

УДК 621.314.26

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ СИСТЕМИ БЕРЕГОВОЇ ЗАРЯДКИ
ДЛЯ АКУМУЛЯТОРНИХ СУДЕН****Жук О.К.¹, Рябенський В.М.², Тубальцев А.М.³**

¹ канд.техн. наук, професор кафедри програмованої електроніки, електротехніки та телекомунікацій
akzhuk2@gmail.com

² доктор техн. наук, завідувач кафедри програмованої електроніки, електротехніки та телекомунікацій
optron2@gmail.com

³ доцент кафедри екології та природоохоронних технологій
anatoliy.tubaltsev@nuos.edu.ua

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

Анотація. Розглянуто берегові зарядні системи великої потужності для акумуляторних суден з використанням новітніх технологій і компонентів: удосконалених комутаційних елементів (з'єднувачів), бездротової індуктивної передачі енергії, засобів суднової силової електроніки, берегових накопичувачів, оптимізації процесу зарядки. Виконано порівняльний аналіз можливих топологічних рішень зарядних систем, виходячи з умови досягнення найбільшої енергоефективності з урахуванням типу суднової електроенергетичної системи (СЕЕС), доступного часу зарядки, можливостей портової електричної мережі та стратегії управління високого рівня.

Ключові слова: акумуляторні судна з електричними та гібридними пропульсивними енергоустановками, силові напівпровідникові перетворювачі, берегові системи накопичення і зберігання енергії, з'єднувач берег-судно, індуктивні системи зарядки.

Вступ. Створення і удосконалення електричних пропульсивних енергоустановок є основним напрямом підвищення функціональності, маневреності і енергоефективності суден. Зазначений напрям, крім економії палива, створює умови для переходу до морського транспорту з нульовими викидами. Основними типами електрифікованих судових силових установок є традиційні дизель-електричні рішення та системи електричного руху з бортовими акумуляторними накопичувачами енергії – гібридні і повністю електричні [1]. Існує досвід успішної експлуатації найбільшого в світі судна з гібридною ЕЕС – круїзного лайнера Roald Amundsen, на якому встановлено дві акумуляторні системи з потужностями заряду і розряду відповідно 627 кВт і 1750 кВт [1]. Втім, найбільше практичне використання суто акумуляторні енергоустановки вже знайшли на поромах або на портових буксирах для перевезень на короткі відстані, що значно зменшує викиди вздовж узбереж. У перспективі, лише в Норвегії до 2030 р. заплановано мати близько 200 подібних суден, які працюватимуть на 130 маршрутах [2, 3]. Міжнародна морська організація (ІМО) рекомендує розвивати портову інфраструктуру зарядки, зокрема з використанням відновлювальних джерел енергії [4].

Показники існуючих акумуляторних суден свідчать про те, що відповідні берегові системи повинні забезпечувати два основних режими експлуатації: довготривалої, до 8 годин нічної зарядки та швидкої, короткочасної. 4-25 хвилин зарядки – для під час стикування.

Отже, необхідні подальші дослідження напрямів удосконалення систем берегової зарядки для підвищення їхньої енергоефективності з урахуванням типу СЕЕС, що обслуговуються, необхідного часу зарядки, наявності берегових накопичувачів та можливості використання відновлювальних джерел енергії в «розумних» портах.

Основна частина. *Берегові зарядні системи (БЗС)* складаються з чотирьох основних компонентів: інтерфейс під'єднання до портової мережі, зокрема знижувальний трансформатор; можливо, берегова система накопичення і зберігання енергії (акумуляторні батареї та силові напівпровідникові перетворювачі); з'єднувач берег-судно; судновий (бортовий) зарядний пристрій.

