

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ПАСИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМАХ З НЕЛІНІЙНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

А. О. Дранкова, М. Й. Муха, С. С. Міхайков, І. І. Красовський

Національний університет «Одеська морська академія»

Анотація. Представлено метод пасивної фільтрації для підвищення якості електроенергії суднової системи електропостачання з нелінійним навантаженням. Розглядається електропривод насоса з асинхронним електродвигуном та частотним перетворювачем фірми Mitsubishi Electric серії FR A700 потужністю 2,2 кВт. В роботі наведено методику побудови трифазного фільтра С-типу, отримані показники якості електромережі для типових режимів роботи електроприводу насоса.

Ключові слова: автономне джерело, нелінійне навантаження, частотний перетворювач, асинхронний двигун, електропривод насосу, пасивний фільтр, сумарний коефіцієнт гармонік (THD).

Вступ

Широке впровадження систем управління електромеханічними пристроями із статичними силовими перетворювачами, а саме частото-регульованого електроприводу призводить до погіршення якості електроенергії завдяки появі гармонійних спотворень струму та напруги мережі живлення [1,5]. Найбільш гостро це відчувається, коли мережа живлення має кінцеву потужність, а саме такою є мережа живлення суднової електроенергетичної системи [5].

Ефективним засобом поліпшення форми струму та напруги мережі живлення є використання спеціальних силових фільтрів гармонік [1,5]. Традиційно, для ослаблення вищих гармонік струму і напруги в мережах електропостачання використовують пасивні фільтри гармонік (ПФГ) [1,3,4]. Позитивними рисами ПФГ є низька вартість та легке технічне обслуговування. Однак, ПФГ є статичними пристроями, ефективність яких зменшується при зміні характеру та режиму роботи нелінійного навантаження.

Саме тому, налаштування ПФГ на конкретне нелінійне навантаження є актуальною задачею для підвищення якості електроенергії в електромеханічній системі «автономне джерело – нелінійне навантаження».

Ціль роботи

Підвищення якості електроенергії в електромеханічній системі «автономне джерело–нелінійне навантаження» засобами пасивної фільтрації.

Матеріали дослідження

Дослідження проводились на експериментальному стенді у лабораторії електромеханічних систем кафедри суднової електромеханіки і електротехніки Національного університету «Одеська морська академія».

Стенд складається з наступних компонентів: трифазний мережевий автомат (МА); мережевий дросель – для створення мережі кінцевої потужності; перетворювач частоти (ПЧ); електромашинний підсилювач ЕМП12А А11 – АД і генератор постійного струму (ГПС); дільник напруги (ДН), у складі 4-ох резисторів з наступними номіналами, 3,6 МОм, 240 КОм, 22 КОм, 20 КОм – для зняття сигналу фазної напруги; трансформатор струму (Тр) – для знання сигналу фазного струму; джерело постійного струму (ДПС) – для формування сигналу обмотки управління (ОУ) ГПС; амперметри для контролю струму ОУ та статорної обмотки ГПС; дротяний резистор – навантаження в колі ГПС; трифазний фільтр С-типу. Функціональна схема експериментального стенду зображена на рис.1. В експериментальному стенді використано ПЧ фірми Mitsubishi Electric серії FR A700 з потужністю 2,2 кВт.

