

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ЛИСИЧЕНКО РОМАН МИКОЛАЙОВИЧ**

УДК 621.316.051.3:621.314

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ  
МЕРЕЖАХ ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ  
ЕНЕРГІЇ**

Спеціальність 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи  
14 – електрична інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

*Г.М.*

Р. М. Лисиченко

*Згідно згідно тексту з  
іншими примірниками  
власний секретар  
власне розділ*



Харків – 2021

Науковий керівник:

Мірошник Олександр Олександрович,  
доктор технічних наук, професор

*Олександр Олександрович Мірошник*

## АНОТАЦІЯ

Лисиченко Р. М. Підвищення якості електричної енергії в розподільних мережах за рахунок удосконалення перетворювачів енергії. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи (14 – електрична інженерія). – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Харків, 2021.

Дисертація присвячена вирішенню наукової задачі – покращення якості електричної енергії розподільних мережах з частотно-регульованими електроприводами за рахунок керування спектральними характеристиками перетворювачів енергії.

Має місце актуальна наукова задача, пов'язана з недостатньою ефективністю існуючих сьогодні методів забезпечення зменшення рівня гармонійних складових від нелінійних споживачів до яких відносяться інвертори управління асинхронними двигунами змінного струму. Проведений в роботі аналіз виявив необхідність розробки методів по підвищенню якості електричної енергії в розподільних мережах. Система «керуючий інвертор і електричний двигун» є джерелом гармонічних складових і основним джерелом погіршення якості електричної енергії.

В роботі запропоновано метод керування спектральними характеристиками інверторів із цільовою функцією якості електричної енергії, що дозволило розробити засади для створення інверторів зі зменшеними показниками спотворення форми напруги і струму. Запропоновано технічні рішення і обґрунтована можливість використання методів спектрального збудження силових перетворювачів енергії, що забезпечують зниження рівнів гармонійних складових електричної енергії, що створюються як нелінійним навантаженням, так і мережею живлення. У порівнянні з пасивними фільтрами і активними фільтрами, методи спектрального збудження силових

перетворювачів енергії не потребують спеціальної настройки під параметри конкретної мережі і відрізняються надійністю.

Розроблено апаратно інформаційну систему, яка дозволяє зменшити вплив від гармонійних складових на споживачів і систему електропостачання при різних режимах роботи частотного регулювання електричних двигунів. Результати експериментальних досліджень розробленої системи показали її відповідність технічним вимогам та можливість отримання діагностичної інформації при різних режимах роботи електродвигунів. Елементи конструкції та принцип дії розробленої системи для частотного регулювання захищені патентами України.

Отримано такі основні наукові результати:

- вперше запропоновано метод керування спектральними характеристиками інверторів, який відрізняється від існуючих цільовою функцією параметрів ЯЕЕ, що дозволило розробити засади для створення інверторів зі зменшеними показниками спотворення форми напруги і струму;
- отримав подальший розвиток метод визначення походження гармонічних складових в електричному струмі від силових перетворювачів енергії, який, на відміну від відомих, дозволив визначити спектральні методи збудження, як найбільш збалансовані з економічної і технічної точок зору;
- отримала подальший розвиток математична модель спектрального збудження силових перетворювачів енергії, яка відрізняється врахуванням параметрів електричної мережі, що дозволяє отримати математично обґрунтовані спектрально-енергетичні залежності в електричній мережі;
- удосконалено метод визначення параметрів спектрального збудження силових перетворювачів енергії і моделювання їх роботи в середовищі *Matlab*, який відрізняється врахуванням параметрів електричної мережі, що дозволяє отримати параметри перетворювача з підвищеними характеристиками ЯЕЕ.

Практичне значення отриманих результатів для електроенергетичної галузі полягає в обґрунтуванні напрямку підвищення ЯЕЕ в розподільних

мережах за рахунок удосконалення частотних перетворювачів енергії; обґрунтуванні параметрів пристрою для коригування показників якості електроенергії (патент на винахід №101521); розробці структурної схеми частотного перетворювача з адаптивним керуванням (патент на корисну модель №113090); розробці та побудові стенду для вимірювання вищих гармонік які генеруються частотно-регульованими електроприводами в розподільну мережу; розробці варіанту принципової електричної схеми частотного перетворювача енергії з можливістю адаптивного керування спектральними характеристиками.

