

compensator (ARC). The effectiveness of CFCDs in systems with different types of input rectifiers within the composition of PSFC was experimentally verified.

Incorporating the parasitic capacitance of the 'phase-to-ground' sections of cable lines (SCL) into the MATLAB models enabled the detection and study of high-frequency voltage and current distortions in the ship's power network, arising both at the input and output of PSFC. The analysis of voltage and current harmonics in IMEPS with SPCs was conducted in two frequency ranges: low-frequency (LF) from 0 to 2 kHz and high-frequency (HF) from 2 kHz to 500 kHz.

Key words: electric power quality, integrated maritime electric power system, semiconductor propulsion complexes.

УДК 621.314.26

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В БЕРЕГОВІЙ МЕРЕЖІ З СИСТЕМОЮ БЕЗДРОТОВОЇ ЗАРЯДКИ АКУМУЛЯТОРНИХ СУДЕН

Жук Д.О.¹, Жук О.К.², Козлов М.О.³, Тубальцев А.М.⁴, Лінченко В.В.⁵

*1 канд.техн. наук, доцент кафедри суднових електроенергетичних систем
dmytro.zhuk@nuos.edu.ua*

*2 канд.техн. наук, професор кафедри програмованої електроніки, електротехніки та телекомунікацій
oleksandr.zhuk@nuos.edu.ua*

*3 аспірант кафедри суднових електроенергетичних систем
maksym.kozlov@nuos.edu.ua*

*4 доцент кафедри екології та природоохоронних технологій
anatoliy.tubaltsev@nuos.edu.ua*

*5 аспірант кафедри суднових електроенергетичних систем
linchenko_v@elektropostach.mk.ua*

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

Анотація. Розглянуто умови інтеграції потужних систем швидкої бездротової зарядки і портової мережі, виходячи з вимог до електромагнітної сумісності, які визначаються стандартними показниками припустимих гармонічних спотворень напруги і струму мережі. Виконано модельне дослідження зазначених показників для різних схем приєднання систем бездротової зарядки до берегової мережі як за наявності, так і за відсутності гібридних керованих фільтрокомпенсуючих пристроїв. Проведено аналіз принципів ефективно мінімізації гармонічних спотворень напруги і струму мережі при одночасній корекції коефіцієнта їх фазового зсуву з урахуванням сумірності потужностей системи бездротової зарядки та портової електричної мережі. Рекомендовано, як найбільш енергоефективний варіант, використання в системі бездротової зарядки 6-ти пульсного входного некерованого випрямляча у поєднанні з системним керованим фільтрокомпенсуючим пристроєм, налаштованим на компенсацію 5-ї та 7-ї гармонік, замість 12-пульсного випрямляча з триобмотковим трансформатором.

Ключові слова: якість електроенергії, електромагнітна сумісність, акумуляторні судна з електричними та гібридними пропульсивними енергоустановками, індуктивна система бездротової зарядки з резонансним LLC - перетворювачем, багатопульсний входний випрямляч, гібридний керований фільтрокомпенсуючий пристрій.

Вступ. Використання чисто електричних рухових установок з удосконаленими літій-іонними акумуляторними батареями (АКБ) високої ємності на суднах з короткими маршрутами (наприклад, на поромках або портових буксирах) може забезпечити значну економію палива та роботу з нульовим рівнем викидів за умови швидкої підзарядки до достатнього рівня енергії на кожній стоянці протягом лише 4-5 хв. [1]. Індуктивні системи бездротової зарядки (СБЗ), які

містять вхідний некерований випрямляч (НВ) та резонансний LLC – інвертор з частотною стабілізацією режиму, можуть незалежно від зміни умов індуктивного зв'язку забезпечити надійну і негайну передачу енергії на судно протягом всього часу стоянки [1].

Особливістю сучасних морських зарядних пристроїв є їх висока номінальна потужність (до декількох мегават) [2]. Отже, успішне впровадження технології індуктивної зарядки в морському секторі вимагає, насамперед, вирішення проблеми електромагнітної сумісності СБЗ з портовою береговою мережею сумірної потужності.