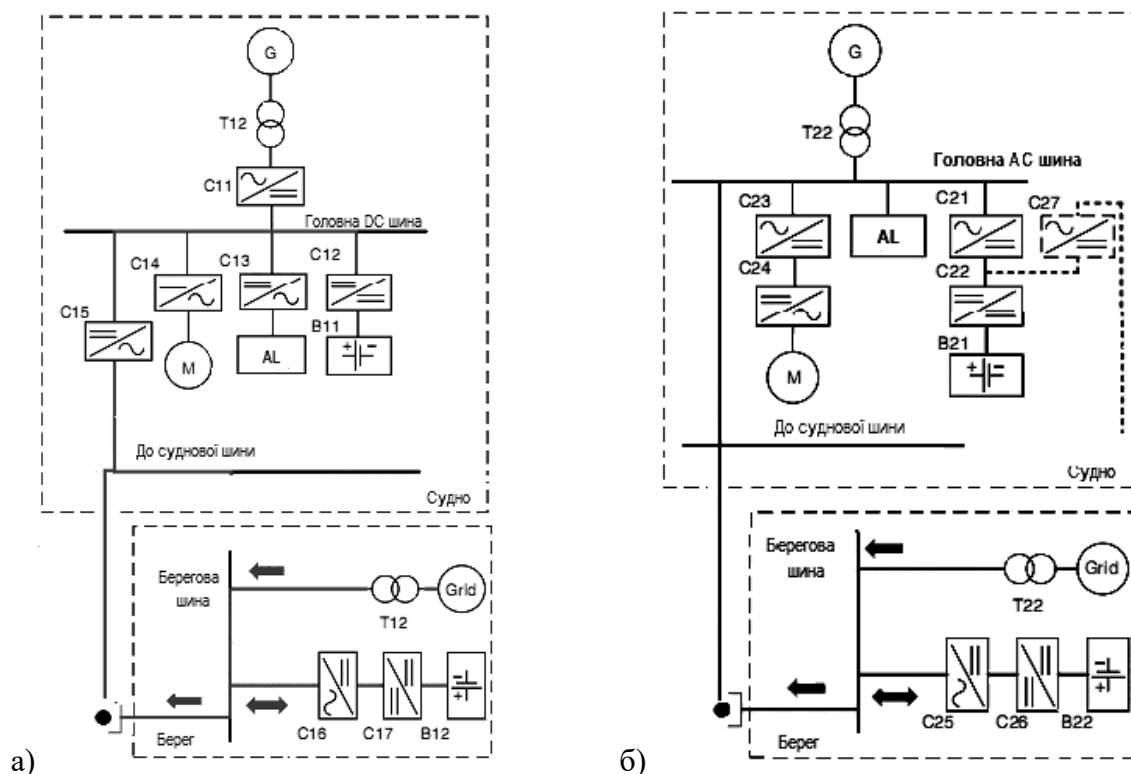


Рисунок 1. Берегові зарядні системи змінного струму : (а) для СЕЕС постійного струму; (б) для СЕЕС змінного струму: AL – допоміжне навантаження; G – генератор; М – гребний двигун, Grid – берегова мережа.

Сучасні технології зарядки використовують дротову і бездротову (індуктивну) передачу енергії берег-судно, а також механізми заміни суднової акумуляторної батареї. Системи дротової зарядки поділяють на два типи: змінного струму (AC) і постійного струму (DC). На рисунку 1,а показана БЗС, що підключається до гібридної СЕЕС з єдиною шиною постійного струму і одержує живлення від берегової мережі змінного струму. Окрім інтерфейсу мережі, існує берегова стаціонарна акумуляторна батарея, яка повільно заряджається в нічний час і забезпечує не тільки зменшення пікового навантаження на місцеву мережу, але й споживання дешевої енергії. Трансформатор T12 забезпечує необхідну знижену напругу на береговій шині та гальванічну ізоляцію останньої від мережі. DC/DC перетворювач C12, який безпосередньо підключений до бортової батареї B11, контролює передану потужність під час зарядки та розрядки. Подібним чином DC/DC перетворювач C17 контролює потужність зарядки та розрядки берегової батареї B12. AC/DC перетворювач C16 працює як випрямляч при зарядці берегової батареї і як інвертор при зарядці бортової батареї.

