

АНАЛІЗ АПЕРІОДИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ СТРУМУ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА СПРАЦЮВАННЯ ЗАХИСТІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто аперіодичну складову струму короткого замикання як невід'ємний елемент перехідного електромагнітного процесу в електричних мережах середньої напруги. Проаналізовано фізичну природу виникнення аперіодичної складової, чинники, що визначають її амплітуду та тривалість, а також вплив цієї складової на алгоритми та чутливість релейного захисту. Показано, що ігнорування аперіодичної складової може призводити до спотворення вимірюваних значень струмів та помилок у роботі захистів, особливо максимальних струмових і диференціальних.

Ключові слова: аперіодична складова, струм короткого замикання, перехідні процеси, релейний захист, електричні мережі.

Abstract

The paper investigates the aperiodic (DC) component of the short-circuit current as an inherent part of transient electromagnetic processes in medium-voltage power networks. The physical nature of the DC component origin, factors affecting its magnitude and decay, and its influence on protection system operation are analyzed. It is shown that neglecting the aperiodic component may lead to distorted current measurements and incorrect operation of protective relays, particularly overcurrent and differential protections.

Keywords: aperiodic component, short-circuit current, transient processes, relay protection, power networks.

Вступ

Режими короткого замикання є найбільш небезпечними з точки зору електромагнітних навантажень на елементи електричних мереж та обладнання підстанцій. У момент виникнення аварійного режиму в системі розвивається складний перехідний процес, який супроводжується появою як періодичної, так і аперіодичної складових струму. Саме аперіодична складова визначає максимальні миттєві значення струмів і, відповідно, механічні та термічні дії на струмоведучі частини.

У практиці розрахунків і налаштувань релейного захисту часто використовуються спрощені моделі струмів короткого замикання, які не повною мірою враховують вплив аперіодичної складової. За наявності сучасних мікропроцесорних захистів, що здійснюють цифрову обробку сигналів, вплив перехідних складових набуває особливого значення. Це обумовлює актуальність детального аналізу аперіодичної складової струму короткого замикання та оцінки її впливу на спрацювання захистів.

Дослідження

Перехідний електромагнітний процес у фазі електричної мережі при виникненні короткого замикання характеризується різкою зміною режиму роботи елементів кола та перерозподілом енергії електромагнітного поля. У цей момент струм не може миттєво набутися усталеного синусоїдального характеру, що зумовлює появу аперіодичної складової, яка накладається на періодичну складову струму короткого замикання[2].

З математичної точки зору струм короткого замикання може бути поданий у вигляді суми синусоїдальної складової та експоненційно спадної аперіодичної складової. Остання визначається початковими умовами в колі та параметрами індуктивних елементів[1]. Фізично це пояснюється законом електромагнітної інерції, відповідно до якого струм в індуктивності зберігає своє миттєве значення в момент комутації.

Величина аперіодичної складової істотно залежить від моменту виникнення короткого замикання відносно фази напруги. Найбільш несприятливий випадок має місце тоді, коли замикання відбувається поблизу нульового значення миттєвої напруги[3]. У такій ситуації аперіодична складова досягає максимального значення, що призводить до значного зсуву струму відносно осі часу та формування великих пікових значень струму в перші напівперіоди аварійного режиму[2].

Тривалість існування аперіодичної складової визначається сталою часу електричного кола, яка пропорційна відношенню індуктивного опору до активного. У мережах середньої напруги, де активні опори ліній і трансформаторів є відносно малими, аперіодична складова може зберігатися протягом декількох періодів промислової частоти. Це особливо характерно для мереж з великою довжиною ліній та значною часткою індуктивних навантажень [2].

Наявність аперіодичної складової безпосередньо впливає на роботу пристроїв релейного захисту. Для максимальних струмових захистів вона може спричиняти завищення миттєвих і діючих значень струму, що призводить до прискореного або неселективного спрацювання. У ступеневих захистах це ускладнює забезпечення необхідної часової селективності між суміжними захистами [1].

Особливо чутливими до аперіодичної складової є диференційні захисти трансформаторів і генераторів. Аперіодична складова струму призводить до несиметричного намагнічування осердя трансформатора струму, що може викликати його насичення[3]. У результаті з'являються спотворені вторинні струми, які неадекватно відображають реальний режим роботи об'єкта захисту, що підвищує ймовірність хибних спрацювань

У сучасних мікропроцесорних пристроях релейного захисту застосовуються цифрові методи обробки сигналів, орієнтовані переважно на виділення періодичної складової струму[2]. Проте на початковій ділянці перехідного процесу значна аперіодична складова може призводити до помилок у визначенні діючих значень та фазових кутів. Це обумовлює необхідність використання спеціальних алгоритмів фільтрації, адаптивних часових затримок або методів компенсації аперіодичної складової.

Таким чином, аналіз аперіодичної складової струму короткого замикання є важливою складовою дослідження перехідних процесів в електричних мережах. Коректне урахування цієї складової дозволяє підвищити точність розрахунків аварійних режимів і забезпечити надійну та селективну роботу систем релейного захисту.

Висновок

Аперіодична складова струму короткого замикання є визначальним фактором формування миттєвих значень струмів у початковий момент аварійного режиму та істотно впливає на роботу комутаційної апаратури і релейного захисту. Її амплітуда та тривалість залежать від параметрів електричної мережі та моменту виникнення пошкодження. Ігнорування аперіодичної складової при розрахунках і налаштуваннях захистів може призводити до помилкових або неселективних спрацювань. Урахування фізики перехідних процесів і застосування адекватних математичних моделей дозволяє підвищити достовірність розрахунків струмів короткого замикання та надійність систем релейного захисту загалом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бардик Є. І. Перехідні електромагнітні процеси в електричних мережах / навчально-методичне видання. — Київ: КПІ, 2022. — 26-28 с. <https://ela.kpi.ua/bitstreams/02decfbf-7d1c-4244-8b09-2932ae10c42a/download>
2. Кошкін Д. Л. Перехідні процеси в електричних мережах при коротких замиканнях / електронний ресурс. – 2025.-7-59с. <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/21266/1/PEREHIDNI%20PROCESI%20G3%20prakt.pdf>
3. Сірий, Д., Молчанова, К., & Дев'яткіна, С. (2024). Перехідний струм трифазного короткого замикання. Scientific Collection «InterConf+», (47(209), 400–411. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.07.2024.038>

Кірілов Олексій Ігорович – студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, група 1ЕСМ-226, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oleksik2005@gmail.com

Тептя Віра Володимирівна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: teptyavira@gmail.com

Kirilov Oleksii Ihorovych – student, Faculty of Electrical Power Engineering and Electromechanics, group 1ESM-226, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oleksik2005@gmail.com

Teptia Vira V. - Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the department of electric power stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: teptyavira@gmail.com