від якості електроенергії залежить якість продукції і її кількість. Зміна технологічних процесів як планова так і аварійна викликає в СЕП перехідні процеси. Найнебезпечнішими і розповсюдженими перехідними процесами є короткі замикання.

Коротким замиканням (к.з.) відповідно називають навмисне або випадкове, ненавмисне при нормальних умовах роботи з'єднання двох точок електричного ланцюга, при якому струми в гілках, що примикають до місця замикань, різко зростають, перевищуючи найбільший припустимий струм тривалого режиму. Виникаюче при ушкодженні ізоляції к.з. між різнойменними фазами (проводами) ліній, розподільчих пристроїв, джерел і перетворювачів електроенергії є одним з основних видів аварій систем електропостачання.

К.з. у трифазних системах і пристроях розділяють на: трьох-, двох-, і одно-фазні; перші з них ще називаються симетричними.

Розрахунок струмів к.з. як при проектуванні систем і елементів електропостачання, так і при аналізі робіт існуючих систем мають наступні цілі:

- визначення максимальних виникаючих струмів к.з. для перевірки провідників та апаратів на термічну і динамічну стійкість під час к.з., а також для вибору заходів для обмеження струмів к.з. або часу їхньої дії;
- визначення мінімально можливих струмів к.з. для перевірки чутливості захисту, правильного вибору систем і параметрів спрацьовування захисту і визначення максимально можливого часу спрацьовування захисту.

При великій довжині та різноманітності використовуваних провідників і електричних апаратів, мережі низької напруги відіграють важливу роль у СЕП. Вони є останньою ланкою сполучних споживачів із джерелом електроенергії. Тому розрахунок струмів к.з. у цих мережах завдання не менш важливе.

2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ELECTRONICS WORKBENCH ПАКЕТ MULTISIM

У процесі розробки сучасних електротехнічних і електронних пристроїв поряд з теоретичними та експериментальними дослідженнями широко застосовується схемотехнічне моделювання. І якщо раніше воно було доступно тільки

добре оснащеним проектним організаціям, то у теперішній час широко використовується студентами.

Зовсім природньо, що схемотехнічне моделювання з використанням віртуальних лабораторій на комп'ютері становить істотну частину навчального процесу в технічних університетах. Пакет програм Multisim займає гідне місце серед ряду сучасних програмних пакетів, таких як PSPICE, MATLAB, Electronics Workbench і інших. Цей інструмент дозволяє, з одного боку, зробити дуже наочним вивчення теоретичних дисциплін, а з іншого боку, підготувати студента до роботи в реальній лабораторії, навчаючи його методиці планування і проведення експериментів.

Апарат дослідження електронних схем, застосовуваний у програмі Multisim 8, включає всі сучасні методи, тому він досить потужний.

ПОЧАТКОВІ ПОЛОЖЕННЯ

Найбільш простою і легко освоюваною програмою, що містить блок логічного моделювання цифрових пристроїв, є програма Electronics Workbench (EWB) канадської компанії Interactive Image Technologies. Особливість програми – наявність у ній контрольно-вимірювальних приладів, по зовнішньому вигляді, органам керування і характеристикам максимально наближених до їхніх промислових аналогів. Досвід використання програми в лабораторному практикумі по ряду предметів показує, що для проведення лабораторних робіт досить двох годин попереднього ознайомлення із програмою. Нижче наведено короткий опис програми.

Вікно програми Multisim (рис. 1) містить шкалу меню (другий рядок вікна): *File, Edit, View, Place, Simulate, Transfer, Tools, Options, Help*. Далі описані деякі з них.

Меню *Simulate* містить команди:

Run – запуск моделювання;

Pause – тимчасова зупинка моделювання;

Default Instrument Setting – установка за замовчуванням режиму роботи контрольно-вимірювальних приладів;

Default Simulation Setting – вибір ідеального (при використанні компонентів типу *Virtual*) або реального режимів роботи моделювання;

Instruments – список контрольно-вимірювальних приладів (лінійка цих приладів розташована ліворуч у вікні);

Analyses – список команд моделювання.

Меню *Options* – (настроювання програми), містить команди:

Preferences – користувальницькі настроювання (призначення команд описані нижче);

Modify Title Block – внесення даних у розділи штампа;

Global Restrictions – установка загального пароля;

Circuit Restrictions – установка атрибутів тільки *Read-only*.

Третій рядок вікна містить:

1) вісім мнемонічних кнопок загальносистемного характеру (*System*);

2) дві кнопки, за допомогою яких можна збільшити або зменшити масштаб зображення (*Zoom*);

- 3) дев'ять спеціальних кнопок, що дублюють найбільше часто використовувані команди (*Design*);
- 4) список, що випадає, використаних у поточній схемі компонентів (*In Use List*);
- 5) кнопку, що тимчасово припиняє процес моделювання;
- 6) перемикач, що запускає і зупиняє процес моделювання.

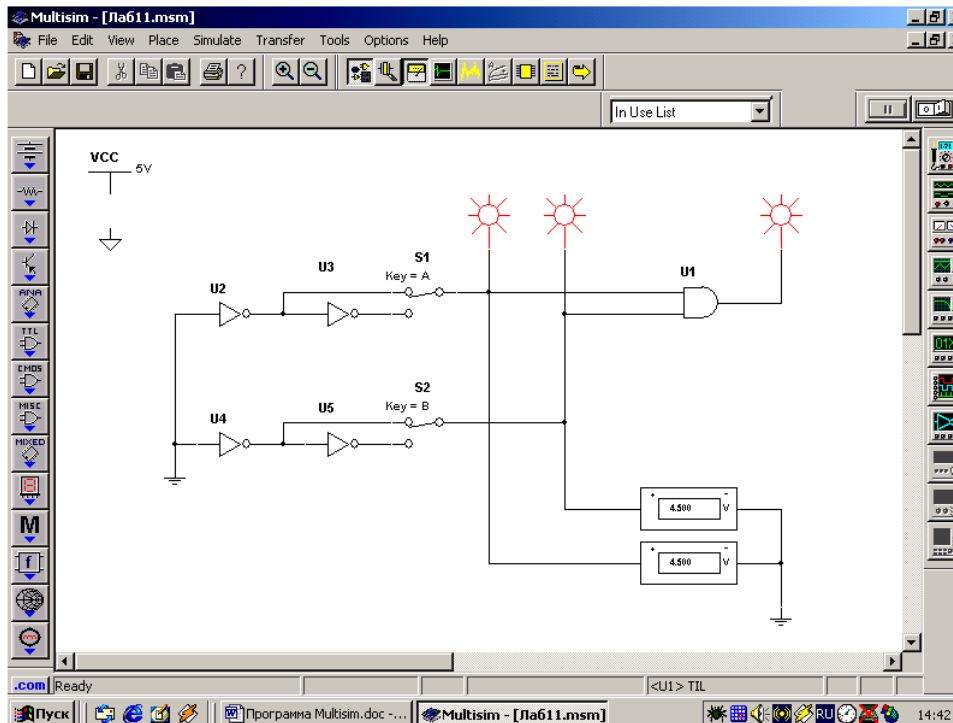


Рис. 1. Вікно схемного редактора програми Multisim

Ліворуч у вікні розташована вертикальна панель бібліотек компонентів (бази даних *Component Bars*), праворуч – вертикальна панель контрольно-вимірювальних приладів (*Instruments*).

Кнопки можна зробити видимими або невидимими, якщо викликати команду *View>Toolbars* і в спливаючому меню встановити (чи ні) відповідні прапорці: *System*, *Zoom*, *Design*, *In Use List*. Тут і далі в даному тексті на першому місці вказується меню з рядка меню вікна редактори схем, на другому місці - команда з меню, що випадає, що з'являється при виборі кнопки конкретного меню.

Панель бібліотек компонентів можна зробити видимою або невидимою, якщо викликати команду *View>Component Bars* і в спливаючому меню встановити (чи ні) прапорець *Multisim Database*.

Панель контрольно-вимірювальних приладів можна зробити видимою або невидимою, якщо викликати команду *View>Toolbars* і в спливаючому меню встановити (чи ні) прапорець *Instruments*.

Панель бібліотек компонентів (бази даних *Component Bars*) містить:

- джерела (*Sources*);
- пасивні компоненти й комутаційні пристрої (*Basic*);
- діоди (*Diodes*);
- транзистори (*Transistors*);
- аналогові мікросхеми (*Analog*);

- цифрові мікросхеми ТТЛ серії (*TTL*);
- цифрові мікросхеми КМОП серії (*CMOS*);
- одиночні цифрові схеми, арифметико-логічні пристрої, регістри, лічильники, мультиплексори, дешифратори, оперативно-запам'ятовуючі і т.п. (*Misc Digital*);
- мікросхеми змішаного типу (*Mixed*) пристрої;
- індикаторні пристрої (*Indicators*);
- компоненти змішаного типу (*Misc (ellaneous)*);
- аналогові обчислювальні пристрої (*Controls*);
- радіочастотні компоненти (*RF*);
- електромеханічні елементи (*Electro_Mechanical*).

Панель контрольно-вимірювальних приладів (*Instruments*) містить:

- цифровий мультиметр (*Multimeter*);
- функціональний генератор (*Function Generator*);
- вимірювач активної потужності і коефіцієнта потужності (*Wattmeter*);
- осцилограф (*Oscilloscope*);
- вимірювач АЧХ і ФЧХ (*Bode Plotter*);
- генератор слова (*Word Generator*);
- логічний аналізатор (*Logic Analyzer*);
- логічний перетворювач (*Logic Converter*);
- вимірювач нелінійних переключувань у діапазоні частот від 20 до 200000 Гц (*Distortion Analyzer*);
- спектральний аналізатор (*Spectrum Analyzer*);
- прилад для аналізу електричних кіл в узагальненому виді – у вигляді чотириполюсників, що мають два входи і два виходи (чотири полюси) (*Network Analyzer*).

Останні три прилади недоступні.

РЕДАКТОР СХЕМ

Вікно редактора схем призначено для створення і редагування принципів схем досліджуваної системи. За замовчуванням колір фона вікна чорний. Змінити установки за замовчуванням можна, вибравши команду *Options>Preferences*. Після вибору даної команди відкривається діалогове вікно *Preferences* (рис. 2). Воно містить шість вкладок, на яких можна встановити необхідні опції. При виводі цього вікна активною є вкладка *Circuit*, на якій є дві панелі *Show* і *Color*.

Панель *Show* містить вікно перегляду, у якому можна побачити встановлені опції, і шість прапорців, за допомогою яких встановлюються необхідні опції.

За допомогою прапорця *Show component labels* вибирають видимість або невидимість позиційного позначення компонента на схемі. Для того щоб установити видимість позиційного позначення компонента на схемі, потрібно клацнути лівою клав'яшею миші по білому квадрату, розташованому ліворуч від імені прапорця. Якщо прапорець обраний, то в білому квадраті з'являється галочка.

Наступними прапорцями встановлюють видимість на схемі:

- Show component reference IDs* – порядкового номера компонента;
- Show node names* – ім'я вузла;

Show component values – номіналу компонента;

Show component attribute – таблиці властивостей компонента.

Прапорець *Adjust component identifiers* дозволяє при структуванні схеми змінювати ідентифікаційні номери однотипних компонентів, привласнених програмою автоматично в порядку їхнього установлення.

Панель *Color* містить список, що випадає, з іменами команд, що встановлюють колір фону, написів і компонентів, вікно перегляду, у якому можна переглянути обраний режим установки кольору, і п'ять кнопок, пофарбованих у різні кольори, за допомогою яких можна встановити колір для фону (*Background*), провідника (*Wire*), компонента, що має математичну модель (*Component with model*), компонента, що не має математичну модель (*Component without model*), і віртуального компонента (*Virtual component*).

На вкладці *Workspace* (рис. 3) визначаються настроювання поточного вікна.

На панелі *Show* у вікні, розташованому ліворуч, відображаються результати установки опцій за допомогою прапорців, що знаходяться праворуч. Самий верхній прапорець – показувати (чи ні) сітку (*Show grid*), другий зверху прапорець – показувати чи ні межі сторінки (*Show page bounds*), третій прапорець – показувати чи ні штамп сторінки (*Show title block*).

На панелі *Sheet size* (розмір сторінки схеми) у списку, що випадає, вибирають формат сторінки (A3, A4). На панелі *Orientation* встановлюють орієнтацію сторінки: портрет або альбомна (*Landscape*); на панелі *Custom size* – ширину й висоту сторінки в дюймах або сантиметрах; на панелі *Zoom level* – масштаб зображення.

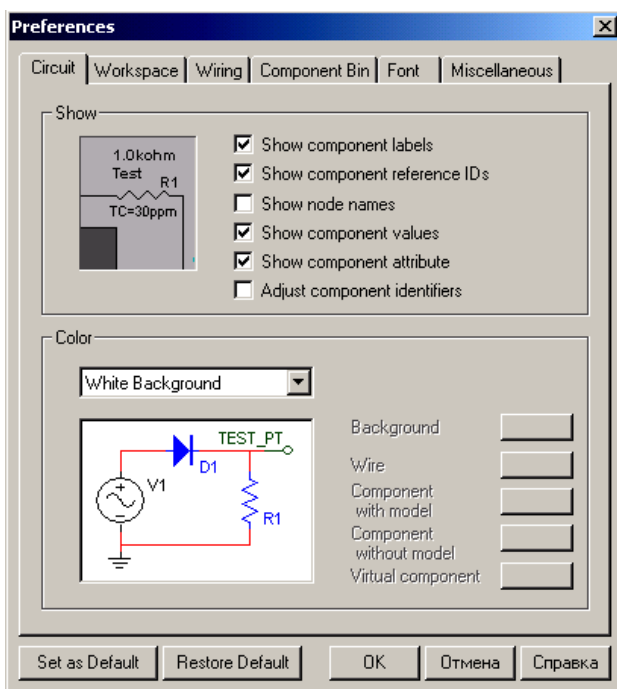


Рис. 2. Діалогове вікно *Preferences* із вкладкою *Circuit*

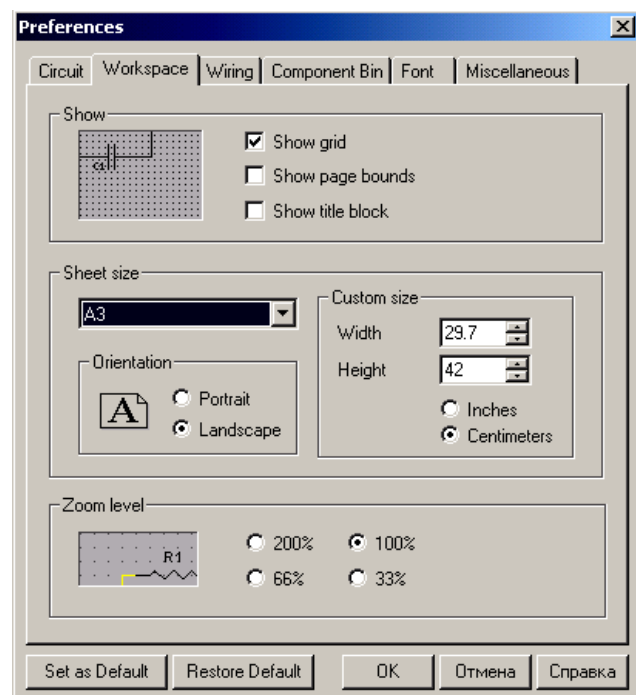


Рис. 3. Діалогове вікно *Preferences* із вкладкою *Workspace*

На вкладці *Wiring* (рис. 4) встановлюють ширину провідників і ступінь автоматизації розведення провідників; на панелі *Wire width (drawing option)* – ширину лінії. Результат відображається у вікні.

На панелі *Autowire* встановлюється (чи ні) автоматичне з'єднання провідників (прапорець *Autowise on connection*) і автоматичний рух (прапорець *Autowise on move*) провідників.

На вкладці *Component Bin* (рис. 5) на панелі *Symbol standard* встановлюється стандарт зображення компонентів *ANSI* (США) або *DIN* (Європа).

