

В. В. ВОЛОХІН, канд. техн. наук, доцент, СумДУ, Суми;
М. В. ПЕТРОВСЬКИЙ, канд. фіз.-мат. наук, доцент,
 СумДУ, Суми;
С.Ю. ШЕВЧЕНКО, к-т техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»;
О. О. ІВАНОВ, аспірант, СумДУ, Суми;
С. О. ІВАНОВ, студент, СумДУ, Суми;
О. І. ІГНАТОВА, студент, СумДУ, Суми

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРЯМЛЕНОГО ДИСТАНЦІЙНОГО ЗАХИСТУ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ PSCAD/EMTDC

Моделювання напрямленого дистанційного захисту лінії електропередач реалізоване в програмному комплексі PSCAD/EMTDC, а також порівняно дві характеристики спрацювання дистанційного органу, а саме кругову і багатокутну. Розроблений алгоритм пускового органу, який завдяки контролю векторного приросту струмів зворотної послідовності запобігає фальшивим спрацюванням при коливаннях електричної системи і асинхронному ході генераторів.

Ключові слова: моделювання, дистанційний захист, дистанційний орган, пусковий орган, коливання, асинхронний хід.

Постановка проблем та аналіз літератури. Надійність функціонування електроенергетичних систем в нормальних і особливо аварійних і після аварійних режимах значною мірою визначається правильністю роботи засобів релейного захисту та автоматики (РЗА), у тому числі дистанційного захисту (ДЗ), що застосовується в якості основного і резервного захисту ліній електропередачі, резервних захистів автотрансформаторів [2]. Дистанційний принцип також використовується при реалізації захистів від втрати синхронізму синхронних генераторів, в пристроях автоматики ліквідації асинхронного режиму і в ряді інших засобів РЗА. При цьому згідно узагальненої статистики неправильне функціонування РЗА, що спричинило аварійні зміни експлуатаційного стану або режиму роботи зазначених елементів електроенергетичних систем, в 25 відсотках випадків служить причиною важких аварій. Оскільки поломки, дефекти, помилки персоналу, стихійні лиха в даній статистиці також враховані, основною причиною неправильного функціонування РЗА є невідповідність їхнього налаштування конкретним режимним умовам [5].

© В. В. Волохін, М. В. Петровський, О. О. Іванов, С. О. Іванов, О. І. Ігнатова, 2015

В силу того, що натурні експерименти в електроенергетичних системах, особливо аварійного характеру, як правило, не припустимі, а також зважаючи на надмірні складності повноцінного фізичного моделювання електроенергетичних систем, основним інструментом для налаштування і аналізу функціонування РЗА є математичне моделювання електроенергетичних систем.

Мета роботи – Змоделювати дистанційний релейний захист в програмному комплексі PSCAD/EMTDC; порівняти найбільш розповсюджені типи характеристик спрацювання ДЗ; експериментально дослідити реалізовану модель для підтвердження справедливості основних теоретичних положень.

Основна частина. Для дослідження ДЗ нами було обрано лінію електропередач з номінальною напругою 220 кВ виконаною проводом марки АС-300/39. Ця система живиться від двох джерел. Схема заміщення електричної мережі, що зображена на рисунку 1 відповідає системі змодельованій в програмному комплексі PSCAD/EMTDC (рис. 2) до якої входять наступні компоненти: В1, В2 – Three-Phase Breaker (імітує функцію трифазного електричного вимикача); М1, М2 – Multimeter (елемент, який вимірює основні електричні величини); блоки АВ, ВС, CD – Line Configuration (імітують відповідні ділянки лінії електропередач); S – Fixed Load (імітує функцію трифазного електричного навантаження); KZ – Three-Phase Fault (використовується для імітації пошкоджень в трифазній мережі змінного струму); RS – Rotary Switch (виконує функцію перемикача на десять позицій виду короткого замикання).

