

УДК 621.316

В. А. ЛИСЕНКО

Красноармійський індустріальний інститут державного вищого навчального закладу
«Донецький національний технічний університет»
victorl@ukr.net

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ В КОНТУРІ НУЛЬОВОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ КОМПЕНСОВАНОЇ МЕРЕЖІ

Розглянуті проблеми, що виникають при ідентифікації параметрів вільних коливань в контурі нульової послідовності розподільчої мережі з ізольованою нейтраллю і з компенсацією ємнісної складової струму замикання на землю, зокрема з визначенням частоти коливань. Запропоновано математичну модель і алгоритм визначення параметрів коливань з метою побудови системи автоматичної настройки компенсації.

Компенсація ємнісного струму замикання на землю, автоматичний регулятор, частота вільних коливань, передаточна функція, програмна модель.

Вступ. Відповідно до «КОНЦЕПЦІЇ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ГАЛУЗІ», що розроблена Донецькою обласною державною адміністрацією, Регіональним комітетом по економічним реформам в Донецьку, в 2010 році, метою технологічного інноваційного напрямку технічного переозброєння електричних мереж є, серед інших, «*Забезпечення надійності електропостачання споживачів* (виділено автором), якості електричної енергії, безпеки і ефективності експлуатації мереж». Надійність роботи електричних розподільчих мереж пов'язана, як відомо [1], з підтримкою режиму резонансної настройки дугогасного реактора (ДР).

Аналіз досліджень та публікацій. Для визначення ступеня настройки ДР поряд з іншими засобами використовується контроль частоти вільних коливань в контурі нульової послідовності (КНП) мережі. Використання цього способу досліджувалось багатьма авторами, ми скористаємось одним з останніх джерел [2]. В цій статті описана система, яка за допомогою джерела імпульсів струму, підключеного до сигнальної обвитки дугогасного реактора викликає перехідний процес в КНП у вигляді згасної синусоїди. Контроль цього перехідного процесу відбувається через вимірювальний трансформатор мережі, який має вихід напруги нульової послідовності (ННП). Далі за допомогою (цитата) «микропроцессорной техники, в сочетании с современными методами цифровой обработки информации и хорошим качеством измерений,» визначається частота вільних коливань в КНП. В статті також звертається увага на те, що (цитата) «В естественных условиях напряжение U_0 многими воспринимается как “мусорная корзина”, собирающая все помехи, существующие в сети и зависящие от многих факторов.» Наведені також осцилограми перехідного процесу. На всіх осцилограмах амплітуда вимушеної складової ННП не перевищує 1,5 В, а амплітуда напруги перехідного процесу дорівнює 1 – 0,5 В.

Постановка задач дослідження. Аналіз обставин і параметрів системи визначення частоти вільних коливань, зокрема: розрахунок необхідних умов для створення достатньої амплітуди перехідного процесу; аналіз методів цифрової обробки інформації і побудова математичної моделі процесу з метою визначення частоти вільних коливань в КНП для розробки автоматичного регулятора настройки дугогасного реактора.

Матеріали дослідження. В першу чергу розрахуємо яку амплітуду перехідного процесу можна отримати шляхом подачі імпульсу через сигнальну обвитку дугогасного реактора. Припустимо, що застосовується реактор типу РЗДПОМ 70/6 виробництва Донецького енергозаводу як типовий. Згідно заводської документації сигнальна обвитка має номінальну напругу 100 В і максимальний струм обвитки не повинен перевищувати 10 А (середньоквадратичне значення). Коефіцієнт трансформації при передачі струму з сигнальної обвитки дугогасного реактора в контур нульової послідовності мережі складає:

$$k = \frac{\sqrt{3} \times U_c}{U_{\text{л}}} \quad , \quad (1)$$

де: U_c – номінальна напруга сигнальної обвитки, В;
 $U_{\text{л}}$ – номінальна лінійна напруга мережі, В;
 k – коефіцієнт трансформації.

$$k = \frac{\sqrt{3} \times 100}{6000} = \frac{1}{34,6} ;$$

Таким чином максимальний імпульсний струм в КНП може дорівнювати:

$$I_{0i} = I_c \times k \times \sqrt{2} = 10 \times \frac{1}{34,6} \times \sqrt{2} = 0,409 \text{ А} \quad , \quad (2)$$

де: I_{0i} – струм в КНП, А;

I_c – струм в сигнальній обвитці дугогасного реактора, А.