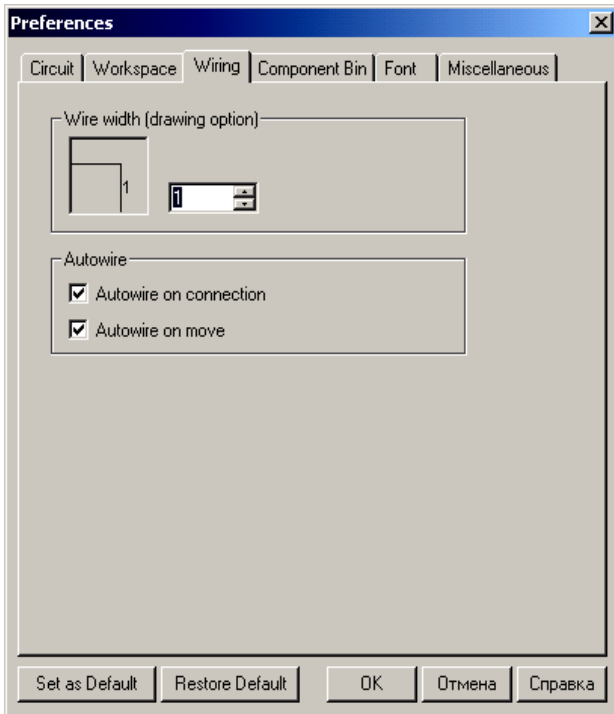


Рис. 4. Діалогове вікно *Preferences* із вкладкою *Wiring*

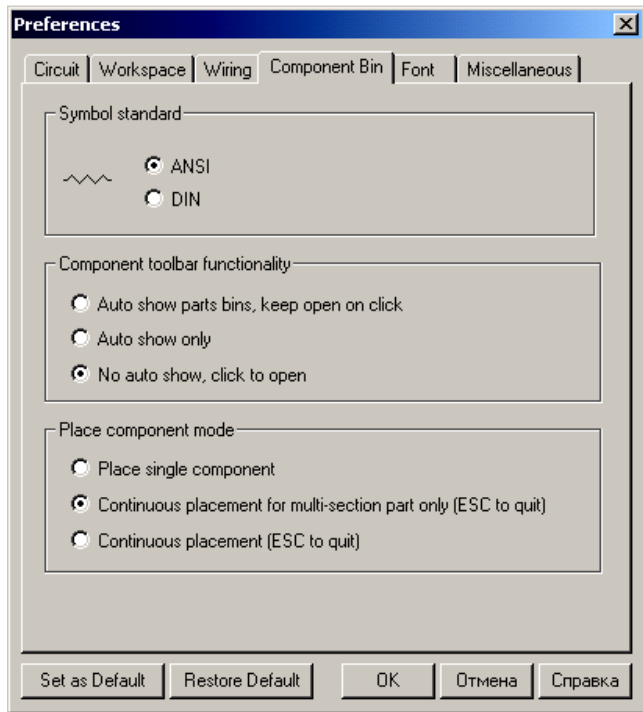


Рис. 5. Діалогове вікно *Preferences* із вкладкою *Component Bin*

На панелі *Component toolbar functionality* вказують, змінювати чи ні колір зображення компонента при його виборі.

На панелі *Place component mode* вибирають режим розміщення компонентів: єдиний компонент (*Place single component*), безперервне розміщення багатосекційного компонента (*Continuous placement for multi-section part only*), безперервне розміщення (*Continuous*).

На вкладці *Font* (шрифт) (рис. 6) вибирають шрифт і його атрибути для обраних компонентів схеми.

На вкладці *Miscellaneous* (різне) (рис. 7) встановлюють режим автозбереження даних, путі до робочого каталогу, ідеальний або реальний режим моделювання (перемикачі *Ideal* і *Real* на панелі *Digital Simulation Setting*) цифрових схем, з'єднати або роз'єднати аналогове і цифрове заземлення (прапорець *Connect digital ground to analog ground* на панелі *PCB Ground Option*).

Крім того, вікно *Preferences* містить п'ять кнопок.

Для того щоб записати обрані опції для поточної схеми, потрібно клацнути лівою клав'яшею миші по кнопці *OK*.

Для того щоб записати обрані опції, як встановлювані за замовчуванням, потрібно клацнути лівою клав'яшею миші по кнопці *Set as Default*, потім по кнопці *OK*.

Для того щоб повернутися до попередніх опцій, встановленим за

замовчуванням, потрібно клацнути по кнопці *Restore Default*. Потім можна продовжити встановлювати нові опції.

Щоб зупинити зміни й закрити діалогове вікно, потрібно клацнути по кнопці *Cancel*.

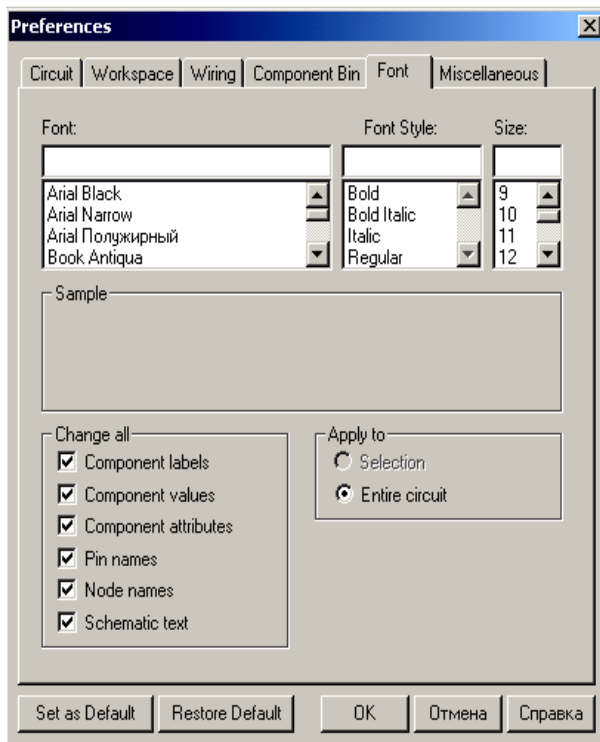


Рис. 6. Діалогове вікно Preferences із вкладкою Font

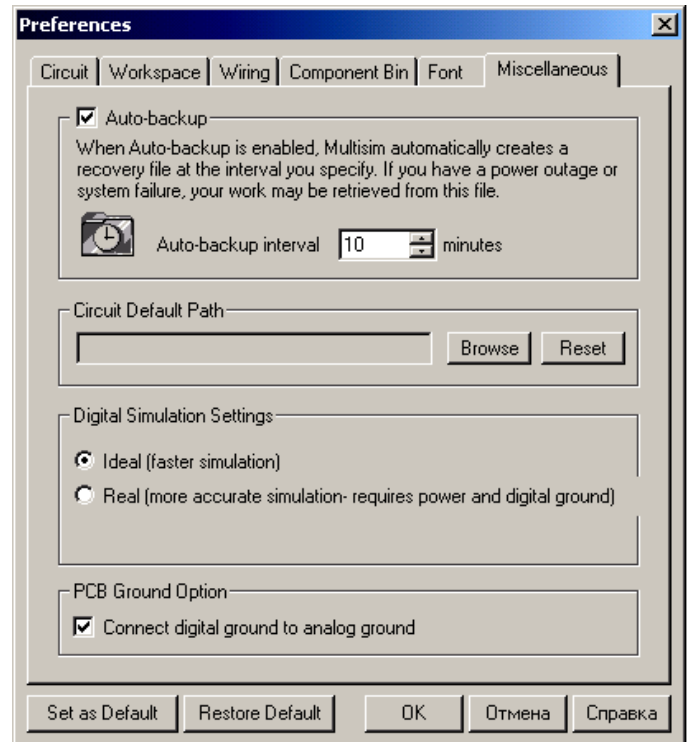






Рис. 7. Діалогове вікно Preferences із вкладкою Miscellaneous

РЕЖИМ МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМИ

Після створення принципової схеми досліджуваної системи необхідно запустити процес моделювання, щоб досліджувати поведження системи.

- Для того щоб запустити процес моделювання, потрібно клацнути по кнопці *Simulate*  і зі спливаючого меню вибрати команду *Run*. Ліворуч від команди *Run* з'явиться галочка, що означає, що процес моделювання почався.
- Для того щоб призупинити на час процес моделювання, потрібно клацнути по кнопці *Simulate*  і зі спливаючого меню вибрати команду *Pause*. Для поновлення процесу моделювання потрібно клацнути по кнопці *Simulate*  і зі спливаючого меню знову вибрати команду *Pause*. Процес моделювання відновиться з того моменту, коли він був зупинений.
- Для того щоб зупинити процес моделювання, варто клацнути по кнопці *Simulate*  і зі спливаючого меню вибрати команду *Run*. Галочка ліворуч від команди *Run* зникне, показуючи, що процес моделювання зупинений. Якщо після зупинки процесу моделювання запустити його знову, то, на відміну від дії команди *Pause*, процес моделювання почнеться з початкової точки.
- Процес моделювання можна запустити або призупинити за допомогою команд

Simulation>Run i Simulation>Pause відповідно.

- Процес моделювання можна запускати і зупиняти за допомогою перемикача, якого можна зробити видимим або невидимим за допомогою команди *View>Show Simulation Switch*.

3. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПАКЕТ SIMULINK

Бібліотека Simulink представляє собою набір візуальних об'єктів, розбитих на кілька розділів.

ЗАПУСК СИСТЕМИ

Попередньо виконати запуск системи Matlab. Після відкриття командного вікна системи Matlab потрібно запустити систему Simulink. Це можна зробити одним із трьох способів:

- Нажати кнопку (Simulink) на панелі інструментів системи Matlab;
- В рядку командного вікна Matlab надрукувати Simulink і натиснути клавішу Enter;
- виконати опцію Open... меню File і відкрити файл моделі.

При застосуванні двох перших способів відкривається вікно оглядача бібліотеки блоків.

ОГЛЯДАЧ БІБЛІОТЕКИ БЛОКІВ

Вікно оглядача бібліотеки блоків Simulink Libraray Browser містить наступні елементи:

1. Заголовок з назвою вікна – Simulink Libraray Browser.
2. Панель меню - File, Edit, View, Help
3. Панель інструментів з кнопками найбільш часто використовуваних опцій меню.
4. Вікно назви вибраного розділу бібліотеки.
5. Список розділів бібліотеки.
6. Вікно для виведення змісту розділу бібліотеки (список підрозділів чи блоків бібліотеки).
7. Рядок стану оглядача.

Бібліотека системи SIMULINK містить наступні розділи:

- Continuous - блоки аналогових елементів;
- Discontinuous - блоки нелінійних елементів;
- Discrete - блоки дискретних елементів;
- Look-Up Tables - блоки таблиць;
- Math Operations - блоки елементів, що визначають математичні операції;
- Model Verification - блоки перевірки властивостей сигналів;
- Model-Wide Utilities - розділ додаткових утиліт;
- Ports&Subsystems - порти й підсистеми;
- Signal Attributes - блоки задавання властивостей сигналів;
- Signal Routing - блоки маршрутизації сигналів;
- Sinks - блоки прийому й відображення сигналів;

- Sources - блоки джерел сигналу;
- User-Defined Function -функції, що визначає користувач.

При виборі відповідного розділу бібліотеки його зміст відображається в правій частині вікна.

СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ

Для створення моделі в середовищі Simulink необхідно послідовно виконати наступні дії:

- Створити файл моделі за допомогою команди File/New/Model.
- Розташувати блоки у вікні моделі. Для цього необхідно відкрити відповідний розділ бібліотеки. Далі, вказавши курсором на необхідний блок і натиснувши на ліву клавішу миші “перетягнути” блок у створене вікно моделі.
- При необхідності змінити параметри блоку, встановлювані за замовчуванням, необхідно двічі клацнути лівою клавішею миші, вказавши курсором на зображення блоку. Після внесення зміни потрібно закрити вікно зміни параметрів кнопкою ОК.
- Після встановлення всіх блоків потрібно виконати їхнє з'єднання.

Для з'єднання виходу одного блоку з входом іншого курсор миші встановлюють на виході блоку, від якого повинно виходити з'єднання. При цьому курсор перетворюється у великий хрест із тонких ліній. Тримавши натиснутою ліву клавішу миші, необхідно перемістити курсор до входу наступного блоку, де курсор миші придбає вигляд хреста з тонких здвоєних ліній. Протягнувши лінію до входу наступного блоку, треба відпустити ліву клавішу миші. З'єднання буде завершено, і наприкінці його з'явиться жирна стрілка.

- Після складання розрахункової схеми необхідно зберегти її у вигляді файлу на диску, вибравши пункт меню File/Save As у вікні схеми і вказавши папку й ім'я файлу.

ОСНОВНІ ПРИЙОМИ ПІДГОТОВКИ І РЕДАГУВАННЯ МОДЕЛІ

Додавання текстових написів.

Для підвищення наочності моделі зручно використовувати текстові написи. Для створення напису досить вказати мишею місце напису і двічі клацнути лівою клавішею миші. Після цього з'явиться блок напису з курсором введення. Так само можна змінити і підписи до блоків моделей. Для цього потрібно встановити мишу в область напису і клацнути лівою клавішею миші, у підписі з'явиться курсор введення, і її можна буде редагувати. Слід мати на увазі, що розглянута версія програми (Simulink 5) не адаптована до використання кирилических шрифтів і їх застосування може мати самі різні наслідки: відображення написів у нечитаемому вигляді, обрізання написів, повідомлення про помилки, а також неможливість відкрити модель після її збереження. Тому застосування написів російською мовою для поточної версії Simulink украй небажано.

Виділення об'єктів.

Для виконання якої-небудь дії з елементом моделі (блоком, з'єднувальною

лінією, написом) цей елемент необхідно спочатку виділити. Виділення об'єктів зручніше за все здійснюється за допомогою миші. Для цього необхідно встановити курсор миші на потрібному об'єкті і клацнути лівою клавішею миші. Об'єкт буде виділений. Про це будуть свідчити маркери у кутах об'єкта. Можна також виділити кілька об'єктів. Для цього потрібно установити курсор миші поблизу них, натиснути ліву клавішу миші і, утримуючи її, почати переміщати мишу. З'явиться пунктирна рамка, розміри якої будуть змінюватися при переміщенні миші. Всі охоплені рамкою об'єкти стають виділеними. Після виділення об'єкта його можна копіювати чи переміщати в буфер проміжного зберігання, витягати з буфера, а також видаляти, використовуючи стандартні прийоми роботи у Windows - програмах.

Копіювання і переміщення об'єктів у буфер збереження.

Для копіювання об'єкта в буфер його необхідно попередньо виділити, а потім виконати команду Edit/Copy чи скористатися кнопкою "Копіювати" на панелі інструментів.

Для вирізання об'єкта в буфер його необхідно попередньо виділити, а потім виконати команду Edit/Cut чи скористатися кнопкою "Вирізати" на панелі інструментів. При виконанні даних операцій слід мати на увазі, що об'єкти містяться у власний буфер MATLAB і недоступні з інших додатків. Використання команди Edit/Copy model to Clipboard дозволяє помістити графічне зображення моделі в буфер Windows і відповідно робить його доступним для інших додатків.

Копіювання можна виконати й у такий спосіб: натиснути праву клавішу миші і, не відпускаючи її, перемістити об'єкт. При цьому буде створена копія об'єкта, яку можна перемістити в необхідне місце.

Вставка об'єктів з буфера збереження.

Для вставки об'єкта з буфера необхідно попередньо вказати місце вставки, клацнувши лівою клавішею миші в передбачуваному місці вставки, а потім виконати команду Edit/Paste чи скористатися кнопкою "Вставити" на панелі інструментів.

Видалення об'єктів.

Для видалення об'єкта його необхідно попередньо виділити, а потім виконати команду Edit/Clear чи скористатися клавішею Delete на клавіатурі. Потрібно пам'ятати, що команда Clear видаляє блок без приміщення його в буфер обміну. Однак цю операцію можна скасувати опцією File/Undo.

Зміна розмірів блоків.

Для зміни розміру блоку його виділяють, після чого курсор миші необхідно встановити на один з маркерів у кутах блоку. Як тільки курсор миші перетвориться в двонаправлену діагональну стрілку, можна буде при натиснутій лівій клавіші миші розтягувати блок діагонально, збільшуючи чи зменшуючи його розміри, при цьому змінюється тільки графічне зображення блоку, а розміри його назви у вигляді текстового напису залишаються сталими.

Переміщення блоків і вставка блоків у з'єднання.

Блок, що бере участь у з'єднанні, можна переміщати у вікні моделі, виділивши його і перетягнувши, як звичайно мишею. При цьому з'єднання не розривається, а просто скорочується чи збільшується в довжину. В довге з'єднання можна вставити новий блок, помістивши його в потрібному місці лінії. Така вставка можлива лише для блоків, що мають один вхід і один вихід, що включаються в з'єднання.

Форматування об'єктів.

У меню Format (так само як і в контекстному меню, викликаним натисканням правої клавіші миші на об'єкті) знаходиться ряд опцій форматування блоків. Їх можна розділити на кілька характерних груп.

1. Керування відображенням написів і видом блоків:

- Font - установка шрифту для текстових написів;
- Enable TeX commands - включити виконання спеціальних текстових команд для відображення математичних символів, грецьких букв за допомогою редактора TeX;
- Text alignment - вирівнювання тексту в текстовому блоці;
- Flip name - приміщення підпису блоку зверху чи знизу блоку;
- Show/Hide name - відображення чи приховання підпису виділеного блоку;
- Flip block - відображення блоку щодо вертикальної осі;
- Rotate block - обертання блоку на 90°;
- Show drop shadow - показ тіні від блоку;
- Show port labels - показ міток портів.

2. Установка кольору:

- Foreground color - установка кольору ліній виділених блоків.
- Background color - установка кольору фону для виділених блоків.
- Screen color - установка кольору фону для всього вікна моделі.

3. Зміна положення блоку:

- Flip block - дзеркальне відображення щодо вертикальної осі симетрії.
- Rotate block - поворот блоку на 90° за годинниковою стрілкою.

