**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОРУШЕННЯ РІВНОВАГИ ЕНЕРГІЇ СТОХАСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ
І СИСТЕМ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ****П. В. Братюк**

Національний університет “Львівська політехніка”

вул. Ст. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна. E-mail: pawel.bratiuk@gmail.com

Дослідження, започатковані вивченням парадоксу енергій порушеної рівноваги важеля, які спираються на введення у положення теорема віріалу початкового стану рівноваги, та аналізу математичної моделі динаміки накопичування енергії за рахунок порушування її рівноваги, дозволили виявити раніше не описану властивість ймовірності настання випадкових подій. На засадах виявленої властивості та концепції порушення рівноваги енергії показана можливість підвищення енергетичної ефективності стохастичних процесів та систем. Шляхом моделювання, на прикладі порушування рівноваги енергії стохастичного процесу у вигляді адитивної суміші радіосигналу та флуктуаційної завади, отриманий позитивний результат за такими критеріями оцінювання, як покращення відношення сигнал/шум та повнота використання енергії в окремому вузлі системи передавання інформації. Інноваційне значення отриманого результату, показане з позицій необхідності розвитку існуючих методів та засобів енергозбереження на прикладі покращення відношення сигнал/шум і повноти використання енергії в амплітудному детекторі з подвоєнням вихідної напруги, й полягає у виявленні властивостей процесів і систем, які в рамках усталених теоретичних засад залишаються непомічені. Сукупність отриманих результатів та попередніх досліджень свідчить, що раніше не описана, й виявлена за результатом аналізу математичного апарату моделі динаміки накопичування енергії властивість ймовірності настання випадкових подій дотична поняттю ентропії в його інформаційному та енергетичному тлумаченнях, й вказує спосіб керування, а також, інформаційні критерії оцінювання енергетичних показників процесів і систем, й навпаки. На підставі виявленої властивості ймовірності випадкових подій запропонований спосіб керування ймовірністю настання випадкових подій, який полягає у тому, що для подвоєння приросту різниці ймовірностей протилежних випадкових подій достатньо надати приросту ймовірності лише однієї із цих подій. На користь концепції порушення рівноваги енергії слугує гіпотеза В. Паулі щодо зменшення симетрії. Є достатні підстави вважати, що незалежно від того, чи Паулі розглядав зменшення симетрії шляхом поділу на рівні частки, чи ні, сутність та механізм зменшування симетрії відображає парадокс енергій порушеної рівноваги важеля.

Ключові слова: обернені випадкові події, ймовірність випадкової події, повнота використання енергії, відношення сигнал/шум, флуктуаційна завада, адитивна суміш, радіосигнал.

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАРУШЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ ЭНЕРГИИ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
И СИСТЕМ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ****П. В. Братюк**

Национальный университет “Львовская политехника”

ул. Ст. Бандеры, 12, г. Львов, 79013, Украина. E-mail: pawel.bratiuk@gmail.com

Исследования, начатые изучением парадокса энергий нарушенного равновесия, опирающиеся на введение в положения теоремы вириала начального состояния равновесия и анализа математической модели динамики накопления энергии при нарушении равновесия, выявили ранее не описанное свойство вероятности случайных событий. На основании этого свойства и концепции нарушения равновесия энергии обоснована возможность повышения энергетической эффективности стохастических процессов и систем. Моделирование на примере нарушения равновесия стохастического процесса в виде аддитивной смеси радиосигнала и флуктуационной помехи с целью улучшения энергоэффективности узла системы передачи информации дало положительный результат по таким критериям оценки, как улучшение отношения сигнал/шум и полнота использования энергии. Инновационное значение полученного результата с позиций необходимости развития существующих методов и средств энергосбережения, показанное на примере улучшения отношения сигнал/шум и полноты использования энергии в амплитудном детекторе с удвоением напряжения, состоит в обнаружении свойств процессов и систем, которые в рамках устоявшихся теоретических представлений остаются незамеченными. Совокупность полученных результатов и предыдущих исследований свидетельствует, что ранее не описанное свойство вероятности наступления случайных событий, обнаруженное по результатам анализа математического аппарата модели динамики накопления энергии, близко понятию энтропии в его информационном и энергетическом толкованиях. Это свойство указывает способ управления, а также информационные критерии оценивания энергетических показателей процессов и систем, и наоборот. На основании выявленного свойства вероятности случайных событий предложен способ управления вероятностью случайных событий, который заключается в том, что для удвоения прироста разности вероятностей противоположных случайных событий достаточно прироста вероятности только одного из этих событий. В пользу концепции нарушения равновесия энергии служит гипотеза В. Паули об уменьшении симметрии. Есть основание полагать, что независимо от того, рассматривал ли Паули уменьшение симметрии путем разделения на равные доли, или нет, сущность и механизм уменьшения симметрии отражает парадокс энергий нарушенного равновесия.

Ключевые слова: обратные случайные события, вероятность случайного события, полнота использования энергии, отношение сигнал/шум, флуктуационная помеха, аддитивная смесь, радиосигнал.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. З метою підвищення конкурентної спроможності продукції підприємств України, й у співпраці із Міжнародною організацією по стандартизації, постійно оновлюються діючі, та впроваджуються нові стандарти енергозбереження. Передовсім, це стосується вимог, настанов і базових показників систем енергетичного менеджменту, як наприклад, [1], а також, методів їх реалізації.

