

УДК 621.316

## МОДЕЛЬ ЗАВАД В КОНТУРІ НУЛЬОВОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ З НЕЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ

В.А.Лисенко,

Донецький національний технічний університет,

вул. Артема, 58, Донецьк, 83001, Україна.

e-mail: Victorl@ukr.net

*Проаналізовано причини виникнення сигналів у контурі нульової послідовності електричних мереж з незаземленою нейтраллю. Досліджено літературу, яка містить інформацію про можливі джерела завад, що можуть потрапити в контур нульової послідовності. Викладено результати практичних досліджень у реальних розподільних електричних мережах. Проаналізовано параметри завад, які практично спостерігалися. Запропоновано математичну модель таких завад та принципи побудови систем автоматики і захисту від однофазних замикань на землю, які усувають або зменшують вплив завад. Бібл. 4.*

**Ключові слова:** нульова послідовність, шум, однофазні замикання на землю, завади.

З метою підвищення надійності електропостачання і покращення умов експлуатації мереж напругою 6–35 кВ застосовуються: 1. Автоматична компенсація ємнісного струму однофазного замикання на землю (ОЗЗ) (дозволяє знизити струм ОЗЗ). 2. Селективна система захисту або сигналізації ОЗЗ (дозволяє зменшити час роботи мережі в режимі ОЗЗ). Дані заходи не є альтернативними, але ефективно проведення заходу за п.1 суттєво ускладнює реалізацію п.2. Доцільним є спільний розгляд проблем за п.1 і п.2, оскільки як джерело інформації в обох випадках використовуються сигнали (напруги, струми) нульової послідовності (НП).

Напруга НП визначається: а) несиметрією ємностей фазних провідників мережі відносно землі; б) несиметрією активних опорів ізоляції фазних провідників відносно землі; в) фазними напругами мережі, оскільки явища за п.1 і п.2 призводять до того, що в контур НП потрапляють фазні напруги в тій чи іншій мірі. Відповідно фазні напруги залежать також від фазних струмів навантаження. У процесі нормальної експлуатації мережі величина несиметрії опорів і ємностей може змінюватися відповідно до технологічного процесу в результаті зміни конфігурації мережі. Всі раніше перераховані напруги вважаємо «завадами» або «шумом» (у даному тексті ці терміни використані як синоніми), на фоні яких присутні «корисні» сигнали, що зазвичай виникають через штучно введені струми, які несуть інформацію про настроювання компенсації ємнісних струмів.

Аналіз сигналів у контурі НП у системах релейного захисту і автоматики, як правило, проводиться в часовій області. Також застосовуються окремі види аналізу і в частотній області (наприклад, векторні діаграми) для однієї частоти. Оскільки рівень завад в контурі НП надзвичайно високий, інтерпретація корисних сигналів є досить складною [3]. На погляд автора, спростити модель процесів у контурі НП можна: по-перше, будуючи її в частотній області, а, по-друге, при цьому доцільно перейти від детерміністичного погляду до статистичного. Статистичний підхід не є типовим для систем релейного захисту і автоматики, але в умовах завад його ефективність вища.

У цьому випадку відкривається можливість використання потужного апарату цифрової обробки сигналів. Як правило, громіздкість алгоритмів обмежується необхідністю роботи систем релейного захисту і автоматики в реальному часі. Однак, у випадку автоматичного регулятора компенсації припустимим є час реакції системи тривалістю в десятки, а іноді і сотні секунд. Для систем захисту від ОЗЗ часові обмеження значно менш жорсткі, ніж, наприклад, для систем захисту від коротких замикань.

Загальновідомо, що основною складовою завад у контурі НП є синусоїда частотою 50 Гц. Про інші складові в контурі НП можемо отримати інформацію завдяки великому обсягу досліджень якості електричної енергії [1], [2]. Якщо узагальнити ці дослідження в частотній області, можна зробити висновок, що частотні характеристики сигналів, які потрапляють в мережу, відповідають частотним характеристикам енергетичних процесів в електричному обладнанні. Також всі джерела сигналів можна умовно розділити на дві групи: періодичні і неперіодичні, останні мають безперервний спектр.

Зважаючи на те, що стан питання був опрацьований за іноземними «джерелами», автором було проведено практичне дослідження спектру напруги НП у місцевих мережах. Вимірювання проводилися в мережі 6 кВ, що живилася трансформатором потужністю 10 МВА напругою 110/35/6 кВ з за допомогою існуючого на підстанції вимірювального трансформатора напруги. Результати експериментів показали, що за основу моделі завад в контурі НП доцільно взяти модель білого шуму з деякими уточненнями. Таким чином, можемо висунути гіпотезу про наявність у напрузі НП «білого» шуму, який породжується, ймовірно, великою кількістю взаємно некорельованих завад. Оскільки завади потрапляють в контур НП з фазних напруг, фактично відбувається інтегрування джерел завад енергетичною системою, яка має досить великий масштаб відносно окремих джерел завад, і відповідно маємо процес, який зі значною точністю відповідає теоретичній моделі білого шуму. Завади в напрузі НП доцільно представити у вигляді основних складових: білого шуму, синусоїдної складової на частоті 50 Гц, гармонік і субгармонік основної частоти. Така модель завад може бути використана для побудови системи автоматичного настроювання компенсації ємнісного струму замикання на землю, зокрема такого, яке спирається на визначення частоти вільних коливань у контурі нульової послідовності [4].

