

УДК 621.316.925.4(045)

<sup>1</sup>О.І. Варченко, доц.  
<sup>2</sup>Ю.А. Смойловська, магістр  
<sup>3</sup>М.В. Дідковська, магістр

## АЛГОРИТМ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МРЗС-05 НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ МЕРЕЖ ПЕТРІ

Національний авіаційний університет

<sup>1</sup>E-mail: voi@nau.edu.ua<sup>2</sup>E-mail: smilic.j@mail.ru<sup>3</sup>E-mail: masha.didkovska@gmail.com

*Розглянуто алгоритм імітаційного моделювання системи релейного захисту МРЗС-05, використовуюваної на енергетичних об'єктах. Методом імітації обрано мережі Петрі. Виконано аналіз роботи МРЗС-05. Розроблено імітаційну модель роботи блоку прискорення.*

**алгоритм імітаційного моделювання, блок прискорення, імітаційна модель, мережі Петрі, мікропроцесорний пристрій захисту автоматики, контролю та управління присідань, система релейного захисту**

### Актуальність роботи

В енергетичних системах електроприлади електростанцій, електричні мережі та електроспорядження користувачів можуть пошкоджуватися та мати ненормальні режими.

Пошкодження здебільшого супроводжуються значним підвищенням струму та зниженням напруги в елементах енергосистеми.

Підвищений струм зумовлює велику кількість тепла, яке спричиняє руйнування в місці пошкодження та небезпечне нагрівання непом'якшених ліній та обладнання, по яких проходить струм.

Зниження напруги порушує нормальну роботу користувачів електроенергії та стійкість паралельної роботи генераторів та енергосистеми в цілому.

Ненормальні режими зазвичай призводять до відхилення величин напруги, частоти та струму від допустимих значень.

У разі зменшення частоти та напруги порушується нормальна робота користувачів та стійкість енергосистеми, а підвищення напруги та струму може пошкоджувати обладнання та лінії електропередач.

Таким чином, пошкодження порушують роботу енергосистеми та користувачів електроенергії, а ненормальні режими зумовлюють виникнення пошкоджень або розлад енергосистеми.

Для забезпечення нормальної роботи енергосистеми та користувачів електроенергії необхідно якнайшвидше від'єднати місце

пошкодження від неушкодженої мережі, відновлюючи нормальні умови роботи енергосистеми та користувачів.

Небезпечні наслідки ненормальних режимів також можна попередити, своєчасно виявивши відхилення від нормального режиму та впровадити заходи щодо його усунення, наприклад, знизити струм у разі його зростання, підвищити напругу, якщо вона знижується та ін.

У зв'язку з цим виникає потреба у створенні та використанні автоматичних пристроїв, які виконують відповідні функції та захищають систему й її елементи від небезпечних наслідків пошкоджень та ненормальних режимів.

Одним із таких пристроїв є розроблений підприємством «Київприлад» мікропроцесорний пристрій захисту, автоматики, контролю та керування присідань 6-35 кВ МРЗС-05.

**Мета роботи** – створення імітаційної моделі пристрою МРЗС-05 на основі мереж Петрі для подальшого її використання для розроблення віртуального симулятора МРЗС-05.

### Використання МРЗС-05 у системах релейного захисту

Пристрої серії МРЗС-05 використовують як пристрої релейного захисту, автоматики та релестрації на з'єднаннях з рівнями напруги від 6 до 35 кВ. Розпорядженням Міністерства України №64-Д від 10.11.99 р. пристрої серії МРЗС-05 мають дозвіл для використання в розподільних мережах енергокомпаній. Натепер усі модифікації при-

строїв сертифіковано.

Мікропроцесорний пристрій захисту, автоматики, контролю і керування приєднань 6–35 кВ МРЗС-05 призначено для таких цілей:

- захисту від міжфазних коротких замикань;
- захисту від струму нульової послідовності промислової частоти;
- захисту від мінімальної напруги;
- захисту від максимальної напруги;
- вимкнення суміжних живильних приєднань у разі відмови силового вимкнення приєднання, на якому сталося коротке замикання;
- автоматичного повторного ввімкнення приєднання після його відімкнення від пристрою захисту;
- автоматичного вимкнення приєднання зі зниженням частоти в мережі нижче заданої.

