

логічних систем потребує формулювання загальних принципів визначення фактичного стану ПВЛ біогазових установок у процесі експлуатації.

Тому сумісний ремонт агрегатів, строки та обсяги яких визначаються методом зіставлення інтервалів залишкового ресурсу всіх складових технологічної лінії, буде економічно ефективнішим від індивідуальних ремонтів окремих машин.

Список літератури

1. Анілович В.Я. Міцність та надійність машин / В.Я. Анілович. – К.: Урожай. 1996. – 288 с.
2. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности / Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д.. – М.: Наука, 1965 – 524 с.
3. Михнин В.М. Прогнозирование технического состояния машин / В.М. Михнин. – М.: Колос, 1976. – 214 с.
4. Телков Ю.К. Системный анализ и методология автоматического проектирования непрерывных технологических производств / Ю.К. Телков. – М.: Академия народного хозяйства, 1978. – 220 с.

Рассмотрены вопросы повышения эффективности ремонтно-обслуживающих работ сервисных предприятий на основе информации о фактическом состоянии элементов технологических систем биогазовых установок.

Биогазовая установка, поточно-производственная линия, отказ, удельные расходы.

The problems of improving the efficiency of repair and maintenance work and service enterprises based on information about the actual state of elements of technological systems of biogas plants.

Biogas plant, thread-production line, failure, the unit cost.

УДК 537.315.6

ОБГРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ ВИЩИХ ГАРМОНІК НА ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

В.Я. Бунько, старший викладач

ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

Проведено обґрунтування впливу вищих гармонік на елементи системи електропостачання та показники якості електричної енергії в розподільних мережах.

Вищі гармоніки, якість електричної енергії, коефіцієнт несиметрії, втрати потужності, джерело живлення, активний фільтр, додаткові втрати.

© В.Я. Бунько, 2014

Передавання, розподіл, перетворення та споживання електричної енергії супроводжуються відхиленнями параметрів, які характеризують її за певними властивостями від первинних значень.

Якість електричної енергії – це сукупність її властивостей, при яких електрообладнання, прилади та апарати здатні нормально функціонувати, виконувати закладені в них функції.

Забезпечення необхідної якості електроенергії для приймачів – це комплекс складних завдань, які розв'язують під час проектування та експлуатації електропостачальних систем (ЕПС). Якість електроенергії суттєво впливає на технологічний процес виробництва та якість продукції, втрати електроенергії, параметри самої ЕПС та її режиму роботи і залежить не тільки від енергосистеми як джерела живлення, але і від споживачів, тому що на сучасних підприємствах є велика кількість особливих електроприймачів, які негативно впливають на якість електроенергії. Наявність у системах електропостачання потужних дугових електропечей, регульованих вентильних перетворювачів та інших електроприймачів і споживачів з нелінійними вольт-амперними характеристиками та приймачів із різкозмінним навантаженням створюють проблеми, пов'язані з їхньою електромагнітною сумісністю з ЕПС. Успішне вирішення цих проблем забезпечує раціональну роботу як таких приймачів, так і всіх інших, приєднаних до тієї самої системи (освітлення, електродвигуни тощо).

Показники якості визначають за стандартами та нормами. Розробка норм і стандартів є складною проблемою, ця робота проводиться постійно в багатьох країнах світу та в міжнародних галузевих організаціях. Останнім часом міжнародними організаціями прийнято низку нормативних документів, в основу яких покладено стандарти провідних країн світу. Так, Європейським комітетом нормалізації в галузі електротехніки у 1994р. було прийнято та розроблено багато стандартів, якими нормують показники якості електроенергії в різних мережах, зокрема і промислових, та визначають умови приєднання споживачів до мереж.

Норми, що встановлені цим стандартом, є рівнями електромагнітної сумісності для кондуктивних електромагнітних збурень (завад) в ЕПС загального призначення. За умов дотримання цих норм забезпечується електромагнітна сумісність електричних мереж систем електропостачання загального призначення та електричних мереж споживачів (приймачів) електричної енергії. Норми є обов'язковими в усіх режимах роботи електропостачальних систем загального призначення, крім режимів, зумовлених:

- винятковими погодними умовами;
- непередбачуваними ситуаціями (пожежі, вибухи тощо);
- умовами, регламентованими державними органами управління, а також пов'язаними з ліквідацією наслідків, зумовлених винятковими погодними умовами та непередбачуваними обставинами.