Шум, наявний в контурі НП, може бути використаний також з метою визначення напрямку потужності в контурі нульової послідовності, але не на одній частоті, а в смузі частот при побудові системи селективного захисту від ОЗЗ.

**Висновки:** 1. Завади в контурі НП з'являються в результаті несиметрії комплексних опорів ізоляції фазних провідників відносно землі, що призводить до потрапляння фазних напруг мережі в контур НП.

2. Запропоновано математичну модель завад у контурі нульової послідовності електричної мережі, відповідно до якої завади складаються з: білого шуму; синусоїди частотою 50 Гц; гармонік і субгармонік згаданої частоти; в окремих випадках інших специфічних складових.

3. Така модель дозволяє використовувати добре опрацьований математичний апарат обробки сигналів з метою вирішення задач автоматичного настроювання компенсації ємнісних струмів замикань на землю та забезпечення селективності захисту від однофазних замикань на землю.

4. Удосконалення моделі може здійснюватися в напрямку уточнення потужностей окремих складових.

1. *Arrillaga J., Watson N.R.* Power System Harmonics, Second Edition. – John Wiley & Sons, Ltd, 2003. – 389 p.

2. *Interharmonics: Theory and Modeling* // IEEE Task Force on Harmonics Modeling and Simulation. IEEE transactions on power delivery. – 2007. – Vol. 22. – №4. – Pp. 2335–2348.

3. *Nikiforov A.* The through simulation of devices on the basis of the structural linguistic method // IEEE Compatibility and Power Electronics (CPE), 7th International Conference-Workshop 2011. – 2011. – Pp. 50–55.

4. *Лисенко В.А.* Ідентифікація параметрів вільних коливань в контурі нульової послідовності компенсованої мережі // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика». – 2011. – Вип. 11(186). – С. 259–262.

УДК 621.316

**МОДЕЛЬ ПОМЕХ В КОНТУРЕ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ С НЕЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ**

**В.А.Лысенко, Донецкий национальный техн. университет, ул. Артема, 58, Донецк, 83001, Украина.**

*Проанализированы причины возникновения сигналов в контуре нулевой последовательности электрических сетей с незаземленной нейтралью. Исследована литература, содержащая информацию о возможных источниках помех, которые могут попасть в контур нулевой последовательности. Изложены результаты практических исследований в реальных распределительных электрических сетях. Проанализированы параметры практически наблюдаемых помех. Предложена математическая модель таких помех и принципы построения систем автоматики и защиты, которые устраняют или уменьшают влияние помех. Библ. 4.*

**Ключевые слова:** нулевая последовательность, шум, однофазные замыкания на землю, помехи.

**MODEL OF ZERO SEQUENCE NOISE IN SMALL CURRENT GROUNDING SYSTEM**

**V.A.Lysenko,**

**Donetsk National Technical University, Artema, 58, Donetsk, 83001, Ukraine.**

*The reasons of appearing signals in the zero-sequence electric circuit with ungrounded neutral are presented. The literatures containing information about possible sources of noise, which can get into the circuit zero-sequence are analyzed. The results of experiment in the real distribution electrical networks are presented. The parameters of noise, which are measured, are analyzed. The mathematical model of noise is offered. The principles of automation and single-phase earth fault protection that eliminate or reduce the impact of noise are proposed. References 4.*

**Keywords:** zero-sequence, noise, single-phase-to-earth fault, interference.

1. *Arrillaga J., Watson N.R.* Power System Harmonics, Second Edition. – John Wiley & Sons, Ltd, 2003. – 389 p.

2. *Interharmonics: Theory and Modeling.* IEEE Task Force on Harmonics Modeling and Simulation. IEEE transactions on power delivery. – 2007. – Vol. 22. – №4. – Pp. 2335–2348.

3. *Nikiforov A.* The through simulation of devices on the basis of the structural linguistic method // IEEE Compatibility and Power Electronics (CPE), 7th International Conference-Workshop 2011. – 2011. – Pp. 50–55.

4. *Lysenko V.A.* Identification of Parameters of Free Oscillations in the Network Zero-Sequence Circuit with Arcsuppression Coil // Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universytetu. Seriiia «Elektrotekhnika i energetyka». – 2011. – Vol. 11(186). – Pp. 259–262. (Ukr)

Надійшла 10.01.2012

Received 10.01.2012