УДК 621.316

В.А.Лисенко

ВПЛИВ ОПОРІВ ІЗОЛЯЦІЇ ФАЗ НА АМПЛІТУДНІ ТА ФАЗОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЕНСОВАНОЇ МЕРЕЖІ

Наведені результати експериментальних досліджень напруги нульової послідовності розподільчої мережі напругою 6 кВ. Виявлено вплив погодних умов, зокрема вітру, на параметри напруги нульової послідовності мереж, які містять повітряні лінії. Запропоновано шляхи зниження впливу погодних умов на роботу систем автоматики і захисту.

К л ю ч о в і с л о в а: розподільчі мережі, однофазні замикання на землю, параметри нульової послідовності.

Приведены результаты экспериментальных исследований напряжения нулевой последовательности распределительной сети напряжением 6 кВ. Выявлено влияние погодных условий, в частности ветра, на параметры напряжения нулевой последовательности сетей, которые содержат воздушные линии. Предложены пути снижения влияния погодных условий на работу систем автоматики и защиты.

К л ю ч е в ы е с л о в а: распределительные сети, однофазные замыкания на землю, параметры нулевой последовательности.

Постановка проблеми. Забезпечення надійної роботи електричних мереж напругою 6, 10 і 35 кВ з нейтраллю, заземленою через дугогасний реактор (ДР), пов’язано, як відомо, з підтримкою його в режимі резонансної настройки. Для визначення ступеня настройки ДР може бути використані принципи, які описані в монографії [1]. Майже всі вони засновані на використанні в якості інформаційного параметра напруги нульової послідовності мережі. Також напруга та інші параметри нульової послідовності часто використовуються системами захисту від однофазних замикань на землю. В Європі і Росії активно ведуться дослідження в напрямку удосконалення математичних моделей амплітудних та фазових властивостей, опорів постійному струму та інших параметрів контуру нульової послідовності розподільчих мереж з незаземленою нейтраллю, що свідчить, на наш погляд, про недостатній рівень відповідності існуючих математичних моделей фактичному стану речей.

Аналіз досліджень і публікацій. В [2 - 4] розглядаються моделі контуру нульової послідовності (КНП) електричної мережі з метою настройки ДР, причому в [2] з метою уникнення завад на частоті 50 Гц пропонується інжекція в КНП сигналів з іншою частотою. В роботах [5 - 7] КНП розглядається з точки зору захисту від однофазних замикань, причому, в [6, 7]

аналіз будується за допомогою векторних діаграм, активний опір різних непошкоджених фаз вважається однаковим і враховується шляхом розрахунку коефіцієнта добротності мережі.

В [8] запропоновано більш складну модель опору ізоляції розподільчої електричної мережі, яка була побудована на основі результатів практичного вимірювання активного опору шляхом накладання постійного оперативного струму. Ця модель має велику кількість параметрів, в т.ч. статистичних, а також враховує погодні умови, особливості навантаження мережі та інше. Показано, що вплив опору ізоляції на характеристики мережі може бути більш складним і суттєвим, опір ізоляції може змінюватись значно швидше, ніж змінюється погода. Однак ця модель була побудована з метою вивчення питань безпеки стосовно вибухів, пожарів і ураження людини електричним током, а також роботи системи захисту від витоків струму на землю, і тому не дозволяє безпосередньо аналізувати фазові і амплітудні характеристики КНП.

Мета статті. Удосконалення моделі компенсованої електричної розподільчої мережі для розрахунку амплітудних і фазових характеристик КНП з урахуванням впливу параметрів опору ізоляції фаз мережі.