© Дранкова А. О., Муха М. Й., Міхайков С. С., Красовський І. І., 2018

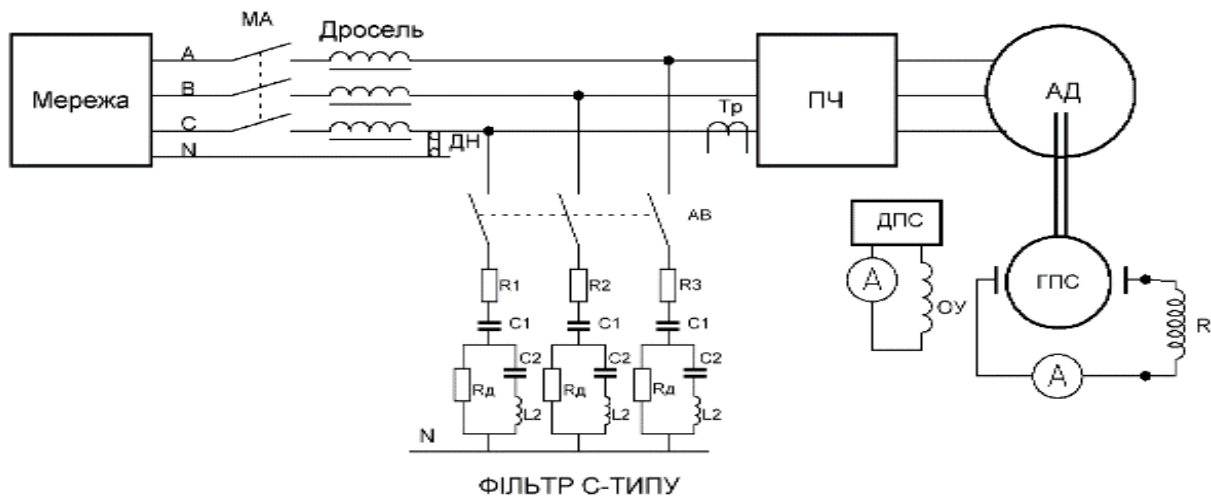


Рис. 1. Функціональна схема експериментального станду

Електромашинний підсилювач ЕМП12А А11 являє собою агрегат, що складається з власне електромашинного підсилювача поперечного поля (генератора) і приводного

двигуна, пов'язаних на загальному валу та розташованих у загальному корпусі на лапах. Основні електричні параметри ЕМП12А А11 приведено у табл. 1.

Таблиця 1

Основні електричні параметри ЕМП12А А11

Тип	Дані генератора							Дані двигуна			Примітка	
	U, В	P, кВт	P _{вх.оу} , Вт	R _{оу} , Ом				I, А	U, В	I, А		P, кВт
				I	II	III	IV					
А 11	115±4	1,0	0,56	1000	1000	-	-	8,7	220/380	5,4/3,2	1,68	Частота обертання 2900 об/хв.

У ході експерименту було знято робочі характеристики ЕМП12А А11 при постійному струмі ОУ 10 мА та 15 мА (рис. 2). Вигляд характеристики збігається з виглядом механічної характеристики суднового насосного пристрою,

який виступає в якості нелінійного навантаження. В разі чого можливо зробити висновок про коректність проведення експерименту.

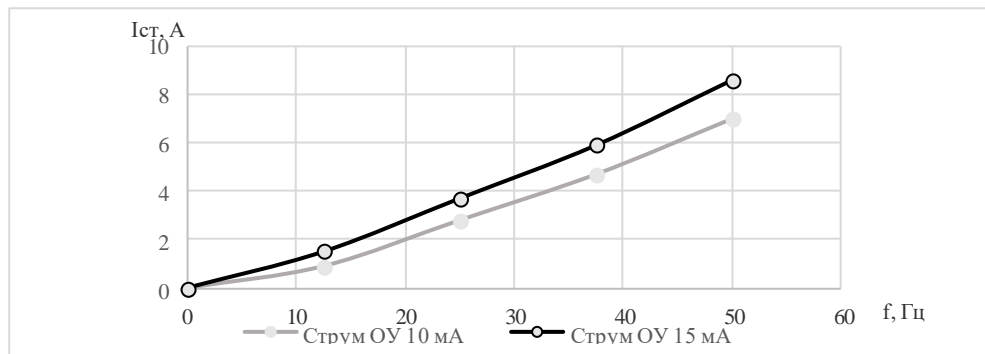


Рис. 2. Механічна характеристика ЕМП12А А11

Для побудови трифазного фільтра С-типу було виконано розрахунок елементів фільтра відповідно за формулами (1) - (4) [1,3,4]. Фільтр налаштовано на гасіння 3-ої гармоніки і його параметри наведено у табл. 2. Для розрахунку використані наступні дані: напруга мережі $U = 220$ В; $f = 50$ Гц; реактивна потужність фільтра $Q_F \approx Q_{EMП} = 1347$ Вар.

