

УДК 621.318:53.087

ВИМІРЮВАЧ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОПРОЦЕСІВ В АСИНХРОННОМУ ГЕНЕРАТОРІ НА БАЗІ ВІРТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ У ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ LAB VIEW

Н. В. Зачепа, Ю. В. Зачепа, С. А. Сергієнко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: natali_2M@mail.ru

Запропоновано структуру віртуального наглядача показників енергорежимів джерел генерації енергії, що являє собою програмний блок, функціональними можливостями якого є аналіз енергетичних процесів у різних режимах роботи автономного генераторного комплексу, та дозволяє відобразити процеси генерування та рекуперації енергії між джерелом живлення та споживачем. Виконано аналіз процесів енергоперетворення на базі віртуальної моделі автономної енергогенеруючої установки з асинхронним генератором. Для дослідження енергетичних режимів в асинхронному генераторі використано метод миттєвої потужності, що базується на наданні сигналу потужності та її складових у базисі гармонічних функцій, які відповідають процесам, що виникають в енергетичній системі.

Ключові слова: енергетичні режими, автономний асинхронний генератор, віртуальний енергонаглядач.

ИЗМЕРИТЕЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОПРОЦЕССОВ В АСИНХРОННОМ ГЕНЕРАТОРЕ НА БАЗЕ ВИРТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ LAB VIEW

Н. В. Зачепа, Ю. В. Зачепа, С. А. Сергиенко

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: natali_2M@mail.ru

Предложена структура виртуального наблюдателя показателей энергорежимов источников генерации энергии, представляющего собой программный блок, функциональными возможностями которого является анализ энергетических процессов в различных режимах работы автономного генераторного комплекса, и позволяющего отобразить процессы генерации и рекуперации энергии между источником питания и потребителем. Выполнен анализ процессов энергопреобразования на базе виртуальной модели автономной энергогенерирующей установки с асинхронным генератором. Для исследования энергетических режимов в асинхронном генераторе использован метод мгновенной мощности, основанный на представлении сигнала мощности и ее составляющих в базисе гармонических функций, соответствующих процессам, возникающим в энергетической системе.

Ключевые слова: энергетические режимы, автономный асинхронный генератор, виртуальный энергонаблюдатель.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Безперебійне електропостачання є важливим питанням сьогодення, особливо в тих випадках, де технічно неможливо або економічно не вигідно використовувати централізоване електропостачання. Найбільш універсальними автономними джерелами живлення є електромеханічні генератори, що являють собою складну енергетичну систему, яка характеризується наявністю нелінійних елементів та пристроїв накопичення. Позаштатні ситуації та перебої в роботі енергосистем можуть призвести до суттєвих наслідків для промислового та комунального господарств [1]. До першопричин таких належить підвищення напруги на виводах обмотки статора, що може призвести до пробоя ізоляції та виникненню в генераторі багатofазних коротких замикань. Небезпечно для ізоляції підвищення напруги є наслідком зникнення магнітного потоку реакції статора та збільшення швидкості обертання агрегату, що виникає при від'єднанні навантаження.

У зв'язку із цим останнім часом все більшої популярності набувають автономні дизель-генераторні установки (ДГУ), в яких застосовуються безконтактні генератори трифазного змінного струму. На даний час найчастіше використовуються синхронні генератори (СГ). Асинхронні генератори (АГ) порівняно із синхронними мають більш просту й надій-

ну конструкцію, менші масу та вартість у діапазоні потужностей до 100 кВт [2]. Проте для широкого використання ДГУ з АГ залишаються маловивченими питання визначення переважувальної здатності останнього, якісних і кількісних показників генерованої енергії.

Відомо, що для стабільної роботи АГ необхідно забезпечити дві умови – наявність регульованих джерел реактивної й механічної енергії [3]. Перше здійснюється за допомогою встановлення конденсаторних батарей, друге – реалізацією механічного з'єднання АГ із дизельним двигуном внутрішнього згорання (ДД) або іншим джерелом механічної енергії. Основною особливістю збудження АГ є те, що воно здійснюється за колом навантаження й каналу передачі реактивної енергії. Тому при визначенні переважувальної здатності генератора основна увага приділяється вибору регулятора емнісного струму збудження й кількості ступенів конденсаторних батарей. У той же час із метою мінімізації масогабаритних показників і підвищення мобільності ДГУ характеризуються співставністю потужностей ДД і АГ із відповідними системами збудження, що також визначає чіткі умови як стійкості роботи первинного двигуна, так і якості енергії, що виробляється генератором.