Проаналізуємо алгоритм роботи блока прискорення як приклад аналізу проведеного для всіх блоків МРЗС-05.

Як метод імітаційного моделювання систем релейного захисту можна використовувати теорію мереж Петрі, яка передбачає три основні напрями досліджень:

- загальну теорію мереж, яка формалізує базові поняття, вивчає взаємозв'язок між різними класами мереж і класами реальних систем, обґрунтовує метод дослідження мереж, установлює зв'язок апарату мереж з іншими розділами математики;

– спеціальну теорію мереж, яка вивчає власне мережі Петрі як математичні об'єкти, їх властивості, правила конструювання і перетворення;

– додатки мереж до конкретних завдань аналізу і синтезу дискретних систем [1].

Використання теорії мереж Петрі для моделювання системи релейного захисту дозволяє визначити:

- ефективність функціонування системи;
- можливість виникнення похибок і аварійних ситуацій;
- наявність у системі потенційно вузьких місць;
- можливість оптимізувати будову системи, шляхом заміни або видалення деяких її компонентів, не порушуючи при цьому її загального функціонування;
- можливість використовуючи систему, сконструювати на її основі складнішу, що відповідає заданим вимогам.

### Аналіз блока прискорення

Блок прискорення призначено для швидкого відімкнення з'єднання у разі ввімкнення його на коротке замикання від автоматичного повторного вмикання або від ручного вмикання. Функціональну схему блока прискорення, який реалізований програмно, показано на рис. 1.

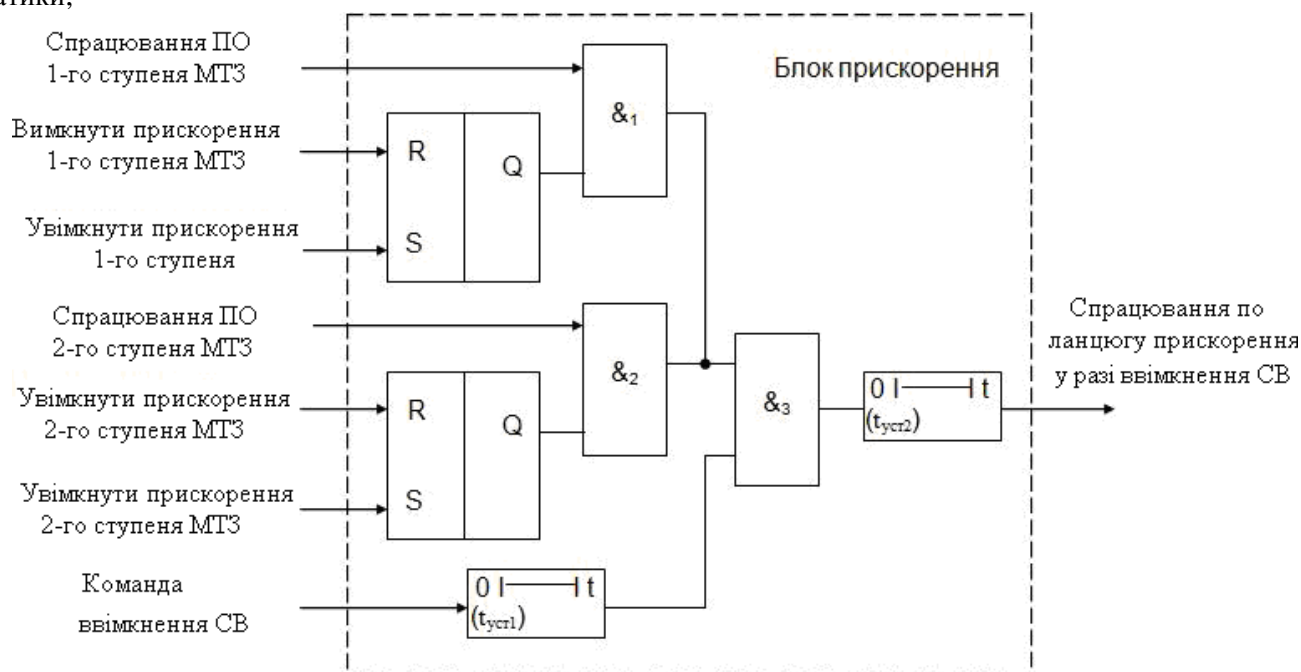


Рис. 1. Функціональна схема блока прискорення

Блок прискорення має уставки за часом уведення прискорення і часом прискорення.