Форматування написів. Команда Format/Font виводить вікно з установками шрифту для текстових написів, що дозволяє змінювати вид шрифту напису, розмір шрифту, накреслення і т.п. параметри напису.

Установка параметрів моделювання і його виконання.

Перед виконанням моделювання необхідно попередньо задати параметри. Завдання параметрів виконують в панелі керування меню Simulation/Parameters. Вікно настройки параметрів моделювання має 5 вкладок:

- Solver (Решатель) - установка параметрів моделювання.
- Workspace I/O (Введення/виводу даних у робочу область) – установка параметрів обміну даними з робочою областю MATLAB.
- Diagnostics (Діагностика) - вибір параметрів режиму діагностики.
- Advanced (Дополнительно) - установка додаткових параметрів.
- Real-Time Workshop - параметри інструменту "Майстерня реального часу".

Установку параметрів моделювання моделі виконують за допомогою елементів керування, які розташовані на вкладці Solver. Ці елементи розділені на 3 групи Simulation time (Інтервал моделювання) Solver options (Параметри вирішувача), Output options (Параметри виводу)

Simulation time (Інтервал моделювання):

Величину інтервалу моделювання задають за допомогою вказівки початкового (Start time) і кінцевого (Stop time) значень часу. Початковий час, як правило, задають рівним нулю. Величину кінцевого часу задає користувач, виходячи з умов розв'язуваної задачі.

Solver options (Параметри вирішувача):

При виборі параметрів вирішувача необхідно вказати метод інтегрування (Type), або з фіксованим (Fixed-step), або з перемінним (Variable-step) кроком.

Нижче списків Type знаходиться область, зміст якої змінюється залежно від обраного метода інтегрування. При виборі Fixed-step в даній області з'являється текстове поле Fixed-step size (Величина фіксованого кроку), яке дозволяє вказувати величину кроку інтегрування. Величина кроку інтегрування за замовчуванням встановлюється системою автоматично (auto). Необхідна величина кроку може бути введена замість значення auto або в формі числа, або в вигляді виразу, що обчислюють (те ж саме відноситься і до всіх параметрів, які встановлює система автоматично).

При виборі Fixed-step необхідно також задати режим розрахунку (Mode).

При виборі Variable-step в області з'являються поля для установки трьох параметрів:

- Max step size – максимальний крок інтегрування. За замовчуванням він встановлюється автоматично (auto), і його значення в цьому випадку дорівнює $(\text{StopTime} - \text{StartTime})/50$. Часто це значення виявляється занадто великим і графіки представляють ламані, а не плавні лінії. В цьому випадку величину максимального кроку інтегрування необхідно задавати іншим чином.
- Min step size - мінімальний крок інтегрування.
- Initial step size - початкове значення кроку інтегрування.

При моделюванні безупинних систем з використанням змінного кроку необхідно вказати точність обчислень:

- відносну (Relative tolerance);
- абсолютну (Absolute tolerance).

За замовчуванням вони дорівнюють відповідно 10^{-6} і auto.

Output options (Параметри виводу):

У нижній частині вкладки Solver задають настройки параметрів виводу вихідних сигналів модельованої системи (Output options). Для даного параметра можливий вибір одного з трьох варіантів:

- Refine output (Скорегований вивід) - дозволяє змінювати крок реєстрації модельного часу й тих сигналів, які зберігаються в робочій області MATLAB за допомогою блоку To Workspace. Установку такту дискретності виконують в строчці редагування Refine factor: розташованої праворуч. За замовчуванням значення Refine factor дорівнює 1, це означає, що реєстрація відбувається з кроком $\Delta t = 1$ (т. т. для кожного значення модельного часу). Якщо задати Refine factor рівним 2, це значить, що буде реєструватися кожне друге значення сигналів, 3 – кожне третє т.д. Параметр Refine factor може приймати тільки цілі позитивні значення.

Produce additional output (Додатковий вивід) – забезпечує додаткову реєстрацію параметрів моделі в задані моменти часу. Їх значення вводять в строчці редагування (в цьому випадку вона називається Output times) у вигляді списку в квадратних дужках. При використанні цього варіанта базовий крок реєстрації (Δt) дорівнює 1. Значення часу в списку Output times можуть бути дробовими числами й мати будь-

яку точність.

Produce specified output only (Формувати тільки заданий вивід) – встановлює вивід параметрів моделі тільки в задані моменти часу, які вказуються в полі Output times (Моменти часу виводу) у вигляді вектора.

Установка параметрів обміну з робочою областю.

Елементи, що дозволяють керувати вводом в робочу область MATLAB і виводом з неї проміжних даних і результатів моделювання, розташовані на вкладці Workspace I/O

Установка параметрів діагностування моделі.

Вкладка Diagnostics дозволяє змінювати перелік діагностичних повідомлень, які виводяться Simulink в командному вікні MATLAB, а також встановлювати додаткові параметри діагностики моделі.

Повідомлення про помилки або проблемні ситуації, виявлені Simulink в ході моделювання й потребуючих втручання розроблювача, виводять в командне вікно MATLAB. Вихідний перелік таких ситуацій приведено в переліку Configuration options (Опції конфігурації). Розробник може вказати вид реакції на кожну ситуацію, використовуючи групу перемикачів у полі Action (Дія). За допомогою перемикачів можна обрати один з варіантів реакції:

- None - ігнорувати,
- Warning - видати попередження і продовжити моделювання,
- Error - видати повідомлення про помилку і зупинити процес моделювання.

Обраний вид реакції відображають в списку поряд з найменуванням події.

Виконання моделювання.

Запуск моделювання виконують за допомогою вибору пункту меню Simulation/Start або кнопки ► на панелі інструментів. Процес моделювання можна завершити достроково, обравши пункт меню Simulation/Stop або кнопку ■. Моделювання також можна зупинити (Simulation/Pause) і потім продовжити (Simulation/Continue).

Для спостереження і реєстрації процесів у досліджуваній моделі використовують віртуальні прилади. До складу віртуальних приладів входять:

Scope – осцилоскоп для спостереження тимчасових залежностей;

XY Graph – графобудівник у системі полярних координат;

Display – пристрій для виводу на екран дисплея.

Завершення роботи

Для завершення роботи необхідно зберегти модель у файлі, закрити теми MATLAB.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

Дослідження на математичній моделі перехідних процесів у найпростіших трифазних нерозгалужених кіл із джерелами нескінченної потужності

Мета роботи: Визначення характеру зміни струму трифазного короткого замикання і його складових залежно від моменту КЗ і співвідношення активних і реактивних опорів кола.

Вказівки з підготовки до роботи

1. Вивчити теорію перехідних процесів при коротких замиканнях у радіальній мережі без трансформаторних зв'язків. Література [1] стор. 82-90 або [4] стор. 111-114.
2. Вивчити основні дані про роботу в середовищі Multisim 8. Використовувати інтернет-ресурси з посиланнями на <http://www.electronicworkbench.com/> або інші.
3. Ознайомитися зі структурною схемою математичної моделі кола з джерелом нескінченної потужності (рис. 1.3).
4. Скласти рівняння відповідні структурній схемі математичної моделі.

Короткі пояснення до роботи

У лабораторній роботі досліджують просте симетричне трифазне коло з активно-індуктивним опором короткого замикання (рис. 1.1), що характерно для більшості реальних електричних мереж. Ланцюг живиться від джерела, у якого в нормальному режимі роботи і при КЗ на затискачах зберігається симетрична і незмінна за значенням трифазна система напруги.

Зміна режиму в колі, що містить джерело живлення, при наявності індуктивності супроводжується перехідним процесом. Рівняння, що описує цей процес:

$$u = ir_k + L_k \frac{di}{dt},$$

де u та i – відповідно миттєві значення напруги і струму розглянутої фази. Вирішення цього рівняння дає вираз для миттєвого значення струму в будь-який момент часу t від початку к.з.:

$$i_{kt} = \frac{U_m}{Z_k} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_k) + i_{ao} e^{-\frac{t}{T_a}},$$

де U_m – амплітудне значення фазної напруги джерела; Z_k – повний опір ланцюга КЗ; α – фазовий кут напруги джерела в момент $t=0$; φ – кут зрушення струму в ланцюзі КЗ відносно напруги джерела тієї ж фази; T_a – постійна часу ланцюга к.з.:

$$T_a = \frac{L_k}{r_k} = \frac{x_k}{\omega r_k}.$$

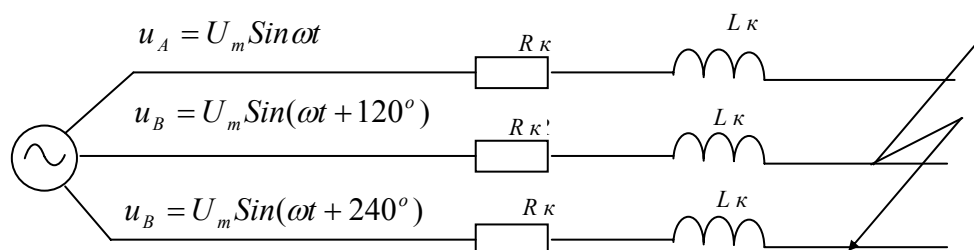


Рис. 1.1 – Трифазний симетричний ланцюг, що живиться від шин незмінної напруги

Повний струм КЗ складається з двох складових:

- змушеної, обумовленої дією напруги джерела;
- вільної, обумовленої зміною запасу енергії магнітного поля в індуктивності L_k .

Змушена складова струму КЗ має періодичний характер з частотою, рівною частоті напруги джерела. Називають цю складову зазвичай періодичною складовою струму КЗ.

$$i_{nt} = \frac{U_m}{Z_k} \text{Sin}(\omega t + \alpha - \varphi_k) = I_{nm} \text{Sin}(\omega t + \alpha - \varphi_k),$$

де I_{nm} – амплітудне значення періодичної складової струму.

Вільна складова струму КЗ

$$i_{at} = i_{ao} e^{-\frac{t}{T_a}}$$

має аперіодичний характер зміни, на підставі чого цю складову називають аперіодичною складовою струму КЗ. Значення струму i_{ao} буде максимальним у випадку, якщо напруга в момент виникнення КЗ проходить через нульове значення ($\alpha = 0$), а струму в ланцюгу КЗ немає ($i_{(0)} = 0$). Крива зміни струму, за умови максимального значення аперіодичної складової струму, показана на рис. 1.2.

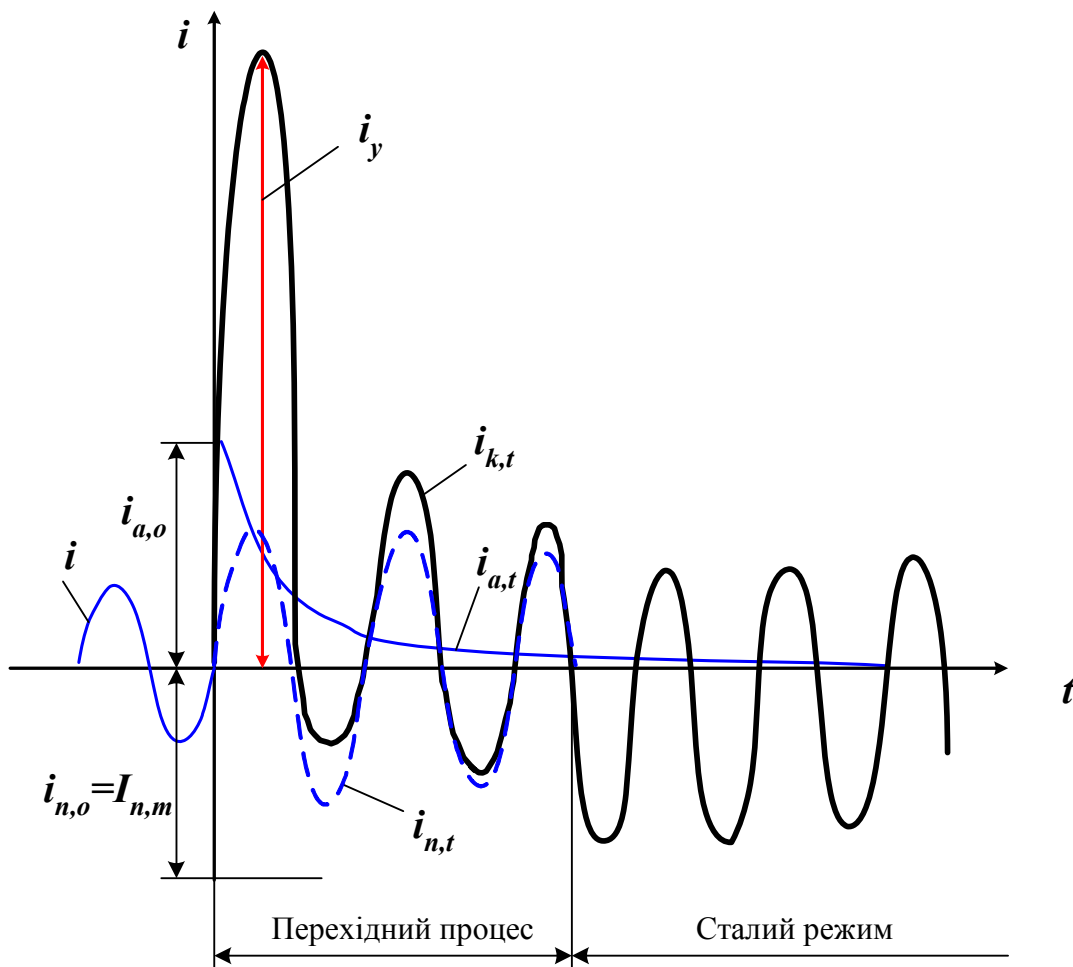


Рис. 1.2 – Зміна струму КЗ в ланцюгу, який живиться від шин незмінної напруги при максимальному значенні аперіодичної складової

Перехідний процес закінчується після загасання аперіодичної складової

струму і далі повний струм КЗ дорівнює його періодичній складовій, незмінної за амплітудою.

Максимальне миттєве значення повного струму настає зазвичай через 0,01с після виникнення КЗ. Воно називається ударним струмом і позначається i_y .

$$i_y = \sqrt{2}k_y I_{no},$$

де $k_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}$

Дослідження проводять на математичній моделі ланцюга з джерелом безкінечної потужності, структурна схема якої представлена на рис. 10. Побудова цієї схеми проводиться за допомогою пакету Multisim 8. Параметри схеми встановлюють використовуючи впливаючі підменю для кожного елемента, як зображено на рис. 1.3.

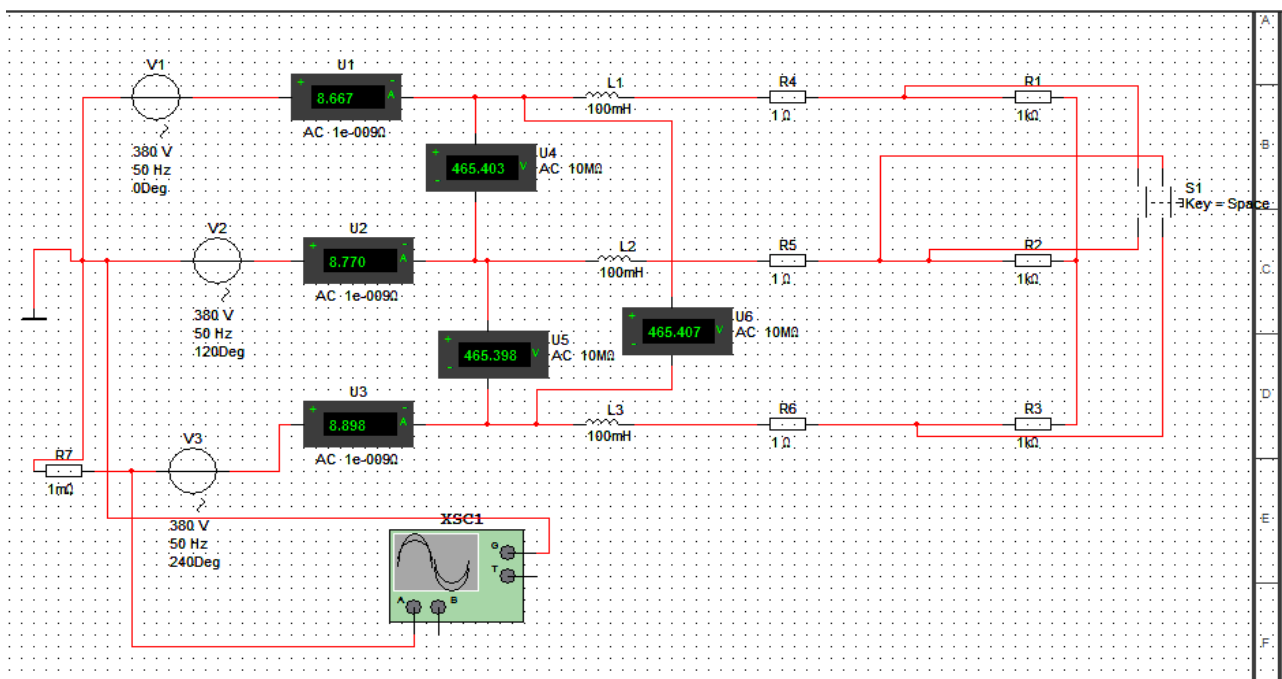


Рис. 1.3 – Математична модель ланцюга з джерелом безкінечної потужності.

