

РОЗПОДІЛ ГАРМОНІК НА ДІЛЯНЦІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПРИ НАЯВНОСТІ ГЕНЕРУЮЧИХ УСТАНОВОК, ЩО ПАРАЛЕЛЬНО ПРАЦЮЮТЬ З МЕРЕЖЕЮ

О.В. Бялобржеський, Н.Г. Чередник

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна; e-mail: natali_alex_2008@mail.ru

Впровадження когенерації в енергетиці, на підприємствах дозволяє підвищити маневрену потужність, енергобезпеку підприємств. Виникає комплексна задача раціонального використання потужностей когенераційних установок та зовнішньої електричної мережі. У разі наявності в структурі підприємства, або його технологічної ділянки споживачів з нелінійним характером навантаження питання забезпечення якості електричної енергії суттєво загострюється. Мета роботи - розробка моделі ділянки електроспоживання з генеруючою установкою та дослідження показників якості електричної енергії за умови наявності споживачів з нелінійним навантаженням. В системах електроспоживання в останній час широко застосовуються генеруючі установки середньої потужності, які підключається до системи без суттєвої модернізації останньої, що певним чином змінює електроенергетичні процеси та показники їх якості. Раціональне використання генерованих потужностей паралельно із централізованою системою електропостачання за умов наявності декількох агрегатів може бути виконано шляхом використання відомих оптимізаційних методів з урахуванням структури системи електропостачання. Зважаючи на тотальне запровадження напівпровідникових перетворювачів електричної енергії, як засобу її регулювання та перетворення для технологічних потреб, актуальним стає питання обліку та керування показниками якості електричної енергії на ділянках, де використовуються генератори електричної енергії. Шляхом експериментального дослідження в середовищі візуального програмування моделі електроенергетичної системи продемонстровано деякі випадки перерозподілу потоків енергії між генеруючою установкою та трансформатором централізованого електропостачання, та зміну показників спотворення струму зазначених елементів. Відмічено, що характер перерозподілу показників якості відрізняється від характеру поточкорозподілу. Зазначені особливості є причиною для застосування систем технічного обліку електричної енергії та її якості.

Ключові слова: когенераційна установка, спотворення електричної енергії, нелінійне навантаження.

Вступ

Комбіноване вироблення електричної і теплової енергії або когенерація, одна з найбільш ефективних енергозберігаючих технологій. У сучасних когенераційних установок на базі газопоршневих двигунів коефіцієнт використання теплоти згорання палива доходить до 85-90%. Економія палива при виробленні енергії може досягати 40% в порівнянні з роздільним виробництвом тієї ж кількості електроенергії і теплової енергії [1]. Когенераційна установка дозволяє економити на підключенні до електро- та тепломереж, так само забезпечує енергетичну незалежність від збоїв в

електропостачанні і аварій в системах тепlopостачання у разі використання разом з магістральною мережею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В Україні виробляють достатньо електроенергії, але вона використовується неефективно. Проблема в тому, що маневреність енергосистем України спадає. Широке впровадження когенерації в енергетиці, на підприємствах дозволить підвищити маневрену потужність, енергобезпеку підприємств. Впровадження когенерації скоротить втрати електроенергії в мережах, які досить великі. З'являються шляхи вирішення "пікових" потужностей [1].

При цьому виникає комплексна задача раціонального використання потужностей когенераційних установок та зовнішньої, зокрема електричної, мережі. Останнім часом енергомережі набувають певної інтелектуалізації, активно розвивається технологія *Smart Grid*, яка інтегрує в єдиний комплекс мережі енергопостачання та комп'ютерні телекомунікаційні мережі, засновані на системах передачі інформації. Головна задача технології полягає в забезпеченні моніторингу та оптимізації витрат енергоресурсів, а також підвищення безпеки функціонування енергомереж [2].

Технологія *Smart Grid* найбільш істотно змінює принципи функціонування енергомереж, пропонуючи нові рішення активної і децентралізованої взаємодії. Сучасні споживачі, що використовують комп'ютерні телекомунікаційні системи для передачі інформації в мережі *Smart Grid*, можуть автоматично вибрати режим роботи найбільш енерговитратного обладнання та власних генеруючих установок протягом тижня, з точністю до години, з урахуванням оптимального комерційного тарифу [2]. Відповідно, енергозбутова компанія, маючи поточні дані про плановане енергоспоживання окремих споживачів, може оптимально конфігурувати свої потужності, наприклад, використовуючи акумулятори електроенергії та активні розподільні пристрої, закупити необхідну електроенергію у мережевого постачальника за оптимальними тарифами і т.д. весь ланцюжок постійно обмінюється інформацією, яка активно використовується керуючими елементами для забезпечення збалансованого графіка споживання/генерації, підтримки якості електричної енергії, безпечної трансформації і передачі. У разі наявності в структурі підприємства, або його технологічної ділянки споживачів з нелінійним характером навантаження питання забезпечення якості електричної енергії суттєво загострюється.