Електрична енергія як для автономних, так і ста-

ціонарних джерел характеризується трьома показниками: частотою, напругою й формою її кривої. Частота напруги є характеристикою балансу активної потужності, що необхідна для нормального функціонування споживача та активної потужності, що генерується, джерела електричної енергії. Якщо активна потужність, яку виробляють джерела, не менше необхідної приймачам електричної енергії, то частота напруги в електроенергетичній системі дорівнює 50 Гц. У разі нестачі активної потужності частота напруги в системі зменшується й настає стабільний режим на зниженій частоті.

Напруга в ДГУ з АГ є показником балансу реактивної потужності. Якщо в системі існує брак реактивної потужності, то напруга у споживачів стає нижче за номінальну, а при її надлишку – напруга перевищує номінальне значення.

Реактивну потужність умовно поділяють на генеровану та споживану. Реактивна потужність у ДГУ з АГ, що генерується, – реактивна потужність конденсаторів. Споживана реактивна потужність – реактивна потужність асинхронних електродвигунів або недозбуджених синхронних машин як основних споживачів, що підключаються до затисків генератора.

З урахуванням вищесказаного, актуальним є дослідження якісних показників процесу генерування енергії автономних джерел енергопостачання на базі АГ. Тому метою дослідження є розробка наглядча показників енергорежимів в асинхронному генераторі на базі віртуальної моделі в програмному середовищі LabVIEW.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Найбільш зручні методи дослідження енергетичних процесів у різних режимах роботи автономного генераторного комплексу засновані на аналізі електричних сигналів, серед яких – аналіз спектрів миттєвої потужності [5].

Для ефективного застосування такого підходу необхідно скласти рівняння балансу потужностей або енергії всіх елементів електротехнічного комплексу. Базовим рівнянням балансу є рівність миттєвої потужності АГ $P_{AG}(t)$ та суми миттєвих потужностей усіх елементарних споживачів $P_i(t)$, що підключені до генератора [2]:

$$P_{AG}(t) = \sum_{i=1}^k P_i(t), \quad k = 1, 2, \dots, n.$$

Баланс потужностей є наслідком теореми Теллєджена: сума добутку напруг та струмів усіх гілок електричного кола, що задовольняють закони Кірхгофа, дорівнюють нулю [5]. Добуток $U_i(t)I_i(t)$ і являє собою миттєву потужність $P_i(t)$ i -ої гілки [6], тому сума потужностей усіх гілок кола дорівнює нулю. Для ДГУ з АГ баланс потужностей можна сформулювати наступним чином: сума потужності, що виробляється АГ, дорівнює сумі потужностей, що споживається всіма підключеними споживачами, які, у свою чергу, й утворюють гілки електричного кола.

У загальному випадку блок-схема автономної енергогенеруючої установки (АЕУ) наведена на рис. 1, до складу якої входять: первинне джерело механічної енергії (ПД), перетворювач електричної енергії – асинхронний генератор (АГ) з ємнісною системою збудження (ЄСЗ) і блок споживачів електричної енергії: однофазного та трифазного змінного струму, постійного струму з підключенням через випрямляч. Блок контрольно-вимірювальної апаратури містить три групи датчиків.

Для отримання аналогових сигналів напруг і струмів фаз на виході генератора служать датчики ДН1–ДН3 та ДС1–ДС3 відповідно.

