

ВИЩІ ГАРМОНІКИ В ПРОМИСЛОВИХ ТА ПОБУТОВИХ СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Карюк А. О.¹, Ієрусалімова Т. С.², Сєдова О. О.²¹Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
²Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Розглянуті основні джерела вищих гармонік та їх вплив на роботу електричних апаратів та якість електричної енергії.

Постановка проблеми

Проблема забезпечення якості електричної енергії залишається актуальною для сучасної електроенергетики як в Україні, так і далеко за її межами. Це пояснюється постійним зростанням кількості силової електроніки, що сприяє зростаючому впливу вищих гармонік струму на режим роботи промислових і побутових електроприймачів, а також на роботу обладнання систем електропостачання та електричних мереж високої напруги. Тому дослідження спектрального складу струмів, що генеруються різними нелінійними споживачами, і розробка схемотехнічних рішень, зниження викривлення кривих струму і напруги є, актуальними завданнями сучасної електроенергетики, особливо на тлі зростаючої потужності нелінійного навантаження, по-перше в напівпровідникових перетворювачах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Існуючі мережі не передбачали стрімке зростання комп'ютерних мереж та напівпровідникових перетворювачів. Тому аналізу складу та впливу вищих гармонік на електричну мережу приділено високу увагу в багатьох наукових публікаціях, зокрема у роботах таких вчених: Н. Akagi, В. Г. Кузнецова, І. В. Жежеленко, Ю. С. Железко, представлені на міжнародних конференціях і форумах.

Мета статті

Пропонується розглянути основні джерела вищих гармонік та з'ясувати їх вплив на електричну мережу в цілому, якість та облік електричної енергії, режими роботи електрообладнання та установок.

Основні матеріали дослідження.

Якщо говорити про джерела вищих гармонік, то ними можуть бути не тільки споживачі, але і джерела живлення. При цьому синхронні генератори є джерелами лише невеликої частки вищих гармонік, тому ними часто нехтують. Спотворення ж, що генеруються споживачами, які мають нелінійну вольт-амперну характеристику, ігнорувати не можна. Список споживачів, які мають найбільший вплив на синусоїду, складається з: вентильних перетворювачів;

- перетворювачів частот;
- печей (рудо-термічних, індукційних, дугових сталеплавильних і т. п.);

- електричних двигунів та трансформаторів;
- електрозварювальних установок;
- газорозрядних ламп;

Вентильним перетворювачам відводиться роль досить сильних джерел вищих гармонік. При розгляді яких, часто використовуються шестипульсні мостові схеми, можна зробити висновки, що переважаючими в них будуть канонічні вищі гармоніки (250 Гц, 350 Гц, 550 Гц, 650 Гц). У дванадцятипульсних схемах перші дві гармоніки з перерахованих вище теоретично відсутні, тому переважають останні дві.

Перетворювачами частоти широко користуються на різних промислових підприємствах. Вони також генерують як канонічні вищі гармоніки, так і інтергармоніки. На рис. 1 зображена структурна схема перетворювача частоти разом з дзвіном постійного струму.

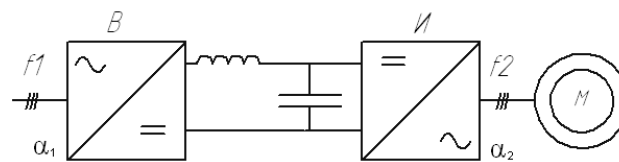


Рисунок 1 – Схема перетворювача частоти з дзвіном постійного струму

Пристрій включає в себе інвертор И, випрямляч В, а також індуктивно-ємнісний фільтр.

Дзвіно постійного струму характеризується наявністю пульсуючого струму. Внаслідок цього в мережевому струмі, крім появи інтергармонік, спостерігається збільшення канонічних вищих гармонік. Тому відносний рівень електромагнітних перешкод в мережевому перетворювачі частоти постійного струму значно перевершує рівень електромагнітних перешкод струму мережі, вентильні перетворювачі тиристорних електроприводів, прокатних станів, електролізних установок і ін.

Дугові сталеплавильні печі генерують велику кількість електромагнітних перешкод:

- коливання,
- вищі гармоніки,
- інтергармоніки,
- несиметрія напруги.

У максимальному ступені, електромагнітні перешкоди проявляються в момент розплавлення металу.

Зварювальні апарати, які живляться від електромережі, генерують практично весь спектр електромагнітних перешкод, які впливають на якість електричної енергії.

ної енергії. Крім цього, вони генерують і інтергармоніки. Наприклад, діапазон таких перешкод, створюваних точковим зварюванням, від 35 до 75 Гц. При цьому амплітуди можуть досягати 20% базової гармоніки. Енергія, що знаходиться в дискретному спектрі, становить близько 5-20% від енергії, що належить до змішаного спектру. Що стосується коефіцієнта несиметрії, то він в даному випадку обмежений інтервалом від 1 до 5 відсотків.

Що стосується *газорозрядних ламп* (ртутних і люмінесцентних), то вони відносяться до генераторів вищих гармонік третього, п'ятого та сьомого порядків.