Вимоги цих стандартів поширюються на процеси та засоби, які проєктуються й виробляються для усіх галузей професійної діяльності й побуту. Однак, їх пріоритет вищий за галузевий, й вони безпосередньо не торкаються функціональних показників об'єктів підвищення енергоефективності.

Проте, є випадки, коли підвищення енергетичної ефективності нерозривно пов'язане із покращенням функціональних показників. Наприклад, в системах передавання інформації (СПІ) каналами радіозв'язку мережі Інтернет, в бездротовій телефонії, телеметрії, віддаленому керуванні та спостереженні, в сучасних системах озброєнь та радіоелектронної боротьби, у дослідженні космосу тощо.

Із поглибленням інтеграції усіх цих різномірних СПІ зростають вимоги до забезпечення стабільного та ефективного функціонування всього їх комплексу в обставинах інтенсивної дії взаємних, природних, промислових, а також, й зумисних завад.

Критерієм оцінювання якості окремої СПІ слугує відношення сигнал/шум, яке пов'язує енергетичні й інформаційні показники її функціонування у складі комплексу [2–4]. У цьому відношенні зіставляється енергія сигналу окремої СПІ, і сума енергій сигналів всіх інших СПІ в якості завади, а також, сторонніх джерел випадкових сигналів. Зниження відношення сигнал/шум, за умови дотримання тої ж ймовірності розпізнавання повідомлень, створює можливості для зменшення енергії сигналу окремої СПІ, а відтак, й зниження рівня завад іншим СПІ.

Отже, в обставинах поглибленої інтеграції СПІ, кількість і якість переданої інформації має зростати разом з підвищенням енергоефективності усіх СПІ.

Тому, з метою оптимізації окремих СПІ, й всього їх комплексу, не достатньо оцінки якості на підставі критерію відношення сигнал/шум. Необхідна єдина математична модель взаємозв'язків енергетичних та інформаційних показників окремих СПІ й усіх СПІ в комплексі, формалізованих у вигляді стохастичних процесів та систем. А для оцінювання їх якості, крім відношення сигнал/шум, необхідно враховувати ще й повноту використання енергії сигналу.

Зіставлення фізичного підґрунтя і математичного апарату моделі динаміки накопичення енергії [5, 6], передовсім, парадоксу енергій порушеної рівноваги важеля й теореми віріалу, не виявило протиріч щодо їх використання з метою моделювання стохастичних процесів і систем. При цьому встановлено раніше не описану властивість ймовірності випадкових подій.

Ця властивість доповнює уже відомі властивості, й дозволяє кількісно описати зв'язок інформаційних та енергетичних показників стохастичних процесів і систем. Водночас, вона дотична поняттю ентропії в інформаційному та енергетичному тлумаченнях. Це

надає засади застосування інформаційних критеріїв оцінювання енергетичних показників стохастичних процесів і систем, й навпаки.

Енергія процесів у врівноваженій системі прямує до мінімуму [5, 6], а ентропія і кількість інформації, що їй відповідають – до максимуму. Це погіршує відношення сигнал/шум й ускладнює розпізнавання корисної інформації. Порушення рівноваги системи, навпаки, викликає накопичування енергії процесів, а ентропія і кількість інформації зменшуються. За цих обставин відношення сигнал/шум покращується, що має полегшити розпізнавання корисної інформації.

В роботі обґрунтовано та досліджено можливості щодо підвищення енергоефективності стохастичних процесів і систем різної природи шляхом порушення рівноваги їх енергії. Досягнення мети показано на прикладі підвищення повноти використання енергії адитивної суміші, складеної із стохастичної завади й детермінованого сигналу, і одночасного покращення відношення сигнал/шум в окремому вузлі СПІ.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Аналіз джерел і постановка проблеми

З метою з'ясування впливу порушення рівноваги перебігу стохастичного процесу на енергію системи розглянемо випадкову подію A , яка полягає в тому, що рівновага енергії у деякій системі порушується з ймовірністю $P(A)$. А отже, існує й протилежна до неї подія $\bar{A}$, котра полягає в утриманні рівноваги енергії у цій системі з ймовірністю $P(\bar{A})$.

Ймовірності $P(A)$ й $P(\bar{A})$ можна визначити з відомої властивості ймовірності випадкових подій [7, с. 37, п. 4], яка в [8, с. 21] формулюється також у виді теореми про ймовірність настання принаймні однієї із сукупності незалежних випадкових подій (надалі – відома властивість). Аналітичний запис відомої властивості має форму рівняння, а саме:

$$P(A) + P(\bar{A}) = 1 \rightarrow P(A) = 1 - P(\bar{A}). \quad (1)$$

Нехай рівняння (1) описує початковий стан, коли ймовірність настання подій A й $\bar{A}$ однакова. Тоді, з рівняння (1) для цього стану витікає тотожність:

$$P(A) = P(\bar{A}) = 0,5. \quad (2)$$

Приймемо тотожність (2) в якості математичної моделі ідеалізованого стану рівноваги ймовірностей $P(A)$ й $P(\bar{A})$.

В реальності цей стан не може бути тривалим, оскільки відбуваються пасивні зміни обставин, або активний вплив на перебіг випадкових подій A й $\bar{A}$. Як наслідок цього, ймовірності $P(A)$ й $P(\bar{A})$ збільшуються, або зменшуються на деяку частку від своєї величини, наприклад, $\Delta p(A)$ й $\Delta p(\bar{A})$.