$$C_1 = \frac{Q_F}{\omega_1 U^2} \quad (1)$$

$$C_2 = C_1(n_g^2 - 1) \quad (2)$$

$$L_2 = \frac{1}{\omega_1^2 C_2} \quad (3)$$

$$R_d = \frac{U^2}{n_g^3 Q_F^2 k \omega_1 L_s} \sqrt{U^4 - n_g^4 Q_F^2 k \omega_1^2 L_s^2} \quad (4)$$

Таблиця 2

Параметри ПФ С-типу

Номер гармоніки	Параметри			
	C_1 , мФ	C_2 , мФ	L_2 , мГн	R_d , Ом
3 (150 Гц)	88,6	709	14,3	300

Для перевірки резонансної якості фільтра та визначення його добротності було проведено моделювання роботи кола фільтра в програмі Electronics Workbench. Моделювання показало, що добротність фільтра має значення 15, що свідчить о його широкосмугових якостях.

До складу трифазного фільтра С-типу ввійшли також трифазний автомат (АВ) та резистори R_1 , R_2 , R_3 з номіналами по 200 Ом кожний для обмеження струму, який протікає через фільтр.

В якості вимірювального приладу в ході експерименту використовувався цифровий осцилограф usb.oscill, призначений для дослідження електричних сигналів в смузі 0 ... 15 МГц. Осцилограф виконано у вигляді зручно щупа зі змінними головками. Зі зворотного боку щупа розташований роз'єм, через який проводиться обмін даними і здійснюється електроживлення. Передбачена гальванічна ізоляція. Управління осцилографом та відображення даних здійснювалося під управлінням операційної системи Windows через USB інтерфейс.

Експериментальні дані були зняті при постійному навантаженню ОУ ГПС, яке складає 10 мА та при змінній частоті обертання асинхронного двигуна відповідно на 12.5 Гц, 25 Гц, 37.5 Гц, 50 Гц, що моделює типові режими роботи суднового насосного пристрою.

Послідовність проведення експерименту для отримання осцилограм та показників якості електромережі за напругою наступна:

1. Включення мережевого автоматичного вимикача.

2. Підключення осцилографа до дільника напруги.

3. Зняття параметрів напруги мережі.

4. Пуск ЕМП частотним перетворювачем та налаштування до частоти 12.5 Гц (перша точка зняття даних).

5. Навантаження ЕМП – включення джерела постійного струму та збудження обмотки управління ЕМП до 10 мА.

6. Реєстрація даних на частоті 12.5 Гц.

7. Налаштування ПЧ на 25 Гц (друга точка зняття даних) та реєстрація даних.

8. Налаштування ПЧ на 37.5 Гц (третья точка зняття даних) та реєстрація даних.

9. Налаштування ПЧ на 50 Гц (остання точка зняття даних) та реєстрація даних.

Послідовність проведення експерименту для отримання осцилограм та показників якості електромережі за струмом наступна:

1. Підключення осцилографа до трансформатора струму.

2. Пуск ЕМП частотним перетворювачем та налаштування до частоти 12.5 Гц (перша точка зняття даних).

3. Включення джерела постійного струму та збудження обмотки управління ЕМП до 10 мА.

4. Зняття даних на 12.5 Гц.

5. Налаштування ПЧ на 25 Гц (друга точка зняття даних) та реєстрація даних.

6. Налаштування ПЧ на 37.5 Гц (третья точка зняття даних) та реєстрація даних.

7. Налаштування ПЧ на 50 Гц (остання точка зняття даних) та реєстрація даних.

Для достовірності зняття даних було виконано фіксацію режиму роботи для кожного значення частоти ЧП понад одну хвилину. Так, під час проведення експерименту знято осцилограми та спектри напруги та струму всіх типових режимів. На рис.рис.3 - рис.10 наведені осцилограми та спектри при максимальній частоті обертання ЧП 50 Гц.