Результати досліджень. Відповідно до мети дослідження з визначення параметрів математичної моделі та урахуванням того факту, що для роботи автоматичного регулятора, побудованого на фазовому [1, стр.186] або екстремальному [1,стр.198] принципі, використовується напруга зсуву нейтралі U_{30}, було проведено дослідження цього параметру в однієї із систем електропостачання (СЕП) в Донбасі. Напруга U_{30} вимірювалась в реальній компенсованій розподільчий мережі напругою 6 кВ, яка живилася від трансформатора потужністю 10 МВ·А, складалася з повітряних і кабельних ліній електропередач (ЛЕП) і живила підприємства і місто. Ємнісний струм замикання на землю знаходився в межах 15…25 А. Значення U_{30} за весь період спостереження в нормальному режимі дорівнювало 0,3 …7 В (середньоквадратичне значення), характерний стійкий рівень, зафіксований в 94 % всіх результатів вимірювань, був у межах 1,8…4,6 В.

Вимірювання напруги проводилось за допомогою вольтметра електромагнітної системи Э377, а реєстрація напруги нульової послідовності і однієї з лінійних напруг – за допомогою двоканального 16-розрядного аналого-цифрового перетворювача звукової карти «Realtek High Definition Audio» комп'ютера «ACER Aspire 5315». Дані записувались в стандартний «.wav» файл з частотою дискретизації 44100 Гц. По зареєстрованим даним визначався також кут між U_{30} і опорною фазною напругою за допомогою функцій «hilbert( )» і «angle( )» математичного пакету Matlab. Записи файлів проводились в червні 2011 року. Для побудови рисунків 1, 2, 3 використано один характерний файл даних тривалістю близько 7,7 с, який був записаний під час сильного вітру.

Невідповідністю моделі і процесів, які спостерігалися, була швидка (протягом секунд або часток секунд) і значна (до 100…200 %) зміна амплітуди U_{30} під час деяких вимірювань (рисунок 1). Після накопичення достатнього масиву інформації було з'ясовано, що таке явище спостерігається під час вітру, і викликане, ймовірно, тим, що гілки дерев, які розташовані поблизу повітряних ЛЕП під час сильного вітру доторкуються до проводів ЛЕП, що і викликає швидку і значну зміну активного опору ізоляції фаз на землю.

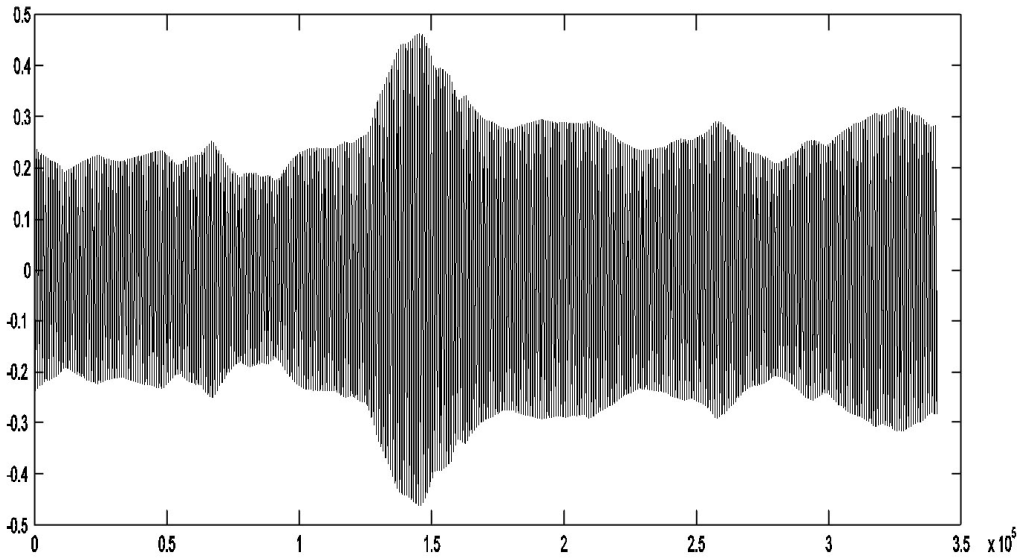

Рисунок 1 – Осцилограма напруги нульової послідовності в умовних одиницях (по горизонтальній осі – номер виміру)

Більш уважне дослідження цього явища показало, що разом з амплітудою також змінюється і фаза напруги U_{30}, (рисунок 2) що відповідає запропонованій моделі.

