

В. В. Химич
Б. П. Пограничний
О. Є. Рубаненко

ЗАХИСТ ЛІНІЙ 6 КВ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ АЕС ВІД ПОДВІЙНИХ ЗАМКНЕНЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі розглянуті особливості експлуатації високовольтних мереж власних потреб АЕС, що працюють з ізольованою нейтраллю. В середовищі «Matlab» Simulink розроблена комп'ютерна модель фрагмента мережі власних потреб 6 кВ, яка містить трансформатори власних потреб, електричний двигун, лінії власних потреб, шини та інше електричне обладнання. Модель дозволяє досліджувати струми та напруги в елементах схеми з метою визначення та обґрунтування причин помилкової роботи максимального струмового захисту ліній електропередач 6 кВ власних потреб АЕС. Розраховано струми замкнень при металічному замкненні на землю з частково заземленими і повністю незаземленими нейтралями трансформаторів.

Ключові слова: атомна електрична станція, АЕС, власні потреби, однофазне замикання на землю, вимикач, подвійні замкнення на землю, лінії електропередачі, електромережа.

Abstract

The paper considers the features of operation of high-voltage networks of NPPs operating with an isolated neutral. In the Matlab Simulink environment, a computer model of a fragment of a 6 kV network of NPPs was developed, which contains transformers of NPPs, an electric motor, NPP lines, buses and other electrical equipment. The model allows to study currents and voltages in circuit elements in order to determine and substantiate the reasons for the erroneous operation of the maximum current protection of 6 kV power transmission lines of NPPs. The fault currents in the event of a metallic fault to ground with partially grounded and completely ungrounded transformer neutrals were calculated...

Keywords: nuclear power plant, nuclear power plant, own needs, single-phase ground fault, circuit breaker, double ground faults, power lines, power grid.

Вступ

Забезпечення надійності та безпеки обладнання АЕС, зокрема системи живлення власних потреб, яка підтримує критичні функції, такі як охолодження реактора та аварійні механізми, є основою безпеки станцій. Використання комп'ютерного моделювання дозволяє підвищити ефективність налаштувань та стабільність цих систем.

Новизна роботи полягає в розробці комп'ютерної моделі фрагменту схеми власних потреб 6 кВ АЕС в графічному середовищі програмування Simulink на основі пакету прикладних програм для числового аналізу MATLAB.

Розроблена модель дозволяє досліджувати струми та напруги в моделях ліній, в трансформаторів, моделі електричного двигуна, та в іншому електричному обладнанні які є складовими елементами розробленої комп'ютерної моделі під час однофазних та подвійних замкнень на землю.

Це дає змогу моделювати аварійні ситуації, зокрема короткі замикання, та проводити детальний аналіз можливої роботи захисту ліній, трансформаторів та шин.

Таке моделювання дозволяє своєчасно виявляти потенційні проблеми та оптимізувати алгоритми роботи систем, що знижує ризики несправностей.

Практична цінність таких моделей полягає у підвищенні надійності енергозабезпечення, що важливо для запобігання аваріям і збоїв, пов'язаних з пошкодженнями обладнання власних потреб (ВП) АЕС [1]. Моделювання допомагає прогнозувати поведінку системи у різних умовах і своєчасно відключати пошкоджені ділянки, що гарантує безпеку АЕС та безперебійне постачання енергії для критичних споживачів, таких як лікарні та військові об'єкти.

Застосування комп'ютерного моделювання в аналізі системи живлення власних потреб АЕС є важливим кроком до підвищення надійності та безпеки атомної енергетики України, що має стратегічне значення для енергетичної безпеки держави.

Результати досліджень

За допомогою Matlab розроблено модель трифазної мережі 24/6 кВ відповідно до схеми рис. 1.