Метою роботи є розробка моделі ділянки електроспоживання з малою генеруючою установкою та дослідження показників якості електричної енергії за умови наявності споживачів з нелінійним навантаженням.

Виклад основного матеріалу

Використання когенеруючої установки (установок) в системі електроспоживання підприємства по-перше ставить завдання оптимального розподілу активної потужності. Початковий генеруючий елемент ланцюга кола постійної генерації максимальної кількості електричної енергії видає оптимальну потужність відповідно до реальних балансів потужності/споживання електроенергетичної системи в поточний момент часу [3]. Сумарна потужність генеруючих установок на підприємстві, як правило, не перевищує сумарну споживану потужність. Тому в робочий режим включаються не всі агрегати, а якась їх частина. Однією з основних вимог, що пред'являються до електроенергетичної системи, є економічність її режиму роботи, що відповідає мінімальним витратам на одиницю виробленої електроенергії. У зв'язку з цим постає оптимізаційна задача економічного розподілу активної потужності між окремими

агрегатами в енергетичній системі та зовнішньою мережею. В якості критерію оптимальності приймається мінімум сумарних витрат на енергоносії B_{Σ} при виконанні балансу потужності

$$\sum P_{\Gamma} = \sum P_H + \sum P_{CH} + \Delta P_{\Sigma} = \sum P_{\Pi},$$

де $\sum P_{\Gamma}$ - сумарна генерована активна потужність; $\sum P_H$ - сумарна активна потужність споживачів в мережі; $\sum P_{CH}$ - сумарна потужність власних потреб генеруючої установки; ΔP_{Σ} - сумарні втрати активної потужності; $\sum P_{\Pi}$ - сумарне споживання активної потужності.

Задачу оптимального розподілу активної потужності розглядають для когенераційної установки, яка працює паралельно із мережею на виділене навантаження $\sum P_{\Pi}$. Вводять [3] питомі витрати на одиницю потужності $B(P_{\Gamma})$ когенераційної установки та мережі, які визначають залежність вартості B від потужності, що видається генератором P_{Γ} . Таким чином функція сумарних витрат, що підлягає оптимізації, матиме вигляд

$$B_{\Sigma} = \sum_{I=1}^n B_I(P_{\Gamma I}) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Мінімум функції шукається за умови виконання балансу активної потужності. Цю умову записують у вигляді

$$\sum_{I=1}^n P_{\Gamma I} - \sum P_{\Pi} = 0. \quad (2)$$

Для цільової функції (1) і балансу активної потужності (2) записують функцію Лагранжа і замість умовного мінімуму цільової функції шукають безумовний мінімум функції Лагранжа

$$L = \sum_{I=1}^n B_I(P_{\Gamma I}) + \lambda \left(\sum_{I=1}^n P_{\Gamma I} - \sum P_{\Pi} \right) \rightarrow \min, \quad (3)$$

де λ – невизначений множник Лагранжа.

Мінімум функції Лагранжа досягається при рівності нулю її похідних по всім змінним, тобто при умовах

$$\begin{aligned} \partial L / \partial P_{\Gamma I} &= \partial B_I / \partial P_{\Gamma I} + \lambda = 0, \\ \partial L / \partial P_{\Pi} &= \partial B_{\Pi} / \partial P_{\Pi} + \lambda = 0, \\ \partial L / \partial \lambda &= \left(\sum_{I=1}^n P_{\Gamma I} - \sum P_{\Pi} \right) = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

З рівнянь (4) видно, що шуканому рішенню відповідає умова рівності між собою похідних

$$\partial B_I / \partial P_{\Gamma I} = \dots = \partial B_I / \partial P_{\Gamma I} = \dots = \partial B_{\Pi} / \partial P_{\Pi} = -\lambda = \text{const}.$$

Ці похідні називають відносними приростами ε_I ($I = 1, 2, \dots, n$). Оптимальний розподіл активної потужності між когенераційною установкою, та мережею як

показано в [4], здійснюється при рівності відносних приростів витрат на енергоносії, що може бути закладене в алгоритм регулювання за активною потужністю генератора когенераційної установки, за умов реалізації технології *Smart Grid*.

Економічність режиму роботи енергетичної системи визначається не тільки сумарною витратою на енергоносії, але і втратами потужності в електричних мережах. Втрати активної потужності в мережах залежать від перетоків по ним потужностей, пов'язаних з розподілом сумарного навантаження між окремими джерелами. Чим довші і завантажені лінії зв'язку підприємства, тим сильніший вплив втрат потужності в мережі на економічний режим роботи системи електропостачання і тим відчутніші поправки до розподілу потужностей між когенераційною установкою та зовнішньою системою електропостачання. Таким чином, питання про економічний розподіл активної потужності слід вирішувати з урахуванням ряду додаткових умов, що характеризують роботу конкретної системи електропостачання [3].

