

Abstract. A gross error from the point of view of electrical engineering is considered. Namely, it is proved that the reactive component of the rotor current during the transition to the generator mode changes the sign to the opposite.

Keywords: asynchronous machine, sliding, reactive component.

УДК: 681.5.015:620.179.17

УДОСКОНАЛЕНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ СУДНОВОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БУФЕРНИХ ДЖЕРЕЛ

Рожков С.О.¹, Іванов А.А.², Тимофєєв К.В.³, Бутаков І.Б.⁴, Жук Д.О.⁵

¹доктор технічних наук, професор, Херсонська державна морська академія, м. Херсон Україна
rozhov_ser@meta.ua;

²PhD, Херсонська державна морська академія,
м. Херсон Україна
artiva1978@gmail.com

³кандидат технічних наук, доцент, Херсонська державна морська академія, м. Херсон Україна
kvtimofeev2013@gmail.com

⁴аспірант, Херсонська державна морська академія, м. Херсон Україна
bib7677@gmail.com

⁵кандидат технічних наук, доцент, Національний університет кораблебудування імені
адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
vicedirector2012@gmail.com

Анотація. В роботі запропоновано використання додаткового дизель-генератора меншої потужності для компенсації збурень на енергосистему судна. З метою забезпечення необхідної керованості системи буферного джерела розроблено квазіоптимальний регулятор зі змінною структурою. Проведено математичне моделювання запропонованої системи і показано її ефективність. Моделювання досліджень виконано в середовищі MATLAB.

Ключові слова: електроенергетична система судна, ефективність, буферне джерело, квазіоптимальний регуляторю.

Зростаючий обсяг морських перевезень і підвищення тоннажу суден [1], робить особливо актуальним завдання підвищення ефективності суднових енергосистем [2]. Будь-яка сучасна енергетична система має в своїй основі джерело енергії, зокрема на сучасних судах найбільше поширення через низку переваг набули дизель-генераторні системи енергопостачання. Але використання дизельних двигунів для приводу рушіїв судна має певні обмеження, які обумовлені його динамічними властивостями та особливостями механічних характеристик.

Для потужного суднового дизеля оптимальним є режим постійних обертів, що потребує значного запасу потужності. Дійсно, якщо навантаженням дизеля є генератор, на який діють збурення з боку, наприклад, електродвигунів пропульсивного комплексу, то такі збурення компенсуються системою управління або стають несуттєвими за рахунок надлишкової потужності дизеля. З іншого боку, збурення з боку хвиль і вітру мають приватний склад, що не дозволяє компенсувати ці збурення дизель-генератором із-за інертності самої системи. Для підвищення ефективності всієї енергосистеми судна за мету ставиться забезпечення оптимальних режимів роботи головних дизелів судна [3, 8], при цьому в систему вводиться додатковий контур компенсації збурень [4]. Таким чином, основний дизель має постійну уставку регулювання, а відхилення, які викликані збуреннями, компенсуються додатковим контуром керування.

Двоконтурну систему з розподілом сигналу відхилення за спектром показано на рис. 1. Розподіл оцінки поточної потужності в системі на низькочастотну і високочастотну складові дозволяє компенсувати необхідні пікові навантаження при впливі збурень (хвиль).

Прийнявши спрощені моделі дизеля [8] і генератора отримано передавальні функції. На рис. 2 наведені результати моделювання процесу розвантаження основного дизеля.

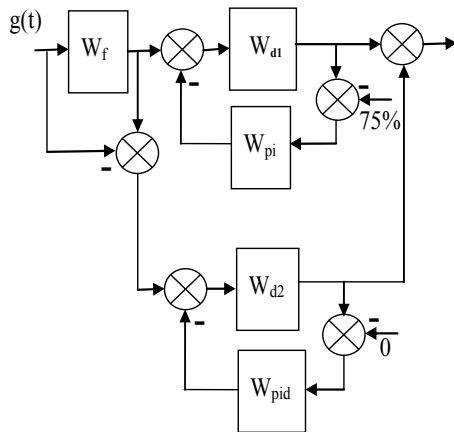


Рис. 1. Регулювання основного дизель-генератора з використанням буферного джерела