На схемі V1, V2, V3 – джерела синусоїдального сигналу; U1, U2, U3 – амперметри для контролю струму у фазах A, B, C; U4, U5, U6 – вольтметри для контролю напруги у фазах A, B, C; L1, L2, L3, R1, R2, R3 – активно-індуктивна еквівалентна схема лінії; R1, R2, R3 – відповідно активне навантаження у фазах A, B, C; XSC1 – осцилограф для візуального спостереження процесів у трифазній мережі; R7 – резистор невеликого номіналу 1мОм для підключення осцилографу; S1_Space – ключ для замикання фаз A, B, C між собою на землю (моделювання процесу к.з. у трифазній симетричній мережі).

Підменю застосовують натискаючи правою кнопкою миши на відповідний елемент схеми і обираючи вкладку *Properties*. На рис. 1.4 цю операцію застосовано для елемента V2 (наприклад).

На виході елементів V1, V2, V3 джерел синусоїдального сигналу отримуємо миттєве значення періодичної напруги постійної амплітуди частотою 50Гц,

амплітудою 380 В і з початковою фазою 0, 120 та 240⁰ відповідно у кожній фазі.

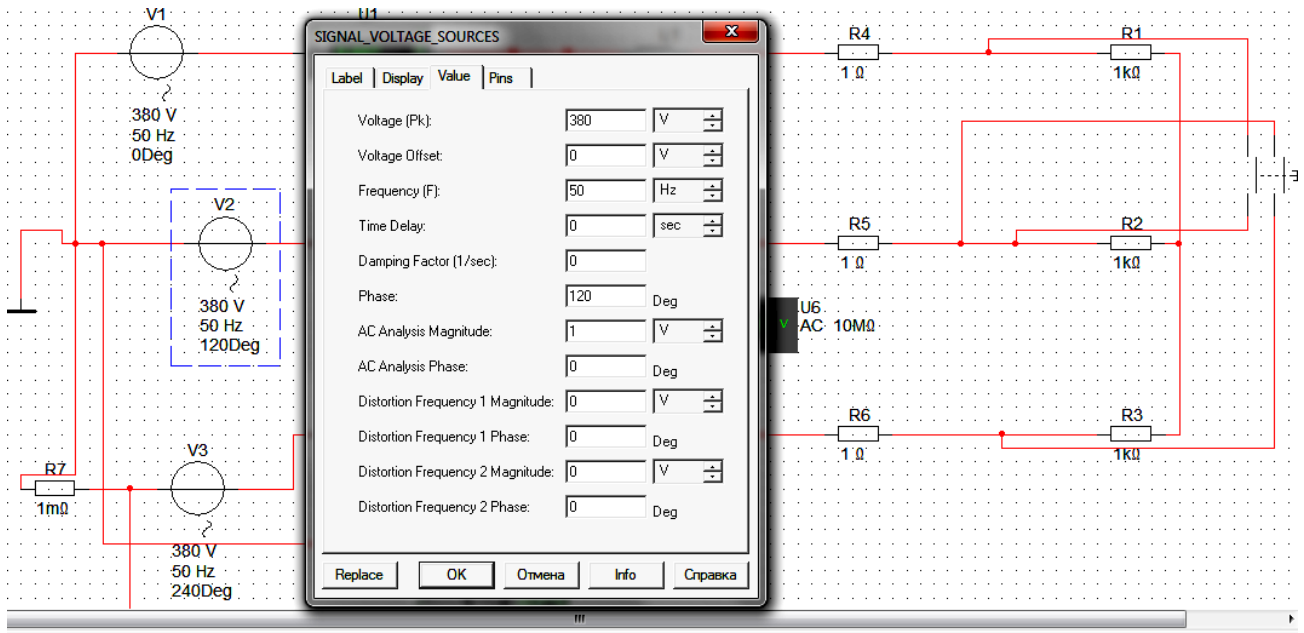


Рис. 1.4 – Використання підменю блоків математичної моделі ланцюга з джерелом безкінечної потужності

Таким чином забезпечується симетричність трифазної системи. За допомогою осцилографа XSC1 спостерігаємо цей процес при відсутності к.з. у системі (ключ S1_Sрасе не замкнутий) як це показано на рис. 1.5.

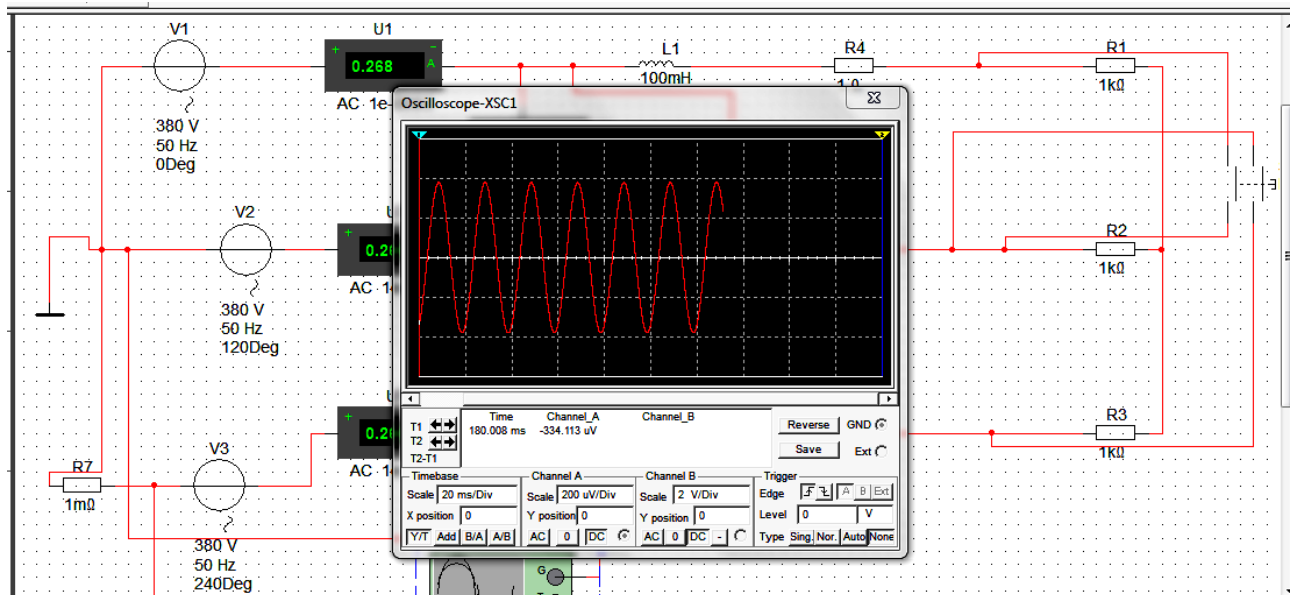


Рис. 1.5 – Генерація періодичного синусоїдального сигналу в математичній моделі ланцюга з джерелом безкінечної потужності при відсутності короткого замикання

Моделювання трифазного к.з. досліджуваної математичної моделі ланцюга з джерелом безкінечної потужності проводиться за допомогою клавиши *Space* натискаючи її у відповідний момент часу дослідження. За допомогою осцилографа XSC1 спостерігають процес к.з., як це зображено для прикладу на рис.1.6. Відповідні осцилограми зберігають у документі *Microsoft Word*, що складається у формі звіту до

лабораторної роботи.

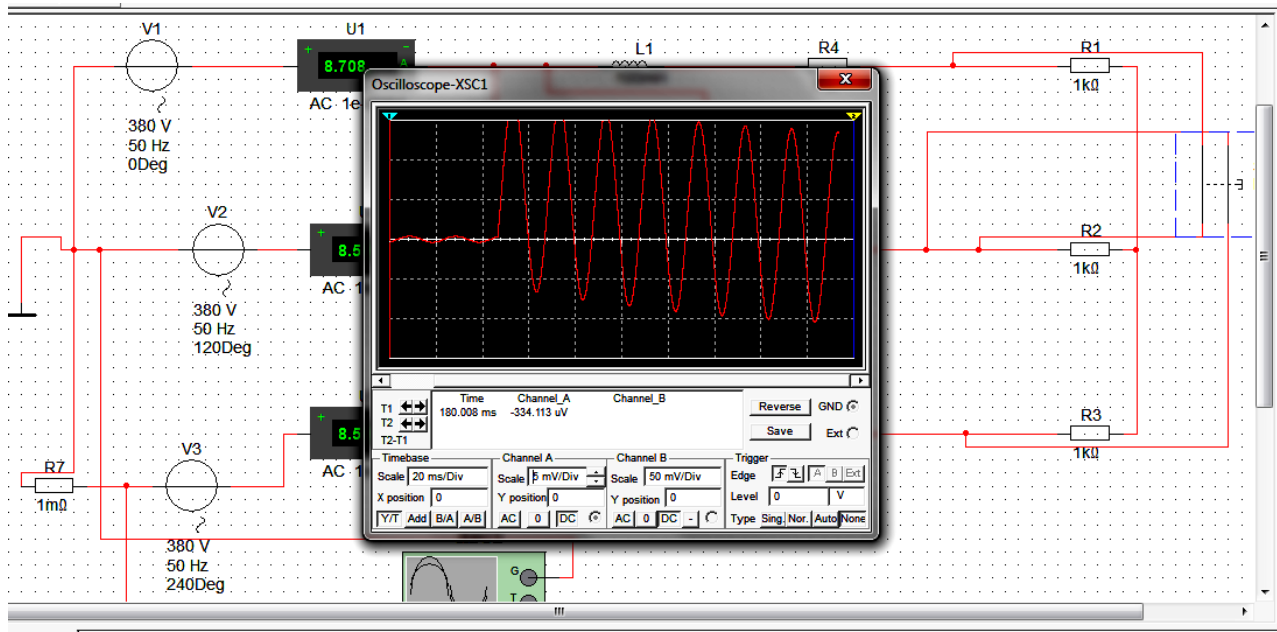


Рис. 1.6 – Моделювання короткого замикання в математичній моделі ланцюга з джерелом безкінечної потужності у довільний момент часу дослідження

Отримані осцилограми дозволяють провести дослідження поведінки простішої трифазної симетричної системи при виникненні трифазного к.з. на землю при умовах наявності або відсутності аперіодичної складової та наявності періодичної складової струму к.з.

Порядок виконання роботи:

1. Скласти математичну модель ланцюга з джерелом нескінченної потужності (рис. 1.3). Задати параметри джерела синусоїдального сигналу:

- амплітуда – 380 В;
- постійна складова сигналу - 0;
- частота – 50 Гц;
- початкова фаза – 0^0 ; 120^0 ; 240^0 .

2. Змоделювати трифазне КЗ роботи джерела напруги в режимі холостого ходу і зняти осцилограми напруги, повного струму короткого замикання його складових для фаз: А, В та С.

Для виконання цього досліду необхідно встановити означені на рис.1.3 параметри моделі. Запустити модель. Встановити курсор миші на осцилограф і, клацнувши один раз правою клавiшею і використавши рис.1.4, спостерігати перехідний процес у фазі В. Створити документ у *Word* і зберегти в ньому отриману осцилограму. Таким чином буде отримана осцилограма напруги, пропорційна повному струму короткого замикання та його складових для фази В.

3. З'ясувати вплив на характер струму КЗ і його складові, моменту часу настання КЗ, знявши осцилограми струмів для наступних випадків:

- коротке замикання відбувається в момент часу, коли напруга проходить через нуль, зростаючи;
- коротке замикання відбувається в момент часу, коли напруга проходить через

нуль, убуваючи;

- коротке замикання відбувається в момент часу, коли напруга максимальна;
- коротке замикання відбувається в момент часу, коли напруга мінімальна.

Дослід провести для фази В.

4. З'ясувати вплив на характер струму КЗ та його складових, співвідношення активного й реактивного опорів ланцюга КЗ, знявши осцилограми для наступних випадків:

- активний опір менше реактивного в 10 раз;
- активний опір менше реактивного в 100 раз;
- активний опір менше реактивного в 1000 раз (індуктивний ланцюг);
- активний опір більше реактивного в 100 раз (практично активний ланцюг).

Дослід провести для фази В, змінюючи відповідним чином співвідношення активного і реактивного опорів.

Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

1. короткий опис роботи;
2. математичну модель, її короткий опис;
3. осцилограми дослідів;
4. аналіз отриманих результатів;
5. висновки.

Контрольні запитання

1. Як змінюється повний струм і його складові при трифазному КЗ в ланцюгах з джерелом безкінечної потужності?
2. Причина виникнення аперіодичної складової струму КЗ.
3. В яких межах змінюється постійна часу затухання аперіодичної складової струму КЗ?
4. За яких умов аперіодична складова струму КЗ буде максимальною?
5. Причина затухання аперіодичної складової струму КЗ.
6. Від чого залежить інтенсивність затухання аперіодичної складової струму КЗ?
7. Що відбувається з аперіодичною складовою струму КЗ за час $t=Ta$?
8. Яка тривалість загасання аперіодичної складової струму КЗ і від чого вона залежить?
9. В яких ланцюгах постійна часу загасання аперіодичної складової струму КЗ буде максимальною, а в яких мінімальною?
10. В яких ланцюгах аперіодична складова може не загасати і чому?
11. В який момент часу після початку КЗ виникає найбільший струм?
12. Який струм КЗ називається ударним і при яких умовах він буде максимальним?
13. Від яких параметрів залежить ударний коефіцієнт?
14. В яких межах змінюється ударний коефіцієнт?
15. В яких ланцюгах ударний коефіцієнт буде максимальним, в яких мінімальним?
16. Який вид КЗ називається симетричним і чому?
17. Коли настає сталий режим при КЗ у ланцюгах із джерелом нескінченної потужності?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

Дослідження на математичній моделі перехідних процесів у найпростіших трифазних нерозгалужених ланцюгах, які живляться від генератора обмеженої потужності без регулятора порушення

Мета роботи: Визначення характеру зміни струму трифазного короткого замикання та його складових в залежності від віддаленої точки КЗ від генератора і значення величини постійного часу обмотки збудження T_f .

Вказівки з підготовки до роботи

1. Вивчити теорію перехідних процесів при коротких замиканнях у радіальній мережі з генераторами обмеженої потужності.

Рекомендована література [1] стор. 91- 96 або [4] стор. 115-121.

2. Ознайомитися зі структурною схемою математичної моделі ланцюга з генератором обмеженої потужності без регулятора порушення (рис. 2.3.)

3. Скласти рівняння відповідні структурній схемі математичної моделі.

Короткі пояснення до роботи

В лабораторній роботі досліджують простий симетричний трифазний ланцюг з активно-індуктивним опором кола короткого замикання. Коло живиться від джерела обмеженої потужності. На відміну від першої лабораторної роботи в даній роботі розглядаються такі uszkodження, при яких опір короткого замикання одного порядку з опором генератора.

При малій електричній віддаленості місця пошкодження істотний вплив на перехідний процес робить АРЗ генератора. Для спрощення спочатку розглядається генератор з відключеним АРЗ. В такій машині змушений струм порушення залишається постійним і забезпечує незмінний магнітний потік порушення.

На рис. 2.1 показано генератор, що живить простий трифазний ланцюг. Основна особливість даного випадку полягає в тому, що параметри генератора та їх зміна в перехідному режимі суттєво впливають на хід процесу короткого замикання.

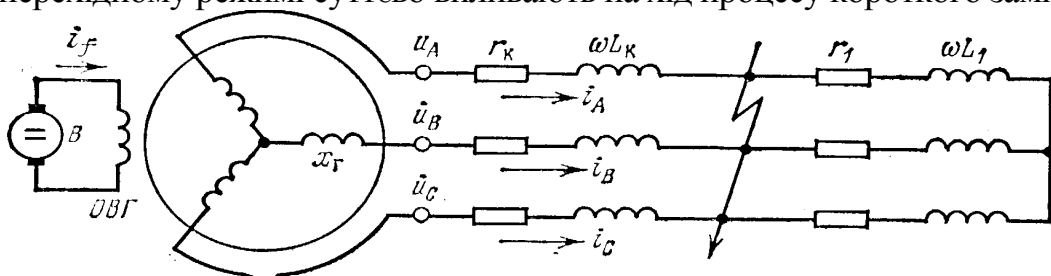


Рис. 2.1 – Трифазний симетричний ланцюг, що живиться від синхронного генератора

На рис. 2.2 наведено криву зміни повного струму КЗ і його складові в одній фазі ланцюга, що живиться від генератора без АРЗ. Момент виникнення КЗ відповідає випадку, коли аперіодична складова струму й повний струм досягають максимального значення.

При холостому ході, під дією струму ротора, в машині наводиться магнітний

потік збудження Φ_d . В момент виникнення КЗ в статорі генератора з'являється струм. Періодична складова струму відстає від напруги на виводах генератора на кут φ_k , обумовлений параметрами ланцюга КЗ. Протікаючи по обмотках генератора, періодична складова струму створює магнітний потік Φ_{ad} , який буде направлений назустріч потоку збудження Φ_d як потік реакції якоря за подовжньою віссю ротора.