На рис. 1,б показана БЗС із живленням від берегової мережі змінного струму. Але, на відміну від схеми на рис. 1,а, вона приєднана до СЕЕС з єдиною шиною змінного струму. Перед підключенням такої БЗС до судна для уникнення неприпустимих зрівняльних струмів слід виконати умови точної синхронізації напруги бортової мережі до мережі берегової. Єдиним винятком є випадок, коли бортова енергосистема пасивна (генератор вимкнений). З огляду на тривалий процес синхронізації, систему, показану на рис.1, б не можна визнати належним рішенням для забезпечення швидкої зарядки протягом часу стикування. Натомість,

використання такої структури є доцільним в тривалому режимі «холодного прасування» для живлення допоміжних навантажень судна на стоянці від берегової мережі при відключених бортових дизель-генераторах з метою економії викопного палива та зменшення шуму. Щоб уникнути ускладнень синхронізації, замість перетворювача C21 може бути використаний додатковий активний або пасивний випрямляч C27, підключення якого виділено пунктиром. В трасу підключення C27 до берегової шини може бути вбудований не показаний на схемі бортовий трансформатор для узгодження напруг берегової та суднової шин. Слід враховувати, що використання такого додаткового трансформатора призведе до збільшення вартості та зниження енергоефективності зарядної системи. Загалом, основний зарядний пристрій може бути встановлений на борту або розміщений поза бортом у спеціальній береговій зарядній станції. Незважаючи на те, що у складі дровових зарядних систем бортові зарядні пристрої досить легко підключаються механічними контактними з'єднувачами, існують суттєві обмеження щодо розміру, ваги та вартості бортового обладнання, насамперед високошвидкісних поромів, які знижують потужність зарядки та продуктивність судна. На відміну від цього, вага, розмір та потужність спеціальних берегових зарядних станцій не обмежені, що забезпечує скорочення часу зарядки. Використання таких станцій, усунення бортового низькочастотного (50 Гц) трансформатора, а також мінімізація етапів перетворення параметрів електроенергії на борту – важливі напрями підвищення ефективності електрифікованого морського транспорту з нульовими викидами.

Системи бездротової зарядки. Використання технологій бездротової (безконтактної) індуктивної передачі енергії надає акумуляторним суднам унікальних переваг з точки зору повного використання короткого часу стикування для зарядки незалежно від складних погодних умов та впливу обмерзання та засоленості [2, 3, 4]. Спрощена модель індуктивної зарядної системи берег-судно для СЕЕС постійного струму показана на рисунку 2.