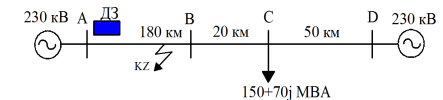


Рис. 1 – Схема заміщення електричної мережі

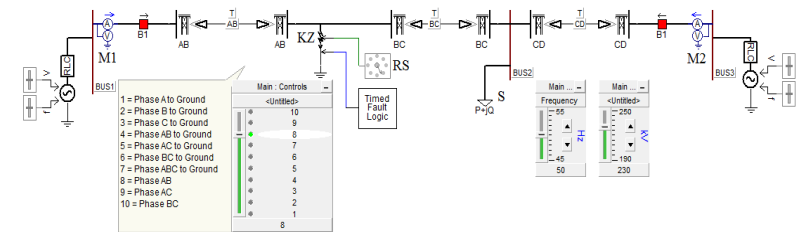


Рис. 2 – Схема для імітації пошкоджень лінії електропередач

Матиматична модель повітряної лінії електропередач враховує положення провідників відносно землі, величину стріли підвісу, та наявність грозозахистних тросів, параметри ґрунту.

Для побудови даного захисту ми використовували наступні компоненти вибрані з бібліотеки PSCAD\MTD: Fast Fourier Transform розкладає вхідний сигнал, в нашому випадку струм захищеної схеми фази А, Б, С, на значення амплітуд гармонічних складових та відповідні значення фази зсуву; Sequence Filter здійснює лінійне перетворення вхідних значень амплітуд і фаз струмів в величини, пропорційні симетричним складовим трифазної системи у вигляді модуля і фазного кута; у блоці Line to Ground Impedance відбувається розрахунок фазних та міжфазних опорів; Формування умов спрацьовування полягає в завданні координат точок характеристики спрацьовування - уставки органу опору Trip Polygon.

Під час виконання даної роботи нами було порівняно два види характеристик спрацьовань дистанційного органу (ДО) кругову і багатокутну (рис. 3).

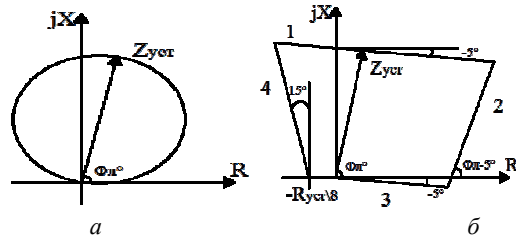


Рис. 3 – Характеристики ДО: а – кругова; б – багатокутна

На вигляд цієї характеристики впливає безліч факторів:

- перехідний опір в місці пошкодження;
- вплив режиму навантаження;
- вплив режиму хитань і асинхронного ходу.

Наявність цих факторів потребує як розширення області спрацьовання ДО для забезпечення охоплення можливих пошкоджень, так і звуження цієї області для забезпечення неспрацьовування при пошкодженнях поза захищеної зони і в режимах відсутності пошкоджень.

Кругова характеристика є найбільш розповсюдженою оскільки її побудова і експлуатація є найлегшими. В свою чергу багатокутна має такі переваги: сторона 1- забезпечує підвищення селективності ДЗ при дугових замиканнях; сторона 2 – зменшує вплив перехідного опору;

сторона 3 – забезпечує спрацьовання при близьких коротких замиканнях (КЗ) від місця установки ДЗ; сторона 4 – враховує похибки ДО в статичному і динамічному режимах [4].

В якості показника, що характеризує швидкодію ДО ми використовували залежність часу спрацьовання ДО від співвідношення опору між місцем установки ДЗ і місцем КЗ до опору захищеної ділянки лінії, тобто коефіцієнта αk , який розраховується за такою формулою:

$$\alpha k = \frac{Z_k}{Z_l}$$

де Z_k - опір ділянки лінії від місця установки захисту до місця КЗ;

Z_l - опір захищеної ділянки лінії.

Експериментально порівнявши дві вище згадані характеристики можна зробити висновок (рис. 4), що час спрацьовання ДО з багатокутною характеристикою менший ніж у круговій при будь-якому виді короткого замикання. Тому у подальших розрахунках будемо опиратись саме на багатокутну характеристику.