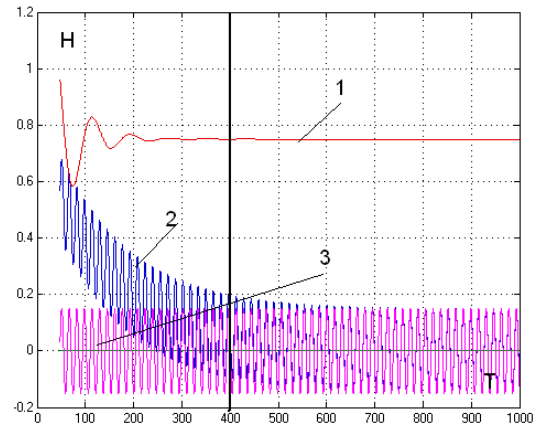
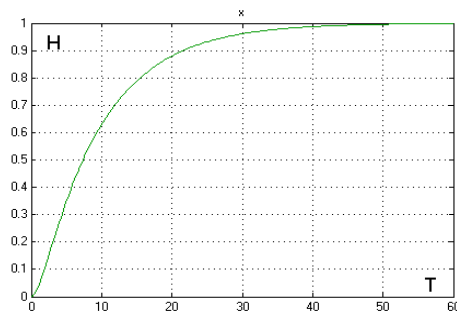
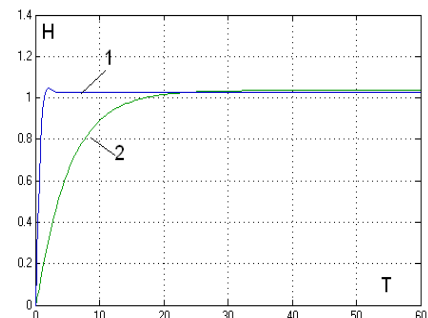


Рис. 2. Процеси в системі з буферним джерелом

Після завершення перехідного процесу, пов'язаного з отриманням точної оцінки середнього, навантаження основного дизеля 1 залишається постійним, буферний дизель-генератор 2 приймає на себе змінну частину навантаження, так як має набагато менший час реакції і встигає відстежувати збурення 3. Але таким чином компенсувати повністю збурення від хвиль і вітру немає можливості, але можна значно полегшити режим роботи основного дизель-генератора. Метод буферних джерел дозволяє більш раціонально розподілити потоки енергії з СЕЕС, але висока розмірність моделі динаміки судна, а також складний характер збурень з боку хвиль і вітру ускладнюють аналіз системи [9, 10]. Для дослідження процесів в енергосистемі з буферним джерелом в роботі було розглянуто об'єкт, який відповідний великотоннажному судну, з перехідною характеристикою за швидкістю уздовж координати x (рис. 3, а).



а)

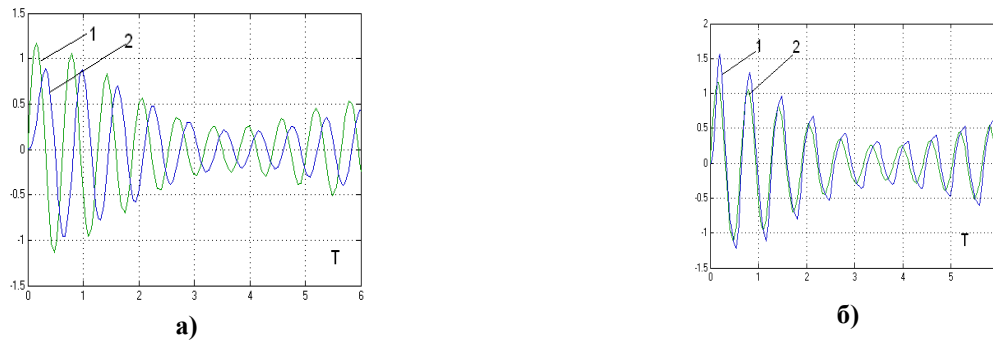


б)

Рис. 3. Перехідні характеристики судна:
1 - дизель-генератора буферного джерела, 2 - основного дизель-генератора

Постійна часу основного дизель-генератора не дозволяє компенсувати збурення від хвиль і вітру (рис. 3, б), тому як наслідок використовується надлишкова потужність в енергосистемі і збурення впливають на роботу основного дизеля, погіршуючи умови його експлуатації.