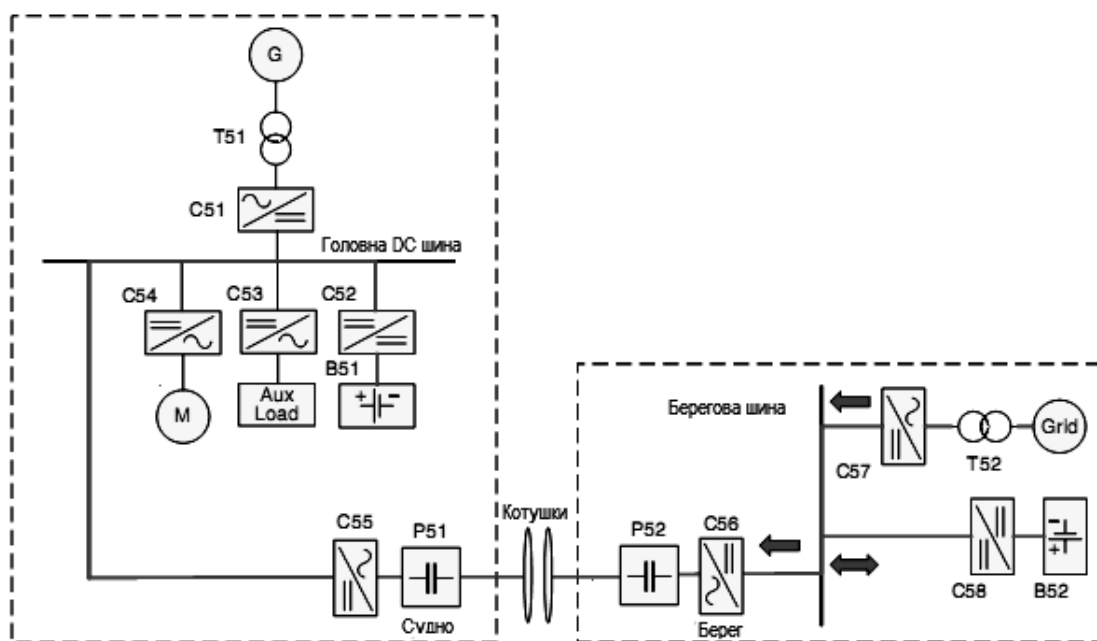


Рисунок 2. Індуктивна зарядна система берег-судно для СЕЕС постійного струму

Котушки передавального і приймального контурів діють як трансформатор з низькою взаємною індуктивністю. Ємнісні елементи (P51 і P56) використовуються для компенсації реактивної потужності, споживаної котушками. Перетворювач C56 (дворівневий інвертор напруги) генерує високочастотну (кілька кілогерц) прямокутно-хвильову напругу для живлення передавальної котушки. Високочастотна вихідна напруга приймальної котушки

випрямляється діодним перетворювачем C55 і надходить на вхід зарядного пристрою (C52). При індуктивній зарядці усувається необхідність у виділеному бортовому трансформаторі та через збільшення доступного часу зарядки знижується необхідний рівень потужності системи, що дозволяє зменшити витрати на інфраструктуру. Як проблеми індуктивної системи, слід відзначити, що її досяжна ефективність чутлива до зміщення котушок в умовах експлуатації. Негативний вплив зазначеного фактору можна дещо компенсувати збільшенням частоти передачі та/або розмірів котушок. Однак, збільшення розмірів одночасно призводить до зростання об'єму та ваги котушок, тоді як можливості збільшення робочої частоти обмежуються зростанням теплових втрат.

При визначенні стратегії управління високого рівня слід окремо розглянути призначення та функції відповідних берегових та бортових контролерів, які відрізняються між собою і залежать від конкретних вирішуваних задач. Для берегової зарядної станції існують чотири режими роботи: 1) заряджання берегових акумуляторів, коли жодне судно не пришвартоване; 2) передача енергії на судно лише від берегової мережі; 3) передача енергії на судно лише від берегових акумуляторів; 4) передача енергії на судно як від берегової мережі, так і від берегових акумуляторів.

Берегові акумулятори, як правило, заряджаються вночі малою потужністю або більшою потужністю між зарядками поромів. Бортова система надсилає запит на необхідну загальну енергію, тому берегова система повинна визначити частку потужності мережі і берегового акумулятора при зарядці. З одного боку, використання берегового акумулятора підвищує енергоефективність системи, оскільки зменшує вплив великої потужності зарядки на локальну мережу та може дозволити зменшити загальні витрати на електроенергію при заряджанні в години пік. З іншого боку, використання при зарядці берегового акумулятора є менш енергоефективним, ніж використання мережі, через втрати енергії, спричинені додатковими перетворювачами силової електроніки, які використовуються в інтерфейсі берегової батареї, та самою батареєю. Отже, берегова система енергоменеджменту має приймати рішення про оптимальний розподіл навантаження між мережею і береговими акумуляторами.