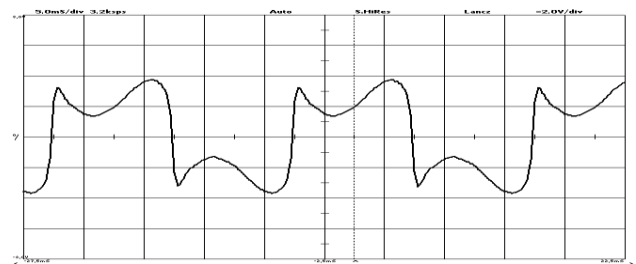


Рис. 3. Осцилограми напруги без ПФГ

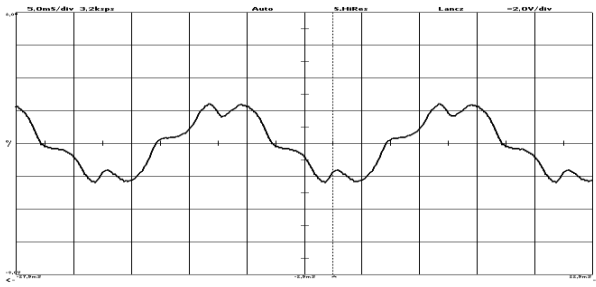


Рис. 4. Осцилограми напруги з ПФГ

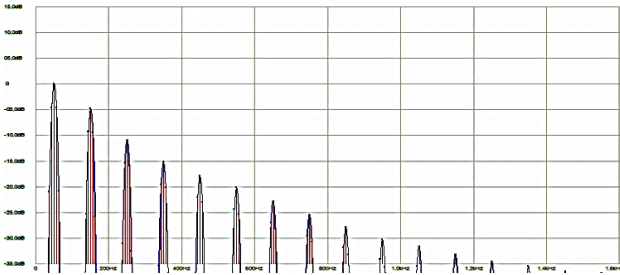


Рис. 5. Спектри напруги без ПФГ

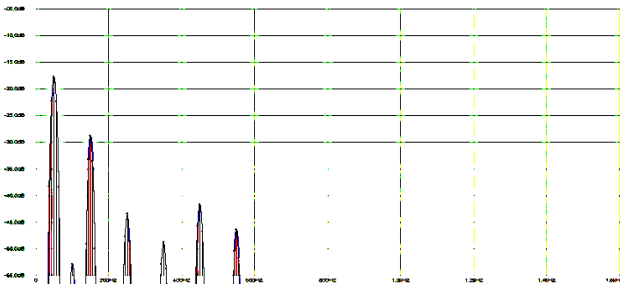


Рис. 6. Спектри напруги з ПФГ

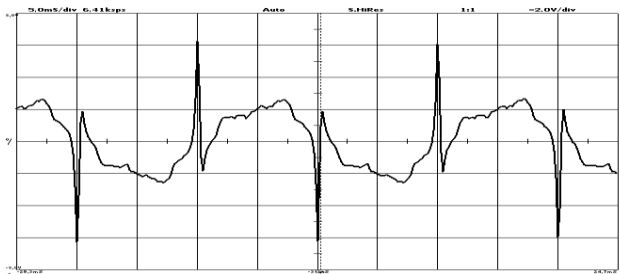


Рис. 7. Осцилограми струму без ПФГ

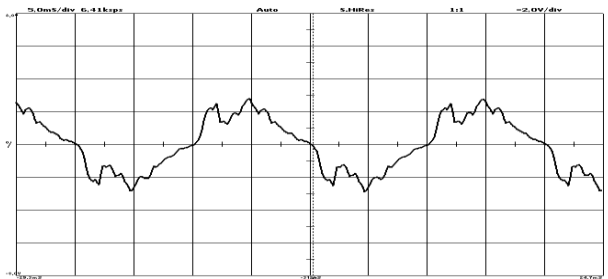


Рис. 8. Осцилограми струму з ПФГ

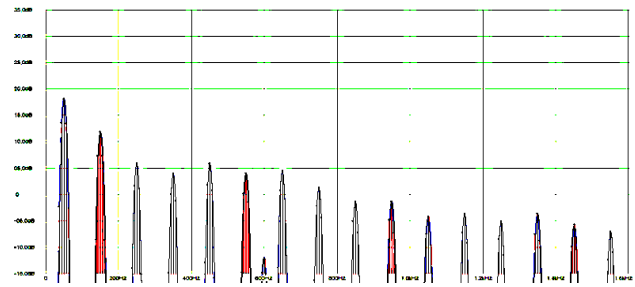


Рис. 9. Спектри струму без ПФГ

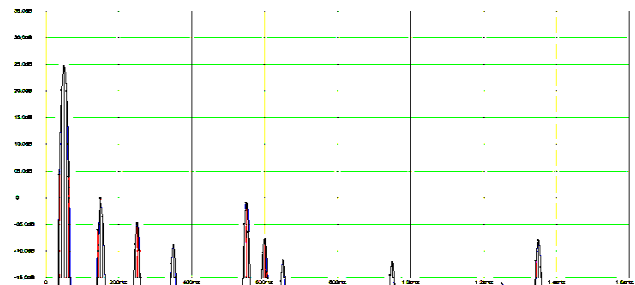


Рис. 10. Спектри струму з ПФГ

Аналіз результатів експерименту підтвердив теоретичні положення – наявність непарних високочастотних гармонік в мережі с нелінійним навантаженням [1,2,5]. Кількість розглянутих гармонік складає 15. Окрім осцилограм та спектрів у ході експерименту також були отримані значення коефіцієнтів гармонійних складових напруги та струму для всіх типових режимів роботи насосного пристрою. Цей якісний аналіз електромережі було проведено без та з використанням пасивного фільтру С-типу на всьому діапазоні частоти обертання ЧП (табл. 3).

Для напруги на всьому діапазоні роботи було виконано нормування відносно параметрів напруги мережі в силу малої потужності зібраного фільтру. Завдяки цьому можна побачити ефективно пригнічення вищих гармонік напруги, які генеруються нелінійним навантаженням, використаним