Реалізацію збурення і компенсуючого впливу з ПІД регулятором і з квазіоптимальним регулятором показано на рис. 4. На рис. 4, а приведено реалізації збурень і буферним дизель-генератором з ПІД-регулятором, який компенсує вплив збурень при керуванні.



**Рис. 4. Реалізація збурення і компенсуючого впливу:
а) з ПІД регулятором, б) з квазіоптимальним регулятором**

Оптимально налаштований типовий ПІД-регулятор не забезпечує достатньої точності компенсації, тому для розв'язання задачі використано квазіоптимальний регулятор зі змінною структурою. Відмінність квазіоптимального регулятора від стандартного ПІД-регулятора полягає в тому, що в «малому» використовується ПІД-закон регулювання, що забезпечує точність збіжності процесу, а у «великому» регулятор переходить на релейний закон управління, який забезпечує максимально можливу швидкодію. Як видно з рис. 4, б, застосування квазіоптимального регулятора забезпечує достатню точність компенсації коливань потужності в енергосистемі при впливі хвиль.

На рис. 5 наведено схему моделювання системи з повною моделлю динаміки судна (блок 1) в середовищі MATLAB-Simulink [9-11, 14]. Для формування збурень було використано модель з п'ятьма гармоніками (блок 2). Власне, модель судна і збурень ідентична моделі, яку використано в [15].