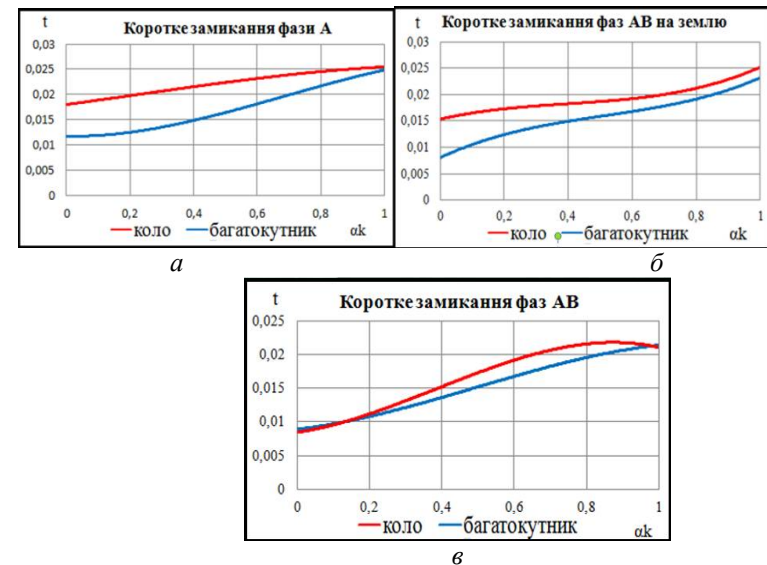


Рис. 4 – Порівняння характеристик спрацьовання ДО: а – коротке замикання фази А; б – коротке замикання фаз А, В на землю; в – міжфазне коротке замикання

Для усунення помилкового спрацювання при хитаннях та асинхронному ході генераторів запропоновано алгоритм, який базується на виділенні векторного приросту струму зворотної послідовності.

На рис. 5, а) зображено векторну діаграму струмів зворотної послідовності в момент КЗ на початку і вкінці проміжку часу. Різниця між цими струмами і є показником режиму КЗ. Осцилограма приросту струмів зворотної послідовності зображено на рисунку 5, б).

Даний алгоритм був реалізований в програмі PSCAD за допомогою наступних блоків (рис.6): 1 – інерційний орган; 2 – компаратор; 3 – утримувач сигналу; 4 – сума/різниця сигналів; 5 – дійсна константа; 6 – утворювач синусоїдального сигналу.

Підчас асинхронного ходу генераторів ДО спрацює майже миттєво без КЗ. В свою чергу сигнал ПО його блокує. При асинхронному ході генераторів і КЗ між фазами АВ подається сигнал на спрацювання ДЗ.

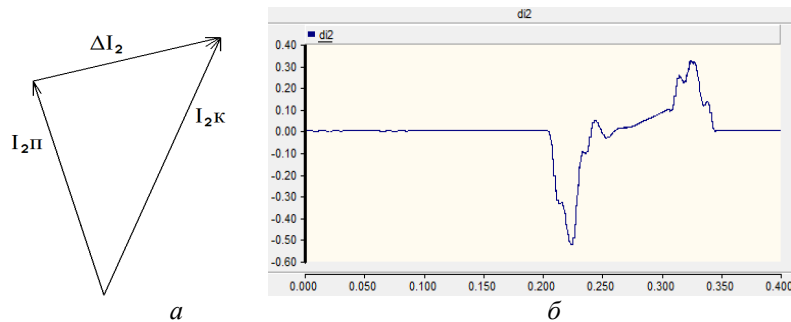


Рис. 5 – Характеристики ДО: а – векторний приріст струму зворотної послідовності; б – приріст струму зворотної послідовності при КЗ між фазами АВ

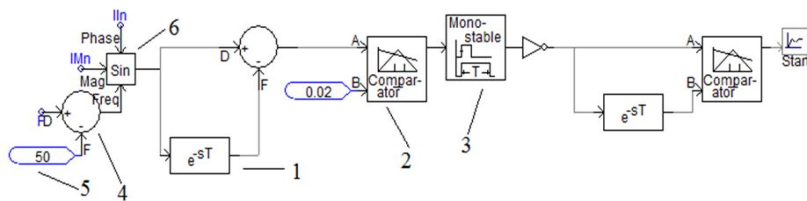


Рис. 6 – Принцип побудови ПО

На рисунку 7 показана залежність часу спрацювання від коефіцієнта αk . З цієї залежності можна зробити висновок, що час спрацювання ДЗ при асинхронному ході і різних видах КЗ максимально відповідає часу спрацювання реального ДЗ.