в даному експерименті. Як можливо побачити з аналізу таблиці 3, рівень вмісту вищих гармонік напруги при застосуванні ПФГ С-типу налаштованого тільки на 3-ю гармоніку, відповідає європейському стандарту та стандарту МЕК, а саме менш 5%.

Отриманні результати демонструють ефективність використання пасивного фільтру С-типу, налаштованого на конкретне навантаження. Завдяки фільтру вміст налаштованої гармоніки в середньому зменшується в 7-15 раз в робочому діапазоні частоти обертання ЧП, як по напрузі, так і по струму.

Таблиця 3

		Коефіцієнти гармонійної складової напруги без та з ПФГ							
№ Гар.	f, Гц	Частоти налаштування ПЧ, Гц							
		12.5		25		37.5		50	
		без ПФГ	з ПФГ	без ПФГ	з ПФГ	без ПФГ	з ПФГ	без ПФГ	з ПФГ
1	50	100	100	100	100	100	100	100	100
3	150	29,64	0,62	29,17	1,49	30,02	2,25	31,18	3,14
5	250	10,69	0,69	10,76	0,38	11,34	0,38	11,69	0,94
7	350	8,98	0,97	8,78	1,76	8,35	2,40	8,46	2,61
9	450	4,97	0,45	5,79	0,45	6,01	1,00	5,99	1,74
11	550	4,82	0,90	5,38	1,22	5,67	2,34	5,94	3,51
13	650	3,44	0,40	4,21	0,08	4,34	0,38	4,43	0,08
15	750	3,07	0,19	3,57	0,20	5,12	0,18	3,81	0,33

Так, як фільтр С-типу є широкосмуговим, комутація фільтра пригнічує не лише налаштовану гармоніку, а також інші вищі гармоніки, завдяки чому зменшується сумарний

THD напруги та струму. В таблиці 4 наведено значення THD напруги та струму при налаштуванні ПЧ на всі режими роботи насосного пристрою.