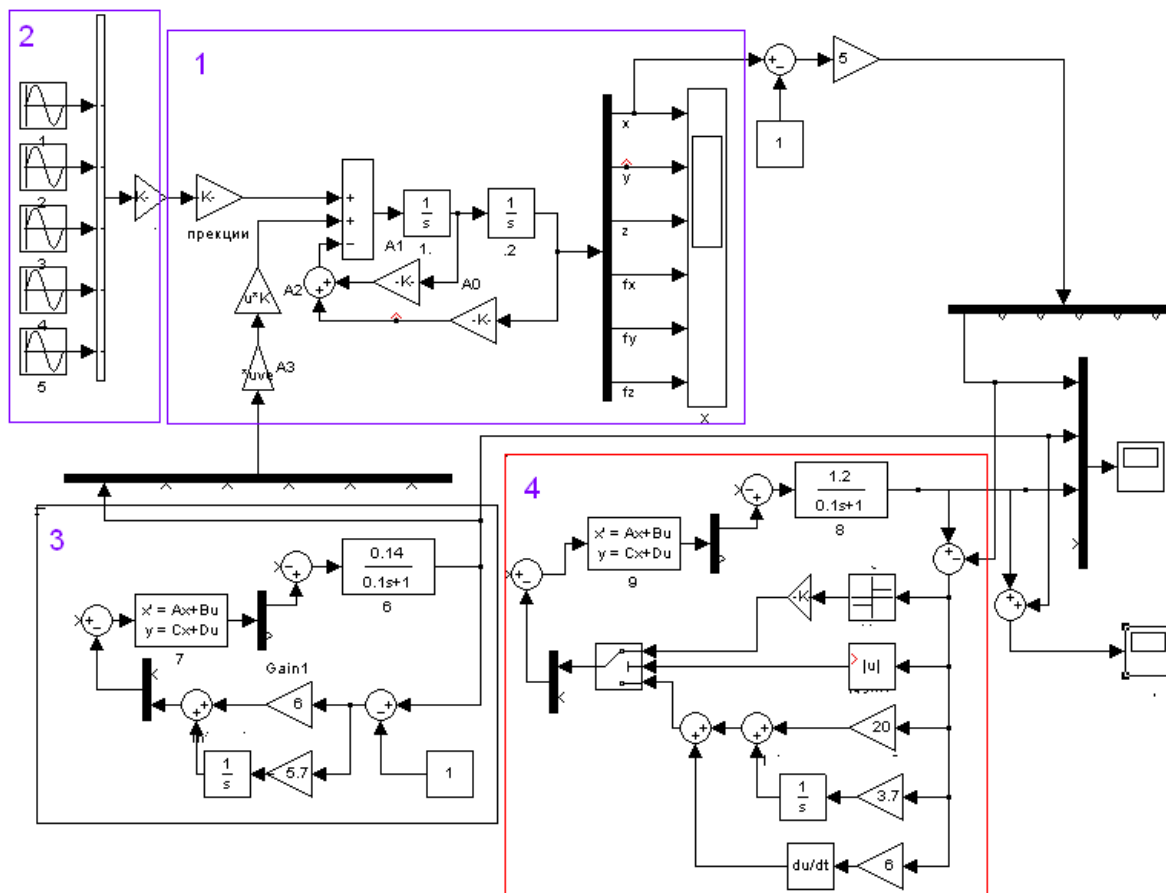


Рис. 5. Схема моделювання системи з буферним джерелом

Крім основного дизель-генератора (блок 3) з ПІ-регулятором в систему введений додатковий дизель-генератор з квазіоптимальним регулятором [3, 4]. Основний генератор в моделі працює в сталому режимі, а збурення, які виникають, визначаються як центровані на номінальний режим руху судна. Збурення на двигунах пропульсивного комплексу визначається через ваговий коефіцієнт. Певне збурення також подається на управління буферним дизель-генератором, який компенсує перевантаження, які виникають в енергосистемі судна через хвильові збурення. При цьому основний дизель-генератор не змінює обертів при виникненні збурень, а все динамічне навантаження перекладається на дизель-генератор буферного джерела.

Реалізації процесів в контурі основного дизель-генератора 1 і в буферному джерелі 2 наведено на рис. 6, при цьому досягається компенсація збурень 3.

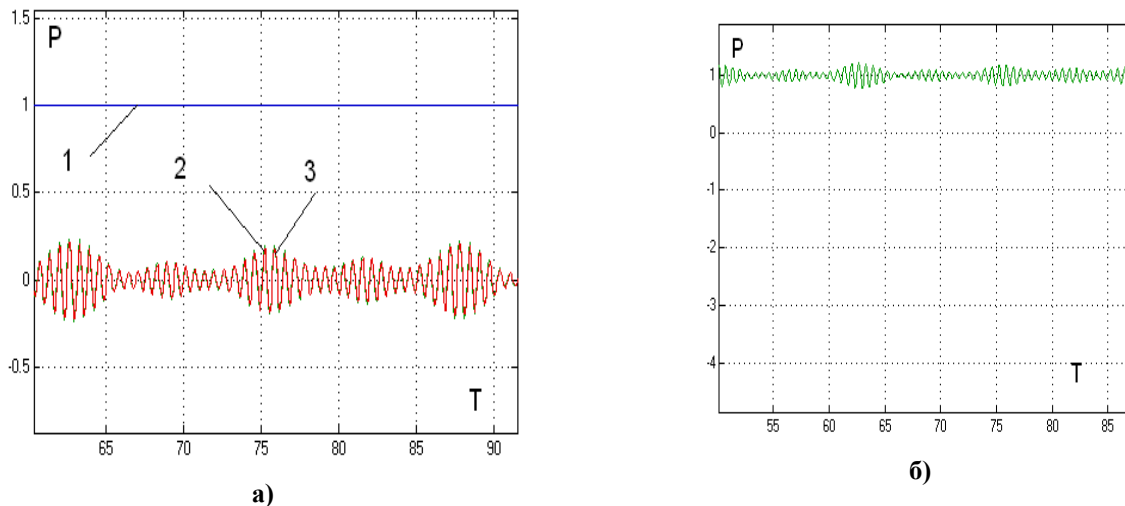


Рис. 6. Процеси в а) основному і б) буферному дизель-генераторах

На рис. 6, б наведено суму процесів в основному і буферному генераторах, яка відповідає повній потужності в системі руху судна.