На шляху потоку Φ_{ad} знаходяться два провідних контури: короткозамкнутий контур демпферної обмотки (тільки у гідрогенераторів) і замкнутий на збуджувач контур обмотки збудження.

Контури демпферної обмотки і обмотки збудження мають індуктивність, в якій під дією Φ_{ad} наводяться ЕДС і виникають вільні токи відповідно $i_{cвд}$ і $i_{cвф}$. Потік Φ_{ad} нерухомий щодо ротора, тому токи $i_{cвд}$ і $i_{cвф}$ мають аперіодичний характер, якщо не враховувати аперіодичну складову струму КЗ.

Зазначені аперіодичні струми загасають з постійно часу, рівної відношенню індуктивності контуру до його активного опору. Їм відповідають вільні магнітні потоки обмоток: демпферної $\Phi_{cвд}$ та збудження $\Phi_{cвф}$.

Так як магнітний потік ротора не може змінюватися стрибком, то для моменту часу $t=0$ повинна виконуватися умова $\Phi_{ad} = \Phi_{cвд} + \Phi_{cвф}$

Таким чином, в початковий момент КЗ потік Φ_{ad} в роторі компенсується вільними потоками та в повітряному зазорі генератора діє результуючий магнітний потік $\Phi_{рез}$ рівний Φ_d , тобто $\Phi_{рез} = \Phi_d + \Phi_{cвф} + \Phi_{cвд} - \Phi_{ad} = \Phi_d$.

Із часом відбувається загасання аперіодичних струмів у демпферній обмотці й обмотці збудження з одночасним зменшенням відповідних магнітних потоків $\Phi_{cвд}$ та $\Phi_{cвф}$, причому першим загасає магнітний потік $\Phi_{cвд}$ в ланцюгу обмотки збудження, що має малий активний опір, вільний струм затухає повільніше.

Вільні магнітні потоки вже не можуть компенсувати розмагнічуючу дію потоку реакції статора Φ_{ad} , внаслідок чого відбувається зменшення ЕРС генератора. Це зменшення приводить до того, що періодична складова струму КЗ також зменшується.

Магнітний потік, створений аперіодичною складовою струму КЗ, переміщається щодо ротора і наводить в його обмотках періодичні струми.

Після затухання вільних струмів в демпферній обмотці та в обмотці збудження настає сталий режим для періодичної складової струму статора. Результуючий магнітний потік при цьому дорівнює: $\Phi_{рез} = \Phi_d - \Phi_{ad}$, тобто розмагнічуюча дія потоку статора максимальна.

Однак слід врахувати, що магнітний потік Φ_{ad} дещо зменшується у порівнянні з початковим моментом внаслідок зменшення періодичної складової струму КЗ.

Таким чином, за відсутності на генераторі АРЗ сталі значення періодичної

складової струму КЗ виявляється менше його початкового значення.

Аперіодична складова струму КЗ загасає по експоненту з постійною часу T_a . У розглянутому випадку опори ланцюга КЗ і генератора порівняні, тому при обчисленні T_a необхідно враховувати відповідні опори обмотки статора.

Дослідження перехідних процесів за відсутності в генераторі АРЗ проводять на математичній моделі ланцюга, структурна схема якого представлена на рис. 2.3.

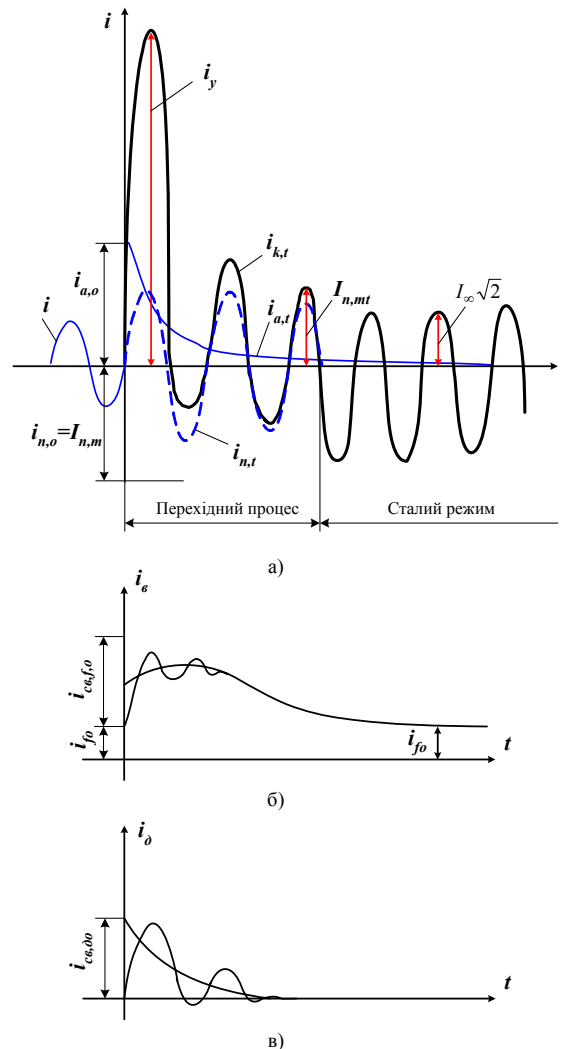


Рис. 2.2 – Криві зміни струму КЗ синхронного генератора за відсутності автоматичного регулятора збудження

В даній математичній моделі відсутні перемикачі, так як вважаємо, що КЗ відбувається в нульовий момент часу. Сигнал на виході 2-го елемента імітує миттєве значення напруги на шинах генератора, яке залежить від струму в ланцюгу статора. Елементи 8, 13, 19-22 моделюють зміну вільного струму в обмотці збудження I_{fc} . Джерело постійного сигналу 28 забезпечує початкове значення струму в обмотці збудження I_{f0} . Повний струм, що протікає в обмотці збудження I_f отримуємо на виході суматора 23. ЕРС генератора у відносних одиницях прийнято рівною результуючій потокозчепленню в повітряному зазорі (на виході суматора 24), т.т. не враховуємо насичення генератора. На підсилювачі 27 моделюється спадання напруги в обмотці статора генератора, а на 29 – потік реакції статора, який в початковий

момент компенсується магнітним потоком ротора, викликаним виниклим вільним струмом в обмотці збудження I_{fo} . Ручні перемикачі 3, 12, 17 дозволяють зробити переключення необхідні при проведенні досвідів.

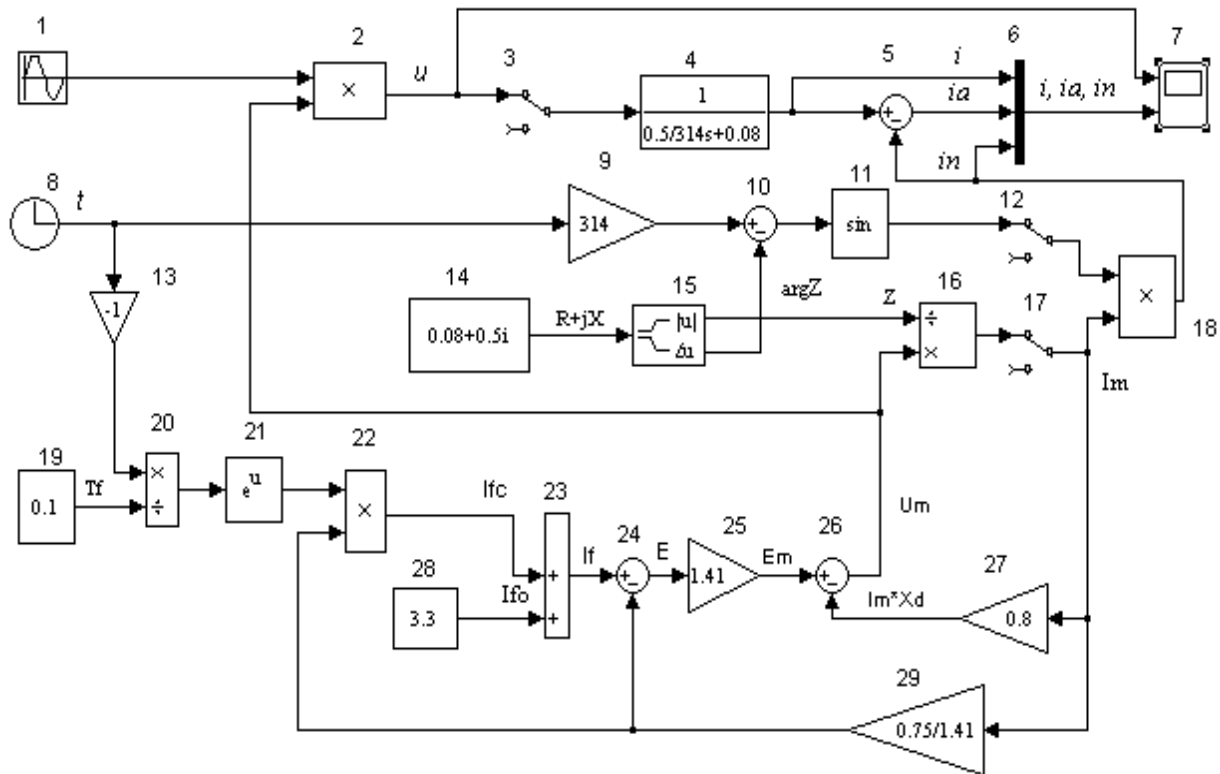


Рис. 2.3 – Математична модель ланцюга з генератором обмеженої потужності без регулятора збудження

Порядок виконання роботи:

1. Скласти математичну модель ланцюга, що живиться від генератора обмеженої потужності без регулятора збудження (рис. 2.3).

2. Зняти осцилограми миттєвого значення напруги генератора і струмів в обмотках статора і ротора в режимі холостого ходу для чого перевести ручні перемикачі в нульове положення.

3. Зняти осцилограми напруги генератора, повного струму КЗ і його складових, а також струми в обмотці збудження. Величини опорів короткого замикання задає викладач. Дослід провести для 2-3 значень опорів.

Примітка: При проведенні другого та третього дослідів необхідно підключити додатково осцилографи до відповідних виходів моделі.

4. Змінюючи значення постійної часу обмотки збудження T_f (елемент 19), з'ясувати її вплив на характер зміни струму КЗ і його складових.

5. Створити документ в Word і зберегти в ньому всі отримані осцилограми.

Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи має містити:

1. короткий опис роботи;
2. математичну модель, її короткий опис;
3. осцилограми дослідів;

4. аналіз отриманих результатів;
5. висновки.

Контрольні запитання

1. Як змінюється повний струм і його складові при трифазному КЗ на затискачах генератора без АРЗ?
2. Чому відбувається зміна періодичної складової струму КЗ при короткому замиканні на шинах генератора?
3. Коли настає сталий режим при КЗ в ланцюгах з генератором обмеженої потужності без АРЗ?
4. Причина затухання періодичної складової струму КЗ.
5. Чому в початковий момент КЗ не позначається дія потоку реакції статора?
6. На що впливає постійна часу обмотки збудження?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

Дослідження на математичній моделі перехідних процесів в найпростіших трифазних нерозгалужених ланцюгах, що живляться від генератора обмеженої потужності

Мета роботи: Визначення характеру зміни струму трифазного короткого замикання та його складових в залежності від віддаленості точки КЗ від генератора при наявності у генераторі регулятора збудження і впливу на них параметрів регулятора збудження.

Вказівки з підготовки до роботи

1. Вивчити теорію перехідних процесів при коротких замиканнях в радіальній мережі з генераторами обмеженої потужності. Література [1] стор. 91- 96 або [4] стор. 115-121.
2. Вивчити основні моделі автоматичних регуляторів збудження генераторів. Література [3] стор. 100- 101.
3. Ознайомитися із структурною схемою математичних моделей ланцюга з генератором обмеженої потужності при наявності в нього регулятора збудження (рис. 3.2).
4. Скласти рівняння що відповідають структурній схемі математичної моделі.

Короткі пояснення до роботи

В лабораторній роботі досліджують простий симетричний трифазний ланцюг з активно-індуктивним опором ланцюга короткого замикання. Ланцюг живиться від джерела обмеженої потужності. На відміну від попередньої лабораторної роботи в даній роботі розглядають короткі замикання при наявності у генератора регулятора збудження.

В цьому випадку зниження напруги при КЗ компенсується збільшенням струму збудження, причому при зниженні напруги на шинах генератора нижче 0,85-0,9 номінального спрацьовує форсування збудження, яка забезпечує наростання збудження генератора до граничного значення. Таким чином, АРЗ змінює магнітний

потік збудження Φ_d , ЕРС генератора, а отже, і струм КЗ (рис. 3.1).

Всі АРЗ діють з невеликим запізненням. Крім того, значна індуктивність обмотки збудження генератора приводить до затримки збільшення струму ротора. В результаті цього дія АРЗ починає проявлятися тільки через деякий час після виникнення КЗ. Із сказаного можна зробити висновок, що АРЗ не впливає на струм КЗ в перші періоди короткого замикання. Початкові значення періодичної та аперіодичної складових струму, процес затухання останньої, а отже, і ударний струм залишаються такими ж як і в розглянутому вище випадку роботи генератора без АРЗ.

Глибина зниження напруги на виводах генератора при КЗ, а отже, і реакція системи регулювання залежать від електричної віддаленості місця пошкодження від генератора.

В залежності від опору ланцюга КЗ після закінчення перехідного процесу генератор буде працювати в одному з двох режимів:

- режим номінальної напруги, коли регулятор збудження зможе підняти напругу на шинах генератора до номінальної;
- режим граничного збудження, коли струм в обмотці збудження досягає граничного значення, а напруга на шинах генератора залишиться менше номінальної.

Опір ланцюга КЗ, при якому генератор одночасно буде працювати в двох режимах, називається критичним. Цей опір для кожного генератора можна розрахувати по його паспортних даних за формулою:

$$X_{кр} = X_d \frac{U_n}{E_{qnn} - U_n}$$

Цьому критичному опору відповідає критичний струм, який дорівнює:

$$I_{кр} = X_d \frac{U_n}{X_{кр}}$$

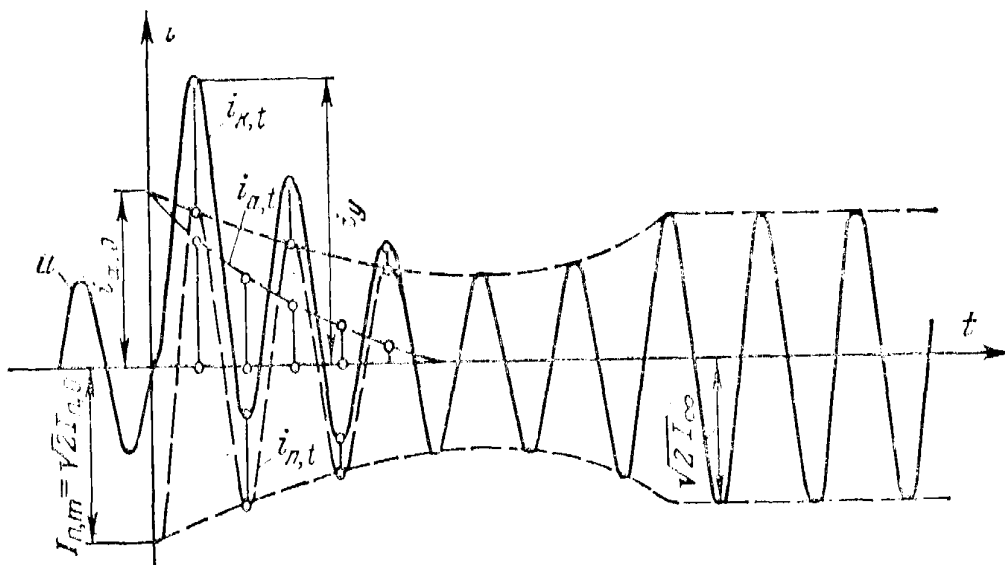


Рис. 3.1 – Криві зміни струму КЗ синхронного генератора при наявності автоматичного регулятора збудження

Порівнявши критичний опір генератора з опором ланцюга КЗ можна визначити режим, в якому буде працювати генератор при КЗ за цим опором.

Дослідження перехідних процесів за наявності у генератора АРЗ проводиться на математичній моделі ланцюга, структурну схему якої представлено на рис. 3.2.

Ця модель складена на основі математичної моделі використаної в попередній лабораторній роботі. Додаткові елементи 21, 22, 27 та 29-32 моделюють автоматичний регулятор збудження. В 32 елементі задається установка за напругою на шинах генератора. Перемикач 30 імітує інерційність АРЗ (час запізнення задає викладач). Чисельник в 29 елементі представляє коефіцієнт посилення регулятора, а коефіцієнт в знаменнику – його постійну часу. Елемент 22 обмежує струм збудження згори та знизу.

Порядок виконання роботи:

1. Скласти математичну модель ланцюга, який живиться від генератора обмеженої потужності з регулятором збудження (рис. 3.2).