Результати роботи та розроблений діючий макетний зразок стенду і програмне забезпечення для обробки результатів вимірювання рівня вищих гармонік, які генеруються частотно-регульованим електроприводом в розподільну мережу, використовуються в ТОВ «Слобода-буделектромонтаж», ТОВ «Харківське спеціалізоване монтажно-експлуатаційне підприємство», ТОВ «Промагроінжиніринг». Результати теоретичних та експериментальних досліджень використовуються при викладенні дисциплін «Якість електропостачання», «Інформаційні системи та технології в енергетиці», «*Smart Grid* технології» на кафедрі електропостачання та енергетичного менеджменту Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.

**Ключові слова:** розподільна мережа, якість електропостачання, гармонічна складова, асинхронний електричний двигун, інвертор, нелінійний споживач.

### СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

1 Сокол Е. И. Учет и компенсация реактивной мощности при несимметричных режимах работы систем электроснабжения. / Е. И. Сокол, Ю. А. Сиротин, О. Г. Гриб, В. Г. Сыченко, Д. А. Босый, Д. А. Гапон, С. В. Швец, Т. С. Иерусалимова, Р. Н. Лисиченко – Х.: ФОП Панов А.Н., 2017. – 290 с.

2 Гуревич В. І. Підвищення якості електроенергії в мережах з нелінійними електроспоживачами. / В. І. Гуревич, П. І. Савченко, Р. М. Лисиченко, О. О. Мірошник, О. В. Уваров. // Праці ТДАТУ «Актуальні питання енергетики і прикладної біофізики в агровиробництві» – Мелітополь: ТДАТУ, 2011, Вип.11. – Т.4. – С.148-151.

3 Лисиченко Р. М. Дослідження впливу характеристик елементів діапазонних збудників інверторів напруги перетворювачів частоти на їх спектральні характеристики. // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» – Х.: ХНТУСГ, 2014. – Вип.153. – С.41-44.

4 Лисиченко Р. Н. Теоретический анализ влияния нелинейности систем фазовой синхронизации инверторов напряжения на их спектральные характеристики / Р. Н. Лисиченко, Н. М. Черемисин // Матер. VI Міжн. наук.-техн. конф. «Енергозабезпечення технологічних процесів в агропромисловому комплексі України» (14 травня 2015 р., м. Мелітополь) – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. – Т.2. – С.248-256.

5 Лисиченко Р. М. Современные способы получения спектральных характеристик возбудителей-инверторов // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» – Х.: ХНТУСГ, 2015. – Вип.164. – С.3741.

6. Лисиченко Р. Н. Анализ способов получения требуемых спектральных характеристик возбудителей инверторов напряжения // Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК –Х.: ХНТУСГ, 2015. – №1(3). – С.20-24.

7 Лисиченко Р. М. Аналіз способів підвищення енергоефективності електричного приводу в АПК // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» – Х.: ХНТУСГ, 2016. – Вип.175. – С.116-118.

8 Лисиченко Р. М. Удосконалення схем частотних перетворювачів за рахунок адаптивного керування / Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» – Х.: ХНТУСГ, 2017. – Вип.186. – С.47-48.

9 Lysychenko P. The influence of the specifications of the elements of range of exciters voltage inverters on their spectral characteristics / P. Komada, O. Miroshnyk, R. Lysychenko, T. Shchur // Przegląd Elektrotechniczny – 2019. – №(95)5. – P. 83-87 / DOI:10.15199/48.2019.05.21

10 Lysychenko R. The research of the spectral characteristics of the voltage inverter exciter bandwidth. In Journal of Physics / O. Miroshnyk, R. Lysychenko, S. Kovalyshyn, W. Kruszelnicka, P. Bałdowska-Witos, A. Tomporowski // International Conference on Applied Sciences. – 2020. – Vol. 1426. – P. 1-11. – URL: <http://surl.li/bwlz>.

