

ЗМЕНШЕННЯ НАПРУГИ НУЛЬОВОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ СТАТИЧНИМИ ДВОПОЛЮСНИКАМИ

Мірошник О. О., Свергун Ю. Ф.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Запропоновано для зниження опору нульової послідовності мережі в чотирипровідних мережах 0,38/0,22 кВ використовувати спеціально розроблений ємнісний нейтралер.

Постановка проблеми. У чотирипровідних мережах серед факторів, що впливають на відхилення напруги на клеммах приймача електроенергії, значну роль відіграє несиметрія, обумовлена струмами і напругами нульової послідовності [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Система струмів і напруг у трифазній мережі симетрична і зрівноважена за наявності в ній струмів і напруг тільки прямої послідовності. Тому повне або часткове симетрування досягається компенсацією (повною або частковою), струму і напруги зворотної послідовності, що викликаються несиметричним навантаженням.

Статичні двополосники (конденсатори і дроселі), за допомогою яких може здійснюватися симетрування в несиметрично навантаженій трифазній мережі, є найбільш надійними і в ряді випадків найбільш економічними симетрувальним пристроєм [3].

Мета статті. Проаналізувати роботу нейтралера для зниження опору нульової послідовності мережі в чотирипровідних мережах 0,38 / 0,22 кВ.

Основні матеріали дослідження. Застосування цього способу компенсації несиметрії напруг і струмів ефективно в мережах із зосередженими однофазними навантаженнями, що включені на міжфазні напруги [4].

Розглянемо три різних за величиною і фазою лінійних двополосники приєднаних до трьох відповідних міжфазних напруг. Припустимо, що система підведених міжфазних напруг практично симетрична, тоді струм прямої послідовності в трифазній мережі живлення в несиметричному режимі може бути визначений з виразу

$$I_{1a} = \dot{U} \left\| \frac{1}{Z_{ab}} \quad \frac{1}{Z_{bc}} \quad \frac{1}{Z_{ca}} \right\|, \quad (1)$$

де Z_{ab} , Z_{bc} , Z_{ca} – повні опори міжфазних навантажень мережі.

Струм зворотної послідовності:

$$I_{2a} = -\dot{U} \left\| \frac{a^2}{Z_{ab}} \quad \frac{1}{Z_{bc}} \quad \frac{a}{Z_{ca}} \right\|. \quad (2)$$

Виконуючи умову існування симетрії системи лінійних струмів:

$$I_2 = 0, \quad (3)$$

знайдемо, що при:

$$\operatorname{Re} \left\{ -\dot{U} \left\| \frac{a^2}{Z_{ab}} \quad \frac{1}{Z_{bc}} \quad \frac{a}{Z_{ca}} \right\| \right\} = 0, \quad (4)$$

$$\operatorname{Im} \left\{ -\dot{U} \left\| \frac{a^2}{Z_{ab}} \quad \frac{1}{Z_{bc}} \quad \frac{a}{Z_{ca}} \right\| \right\} = 0, \quad (5)$$

будуть мати місце наступні співвідношення:

$$(2P_{bc} - P_{ab} - P_{ca}) + \sqrt{3}(Q_{ca} - Q_{ab}) = 0, \quad (6)$$

$$\sqrt{3}(P_{ca} - P_{ab}) + (Q_{ab} + Q_{ca} - 2Q_{bc}) = 0. \quad (7)$$

де P_{ab} , P_{bc} , P_{ca} – активні потужності лінійних двополосників;

Q_{ab} , Q_{bc} , Q_{ca} – реактивні потужності лінійних двополосників.

Будемо вважати, що в загальному випадку лінійні двополосники являють собою комбінацію з комплексних навантажувальних і реактивних симетрувальних опорів.

Відомо, що при включеному на лінійну напругу однофазне навантаження симетрування виконується двома батареями конденсаторів, включеними в неповний трикутник. Так, наприклад, якщо навантаження включене між фазами В і С та $-\frac{\pi}{6} \leq \varphi_n \leq \frac{\pi}{2}$, то симетрувальні конденсатори включаються між фазами А і С, та В і С. При цьому:

$$Q_{CA} = Q \frac{\cos \varphi_n}{\sin \varphi_n + \sin \left(\frac{\pi}{6} + \varphi_n \right)}, \quad (8)$$

$$Q_{BC} = Q \frac{\sin \left(\frac{\pi}{6} + \varphi_n \right)}{\cos \varphi_n + \sin \left(\frac{\pi}{6} + \varphi_n \right)}, \quad (9)$$

де Q – сумарна потужність трьох фаз батареї пристроїв поперечно-ємнісної компенсації (ППЕК) в нормальному режимі.