Електричну мережу промислового підприємства характеризують не тільки великою кількістю вузлів і гілок, а і наявністю замкнутих контурів з загальними гілками. Потокорозподіл в гілках складної мережі залежить не тільки від навантажень, але і від параметрів гілок мережі. Додаткові труднощі у визначенні параметрів сталих режимів вносить нелінійний характер навантажень. Вводячи балансуєчий по струму (потужності) вузол, у якості якого може бути прийнятий будь-який вузол, за законами Кірхгофа складають рівняння для інших вузлів мережі. Для мережі змінного струму провідності всіх гілок, що задають струми джерел і навантажень, шукані напруги і струми гілок вважають величинами комплексними. Напруга в базисному вузлі задають, як правило, дійсним числом.

З урахуванням зазначеної систему рівнянь вузлових напруг для мережі змінного струму розглядають [5] в матричній формі запису

$$\dot{Y}\dot{U} = \dot{J} - \dot{Y}_o U_o,$$

де $\dot{Y} = G - jB$ - матриця власних і взаємних провідностей; $\dot{U} = U^* + jU^{**}$ - вектор-стовпчик напруг в вузлах; $\dot{J} = J^* + jJ^{**}$ - вектор-стовпчик струмів у вузлах; $\dot{Y}_o U_o$ - вектор-стовпчик добутку базисної напруги на взаємні провідності між базисним вузлом і іншими вузлами $\dot{Y}_o = G_o - jB_o$.

В результаті отримують

$$(G - jB)(U^* + jU^{**}) = (J^* + jJ^{**}) - (G_o - jB_o)U_o.$$

Розділивши в останньому матричному рівнянні дійсні та уявні частини, переходять до системи лінійних алгебраїчних рівнянь порядку $2(N-1)$ з дійсними елементами

$$\begin{cases} GU^* + B_y U^{**} = J^* - G_o U_o; \\ -BU^{**} + GU^{**} = J^{**} - B_o U_o. \end{cases}$$

В загальному випадку наведений розрахунок є розрахунком складно замкненої схеми в якій протікають струми та діють напруги, що гармонійно змінюються з частотою 50Гц. Реальна електрична мережа і система електропостачання підприємства є електромагнітним середовищем, в якому відбувається генерування, поширення та вплив електромагнітних завад електроприймачами, що певним чином діють на інші електроприймачі. Виникає завдання їх електромагнітної сумісності, під якою розуміється здатність електрообладнання, апаратів і приладів нормально

функціонувати в електромагнітному середовищі, не створюючи неприпустимих перешкод для іншого обладнання, яке функціонує в тому ж середовищі [4].

Допустимі величини напруг вищих гармонік в мережах загального призначення для різних номінальних напруг визначаються стандартами якості електричної енергії. У стандартах регламентуються коефіцієнти спотворення синусоїдальності напруги і струму K_U , K_I і коефіцієнти вищих гармонік $K_{U(n)}$, $K_{I(n)}$ [3]. Виконання вимог національного стандарту до якості електричної енергії є обов'язковим для всіх мереж загального призначення.

Розподіл та транспорт електричної енергії на території промислових підприємств здійснюється мережами низької та середньої напруги. До цих мереж підключено велику кількість дрібних споживачів енергії, в тому числі і таких, що спотворюють потужність потоку енергії - електротранспорт, верстати з регулюванням швидкості обертання, тиристорно-регульовані електроприводи технологічних механізмів і інші об'єкти. Для мереж цього класу характерні високі рівні вищих гармонік, значна кількість навантажень і наявність пристроїв по забезпеченню якості електричної енергії, пов'язаних з вищими гармоніками напруги [5].

Як показано в [6] якщо джерелом гармонік є перетворювач, можна використовувати спрощені формули, при яких враховуються тільки гармоніки до 13-ї включно. Частотні характеристики розподільної мережі і енергосистеми приймаються лінійними, що дозволяє певною мірою врахувати зростання коефіцієнту спотворення синусоїдальності K_I за рахунок гармонік $\nu < 13$.

При резонансі струмів у вузлі мережі з боку вищої напруги на частоті ν -ї гармоніки опір мережі виявляється чисто активним. У цьому випадку найбільше значення коефіцієнта несинусоїдальності за [6]

$$K_I^{(\max)} = \frac{1}{k_R} \sqrt{\sum_{\nu=2}^n [I_{\nu\Sigma^*} \nu \sqrt{\nu}]^2},$$

де $k_R = \frac{R_k}{X_k}$, R_k , X_k - еквівалентні активний і індуктивний опори короткого замикання у вузлі; $I_{\nu\Sigma^*}$ - відносне значення сумарного струму ν -ї гармоніки джерел; ν - номер останньої з врахованих гармонік.