Відтак, згідно до відомої властивості ймовірності випадкових подій, у складі ймовірностей $P(A)$ та $P(\bar{A})$ існують такі їх частки, котрі задовольняють рівняння (1) і тотожність (2). А саме, $p(A) = p(\bar{A})$, й $\Delta p(A) = \Delta p(\bar{A})$, так, що справедливо наступне:

$$p(A) + p(\bar{A}) + \Delta p(A) + \Delta p(\bar{A}) = 1.$$

Скориставшись цим, перепишемо тотожність (2) у розширеному вигляді:

$$\begin{aligned} P(A) &= (p(A) + \Delta p(A)) = \\ &= P(\bar{A}) = (p(\bar{A}) + \Delta p(\bar{A})). \end{aligned}$$

Спростивши цей запис, отримаємо:

$$p(A) + \Delta p(A) = p(\bar{A}) + \Delta p(\bar{A}). \quad (3)$$

Умовою виконання (1), (2) і (3) є рівність часток $p(A) = p(\bar{A})$ й $\Delta p(A) = \Delta p(\bar{A})$. А отже, $\Delta p(A)$ й $\Delta p(\bar{A})$ можна розглядати, як одну величину δ . Надалі приймемо δ за приріст ймовірностей $P(A)$ й $P(\bar{A})$, а рівняння (3) набуде узагальнений вид:

$$p(A) + \delta = p(\bar{A}) + \delta. \quad (4)$$

Рівняння (4) приймаємо, як математичну модель утримання рівноваги ймовірностей $P(A)$ й $P(\bar{A})$ в межах їх приросту δ , графічне представлення якої подано на рис. 1 зверху.

Введена у рівнянні (4) величина приросту δ дає можливість врахувати в моделі утримування стану рівноваги пасивну зміну обставин і активний вплив на перебіг подій A й $\bar{A}$. Тому, ця ж модель описує порушення рівноваги ймовірностей $P(A)$ й $P(\bar{A})$ на величину приросту δ .

Припустимо, що ймовірність $P(A)$ змінилась, наприклад, зменшилась на величину приросту δ . А отже, на підставі відомої властивості ймовірності настання випадкових подій і рівняння (4), на той же приріст δ повинна збільшитися ймовірність $P(\bar{A})$.

Внаслідок цього рівновага ймовірностей $P(A)$ й $P(\bar{A})$ порушується, а рівняння (4) перетворюється на нерівність:

$$(p(A) + \delta) - \delta \neq (p(\bar{A}) + \delta) + \delta. \quad (5)$$

Розв'язавши нерівність (5), отримаємо величину різниці ймовірностей $P(A)$ й $P(\bar{A})$, яка утворена внаслідок порушення їх рівноваги на приріст δ :

$$\begin{aligned} p(A) + \delta - \delta \neq p(\bar{A}) + \delta + \delta \rightarrow \\ p(A) < p(\bar{A}) + 2\delta. \end{aligned} \quad (6)$$

Нерівність (6) дозволяє сформулювати раніше не описану властивість ймовірності випадкових подій, яка доповнює зміст відомої властивості [7, с. 37, п. 4; 8, с. 21]. А саме: *різниця ймовірностей настання протилежних випадкових подій дорівнює подвоєній величині приросту цих ймовірностей по відношенню до їх значення у стані рівноваги, рівного 0,5*.

Отже, властивість ймовірності випадкових подій (1) слід доповнити ще одним рівнянням, а саме:

$$P(A) - P(\bar{A}) = 2\delta. \quad (7)$$

А повністю ймовірність настання протилежних випадкових подій описує система рівнянь:

$$\begin{cases} P(A) + P(\bar{A}) = 1 \\ P(A) - P(\bar{A}) = \pm 2\delta \end{cases}. \quad (8)$$

Також, нерівність (6) надає математичну модель, котра дозволяє однаково описувати порушення та

відновлення рівноваги ймовірностей $P(A)$ й $P(\bar{A})$ в межах їх приросту δ .

На рис. 1 знизу подано графічне представлення нерівності (6), як моделі стану порушеної рівноваги ймовірностей $P(A)$ й $P(\bar{A})$ в межах приросту δ .

На підставі властивості (7) можна запропонувати спосіб керування ймовірністю настання випадкових подій: *для подвоєння приросту різниці ймовірностей протилежних випадкових подій достатньо надати приріст ймовірності лише однієї із цих подій*.

Рисунок 1 – Графічне представлення моделей утримання та порушення рівноваги ймовірностей

Напроти цьому, відома властивість ймовірності настання випадкових подій [7, с. 37, п. 4; 8, с. 21], як за формою аналітичного запису у виді рівняння (1), так і по своїй сутності, не містить засобів для опису зв'язку та врахування зміни обставин, або впливу на перебіг випадкових подій A й $\bar{A}$.

Класичний досвід із теорії ймовірностей показує приклад керування різницею ймовірностей настання випадкових подій. Цей досвід полягає в порушенні рівноваги гральної кості за рахунок збільшення, або зменшення ваги однієї з її сторін. Як наслідок цього, досягається відповідне збільшення, або зменшення ймовірності випадання сторони кості, протилежної тій, вагу якої змінено.

Коли зміна ваги незначна, то й зміна ймовірності теж непомітна. Водночас, існує таке значення зміни ваги, за якого ймовірність випадання сторони кості, протилежної тій, вагу якої змінено, наближається до одиниці.