11 Лисиченко Р. М. Вплив якості напруги на ефективність роботи електроприводу // Матер. Межд. Форума молодежи «Молодежь и сельскохозяйственная техника в XXI веке». – Х.: ХНТУСГ, 2011. – С.183.

12 Лисиченко Р. М. Технічні засоби для зниження вищих гармонік у споживачів в сільському господарстві // Матер. Межд. Форума молодежи «Молодежь и сельскохозяйственная техника в XXI веке». – Х.: ХНТУСГ, 2012. – С.116.

13 Лисиченко Р. М. Підвищення якості електричної енергії у споживачів АПК // Тези доп. учасн.. XIV зльоту «Лідери АПК XXI століття» (12-15 травня 2012 р., м. Житомир) – Житомир: ЖНАЕУ, 2012. – С.151-153.

14 Лисиченко Р. М. Доцільність застосування багатфункціонального вимірювача Power-Logic в сільськогосподарських розподільних мережах // Матер. Межд. Форума молодежи «Молодежь и сельскохозяйственная техника в XXI веке». – Х.: ХНТУСГ, 2013. – С.142.

15 Лисиченко Р. М. Зниження якості електричної енергії в мережах АПК внаслідок застосування перетворювачів частоти в електроприводах робочих

машин і механізмів. / Р. М. Лисиченко, П. І. Савченко // Матер. Міжн. науч.-техн. конф. «Відновлювальна енергетика, новітні автоматизовані електротехнології в біотехнічних системах АПК» (6-7 листопада 2013 р., м. Київ). – К.: НУБіП, 2013. – С.38-40.

16 Лисиченко Р. М. Методика розрахунку системи фазової синхронізації інвертору перетворювача частоти / Р. М. Лисиченко, М. М. Черемісін // Матер. III Міжн. наук.-прак. конф. «Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК» (17-18 грудня 2015 р., м. Київ). – К.: НУБіП, 2015. – С. 111-112.

17 Лисиченко Р. М. Підвищення електричної енергії в мережах при живленні частотно-регульованого електропривода // Матер. XVII Міжн. наук. конф. «Сучасні проблеми землеробської механіки» (17-18 жовтня 2016 р., м. Суми). – Суми: СНАУ, 2016. – С.209-210.

18 Лисиченко Р. М. Покращення показників якості електричної енергії на основі зміни спектральних характеристик інвертора // IV Міжн. наук.-прак. конф. «Проблеми та перспектив розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК». – К.: НУБіП, 2016. – С.14-15.

19 Лисиченко Р. М. Стенд для визначення впливу частотно-регульованого електроприводу на форму синусоїди напруги в мережі живлення / Р. М. Лисиченко, М. М. Черемісін // Матер. IX Міжн. наук.-техн. конф. «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування (теорія, практика, історія, освіта)» (м. Київ, 19-22 травня 2020 р.). – К.: НУБіП, 2020. – С. 51-53.

20 Лисиченко Р. М. Перетворювач частоти для електроприводу з функцією компенсації залишкових гармонік / Р. М. Лисиченко, О. О. Мірошник // Матер. VI Всеукр. наук.-практ. конф. «Електронні та механотронні системи: теорія, інновації, практика» (6 листопада 2020 р.). – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2020. – С. 104-107.

21 Патент на винахід № 101521, Україна. МПК Н03Н 11/04 (2006.01) Пристрій коригування показників якості електроенергії / О. О. Мірошник, М. М. Черемісін, Ю. Ф. Свєргун, В. М. Зубко, А. Є. Авраменко, Р. М. Лисиченко (Україна) – № а 2011 04408; Заявлено 11.04.2011; Опубл. 10.04.2013. Бюл. № 7. – 6 с.

22 Патент на корисну модель № 113090. Україна. МПК Н02М 7/00 (2016.01) Частотний перетворювач з адаптивним керуванням / Р. М. Лисиченко, О. О. Мірошник (Україна) – № и 2016 07211; Заявлено 04.07.2016; Опубл. 10.01.2017. Бюл. № 1. – 2 с.



