

## ПРОБЛЕМА ГАРМОНІК В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ: ПРИЧИНИ, НАСЛІДКИ ТА МЕТОДИ КОМПЕНСАЦІЇ

**Яковчук О. Б., студент, Халіков В. А., д.т.н.**

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем*

**Вступ.** У зв'язку зі стрімким розвитком сучасних електротехнічних пристроїв та електроніки проблема наявності вищих гармонік напруги та струму в електричних системах набуває особливої актуальності. Гармоніки можуть негативно впливати на якість електричної енергії та термін служби обладнання. Під час експлуатації електромереж виникає ряд викликів, з яких проблема гармонік вважається однією з найбільш критичних. Вони можуть негативно відобразитися на якості електропостачання, викликаючи комплекс проблем для кінцевих користувачів та всієї системи. У деяких ситуаціях відхилення форми напруги від синусоїди може досягати 10-15% . Це призводить до збільшення активних втрат в двигунах та трансформаторах, прискорення процесу старіння ізоляції кабелів та електричного обладнання, а також до порушення якості та стабільності роботи систем автоматики і комунікацій.

**Мета роботи.** Завданням даної роботи являється визначити наслідки наявності вищих гармонік напруги та струму в електричних системах , причини їх виникнення та основні методи компенсації гармонік.

**Причини виникнення гармонік.** Гармоніка в електроенергетичній системі відноситься до складових форми струму та, що мають частоту, які є кратними основній частоті системи. Для більшості електроенергетичних систем основна частота становить 50 Гц або 60 Гц (залежно від країни).

Основна частота (або 1-ша гармоніка) – це основний енергетичний компонент, який ми зазвичай сприймаємо як "корисний". Гармоніки вищих порядків (2-га, 3-тя, 4-та гармоніка тощо) можуть з'являтися в електроенергетичних системах через різні причини, зокрема внаслідок роботи нелінійних електронних пристроїв, таких як перетворювачі частоти, електронні блоки живлення, діоди тощо. Гармоніки можуть створювати проблеми в електроенергетичних системах, викривлюючи форму синусоїди і впливаючи на якість електроенергії. Це може призвести до підвищеного нагрівання обладнання, зменшення його ефективності та терміну служби, а також до виникнення проблем зі стабільністю системи. Найчастіший симптом проблем є мерехтливі світлові ефекти.

**Миготіння світла.** Може бути показником проблем з якістю електроенергії. Типовими джерелами такого мерехтіння є обладнання, яке викликає стрімкі коливання у навантаженні струму або напруги. Зокрема, це можуть бути потужні двигуни під час старту, прилади з циклоконверторами, такі як приводи для прокатних верстатів чи шахтні ліфти, а також машини зі статичними перетворювачами частоти, як-от двигуни змінного струму або дугові печі.

Проблеми з гармоніками можуть виникнути через перегріті трансформатори або вимикачі, які зазнали аварії, особливо коли нелінійні навантаження споживають струм у формі різких імпульсів, на відміну від плавного синусоїдального струму, спричиняючи вплив гармонічних струмів на інші частини мережі.

Щоб оцінити ступінь гармонік у системі, можна використовувати декілька показників. Один з них - це загальне гармонійне спотворення (THD). THD репрезентує сукупний ефект усіх гармонік і зазвичай вимірюється до 50-ї кратності базової частоти електромережі (50 Гц), або 2,5 кГц. В деяких рекомендаціях говорять про вимірювання до 40-ї кратності (2,0 кГц). Зазвичай THD відноситься до спотворення напруги. Згідно з рекомендаціями, гармонічні спотворення напруги повинні бути нижчими за 8% відносно основної гармоніки. Показники, які перевищують 8%, вимагають додаткового аналізу.

Наслідки гармонік у електричних мережах. У промисловому середовищі електричне обладнання під час експлуатації часто стає причиною гармонічних спотворень. Багато сучасних промислових об'єктів мають ряд пристроїв, які можуть внести зміни до якості електроенергії, таких як перетворювачі частоти та двигуни, що керуються інверторами. Ці пристрої приймають змінну напругу та струм, конвертують їх постійний струм, а потім видають змінний струм різної частоти для точного керування двигунами. Під час цього процесу струм не завжди є чисто синусоїдальним, викликаючи спотворення в електричній системі. Таке обладнання може використовуватися в різних промислових операціях, включаючи перекачування рідин, конвеєрні системи або системи охолодження.