Нехай μ – збільшення ваги сторони кості, котре збільшує ймовірність $P(A)$ випадання протилежної сторони на приріст δ . Тоді, на цей же приріст δ , має зменшитись ймовірність $P(\bar{A})$ випадання усіх інших сторін кості. Тобто, збільшення ваги сторони кості μ збільшує різницю ймовірностей $P(A)$ й $P(\bar{A})$ на величину 2δ , згідно до властивості (7).

Збільшення ваги μ слід розглядати, як аргумент деякої функції $f(\mu)$, яка описує подвійний вплив на перебіг обернених випадкових подій A й $\bar{A}$.

В загальному виді таку функцію можна записати наступним чином:

$$f(\mu) = 2\delta. \quad (9)$$

Очевидно, що функція (9) буде відрізнятись для процесів і систем різної фізичної природи.

Послідовність із настання подій A й $\bar{A}$ утворює стохастичний процес. А отже, виявлена властивість ймовірності випадкових подій, зокрема, у вигляді функції (8), надає концептуальні засади стосовно

впливу на перебіг стохастичних процесів, або зміни станів систем, шляхом порушення їх рівноваги.

Сутність вказаних засад доцільно розглянути на прикладі, який стосується покращення енергетичної ефективності СПІ при підвищенні її завадостійкості. Адже, відношення сигнал/шум, яке слугує основним критерієм з метою оцінювання якості СПІ, у значній мірі визначають стохастичні процеси у вигляді завад різного роду, які діють на сигнал в каналі зв'язку.

На рис. 2 подано приклад математичних моделей сигналу й завади у вигляді графіків врівноважених відносно нуля детермінованого та стохастичного стаціонарного процесів з однаковим максимальним відхиленням, яке рівне одиниці. Графіки збудовані за допомогою засобів середовища Mathcad 15.0.

Рисунок 2 – Врівноважені відносно нуля графіки детермінованого та стохастичного процесів

На рис. 3 зверху приведено графік врівноваженої відносно нуля суми процесів, поданих на рис. 2, а знизу – графік їх суми, рівновагу якої порушено на величину, що дорівнює половині від максимального відхилення цих процесів.

Рисунок 3 – Графіки суми детермінованого та стохастичного процесів перед, та після порушення її рівноваги

Порівняння графіків на рис. 3 показує, що площа тонованих ділянок під графіками, а отже, й енергія, котра їм відповідає, більша для нижнього графіка, рівновагу якого порушено. Отже, хоча енергія самих процесів не була збільшена, порушення рівноваги створює можливість використання більшої енергії їх суми з метою покращення обставин для виявлення і розпізнавання тонованих ділянок суми процесів.

Внаслідок одночасності порушення рівноваги детермінованого й стохастичного процесів значення їх суми, котрі на рис. 3 зверху знаходились нижче рівня нуля, перемістились вище рівня нуля на рис. 3

знизу. Таким чином, ймовірність реалізації додатних значень суми процесів збільшилася.

Припустимо, що подія A , котра полягає в реалізації додатного значення суми процесів на рис. 3 зверху, настає з апріорною ймовірністю $P(A)$, а протилежна їй подія $\bar{A}$ – з апріорною ймовірністю $P(\bar{A})$. Тоді, згідно теорії передавання сигналів [2–4], інформацію щодо настання подій A й $\bar{A}$ можна отримати з різниці ймовірностей $P(A)$ й $P(\bar{A})$. Якщо вони однакові, їх різниця дорівнює нулю, інформація про настання подій A й $\bar{A}$ відсутня, а їх розпізнавання ускладнюється.

Зростання різниці ймовірностей $P(A)$ й $P(\bar{A})$ збільшує інформацію про настання подій A й $\bar{A}$. У теорії передавання сигналів така інформація має назву надлишкової, й використовується з метою покращення розпізнавання настання подій A й $\bar{A}$.

Застосування виявленої властивості ймовірності випадкових подій має сприяти створенню методів та засобів моделювання поведінки процесів і систем, в яких одночасно, або окремо, відбуваються події, що мають стохастичну та детерміновану природу.

Як довід із галузі квантової механіки, на користь концепції порушення рівноваги енергії свідчить маловідома гіпотеза В. Паулі, пов'язана із пошуком універсального рівняння для елементарних часток матерії у квантовій теорії. Про цю гіпотезу він писав у листах до В. Гейзенберга незадовго перед тим, як помер 1958 р.

У вітальному листі з нагоди Різдва 1957 р. Паулі пише, що знайшов розв'язок, який полягає на поділі та зменшуванні симетрії [10, с. 234]. Коментарі до листа містять сумніви щодо того, чи був це поділ на рівні частки, адже він мав би збільшувати симетрію.

А вже у наступному листі, в січні 1958 р., Паулі написав, що отримав важливі результати, проте, не розкрив, які. Завершити цю роботу він не встиг.

Є достатньо підстав вважати, що незалежно від того, чи В. Паулі розглядав поділ на рівні частки, чи ні, суть і механізм зменшування симетрії відображає парадокс енергій порушеної рівноваги важеля [5].

У підсумку маємо потребу апробації порушення рівноваги енергії стохастичних процесів і систем з метою підвищення їх енергоефективності. Об'єктом досліджень, доцільним щодо окресленої проблеми і актуальних потреб практичної діяльності, й зручним з метою математичного моделювання, є покращення відношення сигнал/шум в окремому вузлі СПІ, яке створює умови підвищення її енергоефективності.