Таблиця 4

		Значення THD напруги та струму							
THD		Частоти налаштування ПЧ, Гц							
		12.5		25		37.5		50	
		без ПФГ	з ПФГ	без ПФГ	з ПФГ	без ПФГ	з ПФГ	без ПФГ	з ПФГ
THD _u , %		32.8	1	33	1.6	33.7	3.1	34.8	4
THD _i , %		73.95	8.9	71.5	9.85	61.8	9.85	68.15	10.7

Кількісний аналіз THD напруги та струму при використанні пасивного фільтру гармонік С-типу показує доцільність використання саме фільтру такого типу.

Висновки

Проведені дослідження на експериментальному стенді дозволяють зробити висновки, що з розглянутих вищих гармонік напруги та струму найбільший вміст мають такі непарні вищі гармоніки, як 3-я та 5-а, 7-а та 11-а гармоніки. Тому, для підвищення якості електроенергії в системі «автономне джерело – нелінійне навантаження» доцільно використання декількох пасивних фільтрів гармонік С-типу, налаштованих саме на ці найбільш вагомні гармоніки.

Список використаної літератури

1. Арриллага, Дж., Гармоники в электрических системах: Пер. с англ. [Текст] / Дж. Арриллага, Д. Брэдли, П. Боджер. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.:ил.
2. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. [Текст] – М.: Гардарики, 2002. – 638 с.: ил.
3. Nassif, A. D., Xu, W., Freitas, W. An investigation on the selection of filter topologies for passive filter applications. [Text] – IEEE transactions on Power Delivery, Vol. 24, No. 3, 2009, pp. 1710–1718.

4. Das, J. Passive filters – potentialities and limitations. [Text] – IEEE trans. on industry applications. Vol. 40, No. 1, January/February, 2004, pp. 232–241.

5. Дранкова, А. О. Методи підвищення якості електроенергії суднової системи електроживлення із нелінійним навантаженням [Текст] / Дранкова А. О., Михайков С. С., Красовський І. І. // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – Одеса: Астропрінт, 2017. – № 25 (101). – С. 53–61.

Referances

1. Arrillaga, Dzh., Bredli, D., Bodzher, P. (1990), Power System Harmonics [Garmoniki v elektricheskikh sistemah], *Energoatomizdat*, Moscow, pp. 320 (In Russian).

2. Bessonov, L. A. (2002), Theory of Electrical Engineering. Electric Circuits [Teoreticheskie osnovy elektrotehniki. Elektricheskie cepi], *Gardariki Publ.*, Moscow, pp. 638 (In Russian).

3. Nassif, A. D., Xu, W., Freitas, W. (2009), An investigation on the selection of filter topologies for passive filter applications. – IEEE transactions on Power Delivery, Vol. 24, No. 3, pp. 1710–1718.

4. Das, J. (2004), Passive filters – potentialities and limitations. – IEEE trans. on industry applications. Vol. 40, No. 1, January/February, pp. 232–241.

5. Drankova, A. O., Mikhaykov, S. S., Krasovskyi, I. I. (2017), Methods for improving the electrical power quality of the ship's power supply system with non-linear load [Metodu pidvischenya yakosti elektroenerгии sudnovoi sistemu elektrogivlenia iz neliniynum navantagenam], *Electrotechnical and Computer Systems*, Odessa, Astroprint. – № 25 (101). – pp. 53–61. (In Ukrainian).