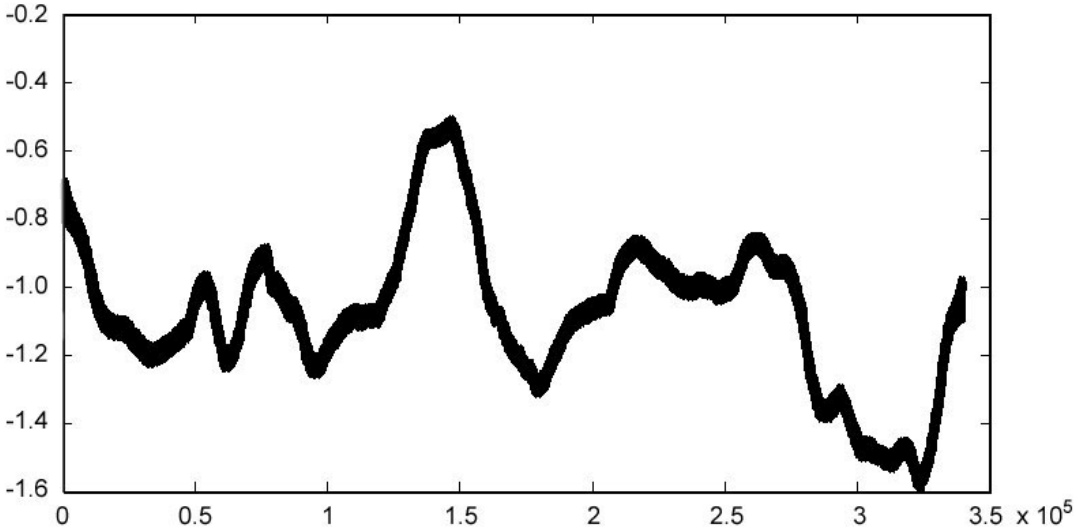

Рисунок 2 – Кут зсуву фаз в радіанах між напругою нульової послідовності і фазною напругою (по горизонтальній осі – номер виміру)

На рисунку 3 наведено траєкторію вектора U_{30} на комплексній площині, яка спостерігалася під час сильного вітру. На ньому можемо бачити, що фаза напруги U_{30} протягом 7,7 с змінювалась на 60 градусів і можливе значення такої зміни не обмежене. При більш тривалому періоді спостереження було з'ясовано, що цей процес є стаціонарним і його параметри залежать, ймовірно, від напрямку, сили, поривчастості вітру та іншого. Таким чином, найбільш прийнятною буде модель випадкового процесу з відповідними статистичними характеристиками (середнім значенням, дисперсією і автокореляційною функцією), оскільки врахування вищезгаданих погодних умов є окремою проблемою. Гіпотетично зауважимо, що зміна опорів фаз відбувається значно повільніше зміни фазної напруги, тобто протягом періоду однієї синусоїди фазної напруги (20 мс) суттєвої зміни опорів не відбувається, що випливає з рисунка 1. Це припущення також узгоджується з фізикою процесу механічного переміщення гілок дерев, який є значно повільним порівняно з періодом часу в 20 мс.