2. Постановка завдання і методи досліджень

Методом математичного моделювання дослідити вплив, й надати якісну оцінку результату порушення рівноваги енергії адитивної суміші радіосигналу та флуктуаційної завади. Оцінювання виконувати за критеріями покращення відношення сигнал/шум та повноти використання енергії адитивної суміші.

Використати амплітудну маніпуляцію, як метод модуляції, що полягає у керуванні енергією сигналу,

а також, придатний з метою передавання цифрових повідомлень.

Флуктуаційну заваду моделювати у виді "білого шуму".

З метою моделювання використати середовище Multisim Power Pro Edition Version 11.0.

3. *Моделювання порушення рівноваги енергії в адитивній суміші радіосигналу та "білого шуму"*

Принципова електрична схема для моделювання порушення рівноваги адитивної суміші радіосигналу з амплітудною маніпуляцією і флуктуаційної завади у виді "білого шуму" подана на рис. 4, й містить такі компоненти:

V1 – джерело гармонічного переносника сигналу з частотою 1 МГц та амплітудою 1 В;

V2 – джерело сигналу із прямокутних імпульсів частотою 20 кГц, амплітудою 1 В, та коефіцієнтом заповнення 50 %;

V3 – джерело теплового шуму з температурою 27 °C та шириною спектру 1 ГГц, котре заміщує дію "білого шуму";

A1 – помножувач сигналів джерел V1 і V2, який заміщує модулятор;

A2 – суматор добутку сигналів джерел V1 і V2 з сигналом джерела V3, який заміщує лінійний канал передавання інформації, в якому діє "білий шум".

Рисунок 4 – Принципова електрична схема для моделювання порушення рівноваги енергії адитивної суміші радіосигналу і флуктуаційної завади

Порушення рівноваги енергії адитивної суміші у схемі на рис. 4, й наступних схемах, виконується без застосування додаткового джерела енергії, а за рахунок енергії самої адитивної суміші. Для цього у схемі на рис. 4 застосовано ланку з конденсатора C1 і діода D1. Заряд, який накопичений у конденсаторі, вводить постійну складову в адитивну суміш.

Для візуального контролю і якісного порівняння результатів, в схемі на рис. 4, та наступних схемах, використовується двоканальний осцилоскоп XSC1, ввімкнений в точки "А" й "В", тобто, перед, та після порушення рівноваги енергії адитивної суміші.

На рис. 5 подані осцилограми в точці "А" для двох значень потужності шуму, які відрізняються у вісім разів, й використовуються для всіх подальших досліджень. Осцилограми отримані при чутливості осцилоскопа 2 В й періоді розгортки 20 мкс.

Рисунок 5 – Осцилограми врівноваженої адитивної суміші для двох значень потужності шуму

З порівняння осцилограм на рис. 5 очевидно, що при незмінній потужності радіосигналу, збільшення потужності шуму погіршує відношення сигнал/шум. Водночас, росте розмах миттєвих значень адитивної суміші, а отже і її потужність. Ймовірність реалізації додатних та від'ємних миттєвих значень адитивної суміші в цілому залишається незмінною.

На рис. 6 подані осцилограми в точці "В" для тих же значень потужності шуму, а також, чутливості й частоти розгортки осцилоскопа.

На рис. 6 видно зміщення осцилограм вище лінії нуля осцилоскопа. Ймовірність реалізації додатних миттєвих значень адитивної суміші зросла.

Рисунок 6 – Осцилограми адитивної суміші після порушення рівноваги енергії

З порівняння осцилограм на рис. 5 і 6 видно, що порушення рівноваги енергії не змінює відношення сигнал/шум в точці "В" у порівнянні з точкою "А". Збільшення величини додатних миттєвих значень адитивної суміші внаслідок того, що вона піднялась відносно рівня нуля, збільшує її потужність в точці "В" по відношенню до точки "А".

4. *Дослідження порушення рівноваги енергії адитивної суміші на вході амплітудного детектора*

Дослідження виконано за схемою на рис. 4, в яку введено амплітудний детектор (АД) у складі діода D2, конденсатора C2 і опору R2, як показано на рис. 7. Вхід АД вмикається у точки "А" та "В" за допомогою перемикача J1.

Осцилограми на виході АД в точці "С", отримані при ввімкненні його входу у точку "А", подані на рис. 8, а після перемикавання у точку "В" – на рис. 9. Осцилограми зверху на обох рисунках знято при чутливості осцилоскопа – 0,5 В, а знизу – 1 В, період розгортки однаковий – 20 мкс.

Порівняння осцилограм на рис. 8 та 9 дозволяє сформулювати якісну оцінку результату порушення рівноваги енергії адитивної суміші:

1) зменшення приблизно удвічі максимального розмаху величини миттєвих значень шуму;

2) збільшення приблизно на 30 % амплітуди імпульсів корисного сигналу.

Параметри енергії та спектру адитивної суміші, компонентів ланки відновлення постійної складової напруги адитивної суміші і АД попередньо не були узгоджені. Отже, їх оптимізація повинна покращити отриманий результат.

Рисунок 7 – Принципова електрична схема для моделювання порушення рівноваги енергії адитивної суміші на вході АД

Рисунок 8 – Осцилограми на виході АД без порушення рівноваги енергії адитивної суміші

Рисунок 9 – Осцилограми на виході АД після порушення рівноваги енергії адитивної суміші

5. Дослідження порушення рівноваги енергії адитивної суміші способом піднесення до квадрату

Порівняємо результати, що отримані до, та після порушення рівноваги енергії у схемі, поданій на рис. 7, з результатом виконання дії піднесення адитивної суміші до квадрату.