## ABSTRACT

Lysychenko R. M. Enhancement of the quality of electricity in distribution networks by improving energy converters. – Manuscript.

The dissertation for acquiring a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.14.02 – power stations, networks and systems (14 – electric engineering). – Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to the solution of a scientific problem - improvement of quality of electric energy in distribution networks with frequency-regulated electric drives due to management of spectral characteristics of energy converters.

There is a current scientific problem related to the lack of efficiency of existing methods for reduction of the level of harmonic components from nonlinear consumers that include inverters for asynchronous AC motors control. The analysis carried out in the work revealed the need to develop methods to improve the quality of electricity in distribution networks. The "control inverter and electric motor" system is a source of harmonic components and the main source of deterioration of electric energy.

This work contains the method of spectral characteristics control of inverters with the target function of electric energy quality, which allowed to develop bases for the creation of inverters with the reduced indicators of distortion of current and shape of voltage. In this paper, we offer technical solutions and substantiate the possibility of using methods of spectral excitation of power energy converters that provide reduction of levels of harmonic components of electric energy, created both by nonlinear loads and power supply network. In comparison with passive filters and active filters, the methods of spectral excitation of power energy converters do not require special adjustment to the parameters of a particular network and are highly reliable.

We developed a hardware information system that allows to reduce the impact of harmonic components on consumers and the power supply system at

different operation modes of frequency regulation of electric motors. The results of experimental studies of the developed system showed its compliance with technical requirements and the ability to obtain diagnostic information in different operation modes of electric motors. The structural components and the method of operation of the developed system for frequency control are protected by patents of Ukraine.

In this study, we obtained the following main scientific results:

- for the first time we propose the method of control of spectral characteristics of inverters that differs from the existing target function of the parameters of electric power quality, which allowed to develop the basis for creating inverters with reduced distortion of current and shape of voltage;

- the method of determining the origin of harmonic components in electric current from power energy converters was further developed, and in contrast to the known ones, allowed to determine the spectral methods of excitation as the most balanced from economic and technical points of view;

- the mathematical model of spectral excitation of power energy converters received further development and differs in taking into account the parameters of an electric network that allows to receive mathematically substantiated spectral energy dependence in the electric network;

- the method of determining the parameters of spectral excitation of power energy converters and modeling of their operation in the *Matlab* environment was improved and differs in taking into account the parameters of the electrical network, which allows to obtain the parameters of the converter with upgraded characteristics of electric power quality.

The practical significance of the obtained results for the power sector is to substantiate the direction of increasing electric power quality in distribution networks by improving the frequency converters; to substantiate the parameters of the device for adjusting the quality indicators of electricity (patent for the invention №101521); to develop a block diagram of the frequency converter with adaptive control (patent for utility model №113090); to develop and create a stand for

measuring higher harmonics generated by frequency-regulated electric drives in the distribution network; to develop a variant of the principled electrical circuit of the frequency converter with the possibility of adaptive control of spectral characteristics.

The results of the work, the developed prototype of the stand and software for a result of the processing of level measuring of higher harmonics, which are generated by the frequency-regulated electric drive in the distribution network, are implemented in LLC "Sloboda-budelectromontazh", LLC "Kharkiv specialized mounting operational enterprise", LLC "Promagroengineering". The results of theoretical and experimental research are used in teaching the "Quality of power supply", "Information systems and technologies in the energy sector", "Smart Grid Technologies" subjects at the Department of Power Supply and Energy Management of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture.

**Keywords:** distribution network, power supply quality, harmonic component, asynchronous electric motor, inverter, nonlinear consumer.

### **List of applicant's publications**

#### **Monograph**

1 Sokol E. I. Uchet i kompensatsiia reaktivnoi` moshchnosti pri nesimmetrichny`kh rezhimakh raboty` sistem e`lektrosnabzheniia / E. I. Sokol, Iu. A. Sirotnin, O. G. Grib, V. G. Sy`chenko, D. A. Bosy`i`, D. A. Gapon, S. V. Shvetc, T. S. Ierusalimova, R. N. Lysychenko – KH.: FOP Panov A.N., 2017. – 290 s.

#### **Articles**

2 Gurevich V. I. Pidvishchennia iakosti elektroenergii v merezhakh z nelinei`nimi elektropozhivachami / V. I. Gurevich, P. I. Savchenko, R. M. Lysychenko, O. O. Miroshnik, O. V. Uvarov // Pratsi TDATU «Aktual`ni pitannia energetiki i prikladnoi` biofiziki v agrovirobnitctvi»/ – Melitopol: TDATU, 2011, Vip.11. – T.4. – S.148-151.

3 Lysychenko R. M. Doslidzhennia vplivu karakteristik elementiv diapazonnikh zbudnikov invertoriv naprugi peretvoriuvachiv chastoti na ikh spektral`ni charakteristiki // Visnik KHNTUSG im. P. Vasilenka «Problemi energozabezpechennia ta energozberezhennia v APK Ukraïni» – KH.: KHNTUSG, 2014. – Vip.153. – S.41-44.

4 Lysychenko R. N. Teoreticheskii` analiz vliianiia nelinei`nosti sistem fazovoi` sinkhronizatsii invertorov napriazheniia na ikh spektral`ny`e charakteristiki / R. N. Lysychenko, N. M. Cheremisin // Mater. VI Mizhn. nauk.-tekhn. konf. «Energozabezpechennia tekhnologichnikh protcesiv v agropromislovomu kompleksi Ukraïni» (14 travnia 2015 r., m. Melitopol`) – Melitopol: TDATU, 2015. – T.2. – S.248-256.

5 Lysychenko R. M. Sovremenny`e sposoby` polucheniia spektral`ny`kh charakteristik vzbuditelei`invertorov // Visnik KHNTUSG im. P. Vasilenka «Problemi energozabezpechennia ta energozberezhennia v APK Ukraïni» – KH.: KHNTUSG, 2015. – Vip.164. – S.37-41.

6 Lysychenko R. N. Analiz sposobov polucheniia trebuemy`kh spektral`ny`kh charakteristik vzbuditelei` invertorov napriazheniia // Energetika ta komp`iuterno-integrovaniï tekhnologiiï v APK –KH.: KHNTUSG, 2015. – №1(3). – S.20-24.

7 Lysychenko R. M. Analiz sposobiv pidvishchennia energoefektivnosti elektrichnogo privodu v APK // Visnik KHNTUSG im. P. Vasilenka «Problemi energozabezpechennia ta energozberezhennia v APK Ukraïni» – KH.: KHNTUSG, 2016. – Vip.175. – S.116-118.

8 Lysychenko R. M. Udoskonalennia skhem chastotneykh peretvoriuvachiv za rahunok adaptivnogo keruvannia / Visnik KHNTUSG im. P. Vasilenka «Problemi energozabezpechennia ta energozberezhennia v APK Ukraïni» – KH.: KHNTUSG, 2017. – Vip.186. – S.47-48.

9 Komada P. The influence of the specifications of the elements of range of exciters voltage inverters on their spectral characteristics / P. Komada, O.

Miroshnyk, R. Lysychenko, T. Shchur // Przegląd Elektrotechniczny – 2019. – №(95)5. – P. 83-87 / DOI:10.1 5199/48.2019.05.21

10 Miroshnyk O. The research of the spectral characteristics of the voltage inverter exciter bandwidth. In Journal of Physics / O. Miroshnyk, R. Lysychenko, S. Kovalyshyn, W. Kruszelnicka, P. Bałdowska-Witos, A. Tomporowski // International Conference on Applied Sciences. – 2020. – Vol. 1426. – P. 1-11. – URL: <http://surl.li/bwlz>.

### Conferences

11 Lysychenko R. M. Vpliv iakosti naprugi na efektyvnist` roboti elektroprivodu // Mater. Mezhd. Foruma molodezhi «Molodezh` i sel`skohoziai`stvennaia tekhnika v KHKHI veke». – KH.: KHNTUSG, 2011. – S.183.

