

АНАЛІЗ ПРИЧИН ПОГІРШЕННЯ ЯКОСТІ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ЯКІ ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ ФОРМУ НАПРУГИ

Останнім часом проблеми якості електроенергії привернули увагу багатьох дослідників, виробників електроенергії та її споживачів.

Погіршення якості електроенергії відбувається як через збурення, викликані перехідними процесами (кидки і просідання напруги, імпульсні перешкоди), так і в сталих режимах (гармонійні спотворення, несиметричність, флікер). З усіх проблем найбільш докладно в цій статті описані гармонійні спотворення.

Розглянуто та проаналізовано причини спотворення форми кривої синусоїдного періодичного струму та вплив спотворення на якість електричної енергії.

Проаналізовано заходи щодо зменшення несинусоїдальності напруги, забезпечення електромагнітної сумісності споживачів.

Ключові слова: напруга, електрична енергія, якість електричної енергії, коефіцієнт форми синусоїдної напруги, нелінійні елементи, комутація.

Постановка проблеми

Електрична енергія використовується практично у всіх процесах, пов'язаних з діяльністю людини. Володіючи специфічними властивостями, електроенергія безпосередньо бере участь при створенні інших видів енергії та продукції, впливаючи на їх якість.

Поняття якості електричної енергії (ЯЕЕ) відрізняється від поняття якості інших видів продукції. Кожен електричний пристрій, призначений для роботи при певних параметрах та умовах експлуатації, повинен відповідати:

- номінальній частоті;
- напрузі;
- коефіцієнту форми кривої напруги;
- коефіцієнту часової перенапруги тощо.

Якість електроенергії – це сукупність властивостей, які визначають дію на електрообладнання, прилади та апарати, що, у свою чергу, оцінюється показниками якості електроенергії. Ці показники характеризують рівні електромагнітних перешкод у системі електропостачання за частотою, діючому значенні напруги, формі його кривої, симетрії та імпульсам напруги [2]. Погіршення якості електроенергії, інакше кажучи, збільшення рівня електромагнітної сумісності у системі електропостачання обумовлено технологічним процесом виробництва, передачею, розподілом та споживанням електроенергії [2]. При дотриманні встановлених норм ЯЕЕ забезпечується електромагнітна сумісність електричних мереж енергопостачальних організацій та електричних мереж споживачів електричної енергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Актуальність теми щодо аналізу спектра вищих гармонійних у системі електричних мереж, пов'язана з проблемою якості електроенергії у системах електропостачання промислових підприємств, протягом достатньо тривалого часу залишається однією з найважливіших проблем, що визначає надійність та ефективність електропостачання споживачів. Ця проблема має декілька складових, однією з яких є проблема гармонійних складових (вищі гармоніки).

Джерелами ВГ є промислові споживачі з нелінійними вольтамперними характеристиками, а також окремі прилади, що мають широке використання у багатьох сферах життєдіяльності сучасної людини, які, однак, різко погіршують якість електричної енергії. ВГ, залежно від їх характеру, інтенсивності та тривалості, негативно впливають на роботу систем автоматики й телемеханіки,

знижують економічність та надійність роботи електричних мереж, зменшують термін експлуатації електрообладнання та призводять до багатьох інших негативних наслідків [1, 2].

Вагомий внесок у вивчення режимів ВГ, розробку методик вимірювання, розрахунку й нормалізації внесли вітчизняні та зарубіжні вчені: Жежеленко І. В., Железко Ю. С., Зикін Ф. А., Карташев І. І., Кордюков Е. І., Кузнецов В. Г., Курбацький В. Г., Липський А. М. та ін.

Проте основними у сфері аналізу несинусоїдальних режимів систем електропостачання промислових підприємств (СЕП ПП) є праці Жежеленка І. В. У його працях розкрито найбільш повний спектр питань, пов'язаних із режимами ВГ для мереж промислових підприємств.

Мета, завдання та методика досліджень

Метою досліджень є аналіз причин погіршення якості електроенергії з показниками, що характеризують форму кривої напруги та спотворення якості обліку електроенергії.