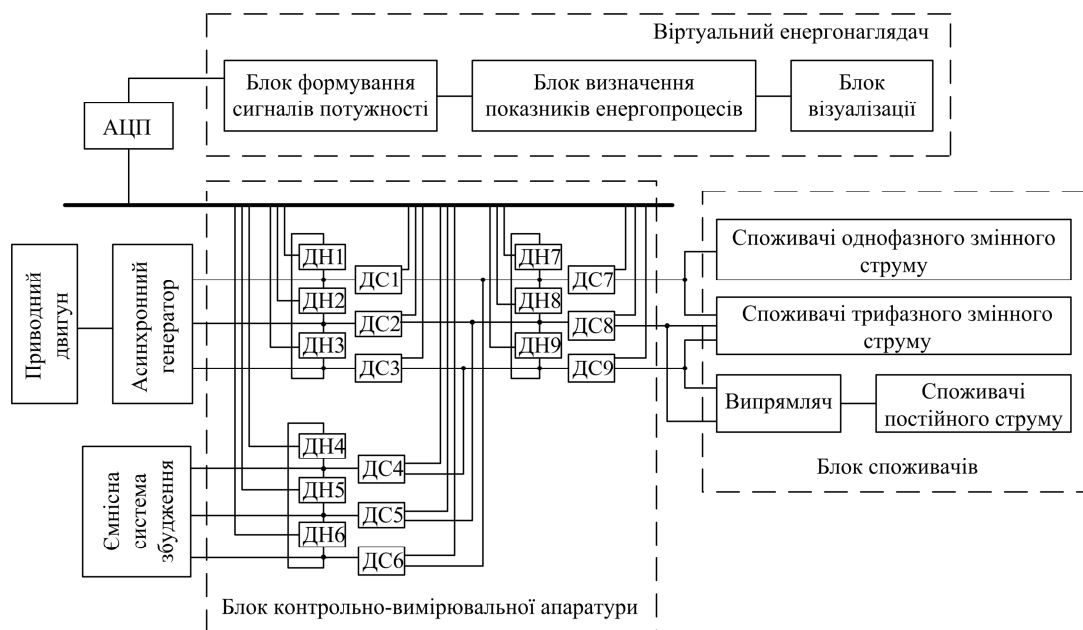


Рисунок 1 – Блок-схема автономної енергогенеруючої установки з енергонаглядчацем

Аналогічно, за допомогою датчиків ДН4–ДН6, ДС4–ДС6 та ДН7–ДН9, ДС7–ДС9 отримують необхідні часові залежності електричних величин ЄСЗ та на зажимах споживачів відповідно. Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) передає отримані дані з датчиків на блок формування сигналів потужності (БФСП). Функціональним призначенням БФСП є отримання сигналів миттєвої потужності [5, 6] як добуток входних сигналів струмів та наруг із відповідних датчиків, перетворених у ряд Фур’є [7].

Блок формування сигналів потужності та блок визначення показників енергопроцесів (БВПЕ) із виводом результатів безпосередньо через блок візуалізації є складовими енергонаглядача (ЕН), що аналізує якісні показники генерованої електричної енергії на всіх елементах перетворення. Безпосереднє визначення показників енергетичних процесів в АЕУ виконує блок БВПЕ, який дає можливість досліджувати комплекс показників, що характеризують напругу $U(t)$, струм $I(t)$ та, як їх добуток, потужність $P(t)$, а саме: гармонічний склад, ефективні та середні значення, коефіцієнти спотворення сигналів [8].

Алгоритм оцінки процесів енергоперетворення в автономній енергогенеруючій установці складено на основі математичного апарату методу миттєвої потужності, відповідно до якого працює ЕН, у загальному вигляді наведено на рис. 2.

На початковому етапі виконується зчитування часових сигналів датчиків напруг $u_A(t)$, $u_B(t)$, $u_C(t)$ і струмів $i_A(t)$, $i_B(t)$, $i_C(t)$ та надання часових сигналів у вигляді суми частотних ортогональних складових [9].

Для трифазної системи з полігармонічними сигналами напруги та струму фази А генератора можуть бути надані залежностями вигляду

$$u_A(t) = \sum_{n=1}^N U_n \cos(\Omega_n t - \varphi_n) = \sum_{n=1}^N U_{na} \cos(\Omega_n t) + \sum_{n=0}^N U_{nb} \sin(\Omega_n t); \quad (1)$$

$$i_A(t) = \sum_{m=1}^M I_{ma} \cos(\Omega_m t - \psi_m) = \sum_{m=0}^M I_{ma} \cos(\Omega_m t) + \sum_{m=0}^M I_{mb} \sin(\Omega_m t).$$

де n, m – номер гармонік напруги та струму відповідно; N, M – число гармонічних складових напруги та струму; φ, ψ – фазові кути сигналів напруги та струму відповідно; Ω_n, Ω_m – кутові частоти зміни сигналів напруги та струму відповідно; $U_{na} = U_n \cos \varphi_n$, $U_{nb} = U_n \sin \varphi_n$ – ортогональні косинусна та синусна складові сигналу напруги; $I_{ma} = I_m \cos \psi_m$, $I_{mb} = I_m \sin \psi_m$ – ортогональні косинусна та синусна складові сигналу струму.