Метою даної роботи є забезпечення умов інтеграції потужних систем швидкої бездротової зарядки і портової інфраструктури шляхом пошуку та реалізації енергоефективних принципів забезпечення стандартних норм якості електроенергії (ЯЕ) – припустимих показників гармонічних спотворень напруги і струму мережі.

Задачі, які необхідно вирішити для досягнення мети:

1. Аналіз можливих варіантів схем приєднання СБЗ до портової мережі.
2. Порівняльне модельне дослідження впливу індуктивних СБЗ з резонансними інверторними LLC – перетворювачами та вхідними НВ різної пульсності на показники гармонічних спотворень та фазового зсуву напруги і струму в комплексі портова мережа – СБЗ за відсутності додаткових засобів забезпечення ЕМС.
3. Модельне дослідження ефективності впливу гібридних керованих фільтрокомпенсуючих пристроїв (КФКП) на показники спотворень та фазовий зсув напруги і струму в портовій мережі з СБЗ.
4. Розробка практичних рекомендацій щодо забезпечення ЯЕ в портовій мережі, що живить індуктивну СБЗ сумірної потужності.

Наукова новизна полягає в модельній перевірці принципової можливості використання нової структури КФКП з двома нерегульованими резонансними фільтрами, налаштованими на 5-у і 7-у гармоніки, та регульованим реакторним компенсатором (РК) для ефективної корекції коефіцієнта зсуву з одночасним обмеженням рівня вищих гармонік в берегових мережах з потужними індуктивними СБЗ.

Основна частина. Міжнародні стандарти ЯЕ ІЕС 6100-4-30 та ІЕС 60092-101 визначають жорсткі припустимі рівні гармонік напруг і струмів в судових і берегових мережах. Наприклад, інтегральний коефіцієнт гармонічних спотворень напруги THD_V не повинен перевищувати 5%, а будь-яка гармоніка (до 50-ї включно) не повинна перевищувати 3%. Виконання зазначених вимог передбачає необхідність попередньої оцінки показників ЯЕ, а також розробки ефективних засобів їх забезпечення з урахуванням особливостей мереж.

Визначальний вплив на характер і ступінь спотворень напруги і струму мережі живлення з СБЗ мають вхідні діодні 6-пульсні або 12-пульсні НВ, відповідно з дво- та триобмотковими трансформаторами, які мають найбільше практичне використання в системах з проміжною ланкою постійного струму (рис. 1).

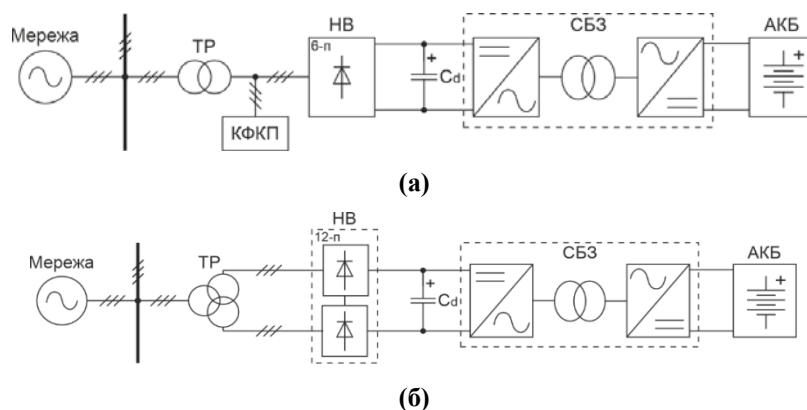


Рис 1. Схеми приєднання СБЗ до берегової мережі а) з 6-пульсним вхідним НВ; б) з 12-пульсним вхідним НВ

MATLAB- моделі комплексів берегова мережа – індуктивна СБЗ з 6-пульсним та 12-пульсним входними НВ показані на рис. 2 і рис. 3.