При $\frac{\pi}{2} \leq \varphi_n \leq -\frac{\pi}{6}$ – симетрувальні ємності включаються між фазами А і В, та С і А. Найбільш повне використання ППЕК досягається при $\varphi_n = \frac{\pi}{2}$ або

$\varphi_u = \frac{\pi}{6}$, тобто для випадків, що не мають практичного значення. Таким чином, використання для цілей симетрування ППЕК істотно залежить від характеру несиметричного навантаження [4, 5].

Покажемо, що будь-яка несиметрично навантажена трифазна система з ізольованою нейтраллю може бути представлена як система, навантажена сумою двох умовних навантажень - трифазної симетричної і однофазної. Таке умовне уявлення дозволяє отримати співвідношення, досить важливі для систем змішаного трифазно-однофазного електропостачання, зокрема, для визначення параметрів симетруючих двополосників.

Нехай є нерівномірно навантажена трифазна лінія (система), в якій

$$\dot{I}_A \neq \dot{I}_B \neq \dot{I}_C \neq 0. \quad (10)$$

Ця ж система може бути представлена навантаженою струмами умовних навантажень: трифазною

$$\dot{I}_A^{(3)}, a^2 \dot{I}_A^{(3)}, a \dot{I}_A^{(3)}, \quad (11)$$

і однофазною $\dot{I}^{(1)}$ при дотриманні співвідношень

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_A^{(3)} + \dot{I}^{(1)}, \\ \dot{I}_B &= a^2 \dot{I}_A^{(3)} - \dot{I}^{(1)}, \\ \dot{I}_C &= a \dot{I}_A^{(3)}. \end{aligned} \quad (12)$$

Введемо відношення $c = -\frac{\dot{I}^{(1)}}{\dot{I}_A^{(3)}}$ і після перетворень отримаємо ступінь несиметрії струмів у вигляді

$$\alpha_i = \frac{c}{\sqrt{3} + c}, \quad (13)$$

якщо система живлячих лінійних напруг симетрична, і

$$\alpha_i = \sqrt{\frac{c^2 + c\alpha_u \sqrt{3}}{c^2 + 2c\sqrt{3} + \sqrt{3}\alpha_u \gamma c + 3}}, \quad (14)$$

якщо система лінійних напруг несиметрична зі ступенем несиметрії α_u .

Правильність отриманого виразу легко перевіряється при $\alpha_u = 0$. В цьому випадку (14) перетворюється в (13).

З урахуванням вищесказаного пропонується метод зменшення напруги нульової послідовності в чотирипровідних мережах 0,38/0,22 кВ за допомогою ємнісних нейтралерів.

Ємнісний нейтралер – пристрій, що складається з трьох конденсаторів однакової ємності (або груп конденсаторів), з'єднаних зіркою, нульова точка якої з'єднана короткою ділянкою дроту з нульовою точкою групи однофазних споживачів.

Ємнісний нейтралер не тільки зменшує опір нульової послідовності мережі, але й підвищує коефіцієнт використання лінії, компенсуючи реактивну потужність, що споживається електродвигунами, які включені за точкою приєднання нейтралера. Компенсуючу дію нейтралера підвищує рівень напруги прямої послідовності і покращує тим самим умови роботи приймачів електроенергії.

Крім перерахованого, в порівнянні з індуктивним, ємнісний нейтралер має наступні переваги:

- не вимагає витрат активних матеріалів і спеціального виготовлення на заводі,
- не викликає втрат активної потужності,
- при використанні сухих конденсаторів не вимагає спеціального приміщення для установки,
- дозволяє легко змінювати потужність (ємність).

Для вибору ємності нейтралера скористаємося виразом для напруги зсуву нейтралі:

$$\dot{U}_{on} = \frac{\left(\frac{1}{r} + j\omega C\right) \left(\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C\right) + \dot{U}_A \frac{1}{R_l}}{3j\omega C + \frac{3}{R} + \frac{1}{R_l}}, \quad (15)$$

де $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ – вектори лінійних напруг;

R – активна складова опору умовного симетричного 3-фазного навантаження;

$j\omega C$ – ємнісний опір батарей конденсаторів;

R_l – активний опір умовного однофазного навантаження.