Відносне значення струму ν -ї гармоніки кожного джерела беруть в частках відповідного номінального струму. Підсумовування гармонік струму одного порядку, що генеруються окремими джерелами, здійснюється з урахуванням початкових фаз. Значення $K_I^{(\max)}$ будуть практично однакові як у вузлі мережі енергосистеми, так і на шинах 6-10 кВ підприємства. Останнє пояснюють [6] тим, що при резонансі струмів на частоті гармонік через трансформатор зв'язку проходить дуже малий струм, яким можна знехтувати, і відповідним падінням напруги теж. Але якщо одна з обмоток трансформатора з'єднана в трикутник, то відповідне припущення перестав бути дійсним.

Якщо до шин підстанції 6-10 кВ підключене лінійне навантаження, опір якого на частотах вищих гармонік $X_{\nu\ell}$ то

$$K_U^{(\max)} = \frac{\sqrt{3 \sum_{\nu=2}^n [I_{\nu\Sigma^*}^{(\max)} X_{\nu\ell}]^2}}{U_{ном}}$$

Результати

Аналітичний розрахунок показників якості електричної енергії у вузлах електричної мережі з генеруючими установками середньої та малої потужності є досить складним. Складність зумовлена наявністю автоматичних регуляторів в структурі системи управління генеруючою установкою, окрім того постійна зміна режиму роботи технологічного обладнання збільшує кількість еквівалентних електричних схем заміщення для відповідного режиму. Таким чином, в роботі виконано моделювання режимів електроенергетичної системи, яка певною мірою є еквівалентом системи електроспоживання малого промислового підприємства [6]. Аналітичний метод розрахунку за системою (1), базується на рівняннях певної електричної схеми, складених за законами Кірхгофа. Для аналізу складено спрощену схему електричної мережі підприємства - рисунок 1. Синхронний генератор (*Generator*) когенераційної установки залежно від часу підключається паралельно до електричної мережі (*Grid*) в якій наявні група трифазних споживачів (*LOAD 3*) з лінійним характером навантаження та двох груп споживачів, які еквівалентизують тиристорні випрямлячі з активно-індуктивним навантаженням (*LOAD 1*) та входні схеми частотних перетворювачів – випрямляч з активно ємнісним навантаженням (*LOAD 2*).

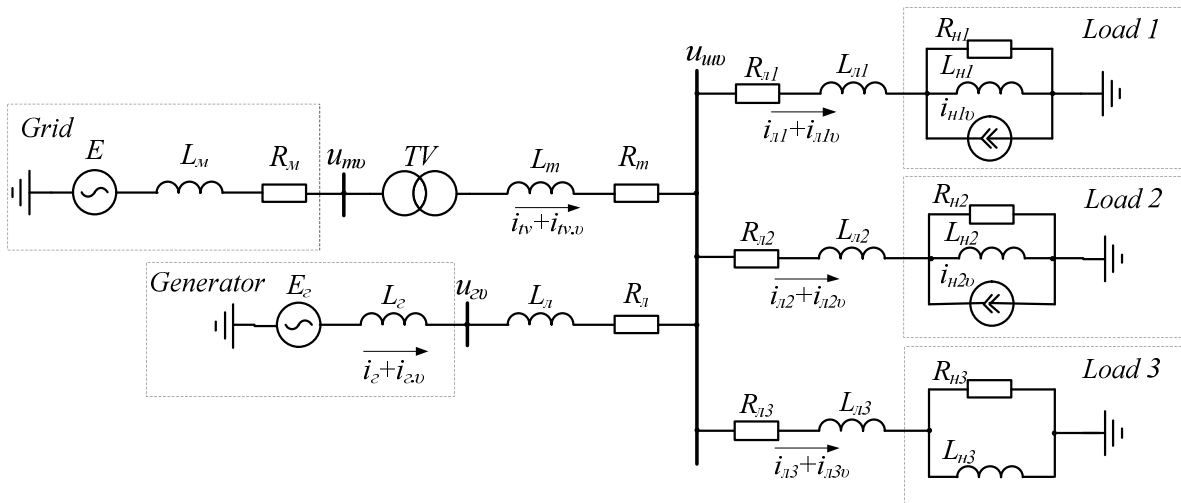


Рис.1. Спрощена схема електричної мережі підприємства

Перетворювач для мережі живлення є нелінійним навантаженням, що генерує певний спектр гармонік струму. Проте реальні мережі мають власний опір і обмежену потужність. Внаслідок цього відбувається викривлення форми напруги, що впливає через мережу на роботу інших споживачів, а також і на сам перетворювач через його систему керування.

Для дослідження впливу вищих гармонік на процеси розподілу електричної енергії в системі електроспоживання за схемою (рис.1) у середовищі візуального програмування побудована імітаційна модель (рис.2).