Режими бортової системи управління: 1) робота в повністю електричному режимі, 2) робота в гібридному режимі (або аварійний режим для повністю електричних поромів) і 3) зарядка з берега. У першому режимі перетворювач, підключений до бортових батарей, повинен контролювати не тільки вихідну потужність акумулятора, а також напругу на шині постійного струму (оскільки бортові генератори відсутні). У другому та третьому режимах перетворювач C32 контролює лише заряд батареї. Щоб уникнути нестабільності під час зарядки, коли бортова шина постійного струму з'єднана з береговою, не слід допускати одночасну роботу перетворювачів C32 і C36 з PI- контролерами постійної напруги. У випадку, коли суднові акумулятори безпосередньо підключені до бортових шин, повинен існувати спеціальний береговий зарядний DC/DC перетворювач, що робить наземні берегові системи енергоменеджменту та управління живленням більш складними. Моніторинг стану заряду та рівня напруги бортових батарей, а також команди запуску та зупинки здійснюються за допомогою бортової системи управління живленням.

Висновки

1. Розглянуто стан та напрямки розвитку сучасних зарядних технологій для сучасних акумуляторних морських суден, включаючи архітектури енергосистем та їх елементи, компоненти інтерфейсу, інфраструктуру систем управління.

2. Виконано порівняння чотирьох структур дрових зарядних комплексів з використанням можливих поєднань берегових та бортових частин на основі змінного і постійного струму. Показані переваги застосування берегової зарядки постійним струмом для бортових установок як змінного, так і постійного струму з огляду на економію обсягу та ваги бортового перетворювального обладнання.

3. Для кращого розуміння рівня досягнутих практичних рішень представлені приклади деяких сучасних інтерфейсів зарядки берег-судно.

4. Використання унікальних переваг індуктивних систем бездротової зарядки можливо лише за умови вирішення проблеми їх інваріантності до умов зв'язку.

5. Підвищення енергоефективності зарядки та підтримка локальної мережі досягається правильним вибором стратегії управління високого рівня БЗС.

ЛІТЕРАТУРА

1. P. Ghimire, D. Park, M. K. Zadeh, J. Thorstensen, and E. Pedersen. Shipboard electric power conversion: System architecture, applications, control, and challenges, IEEE Electr. Mag., vol. 7, no. 4, pp. 6–20, Dec. 2019. doi: 10.1109/MELE.2019.2943948.
2. M. S. Eide, Charting a course for green coastal shipping, DNV GL, Oslo, Norway, 2016. doi: 10.13140/RG.2.2.32516.94088.
3. Analysis of charging- and shore power infrastructure in Norwegian ports: ReCharge, DNV GL, Oslo, Norway. Accessed on: Jan. 27, 2020. [Online]. Available: https://www.nek.no/wp-content/uploads/2019/03/DNV-GL-2017-0101_ReCharge.pdf
4. T. W. P. Smith et al., Third IMO GHG Study 2014. London: International Maritime Organization (IMO), 2014.

Energy-efficient shore charging systems for battery vessels

Zhuk O.K.¹, Ryabenkij V.M.², Tubaltsev A.M.³

¹⁻³Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine.

Abstract. High-capacity shore charging systems for battery ships using the latest technologies and components are considered: improved switching elements (connectors), wireless inductive energy transfer, ship power electronics, shore storage devices, optimization of the charging process. A comparative analysis of possible topological solutions of charging systems was performed, based on the condition of achieving the highest energy efficiency, taking into account the type of ship electric power system (SEE), the available charging time, the capabilities of the port electrical network and the high-level management strategy.

Keywords: battery ships with electric and hybrid propulsion power plants, power semiconductor converters, shore systems of energy accumulation and storage, shore-ship connector, inductive charging systems.

УДК 004.056.53: 621.397: 629.58

ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ В ПІДВОДНИХ СИСТЕМАХ ВІДЕОПОСТЕРЕЖЕННЯ

Касьянов Ю.І.

*старший викладач кафедри комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*

*м. Миколаїв, Україна
yukas.nik.ua@gmail.com*

Анотація: Розглянуто питання якості зображення в підводних системах відеоспостереження та визначено шляхи і засоби покращення якості. Наведено структуру адаптивної системи освітлення та результати дослідження впливу освітленості на роздільну здатність відеокамери підводного апарату.