2. Зняти осцилограми напруги генератора, повного струму КЗ та його складових, а також струми в обмотці збудження.

3. Змінюючи віддаленість точки КЗ (величину активного та індуктивного опорів ланцюга КЗ) отримати осцилограми діючого значення напруги генератора, установки за напругою і струмом збудження для двох режимів роботи генератора:

- номінальної напруги;
- граничного збудження.

4. Створити документ в Word і зберегти в ньому всі отримані осцилограми.

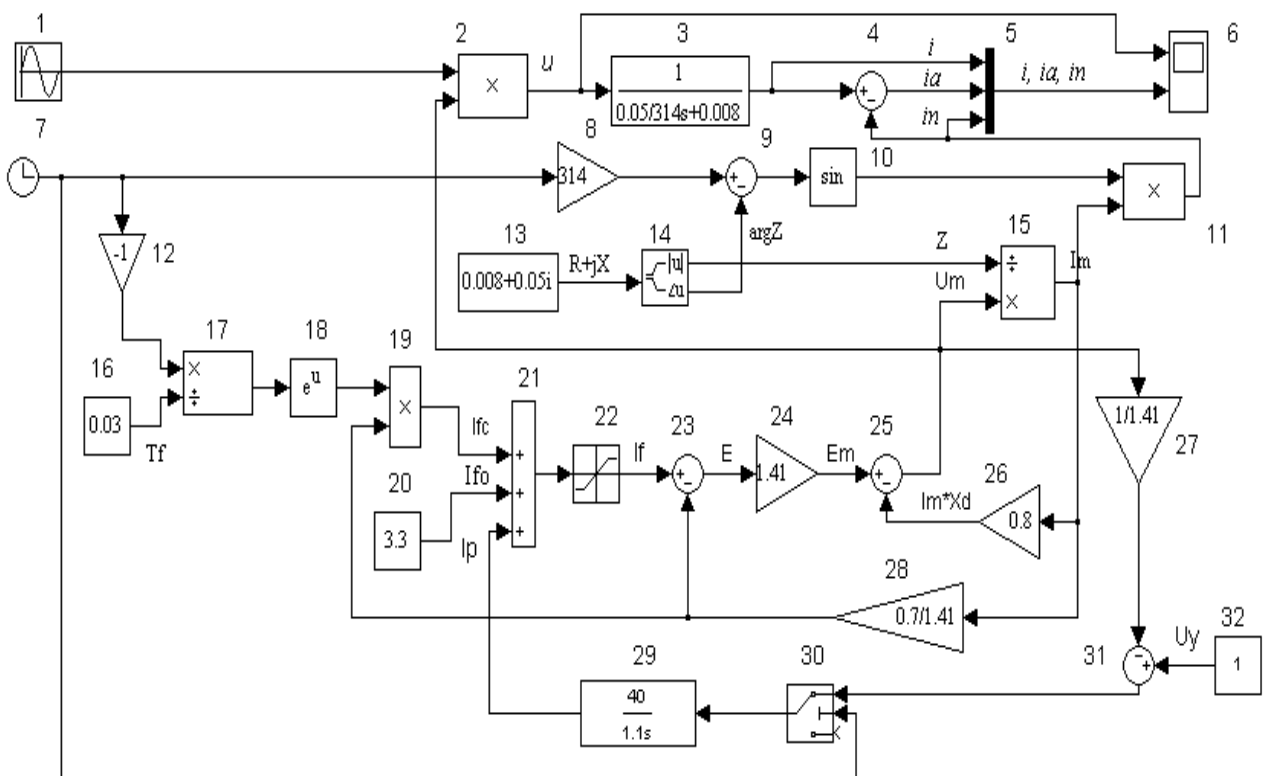


Рис. 3.2 – Математична модель ланцюга з генератором обмеженої потужності при наявності у нього регулятора збудження

Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

1. Короткий опис роботи;
2. Математичну модель, її короткий опис;
3. Осцилограми дослідів;
4. Аналіз отриманих результатів;
5. Висновки.

Контрольні запитання

1. Як змінюється повний струм і його складові при трифазному КЗ на затисках генератора с АРЗ?
2. Коли настає сталий режим при КЗ в ланцюгах з генератором обмеженої потужності без АРЗ?
3. Чому сталий струм КЗ у генератора з АРЗ більше ніж у генератора без АРЗ?
4. Чому в початковий момент КЗ не позначається дія регулятора збудження?
5. Що таке критичний опір при розрахунку сталого струму КЗ?
6. Що таке критичний струм генератора?
7. Режими роботи генераторів при сталому струмові КЗ.
8. Режими роботи генераторів при розрахунку за методом спрямлених характеристик.
9. Який струм більше $I_{кр}$ чи $I_{крт}$ і чому?
10. Який опір більше $X_{кр}$ чи $X_{крт}$ і чому?
11. Як змінюються діючі значення напруги на шинах генератора і струму в обмотці збудження при КЗ за опором більше критичного?
12. Як змінюються діючі значення напруги на шинах генератора і струму в обмотці збудження при КЗ за опором менше критичного?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Метод симетричних складових в розрахунках несиметричних коротких замикань

Мета роботи: Закріплення знань по правилу еквівалентності прямої послідовності та співвідношення між симетричними складовими струмів та напруг при несиметричних коротких замиканнях.

Вказівки з підготовки до роботи

1. Вивчити теорію для застосування методу симетричних складових до розрахунку несиметричних коротких замикань. Література [1] стор. 182- 185.
2. Вивчити правило еквівалентності для струму прямої послідовності. Література [1] стор. 227- 232 або [6] стор. 325-329.
3. Ознайомиться із структурною схемою математичної моделі для розрахунку струмів і напруг усіх послідовностей особою фази при різних видах несиметричних коротких замикань (рис. 4.2).
4. Скласти таблицю визначення струмів зворотної та нульової послідовності особливої фази при різних видах КЗ через струм прямої послідовності.

5. Скласти таблицю визначення напруг зворотної та нульової послідовностей особливої фази при різних видах КЗ через напругу прямої послідовності.
6. Заповнити бланк переключень ручних перемикачів.

Вид короткого замикання	Положення перемикачів								
	2	4	5	6	17	21	26	27	29
Однофазне									
Двофазне									
Двофазне КЗ на землю									

Короткі пояснення до роботи

Порівняно прості несиметричні КЗ, як і інші несиметричні режими в електричних мережах можна розраховувати з використанням метода симетричних складових. Ідея цього метода полягає в тому, що будь-яку несиметричну систему трьох векторів можна розкласти на три симетричні системи: прямої, зворотної та нульової послідовності. Для кожної з цих систем явища в фазах подібні, що дозволяє скористатися однолінійними схемами для кожної послідовності та вести розрахунок для одної фази. Така фаза знаходиться в умовах, які відрізняються від умов для двох інших фаз, і називається особливою. Будь-який з векторів симетричної трифазної системи можна представити однойменним вектором іншої фази за допомогою оператора повороту a .

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} = e^{j120^\circ};$$

$$a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} = e^{j240^\circ} = e^{-j120^\circ}.$$

Множення вектора на оператор a , означає поворот його на 120° в позитивному напрямку (проти ходи годинникової стрілки). Множення на a^2 відповідає повороту на 240° в тому ж напрямку або на 120° в протилежному напрямку.

В симетричній трифазній системі (рис. 4.1) кожен з векторів можна представити наступним чином:

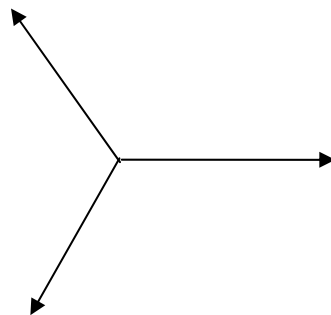


Рис. 4.1 – Симетрична трифазна система векторів

$$\left. \begin{aligned} N_A &= aN_B = a^2N_C \\ N_B &= aN_C = a^2N_A \\ N_C &= aN_A = a^2N_B \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

Система прямої послідовності складається з трьох однакових векторів, здвигнутих один відносно одного на 120^0 , що чергуються в такій же послідовності, як і основна симетрична система. Ця система позначена індексом 1.

Система зворотної послідовності також складається з трьох однакових векторів, здвигнутих один відносно одного на 120^0 , але чергування цих векторів протилежне основній симетричній системі. Ця система позначається індексом 2.

Оскільки вектори системи прямої (зворотної) послідовності в сумі рівні нулю, ці системи є зрівноваженими:

Система нульової послідовності складається з трьох однакових векторів, які співпадають за напрямом. Ця система векторів позначається індексом 0. Система нульової послідовності симетрична, але не зрівноважена.

За складовою прямої, зворотної і нульової послідовностей можна відновити вихідну несиметричну систему:

$$\left. \begin{aligned} N_A &= N_{A1} + N_{A2} + N_{A0} \\ N_B &= N_{B1} + N_{B2} + N_{B0} \\ N_C &= N_{C1} + N_{C2} + N_{C0} \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

Симетричну систему фазних векторів можна виразити через симетричні складові особливої фази:

$$\left. \begin{aligned} N_A &= N_{A1} + N_{A2} + N_{A0} \\ N_B &= a^2 N_{A1} + a N_{A2} + N_{A0} \\ N_C &= a N_{A1} + a^2 N_{A2} + N_{A0} \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

Рівняння (4.4) дозволяють виділити з несиметричної системи симетричні складові:

$$\left. \begin{aligned} N_{A1} &= (N_A + a N_B + a^2 N_C) / 3 \\ N_{A2} &= (N_A + a^2 N_B + a N_C) / 3 \\ N_{A0} &= (N_A + N_B + N_C) / 3 \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

Струм прямої послідовності особливої фази $I_{к, A1}^{(n)}$ у відповідності з правилом еквівалентності прямої послідовності визначають за формулою.

$$I_{к, A1}^{(n)} = \frac{E_{1\text{рез}}}{x_{1\text{рез}} + \Delta x^{(n)}}$$

де $\Delta x^{(n)}$ – додатковий індуктивний опір. Значення $\Delta x^{(n)}$ для різних видів КЗ приведено в табл. 4.1.

Модуль струму пошкодженої фази в $кА$ за формулою:

$$I_{к}^{(n)} = m^{(n)} \cdot I_{к, A1}^{(n)} \cdot I_{б},$$

де $m^{(n)}$ – коефіцієнт, що показує у скільки раз модуль струму пошкодженої фази в місці КЗ більше модуля струму прямої послідовності.

Значення коефіцієнтів $m^{(n)}$ для різних видів КЗ наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Коефіцієнти для розрахунку різних видів КЗ

Вид КЗ	Додатковий опір $x_{\Delta}^{(n)}$	Значення коефіцієнта $m^{(n)}$
Двофазне	$x_{2 \text{ рез}}$	$\sqrt{3}$
Однофазне	$x_{2 \text{ рез}} + x_{0 \text{ рез}}$	3
Двофазне на землю	$\frac{x_{2 \text{ рез}} \cdot x_{0 \text{ рез}}}{x_{2 \text{ рез}} + x_{0 \text{ рез}}}$	$\sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{x_{2 \text{ рез}} \cdot x_{0 \text{ рез}}}{(x_{2 \text{ рез}} + x_{0 \text{ рез}})^2}}$

Вирази для симетричних складових струмів і напруг через струм прямої послідовності для різних КЗ наведено в табл. 4.2

Порядок виконання роботи

1. Скласти математичну модель для розрахунку струмів і напруг усіх послідовностей особливої фази при різних видах несиметричних коротких замикань (рис. 4.2).

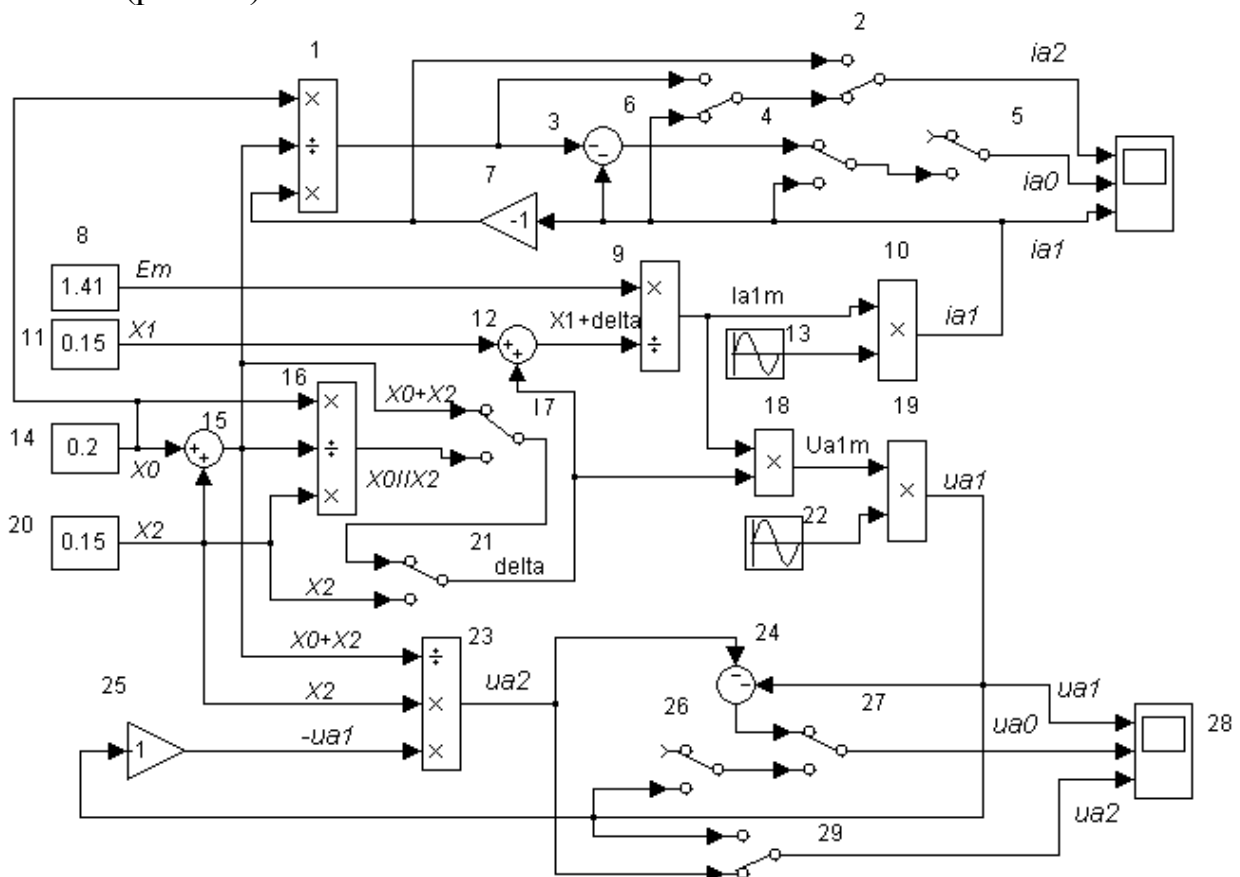


Рис. 4.2 – Математична модель для розрахунків струмів і напруг усіх послідовностей особливої фази при різних видах несиметричних коротких замикань

За допомогою елементів 11, 14 та 20 моделюємо результуючі індуктивні опори прямої (X_1), зворотної (X_2) та нульової (X_0) послідовностей. Елементи 15, 16 і ручні перемикачі 17, 21 дозволяють отримати опір шунта $x_{\Delta}^{(n)}$ (на моделі *delta*) для різних видів несиметричних КЗ. На виходах елементів 10 та 19 отримуємо миттєві значення

струму (i_{a1}) і напруги (u_{a1}) прямої послідовності особливої фази. За допомогою елементів 1, 3, 7 і ручних перемикачів 2, 4, 5, 6 моделюємо миттєві значення струмів зворотної (i_{a2}) та нульової (i_{a0}) послідовностей особливої фази для різних видів несиметричних КЗ. Елементи 23, 24, 25 та ручні перемикачі 26, 27, 29 дозволяють отримати миттєві значення напруг зворотної (u_{a2}) та нульової (u_{a0}) послідовності особливої фази для різних видів несиметричних КЗ.

2. Отримати осцилограми струмів і напруг усіх послідовностей особливої фази при однофазному КЗ.

Для виконання досліду необхідно ручні перемикачі встановити в таке положення, щоб опір шунта дорівнював $X_{\Delta}^1 = X_{2pez} + X_{0pez}$, струми всіх послідовностей рівні, а між напругами виконується співвідношення $U_{A1} = -U_{A2} - U_{A0}$.

Перемикання здійснюють подвійним натиском лівої клавіші миші на відповідному ручному перемикачеві. На моделі X2 відповідає X_{2pez} , X0 відповідає X_{0pez} .

3. Провести аналогічні досліди при двофазному та двофазному короткому замиканні на землю.

4. Отримати осцилограми струмів і напруги особливої фази; фаз при різних коротких замиканнях.

5. Вивести на віртуальний дисплей модулі струмів пошкоджених фаз при різних коротких замиканнях.