З появою команди не ввімкнення силового вмикача (СВ) запускається таймер уведення прискорення на заданий час  $T_{в.пр.}$ . Якщо відбувається ввімкнення на коротке замикання або коротке замикання до часу  $T_{в.пр.}$ , то зі спрацюванням пускових органів відповідних (вибраних користувачем) рівнів захисту відбувається пуск таймера прискорення, який через установлений час дає команду на відімкнення вмикача з часом, що є значно меншим за час спрацювання відповідних (прискорюваних) ступенів.

Система релейного захисту блокує елементи системи, частиною якої вона є, залежно від вхідної дії. Як вхідний сигнал можуть бути значення струму, напруги, потужності, частоти. Для кожного типу захисту визначальними характеристиками є [2]:

- струм спрацювання;
- час відсікання, що блокує напругу;
- коефіцієнт чутливості.

До цього блоку входять такі елементи:

- тригер МТЗ, що регулює ввімкнення міжфазових коротких замикань;
- логічні елементи «І»;
- затримки за часом.

Затримки за часом встановлюються як уставки. Затримки за часом зазвичай, вибирають за ступінчастим принципом. Згідно з цим принципом кожний наступний ступінь, розташований ближче до джерела живлення, повинен мати витримку часу більшу, ніж попередній, на величину ступеня селективності, тобто

$$t_n = t_{n-1} + \Delta t, \quad (1)$$

де  $t_n$  – затримка часу  $n$ -го захисту в напрямі до джерела живлення;

$t_{n-1}$  – затримка часу захисту, що має номер на одиницю менший;

$\Delta t$  – ступінь селективності.

Ступінь селективного захисту повітряного вмикача з незалежною характеристикою становить 0,4–0,45 с, із залежною – 0,5–0,6 с. Ступінь селективного захисту масляного вмикача з незалежною характеристикою становить 0,5–0,6 с, із залежною – 0,6–0,8 с.

На підставі наведеної схеми розробимо алгоритм роботи блока прискорення для створення віртуального імітатора блока (табл. 1).

Таблиця 1

Алгоритм роботи блока прискорення

Вхідні дані	Результат
<Спрацювання ПО1> = 1, <Увімкнуті прискорення 1> = 1 (на виході тригера 1)	Суматор $_1 = 1$
<Спрацювання ПО1> = 1, <Вимкнуті прискорення 1> = 1 (на виході тригера 0)	Суматор $_1 = 0$
<Спрацювання ПО1> = 0, <Увімкнуті прискорення 1> = 1 (на виході тригера 1)	Суматор $_1 = 0$
<Спрацювання ПО> = 0, <Вимкнуті прискорення 1> = 1 (на виході тригера 0)	Суматор $_1 = 0$
<Спрацювання ПО2> = 1, <Увімкнуті прискорення 2> = 1 (на виході тригера 1)	Суматор $_2 = 1$
<Спрацювання ПО2> = 1, <Вимкнуті прискорення 2> = 1 (на виході тригера 0)	Суматор $_2 = 0$
<Спрацювання ПО2> = 0, <Увімкнуті прискорення 2> = 1 (на виході тригера 1)	Суматор $_2 = 0$
<Спрацювання ПО2> = 0, <Вимкнуті прискорення 2> = 1 (на виході тригера 0)	Суматор $_2 = 0$
Суматор $_1 = 1$ , Суматор $_2 = 1$ , $t > t_{\text{вер1}}$	Суматор $_3 = 1$
Суматор $_1 = 0$ , Суматор $_2 = 0$ , $t > t_{\text{вер1}}$	Суматор $_3 = 0$
Суматор $_1 = 1$ , Суматор $_2 = 1$ , $t < t_{\text{вер1}}$	Суматор $_3 = 0$
Суматор $_1 = 0$ , Суматор $_2 = 0$ , $t < t_{\text{вер1}}$	Суматор $_3 = 0$
Суматор $_3 = 1$ , $t > t_{\text{вер2}}$	<Спрацювання по ланцюгу прискорення> Блок не спрацює Блок не спрацює Блок не спрацює
Суматор $_3 = 0$ , $t > t_{\text{вер2}}$	
Суматор $_3 = 1$ , $t < t_{\text{вер2}}$	
Суматор $_3 = 0$ , $t < t_{\text{вер2}}$	

Мережі Петрі є інструментом дослідження систем. Аналіз мереж Петрі допомагає отримати важливу інформацію про структуру й динамічну поведінку системи, що моделюється. Ця інформація є корисною для оцінювання системи й висунення пропозицій щодо її вдосконалення й зміни. Мережі Петрі розроблялися для моделювання таких систем, які містять взаємодійні паралельні компоненти [1; 3].