Мета досліджень – аналіз впливу вищих гармонік на елементи системи електропостачання та якість електричної енергії в розподільних мережах.

Матеріали та методика досліджень. На основі вивчення літерату-

рних джерел розглянуто стан якості електричної енергії в системах електропостачання. Визначено наслідки, викликані погіршенням якості електроенергії, при чому особливу увагу приділено вищим гармонікам складових струму і напруги, як найскладнішому для інженерної оцінки фактора.

Результати досліджень. Особливість електричної енергії полягає в тому, що її якість на місці виробництва не гарантує якості на місці споживання. Якість електроенергії до і після ввімкнення електроприймача до мережі також може бути різною. Тому, відповідна якість електричної енергії – це один із її головних показників ефективності виробництва, передачі розподілу і споживання.

Основними формами дії вищих гармонічних складових струму і напруги на елементи системи електропостачанняє:

- збільшення струмів і напруг гармонік внаслідок резонансу;
- зниження ефективності процесів генерації, передачі і використання електроенергії внаслідок додаткових втрат;
- пришвидшення старіння ізоляції електроустаткування;
- хибна робота пристроїв релейного захисту та автоматики.

Вищі гармоніки в електродвигунах призводять до додаткових втрат в обмотках статора, колах ротора, а також у сталі ротора і статора. Ці втрати призводять до підвищення загальної температури машини, а також до місцевих перегрівів.

Вищі гармонічні складові струму і напруги викликають у трансформаторах збільшення втрат на гістерезис, а також втрат, пов'язаних з вихровими струмами у сталі, і втрат в обмотках трансформаторів. Також, вищі гармоніки струму складають електродинамічні зусилля, які викликають додаткові акустичні шуми.

Гармоніка струму і напруги в лініях електропередачі також призводять до додаткових втрат електроенергії. У випадку кабельних ліній вищі гармоніки впливають на діелектрик. Це в свою чергу, збільшує число пошкоджень кабельної лінії. У повітряних лініях гармоніки за цією ж причиною можуть викликати збільшення втрат на корону. Електричне старіння ізоляції можна пояснити виникненням часткових зарядів, які розповсюджуються лише на частину ізоляційного проміжку.

Хибне спрацювання запобіжників і автоматичних вимикачів відбувається через додаткове нагрівання внутрішніх елементів захисних пристроїв внаслідок протікання несинусоїдальних струмів і дії поверхневого ефекту та ефекту близькості. Також вищі гармонічні складові струму і напруги можуть порушувати роботу захисту або погіршувати їх характеристики. Характер цього порушення в основному залежить від принципу роботи пристрою і режиму роботи системи. В аварійних режимах вищі гармоніки значно впливають на деякі види релейного захисту. Якщо не знижувати рівень гармонік, то ймовірність хибної роботи релейного захисту значно збільшується.

Актуальною є задача оцінки додаткових втрат потужності в основних елементах системи електропостачання від вищих гармонік. Знаючи величину втрат, можна знизити їх, застосовуючи організаційні заходи, або, якщо їх недостатньо – технічні засоби, які знижують рівень гармонік.

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[5]:

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

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: $k_{rv} = 0,47\sqrt{v}$.

Слід зазначити, що в деяких роботах експериментальним шляхом досліджено вплив гармонік на активний і реактивний опори проводів марок АС та АСО, а також кабелів 6-25кВ різного перерізу. Відповідно до цих досліджень питомий активний опір провідника на частоті v -тої гармоніки буде:

$$r_{0v} = r_0 (k_{\Pi v} + k_{\delta v}), \quad (2)$$

де r_0 – питомий опір провідника постійному струму (з врахуванням температури), Ом; $k_{\Pi v}$ – коефіцієнт, який враховує наявність поверхневого ефекту для v -тої гармоніки, $k_{\Pi v} = 0,021\sqrt{f}$ – для міді і $k_{\Pi v} = 0,01635\sqrt{f}$ – для алюмінію. Коефіцієнт $k_{\delta v}$, який враховує близькість v -ої гармоніки, визначається за формулою:

$$k_{\delta v} = \frac{1,18 + k_{\Pi v}}{k_{\Pi v} + 0,27} \left(\frac{d}{a} \right)^2, \quad (3)$$

де d – діаметр жили провідника, мм; a – відстань між центрами жил, мм.

