

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИЩИХ ГАРМОНІК НА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Дослідження впливу несинусоїдальної напруги на елементи мережі промислового підприємства та наслідки, які можуть причинити вищі гармоніки.

Ключові слова: вищі гармоніки, якість електроенергії, фільтри вищих гармонік, несинусоїдальність напруги.

Abstract

Investigation of the influence of non-sinusoidal voltage on the elements of the network of the industrial enterprise and the consequences that can cause higher harmonics.

Keywords: higher harmonics, electric power quality, filters of higher harmonics, non-sinusoidal voltage.

Вступ

Основними споживачами електричної енергії в нашій державі являються промислові підприємства, які витрачають близько 70% електричної енергії, що виробляється.

Вже тривалий час проблема якості електропостачання споживачів залишається предметом досліджень великого кола вчених та інженерів. Відомі на даний момент підходи та засоби фільтрації вищих гармонік не дозволяють в повній мірі розв'язати проблему забезпечення належної якості електропостачання промислових підприємств. Саме тому існує потреба в більш широких дослідженнях цієї проблеми, що, визначає беззаперечну актуальність та необхідність підвищення якості електропостачання промислових підприємств багатьох міст України шляхом розширення функціональних можливостей пристроїв регулювання рівнів вищих гармонік за рахунок удосконалення їхніх елементів та структур.

Результати дослідження

Гармоніки виникають у мережах як наслідок роботи нелінійних навантажень. Вищі гармоніки виникають при роботі тиристорних перетворювачів; обладнання, яке використовує електричну дугу. Вищі гармоніки викликають не тільки втрати потужностей і енергії, а викликають порушення у роботі релейного захисту, протиаварійної автоматики, пристроїв керування, що приводить до порушень технологічних процесів. Джерела гармонік:

1. Машина змінного струму - генератори і двигуни (магнітне поле не ідеально синусоїдальне).

2. Магнітні кола, що насиченні. Гармоніки 3-го порядку виключає з'єднання обмотки у трикутник.

3. Перетворювачі усіх типів. Генерують прямі і зворотні гармоніки струмів порядку $h=n \cdot p \pm 1$, де n – натуральний ряд чисел; p - число фаз перетворювача (3, 6, 12). Ці струми створюють гармоніки напруг, що змінюються залежно від навантаження перетворювача. Якщо навантаження незначне по відношенню до загального навантаження системи електропостачання, то гармоніки напруги будуть незначними. Шестифазні перетворювачі є джерелами 5, 7, 11, 13 і так далі гармонік, а дванадцятифазні – 11, 13, 23, 25 гармонік.

4. Апарати з електричною дугою чи апарати що використовують електричний розряд: дугові печі, зварювальні машини, люмінесцентні лампи (створюють не стабільні у часі гармоніки).

Вищі гармоніки в системах електропостачання можуть призводити до таких негативних наслідків[1]:

- перегрів та руйнування нульових робочих провідників;
- неправильне спрацювання запобіжників та автоматичних вимикачів. Через додаткове нагрівання елементів захисних пристроїв внаслідок поверхневого ефекту та ефекту близькості відбувається хибне спрацювання захисних апаратів. Це явище є найбільш характерним для автоматичних вимикачів, призначених для захисту ліній живлення комп'ютерної техніки;
- прискорене старіння ізоляції проводів та кабелів;
- додаткові втрати в силових трансформаторах;
- спотворення форми синусоїди живлячої напруги;
- підвищене зношення та передчасне руйнування конденсаторів установок компенсації реактивної потужності;
- збої в роботі та вихід з ладу комп'ютерної техніки та телекомунікації;
- зниження коефіцієнту потужності електроустановок споруд;
- передчасний вихід з ладу електродвигунів;
- некоректний облік споживаної електроенергії.

Розглянемо методи оцінки додаткових втрат в елементах електричної системи від вищих гармонік струму і напруги в різних елементах системи електропостачання.

Лінії електропередачі (ЛЕП) також, як і силові трансформатори, є складовим елементом електричних мереж. Додаткові втрати активної потужності в ЛЕП, викликані протіканням струмів вищих гармонік визначаються за формулою[2]:

$$\Delta P_{\Sigma v} = 3 \sum_{v=2}^n I_v^2 R_1 k_{rv}, \quad (1)$$

де v – номер гармоніки; n – число врахованих гармонік; I_v - струм v -ої гармоніки, А; R_1 - активний опір лінії на основній частоті, Ом; k_{rv} - коефіцієнт, який враховує вплив поверхневого ефекту, як правило:

$$k_{rv} = 0,4\sqrt{v}. \quad (2)$$

Також необхідно враховувати для кабельних ліній. Для повітряних ліній, якщо $a > 50$ мм, ефект близькості пропонується не враховувати і вираз для розрахунку втрат від вищих гармонік у ЛЕП набуде вигляду:

$$\Delta P_{\Sigma v} = 3r_0 l \sum_{v=2}^n I_v^2 (k_{rv} + k_{\delta v}). \quad (3)$$