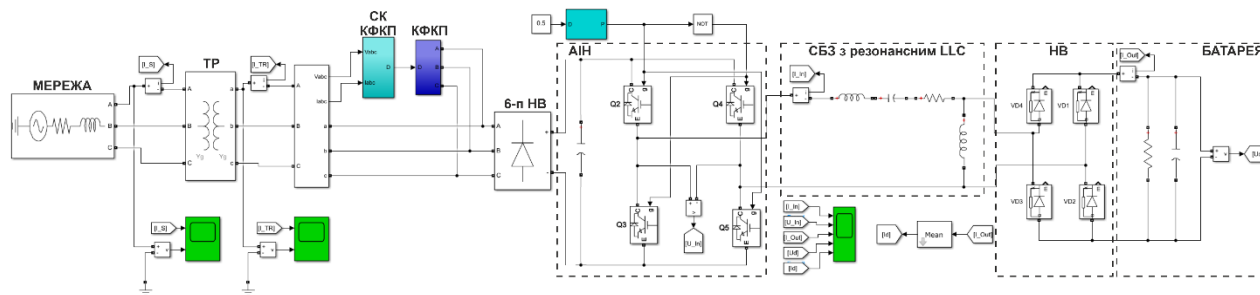


Рис 2. MATLAB- модель комплексу з 6-пульсним входним НВ СБЗ

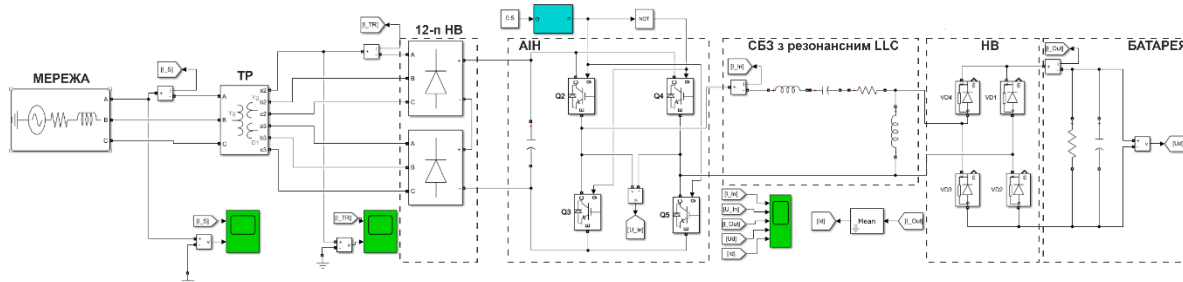


Рис 3. MATLAB- модель комплексу з 12-пульсним входним НВ СБЗ

Підвищення пульсності входних НВ рекомендується як основний шлях забезпечення ЯЕ в мережі з СБЗ. Система з 6-пульсним входним НВ досліджувалася як за відсутності, так і за наявності КФКП, модель якого показана на рис. 4. Двоканальний КФКП складається з двох нерегульованих резонансних фільтрів 5-ї і 7-ї гармонік (РФ5, РФ7) та регульованого за допомогою напівпровідникового комутатора на IGBT ключах РК (рисунок 4). Одноканальний КФКП з єдиним РФ 5-ї гармоніки розглянуто в [3].