Для того, щоб імпульс викликав перехідний процес і не впливав на характер протікання цього процесу, тривалість імпульсу повинна бути хоча б не більше половини періоду частоти вільних коливань в КНП. Ця частота нам апріорно не відома, тому будемо вважати, що вона не перевищує 100 Гц. Відповідно тривалість імпульсу не повинна перевищувати 0,005 с. Таким чином, за допомогою одиночного імпульсу, що подається в КНП через сигнальну обвитку дугогасного реактора, ми можемо надати ємності мережі відносно землі заряд, що дорівнює:

$$Q = I_{0i} \times t = 0,409 \times 0,005 = 0,00205 \text{ Кл} \quad (3)$$

де: Q – заряд, Кл;

t – тривалість імпульсу, с.

Далі визначимо ємності фазних провідників відносно землі. Оскільки ПУЕ передбачають застосування дугогасних реакторів (п 1.2.16) «в мережах 3 – 20 кВ, що мають залізобетонні або металеві опори на повітряних лініях і у всіх мережах 35 кВ – більше 10 А.» розрахуємо ємність мережі саме для такого мінімального струму. Будемо вважати, що напруга мережі складає 6 кВ (рис. 1).

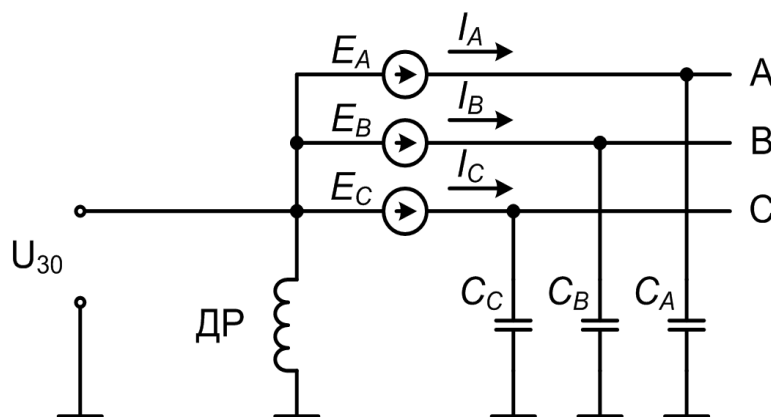


Рисунок 1 - Заступна схема компенсованої електричної мережі

$$C = \frac{\sqrt{3} \times I}{U_n \times \omega} = \frac{\sqrt{3} \times 10}{6000 \times 314} = 9,19 \times 10^{-6} \text{ Ф}, \quad (4)$$

де: C – ємність фазних провідників відносно землі, Ф;

I – ємнісний струм замикання на землю, А;

U_n – лінійна напруга мережі, В;

ω – частота мережі, 314 с-1.

Можемо визначити напругу, до якої ми можемо зарядити ємність мережі:

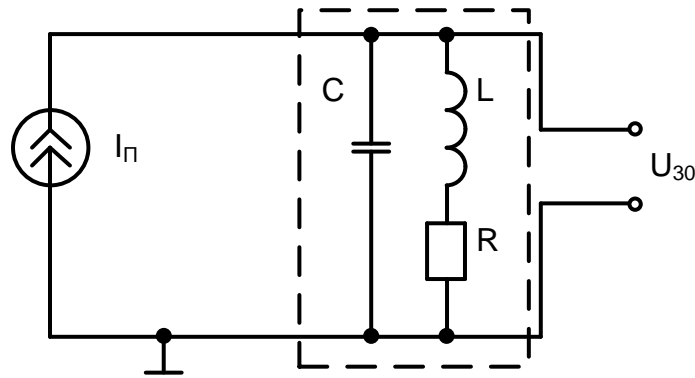
$$U_i = \frac{Q}{C} = \frac{0,00205}{9,19 \times 10^{-6}} = 223 \text{ В}, \quad (5)$$

де: U_i – напруга, яку викличе імпульс струму.