12 Lysychenko R. M. Tekhnichni zasobi dlia znizhennia vishchikh garmonik u spozhivachiv v sil`s`komu gospodarstvi // Mater. Mezhd. Foruma molodezhi «Molodezh` i sel`skohoziai`stvennaia tekhnika v KHKHI veke». – KH.: KHNTUSG, 2012. – S. 116.

13 Lysychenko R. M. Pidvishchennia iakosti elektrichnoï energii u spozhivachiv APK // Tezi dop. uchasn.. XIV zl`otu «Lideri APK KHKHI stolittia» (12-15 travnia 2012 r., m. Zhitomir)/ – Zhitomir: ZHNAEU, 2012. – S.151-153.

14 Lysychenko R. M. Dotcil`nist` zastosuvannia bagatofunkcional`nogo vimiriuvacha Power-Logic v sil`s`kogospodars`kikh rozpodil`nikh merezhakh // Mater. Mezhd. Foruma molodezhi «Molodezh` i sel`skohoziai`stvennaia tekhnika v KHKHI veke»/ – KH.: KHNTUSG, 2013. – S.142.

15 Lysychenko R. M. Znizhennia iakosti elektrichnoï energii v merezhakh APK vnaslidok zastosuvannia peretvoriuvachiv chastoti v elektroprivodakh robochikh mashin i mehanizmiv / R. M. Lysychenko, P. I. Savchenko // Mater. Mizhn. nauch.-tekhn. konf. «Vidnovliuval`na energetika, novitni avtomatizovani elektrotekhnologii v biotekhnichnikh sistemakh APK» (6-7 listopada 2013 r., m. Kiïv). – K.: NUBIP, 2013. – S.38-40.

16 Lysychenko R. M. Metodika rozrahunku sistemi fazovoï sinkhronizatsiï invertoru peretvoriuvacha chastoti / R. M. Lysychenko, M. M. Cheremisin // Mater. III Mizhn. nauk.-prak. konf. «Problemi ta perspektivi rozvitku energetiki, elektrotekhnologii` ta avtomatiki v APK» (17-18 grudnia 2015 r., m. Kiïv)/ – K.: NUBiP, 2015. – S. 111-112.

17 Lysychenko R. M. Pidvishchennia elektrichnoï energii v merezhakh pri zhivlenni chastotno-regul`ovanogo elektroprivoda // Mater. XVII Mizhn. nauk. konf. «Suchasni problemi zemlerobs`koï mehaniki» (17-18 zhovtnia 2016 r., m. Sumi). – Sumi: SNAU, 2016. – S.209-210.

18 Lysychenko R. M. Pokrashchennia pokaznikov iakosti elektrichnoï energii na osnovi zmini spektral`nikh karakteristik invertora // IV Mizhn. nauk. - prak. konf. «Problemi ta perspektiv rozvitku energetiki, elektrotekhnologii` ta avtomatiki v APK». – K.: NUBiP, 2016. – S. 14-15.

19 Lysychenko R. M. Stend dlia viznachennia vplivu chastotno-regul`ovanogo elektroprivodu na formu sinusoïdi naprugi v merezhi zhivlennia / R. M. Lysychenko, M. M. Cheremisin // Mater. IKH Mizhn. nauk.-tekhn. konf. «Problemi suchasnoï energetiki i avtomatiki v sistemi prirodokoristuvannia (teoriia, praktika, istoriia, osvita)» (19-22 travnia 2020 r., m. Kiïv). – K.: NUBiP, 2020. – S. 51-53.

20 Lysychenko R. M. Peretvoriuvach chastoti dlia elektroprivodu z funktsieiu kompensatsiï zalishkovikh garmonik / R. M. Lysychenko, O. O. Miroshnik // Mater. VI Vseukr. nauk.-prakt. konf. «Elektronni ta mehanotronni sistemi: teoriia, innovatsiï, praktika» (6 listopada 2020 r., m. Poltava). – Poltava: NU «Poltavs`ka politekhnika imeni Iuriia Kondratiuka», 2020. – S. 104-107.