Мережу Петрі для блока прискорення МРЗС-05 показано на рис. 2. Значення кожної позиції й переходу наведено в табл. 2.

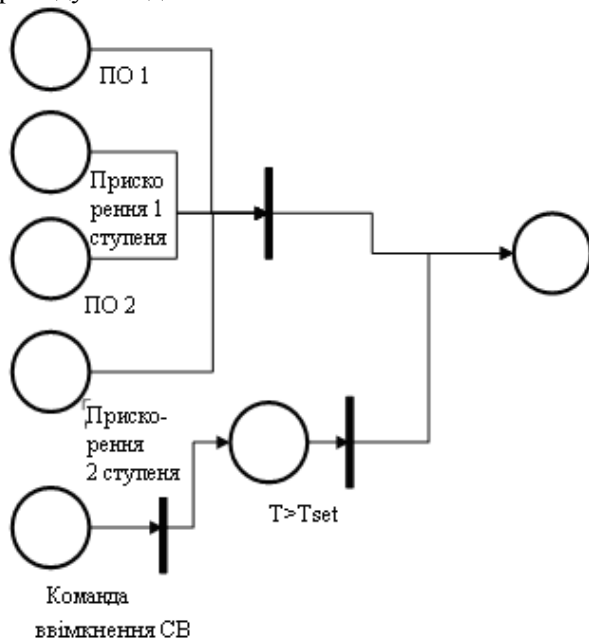


Рис. 2. Детальна мережа Петрі блока прискорення МРЗС-05

Таблиця 2

#### Інтерпретація мережі Петрі моделі блока прискорення

Елемент мережі Петрі	Інтерпретація
ПО 1	Спрацювання пускового органа 1
ПО 2	Спрацювання пускового органа 1
Прискорення 2-го ступеня	Увімкнено прискорення 2-го ступеня МТЗ
Прискорення 1-го ступеня	Увімкнено прискорення 1-го ступеня МТЗ
Команда увімкнення СВ	Команда увімкнення СВ
$T > T_{set}$	Перевищення уставки за часом

У процесі проектування релейного захисту використовують ряд комплексів програмного забезпечення розрахунків режимів навантажень, аварійних робіт мережі уставок спрацювання окремих захистів.

Найбільш поширеними програмами моделювання систем релейного захисту в країнах СНД є комплекси АРМ СРЗА (модифікація – ТКЗ-3000) фірми БПЗ (Новосибірськ), V-vi-50ПЗ Київського інституту електродинаміки, системи GPSS, ARENA, Em-plant, QUEST, Automod, WITNESS, Promodel, Simul8, Iss2000, Crystal Ball, Anylogic, НЕДІС-90, Rastrwin, Мустанг, Дакар, СДО [2; 4].

Завданням імітаційного моделювання систем релейного захисту є:

- оптимізація втрат режимів;
- розрахунок струмів коротких замикань;
- розрахунок перехідних процесів;
- оцінювання стану основного електричного ланцюга;
- оцінювання показників надійності.

Завдання оптимізації втрат полягає в мінімізації втрат активної потужності в ефективній мережі й уведення режиму в допустимі області градієнтним методом з урахуванням обмежень за напругою і реактивною потужністю генерації.

Розрахунок струмів коротких замикань призначений для розрахунку перехідних і надперехідних, симетричних і несиметричних коротких замикань за однократною несиметрією.

Для розрахунків застосовують метод симетричних складових.

Розрахунок перехідних процесів дозволяє моделювати тривалі перехідні процеси з урахуванням зміни частоти за різних комутацій і подій, що відбуваються в системі.

Оцінювання стану під час моделювання полягає в оцінюванні стану основної електричної мережі для досягнення максимально наближеного режиму до реального.

Показники надійності оцінюють для визначення основних показників надійності в імовірнісному вигляді, що дає змогу надалі оцінити вартісні показники надійності.