Таким чином ми визначили найбільшу можливу початкову амплітуду перехідного процесу. При більшій ємності мережі ця напруга відповідно буде зменшуватись.

Нам відомо, що вимушена складова ННП може дорівнювати до 15% фазної напруги, що складе 520 В середньоквадратичного значення і відповідно 735 В амплітудного. Тобто максимальна амплітуда перехідного процесу може скласти не більше 30% максимальної амплітуди вимушеної складової. В таких умовах визначення частоти вільних коливань є не тривіальною проблемою.

Виходячи з вищевикладеного, пропонується математична модель не чутлива до завад. Заступна схема компенсованої мережі, що може бути використана при розробці і дослідженні автоматичних регуляторів настройки ДР, в яких використовується напруга зсуву нейтралі U_{30} приведена на Рис. 2. Ми маємо схему паралельного коливального контуру і нам відомо, що реакцією такої схеми на імпульс (імпульсна характеристика) буде згасна синусоїда. По параметрам цього перехідного процесу, зокрема по частоті цієї синусоїди ми могли б визначити якість настройки дугогасного реактора.



$I_{п}$ – джерело імпульсів струму;
 C – ємність фазних провідників відносно землі;
 L – індуктивність дугогасного реактора;
 R – активний опір, що відображає втрати в дугогасному реакторі.

Рисунок 2 - Заступна схема компенсованої мережі для моделювання автоматичного регулятора компенсації

Ідентифікувати згасну синусоїду безпосередньо практично можливо тільки у випадку, якщо амплітуда одиночного імпульсу достатньо велика (наприклад у випадку пробою ізоляції). Для невеликих імпульсів похибка визначення параметрів, що нас цікавлять, буде дуже значною, тому вважаємо за потрібне спиратися на параметри передаточної функції моделі.

Передаточна функція моделі рис.2 в операторній формі має вигляд:

$$K(p) = Z(p) = \frac{pL + R}{p^2LC + pRC + 1} \tag{6}$$

З цієї формули ми бачимо, що одним з параметрів передаточної функції є ємність фазних провідників на землю (C). Два інші параметри - це активний опір і поточна індуктивність дугогасного реактора (R і L), які нам апріорно відомі. Найбільш простим способом визначити єдиний невідомий параметр моделі спираючись на характеристики сигналу є приведення вихідного сигналу знов до імпульсу. Це можна зробити за допомогою зворотної передаточної функції:

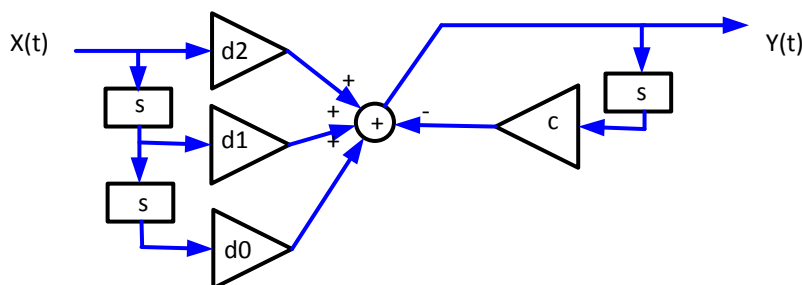
$$K_1(p) = \frac{p^2 + pa_1 + a_0}{pb_1 + b_0} \tag{7}$$

де: $a_1 = \frac{R}{L}$; $a_0 = \frac{1}{LC}$; $b_1 = \frac{1}{C}$; $b_0 = \frac{R}{LC}$; $K(p) \cdot K_1(p) = 1$

Таку передаточну функцію можна реалізувати у вигляді програми для мікроконтролера, наприклад, шляхом чисельного інтегрування диференціального рівняння:

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dx(t)}{dt} + a_0x(t) = b_1 \frac{dy(t)}{dt} + b_0y \tag{8}$$