Схема включає: *GRID* - джерело живлення; *TV* - трансформатор типу ТМ/400/10 потужністю 400 кВА; *GE* – синхронний генератор потужністю 315 кВт; *LOAD1*, *LOAD2* – гілки трифазного навантаження з тиристорними випрямлячами; *LOAD3* – трифазне навантаження. Параметри елементів схеми обрано наступними: *LOAD1* ($P=46$ кВт, $Q=26$ кВАр), *LOAD2* ($P=41$ кВт, $Q=23$ кВАр), *LOAD3* ($P=185$ кВт, $Q=68$ кВАр).

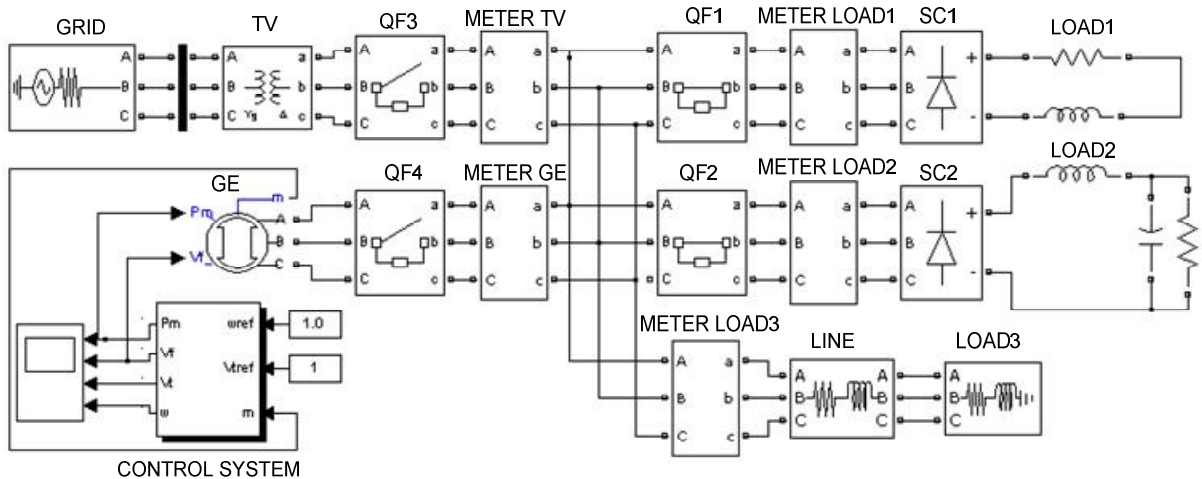


Рис.2. Модель схеми вузла системи електроспоживання підприємства

Проведено п'ять експериментів з дослідження розподілу вищих гармонік в мережі при конфігурації моделі:

Ехр 1 – паралельна робота мережі і генератора на 3 групи споживачів;

Ехр 2 – паралельна робота мережі і генератора з ввімкненими гілками *LOAD1* і *LOAD3*;

Ехр 3 – паралельна робота мережі і генератора з ввімкненими гілками *LOAD2* і *LOAD3*;

Ехр 4 – робота мережі на 3 групи споживачів без використання генеруючої установки;

Ехр 5 – автономна робота генеруючої установки на 3 групи споживачів.

Коли говорять про гармоніки в електромережі, то в першу чергу мають на увазі гармоніки струму. Ніякий корисний висновок неможливо зробити без аналізу спектру гармонік фактичного сигналу, але все ще загальноприйнятим є визначення значення сумарних гармонійних спотворень. Коли гармоніки поширюються по мережі електропередачі, тобто по відгалуженням, що не призначені для передачі струмів гармонік, то вони проявляються як гармоніки напруги. Для визначення показників електроспоживання, викривлення струму та напруги у контрольованому вузлі використано вимірювальну систему приведену на рис.3.

Визначення параметрів виконується за відомими [7] виразами коефіцієнту загальних гармонійних спотворень:

$$THD(f) = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1},$$

де U_1 – діюче значення напруги основної (першої) гармоніки; U_2, U_3, \dots - діюче значення напруги другої та, відповідно, вищих гармонік.

Активна потужність визначається скалярним добутком напруги та струму в кожній фазі

$$p = \langle u_a i_a \rangle + \langle u_b i_b \rangle + \langle u_c i_c \rangle.$$

Реактивна потужність визначається векторним добутком струму та напруги в кожній фазі

$$q = (u_a \times i_a) + (u_b \times i_b) + (u_c \times i_c).$$

Зважаючи на можливість виникнення складових струму зворотної послідовності, що впливає на роботу генератора, визначаються струми прямої, зворотної та нульової послідовностей

$$\dot{I}_{a1} = \frac{1}{3}(\dot{I}_a + \alpha \dot{I}_b + \alpha^2 \dot{I}_c); \quad \dot{I}_{a2} = \frac{1}{3}(\dot{I}_a + \alpha^2 \dot{I}_b + \alpha \dot{I}_c); \quad \dot{I}_{a0} = \frac{1}{3}(\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c),$$

де $\dot{I} = |i|e^{j \arg(i)}$ - комплекс струму.