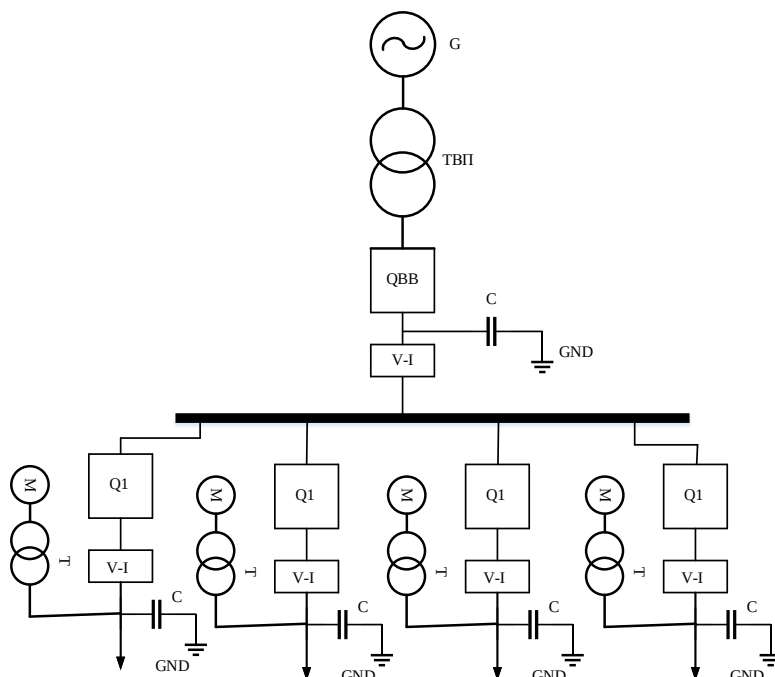


Рисунок 1 - Схема фрагменту мережі власних потреб АЕС

Провівши моделювання замкнень на землю фази А лінії 1, спостерігаємо, що максимальний приріст струму при однофазному КЗ в лінії складає 2641 А, а робочий струм 202 А. Звідси випливає, що відбувається максимальне зростання струму в фазі лінії 6 кВ приблизно в 13,07 раз (рис. 2 та рис. 3.).

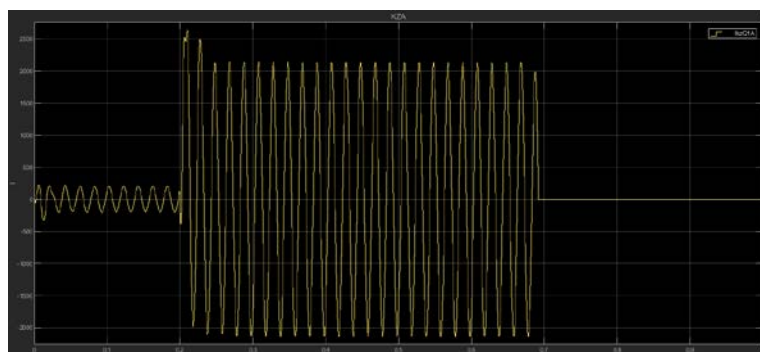


Рисунок 2 – Струм на лінії 1 при КЗ на фазі А повний масштаб

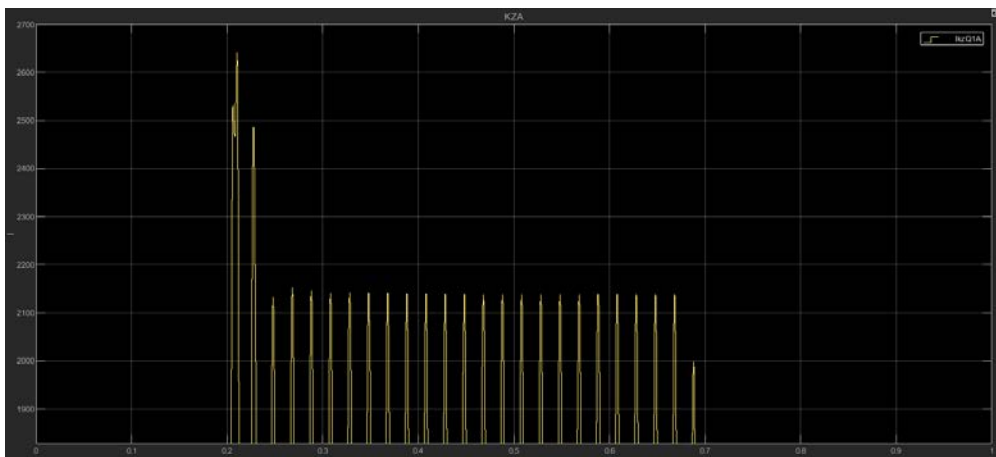


Рисунок 3 – Струм на лінії 1 при КЗ на фазі А менший масштаб

Схожа ситуація у фазі В на лінії 2: струм КЗ становить 1680 А, а робочий 200 А. Звідси випливає, що максимальне зростання струму під час к.з порівняно з робочим струмом - в 8,4 раз рис. 4. Разом з тим, ми бачимо, що захист ліній спрацьовує селективно та вимикає пошкоджену лінію.