Що стосується ефекту близькості, то його обов'язково 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:

$$\Delta P_{\Sigma v} = 3 r_0 l \sum_{v=2}^n I_v^2 (k_{\Pi v} + k_{\delta v}). \quad (4)$$

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

$$\Delta P_{\Sigma v} = 3 \sum_{v=2}^n I_v^2 R_{k1} k_{vm}, \quad (5)$$

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 короткого замикання для вищих гармонік внаслідок впливу поверхневого ефекту та ефекту близькості. Для силових трансформаторів можна прийняти $k_{5m} = 2,1$; $k_{7m} = 2,5$; $k_{11m} = 3,2$; $k_{13m} = 3,7$. Втрати на частотах гармонік вище 13-тої є малими, і ними можна знехтувати. Але, не завжди амплітуда напруги вищих гармонік зменшується при збільшенні порядку ви-

щих 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 [1]. Тоді додаткові втрати х.х., обумовлені вищими гармоніками, можна визначити за виразом:

$$\Delta P_{x.x.v} = \Delta P_{x.x.} \sum_{v=2}^n \left(\frac{U_v}{U_{ном}} \right)^2. \quad (6)$$

Враховуючи, що активний опір к.з. на v -тій 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 к.з., викликані несинусоїдальністю напруги [4]:

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

Крім основних, у трансформаторах є додаткові втрати, обумовлені вихровими струмами. Величина цих втрат в обмотках трансформаторах зростає пропорційно квадрату номера гармоніки [2]:

$$\Delta P_{доб v} = v^2 0,05 \Delta P_{к.з.v}. \quad (8)$$

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

$$\Delta P_{\Sigma v} = \Delta P_{x.x.} \sum_{v=2}^n \left(\frac{U_v}{U_{ном}} \right)^2 + 0,607 \frac{\Delta P_{к.з.}}{u_{к.з.}^2} \sum_{v=2}^n \frac{1+0,05v^2}{v \sqrt{v}} \left(\frac{U_v}{U_{ном}} \right)^2. \quad (9)$$

До технічних засобів, які знижують рівень гармонік у системах електропостачання, належать:

- лінійні дрoселі;
- магнітні синтезатори;
- пасивні фільтри;
- гібридні фільтри;
- активні фільтри.

Залежно від схеми і принципів керування активні фільтри прийнято розділяти на джерела струму і джерела напруги. На рисунку наведено спрощені схеми ввімкнення активних фільтрів у вигляді джерел напруги $U_{\Delta\phi}$ і джерел струму $I_{\Delta\phi}$. У схемі (рисунок) джерело електроживлення U_c має несинусоїдальну напругу.

Для забезпечення синусоїдальності кривої напруги на шинах навантаження U_H послідовно з джерелом живлення вмикається активний фільтр гармонік у вигляді еквівалентного джерела напруги $U_{\Delta\phi}$. Параметри схеми визначаються із таких співвідношень:

$$\begin{cases} U_c(t) = \sum_{n=1}^{\infty} U_{nm} \sin(n\omega t - \varphi_n); \\ U_H(t) = U_{1m} \sin(\omega t - \varphi_1); \\ U_{A\Phi}(t) = \sum_{n \neq 1}^{\infty} U_{nm} \sin(n\omega t - \varphi_n) \\ U_H(t) = U_c(t) - U_{A\Phi}(t). \end{cases} \quad (10)$$

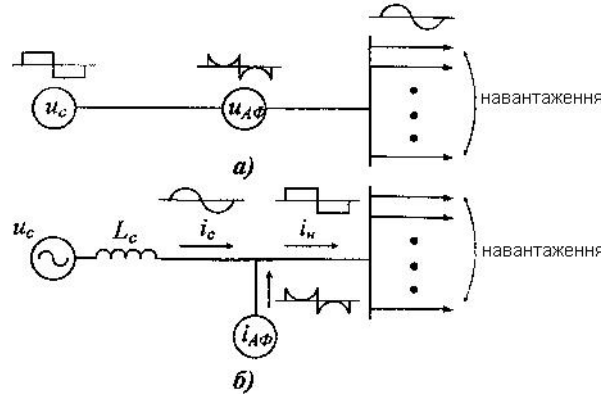


Схема ввімкнення активного фільтра: а – послідовне ввімкнення активного фільтра; б – паралельне ввімкнення активного фільтра