На рис. 10 подана схема, яка від схеми на рис. 7 відрізняється тим, що з'єднання ланки відновлення постійної складової напруги в адитивній суміші та АД замінено на помножувач сигналу і його копії – A3 й інтегруючу ланку у складі конденсатора C1 та опору R1.

На вхід поданої на рис. 10 схеми для піднесення до квадрату подається адитивна суміш з такими ж параметрами, що й для схеми на рис. 7.

На рис. 11 подані осцилограми сигналу на виході схеми для піднесення до квадрату, отримані для тих же значень потужності шуму, що й осцилограми на

рис. 8 і 9, за чутливості осцилоскопа 0,5 В і періоду розгортки 20 мкс.

Рисунок 10 – Принципова електрична схема моделювання порушення рівноваги енергії адитивної суміші піднесенням до квадрату

Рисунок 11 – Осцилограми на виході схеми для піднесення адитивної суміші до квадрату

Аналіз осцилограм на рис. 8, 9 та 11 показує наступний результат якісного оцінювання повноти використання енергії та покращення відношення сигнал/шум:

- найгірший – для АД без порушення рівноваги енергії адитивної суміші;
- посередній – для АД з порушенням рівноваги енергії адитивної суміші;
- найкращий – для піднесення адитивної суміші до квадрату.

Порівняння отриманих результатів дає підстави позитивно оцінити наслідки порушення рівноваги енергії, досягнуті за рахунок енергії самої адитивної суміші.

6. Перспективи розвитку досліджених способів порушення рівноваги енергії адитивної суміші

Спосіб порушення рівноваги енергії адитивної суміші за допомогою ланки, що складається з діода та конденсатора, передбачає, щонайменше, наступні напрямки подальшого розвитку і вдосконалення:

- 1) порушення рівноваги енергії для додатних і від'ємних значень адитивної суміші;
- 2) відмова від некерованої величини порушення рівноваги, за рахунок енергії самої адитивної суміші за допомогою ланки у складі діода і конденсатора, й застосування з цією метою додаткового керованого джерела напруги, яке надасть можливість змінювати величину порушення рівноваги, й забезпечити його оптимальне значення щодо параметрів радіосигналу та флуктуаційної завади;
- 3) поєднання порушення рівноваги з методами і засобами покращення відношення сигнал/шум, що оперують з енергіями окремо виділених складових енергетичного спектру адитивної суміші, зокрема, з фільтрами різних видів.

На рис. 12 подано приклад схеми, що містить дві протилежно напрямлені ланки введення постійної складової на діодах D1, D2 і конденсаторах C1, C2, та фільтр на конденсаторах C3–C6 і опорних R1, R2.

Рисунок 12 – Принципова електрична схема для моделювання порушення рівноваги енергії адитивної суміші у додатному та від'ємному напрямках в поєднанні з фільтром

Порівняння осцилограм на рис. 11 та 13 показує, що подана на рис. 12 схема забезпечує відношення сигнал/шум краще, ніж схема піднесення адитивної суміші до квадрату. Це пояснюється тим, що у схемі на рис. 12 подвоюється частота адитивної суміші гармонічного переносника сигналу і шуму, а частота сигналу залишається незмінною. Як наслідок цього, покращуються умови фільтрування завади.

Проте, у схемі на рис. 12 спостерігаються більші спотворення форми вихідного сигналу.

Рисунок 13 – Осцилограми на виході схеми з порушенням рівноваги енергії у двох напрямках та фільтром

Також, усі досліджені способи мають недолік у вигляді зміщення сигналу вище рівня нуля в паузах між імпульсами при великих значеннях потужності шуму, яке виділене тонуванням на рис. 14.

Рисунок 14 – Зміщення сигналу вище рівня нуля в паузах між імпульсами при великих значеннях потужності шуму

Цей недолік, який не складав значного впливу на математичній моделі на рис. 3, посилюють інерційні компоненти, котрі накопичують енергію адитивної суміші. А саме – конденсатори ланки для введення постійної складової в адитивну суміш, детектора, а також, інтегратора у схемі, що виконує піднесення до квадрату.

На рис. 13 подані осцилограми сигналу на виході схеми, отримані для двох значень потужності шуму, за чутливості осцилоскопа 0,5 В й періоді розгортки 20 мкс.

З метою усунення вказаного недоліку вбачається доцільною апробація порушення рівноваги енергії адитивної суміші не апаратними засобами, а шляхом цифрового перетворення й обробки сигналу.

Отже, концепцію порушення рівноваги енергії слід вважати за таку, що має перспективи розвитку з метою вдосконалення методів і засобів покращення відношення сигнал/шум та повноти використання енергії на нових принципах, й шляхом інтеграції з усталеними теоретичними засадами та сучасними технологіями.

7. Інноваційний потенціал концепції порушення рівноваги енергії щодо подолання існуючих обмежень усталених теоретичних засад, та виявлення шляхів їх вдосконалення і розвитку

Відомий амплітудний детектор з подвоюванням напруги вихідного сигналу, який в більшості джерел не описується, як наприклад, в [2–4].

Тільки в окремих джерелах, зокрема, [11, с. 156], вказується, що такий вид детектора отримав тільки вузьке застосування у прийमाх невисокого класу з метою збільшення коефіцієнта передачі.

Із приведеної в [11, с. 156] схеми детектора з подвоюванням амплітуди вихідного сигналу видно, що він повністю співпадає з схемою на рис. 10, яка поєднує ланку введення постійної складової напруги та амплітудного детектора.