Структурна схема моделі цього диференціального рівняння може бути такою:



$$c = \frac{b_1}{b_0}; \quad d_0 = \frac{1}{b_0}; \quad d_1 = \frac{a_1}{b_0}; \quad d_2 = \frac{a_2}{b_0}; \quad s - \text{символ інтегрування}$$

Рисунок 3 - Структурна схема динамічної моделі з оберненою передаточною характеристикою

На основі запропонованої математичної моделі можна побудувати такий алгоритм визначення настройки дугогасного реактора:

1. За допомогою аналого-цифрового перетворювача вимірюємо і передаємо відліки напруги нульової послідовності мікропроцесорному пристрою. Ми отримуємо імпульс, який буде спотворений передаточною функцією (6).

2. За допомогою програмної моделі (8), рис.3, обробляємо отримані дані і порівнюємо вихідний сигнал з імпульсом. Підбираємо таке значення коефіцієнта C (6), при якому вихідний сигнал найбільш схожий на імпульс.

3. Спираючись на коефіцієнт C проводимо настройку дугогасного реактора.

Вище по тексту ми зауважили, що поточна індуктивність і активний опір дугогасного реактора (L і R) нам априорно відомі. Така попередня інформація спрощує наші розрахунки, але не є необхідною, оскільки підбір (або оптимізацію) ми можемо робити не тільки одному параметру C , а по всім трьом параметрам: R , L і C .

Висновки.

1. В багатьох випадках створити в контурі нульової послідовності вільні коливання, співмірні хоча б з рівнем завад, використовуючи сигнальну обвитку дугогасного реактора неможливо.

2. Для визначення частоти слабих вільних коливань потрібні спеціальні методи, в т. ч. і статистичні, які б дозволили ідентифікувати параметри перехідного процесу в контурі нульової послідовності в умовах завад, які значно переважають корисний сигнал.

3. Для розробки і дослідження автоматичних регуляторів настройки дугогасних реакторів запропоновано математичну модель у вигляді схеми заміщення і передаточних функцій, що нечутлива до завад, які можуть бути викликані різними чинниками, зокрема несиметрією фазних провідностей на землю або характером навантаження мережі.

4. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку і оптимізацію методів чисельного інтегрування диференційного рівняння (8), шляхом переходу до рівнянь скінченних різниць за допомогою z -перетворення для зменшення обсягу обчислювальних процедур.

ЛІТЕРАТУРА

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

2. Козлов В. Дугогасящие реакторы в сетях 6-35 кВ. Реализация метода автоматического управления / Козлов В., Ильин В. // Новости Электротехники. – 2008. – №2 (50). – Реж. дост.: <http://www.news.elteh.ru/arh/2008/50/02.php>.

Надійшла до редколегії 03.04.2011

Рецензент: В.Ф.Сивокобиленко

В. А. ЛЫСЕНКО

Красноармейский индустриальный институт
государственного высшего учебного заведения
«Донецкий национальный технический университет»

V. LISENKO

Krasnoarmejskij Industrial Institute of Public Higher
Education institution
«Donetsk National Technical University»

Идентификация параметров свободных колебаний в контуре нулевой последовательности компенсированной сети. Рассмотрены проблемы, возникающие при идентификации параметров свободных колебаний в контуре нулевой последовательности сети с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостной составляющей тока замыкания на землю, в частности с определением частоты колебаний. Предложена математическая модель и алгоритм определения параметров колебаний с целью построения системы автоматической настройки компенсации.
Компенсация емкостного тока замыкания на землю, автоматический регулятор, частота свободных колебаний, передаточная функция, программная модель.

Identification of Parameters of Free Oscillations in the Circuit Zero-Sequence Compensated Network. The problems encountered in identifying the parameters of free oscillations in the circuit zero-sequence network with isolated neutral and compensated capacitive component of the earth fault current, in particular the definition of the oscillation frequency. Proposed mathematical model and algorithm for determining the oscillation parameters in order to construct a system of automatic adjustment of compensation.
Compensation of capacitive earth fault current, automatic controller, the frequency of free oscillations, the transfer function, the programming model.