Примітка: При проведенні четвертого та п'ятого дослідів необхідно підключити додатково осцилографи та дисплеї до відповідних виходів моделі й ввести додаткові елементи.

Зміст звіту

Звіт повинен містити:

1. Короткий опис роботи;
2. Математичну модель, її короткий опис;
3. Осцилограми дослідів;
4. Аналіз отриманих результатів;
5. Висновки.

Контрольні запитання

1. Види несиметричних коротких замикань.
2. Сутність метода симетричних складових.
3. Що представляє собою пряма система трьох векторів?
4. Що представляє собою зворотна система трьох векторів?
5. Що представляє собою нульова система трьох векторів?
6. Як розкласти несиметричну систему трьох векторів на симетричні складові?
7. Чому дорівнює оператор повороту?
8. Що відбудеться з вектором, якщо його помножити на оператор повороту?
9. Сформулювати правило еквівалентності прямої послідовності.
10. Що називається особливою фазою?
11. Виразити через струм прямої послідовності особливої фази струми і напруги інших послідовностей.
12. Чому дорівнює опір шунта при різних видах коротких замикань?
13. Як виразити модулі струмів пошкоджених фаз при різних видах коротких замикань через струм прямої послідовності особливої фази?
14. Чому дорівнює коефіцієнт $m^{(n)}$ при різних видах коротких замикань?
15. Що таке поперечна несиметрія?

Таблиця 4.2 - Вирази для симетричних складових струмів і напруг через струм прямої послідовності для різних КЗ

Розрахункові величин та їх позначення		Вид короткого замикання		
		Однофазне	Двофазне	Двофазне на землю
Струм зворотної послідовності	\dot{I}_{A2}	\dot{I}_{A1}	$-\dot{I}_{A1}$	$-\dot{I}_{A1} \frac{x_{0\text{рез}}}{(x_{0\text{рез}} + x_{2\text{рез}})}$
Струм нульової послідовності	\dot{I}_{A0}	\dot{I}_{A1}	0	$-\dot{I}_{A1} \frac{x_{2\text{рез}}}{(x_{0\text{рез}} + x_{2\text{рез}})}$
Струм фази А	\dot{I}_A	$3\dot{I}_{A1}$	0	0
Струм фази В	\dot{I}_B	0	$a^2 \dot{I}_{A1} - a \dot{I}_{A1}$	$\dot{I}_{A1} (a^2 - \frac{ajx_{0\text{рез}} + jx_{2\text{рез}}}{j(x_{0\text{рез}} + x_{2\text{рез}})})$
Струм фази С	\dot{I}_C	0	$a^2 \dot{I}_{A1} - a^2 \dot{I}_{A1}$	$\dot{I}_{A1} (a - \frac{a^2 jx_{0\text{рез}} + jx_{2\text{рез}}}{j(x_{0\text{рез}} + x_{2\text{рез}})})$
Напруга прямої послідовності	\dot{U}_{A1}	$j(x_{0\text{рез}} + x_{2\text{рез}}) \dot{I}_{A1}$	$jx_{2\text{рез}} \dot{I}_{A1}$	$j \frac{x_{2\text{рез}} \cdot x_{0\text{рез}}}{x_{2\text{рез}} + x_{0\text{рез}}} \cdot \dot{I}_{A1}$
Напруга зворотної послідовності	\dot{U}_{A2}	$-jx_{2\text{рез}} \dot{I}_{A1}$	$jx_{2\text{рез}} \dot{I}_{A1}$	$j \frac{x_{2\text{рез}} \cdot x_{0\text{рез}}}{x_{2\text{рез}} + x_{0\text{рез}}} \cdot \dot{I}_{A1}$
Напруга нульової послідовності	\dot{U}_{A0}	$-jx_{0\text{рез}} \dot{I}_{A1}$	0	$j \frac{x_{2\text{рез}} \cdot x_{0\text{рез}}}{x_{2\text{рез}} + x_{0\text{рез}}} \cdot \dot{I}_{A1}$
Напруга фази А	\dot{U}_A	0	$2\dot{I}_{A1} jx_{2\text{рез}}$	$3\dot{I}_{A1} \frac{jx_{2\text{рез}} \cdot x_{0\text{рез}}}{x_{2\text{рез}} + x_{0\text{рез}}}$
Напруга фази В	\dot{U}_B	$\dot{I}_{A1} j [x_{2\text{рез}}(a^2 - a) + x_{0\text{рез}}(a^2 - 1)]$	$-\dot{I}_{A1} jx_{2\text{рез}}$	0
Напруга фази С	\dot{U}_C	$\dot{I}_{A1} j [x_{2\text{рез}}(a - a^2) + x_{0\text{рез}}(a - 1)]$	$-\dot{I}_{A1} jx_{2\text{рез}}$	0

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5

Порівняння фазних струмів і напруг при різних видах коротких замикань

Мета роботи: Закріплення знань щодо визначення фазних струмів і напруг за їх симетричними складовими і виявлення впливу величини результуючих опорів зворотної та нульової послідовностей на модуль і зсув по фазі струмів і напруг.

Вказівки з підготовки до роботи

1. Вивчити теорію для застосування методу симетричних складових до розрахунку несиметричних коротких замикань. Література [1] стор. 182- 185.
2. Ознайомитись із структурною схемою математичної моделі для розрахунку фазних струмів і напруг при різних видах коротких замикань (рис. 5.2).
3. Скласти рівняння відповідні структурним схемам підсистем для моделювання миттєвих значень фазних струмів (рис. 5.1).
4. Скласти рівняння відповідні структурним схемам підсистем для моделювання миттєвих значень фазних напруг (рис. 5.1).
6. Заповнити бланк переключень ручних перемикачів аналогічний бланку в лабораторній роботі 4, додавши в нього перемикачі 22 та 30.

Короткі пояснення до роботи

У даній роботі розрахунок фазних величин здійснюють відповідно до формул 4.3, тобто струми визначаємо за формулами:

$$\left. \begin{aligned} I_A &= I_{A1} + I_{A2} + I_{A0} \\ I_B &= a^2 I_{A1} + a I_{A2} + I_{A0} \\ I_C &= a I_{A1} + a^2 I_{A2} + I_{A0} \end{aligned} \right\}, \quad (5.1)$$

а напруги:

$$\left. \begin{aligned} U_A &= U_{A1} + U_{A2} + U_{A0} \\ U_B &= a^2 U_{A1} + a U_{A2} + U_{A0} \\ U_C &= a U_{A1} + a^2 U_{A2} + U_{A0} \end{aligned} \right\} \quad (5.2)$$

Моделювання фазних струмів і напруг здійснюють за допомогою шести підсистем (Subsystem 1 – Subsystem 6). Підсистема – це фрагмент Simulink – моделі у вигляді окремого блоку. Кожна підсистема має три входи і один вихід. На перший вхід подаємо амплітудне значення прямої послідовності струму або напруги. На другий – амплітудне значення зворотної послідовності струму або напруги. На третій – амплітудне значення нульової послідовності струму або напруги. На виході отримуємо миттєві значення фазних струмів (Subsystem 1- Subsystem 3) або миттєві значення фазних напруг (Subsystem 4- Subsystem 6). За своєю структурою підсистеми аналогічні та відрізняються тільки параметрами джерел синусоїдальних сигналів. На рисунку 5.1 наведено структурну схему підсистеми.

Параметри всіх трьох джерел синусоїдального сигналу в підсистемах 1 і 4 рівні:

- амплітуда - 1;
- постійна складова сигналу - 0;

- частота - $314(\text{рад/с})$;
- початкова фаза - $-\pi/2$;
- такт дискретності - 0.

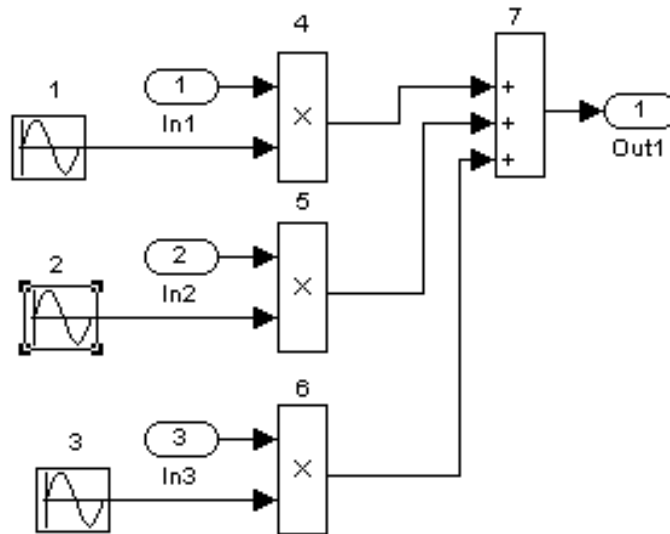


Рис. 5.1 – Структурна схема підсистеми

Параметри джерел синусоїдального сигналу в інших підсистемах будуть відрізнятися початковою фазою. В підсистемах 2 і 5 необхідно задати наступні початкові фази джерел синусоїдального сигналу:

- 1-е джерело - $-\pi/2-2\pi/3$;
- 2-е джерело - $-\pi/2+2\pi/3$.

У підсистемах 3 і 6:

- 1-е джерело - $-\pi/2+2\pi/3$;
- 2-е джерело - $-\pi/2-2\pi/3$.

Блок Subsystem створюється автоматично. Для цього необхідно виділити за допомогою миші необхідний фрагмент моделі та виконати команду *Create Subsystem* з меню *Edit* у вікні моделі. Виділений фрагмент буде поміщено в підсистему, а входи та виходи підсистеми будуть забезпечені відповідними портами. За необхідності, клацнувши мишею по підсистемі, можна змінити її параметри.

Правило еквівалентності прямої послідовності дозволяє досить просто порівняти різні види КЗ. Порівняння здійснюють для умов, коли короткозамкнений ланцюг чисто індуктивний.

Знання меж, в яких можуть знаходитися значення струмів при несиметричних КЗ у порівнянні зі значеннями струмів трифазного КЗ, що виникає в тій самій точці системи, представляє практичний інтерес, так як дозволяє за відомим значенням струму трифазного КЗ оцінити в першому наближенні можливі найбільші та найменші значення струму при несиметричних КЗ. Установлювані граничні співвідношення дійсні для струмів тільки в місці КЗ та їх не можна поширювати на струми інших гілок розглянутої схеми.

Порівняння струмів при різних видах несиметричного короткого замикання здійснюється відповідно за формулою:

$$K_{(\Pi-3)} = \frac{I_{\kappa}^{(n)}}{I_{K}^{(3)}} = m^{(n)} E_{\Sigma}^{(n)} / E_{\Sigma}^{(3)} (1 + X_{\Delta}^{(n)} / X_{1pez}).$$

Залежно від того, яким реактивним опором представлено генератор в схемі прямої послідовності і має бути прийнята відповідна ЕРС. Для наближеної оцінки меж зміни зневажаємо розходженням ЕРС при симетричному та несиметричному КЗ.

При двофазному КЗ.

$$K_{(2-3)} = \sqrt{3} / (1 + x_{2pez} / x_{1pez}).$$

При КЗ поблизу затисків генератора в початковий момент ($t=0$).

$$X_{1pez} = X_{2pez} \text{ отже, } K_{(2-3)} = \sqrt{3} / 2.$$

При КЗ поблизу затисків генератора в сталому режимі ($t = \infty$).

$$X_{1pez} \gg X_{2pez} \text{ можна вважати } X_{2pez} \cong 0, \text{ т.т. } K_{(2-3)} = \sqrt{3}.$$

Таким чином, відношення $K_{(2-3)}$ знаходиться приблизно в наступних межах:

$$\sqrt{3} / 2 \leq K_{(2-3)} \leq \sqrt{3}$$

При однофазному КЗ.

$$K_{(1-3)} = \sqrt{3} / (1 + (x_{2pez} + x_{0pez}) / x_{1pez})$$

Індуктивний опір X_{0pez} змінюється в дуже широких межах (практично від 0 до ∞). Його значення може змінюватися навмисно шляхом зміни числа заземлених нейтралей трансформаторів в мережах напругою 110 кВ і вище. При КЗ поблизу затисків генератора, якщо $X_{0pez} \cong 0$ і в сталому режимі КЗ $X_{1pez} \gg X_{2pez}$ можна вражати $X_{2pez} \cong 0$. В цьому випадку граничне значення $K_{(1-3)} = 3$. Якщо ж $X_{0pez} \cong \infty$, $K_{(1-3)} = 0$ Отже, відношення $K_{(1-3)}$ знаходиться в межах

$$0 \leq K_{(1-3)} \leq 3.$$

При двофазному КЗ на землю

$$K_{(1,1-3)} = m^{(1,1)} / (1 + x_{2pez} x_{0pez} / ((x_{2pez} + x_{0pez}) x_{0=1pez})),$$

де $m^{(1,1)} = 1,5$ при $X_{0pez} = X_{2pez}$ та $m^{(1,1)} = \sqrt{3}$ при X_{2pez} / X_{0pez} дорівнює 0 або ∞ .

Якщо $X_{0pez} = 0$, то $K_{(1,1-3)} = \sqrt{3}$, а якщо $X_{0pez} = \infty$, то комплексна схема заміщення перетворюється в комплексну схему заміщення при двофазному, в результаті чого

$$K_{(1,1-3)} = m^{(1,1)} / (1 + x_{2pez} / x_{1pez})$$

При КЗ у віддаленій точці де $X_{2pez} \cong X_{1pez}$,

$$K_{(1,1-3)} = \sqrt{3} / 2.$$

Тому $K_{(1,1-3)}$ змінюється в межах

$$\sqrt{3} / 2 \leq K_{(1,1-3)} \leq \sqrt{3}.$$

Порядок виконання роботи:

1. Скласти математичну модель для розрахунку фазних струмів і напруг при різних видах коротких замикань (рис. 5.2.).
2. Знати осцилограми фазних струмів і напруг при однофазному КЗ для випадків, коли результуючі опори всіх послідовностей однакові.
3. Змінюючи результуючі опори зворотної та нульової послідовностей, з'ясувати їхній вплив на зсув між фазами напруг B та C . Визначити в якому випадку цей кут максимальний, в якому – мінімальний?
4. Зняти осцилограми фазних струмів і напруг при двофазному КЗ на землю для випадків, коли результуючі опори всіх послідовностей однакові.
5. Змінюючи результуючі опори зворотної та нульової послідовностей, з'ясувати їх вплив на зсув між фазами струмів фаз B та C . Визначити в якому випадку цей кут максимальний, в якому – мінімальний?
6. Зняти осцилограми фазних струмів і напруг при двофазному КЗ для випадків, коли результуючі опори всіх послідовностей однакові.
7. Порівняти амплітудні значення струму трифазного КЗ і струму пошкодженої фази при несиметричних КЗ. Вид КЗ задає викладач. З'ясувати при яких співвідношеннях результуючих опорів прямої, зворотної і нульової послідовностей розходження між струмом трифазного КЗ і струмом пошкодженої фази при несиметричному КЗ максимально, при яких – мінімально?

Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

1. Короткий опис роботи;
2. Математичну модель, її короткий опис;
3. Осцилограми дослідів;
4. Аналіз отриманих результатів;
5. Висновки.

Контрольні запитання

1. Знаючи вектори прямої, зворотної і нульової послідовностей особливої фази струму побудувати вектори фазних струмів.
2. Як за симетричними складовими напруги знайти фазні напруги?
3. Векторні діаграми струмів і напруг при різних видах коротких замикань.
4. В яких межах змінюється кут між напругами непошкоджених фаз при однофазному КЗ?
5. Чому дорівнює кут між напругами непошкоджених фаз при однофазному КЗ, якщо результуючі опори зворотної і нульової послідовностей рівні?
6. В яких межах змінюється кут між струмами пошкоджених фаз при двофазному КЗ на землю?
7. При яких умовах кут між струмами пошкоджених фаз при двофазному КЗ на землю буде максимальним, при яких – мінімальним?
8. В яких межах можуть знаходитися значення струмів при несиметричних КЗ у порівнянні зі значеннями струмів трифазного КЗ?