А згідно отриманих результатів, схема на рис. 10, описана в [11, с. 156], як детектор із подвоюванням амплітуди сигналу, виявляє здатність покращувати відношення сигнал/шум. Проте, й [11], й ті джерела, в яких цей детектор описується, вказують лише на властивість подвоєння амплітуди вихідного сигналу, й зовсім не торкаються показників завадостійкості.

Вірогідною причиною вузькості поглядів щодо властивостей детектора із подвоюванням амплітуди вихідного сигналу можна вважати те, що усталені теоретичні засади, в рамках яких розглядається цей, а також, й інші види детекторів, не передбачають в принципі існування ширших можливостей.

Наприклад, в [2, с. 225] подано перелік основних показників детекторів, які застосовуються й іншими джерелами, а саме:

- 1) детекторна характеристика;
- 2) коефіцієнт передачі;
- 3) частотна характеристика.

З поданого переліку видно, що усталена теорія не відносить покращення відношення сигнал/шум до показників детекторів.

Таким чином, отримані результати вказують, що дослідження порушення рівноваги енергії дозволяє виявляти такі властивості процесів та систем різної природи, які в рамках усталених теоретичних засад залишаються й досі непоміченими.

ВИСНОВКИ. Виявлена властивість ймовірності випадкових подій відображає стохастичний аспект фундаментального явища порушення та відновлення рівноваги фізичних об'єктів будь-якої природи.

Її застосування вказує спосіб керування, а також, надає критерії оптимізації показників та оцінювання результатів з метою підвищення енергоефективності стохастичних процесів і систем.

Постають перспективи продовження розпочатих досліджень з метою виявлення шляхів комплексного покращення енергоефективності, й пов'язаних з нею функціональних показників процесів і систем. А як найперше, щодо тих, де вже встановлено, але ще не доведено до практичного використання потенційні можливості порушення рівноваги енергії, й супутніх явищ різної природи. Зокрема:

1) спираючись на гіпотезу В. Паулі та концепцію порушення рівноваги енергії, на прикладі принципу дії теплового насоса, електростатичного генератора Ван де Граафа і конденсатора з сегнетоелектриком обґрунтувати засади створення методів та засобів транспортування енергії, або електричних зарядів низької густини, з метою їх накопичення з високою густиною, розглядаючи це, як розв'язання завдання практичної реалізації ідеї демона Максвелла [6];

2) поєднати перетворення енергії струму у тепло Джоуля в аперіодичному режимі під час перехідного процесу у коливному колі [6] і рекуперацію частини отриманої енергії у джерелі живлення створенням позитивного зворотного зв'язку;

3) на моделі порушення рівноваги магнітного поля в котушці індуктивності [5] дослідити вплив порушення рівноваги магнітного поля на динамічні показники трансформатора.

Очікувані результати повинні розширити рамки усталених теоретичних засад та сприяти виявленню й досі не помічених можливостей щодо покращення енергоефективності, та пов'язаних функціональних показників стохастичних й детермінованих процесів

та систем. Передовсім, шляхом підвищення повноти використання їх власної енергії.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ ISO 50001 : 2020 Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання (ISO 50001:2018, IDT). [На заміну ДСТУ ISO 50001:2014; чинний від 2020-06-03]. Вид. офіц. Київ : ДП "УкрНДНЦ", 2020. 25 с.
2. Жураковский Б. Ю., Варфоломеева О. Г., Твердохлеб М. Г. Основы теории потенциальной завадостойкости. Навчальний посібник. Київ : ДУТ ННІТІ, 2015. 120 с.
3. Панфілов І. П., Дирда В. Ю., Капацін А. В. Теорія електричного зв'язку : підруч. для студентів вищ. навч. закл. І та II рівнів акредитації за напрямом "Телекомунікації". К. : Техніка, 1998. 328 с.
4. Волочій Б. Ю. Передавання сигналів в інформаційних системах. Частина 1. Львів : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2005. 194 с.
5. Братюк П. В. Моделювання процесів накопичування енергії в електромеханічних системах на підставі положень теореми віріалу. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. Кременчук : КрНУ, 2020. Вип. 3 (51). С. 8–18.
6. Братюк П. В. Дослідження аперіодичного режиму під час перехідного процесу в коливному колі з метою перетворення енергії електричного струму на тепло Джоуля. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. Кременчук : КрНУ, 2021. Вип. 1 (53). С. 15–26.
7. Жалдак М. І., Кузьміна Н. М., Михалін Г. О. Теорія ймовірностей і математична статистика : підручник для студентів фізико-математичних та інформатичних спеціальностей педагогічних університетів. Київ : НПУ імені М. П. Драгоманова, 2017. 707 с.
8. Кушлик-Дивульська О. І., Поліщук Н. В., Орел Б. П., Штабалюк П. І. Теорія ймовірностей та математична статистика : навч. посіб. К. : НТУУ «КПІ», 2014. 212 с.
9. Harvey S. Leff, Andrew F. Rex. Maxwell's Demon 2: Entropy, Classical and Quantum Information. Computing : CRC Press, 2002.
10. Werner Heisenberg. Physics and Beyond: Encounters and Conversations. World perspectives. Volume Forty - two. Harper & Row. London, 1971.
11. Плаксиенко В. С., Плаксиенко Н. Е., Плаксиенко С. В. Устройства приема и обработки сигналов : уч. пособие для вузов. М. : Учебно-методический издательский центр «Учебная литература», 2004. 376 с.