Рисунок 2 – Алгоритм оцінки процесів енергоперетворення в автономному енергогенеруючому комплексі

Надання часової функції потужності фази А з урахуванням (1) у вигляді гармонічних ортогональних складових відповідно до $p_A(t) = u_A(t)i_A(t)$ матиме вигляд:

$$p_A(t) = \sum_{k=1}^K P_{k0} + \sum_{k=1}^K P_{ka} \cos(\Omega_k t) + \sum_{k=1}^K P_{kb} \sin(\Omega_k t), \quad (2)$$

де $\sum_{k=1}^K P_{k0}$ – сумарна постійна складова потужності;

$\sum_{k=1}^K P_{ka}$ – сумарна косинусна складова потужності;

$\sum_{k=1}^K P_{kb}$ – сумарна синусна складова потужності;

Ω_k – кругова частота k -ї гармоніки потужності ($\Omega_k = |\Omega_n \pm \Omega_m|$); K – число гармонічних складових потужності.

Сумарна потужність трифазної системи, що підводиться до статорної обмотки генератора, дорівнює сумі потужностей окремо взятих фаз:

$$p(t) = p_A(t) + p_B(t) + p_C(t), \quad (3)$$

де P_B, P_C – часові функції потужностей фаз В і С відповідно.

Активна потужність визначається:

$$P_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt, \quad (4)$$

де $T = \frac{1}{f}$ – період повторюваності процесів;

коефіцієнт використання активної потужності розраховується як

$$k_a = \frac{P_0}{P_e}, \quad (5)$$

де P_e – ефективне значення потужності:

$$P_e = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (p(t))^2 dt}; \quad (6)$$

коефіцієнт нелінійних спотворень потужності:

$$k_p = \sqrt{\frac{P_e^2 - P_0^2}{P_e}}; \quad (7)$$

коефіцієнт нелінійних спотворень напруги:

$$k_u = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{n=\infty} U_n^2}{U_1}}; \quad (8)$$

коефіцієнт нелінійних спотворень струму:

$$k_i = \sqrt{\frac{\sum_{m=2}^{m=\infty} I_m^2}{I_1}}. \quad (9)$$

Аналіз енергетичних процесів виконано на віртуальному лабораторному комплексі (ВЛК) з дослідження автономних джерел живлення на базі

асинхронного генератора з ємнісним збудженням, що розроблено в графічному середовищі програмування LabVIEW [10–15]. Загалом розроблений ВЛК характеризується широким спектром досліджень режимів роботи ДГУ з АГ [16], який складається з чотирьох основних блоків: дизельного двигуна, асинхронного генератора, ємнісної системи збудження та блоку підключення споживачів. ВЛК дозволяє досліджувати процеси, ідентичні процесам у реальних фізичних об'єктах. Об'єкти віртуального комплексу приводяться аналогічно фізичним об'єктам у штатних та аварійних режимах роботи. Передня панель розробленого віртуального комплексу приведена на рис. 3, математичний опис та технічні характеристики якого наведено в [17].

Для наочного відображення протікання процесів енергоперетворення електричних сигналів ЕН містить блок візуалізації (БВ). Також є можливість візуалізації електричних сигналів та їх спектрального аналізу, коефіцієнтів спотворення (THDi, THDu, THDr) на будь-якому з елементів енергосистеми. Вікно відображення електричних сигналів, їх спектрів та якісних показників зображено на рис. 4. Ліворуч відображаються в режимі реального часу залежності зміни сигналів фазних напруг $u_A(t), u_B(t), u_C(t)$, струмів $i_A(t), i_B(t), i_C(t)$, потужностей $p_A(t), p_B(t), p_C(t)$, а також крива сумарної електричної потужності $p(t)$, яка підводиться до статора генератора. Також на панелі виводяться числові значення коефіцієнтів нелінійних спотворень сигналів струму та напруги, а для потужності відображаються: ефективне значення потужності, коефіцієнти використання активної та реактивної потужностей, коефіцієнт нелінійних спотворень сигналу потужності.