Ввівши відношення

$$K_C = \frac{\dot{U}_{on}}{\dot{U}_\phi}, \quad (16)$$

та прийнявши

$$\begin{aligned} \dot{U}_A &= \dot{U}_\phi, \\ \dot{U}_B &= a^2 \dot{U}_\phi, \\ \dot{U}_C &= a \dot{U}_\phi, \end{aligned} \quad (17)$$

із (15) отримаємо:

$$C = \frac{r - K_C (3R_l + R)}{3\omega R R_l K_C}, \quad (18)$$

або

$$Q_c = \frac{P_\phi}{3K_c} [m - K_c(3+m)], \quad (19)$$

де

$$m = \frac{P_l}{P_\phi}, \quad P_\phi = \frac{U_\phi^2}{R}, \quad P_l = \frac{U_\phi^2}{R_l},$$

P_l – активна потужність умовного однофазного навантаження;

P_ϕ – активна потужність фази умовного симетричного трифазного навантаження.

Для випадку однофазного навантаження ємність розраховується за виразом

$$C = \frac{\sqrt{1 - K_c^2}}{3\omega_0 K_c}, \quad (20)$$

У виразах (18) – (20) K_c – запланована або допустима величина зміщення нейтралі $3U_0$.

Для визначення запланованої величини зміщення нейтралі в залежності від значення ємності на рис. 1 показані криві $C = f(K_c)$ для випадків $m = 0,1 - 1$.

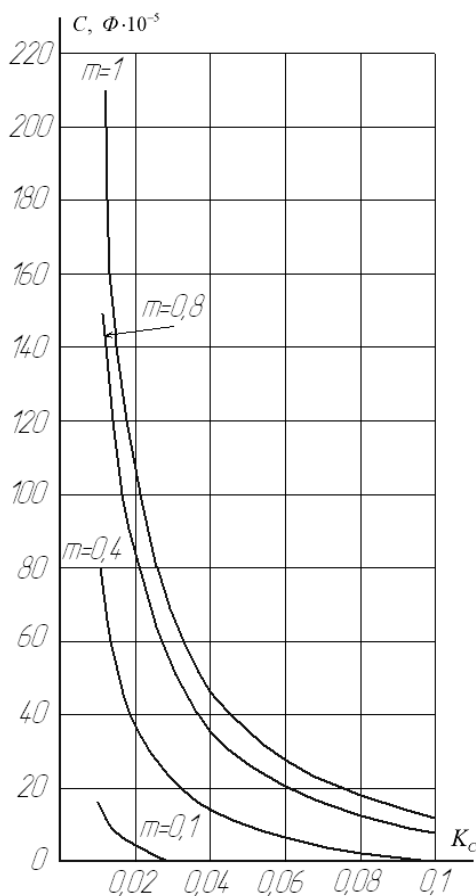


Рисунок 1 – Криві $C = f(K_c)$ для випадків $m = 0,1 - 1$

Висновок

Таким чином, застосування ємнісного нейтралера дозволить не тільки зменшити опір нульової послідовності мережі, але й підвищити коефіцієнт використання лінії, компенсуючи реактивну потужність, що споживається електродвигунами, які включені за точною приєднання нейтралера.

Список використаних джерел

1. Кузнецов В.Г. Снижение несимметрии и несинусоидальности напряжений в электрических сетях / В. Г. Кузнецов, Григорьев А.С., Данилюк В.Б. – К.: Наукова думка, 1992. – 240 с.
2. Мирошник А. А. Анализ состояния проблемы качества электроэнергии в сельских сетях / А. А. Мирошник // Вестник НТУ "ХПИ" "Энергетика: надежность и энергоэффективность" – Харьков: НТУ "ХПИ", 2011. – №41. – С. 100–104.
3. Леонтьев В. О. Симетрування неповнофазних режимів в розподільних електричних мережах [Текст] : монографія / В. О. Леонтьев ; М-во освіти і науки України, Вінниц. нац. техн. ун-т. - Вінниця : Вид-во Вінниц. нац. техн. ун-ту, 2009. - 164 с.
4. Наумов И. В. Снижение потерь и повышение качества электрической энергии в сельских распределительных сетях 0,38 кВ с помощью симметрирующих устройств // Дисс. докт. тех. наук, 05.20.02 – Иркутск, 2002. – 387 с.
5. Кисель О. Б. Определение параметров нулевой последовательности сельских трансформаторов / О. Б. Кисель // Механизация и электрификация сельского хозяйства – 1985. – №7. – С.51–53.

Аннотация

СНИЖЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СТАТИЧЕСКИМИ ДВУХПОЛЮСНИКАМИ

Мирошник А. А., Свергун Ю. Ф.

Предложено для снижения сопротивления нулевой последовательности сети в четырехпроводных сетях 0,38/0,22 кВ использовать специально разработанный емкостный нейтралер.

Abstract

VOLTAGE REDUCTION ZERO STATIC POSLEDOVATLNOСТИ DIPOLE

O. Miroshnyk, U. Svergun

Proposed to reduce resistance to the residual network in four-wire networks 0.38/0.22 kV using specially designed capacitive neytralер.