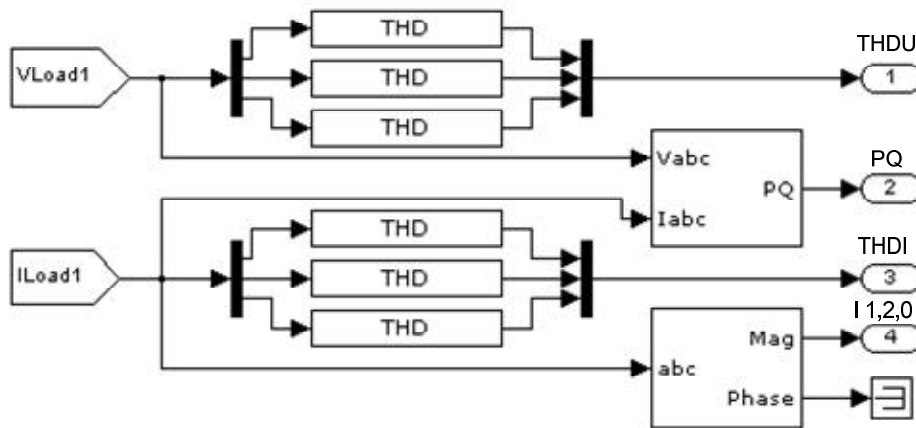


Рис.3. Вимірвальна система досліджуваних параметрів

На рис.4 наведено фрагменти діаграм струму та напруги генератора та трансформатора для експерименту № 1. Зведені результати показників напруги та струмів прямої та зворотної послідовностей, активної та реактивної потужностей та коефіцієнти спотворень представлені для кожного з експериментів у табл.1.

Аналізуючи чисельні данні наведені у таблиці 1 слід відзначити загальну нерівномірність розподілу нелінійних спотворень струму, і як наслідок напруги в генеруючих елементах електроенергетичної системи. Зокрема порівнюючи спотворення струму синхронного генератора відмічено суттєве збільшення рівня спотворення струму та напруги в п'ятому експерименті, за умов відключення силового трансформатора. Але цей рівень спотворень не відповідає рівню спотворень струму трансформатора в четвертому експерименті при відключеному генераторі, що вочевидь пояснюється різницею параметрів схем заміщення зазначених елементів. Також слід зазначити, що у разі паралельної роботи генератора та трансформатора рівень спотворення струму останнього в перших трьох експериментах залишався суттєво більшим, що, вірогідно, пояснюється непропорційним завантаженням генератора і трансформатора струмом та потужністю. Значення потужності перерозподіляються між трансформатором та генератором за умов зміни не тільки величини а й характеру навантаження. В досліджуваних випадках складові зворотної послідовності не перевищують одного відсотка від складових прямої послідовності, у зв'язку з чим до уваги не приймаються.