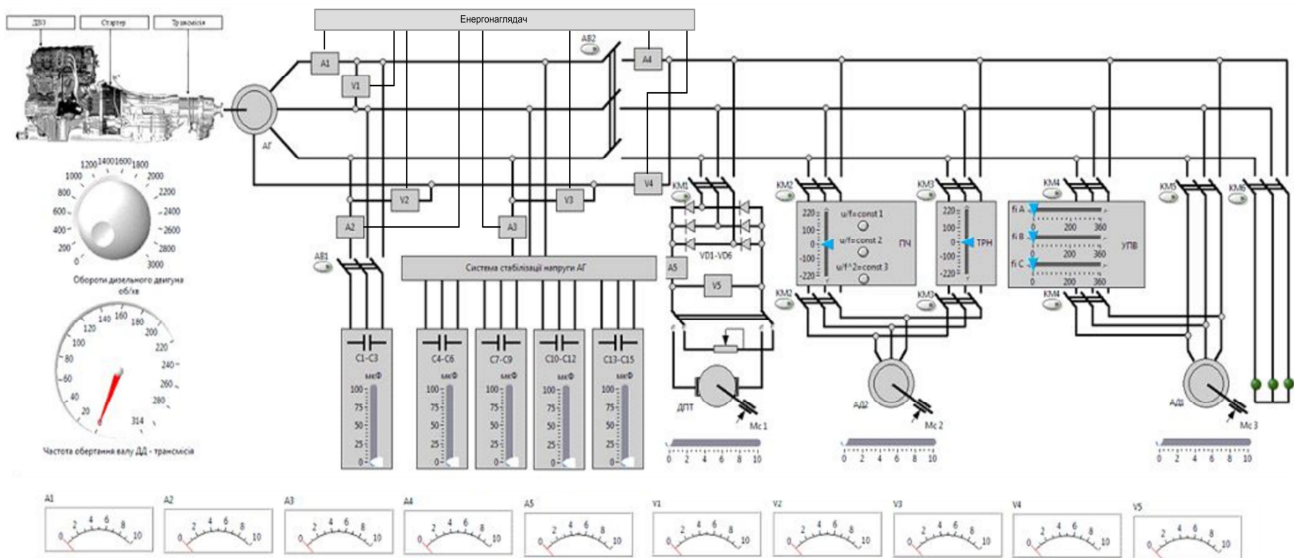


Рисунок 3 – Передня панель віртуального лабораторного комплексу з дослідження АДЖ на базі АГ з енергонаглядцем у програмному середовищі LabVIEW