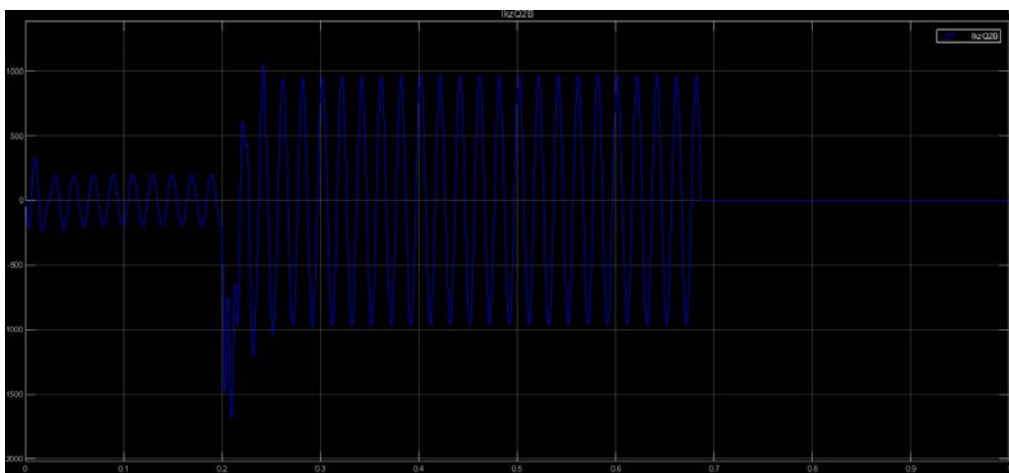


Рисунок 4 – Струм на лінії 2 при КЗ на фазі В повний масштаб

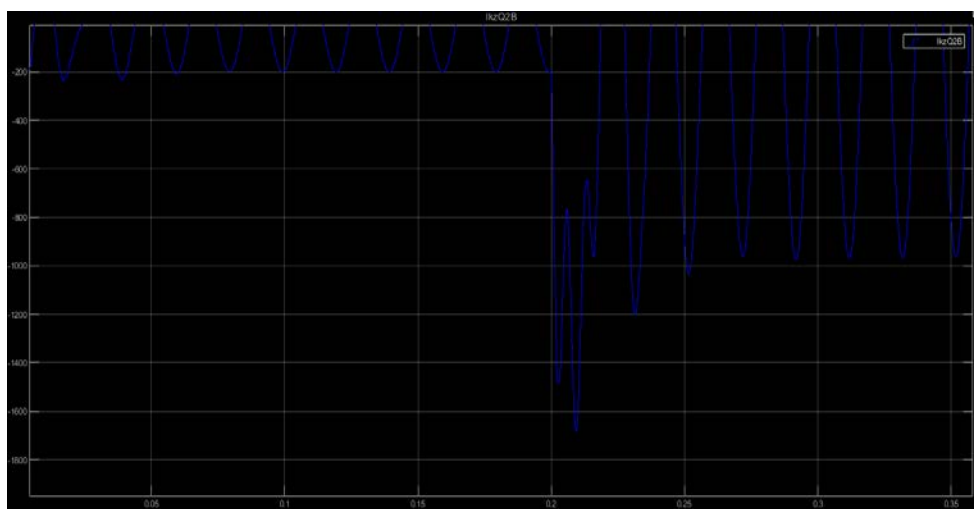


Рисунок 5 – Струм на лінії 2 при КЗ на фазі А менший масштаб

Не часто, але трапляється так, що струм на ТВП зростає швидше і більше, ніж у пошкодженій лінії. Змодельємо таку ситуацію, змінивши певні параметри мережі рис. 6,