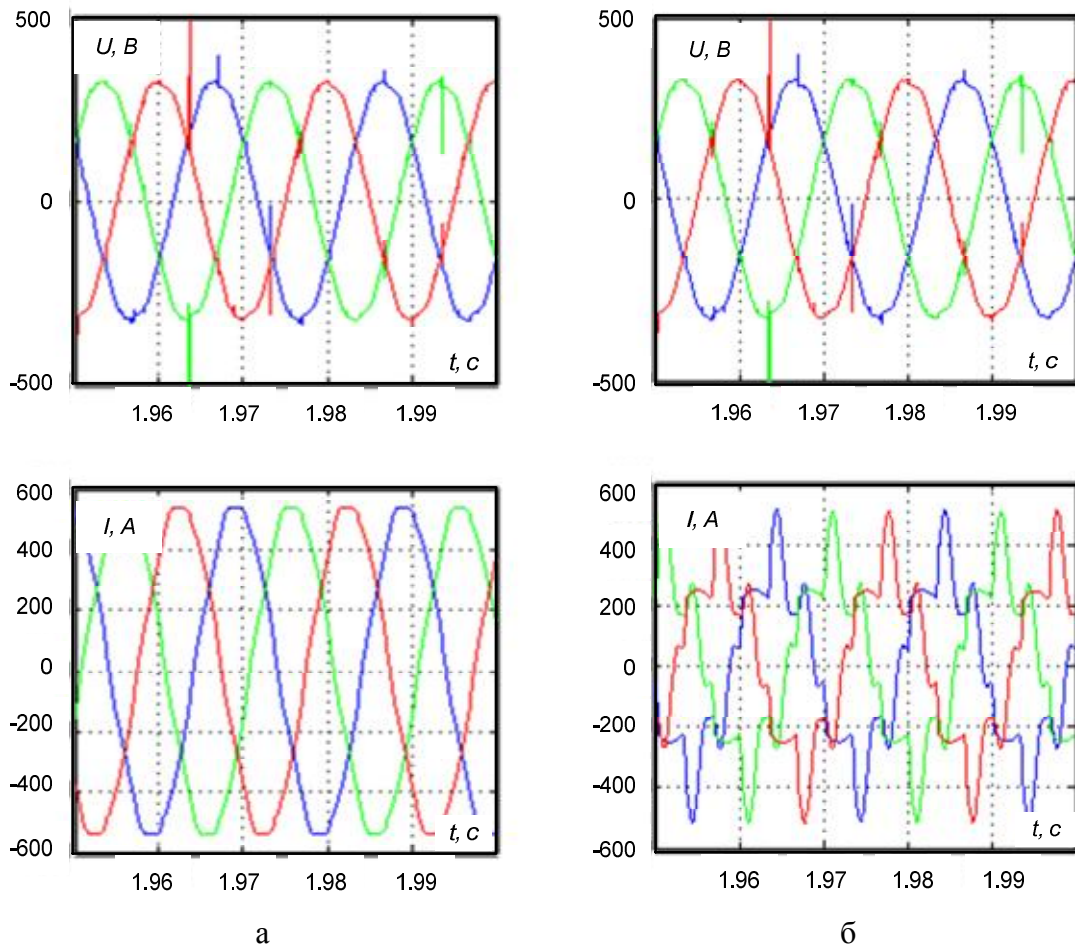


Рис.4. Напряга та струм: а – генератора, б – трансформатора

Таблиця 1.

Зведені результати вимірювань

Елемент	Параметри	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 5
GE	U_1, B	372.2	372.5	372.1		352.53
	U_2, B	0.07347	0.08455	0.06302		0.2981
	I_1, A	535.2	471.9	490.7		652.5
	I_2, A	0.1599	0.1118	0.1348		0.6597
	P, Bm	182900	184700	178200		329200
	Q, VAp	188800	144700	158700		102200
	$THD_{I_a, в.о.}$	0.03118	0.008913	0.029		0.1392
	$THD_{I_b, в.о.}$	0.03101	0.009062	0.02886		0.1399
	$THD_{I_c, в.о.}$	0.03098	0.009199	0.02904		0.1402
	$THD_{U_a, в.о.}$	0.04632	0.02013	0.02221		0.1159
	$THD_{U_b, в.о.}$	0.04767	0.01803	0.0222		0.117
	$THD_{U_c, в.о.}$	0.04485	0.01872	0.02194		0.1181
TV	I_1, A	345.1	180.8	244.7	632.5	
	I_2, A	0.346	0.243	0.157	0.459	
	P, Bm	83020	42750	41260	25100	
	Q, VAp	-73950	-53500	-69310	10960	
	$THD_{I_a, в.о.}$	0.3277	0.1551	0.3955	0.2019	
	$THD_{I_b, в.о.}$	0.3273	0.158	0.3961	0.2021	
	$THD_{I_c, в.о.}$	0.328	0.1549	0.396	0.2034	

Продовження табл.1

Елемент	Параметри	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 5
LOAD 1	I_1, A	112.6	112.9		109.9	110.5
	I_2, A	0.0962	0.1791		0.1212	0.0873
	$THD_{I_a, в.о.}$	0.2898	0.2929		0.2869	0.2668
	$THD_{I_b, в.о.}$	0.289	0.2951		0.2855	0.2665
	$THD_{I_c, в.о.}$	0.2884	0.2942		0.2853	0.267
LOAD 2	I_1, A	161.5		162.3	158.1	160
	I_2, A	0.1192		0.02558	0.2937	0.3584
	$THD_{I_a, в.о.}$	0.7276		0.7028	0.7415	0.5811
	$THD_{I_b, в.о.}$	0.7278		0.7026	0.7427	0.5835
	$THD_{I_c, в.о.}$	0.7244		0.703	0.7479	0.584

Висновки

В системах електроспоживання в останній час широко застосовуються генеруючі установки середньої потужності, які підключається до системи без суттєвої модернізації останньої, що певним чином змінює електроенергетичні процеси та показники їх якості.

Раціональне використання генерованих потужностей паралельно із централізованою системою електропостачання за умов наявності декількох агрегатів може бути виконано шляхом використання відомих оптимізаційних методів з урахуванням структури системи електропостачання.

Зважаючи на тотальне запровадження напівпровідникових перетворювачів електричної енергії, як засобу її регулювання та перетворення для технологічних потреб, актуальним стає питання обліку та керування показниками якості електричної енергії на ділянках, де використовуються генератори електричної енергії.

Шляхом експериментального дослідження в середовищі візуального програмування моделі електроенергетичної системи продемонстровано деякі випадки перерозподілу потоків енергії між генеруючою установкою та трансформатором централізованого електропостачання, та зміну показників спотворення струму зазначених елементів. Відмічено, що характер парозподілу показників якості відрізняється від характеру поточкорозподілу. Зазначені особливості є причиною для застосування систем технічного обліку електричної енергії та її якості.