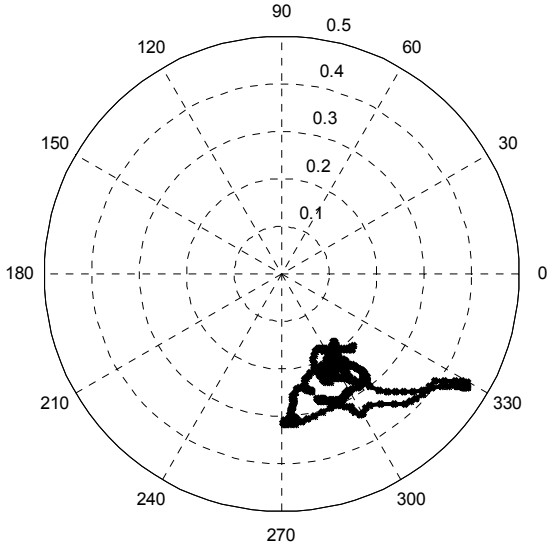

Рисунок 3 – Траєкторія вектора U_{30} під час сильного вітру

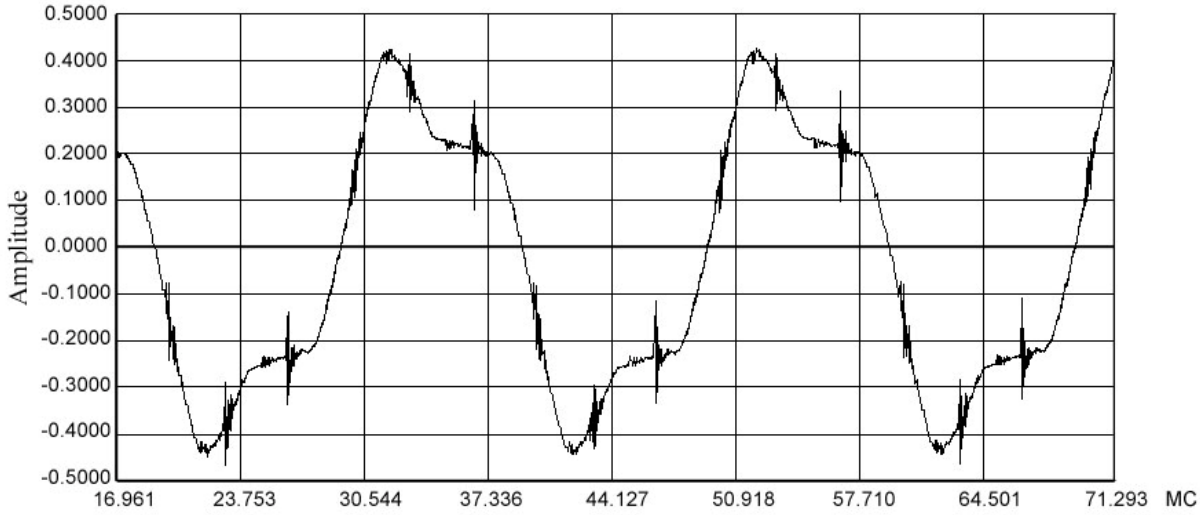

Рисунок 4 – Осцилограма U_{30}

Звертаємо увагу, що стаціонарність процесу спостерігається в межах часу, протягом якого суттєво не змінюється характер і сила вітру. Як тільки погодні умови змінюються, стаціонарність можливо не спостерігається і

слід чекати, що статистичні характеристики напруги нульової послідовності значно зміняться.

Під час спостереження виявлені особливості, які не знаходять відображення в моделях [1 - 8]. Зокрема, в деяких випадках спостерігалось суттєве відхилення напруги U_{30} від синусоїди (рисунок 4), що має бути відображено в математичній моделі шляхом введення джерела струму адитивної завади.

Аналізуючи рисунок 4, можемо зробити висновок про наявність значної складової третьої гармоніки, а також високочастотної імпульсної завади, яка повторюється 6 раз за період основної частоти і викликана, ймовірно, потужним напівпровідниковим перетворювачем, що живиться від цієї мережі.

В [8] були зроблені висновки про значний вплив на напругу зсуву нейтралі реверсорів шахтних підйомних машин, що живляться від цієї мережі. Практично з цього витікає необхідність дуже ретельної фільтрації напруги U_{30} перед тим, як переходити до аналізу фазових і амплітудних характеристик, математична модель яких була розроблена стосовно основної гармоніки частотою 50 Гц [3, 5-7].

Виходячи з вищевикладеного, для аналізу процесів в контурі нульової послідовності розподільчої мережі, яка включає повітряні ЛЕП, можна використати такі альтернативні прийоми:

а) окремо враховувати комплексні опори фазних провідників відносно землі кожної фази і передбачати можливість їх швидкої зміни при відповідних погодних умовах;

б) допускати наявність адитивної перешкоди в складі напруги нульової послідовності (наприклад, «білого шуму»), при чому рівень такої перешкоди може значно зростати при певних погодних умовах.