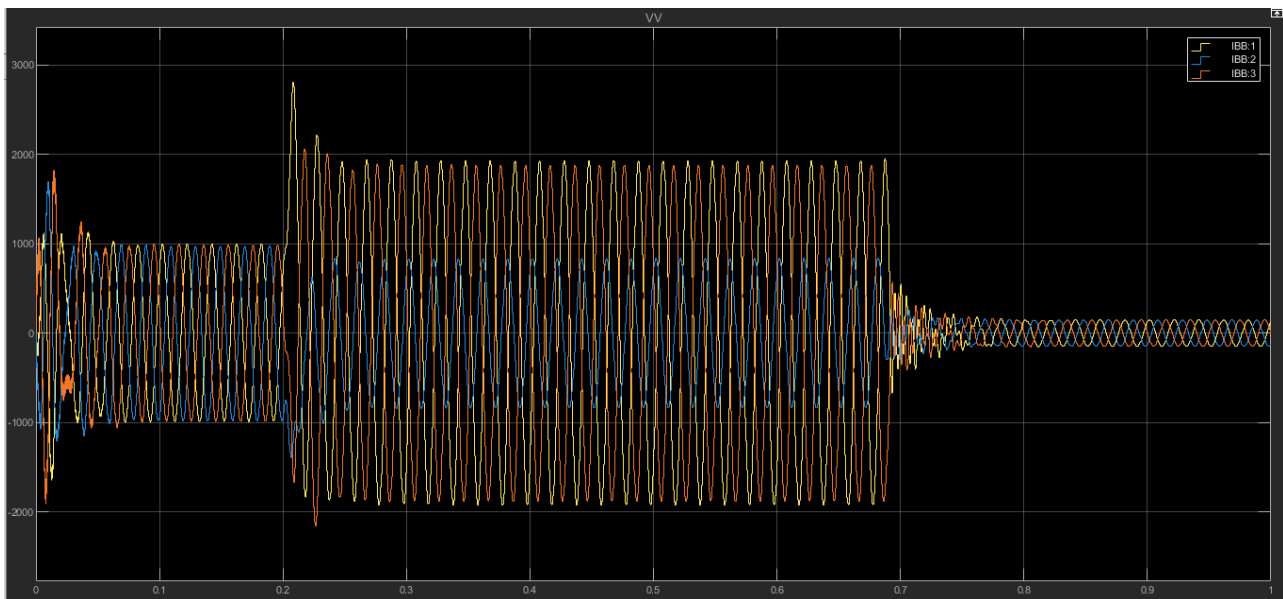


Рисунок 6 – Осцилограма струмів на трансформаторів ВП повний масштаб

Ми спостерігаємо на рис. 6, що максимальний приріст струму КЗ відбувся за 0,008 с на фазі А, де приріст струму становить 2806 А на ТВП. Якщо порівняти з рис.2 ми побачимо, що максимальний приріст струму становить 2641 А, що менше ніж у ТВП на 165 А. У нас вдалося відтворити рідкісну ситуацію, і це може призвести до помилкового спрацювання МСЗ, що відключить вимикач або ТВП. Щоб уникнути цього, необхідно, щоб спочатку відключився фідерний вимикач і відключилися лінії, які живлять механізми ВП, а живлення механізмів власних потреб здійснювалося від резервного джерела. Тому час спрацювання захисту ліній, які живлять механізми ВП, має бути швидшим за час спрацювання резервного захисту, який захищає трансформатор ВП.

Для розглянутих прикладів спрацювання МСЗ лінії в першому випадку відбудеться селективно, а в другому випадку захист спрацює помилково. Спочатку відключиться ввідний вимикач, а потім фідерний вимикач. Відключення ввідного вимикача викликає знеструмлення не лише пошкоджених ліній, а і справних ліній.

Висновок

Умови забезпечення селективної роботи МСЗ ЛЕП для досліджуваного варіанту ЛЕП не завжди забезпечуються. Для зменшення помилкових відключень ЛЕП 6 кВ, необхідно так збільшити час спрацювання МСЗ, який діє на ввідний вимикач на підстанціях на стороні 6 кВ, щоб ввідний вимикач 6 кВ спрацював пізніше, ніж будь який з фідерних вимикачів досліджуваної підстанції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пограничний Б. П., Рубаненко О. С. Захист повітряних ліній електропередач 10-220 кВ від замикань. *Матеріали ЛПІ науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2024)* : збірник доповідей [Електронний ресурс]. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – (PDF, 2774 с.) ISBN 978-617-8132-10-5 С. 2166-2167
2. Пограничний Б. П., Рубаненко О. С. Дослідження подвійних замикань на землю в мережах 10 кВ з ізольованою нейтраллю. *Current challenges of science and education. Proceedings of the 5th International scientific and practical conference. MDPC Publishing. Berlin, Germany. 2024. Pp. 21-27.* URL: <https://sci-conf.com.ua/v-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-current-challenges-of-science-and-education-15-17-01-2024-berlin-nimechchina-arhiv/> ISBN 978-3-954753-05-5
3. Проективання електричної частини електричних станцій: навчальний посібник/ П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, В. В. Тептя. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 194с.
4. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем: навч. посібник / в. п. Кідиба. – Львів; Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 504 с.

Пограничний Богдан Петрович – студент, факультет електроенергетики, електромеханіки та електротехніки. Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bogdan.pogr@gmail.com

Химич Владислав Вадимович студент, факультет електроенергетики, електромеханіки та електротехніки. Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vlad90123456@gmail.com

Рубаненко Олександр Євгенійович – канд. техн. наук, професор кафедри електричних станцій та систем. Вінницький національний технічний університет.

Bohdan P. Pohranychnyi - student, Faculty of Electrical Power Engineering, Electromechanics, and Electrical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: romanicdre@gmail.com

Oleksandr Y. Rubanenko - Ph.D. in Technical Sciences, Professor of the Department of Electric Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Hhymych V. Vadymovych is a student at the Faculty of Electrical Engineering, Electromechanics and Electrical Engineering. Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vlad90123456@gmail.com