### Висновки

Використання алгоритму мереж Петрі під час моделювання роботи МРЗС-05 і подальшого аналізу цієї мережі полягає в отриманні важливої інформації про структуру і динамічну поведінку модельованої системи. Ця інформація використовується для оцінювання модельованої системи і вироблення пропозицій з її удосконалення.

### Література

1. *Котов В.Е.* Сети Петри / В.Е. Котов. – М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. – 160 с.

2. *Кривенков В.В.* Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учеб. пособие для вузов / В.В. Кривенков, В.Н. Новелла – М.: Энергоиздат, 1981. – 328 с.

3. *Литвинов В.В.* Методы построения имитационных систем / В.В. Литвинов, Т.П. Марьянович. – К.: Наук. думка, 1991. – 120 с.

4. *Томашевский В.* Имитационное моделирование в среде GPSS / В. Томашевский, Е. Жданова. – М.: Бестселлер, 2003. – 416 с.

Стаття надійшла до редакції 29.01.10.

**О.И. Варченко, Ю.А. Смойловская, М.В. Дидковская**

### АЛГОРИТМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МРЗС-05 НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Национальный авиационный университет

**алгоритм имитационного моделирования, блок ускорения, имитационная модель, сети Петри, микропроцессорное устройство защиты автоматики, контроля и управления соединений, система релейной защиты**

В энергетических системах на электроприборах электростанций, в электрических сетях и на электрооборудовании пользователей могут возникать повреждения и ненормальные режимы. В связи с этим создаются и используются автоматические устройства защиты системы и ее элементов от опасных последствий повреждений и ненормальных режимов. Предметом исследования в работе является микропроцессорное устройство защиты, автоматики контроля и управления соединений 6-35 кВ МРЗС-05. Цель работы – разработка имитационной модели устройства МРЗС-05 на основе сетей Петри для дальнейшего ее использования при разработке виртуального симулятора МРЗС-05. В качестве метода имитационного моделирования системы релейной защиты использована теория сетей Петри. Как пример анализа всех блоков МРЗС-05 проанализирован алгоритм работы блока ускорения. Разработан алгоритм работы блока ускорения для создания виртуального имитатора блока. Определено, что имитационное моделирование систем релейной защиты позволяет оптимизировать потери, токи коротких замыканий, рассчитать переходные процессы, состояние основной электрической цепи, оценить показатели надежности. Использование алгоритма сетей Петри при моделировании работы МРЗС-05 и дальнейшего анализа этой сети позволяет получать важную информацию о структуре и динамическом поведении моделируемой системы. На основании этой информации оценивается моделируемая система и формируются предложения по ее усовершенствованию.

**Oleg I. Varchenko, Yuliya A. Smoylovska, Maria V. Didkovska**

### ALGORITHM OF IMITATION MODELING OF MP3C-05 ON THE BASE OF PETRI NETWORKS USAGE

National Aviation University

**algorithm of imitation modeling, block of acceleration, imitation model, a microprocessor device of defence, automation, control and management of connections, Petri networks, relay protection system**

On the electric devices of the electric stations of the power systems, in electric networks, on electric equipment of users there can be a damage and crackpot modes. In this connection the automatic devices of defence of the system and her elements from the hazard effects of damages and crackpot modes are created and used. The article of research in the scientific publication is a microprocessor device of defence, automation, control and management of connections of 6–35 kV of MP3C-05. A purpose of scientific publication is creation of imitation model of device MP3C-05 on the basis of Petri networks usage for her further using for creation of virtual simulator of MP3C-05. A method of imitation modeling of the relay protection system is use the theory of Petri networks. In the scientific publication an analysis of algorithm of operation of block of acceleration is shown as an example of analysis conducted for all blocks of MP3C-05. The algorithm of operation of block of acceleration is created for creation of virtual imitator of block. It is marked, that the imitation modeling of the systems of relay defence allows to optimize losses, define the currents of short circuits, define transients, estimate the state of basic electric chain, estimate indexes of reliability. It is established, that using of algorithm of Petri networks for the modeling of operation of MP3C-05 and further analysis of this network consists in the receipt of important information about a structure and dynamic conduct of the modeling system. Estimation of the modeled system and producing of suggestions in relation to her improvement is carried out on the basis of this information.