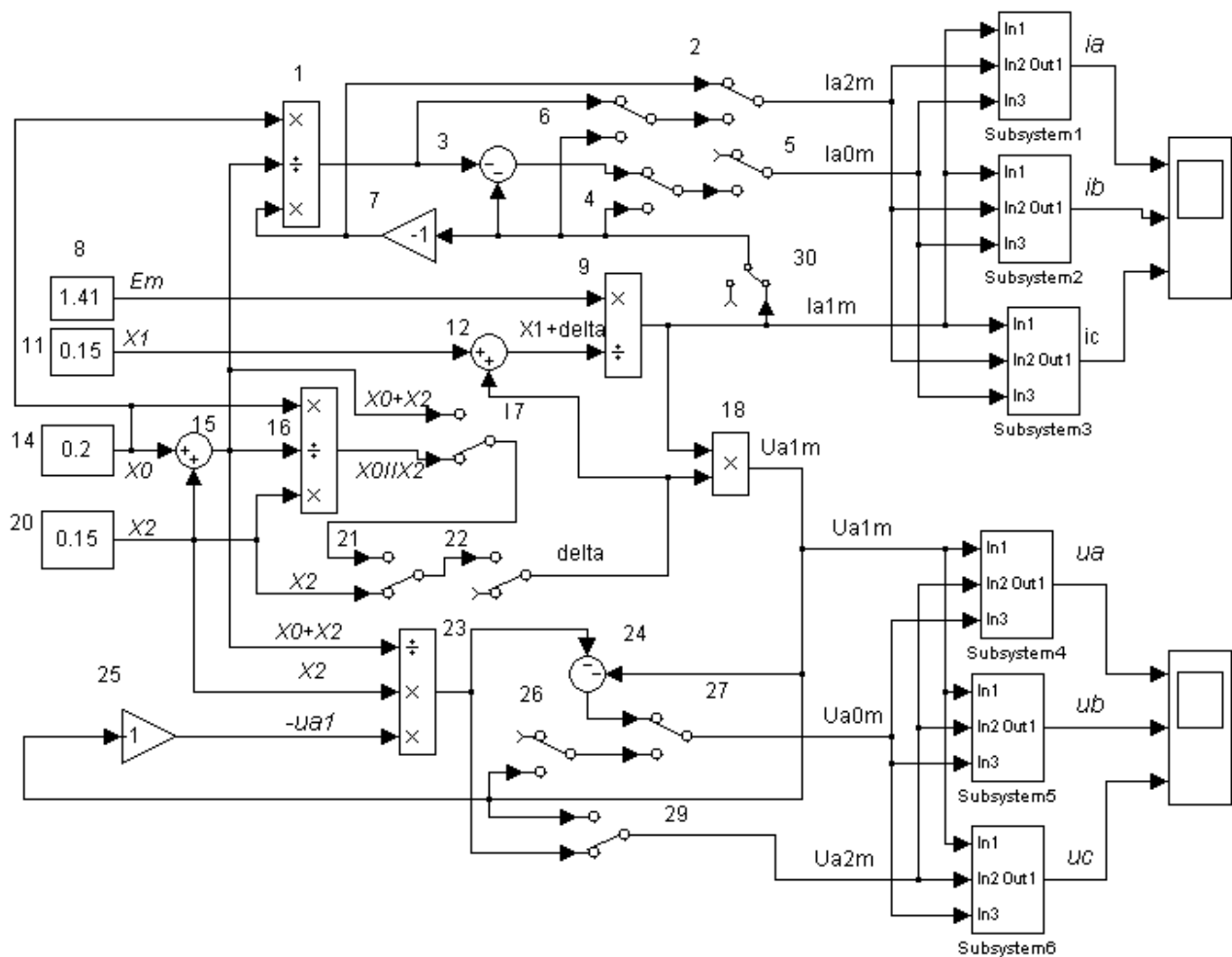


Рис. 5.2 – Математична модель для розрахунку фазних струмів і напруг при різних видах коротких замикань

9. Як впливає на струм несиметричного КЗ величина результуючого опору нульової послідовності?
10. При якому вигляді КЗ струм короткого замикання буде максимальним?
11. За яких умов струм однофазного КЗ більше струму трифазного КЗ в три рази?
12. Как можна зменшити струм при однофазному КЗ?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6

Дослідження на математичній моделі впливу параметрів елементів розрахункової схеми та її структури на величину струмів трифазного короткого замикання з використанням ПК

Мета роботи: Отримання навиків роботи з комп'ютерною програмою GTCURR "Розрахунок КЗ в електроустановках і мережах напругою вище 1000В".

Вказівки з підготовки до роботи

1. Вивчити загальні вказівки для виконання розрахунків струмів. Література [5] стор. 25- 46.
2. Вивчити практичні методи розрахунку перехідних процесів при трифазних

коротких замиканнях. Література [5] стор. 230-271.

3. Ознайомиться з комп'ютерною програмою GTCURR “Розрахунок КЗ в електроустановках і мережах напругою вище 1000В”.

Короткі пояснення до роботи

Введення вихідних даних.

Введення вихідних даних здійснюють в два етапи. На першому етапі здійснюють побудову розрахункової схеми. На другому етапі вводять параметри елементів розрахункової схеми.

Побудова розрахункової схеми.

Для звертання до програми необхідно запустити файл “GTCURR.exe”. Після чого на екрані з'явиться графічне меню. Копію екрана в режимі введення параметрів наведено на рис. 6.1. Екран дисплея поділяється на три зони:

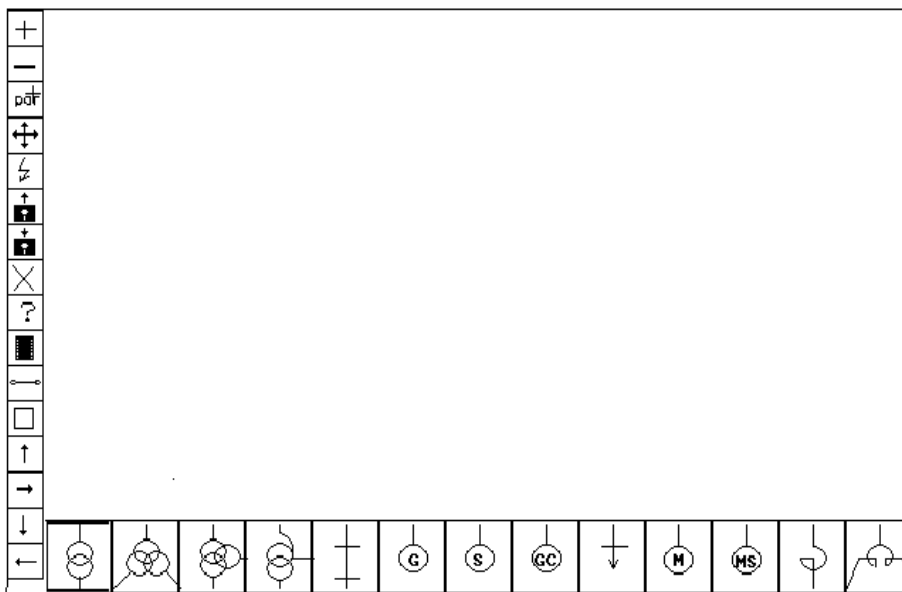


Рис. 6.1 – Копія екрана в режимі введення параметрів

Перша зона в нижній частині екрану – меню обладнання, яке містить 13 умовних зображень обладнання. При введенні параметрів може бути задано і позиційне позначення елементів.

Друга зона в лівій частині екрану – командне меню, яке містить умовні позначення можливих дій програми. За значеннєвим змістом командне меню можна розділити на три частини. Перші 10 його комірок визначають режим роботи програми:

- | | |
|----------------------|---|
| “+” | - нарисувати елемент схеми |
| “-” | - видалити елемент схеми |
| “par” | - введення/виведення параметрів обладнання |
| “перехрестя стрілок” | - зсув схеми для відображення її ділянок, які не помістилися в робочій зоні екрана. Напряму зсуву визначається стрілками в нижній частині командного меню |
| “ламана стрілка” | - завдання вузла короткого замикання та розрахунок струмів, а також, після розрахунку, перегляд струмів у довільних галузях при розрахованому короткому замиканні |

“стрілка з прямокутника”	- читання раніше підготовленого опису схеми з файлу на магнітному носії
“стрілка в прямокутник”	- запис набраної на екрані схеми і її параметрів у файл для наступного використання
“x”	- завершення роботи з програмою чи перехід до нової схеми
“лист”	- документування результатів

Наступні дві комірки командного меню задають тип фрагмента схеми, що вводиться чи видаляється: режим роботи зі сполучними лініями режим роботи з зображеннями обладнання

Останні чотири комірки командного меню містять різнонаправлені стрілки, що вказують при введенні схеми напрямок розташування елементів схеми, а в режимі зрушення екрана – напрямок зрушення.

Третя зона екрану – робоча зона, в ній здійснюють побудову схем і введення/виведення числових даних. Для спрощення маніпуляцій при кресленні схеми, дану зону розділено на комірки, в які поміщаються обрані з меню елементи. При розрахунках струмів у складних схемах, які не уміщаються на одному екрані, робоча зона є “вікном”, яке може переміщатися для перегляду цікавлячих частин розрахункової схеми.

Після завантаження програми “GTCURR” командне меню автоматично встановлюється в режим рисування (“+”) елементів схеми, орієнтованих, як показано в меню обладнання, і можна приступати до набору схеми. Для цього необхідно вказати локатором комірку з необхідним типом обладнання, яке буде поміщено в робочу зону екрана, і натиснути ліву клавішу “миші”. Потім вказати в робочій зоні його місце розташування і знову натиснути ліву клавішу “миші”. Для рисування сполучних ліній потрібно вибирати в робочому меню відповідний режим, а потім у робочій зоні вказати початкову і кінцеву точку з’єднання. Одна лінія з’єднує не більш двох точок на схемі. Приєднувати елементи схеми можна лише до кінцевих точок ліній. Лінії можуть бути тільки горизонтальними чи вертикальними.

Після вказівки початкової точки локатор з’єднується з нею “гумовою ниткою”, що підвищує наочність креслення. Якщо початкову точку обрано помилково, то натиснувши праву клавішу “миші”, можна відмовитись від рисування лінії. Для видалення частин схеми необхідно в режимі видалення “-” вказати локатором на видалений елемент або початкову (кінцеву) точку лінії у відповідності до режиму “елемент/лінія”.

Введення параметрів елементів розрахункової схеми.

Після того як схему побудовано, необхідно задати режим введення параметрів і повернути локатор в робочу зону. В режимі введення параметрів можна виділити дві ситуації: первинне введення і корегування. При первинному введенні програма автоматично вимагає почергового введення параметрів для всіх елементів схеми в порядку зростання їхніх номерів. При цьому елемент, параметри якого вводяться, підсвічується, а на екрані з’являється вікно з необхідними параметрами і їх значеннями, що задаються за замовчуванням. Параметр, що вводять в даний момент, підсвічується.

Користувач може відкоригувати будь-які параметри. Для цього необхідно за допомогою стрілок клавіатури вибрати необхідний параметр і ввести необхідне

значення, натиснувши потім “Введення”. Введене значення підсвітиться у вікні параметрів, а підсвічування автоматично переміститься до наступного параметру. Аналогічно вводиться позначення елемента. Завершення введення параметрів для кожного елемента здійснюється одиночним натисканням клавіші “Введення”. Так як у багатьох випадках системи, що розраховуються містять багато ідентичних елементів (наприклад, шість однакових генераторів), то для забезпечення введення параметрів для кожного типу елементів після чергового ведення параметрами “за замовчуванням” стають останні введені значення.

Для корегування (або перегляду) параметрів окремого елемента, після того, як параметри всіх елементів схеми введено, необхідно указати цей елемент локатором, після чого його буде підсвічено, і з’явиться вікно із значеннями його параметрів. Дії по корегуванню параметрів також аналогічні описаним вище.

Розрахунок токів КЗ

Після введення параметрів елементів схеми можна задати локатором точку КЗ (лівою клавішею “миші”) або у місцях з’єднань елементів, або на сполучних лініях. Її місце розташування позначиться ламаною стрілкою та програма запросить значення середньої номінальної напруги в точці КЗ, значення власного часу відключення вимикача ($t_{от.сб}$) та повний час відключення з обліком часу дії релейного захисту ($t_{от}$). Після їх введення, значення періодичної складової і ударного струму для кожної галузі, пов’язаної з вузлом КЗ, і їх сумарні значення висвічуються на екрані, а також заносяться в протокол розрахунку. При не нульових значеннях $t_{от.сб}$ і $t_{от}$ програма здійснює розрахунок асиметричного струму відключення й інтеграла Джоуля для вибору комутаційної апаратури. Для продовження роботи з програмою потрібно натиснути клавішу “Введення”. Якщо точка КЗ вказана в зоні, яка не належить схемі, то видається повідомлення “точка КЗ вказана невірною”. Після розрахунку струмів у вузлі КЗ, можна переглянути значення струмів у будь-яких елементах схеми, вказавши локатором (правої клавіші “миші”) гілку, струми в якій Вас цікавлять.

У програмі передбачена можливість збереження розрахункових схем в файлах для наступної роботи з ними. Для того, щоб зберегти схему в файлі, потрібно вибрати відповідний режим в командному меню, після чого з’явиться вікно з питанням “Ім’я файлу?”. У відповідь на це повідомлення користувач повинний задати ім’я файлу й натиснути “Введення”. Опис схеми й введених параметрів елементів будуть записані на диск. Надалі користувач може повернутися до обробки заповненої схеми, обравши режим читання з файлу і задавши відповідне ім’я файлу, після чого схема з’явиться на екрані. Для завершення роботи з програмою потрібно указати локатором у командному меню режим “×” і натиснути праву клавішу миші.

Документування розрахунків

При роботі з програмою користувач може одержати копію розрахункової схеми (видима на екрані частина), вибравши режим “лист”, або схему з результатами, натиснувши клавішу “р”, коли на екран виведено розрахункову таблицю.

Після розрахунку струмів в обраній точці програма автоматично формує протокол розрахунків, що заносяться в файл з ім’ям *work.txt*. Цей файл і підлягає

потім роздрукувати.

Порядок виконання роботи

1. Набрати на робочій зоні монітора розрахункову електричну схему, запропоновану викладачем, і ввести параметри її елементів.

2. Задати по черзі локатором точки КЗ, зазначені викладачем, і одержати на екрані значення періодичної складової і ударного струму для кожної гілки, пов'язаної з вузлом КЗ, і їхні сумарні значення. Записати номери точок КЗ і значення струмів у них і гілках.

3. Зробити зміни в параметрах елементів розрахункової електричної схеми за рекомендацією викладача й одержати нові значення струмів у тих же точках.

4. Зробити зміни в структурі розрахункової електричної схеми за рекомендацією викладача й одержати наступні значення струмів у тих же точках.

5. Зробити висновок про вплив на величину струмів КЗ зроблених змін.

Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи повинний містити:

1. Короткий опис роботи;
2. Досліджувану розрахункову схему з параметрами її елементів із вказівкою місць і номерів точок КЗ;
3. Значення періодичної складової та ударного струму для кожної гілки, що примикає до вузла КЗ, і їх сумарні значення для всіх точок КЗ та всіх змін;
4. Аналіз отриманих результатів;
5. Висновки.

Контрольні запитання

1. Що таке розрахункова схема?
2. Основні елементи розрахункової схеми.
3. Параметри елементів розрахункової схеми.
4. Що таке схема заміщення?
5. Чим схема заміщення принципово відрізняється від розрахункової схеми?
6. Яким чином здійснюється перехід від розрахункової схеми до схеми заміщення?
7. Чим відрізняється наближене приведення від точного?
8. Що таке відносна величина?
9. Що таке базисні величини і як їх вибирають?
10. Як перейти від іменованих величин до відносних величин при базисних умовах?
11. Як перейти від відносних величин при номінальних умовах до відносних величин при базисних умовах?
12. Як перейти від відносних величин до іменованих величин?
13. Методи розрахунку струмів КЗ.
14. Яким методом можна розрахувати струм у точці КЗ для довільного моменту часу в заданій гілці?
15. Якими параметрами задаються в схемі заміщення генератори при розрахунку струму в початковий момент КЗ?
16. Якими параметрами задаються в схемі заміщення генератори при розрахунку сталого струму КЗ?
17. Якими параметрами задаються в схемі заміщення генератори при розрахунку струму КЗ за методом спрямлених характеристик?
18. Як впливає навантаження на величину початкового та сталого струмів КЗ?

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Винославский В. Н., Пивняк Г. Г. и др. Переходные процессы в системах электроснабжения. - М.: Энергоатомиздат, 2003. – 550с.
2. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab-6.0. - Санкт–Петербург: Корона принт, 2001. – 320с.
3. Дьяков А. Ф. Гибридные тренажеры в энергетике. - М.: МЭИ, 1994. - 212с.
4. Рожкова Л. Д. Козулин В. С. Электрооборудование станций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
5. Ульянов С. А. Электромагнитные переходные процессы. -М.: Энергия, 1970. – 520 с.
6. Черных И. В. Simulink среда создания инженерных приложений. - М.: Диалог МИФИ, 2004. - 490с.
7. Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / Под ред. Б. Н. Неклепаева. – М.: НЦ ЭНАС, 2001. – 152 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
з курсу

«ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ»

(для студентів 3, 4 курсів денної і 4 курсу заочної форм навчання
за напрямом підготовки 6.050701 "Електротехніка та електротехнології",
а також для слухачів другої вищої освіти
за спеціальністю "Електротехнічні системи електроспоживання")

Укладачі: **ПІСКУРЬОВ** Михайло Федорович,
ШВЕЦЬ Сергій Вікторович

Відповідальний за випуск: *В.А. Маляренко*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *Н. В. Зражевська*

План 2012, поз. 294-М

Підп. до друку 18.02.2013

Друк на ризографі

Тираж 50 пр.

Формат 60x84 1/16

Ум. друк арк. 2,0

Зам. № _____

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О.М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rektorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК №4064 від 12.05.2011р.