RESEARCH OF ENERGY IMBALANCE OF STOCHASTIC PROCESSES AND SYSTEMS IN ORDER TO INCREASE THEIR ENERGY EFFICIENCY

P. Bratiuk

Lviv Polytechnic National University

vul. St. Bandery, 12, Lviv, 79013, Ukraine. Email: pawel.bratiuk@gmail.com

Purpose. The results are based on the study of the paradox of disturbed energy balance and the introduction of the virial theorem on the initial state of equilibrium energy and the formalized physical mechanism of energy accumulation

due to the violation of its equilibrium. **Methodology.** According to the results of the analysis of the mathematical apparatus of the model of energy accumulation dynamics on the basis of the energy paradox of the disturbed lever equilibrium, the previously undescribed property of the probability of occurrence of random events is revealed. This property is related to the concept of entropy in its information and energy interpretations, and this makes it possible to establish information criteria for assessing the energy performance of processes and systems of different nature, and vice versa. **Results.** A positive result of qualitative assessment of general opportunities to increase energy efficiency of stochastic processes and systems by violating their energy balance was obtained by creating conditions to improve energy efficiency of information transmission systems by quality assessment, which combines information and energy performance indicators based on the concept of entropy, namely - the signal/noise ratio. **Originality.** The previously described property of the probability of occurrence of random events, which quantitatively describes the relationship of information and energy performance of stochastic processes and systems. **Practical value.** The set of obtained results and previous researches testifies that the property of probability of dynamics of random events revealed by results of the analysis of mathematical device of model of dynamics of accumulation of energy, is display of the fundamental principle of imbalance, and provides a way of management of indicators and criteria increasing the energy efficiency of deterministic and stochastic processes and systems of different physical nature. Based on the identified property of the probability of random events, a method of controlling the probability of occurrence of random events is proposed, which is that to double the increase in the difference of probabilities of opposite random events it is enough to increase the probability of only one of these events. W. Pauli's hypothesis about the reduction of symmetry serves in favor of the concept of energy imbalance. There is good reason to believe that, regardless of whether Pauli considered the reduction of symmetry by division at the level of the particle or not, the nature and mechanism of the reduction of symmetry reflects the paradox of energies of disturbed lever equilibrium. Figures 14, references 11.

Key words: inverse random events, random event probability, energy utilization, signal/noise ratio, fluctuation noise, additive mixture, radio signal.

REFERENCES

1. *Energy management systems. Requirements and instructions for use.* (2020). DSTU ISO 50001 : 2020. Kyiv:: DP "UkrNDNTs". [in Ukrainian]
2. Zhurakovskiy, B. Yu., Varfolomeieva, O. H., & Tverdokhlib, M. H. (2015). *Osnovy teorii potentsiinoi zavodostiikosti [Fundamentals of the theory of potential noise immunity]*. Kyiv : DUT NNITI. [in Ukrainian]
3. Panfilov, I. P., Dyrda, V. Yu., & Kapatsin, A. V. (1998). *Teoriia elektrychnoho zviazku [Electrical communication theory]*. K. : Tekhnika. [in Ukrainian]
4. Volochii, B. Yu. (2005). *Peredavannia sygnaliv v informatsiinykh systemakh. Chastyna 1 [Signal transmission in information systems. Part 1]*. Lviv : Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". [in Ukrainian]
5. Bratiuk, P. V. (2020). Modeliuvannia protsesiv nakopychuvannia enerhii v elektromekhanichnykh systemakh na pidstavi polozhen teoremy virialu [Modeling of energy storage processes in electromechanical systems on the basis of the provisions of the virial theorem]. *Elektromekhanichni i enerhozberihaiuchi systemy.* 3, 51, 8–18. [in Ukrainian]
6. Bratiuk, P. V. (2021). Doslidzhennia aperiodychnoho rezhymu pid chas perekhidnogo protsesu v kolyvnomu koli z metoiu peretvorennia enerhii elektrychnoho strumu na teplo dzhoulia [Study of the aperiodic regime during the transient process in an oscillating circuit in order to convert the energy of an electric current into the heat of a joule]. *Elektromekhanichni i enerhozberihaiuchi systemy,* 1, 53, 15–26. [in Ukrainian]
7. Zhaldak, M. I., Kuzmina, N. M., & Mykhalin, H. O. (2017). *Teoriia imovirnostei i matematychna statystyka [Probability Theory and Mathematical Statistics]*. Kyiv : NPU imeni M. P. Drahomanova. [in Ukrainian]
8. Kushlyk-Dyvulska, O. I., Polischuk, N. V., Orel, B. P., & Shtabaliuk, P. I. (2014). *Teoriia imovirnostei ta matematychna statystyka [Probability Theory and Mathematical Statistics]*. K. : NTUU «KPI». [in Ukrainian]
9. Harvey, S. Leff, Andrew, F. Rex. (2002). *Maxwell's Demon 2: Entropy, Classical and Quantum Information, Computing* : CRC Press.
10. Werner, Heisenberg. (1971). *Physics and Beyond: Encounters and Conversations.* World perspectives. Volume Forty-two. Harper & Row. London.
11. Plaksienko, V. S., Plaksienko, N. E., & Plaksienko, S. V. (2004). *Ustrojstva priema i obrabotki signalov [Signal receiving and processing devices]*. M. : «Uchebnaja literatura». [in Russian]

Стаття надійшла 06.08.2021.