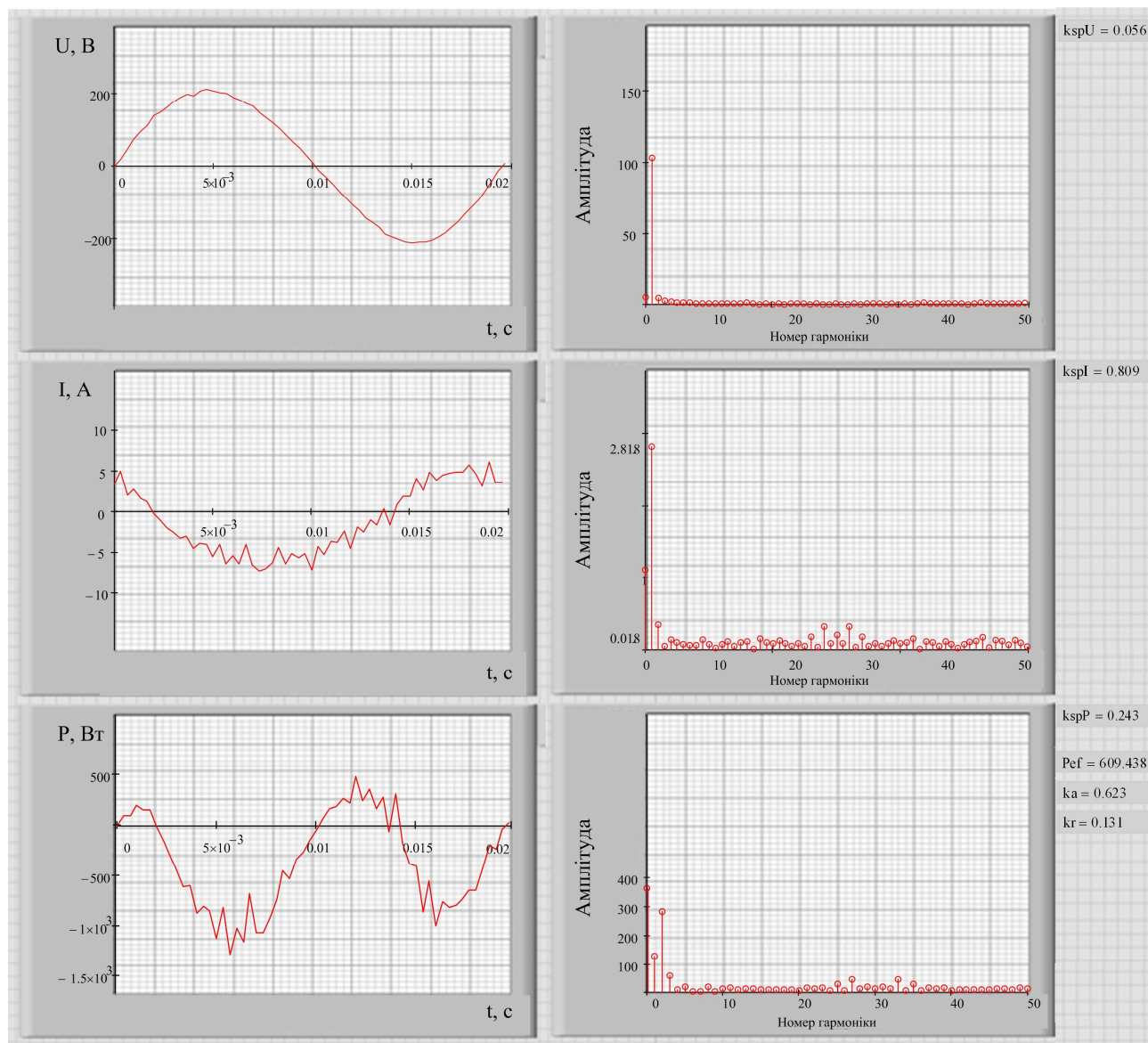


Рисунок 4 – Вікно відображення електричних сигналів та їх спектрів

ВИСНОВКИ. Розроблений енергонаглядач являє собою програмний блок, функціональними можливостями якого є аналіз енергетичних процесів у різних режимах роботи автономного генераторного комплексу. Як математичний апарат використано метод миттєвої потужності, що дозволило максимально відобразити процеси генерування та рекуперації енергії між джерелом живлення та споживачем. Визначення показників процесів енергоперетворення електричних сигналів зводиться до отримання залежностей напруги й струму та їх добутку – миттєвої потужності, а також визначення постійної та знакомінних косинусних та синусних складових потужності, ефективних значень миттєвої потужності. Дослідження енергопроцесів, що виникають в енергетичній системі, дає можливість оцінки якості перетворення енергії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Торопцев Н.Д. Асинхронные генераторы автономных систем. – М., 1998. – 288 с.
2. Зубков Ю.Д. Асинхронные генераторы с конденсаторным возбуждением. – Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1949. – 112 с.
3. Григораш О.В. Современное состояние и перспективы применения асинхронных генераторов в автономной энергетике // Промышленная энергетика. – 1995. – Вып. 3. – С. 29–32.
4. Лукутин Б.В., Сипайлов Г.А. Использование механической энергии возобновляемых природных источников для электроснабжения автономных потребителей. – Фрунзе: Изд-во «Илим», 1987. – 136 с.
5. Родькин Д.И. Составляющие мгновенной мощности полигармонических сигналов. – М.: Электротехника, 2003. – Вып. 3. – С. 39–44.

6. Родькин Д.И. Особенности применения энергетического метода идентификации двигателей переменного тока при псевдополигармонических сигналах // *Электромеханичні і енергозберігаючі системи*. – Кременчук: КДПУ ім. М. Остроградського, 2009. – Вип. 1/2009 (5). – С. 7–20.

7. Родькин Д.И. Энергопроцессы в трехфазной двигательной нагрузке с несинусоидальным напряжением питания // *Проблемы створення нових машин і технологій: наукові праці КДПУ*. – Кременчук: КДПУ, 1998. – Вип. 1 (4). – С. 23–35.

8. Коренькова Т.В., Кравец А.М., Сердюк А.А. и др. Структура энергонаблюдателя в составе физической модели электрогидравлического комплекса // *Электромеханичні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації*. Збірник наукових праць XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 10–11 квітня 2014 р. – Кременчук, КрНУ, 2014. – С. 77–78.