Приймаючи, що втрати в активному фільтрі та його елементах дорівнюють нулю, а навантаження – лінійне, можемо визначити активну потужність фільтра на інтервалі періоду основної частоти [3].

$$P_{A\Phi} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [\sum_{n \neq 1}^{\infty} U_{nm} \sin(n\omega t - \varphi_n)] I_{Hm1} \sin(\omega t - \varphi_{i1}) dt = 0 \quad (11)$$

Із виразу (11) випливає, що при прийнятих допущеннях активний фільтр гармонік не впливає на баланс активної потужності в системі «джерело живлення – навантаження». У цьому випадку активний фільтр безпосередньо бере участь в обміні потужністю спотворення з джерелом несинусоїдальної напруги. Потужність спотворення є неактивною і передається по контуру: джерело живлення – ділянка електричної лінії, яка з'єднує джерело і активний фільтр. Останнім елементом активного фільтра, який накопичує і віддає енергію, обумовлену спотворенням напруги, є накопичувач електричної енергії – конденсатор або реактор.

Висновки

Проведений аналіз робіт показує, що в сучасних умовах частка нелінійного навантаження є значною. Тому, проблеми оцінки рівня втрат потужності від вищих гармонік і зниження цих втрат є важливими. Зниження рівня вищих гармонічних складових струму і напруги для забезпечення синусоїдальності кривої напруги може бути досягнуто застосуванням різних способів і спеціальних технічних засобів. Встановлено, що найбільш перспективним і ефективним технічним засобом є активний фільтр гармонік, який забезпечує синусоїдальність кривої напруги за рахунок зниження рівня гармонік.

Список літератури

1. Васютинский С.Б. Вопросы теории и расчета трансформаторов / С.Б. Васютинский. – Л.: Энергия, 1970. – 432с.

2. Лютаревич А.Г. Повышение качества электроэнергии в распределительных сетях за счет снижения несинусоидальности кривой напряжения: дис. канд. техн. наук: 05.14.02 / Лютаревич Александр Геннадьевич. – Омск, 2009. – 134 с.
3. Розанов Ю.К. Силовая электроника: учебник для вузов / Розанов Ю.К., Рябчинский М.В., Кваснюк А.А. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 632 с.
4. Церазов А.Л. Исследование влияний несимметрии и несинусоидальности напряжения на работу асинхронных двигателей / А.Л. Церазов, Н.И. Якименко. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 120с.
5. Шидловский А.К. Повышение качества энергии в электрических сетях / А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов. – К.: Наук. думка, 1985. – 268с.

Проведено обоснование влияния высших гармоник на элементы системы электроснабжения и показатели качества электрической энергии в распределительных сетях.

Высшие гармоники, качество электрической энергии, коэффициент несимметрии, потери мощности, источник питания, активный фильтр, дополнительные потери.

Argumentation of higher harmonics effect on the power supply system elements and indicators of the quality of electric energy in distribution networks is realized.

Higher harmonics, power quality, unbalance, power loss, power supply, active filter, additional losses.

УДК.631-37

АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

***В.Ю.Рамш, кандидат технічних наук
ВП НУБіП України “Бережанський агротехнічний інститут”***

Розглянуто методику вибору системи керування технологічними процесами біогазових установок як складової частини всієї технологічної системи.

Біогазові установки, матриця, система керування, стійкість регулювання.

Взаємозв'язок енергетики та економіки вимагає насамперед економії енергії на всіх рівнях виробництва та споживання. Поставлена мета досягається тоді, коли приріст потреб у паливі та енергії на 75 % задовольняється за рахунок відновлюваних джерел енергії [1].

Застосування потужних біогазових установок (БГУ) дозволяє вирішити проблеми енергетичного, екологічного та агрохімічного характеру і може бути базовою основою для створення екологічно чистих джерел енергії.