Втрати активної потужності в силових трансформаторах від струмів вищих гармонік виражаються формулою:

$$\Delta P_{\Sigma v} = 3 \sum_{v=2}^n I_v^2 R_{k1} + k_{vm}, \quad (4)$$

де I_v – струм v -тої гармоніки, яка проходить через трансформатор, А; R_{k1} – опір короткого замикання трансформатора на основній частоті, Ом; k_{vm} – коефіцієнт, який враховує збільшення опору КЗ для вищих гармонік внаслідок впливу поверхневого ефекту та ефекту близькості. Для силових трансформаторів приймається $k_{5m} = 2,1$; $k_{7m} = 2,5$; $k_{11m} = 3,2$; $k_{13m} = 3,7$. Втрати на частотах гармонік вище 13-тої є досить малими, і ними можна знехтувати. Але, не завжди амплітуда напруги вищих гармонік зменшується при збільшенні порядку вищих гармонік. У системах з потужним джерелом струму вищих гармонік або резонансними умовами на гармоніках більш високого порядку (включно до 40-ї) можуть спостерігатися дуже великі значення гармонік напруги з порядком вище 13-тої.

Додаткові втрати в трансформаторах від протікання струмів вищих гармонік можна виразити у вигляді суми втрат х.х. і к.з. Прийmemo, що опір кола взаємної індукції схеми заміщення трансформатора для струмів вищих гармонік постійний, і рівний значенню на основі гармоніки [3]. Тоді додаткові втрати х.х., обумовлені вищими гармоніками, можна визначити за виразом:

$$\Delta P_{x.x.v} = \Delta P_{x.x} \cdot \sum_{v=2}^n \left(\frac{U_v}{U_{ном}} \right)^2 \quad (5)$$

Враховуючи, що активний опір КЗ. на v -ій гармоніці може бути подано як $r_{к.з.v} \approx 0,47\sqrt{v}r_{к.з.}$, а відношення $z_{к.з.v}/z_{к.з.} \approx x_{к.з.v}/x_{к.з.} \approx 0,88v$ додаткові втрати КЗ., викликані несинусоїдальністю напруги [4]:

$$\Delta P_{к.з.v} = 0,607 \frac{\Delta P_{к.з.}}{U_{к.з.}^2} \sum_{v=2}^n \left(\frac{U_v}{U_{ном}} \right)^2 \frac{1}{v\sqrt{v}} \quad (5)$$

Крім основних, у трансформаторі є додаткові втрати, викликані вихровими струмами. Величина цих втрат в обмотках трансформаторів зростає пропорційно квадрату номера гармоніки [15]:

$$\Delta P_{доб v} = v^2 0,05 \Delta P_{к.з.v} \quad (6)$$

Таким чином, сумарні додаткові втрати, обумовлені несинусоїдальним режимом роботи трансформатора, визначаються так:

$$\Delta P_{\Sigma v} = \Delta P_{x.x} \cdot \sum_{v=2}^n \left(\frac{U_v}{U_{ном}} \right)^2 + 0,607 \frac{\Delta P_{к.з.}}{U_{к.з.}^2} \sum_{v=2}^n \left(\frac{U_v}{U_{ном}} \right)^2 \frac{1}{v\sqrt{v}} \quad (7)$$

Висновки

Було досліджено негативний вплив вищих гармонік на якість на роботу різних елементів системи електропостачання. Розглянуто методи оцінки додаткових втрат в елементах електричної системи від вищих гармонік струму і напруги в різних елементах системи електропостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Г.І. Лагутін, А.М. Панченко, А.І. Гарагуля «ВИЩІ ГАРМОНІКИ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ» Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків
2. А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя / А.В. Евстифеев. – М.: Издательский дом «Додэка- XXI», 2007. – 592 с.: ил. (Серия «Программируемые системы»).
3. Васютинский С.Б. Вопросы теории и расчета трансформаторов /С.Б. Васютинский. – Л.: Энергия, 1970. – 432с.
4. Церазов А.Л. Исследование влияния несимметрии и несинусоидальности напряжения на работу асинхронных двигателей / А.Л. Церазов, Н.И. Якименко. –М.: Госэнергоиздат, 1963. – 120с.

Ірина Володимирівна Валькова — студент групи ЕСЕ-17м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: rentalsira@gmail.com;

Науковий керівник: **Сергій Михайлович Левицький** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: levitskiy@vntu.edu.ua.

Iryna V. Valkova – Electromechanics and Electricity Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rentalsira@gmail.com.

Supervisor: **Sergey M. Levitsky** – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia