

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0823U100379

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 15-06-2023

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Волков Денис Дмитрович

2. Volkov Denys D.

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 171

Назва наукової спеціальності: Електроніка

Галузь / галузі знань:

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Не застосовується

Дата захисту: 14-06-2023

Спеціальність за освітою: 171 Електроніка

Місце роботи здобувача:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** ДФ 26.002.24

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, м. Київ, 03056, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

### **IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, м. Київ, 03056, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, буд. 37, м. Київ, 03056, Україна

**Форма власності:**

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:**

**Коди тематичних рубрик:** 28.17.19, 28.23.37, 47.05.17

**Тема дисертації:**

1. Методи моделювання акустичних електродинамічних перетворювачів
2. Modeling methods for acoustic electrodynamic transducers

**Реферат:**

1. Волков Д.Д. Методи моделювання акустичних електродинамічних перетворювачів – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня Доктора філософії за спеціальністю 171 «Електроніка». – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», МОН України, Київ, 2022 р. Дисертаційна робота присвячена дослідженню лінійних та нелінійних моделей акустичних електродинамічних перетворювачів з метою вдосконалення існуючих та розробки нових більш точних та зручних методів із використанням сучасних підходів, як то: методи оптимізації, генетичні алгоритми та штучні нейронні мережі. Робота складається із чотирьох основних розділів. У вступі описано актуальність проблеми та зроблено огляд сучасних методів моделювання, у другій частині детально розглядаються лінійні моделі перетворювачів, включно із класичною моделлю Тіля/Смола та стандартним методом знаходження її параметрів – методом доданої маси. Запропоновано нові методи для більш точного та гнучкого знаходження параметрів лінійних моделей, як то метод підбору параметра  $B_l$  та застосування генетичного алгоритму. Запропоновані методи було порівняно із класичним методом доданої маси та обговорено переваги та недоліки різних методів. У третьому розділі розглядаються нелінійні моделі перетворювачів. Виводиться нелінійна модель гуномовця у фазовому просторі та демонструється її приведення до канонічного вигляду. Також, пропонується принципово новий підхід до моделювання електродинамічних перетворювачів із використанням рекурентних нейронних мереж. Обидва методи порівняно між собою на основі практично вимірних даних та проведених експериментів. У останньому розділі даються загальні висновки із виконаної роботи. У результаті роботи вдалося отримати такі нові результати: 1. Запропоновано новітній повністю автоматизований метод для знаходження коефіцієнту електромеханічної трансформації  $B_l$  без впливу інших параметрів моделі використовуючі виключно вимірювані величини, як то: напруга на клемі, струм через котушку та зміщення рухомої частини перетворювача. Такий метод можна вважати найбільш точним непрямым методом вимірювання  $B_l$  на даний момент. 2. На основі методу підбору параметра  $B_l$ , запропоновано метод для відокремлення механічного та електричного імпедансів електродинамічного перетворювача використовуючі також виключно вимірювані величини для досягнення максимальної точності. У результаті, ці імпеданси можуть розглядатися окремо один від одного, що відкриває більше можливостей для їх дослідження та розробки більш точних моделей. 3. Вперше застосовано генетичний алгоритм для знаходження параметрів лінійної моделі електродинамічного перетворювача та проведено його порівняння із класичним методом доданої маси. 4. На основі генетичного алгоритму запропоновано універсальну узагальнену структуру для знаходження параметрів довільних моделей електродинамічних перетворювачів, що значно полегшує та прискорює процес їх дослідження. 5. Вперше застосовано рекурентну нейронну мережу для моделювання нелінійної поведінки електродинамічних перетворювачів. Представлено повний процес тренування та тестування даної нейронної моделі. 6. Проведено практичне порівняння нелінійної моделі із використанням рекурентної нейронної мережі із найбільш уживаною у індустрії моделлю у фазовому просторі. 3. Практичне значення отриманих результатів полягає у підвищенні точності та полегшенні ідентифікації лінійних та нелінійних моделей електродинамічних перетворювачів. Представлені методи можуть бути використані безпосередньо у промисловості а також, у дослідницьких цілях для більш глибокого аналізу поведінки гучномовців, а саме: було продемонстровано можливість швидкої адаптації генетичного алгоритму до більш складних моделей із більшою кількістю ідентифікованих параметрів без втрати продуктивності та швидкої сходимості алгоритму. Це демонструє універсальність генетичного алгоритму та можливість його використання для точніших моделей що є складними для ідентифікації класичними методами. Для моделювання нелінійної поведінки електродинамічних перетворювачів було вперше запропоновано використання рекурентних нейронних мереж. Такий підхід дозволяє швидко знайти модель перетворювача типу "чорний ящик" яка може бути безпосередньо застосована у якості цифрового двійника модельованого гучномовця у якості компонента більш складних систем. Запропоновану модель було порівняно із найбільш уживаною у індустрії нелінійною моделлю електродинамічного перетворювача у фазовому просторі на основі аналізу вимірних відгуків у часовому та спектральному представленнях.