Висновки:

1. На основі спостережень та результатів експериментів з'ясовано, що погодні умови, зокрема, сильний вітер, можуть створювати значні перешкоди для роботи автоматичних регуляторів настройки ДР і систем релейного захисту, що використовують як інформаційний параметр фазу або амплітуду напруги зсуву нейтралі в розподільчих мережах, де є повітряні ЛЕП.

2. Гіпотетично це явище викликається торканням гілок дерев, що знаходяться поблизу ліній, до провідників. Можливо також, що відбувається тільки наближення гілок, яке викликає зміну ємності і відповідно реактивного опору провідників відносно землі.

3. Для розробки і дослідження автоматичних регуляторів настройки ДР і систем релейного захисту від замикань на землю необхідно використовувати модель, яка враховує можливість швидких несиметричних змін комплексних опорів фазних провідників на землю.

4. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на визначення статистичних характеристик комплексних опорів провідників фаз відносно землі, а також на з'ясування, яким є співвідношення змін активної і ємнісної складових цих опорів.

Список літератури

1. Сирота И.М. Режимы нейтрали электрических сетей/ Сирота И.М., Кисленко С.Н., Михайлов А.М.– К.:Наукова думка, 1985.-264с.

2. Druml G. Seifert O. New method for the state evaluation of the zero-sequence system/ 15th Power Systems Computation Conference (PSCC) August 22-26, 2005 Liège, Belgium Session 39, Paper 2, p.1–7.– Режим доступу: http://www.montefiore.ulg.ac.be/services/stochastic/pscc05/papers/fp549.pdf

3. Petersen Coil Regulators Analysis Using a Real-Time Digital Simulator / Brenna, M. De Berardinis, E. Delli Carpini, L. Paulon, P. Petroni, P. Sapienza, G. Scrosati, G. Zaninelli, D. Dept. of Energy, Politec. di Milano, Milan, Italy. Power Delivery, IEEE Transactions July 2011 Volume: 26 Issue: 3 page(s): 1479 – 1488.

4. Лисенко В.А. Ідентифікація параметрів вільних коливань в контурі нульової послідовності компенсованої мережі / В.А. Лисенко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика». Вип. 11 (186).– Донецьк, 2011. – С. 259–262.– Режим доступу:
http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Npdntu_eie/2011_11/259.pdf

5. Active earthing system to optimize power quality in MV networks / Amezua, A.; Gutierrez, I.; Santamaria, G.; Pazos, F.J.; Garcia, J.M.; Buigues, G.; Electrical Power Quality and Utilisation, 2007. EPQU 2007 Barcelona. 9th International Conference on 9-11 Oct. 2007, p.1–6.

6. Neutral voltage and current dependency on fault impedance value in medium voltage networks / Franković, D.; Marušić, A. The 16th International DAAAM symposium 19-22nd October 2005.– Режим доступа:
http://bib.irb.hr/datoteka/218235.DAAAM_Clanak.pdf

7. Использование проводимости цепи нулевой последовательности для защиты распределительных сетей с малыми токами замыкания на землю / А.Валроос, А.А.Наволочный, О.А.Онисова [и др.] // Электротехника.-2011.-№1.-С.33-39.– Режим доступа:
http://www.springerlink.com/content/y24812t478729116/fulltext.pdf

8. Калинин В.В. Состояние изоляции сетей электроснабжения напряжением 6 кВ шахт Центрального Донбасса / В.В. Калинин, Ф.А.Айдаров // Взрывозащищенное электрооборудование: сб.науч.тр. УкрНИИВЭ. – Донецк: ООО «АИР», 2010.–С.268-276.– Режим доступа:
http://www.nbuv.gov.ua/portal/Natural/Ve/2010/35_268-276.pdf