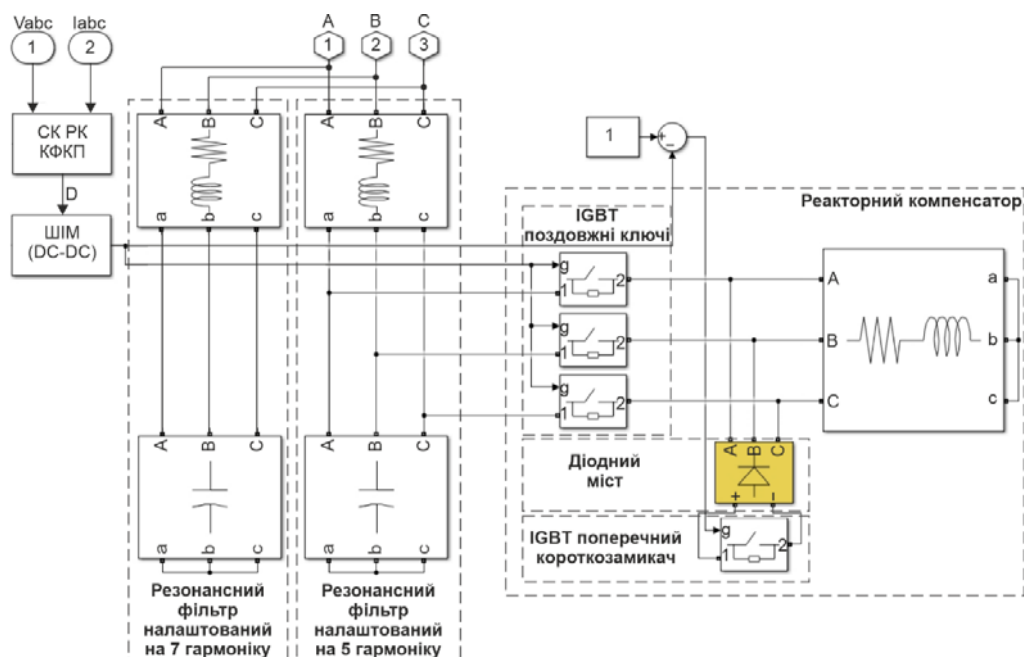


Рис 4. MATLAB-модель двоканального системного КФКП з регульованим РК

Структурна схема широтно-імпульсного регулювання (ШІР) РК представлена на рис. 5.

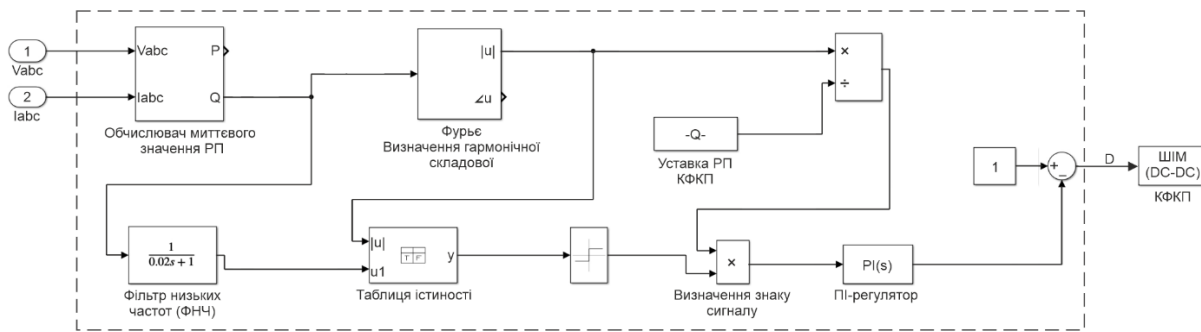


Рис 5. Структурна схема ШІР РК

До складу пристрою ШІР входять стандартний цифровий блок обчислення реактивної потужності, споживаної з мережі СБЗ разом з КФКП, та фільтр нижніх частот для виділення постійної складової у сигналі Q .

$$Q = \frac{1}{\sqrt{3}} (i_{SA} u_{SBC} + i_{SB} u_{SAC} + i_{SC} u_{SAB})$$

Схема ШІР визначає шпаруватість керування РК таким чином, що значення реактивної потужності мережі Q прямує до нуля, а коефіцієнта зсуву – до одиниці при будь-якому режимі СБЗ.

Результати дослідження ЯЕ представлені на рис. 6,7,8 для різних варіантів комплексу портова мережа – СБЗ з наступними головними номінальними параметрами: повні потужності джерела мережі та входних трансформаторів СБЗ – відповідно 650 кВА і 375 кВА; лінійні напруги: мережі – 10 кВ; на виходах двообмоткових та триобмоткових входних трансформаторів СБЗ – відповідно 600 В і 300 В. Вихідна частота LLC – інвертора – 50 кГц. Розглядався режим зарядки АКБ з величинами зарядних напруги і струму – відповідно 800 В і 350 А.