Аналіз результатів дослідження

З точки зору якості електроенергії (напруги) для нормальної роботи електричного обладнання, підключеного до мережі змінного струму, оптимальною є ідеально синусоїдальна форма напруги живлення (рис. 1).

Однак на сучасних підприємствах та побуті значного поширення набули навантаження, вольт- і веберамперні характеристики, які мають нелінійний характер (нелінійні навантаження). Підключення таких споживачів, що мають у своєму складі нелінійні елементи, часто призводить до відхилення форми напруги від синусоїди.

Осцилограма форми кривої синусоїдного струму силової мережі була знята у лабораторії 312а ЖНАЕУ.

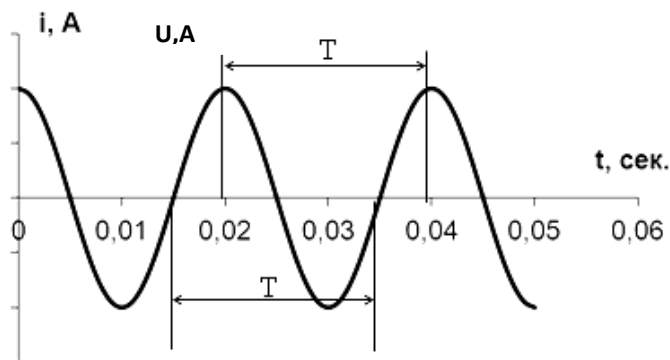


Рис. 1. Ідеальна синусоїдальна форма напруги частотою 50 Гц

При дослідженні форми кривої напруги живлення, остання має вигляд форми несинусоїдальності явно вираженої (рис. 2). Причини спотворення форми кривої, у першу чергу, залежать від споживачів.

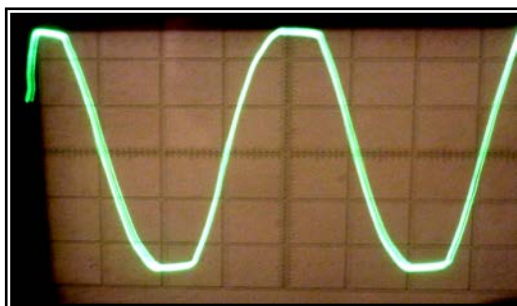


Рис. 2. Осцилограма форми кривої синусоїдного струму силової мережі

До числа таких споживачів відносяться різного роду вентиляльні перетворювачі (головним чином, тиристорні): установки дугового і контактного електрозварювання, сталеплавильні печі, трансформатори, двигуни тощо.

Ці навантаження споживають із мережі струм, крива якого виявляється несинусоїдальною, а в багатьох випадках – і неперіодичною, у результаті виникають нелінійні спотворення кривої напруги.

Фізична сутність спотворення синусоїдальності змінної напруги полягає у виникненні режиму короткого замикання ланцюга змінного струму в інтервали комутації струму діодних та тиристорних плечей випрямляча, внаслідок чого на цих інтервалах відбуваються провали у кривій синусоїдальної напруги. Вони спотворюють форму кривої напруги і призводять до виникнення вищих гармонійних складових у частотному спектрі напруги [1].

Так як коливання напруги повторюються кожен напівперіод напруги живлення, то ця періодичність обмежує вентиляльну міцність випрямляча і спричиняє швидкому виходу їх з ладу.

Крім того, ці коливання з'являються у кривій випрямленої напруги, впливаючи на електромагнітні процеси, що протікають у ланцюзі випрямленого струму.

У трифазного трансформатора з трьома стержнями магнітопровід не тільки є нелінійним, але й несиметричним. Довжина магнітних шляхів крайніх і середньої фаз різняться в 1,9 раза. Такий факт є причиною того, що струм намагнічення у середній фазі менший за струм крайніх фаз.

Коефіцієнти гармонік 3-го порядку, і навіть 5-го та 7-го, досягають значних величин, наприклад, 30 % і більше. Гармоніка 3-го порядку виключає з'єднання обмотки у трикутник.