Дія гармонік на систему може призводити до зниження терміну служби обладнання, позаштатного функціонування захисних пристроїв через непередбачувані спрацьовування внаслідок дії окремих гармонік. Хоча виробники обладнання прагнуть, щоб їхні пристрої не викликали надмірних спотворень, існують стандарти якості електроенергії, щоб забезпечити їх примусове нормативне виконання. Однак, коли реальне обладнання в експлуатації вносить непередбачувані рівні спотворень, може виникнути вплив на інші системи. Старі трансформатори, наприклад, можуть страждати від вищих гармонік, що викликають їх перегрів, що в свою чергу веде до втрат енергії та можливих пошкоджень. Додаткові енергетичні втрати в обертових машинах, спричинені гармоніками, також є одним з основних негативних факторів. Це веде до збільшення середньої температури машини і можливих локальних перегрівів, особливо у роторі. Наприклад, при спотворенні форми синусоїдальної кривої напруги на рівні 10%, загальні втрати в електричних мережах промислових об'єктів, великих промислових регіонів або електрифікованих залізничних систем можуть становити від 10 до 15%.

**Методи компенсації гармонік.** Є два варіанти рішення цієї проблеми:

- зменшення рівня гармонік за рахунок встановлення належних фільтрів.
- заміна трансформаторів на інші, більш ефективні з точки зору їх роботи в умовах наявності вищих гармонік напруги.

Використання фільтрів може виявитися вельми корисним з економічного та технічного боків, в залежності від джерела гармонічних викривлень. Для виявлення конкретних джерел спотворень важливо провести аналіз гармонік у приєднаному обладнанні. Рекомендується розпочати з найбільших енергоємних електронних приводів: обладнання, яке споживає максимальну кількість струму, таке як потужні приводи тощо, щоб визначити те, в якому з пристроїв найвищий рівень ТНД. Необхідно збирати інформацію про рівень гармонік протягом кількох днів, щоб відслідкувати динаміку ТНД та виявити найбільш критичні моменти. Ці дані можна передати виробнику фільтрів, який зможе запропонувати оптимальні рішення для кожного окремого випадку. Можливо, проблеми викликають лише один, два пристрої. У складніших випадках може знадобитися більш комплексний підхід, але постачальник зможе рекомендувати належне рішення.

Оновлення трансформаторів. При цьому, також необхідно провести аналіз складу і рівня гармонік, щоб визначити їх вклад у баланс тепловиділення пристрою. Аналіз виконується за методикою, запропонованою IEEE; проте існують спеціалізовані засоби, які можуть допомогти автоматизувати розрахунки. Рекомендовані для заміни трансформатори зазвичай коштують більше, в порівнянні з конвенційними моделями, і заміна на такий трансформатор може призвести до певних складнощів та додаткових витрат часу. Проте в окремих обставинах цей підхід може бути найбільш доцільним.

**Висновки.** Проблема наявності вищих гармонік напруги та струму у електричних мережах вимагає невідкладних відповідних рішень через зростаючу кількість навантажень з нелінійним характером споживанням струму. Ігнорування цієї проблеми може призвести не тільки до фінансових втрат через пошкоджене обладнання, але й до перерв у електропостачанні, які в свою чергу впливають на комфорт і безпеку життя. Сучасні методи компенсації гармонік, враховуючи їх динамічний характер та специфіку мереж, стають дедалі більш ефективнішими. Однак ключовим є комплексний підхід: від правильного проєктування мережі до впровадження сучасних систем моніторингу та контролю якості електроенергії.

#### Перелік посилань

1. Смирнов С.С., Коверников Л.И. Вплив комутацій елементів мережі на режим вищих гармонік // Промислова енергетика, 2000. – № 8. – С. 45-48.
2. "Electric Power Systems Quality" Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty// McGraw-Hill Professional, 2002. – 521 p.