2. Volkov D.D. Acoustic electrodynamic transducer modelling methods – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. Thesis for the degree of Philosophy Doctor, in specialty 171 “Electronics”. – National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute Kyiv, 2022. The thesis is dedicated to the study of linear and nonlinear models of acoustic electrodynamic transducers with the aim of improving existing and developing new, more accurate and convenient methods using modern approaches, such as: optimization methods, genetic algorithms and artificial neural networks. The work consists of four main sections. The introduction describes the relevance of the problem and provides an overview of modern modeling methods, the second part describes in detail the linear models of converters, including the classic Thiel/Small model and the standard method of finding its parameters - the added mass method. New methods for more accurate and flexible finding of linear model parameters are proposed, such as the method of Bl parameter brute-force search and the genetic algorithm application. The proposed methods were compared with the classical added mass method and the advantages and disadvantages of different methods were discussed. In the third section, the nonlinear transducer models are considered. A statespace nonlinear loudspeaker model is derived and its transformation to the canonical form is demonstrated. Also, a fundamentally new approach to modeling electrodynamic transducers using recurrent neural networks is proposed. Both methods are compared with each other on the basis of practically measured data and conducted experiments. The last section gives general conclusions from the work performed. As a result of the work, it was possible to obtain the following new results: 1. The latest fully automated method for finding the loudspeaker's force factor Bl without the influence of other model parameters using exclusively measured values, such as: voltage at the terminals, current through the voice coil and displacement of the moving part of the transducer, is proposed. Such a method can be considered the most accurate indirect method of measuring Bl at the moment. 2. Based on the force factor Bl identification approach, a method for separating the mechanical and electrical impedances of an electrodynamic transducer is proposed using also only measured values to achieve maximum accuracy. As a result, these impedances can be considered separately from each other, which opens up more opportunities for their research and development of more accurate models. 3. For the first time, the genetic algorithm was applied to find parameters of a linear model of an electrodynamic transducer and its practical comparison with the classical method of added mass was carried out. 4. On the basis of the genetic algorithm, a universal generalized structure is proposed for finding parameters of arbitrary electrodynamic transducers models of, which greatly facilitates and accelerates the process of their research. 5. For the first time, a recurrent neural network was used to model nonlinear behavior of electrodynamic transducers. The complete process of training and testing this neural model is presented. 6. A practical comparison of the nonlinear model using a recurrent neural network with the most widely used model in the industry - nonlinear state-space model - is carried out. The practical significance of the obtained results lies in increasing the accuracy and facilitating the identification of linear and non-linear models of electrodynamic transducers. The presented methods can be used directly in the industry as well as for research purposes for a deeper analysis of the loudspeakers behavior, namely: the possibility of rapid adaptation of the genetic algorithm to more complex models with a larger number of identified parameters without loss of performance and rapid convergence of the algorithm was demonstrated. This shows the universality of the genetic algorithm and the possibility of its use for more accurate models that are difficult to identify by classical methods. For modeling the nonlinear behavior of electrodynamic transducers, the application of recurrent neural networks was proposed for the first time. This approach allows to quickly find a model of a "black box" type that can be directly used as a digital double of a modeled loudspeaker as a component of more complex systems. The proposed model was compared with the most widely used in the industry nonlinear model of the electrodynamic converter in the state-space based on the analysis of the measured responses in temporal and spectral representations.

**Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:**

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:**

**Підсумки дослідження:**

**Публікації:**

**Наукова (науково-технічна) продукція:**

**Соціально-економічна спрямованість:**

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:**

**Зв'язок з науковими темами:**

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Дідковський Віталій Семенович

2. Didkovskyi Vitaliy S.

**Кваліфікація:** д. т. н., 05.11.06

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

**Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Мислович Михайло Володимирович

2. Myslovych Mykhailo V.

**Кваліфікація:** д. т. н., 05.11.16

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Карташов Володимир Михайлович
2. Kartashov Volodymyr Mykhaylovych

**Кваліфікація:** д.т.н., 05.12.17

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Дрозденко Олександр Іванович
2. Drozdenko Oleksandr Ivanovych

**Кваліфікація:** к. т. н., 05.09.08

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:**

**Код за ЄДРПОУ:**

**Місцезнаходження:**

**Форма власності:**

**Сфера управління:**

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Коржик Олексій Володимирович
2. Korzhyk Oleksiy Volodymyrovych

**Кваліфікація:** д. т. н., 05.09.08

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