Висновки. Запропонований метод із використанням буферного джерела дозволяє підвищити ефективність енергетичного комплексу судна за рахунок оптимізації режиму основних суднових дизель-генераторів при хвилюванні. Для підвищення ефективності СЕЕС можливо використовувати буферне джерело енергії, яке має меншу потужність порівняно з основним джерелом (дизелем), але яке володіє характеристиками із керування, що забезпечують компенсацію збурень на основний дизель-генератор.

Використання квазіоптимального регулятора із змінною структурою дозволяє забезпечити компенсацію збурень в енергосистемі судна за рахунок керування буферним дизель-генератором.

Моделювання, яке проведено, підтверджує працездатність методу із простими моделями, але судно та його енергетична система вимагає додаткового аналізу із урахуванням специфіки хвилювих збурень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Петров Ю.К. Оптимальные регуляторы судовых силовых установок (теоретические основы): Судостроение, 1966. 118 с.
2. Григорьев А. В. Анализ возможности и целесообразности применения систем электродвижения на судах вспомогательного флота / А. В. Григорьев, Р. Р. Зайнуллин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2014. № 5 (27). С. 40–46.
3. Лукомский Ю. А., Чугунов В. С. Системы управления морскими подвижными объектами: Учебник. Л.: Судостроение, 1988. 272 с.
4. Красовский А.А. Справочник по теории автоматического управления /под ред. А.А. Красовского. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. 712 с.

5. Geertsma R.D. et al. Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments // *Applied Energy* 194, 2017. pp.30–54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.02.060>
6. Volker T. Hybrid propulsion concepts on ships. In: *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni*, vol.79; 2013. pp. 66–76.
7. Mahmud K. A review of computer tools for modeling electric vehicle energy requirements and their impactn power distribution networks / K. Mahmud, G. E. Town // *Applied Energy*, 2016. Vol. 172. pp. 337–359.
8. Суворов П.С. Динамика двигателя в судовом пропульсивном комплексе. Одесса: ОНМА, 2004. 304 с.
9. Fossen, Thor I. Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control / Thor Fossen / Wiley-IEEE Press, 2011. P. ISBN: 978-1-119-99149-6
10. Perez, Tristan Ship motion control : autopilots with rudder roll stabilizations and combined rudder-fin stabilizers /Springer, 2005. P.300
11. Rodriguez Perez, Jose. Predictive control of power converters and electrical drives / Rodriguez Perez, Jose, Patricio Cortes Estay / Wiley-IEEE Press, 2012. P.336.
12. Ivanov A. et al. Electric propulsion ship's training simulator based on intelligent system / Yu. A. Lebedenko, S. A. Rozhkov, I. V. Kolosov // ISSN 1990-5548 Electronics and Control Systems 2019. N2(60): 53-60. DOI:10.18372/1990-5548.60.13815
13. Reference List SISHIPCIS Drive LV, Siemens. Division Industry Solutions Marine Solutions – Norway, V2008_10. P. 133.
14. https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/ug/marine-full-electric-propulsion-power-system.html#responsive_offcanvas
15. Іванов А.А. Автоматизована система моніторингу і керування електроенергетичною системою судна. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», 2021. С.151. http://kntu.net.ua/index.php/eng/content/download/86743/500519/file/Іванов_АА_151_дисер_sign.pdf.

Improved model for investigation of dynamics of ship electric power systems with buffer sources

Rozhkov Sergii¹, Ivanov Artem², Tymofeiev Kostiantyn³, Igor Butakov⁴, Dmytro Zhuk⁵
Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine,
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Annotation. The paper proposes to use an additional diesel generator of lower power to compensate for disturbances on the ship's power system. To ensure the necessary controllability of the buffer source system, a quasi-optimal controller with a variable structure has been developed. Mathematical modeling of the proposed system is carried out and its effectiveness is shown. Research modeling was performed in the MATLAB environment.

Key words: ship power system, efficiency, buffer source, quasi-optimal regulator.

УДК 518.5: 621.313

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКІВ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ НА БАЗІ СТАНДАРТУ ІЕС 61363

Чекунов В.К.

старший викладач кафедри СЕЕС

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна*