

5. Bjarte Hoff. Electric ships in Norway. Experiences and Future Trends. <https://munin.uit.no/bitstream/handle/10037/20281/article.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
6. World's First All-Electric Battery-Powered Ferry <https://cleantechnica.com/2015/06/13/worlds-first-electric-battery-powered-ferry/>
7. Yara Birkeland. Available online: <https://www.offshore-energy.biz/yara-birkeland-worlds-1st-fully-electric-boxship-prepares-for-commercial-ops/> (accessed on 12 November 2022).
8. Designing an LLC Resonant Half-Bridge Power Converter [Електронний ресурс] // Texas Instruments Incorporated. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ti.com/seclit/ml/slup263/slup263.pdf>.
9. Understanding LLC Operation (Part II): What to Consider in LLC Converter Design [Електронний ресурс] // Monolithic Power Systems, Inc.. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.monolithicpower.com/understanding-llc-operation-part-ii-what-to-consider-in-llc-converter-design>.

### **Increasing the efficiency of non-contact charging of ships' traction batteries at unstable induction transmission**

Gennadii Pavlov, Iryna Vinnychenko, Andrii Obrubov  
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

**Abstract.** The possibility of optimizing the charging process of ship's traction batteries by adjusting the operating frequency of resonant converters to ensure the maximum possible charging power at different values of the magnetic coupling coefficient between the coils and the equivalent load resistance is shown. Dependencies of the voltage transfer coefficient at different fixed values of the magnetic coupling coefficient between the coils and different fixed values of the relative operating frequency were obtained.

**Keywords:** resonant converters, ship's traction batteries, contactless power transmission, control systems.

УДК 681.5

### **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ У ХВИЛЬОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ**

**Білюк І.С.**

*кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики  
Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова,  
м. Миколаїв, Україна  
ivanbilyuk@gmail.com*

**Гаврилов С.О.**

*кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики  
Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова,  
м. Миколаїв, Україна  
sergey.gavrilov81@gmail.com*

**Савченко О.В.**

*викладач кафедри автоматики  
Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова,  
м. Миколаїв, Україна  
savchenko1984@gmail.com*

**Без'язика А.О.**

*аспірант кафедри автоматики  
Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова,  
м. Миколаїв, Україна*

**Коптєв І.П.***магістр кафедри автоматики**Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова,  
м. Миколаїв, Україна*

**Анотація.** Розглянуто конструкцію електромеханічного перетворювача енергії хвильової електростанції. Проведено аналіз особливостей конструкцій лінійних генераторів та визначено можливість їх застосування в хвильових електростанціях. Отримано математичну модель процесів перетворення енергії у лінійному генераторі хвильової електростанції.

**Ключові слова:** хвильова електростанція, лінійний генератор, електромеханічний перетворювач енергії, математична модель, імітаційне моделювання

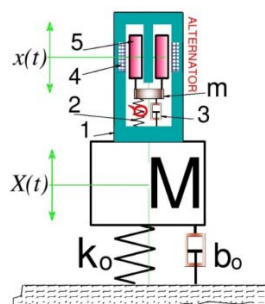
Серед відновлювальних джерел енергії морські хвилі розвивають найбільшу питому потужність. Використання лише певної частки сукупної енергії хвиль Світового Океану для виробництва електроенергії досить для істотного збільшення цього виробництва без нанесення будь-якої шкоди екосистемі планети. Тому питання розробки перетворювачів енергії хвиль є актуальним і перспективним [1, 2].

Одним з найбільш розповсюджених пристроїв для отримання електричної енергії з енергії хвиль є хвильові електростанції (ХвЕС). Хвильові електростанції – перспективне джерело екологічно чистої енергії, розробці яких приділяється велика увага. Створення ХвЕС визначається вибором оптимальної конструкції станції відповідно до умов акваторії використання.

Метою цієї роботи є розробка математичної моделі процесів керованого перетворення енергії в ХвЕС.

В роботі [3] запропоновано конструкцію ХвЕС у вигляді буя з вбудованим лінійним генератором. Динамічна модель спрощеного лінійного електромеханічного перетворювача енергії показана на рисунку 1.

Лінійний генератор масою  $m$  прикріплюється до корпусу ХвЕС за допомогою пружини 2 і демпферного елемента 3. Частина генератора змінного струму складається з чутливої котушки 4 і магніту 5. Котушка 4 вбудована в межах налаштованої маси  $m$  у положенні навколо магніту 5 і завершується парою електричних контактів, які з'єднані з зовнішнім навантаженням.



**Рисунок 1 – Динамічна модель спрощеного лінійного електромеханічного перетворювача енергії:**  
1 – корпус; 2 – пружина; 3 – демпферний елемент; 4 – котушка; 5 – магніт

Магніт 5 прикріплений до маси  $m$  генератора. Це означає, що маса  $m$  включає рухому масу генератора та масу магніту. Демпфер повинен мати власну резонансну частоту, рівну частоті підйому буя. Амплітуда коливань маси  $m$  в цьому випадку була б максимальною, і величина виробленої електроенергії в генераторі також була б максимальною.

Динаміка системи в цьому випадку описується системою звичайних диференціальних рівнянь:

$$MX'' + b_0X' + k_0X + m\omega^2(X - x) + b_1(X' - x') = M_0 \sin(\omega t)$$

$$m\ddot{x} - m\omega^2(X-x) - b_1(\dot{X}-\dot{x}) + \Phi i = 0 \tag{1}$$

$$L\dot{i} + R i - \Phi (x - X) = 0$$

де  $\Phi$  – коефіцієнт зв'язку. Коефіцієнт зв'язку в цьому випадку можна визначити як  $\Phi = BLs$ , де  $B$  – магнітний потік поля, а  $Ls$  – характерний розмір.