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 відносно загального навантаження системи електропостачання, то гармоніки напруги будуть незначними. Апарати з електричною дугою чи апарати, що використовують електричний розряд: дугові печі, зварювальні машини, люмінесцентні лампи (створюють нестабільні у часі гармоніки).

Дещо нова проблема – стрімке зростання комп'ютерної техніки, що створює проблему спотворення форми кривої синусоїдної напруги, яку необхідно розв'язувати.

З курсу математики відомо, що періодичні несинусоїдні функції, які задовольняють умови Дирихле, можна розкласти у тригонометричний ряд Фур'є, тобто представити сумою гармонічних складових.

Згідно з умовами Дирихле, така функція має кінцеве число відносних максимумів та мінімумів, а також точок розриву першого роду на деякому кінцевому інтервалі [4].

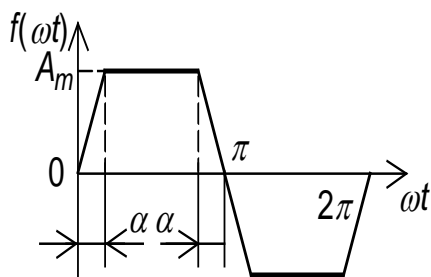


Рис. 3. Періодична функція трапеціодальної форми

Згідно із досліджуваною формою спотворень, синусоїда більш близька до періодичної функції, яка має вигляд симетричної трапеції відносно осі ординат. При розкладі такої функції в ряд Фур'є, остання має вигляд

$$e(t) = 4A_m / a\pi (\sin a \sin \omega t) + 1/9 \sin a \sin 3\omega t + 1/25 \sin 5a \sin 5\omega t + 1/49 \sin 7a \sin 7\omega t \dots$$

Аналізуючи цю функцію, бачимо, що вона складається з непарних гармонік (3, 5, 7...). Відхилення форми змінної напруги від синусоїди є одним з основних параметрів, що характеризують якість електричної енергії у силових мережах. Дані показники визначаються як значення, усереднені за 3 с. Визначення

показників, що характеризують синусоїдальність напруги, проводиться так: коефіцієнт спотворення синусоїдальності напруги визначають за формулою

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_n^2}}{U_1} \cdot 100\%,$$

де – значення n -й гармонійної складової напруги; U_1 – значення першої (основної) гармоніки напруги.

Значення гармонік нормується ГОСТ 13109-97. Якість електроенергії за показником коефіцієнта спотворення синусоїдальності кривої напруги і коефіцієнта n -й гармонійної складової напруги у точці загального приєднання вважають відповідним вимогам стандарту, якщо найбільше з усіх вимірних протягом 24 годин значень коефіцієнтів спотворення не перевищує гранично допустимого значення. Також значення коефіцієнта спотворення, відповідне ймовірності 95% за встановлений період часу, не повинно перевищувати нормально допустимого значення.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Зменшення несинусоїдальності забезпечується:

1. Зменшенням рівня вищих гармонік від перетворювачів за рахунок збільшення числа фаз і використання спеціальних схем перетворення та керування ними;

2. Раціональною побудовою схеми мережі:

- живленням нелінійних навантажень від окремих ліній та трансформаторів;
- використанням фільтрів.

Зниження якості електроенергії проявляється у зростанні втрат потужності та енергії, зменшенні терміну служби обладнання, технологічному збитку, що включає у себе зменшення продукції, зниження якості продукції, випуску неякісної продукції. Необхідною умовою успішної роботи системи загального електропостачання є забезпечення ЯЕЕ у вузлах підключення споживачів.

Подальші дослідження будуть відбуватися з більш ретельним вивченням впливу інверторів на силову мережу.

Література

1. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий / И. В. Жежеленко. – М. : Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.
2. Жежеленко И. В. Вопросы качества электроэнергии в электроустановках / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Сезенко. – Мариуполь : ПГТУ, 1996. – 173 с.
3. Аррилага Д. Гармоники в электрических системах / Д. Аррилага, Д. Брэдли, П. Боджер. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
4. Основы теории цепей / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.