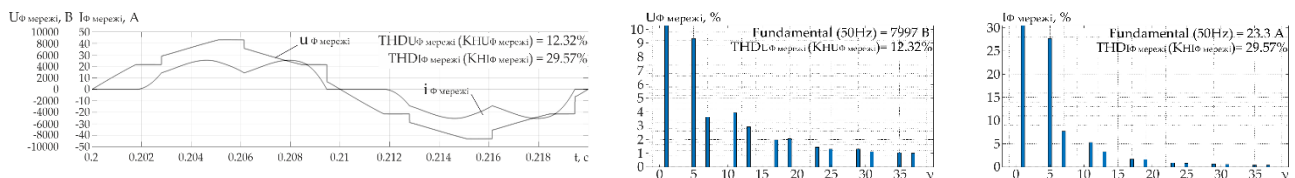


Рис 6. Часові діаграми та спектри напруги і струму мережі при роботі СБЗ з 6-пульсним НВ без КФКП

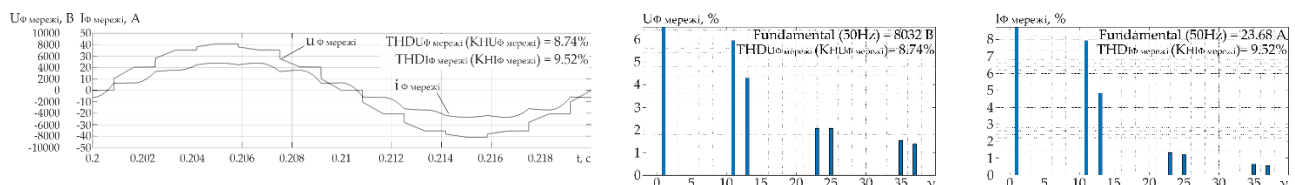
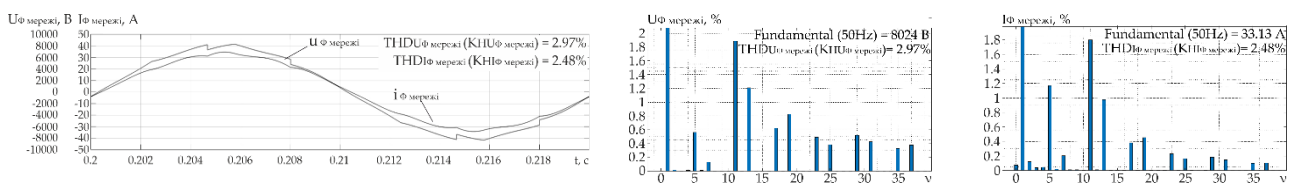


Рис 7. Часові діаграми та спектри напруги і струму мережі при роботі СБЗ з 12-пульсним НВ без КФКП



(а)

Рис 8. Часові діаграми та спектри напруги і струму мережі при роботі СБЗ з системним КФКП

Осцилограми напруг і струмів окремих внутрішніх елементів досліджуваної індуктивної БЗС наведені на рис. 9, вони практично співпадають для всіх варіантів розглянутих моделей, показаних на рис. 2 і 3.