9. Загирняк М.В., Родькин Д.И., Коренькова Т.В. Оценка процессов энергопреобразования с использованием составляющих мгновенной мощности // *Электромеханичні і енергозберігаючі системи*. – Кременчук: КрНУ, 2012. – Вип. 4/2012 (20). – С. 152–167.

10. Тревис Дж. LabView для всех. – М.: ДМК Пресс; ПриборКомплект, 2005. – 544 с.

11. Евдокимов Ю.К., Кирсанов А.Ю. Организация типовой дистанционной автоматизированной лаборатории с использованием LabVIEW-технологий в техническом вузе // *Образовательные, научные и инженерные приложения в среде*

LabVIEW и технологии National Instruments: Сб. трудов Международной конференции, Москва, 14–15 ноября 2006. – Режим доступа: http://www.ict.edu.rux/lib/index.php?id_res=3630

12. Батоврин В.К., Бессонов А.С. LabView: практикум по основам измерительных технологий: учебное пособие для вузов. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 208 с.

13. Батоврин В.К., Бессонов А.С., Мошкин В.В. Опыт разработки открытых образовательных ресурсов на основе технологии виртуальных приборов // *Открытое образование*. – 2009. – Вып. 5. – С. 117–124.

14. Петров М.Н., Белехов Н. Построение интерфейса виртуального измерительного прибора // *Вестник Новгородского государственного университета*. – 2003. – Вып. 23. – С. 96–99.

15. Molnar, J., Vince, T. Telemetric expert system based on Internet. – Plzen: University of West Bohemia, 2009. – PP. 1–4. – ISBN 9788070438213.

16. Зачепа Ю.В., Зачепа Н.В., Сергиенко С.А. Программно-логічний комплекс для дослідження дизель-генераторних установок з асинхронними генераторами // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – Вип. 12 (1121). – С. 330–333.

17. Зачепа Ю.В. Математическая модель формируемого источника автономного электропитания на базе дизель-генератора // *Электромеханичні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал*. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 1/2015 (29). – С. 26–37.

ENERGY METER PARAMETERS PROCESSES IN ASYNCHRONOUS GENERATOR BASED VIRTUAL MODELS PROGRAMMED IN LABVIEW

N. Zachepa, Yu. Zachepa, S. Sergiienko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: natali_2M@mail.ru

Purpose. To investigate the process of power generation in the autonomous sources of energy based on an asynchronous generator with capacitive excitation and creating easy to use and clearly virtual device performance power modes. **Methodology.** Mathematical tools used method based on instantaneous power spectral analysis of electrical signals, allowing maximum display process generation and energy recovery between the power source and consumer of electricity. Defining performance energy conversion processes electrical signals is to obtain dependence of voltage and current and their product – instantaneous power, and the definition of permanent and alternating sinus and cosine components of power effective values of instantaneous power. **Results.** Designed enerhonahlyadach is a software unit whose functionality is the analysis of energy processes in different modes autonomous generator set. For convenience and analysis of results created virtual front panel power observer with features input – parameters independent source of energy – and output type results, the number of electrical signals and their quality indicators. **Originality.** For the first time used a method based on instantaneous power spectral analysis of the electrical signals to determine the quality indicators of energy conversion in asynchronous generators with capacitive excitation. **Practical value.** Energetic processes makes it possible to assess the quality of energy conversion and subsequent analysis of ways to improve the energy efficiency of autonomous energy sources. References 16, figures 4.

Key words: power processes, asynchronous generator, virtual energy indicator.

REFERENCES

1. Toroptsev, N.F. (2004), *Asinhronnyye generatory dlya avtonomnykh elektroenergeticheskikh ustanovok* [Asynchronous generators for autonomous power installations], Energoprogess, Moscow. (in Russian)

2. Zubkov, Yu.D. (2004), *Asinhronnyye generatory s kondensatornym vozbuzhdeniyem* [Asynchronous generators with capacitive excitation], Alma-Ata, Kazakhstan. (in Russian)