Список літератури

1. Практическое руководство по повышению энергоэффективности муниципальных систем. Под редакцией А.С. Копеца и Р.В. Кишканя – Донецк, 2007. – 204 с.
2. Лунтовский, А.О. Использование технологии SMART GRID для повышения эффективности энергосетей / А.О. Лунтовский, А.И. Семенко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2014. – №2 (30). – С. 21-26.
3. Костин, В.Н. Передача и распределение электроэнергетики. Учебное пособие / В.Н. Костин, Е.В. Распопов, Е.А. Радченко. – Санкт-Петербург, 2003. – 147 с.
4. Смирнов, С.С. Высшие гармоники в сетях высокого напряжения. – Новосибирск: Наука, 2010. – 327 с.
5. Жежеленко, И.В. Расчеты показателей электромагнитной совместимости. / И.В. Жежеленко, Г.Г. Пивняк, Ю.В. Папаика. – Д.: НГУ, 2014. – 113 с.
6. Чередник, Н.Г. Дослідження режиму синхронного генератора когенераційної установки у складі системи електропостачання малого промислового підприємства / Н.Г. Чередник, О.В. Бялобржеський // Науково-техн. збірник Гірнична електромеханіка та автоматика. – 2015. – Вип. 94. – С. 139-145.

7. Черных, И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных. – СПб.: Питер, 2008. – 288 с.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАРМОНИК НА УЧАСТКЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ ГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВОК, РАБОТАЮЩИХ ПАРАЛЛЕЛЬНО С СЕТЬЮ

А.В. Бялобржеский, Н.Г. Чередник

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского,
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина; e-mail: natali_alex_2008@mail.ru

Внедрение когенерации в энергетике, на предприятиях позволяет повысить маневренную мощность, энергобезопасность предприятий. Возникает комплексная задача рационального использования мощностей когенерационных установок и внешней электрической сети. При наличии в структуре предприятия, или его технологического участка потребителей с нелинейным характером нагрузки вопрос качества электрической энергии существенно обостряется. Цель работы - разработка модели участка электропотребления с генерирующей установкой и исследования показателей качества электрической энергии при наличии потребителей с нелинейной нагрузкой. В системах электроснабжения в последнее время широко применяются генерирующие установки средней мощности, которые подключаются к системе без существенной модернизации последней, что определенным образом меняет электроэнергетические процессы и показатели их качества. Рациональное использование генерируемых мощностей параллельно с централизованной системой электроснабжения при условии наличия нескольких агрегатов может быть выполнено путем использования известных оптимизационных методов с учетом структуры системы электроснабжения. Несмотря на тотальное введение полупроводниковых преобразователей электрической энергии, как средства ее регулирования и преобразования для технологических нужд, актуальным становится вопрос учета и управления показателями качества электрической энергии на участках, где используются генераторы электрической энергии. Путем экспериментального исследования в среде визуального программирования модели электроэнергетической системы продемонстрированы некоторые случаи перераспределения потоков энергии между генерирующей установкой и трансформатором централизованного электроснабжения, и изменение показателей искажения тока указанных элементов. Отмечено, что характер перераспределения показателей качества отличается от характера потокораспределения. Указанные особенности являются причиной для применения систем технического учета электрической энергии и ее качества.

Ключевые слова: когенерационная установка, искажения электрической энергии, нелинейная нагрузка.

DISTRIBUTION OF HARMONICS ON POWER CONSUMPTION SECTION IN THE PRESENCE OF GENERATING UNITS THAT WORK IN PARALLEL WITH THE NETWORK

O. Bialobrzheskyi, N. Cherednyk

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,
20, Pershotravneva str., Kremenchuk, 39600, Ukraine; e-mail: natali_alex_2008@mail.ru

The introduction of co-generation in the energy sector, can improve maneuverable power, energy security at the enterprises. There is a complex problem of rational use of cogeneration units and external power network. In the presence in the structure of the enterprise, or the technological area of consumers with non-linear nature of the load a question of quality of electric energy significantly exacerbated. Purpose of the work - to develop a model of the site with electricity-generating installation and research indicators of quality of electric energy in the presence of customers with non-linear load. The power supply systems in recent years is widely used medium power generating units, which are connected to the system without a substantial modernization, that in a certain way changes the power generation processes and indicators of quality. The rational use of the generated power along with a centralized power system subject to the availability of several units can be performed by using known optimization methods based on power system structure. Despite the total introduction of a semiconductor converters of electric energy, as a means of its regulation and transformation for technological needs, the question becomes relevant accounting and management indicators of quality of electric energy in areas where generators of electricity used. Through experimental research in the environment of visual programming model of the electric power system demonstrated some cases of redistribution of energy flows between the generating set and transformer centralized power, and change the current parameters of distortion of these elements. It is noted that the nature of indicators of quality of redistribution is different from the nature of flow distribution. These features are the reason for the application of technical accounting of electric energy and its quality systems.

Keywords: cogeneration plant, the distortion of electricity, non-linear load.