

ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ЛІНІЙНОГО ГЕНЕРАТОРА З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ
ДЛЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ ХВИЛЬ

І.П.Кондратенко¹, докт.техн.наук, А.П.Ращепкін¹, докт.техн.наук, Д.Д.Ващишин²,

¹ – Інститут електродинаміки НАН України,

пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна,

² – Національний університет біоресурсів і природокористування України,
вул. Героїв Оборони, 8, Київ.

Розроблено метод розрахунку електричних характеристик лінійного генератора, що входить до складу пристрою для перетворення енергії морських хвиль, з врахуванням динамічних режимів руху індуктора та реакції електромагнітної системи. Метод засновано на сумісному розв'язку рівнянь динамічної рівноваги механічної системи (рівняння Даламбера) та електричного кола трифазного лінійного генератора (рівняння за другим законом Кірхгофа). Описано конструкцію лінійного генератора, до складу якого входить лінійний індуктор, виконаний у вигляді періодичної системи постійних магнітів. Встановлено залежність енергетичних характеристик лінійного генератора від характеру переміщення індуктора при дії хвилі заданої форми, а також розглянуто вплив сили електромагнітної взаємодії на потужність, що генерується генератором при заданих параметрах системи індуктор-буй. Бібл. 4.

Ключові слова: лінійний генератор, постійні магніти, енергія хвилі.

Одним з найбільших ресурсів відновлюваної енергетики є світовий ресурс енергії морських хвиль. Серед можливих варіантів перетворення енергії хвиль є використання лінійних генераторів з постійними магнітами на основі сплаву NdFeB. Проведені дослідження [1, 2] показали, що за умови синусоїдальної форми хвилі напруга та струм, що генерується лінійним генератором, не синусоїдальні. Це пов'язано з непостійною швидкістю руху індуктора, на який діють сили земного тяжіння, Архімеда, гідродинамічного опору води, електромагнітної взаємодії між статором та індуктором та сила демпферів. Внаслідок цього закон коливання індуктора буде відрізнятися від закону коливання поверхні води. Тому, для об'єктивного опису процесів, що протікають у пристрої для перетворення енергії хвиль, потрібно вирішувати сумісно електромеханічну задачу. Механічна частина електромеханічної задачі описується відповідно до принципу Даламбера, а електрична частина системи рівнянь динамічної рівноваги описується законами Кірхгофа.

Мета. Встановити взаємозв'язки між заданим періодичним коливанням поверхні води і законом переміщення індуктора та формою струму, що збуджується у трифазній системі генератора з урахуванням реакції електромагнітної системи, та визначити енергетичні показники генератора. На індуктор під час руху вздовж статора діють сила тяжіння і сила Архімеда, сила пружини та електромагнітна сила, а також сила тертя, яка зумовлена рухом індуктора в рідкому середовищі. Виходячи з цього, рівняння динамічної рівноваги електродинамічної системи можна представити наступним чином:

$$F_A = M \frac{d^2 x}{dt^2} + C \frac{dx}{dt} + K(x-d) - F_{em} - Mg, \quad (1)$$

де M – загальна маса індуктора та буя, C – коефіцієнт тертя, K – жорсткість пружини, F_A – сила Архімеда, F_{em} – електромагнітна сила, g – прискорення вільного падіння, d – початкове зміщення пружини при навантаженні силою земного тяжіння ($Kd = Mg$).

Сила електромагнітної взаємодії індуктора зі статором визначається як інтегральний добуток струмового навантаження, яке припускається зосередженим на поверхні статора, і індукції на його поверхні. Струмове навантаження подається у вигляді суми дельта-функцій Дірака [3,4], зосереджених на поверхні статора по середині пазу. Сила електромагнітної взаємодії p -полюсного індуктора шириною l_c для двостороннього генератора визначається за формулою

$$F_{em} = 4pl_c s_k \sum_{k=1}^q \left[i_A B_y \left(-\tau + \frac{(2k-1)\tau}{2mq} \right) + i_B B_y \left(-\tau + \frac{(2k-1)\tau}{2mq} + \frac{2\tau}{m} \right) - i_C B_y \left(-\tau + \frac{\tau}{m} + \frac{(2k-1)\tau}{2mq} \right) \right], \quad (3)$$

де s_k – кількість провідників у пазі, q – кількість пазів на полюс і фазу, m – число фаз, τ – полюсний крок, $B_y(\dots)$ – індукція магнітного поля визначена у відповідній точці на поверхні статора на основі розрахунку двовимірної задачі магнітостатики в програмному середовищі Comsol за умови періодичності на границях $x = \pm \tau$.

Таким чином, до рівняння динамічної рівноваги входять характеристики електричного кола, які, в свою чергу, визначаються миттєвим положенням індуктора в магнітній системі. Тому динамічний стан електромеханічної системи необхідно визначати при сумісному розв'язку рівнянь динамічної рівноваги та рівнянь електричного кола трифазного лінійного генератора з відповідним навантаженням.