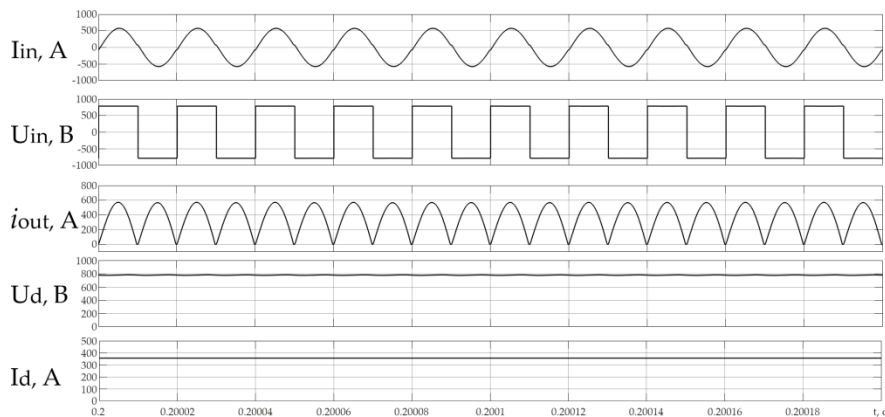


Рис 9. Результати моделювання струмів і напруг БЗС з LLC інвертором

Висновки. Використання для СБЗ з економічним 6-пульсним вхідним НВ системного КФКП на основі нової двоканальної гібридної структури дозволяє забезпечити стандартні вимоги до ЯЕ, знижуючи THD_U та THD_I від 12,32% і 29,57% до 2,97% і 2,48% відповідно, одночасно повністю компенсуючи реактивну потужність. Порівняно з використанням 12-пульсного НВ таке рішення є більш ефективним.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Жук О.К., Дзисюк Я.В., Нікуліна А.О. Побудова і управління енергоефективних безконтактних зарядних систем електричних суден: Матеріали 14-ї Міжнародної науково-практичної конференції СЕУТТОО-2023 – Херсон: ХДМА https://ksma.ks.ua/?page_id=2110
- [2] G. Guidi, J. A. Suul, F. Jensen, and I. Sørffonn, "Wireless Charging for Ships: High-power inductive charging for battery electric and plugin hybrid vessels," IEEE Electrification Magazine, pp. 23 -32, Sept. 2017. doi: 10.1109/MELE.2017.2718829
- [3] O. Zhuk, D.Zhuk ,D.Kryvoruchko , D'yakonov. Control of Improved Hybrid Power Line Conditioner. 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). Conference Proceedings, 2018, Kyiv, Ukraine.IEEE Catalog Number: CFP1805U-USB, ISBN: 978-1-5386-6382-0 , pp. 605-610.

Ensuring the quality of electricity in the shore network with a wireless charging system for battery ships

Zhuk D.O.1, Zhuk O.K.2, Kozlov M.O.3, Tubaltsev A.M.4, Linchenko V.V.5
1-5Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine.

Abstract. The conditions for the integration of powerful fast wireless charging systems and the port network are considered, based on the requirements for ensuring electromagnetic compatibility, which are determined by standard indicators of permissible harmonic distortions of network voltage and current. A model study of the specified indicators for various schemes for connecting wireless charging systems to the shore network was carried out, both in the presence and in the absence of hybrid controlled filter-compensating devices. The study of the principles of effective minimization of harmonic distortions with simultaneous correction of the power factor, taking into account the proportionality of the capacities of the wireless charging system and the port electrical network, was carried out. It is recommended, as the most energy-efficient option, to use a 6-pulse input uncontrolled

rectifier in a wireless charging system in combination with a system-controlled filter-compensating device configured to compensate for the 5th and 7th harmonics, instead of a 12-pulse rectifier with a three-winding transformer.

Keywords: power quality, electromagnetic compatibility, battery ships with electric and hybrid propulsion power plants, inductive wireless charging system with resonant LLC converter, multi-pulse input rectifier, hybrid controllable filter compensating device.

УДК 378.147

USE OF THE NI MULTISIM SOFTWARE PRODUCT FOR THE TRAINING OF ELECTRICAL ENGINEERING SPECIALISTS

Solobuto L.V.

PhD of Engineering Sciences,

Senior Lecturer at the Department of PEET

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Mykolayiv, Ukraine

larisa.solobuto@gmail.com

Abstract. Use of the Multisim program for training in electronics is very important for research. Methodical opportunities of use of computer modeling improve process of training of specialists of the Electronics direction. Multisim is one of the best programs for modeling of electric circuits. The program Multisim contains a set of electric elements, has tool kits for a research of operation of the amplifier and allows carrying out several types of the analysis. The article considers specifics of use of the program for studying of electronic devices on the example of an amplifier.

Keywords: transistor amplifier; Parameter Sweep; Fourier Analysis; Temperature Sweep; oscilloscope.

Introduction. The amplifier is a rather complex device, for the study of which it is necessary to have a laboratory with a set of tools for qualitative analysis of work. Educational institutions do not always have the necessary devices, virtual laboratories are a good substitute for them, which allow you to simulate electric circuits and electronic devices, measure currents and voltages, and test devices that have been designed. Multisim (developed by National Instruments) is one of the most common programs in this direction.

Article purpose. Consideration of specific methods of research of complex electronic devices using the NI Multisim virtual laboratory for use in the training of future specialists. The use of the proposed methods allows you to solve one of the main problems of education – the combination of theory with the practical implementation of acquired knowledge.

Main part. Consider this process using the example of a transistor amplifier with a common emitter (Fig. 1). To determine the operating modes of the amplifier, it is necessary to obtain the output characteristics of the transistor Q1, which provides the measuring device IV analyzer, which displays the current-voltage characteristics of electronic components: resistors, diodes, transistors on the monitor (Fig. 2).