Електричне навантаження житлових будинків характеризується досить широким діапазоном електричних приладів. Класифікація, зроблена за їх призначенням і впливом на мережу, складається з наступних груп: споживачі, які мають активну потужність (обігрівачі, праски і т.п.); прилади з трифазними асинхронними двигунами (насоси, ліфти і т.п.); прилади з однофазними асинхронними двигунами (компресори холодильних установок); прилади, що мають колекторні мотори (дрилі, болгарки, пиломокти і т. п.); зварювальні апарати; пристрої, призначені для випрямлення струму; радіоелектронні прилади (телевізори, оргтехніка, персональні комп'ютери); лампи і мікрохвильові печі. Окремо всі ці прилади мають на мережу досить слабкий вплив, однак при одночасному використанні вони можуть стати сильним джерелом електромагнітних перешкод.

Причини несинусоїдальної форми струму і напруги і його вплив на споживачів електричної енергії

Сучасна промисловість і сфера послуг сьогодні не можуть обійтися без різноманітних напівпровідникових пристроїв. Даний список складається з побутових приладів, вентиляційних перетворювачів, зварювальних апаратів, електродвигунів і т. п. Всі ці пристрої є досить сильними джерелами електромагнітних перешкод. Наприклад целюлозно-паперова промисловість характеризується тільки відхиленням напруги. А ось машинобудівні підприємства, що використовують потужні зварювальні апарати, впливають на якість електроенергії набагато сильніше. Тут присутні коливання, відхилення і несиметрія напруги. Несинусоїдальність ж є поширеним явищем на металургійних підприємствах і тягових підстанціях залізничного транспорту.

Низька якість електроенергії пов'язана зі значним економічним збитком, який складається з електромагнітних і технологічних складових. Перша група характеризується зменшенням експлуатаційного терміну ізоляції електричного обладнання. Причиною того є електричне та теплове старіння ізоляції. Друга – впливом якості електроенергії на технологічні установки та їх продуктивність. Це безпосередньо пов'язано із собівартістю виробленого продукту. Саме тому кількісний аналіз надійності електрообладнання при зниженій якості електричної енергії є таким важливим.

Впливу вищих гармонік піддаються всі елементи системи електропостачання. Нижче перераховані основні форми такого впливу:

а) струми і напруги вищих гармонік збільшуються внаслідок послідовних і паралельних резонансів;

б) знижується ефективність використання і передачі електричної енергії;

в) скорочується експлуатаційний термін ізоляції обладнання;

г) частішають виходи з ладу електрообладнання.

Вплив вищих гармонік на трансформатори

Вищі гармоніки напруги не тільки скорочують експлуатаційний термін ізоляції трансформаторів, а й сприяють збільшенню втрат, які пов'язані з виникненням вихрових струмів в сталі. Крім цього, страждає від таких гармонік і обмотка, і гістерезис.

Що стосується перетворювальних трансформаторів, то тут найважливішу роль відіграють втрати в обмотці. Пов'язано це з тим, що фільтри, які працюють на змінному струмі, не знижують в обладнанні гармонік струму. Дана особливість призводить до необхідності встановлювати підвищеної потужності устаткування. Ще одна проблема пов'язана з місцевими перегрівками баків трансформаторів.

Негативний аспект впливу гармонік на потужні трансформатори полягає в циркуляції потроєного струму нульової послідовності в обмотках, з'єднаних в трикутник. Це може привести до їх перевантаження.

Вплив вищих гармонік на роботу телевізорів та комп'ютерів

Вищі гармоніки, які сприяють збільшенню піку напруги, часто стають причиною різних перешкод, що позначаються як на яскравості, так і на самому зображенні на екрані телевізора.

Існують межі на допустимі рівні спотворень в мережах, що живлять комп'ютери і системи обробки даних. У деяких випадках вони виражаються в відсотках від номінальної напруги (для комп'ютера – 5%) або у вигляді відношення піку напруги до діючого значенням (CDC встановлює допустимі його межі значеннями $1,41 \pm 0,1$).

Вплив гармонік на вимір потужності і енергії

Процес калібрування вимірювального обладнання, як правило, відбувається при нарузі, синусоїда якого позбавлена електромагнітних перешкод, оскільки наявність вищих гармонік може збільшити його похибку. Найважливішими показниками при цьому є напрямок і розміри вищих гармонік, адже саме від них і буде залежати розмір похибки.

Вищі гармоніки часто стають причинами похибок вимірювальних приладів. Стандартний індукційний лічильник може завищувати реальні свідчення на 5%, особливо якщо споживач має відповідні джерела спотворення. В результаті впливу даних спотворень відображається на рахунках за електроенергію, тому споживачі самі зацікавлені в установці спеціальних засобів, що зменшують несинусоїдальність.

При цьому кількісні дані, які відображають вплив вищих гармонік на ступінь точності вимірювання максимумів навантаження, відсутні. Імовірно можна сказати, що даний вплив відповідає впливу гармонік на ступінь точності визначення енергії. Необхідність точних вимірювань може бути задоволена установкою дорогих високоякісних лічильників.

Реактивна потужність також опиняється під впливом вищих гармонік, які можуть зробити результати її вимірювання некоректними. Дана величина може бути визначена тільки в випадках з синусоїда-

льними напругами і струмами. Крім цього, гармоніки спотворюють і результати вимірювань коефіцієнтів потужності. При цьому вплив вищих гармонік на калібрування та перевірку лабораторних приладів згадується досить рідко, проте дане питання також дуже важливий характер.

Способи зменшення гармонік

Зниження несинусоїдальності напруги забезпечується раціональною побудовою схем електричної мережі підприємства, при яких коефіцієнт перекручування кривої напруги буде відбуватися в допустимих межах, або шляхом застосування спеціальних схем нелінійних навантажень, а також корегуючих пристроїв.

Найбільш ефективними заходами боротьби з гармоніками є запобігання складових, що їх генерують. А саме, в електричних машинах число, форма та розподіл пазів повинні бути підбрані так, щоб знизити при крайньому рівні гармоніки низького порядку.

Подібні конструктивні заходи не завжди економічно виправдані, тому слід шукати оптимальне співвідношення між вартістю апарату та втратами, викликаними вищими гармоніками. Це відноситься до трансформаторів, в яких при бажанні позбавитися гармонік (не перевищуючи порога насичення) потрібно значно збільшити сегмент сердечників і ярма, а це приведе до збільшення розмірів, ваги і відповідно ціни цих апаратів.

Існують такі апарати в яких неможливо зменшити гармоніки конструктивними засобами. При цьому між апаратом і системою необхідно розташувати пристрій, здатний запобігати запобігати розповсюдження гармонік в системі. Цей пристрій є фільтром, який іноді складається з конденсаторів, іноді утвореною комбінацією ємкісних та індуктивних опорів, включених послідовно та паралельно таким чином, щоб отримати пропускну ділянку необхідної ширини.

Фільтри, підключені паралельно, представляють собою мережі з великою повною провідністю, що поглинають гармоніки. Вони можуть бути доповнені іншими фільтрами, включеними послідовно в систему і створюють фільтрпробки.

Для люмінесцентних ламп великої потужності застосовуються пристрої компандування, що представляють собою фільтр гармонік.

Ефективний спосіб, що перешкоджає поширенню гармонік за рахунок застосування трансформатора, в якому хоча б одна з обмоток об'єднана в "трикутник".

Висновки

Аналізуючи вищевикладене, можна зробити висновок, що саме прогресом в галузі силової перетворювальної техніки, який привів до більш широкого застосування в промисловому електропостачанні потужних вентиляційних перетворювачів, електродугових сталеплавильних печей, зварювальних пристроїв та інших силових пристроїв, які мають в процесі своєї роботи нелінійні вольт-амперні характеристики, а також широке застосування напівпровідникових перетворювачів, яким також належить роль потужних джерел електромагнітних перешкод. Вищеперахована електрична техніка широко використовується в

побуті, промисловості, медицині і т.п. Тому питома потужність, яку вона споживає, досить велика і цей показник постійно зростає з року в рік. Відповідно, збільшується і рівень електромагнітних складових струму тому гостро постає проблема більш детального дослідження спектрального складу струму та розробки заходів щодо зменшення кількості вищих гармонічних складових струму.

Список використаних джерел

1. Akagi, H. Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning / H. Akagi, E. Watanabe, M. Aredes. – Wiley-IEEE Press. – 2007. – 379 p.
2. Саєнко Ю. Л. Зниження рівнів гармонійних спотворень в електричних мережах з джерелами інтегрармонік / Ю. Л. Саєнко, Т. К. Бараненко, Є. В. Бараненко // Електрифікація транспорту. – 2012. – № 3. – С. 78–83.
3. Веприк Ю. Н. Методы моделирования режимов работы электрических систем с несимметрией и тенденции их развития / Ю. Н. Веприк // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – 2010. – № 1. – С. 48–61.
4. Кузнецов В. Г. Электромагнитная совместимость. Несимметрия и несинусоидальность напряжения / В. Г. Кузнецов, Э. Г. Куренный, А. П. Лютый. – Донецьк: Норд-Пресс, 2005. – 250 с.
5. Железко Ю. С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях / Ю. С. Железко. – М.: НУ ЭНАС, 2002. – 280 с.

Аннотация

ВЫСШИЕ ГАРМОНИКИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Карюк А. А., Иерусалимова Т. С., Седова Е. А.

Рассмотрены основные источники высших гармоник и их влияние на работу электрических аппаратов и качество электрической энергии.

Abstract

THE HIGHER HARMONICS OF INDUSTRIAL AND DOMESTIC POWER SUPPLY SYSTEM

A. Kariuk, T. Jerusalimova, E. Sedova

The main sources of higher harmonics and their influence on the work of electric apparatuses and the quality of electric energy are considered.