### **Patents**

21 Patent na vinakhid № 101521, Ukraïna. MPK N03N 11/04 (2006.01) Pristriï` koriguvannia pokaznikov iakosti elektroenergii / O. O. Miroshnik, M. M. Cheremisin, Iu. F. Svergun, V. M. Zubko, A. Є. Avramenko, R. M. Lysychenko (Ukraïna) – № a 2011 04408; Zaiavleno 11.04.2011; Opubl. 10.04.2013. Biul. № 7. – 6 s.

22 Patent na korisnu model` № 113090. Ukraïna. MPK N02M 7/00 (2016.01) Chastotneyi` peretvoriuvach z adaptivnim keruvanniam / R. M. Lysychenko, O. O. Miroshnik (Ukraïna) – № u 2016 07211; Zaiavleno 04.07.2016; Opubl. 10.01.2017. Biul. № 1. – 2 s.

## ЗМІСТ

ПЕРЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ КОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	
1.1 Нормовані критерії якості електричної енергії.....	15
1.2 Експериментальні дослідження показників якості електричної енергії.....	17
1.2.1 Результати вимірювань якості електричної енергії.....	19
1.3 Вплив вищих гармонік на роботу електрообладнання енергосистеми.....	33
1.4 Вищі гармоніки в електричних мережах від перетворювачів енергії.....	35
Висновки по розділу 1.....	37
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕНЕРГІЇ	
2.1 Класифікація силових електронних пристроїв.....	39
2.2 Структурні схеми напівпровідникових перетворювачів електричної енергії.....	40
2.3 Класифікація напівпровідникових перетворювачів електричної енергії.....	43
2.4 Топології інверторів напруги.....	44
2.4.1 Дворівневі інвертори напруги.....	45
2.4.2 Багаторівневі інвертори напруги.....	46
2.5 Методи керування перетворювачами енергії.....	51
2.6 Засоби керування перетворювачами енергії за заданим критерієм якості електричної енергії.....	57
Висновки до розділу 2.....	67



## РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕМЕНТІВ ДІАПАЗОНИХ ЗБУДНИКІВ ІНВЕРТОРА НАПРУГИ НА ЇХ СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

3.1 Вибір основної структурної схеми діапазонного збудника інвертора і аналіз її спектральних характеристики.....	68
3.2 Теоретичний аналіз спектральних характеристик діапазонних збудників інверторів напруги.....	78
3.3 Теоретичний аналіз впливу нелінійності систем фазової синхронізації інверторів напруги на їх спектральні характеристики.....	85
3.4 Аналіз можливостей досягнення необхідних спектральних характеристик збудників інверторів напруги.....	93
3.5 Розробка технічних рішень конструкції перетворювачів енергії з покращеними параметрами .....	103
Висновки по розділу 3.....	106
<b>РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОГО МЕТОДУ ДИНАМІЧНОГО ФІЛЬТРУ</b>	
4.1 Засади визначення збитків пов'язаних з якістю електричної енергії.....	108
4.2 Структура економічного збитку, від низької якості електричної енергії.....	109
4.3 Вплив низької якості електричної енергії на роботу електротехнічного обладнання.....	112
4.4 Порівняння інвестиційної привабливості методу керування спектральними характеристиками перетворювачів енергії і різних типів фільтрів гармонічних складових.....	113
4.5 Зменшення втрат від гармонічної складової електричної енергії при використанні методу керування спектральними характеристиками.....	119
Висновки по розділу 4.....	126

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	127
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	130
ДОДАТКИ	
ДОДАТОК А – Результати замірів показників якості електричної енергії в розподільній мережі.....	159
ДОДАТОК Б – Стенд для вимірювання вищих гармонік в мережі живлення частотно-регульованого електроприводу.....	176
ДОДАТОК В – Акти впровадження результатів роботи.....	178
ДОДАТОК Г – Список публікацій здобувача за темою дисертації.....	182