Висновки. Одержано систему рівнянь, сумісний розв'язок яких дозволить встановити взаємозв'язок між законом переміщення індуктора та струмами трифазного генератора при дії хвилі заданої форми з урахуванням реакції електромагнітної системи.

1. Кондратенко І.П., Ращепкін А.П., Ващишин Д.Д. Розрахунок електрорушійної сили лінійного генератора для перетворення енергії хвиль // Вісник Кременчуцького державного університету ім. М. Остроградського. – 2010. – Вип. 4/2010 (1). – С. 72–75.

2. Кондратенко І.П., Ращепкін А.П., Ващишин Д.Д. Математична модель пристрою для перетворення енергії морських хвиль // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. – 2011. – Вип. 1/2011 (1). – С. 224–225.

3. Виштак П.А., Крутилин В.А., Кондратенко І.П., Ращепкін А.П. Магнитное поле в зазоре линейных индукционных машин с концентрическими обмотками // Техническая электродинамика. – 1984. – №1. – С. 15–20.

4. Ращепкін А.П. Поле в зазоре при переменной линейной нагрузке обмотки индукционной машины // Магнитная гидродинамика. – 1965. – №3. – С. 96–102.

УДК 621.313.84:621.313.333.821

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛИНЕЙНОГО ГЕНЕРАТОРА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВОЛН

І.П.Кондратенко¹, докт.техн.наук, А.П.Ращепкін¹, докт.техн.наук, Д.Д.Ващишин²,

¹ – Інститут електродинаміки НАН України, пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна,

² – Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, ул. Героев Оборон, 8, Киев.

Разработан метод расчета электрических характеристик линейного генератора, входящего в состав устройства для преобразования энергии морских волн, с учетом динамических режимов движения индуктора и реакции электромагнитной системы. Метод основан на совместном решении уравнений динамического равновесия механической системы (уравнение Даламбера) и электрической цепи трехфазного линейного генератора (уравнение по второму закону Кирхгофа). Описана конструкция линейного генератора, в состав которого входит линейный индуктор, выполненный в виде периодической системы постоянных магнитов. Установлена зависимость энергетических характеристик линейного генератора от характера перемещения индуктора при воздействии волны заданной формы, а также рассмотрено влияние силы электромагнитного взаимодействия на мощность, генерируемую генератором при заданных параметрах системы индуктор-буй. Библ. 4.

Ключевые слова: линейный генератор, постоянные магниты, энергия волны.

A DYNAMIC MODEL OF A LINEAR PERMANENT MAGNET GENERATOR FOR CONVERTING WAVE ENERGY

I.P.Kondratenko¹, A.P.Rashchepkin¹, D.D.Vashchishin²,

¹ – Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,

Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine,

² – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroiv Oborony str., 8, Kyiv, Ukraine.

The method of calculating the electrical characteristics of the linear generator was devised, which is part of a device for converting energy of sea waves, considering dynamic modes of inductor motion and reaction of electromagnetic system. The method is based on a compatible solution of the equations of dynamic equilibrium mechanical system (d'Alembert) and electric circuit of three-phase linear generator (equation of the second Kirchhoff law). The design of a linear generator with a inductor realized in the form of a periodic system of permanent magnets. The dependence the linear generator energy characterizes on the nature of the moving inductor at a given wave shape, and examined the impact strength of electromagnetic interaction on the power generated by the generator at the specified parameters of inductor-buoy. References 4.

Keywords: linear generator, permanent magnets, energy of waves.

1. Kondratenko I.P., Rashchepkin A.P., Vashchishin D.D. The calculation of the electromotive force of the linear generator for the conversion of the wave energy // Visnyk Kremenchutskogo Universytetu im. M.Ostrogradskogo. – 2010. – Vol.1. – Pp. 72–75. (Ukr)

2. Kondratenko I.P., Rashchepkin A.P., Vashchishin D.D. The device mathematical model for transforming the sea waves energy // Problemy energoresursozberezhennia v elektrotekhnichnykh systemakh. Nauka, osvita i praktyka. – 2011. – Vol.1. – Pp. 224–225. (Ukr)

3. Vishtak P.A., Krutulin V.A., Kondratenko I.P., Rashchepkin A.P. The magnetic field in the gap linear induction machines with concentric windings // Tekhnicheskaja elektrodinamika. – 1984. – № 1. – Pp. 15–20. (Rus)

4. Rashchepkin A.P. Field in the gap with a variable linear load winding induction machine // Magnitnaia hidrodinamika. – 1965. – № 3. – Pp. 96–102. (Rus)

Надійшла 03.01.2012

Received 03.01.2012