3. Grigorash, O.V. (1995), "Modern condition and prospects of application of asynchronous generators in the autonomous power", *Promyshlennaya energetika*, Vol. 3, pp. 29–32. (in Russian)
4. Lukutin, B.V. and Sipaylov, G.A. (1987), *Ispolzovaniye mekhanicheskoy energii vozobnovlyayemykh prirodnykh istochnikov dlya elektrosnabzheniya avtonomnykh potrebiteley* [Using the mechanical energy from renewable natural sources of power supply for the autonomous consumers], Izd. «Ilim», Frunze. (in Russian)
5. Rodkin, D.I. (2003), "The components of the instantaneous power polyharmonic signals", *Elektrotehnika*, Vol. 3, pp. 39–44. (in Russian)
6. Rodkin, D.I. (2009), "Features of the application of the energy method of identification of AC motors with pseudo signals polyharmonic", *Elektromekhanichni i enerhozberihayuchi systemy*, Vol. 5, pp. 7–20. (in Russian)
7. Rodkin, D.I. (1998), "Energy Processes in a three-phase motor loads with non-sinusoidal voltage supply", *Problemy stvorenniya novykh mashyn i tekhnologiy: naukovy pratsi KDPU*, Vol. 1, pp. 23–35. (in Russian)
8. Korenkova, T.V., Kravets, A.M., Serdyuk, A.A. et al. (2014), "The structure of the energy of the observer as part of a physical model of the complex electro-hydraulic", *Elektromekhanichni ta enerhetychni systemy, metody modelyuvannya ta optymizatsiyi. Zbirnyk naukovykh prats XII Mizhnarodnoyi naukovotekhnichnoyi konferentsiyi molodykh uchenykh i spetsialistiv* [Electromechanical and energy systems, modeling and optimization. Proceedings of the XII International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists], Kremenchug, April 10–11, 2014, pp. 77–78. (in Russian)
9. Zagirnyak, M.V., Rodkin, D.I. and Korenkova, T.V. (2013) "Assessment of the process of energy conversion using components of the instantaneous power", *Elektromekhanichni i enerhozberihayuchi systemy*, Vol. 4, pp. 152–167. (in Russian)
10. Trevis, Dzh. (2005), *LabView dlya vsekh* [LabView for all], DMK Press; PriborKomplekt, Moscow. (in Russian)
11. Yevdokimov, Yu.K. and Kirsanov, A.Yu. (2006), "Organization of a typical remote automated laboratory using LabVIEW-technology in a technical college", *Obrazovatelnyye, nauchnyye i inzhenernyye prilozheniya v srede LabVIEW i tekhnologii National Instruments: Sb. trudov Mezhdunarodnoy konferentsii*, [Educational, scientific and engineering applications with LabVIEW and Technology National Instruments: Proceedings of the International Conference], Moscow, November 14–15, 2006, available at: http://www.ict.edu.rux/lib/index.php?id_res=3630 (in Russian)
12. Batovrin, V.K. and Bessonov, A.S. (2005), *LabView: praktikum po osnovam izmeritelnykh tekhnologiy: uchebnoye posobiye dlya vuzov* [LabView: workshop on the basics of measurement technology: a manual for higher schools], DMK Press, Moscow. (in Russian)
13. Batovrin, V.K., Bessonov, A.S. and Moshkin, V.V. (2009), "Experience in the development of open educational resources based on virtual instrumentation", *Otkrytoye obrazovaniye*, Vol. 5, pp. 117–124. (in Russian)
14. Petrov, M.N. and Belexhov, M.N. (2003), "Building a virtual interface meter", *Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta*, Vol. 23, pp. 96–99. (in Russian)
15. Molnar, J. and Vince, T. (2009), "Telemetric expert system based on Internet", Plzen, University of West Bohemia, pp. 1–4, ISBN 9788070438213.
16. Zacheпа, Yu.V. (2015), "Mathematical model of autonomous power supplies generated on the basis of diesel generator", *Elektromekhanichni i energozberigayuchi sistemy: shchokvartalnyi naukovovirobnichiy zhurnal*, Vol. 1, no. 29, pp. 26–37. (in Russian)
17. Zacheпа Yu.V., Zacheпа N.V. and Sergiyenko, S.A. (2015), "Software and logical complex for research of diesel generator sets with asynchronous generators", *Visnik Natsionalnoho Tekhnichnoho Universitetu «Kharkivskiy Politekhnichnyy Institut»*, Vol. 12, no. 1121, pp. 330–333. (in Ukrainian)

Стаття надійшла 02.02.2016.