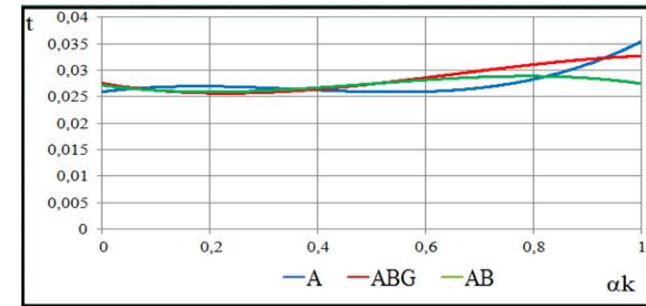


Рис. 7 – Залежність часу спрацювання ДЗ при асинхронному ході генераторів і різних видах КЗ

Висновки. Запропонована математична модель дозволяє в режимі реального часу проводити різноманітні маніпуляції над розробленою схемою та спостерігати всі процеси, які відбуваються в системі. Всі процеси, що відбуваються в математичній моделі відповідають тим процесам, що проходять в реальній системі. Було експериментально доведено, що багатокутна характеристика є більш точною у порівнянні з круговою. Багатокутна характеристика дозволяє зменшувати вплив перехідного процесу, підвищувати селективність ДЗ при дугових замиканнях, забезпечувати спрацювання при близьких КЗ від місця установки ДЗ, враховувати похибки ДО в статичному та динамічному режимах. Запропонований алгоритм роботи ДО, дозволяє виключити хибні спрацювання ДЗ в режимі асинхронного ходу та хитання електричної мережі, завдяки контролю приросту струму зворотної послідовності.

Список літератури: 1. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем / Федосеев А. М. – М. : Москва, 1992. – 266 с. 2. Александров А.М. Дифференциальные защиты трансформаторов / Александров А. М. – М. : Санкт-Петербург, 2005. – 216 с. 3. Циглер Г. Цифровые устройства дифференциальной защиты. Принципы и область применения / Циглер Г. – Под ред. А.Ф.Дьякова. – Энергоиздат, 2005. – 273с. 4. Шнейерсон Э.М. Цифровая релейная защита / Шнейерсон Э.М. – М. : Энергоатомиздат, 2007. – 549с. 5. Ершов Ю.А. Электроэнергетика. Релейная защита и автоматика: учеб. пособие по курсовому проектированию релейной защиты и автоматики ЭЭС на базе

микропроцессорных устройств/ *Ершов Ю.А., Халезина О.П., Малеева А.В., Перехватов Д.П.* – Красноярск: ИПК СФУ, 2011. – 82с. **6.** *Кривенко В.В.* Релейная защита и автоматика систем электроснабжения/ *Кривенко В.В., Новелла В.Н.* – М.: Энергоиздат, 1981. – 328с.

Bibliography (transliterated): **1.** Fedoseev A.M. *Relejnaja zashhita elektroenergeticheskikh sistem* 1992. Print. **2.** Aleksandrov A.M. *Differecial'nye zashhity transformatorov* Sankt-Peterburg, 2005. Print.. **3.** Cigler G. *Cifrovie ustrojstva differencial'noj zashhity. Principy i oblast' primenija.* – Moscow. Jenergoizdat, 2005. Print. **4.** Shneerson Je.M. *Cifrovaja relejnaja zashhita* Shneerson Je.M. – М. : Jenergoatomizdat, 2007. – 549s. **5.** Ershov Ju.A. Halezina O.P., Maleeva A.V., Perehvatov D.P. *Jelektrojenergetika. Relejnaja zashhita i avtomatika: ucheb. posobie po kursovomu proektirovaniju relejnoj zashhity i avtomatiki JeJeS na baze mikroprocessornyh ustrojstv* Ershov Ju.A., – Krasnojarsk: IPK. 2011. Print. **6.** Krivenko V.V. *Relejnaja zashhita i avtomatika sistem jelektrosnabzhenija.* Moscow Jenergoizdat, 1981. Print..

Поступила (received) 29.04.2015