METHODS TO IMPROVE THE QUALITY OF ELECTRICAL SUPPLY OF SHIP SYSTEM WITH NONLINEAR LOAD

A. Drankova, M. Mukha, S. Mikhaykov, I. Krasovskyi

National University «Odessa Maritime Academy»

Abstract. *Modern electromechanical systems with static power converters significantly impair the quality of electric power due to the appearance of harmonic distortion of the current and voltage of the mains. The most important issue is the quality of electricity for autonomous power grids with a finite power, namely, such is the ship's electrical network. The traditional method of improving the shape of current and voltage is the passive filtering method, based on resonance phenomena. In work researches on use of the passive filter calculated on concrete ship loading are spent. The investigations were carried out on an experimental stand assembled in the laboratory of electromechanical systems of the ship electromechanics and electrical engineering department of the National University "Odessa Maritime Academy". As a non-linear load, an electric drive of a pump with an induction motor and a frequency converter of Mitsubishi Electric, the FR A700 series with a power of 2.2 kW, which is powered by an autonomous power source of commensurate power, is considered. In this paper, a technique is given for calculating the parameters of a three-phase C-type filter, also structural features of constructing such a filter are described. The carried out natural experiments made it possible to obtain oscillograms of currents and voltages of the electric network, and to estimate their harmonic composition. A generalized indicator of the quality of the power grid, namely THD was obtained for all typical operation modes of a pump electric drive using a C-type filter. The paper gives recommendations on the use of C-type filters to improve the quality of the autonomous power network.*

Key words: *autonomous source, nonlinear load, frequency converter, asynchronous motor, pump drive, passive filter, total harmonic distortion.*

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАССИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С НЕЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКОЙ

А. О. Дранкова, Н. И. Муха, С. С. Михайков, И. И. Красовский

Национальный университет «Одесская Морская Академия»

Анотація. Представлен метод пасивної фільтрації для підвищення якості електроенергії судової системи електропостачання з нелінійною навантаженням. Розглядається електропривод насоса з асинхронним електродвигателем і частотним перетворювачем фірми Mitsubishi Electric серії FR A700 потужністю 2,2 кВт. В роботі приведена методика побудови трифазного фільтра С-типу, отримані показники якості електричної мережі для типових режимів роботи електропривода насоса.

Ключевые слова: автономний джерело, нелінійна навантаження, частотний перетворювач, асинхронний двигачель, насосне пристрій, пасивний фільтр, сумарний коефіцієнт гармонік (THD).

Отримано 23.03.2018



Дранкова Алла Олегівна, к.т.н., доцент кафедри судової електромеханіки та електротехніки Національного університету «Одеська морська академія» (вул. Дідріхсона, 8, м. Одеса, Україна, 65029).

Alla Drankova, с.п.+38(050)3917390, ass. Professor, National University «Odessa Maritime Academy», Department of Electromechanics and Electrical Engineering (8, Didrihson st., Odessa, Ukraine, 65029).

E-mail: drankova64@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-2072-1599



Муха Микола Йосифович, к.т.н., доцент кафедри судової електромеханіки та електротехніки Національного університету «Одеська морська академія» (вул. Дідріхсона, 8, м. Одеса, Україна, 65029).

Mykola Mukha, с.п.+38(050)3338502, ass. Professor, National University «Odessa Maritime Academy», Department of Electromechanics and Electrical Engineering (8, Didrihson st. Odessa, Ukraine, 65029).

E-mail: mykola_mukha@hotmail.com

ORCID ID: 0000-0002-2923-6733



Міхайков Сергій Сергійович, аспірант кафедри судової електромеханіки та електротехніки Національного університету «Одеська морська академія» (вул. Дідріхсона, 8, м. Одеса, Україна, 65029).

Sergiy Mikhaykov, с.п.+38(093)7195888, aspirant, National University «Odessa Maritime Academy», Department of Electromechanics and Electrical Engineering (8, Didrihson st., Odessa, Ukraine, 65029).

E-mail: pilot.vodolaz@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-5757-1651



Красовський Ігор Ігорович, магістр кафедри судової електромеханіки та електротехніки Національного університету «Одеська морська академія» (вул. Дідріхсона, 8, м. Одеса, Україна, 65029).

Igor Krasovskyi, с.п.+38(063)1523141, master, National University «Odessa Maritime Academy», Department of Electromechanics and Electrical Engineering (8, Didrihson st., c. Odessa, Ukraine, 65029).

E-mail: ikras@ymail.com

ORCID ID: 0000-0001-8832-973X