Розглянуто існуючі конструкції лінійних генераторів та обрана та, що відповідає експлуатаційним вимогам ХВЕС.

Еквівалентна схема лінійного генератора представлена на рисунку 2, де  $L_a, R_0$  – індуктивність та активний опір робочої обмотки;  $L_L, R_L$  – індуктивність та активний опір навантаження, з урахуванням опору випрямляча;  $E_v$  – ЕРС руху, що наводиться в робочій обмотці при переміщенні магнітів.

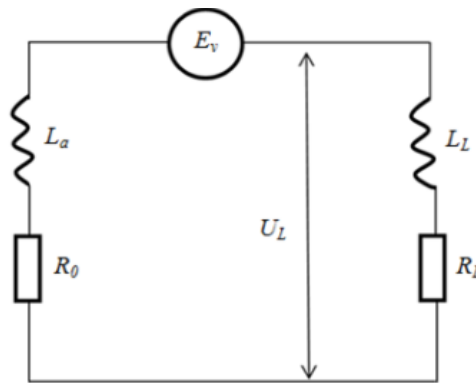


Рисунок 2 – Еквівалентна схема лінійного генератора

ЕРС руху  $E_v$  описується виразом

$$E_v = C_{MW} \frac{dx}{dt} = C_{MW} x_m \cos \omega t \tag{2}$$

де  $C_{MW}$  коефіцієнт електромагнітної сили, що знаходиться за формулою

$$C_{MW} = k_{MW} \frac{2\mu_0 l F_M w}{\pi k_\mu a} \tag{3}$$

де  $k_{MW}$  – коефіцієнт лінеаризації електромагнітної сили;  $\mu_0$  – магнітна проникність вакууму, що дорівнює  $4\pi \cdot 10^{-7}$ ;  $l$  – довжина кола діаметра магніту  $D_M$ ;  $F_M$  – магніторушійна сила магніту;  $w$  – число витків обмотки;  $k_\mu$  – коефіцієнт насичення 1,05;  $a$  – параметр, що залежить від довжини магніту та повітряних зазорів.

Рівняння динаміки руху індуктора лінійного генератора буде описано виразом

$$F_{пр} - F_{ЕМ} - F_{тр} - F_{пруж} = m \frac{d^2 x}{dt^2} \tag{4}$$

де  $F_{пр}$  – сила, що прикладається з боку приводного механізму (буя);  $F_{ЕМ}$  – електромагнітна сила лінійного генератора;  $F_{тр}$  – сили тертя;  $F_{пруж}$  – сила пружини, або іншого пристрою, що знижує вібрації;  $m$  – маса індуктора.

Система рівнянь рівноваги напруги для струму  $i$  має наступний вигляд

$$(L_a + L_L) \frac{di}{dt} + (R_0 + R_L)i + E_v = 0 \tag{5}$$

$$U_L = L_L \frac{di}{dt} + R_L i \tag{6}$$

де  $U_L$  – напруга навантаження.

**Висновки.** В результаті проведених досліджень отримано математичну процесів керованого перетворення енергії в ХвЕС. Отримані результати дозволяють обчислювати робочі параметри електростанції на етапах проектування та експлуатації.

### Література

1. Ocean Energy Strategic Roadmap 2016, building ocean energy for Europe. Ocean Energy Forum. 2016 [Electronic resource], 2016 URL:[https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/sites/maritimeforum/files/OceanEnergyForum\\_Roadmap\\_Online\\_Version\\_08Nov2016.pdf](https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/sites/maritimeforum/files/OceanEnergyForum_Roadmap_Online_Version_08Nov2016.pdf)
2. Joao Cruz Ocean Wave Energy: Current Status and Future Perspectives. – Springer, 2008. – 431 pages.
3. Nerubenko, G., Blintsov, V., Mozgovyy, A., Biliuk, I., The Novel Wave Energy Harvesting Buoy. Proc. of the 5th International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies (PGSRET), 26-27 August, Turkey. 6 pages.

### Mathematical model of energy conversion processes in a wave power plant

I.S. Biliuk, S.O. Havrylov, O.V. Savchenko, A.O. Beziazyka, I.P. Koptev  
Admiral Makarov National University of Shipbuilding

**Abstract.** The design of the electromechanical energy converter of the wave power plant is considered. An analysis of the design features of linear generators was carried out and the possibility of their application in wave power stations was determined. A mathematical model of energy conversion processes in a linear generator of a wave power plant has been obtained.

**Keywords:** wave power plant, linear generator, electromechanical energy converter, mathematical model, simulation modeling.

УДК 004.942

### РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ТРАНСПОРТНОГО МОБІЛЬНОГО РОБОТА

**Васильєв О.Г.**

*кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматички,  
grigorich041949@gmail.com*

**Ольшевский С.І.**

*старший викладач кафедри автоматички,  
sergo70966@gmail.com*

**Гостєв Г.Р.**

*магістр гр.6371м, georgijgostev@gmail.com  
Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова  
Україна, Миколаїв*

**Анотація.** В роботі розглядається задача розробки алгоритму управління рухом мобільного робота, оснащеного мікроконтролером. Для підвищення ефективності роботи окремого транспортного мобільного робота на складі необхідно регулювати положення, швидкість, прискорення та напрямок руху мобільного робота в кожний момент часу за відомим маршрутом. Запропоновано методику форсованого управління рухом транспортного мобільного робота. На її основі у середовищі Simulink розроблено блок керування різними маневрами рухів робота, який обчислює його відстань до найближчої точки повороту або зупинки та відповідну швидкість у кожний момент часу.