

Розробка наукових засад побудови багаторівневих інверторів напруг для альтернативних джерел живлення в системі Smart Grid

Разработка научных основ построения многоуровневых инверторов напряжений для альтернативных источников питания в системе Smart Grid

Development of scientific fundamentals of building of multi-level voltage inverters for alternative power sources in the system Smart Grid

1. Номер державної реєстрації теми: 0112U001536, 2507-ф

2. Науковий керівник - д.т.н., проф. Терещенко Т.О., Терещенко Т.А., Tereschenko Tetyana A.

3. Суть розробки, основні результати.

(укр.)

Створено нову концепцію побудови промислових багаторівневих автономних інверторів (БПІ) на базі спектральних ортогональних перетворень дискретних функцій з m -ічним аргументом та законів m -ічної системи числення; розроблено способи та пристрої компенсації реактивної потужності навантаження автономних багаторівневих інверторів; запропоновано методику побудови систем електроживлення на основі БПІ та фільтрокомпенсуючого пристрою (ФКП) паралельного типу; розроблено структури силової частини та системи керування трифазних автономних інверторів та систем забезпечення заданого рівня коефіцієнта несиметрії; запропоновано економічно вигідне рішення використання комірок багаторівневого інвертора в якості компенсаційного перетворювача ФКП, що дає можливість комбінувати функції формування напруги живлення і компенсації реактивної потужності в одному БПІ; запропоновано спосіб керування фільтрокомпенсуючим пристроєм з підтриманням постійного заряду акумуляторної батареї; розроблено систему комплексного моніторингу та оцінки параметрів джерел енергії, акумуляторних батарей, перетворювальних пристроїв та навантажень у мережі Smart Grid; розроблено способи керування перетворювачами електричної енергії, генераторами та навантаженнями локального технічного або технологічного об'єкту за вартісним критерієм

(рос.)

Создана новая концепция построения промышленных многоуровневых автономных инверторов (МАИ) на базе спектральных ортогональных преобразований дискретных функций с m -ичным аргументом и законов m -ичной системы счисления; разработаны способы и устройства компенсации реактивной мощности нагрузки автономных многоуровневых инверторов; предложена методика построения систем электропитания на основе МАИ и фильтрокомпенсирующие устройства (ФКП) параллельного типа; разработаны структуры силовой части и системы управления трехфазных автономных инверторов и систем обеспечения заданного уровня коэффициента несимметрии; предложено экономически выгодное решение использования ячеек многоуровневого инвертора в качестве компенсационного преобразователя ФКП, что дает возможность комбинировать функции формирования напряжения питания и компенсации реактивной мощности в одном МАИ; предложен способ управления фильтро-компенсирующим устройством с поддержкой постоянного заряда аккумуляторной батареи; разработана система комплексного мониторинга и оценки параметров источников энергии, аккумуляторных батарей, преобразователей электроэнергии и нагрузок в сети Smart Grid; разработаны способы управления преобразователями электрической энергии, генераторами и нагрузками локального технического или технологического объекта по стоимостному критерию.

(англ.)

New conception of building of industrial multi-level autonomous invertors on the base of spectral orthogonal transforms of discrete functions with m -ary argument and m -ary counting system.

Means and devices to compensate reactive load power for autonomous multi-level invertors are developed. Method for building of energy-supply systems on the base of multi-level invertors and parallel filter-compensating devices is proposed. Structure of power part and control system of three-phase autonomous invertors and system for providing of assigned value of non-symmetry factor are developed. Using of cells of multi-level inverter as compensating converter in filter-compensating device is proposed as economically attractive solution. It allows to combine the functions of source voltage forming and reactive power compensation within single multi-level inverter. The way of control of filter-compensating device supporting constant accumulator charge is proposed. System of complex monitoring and estimation of the parameters of electrical energy and the loads in Smart Grid is elaborated. The ways of control of electrical energy converters, generators and consumers at local technical or technological object by cost criteria are created.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

1. Патент на корисну модель № 91475. Аналогово-цифрова система керування дизель-генератором / Д. Р. Ушаков, Т. О. Терещенко, Є. С. Пічкальков – опубл. 10.07.2014, Бюл. № 13.
2. Патент на корисну модель № 90730 UA. Спосіб керування паралельним активним фільтром чотирипровідної трифазної мережі / М. Ю. Артеменко, Л. М. Батрак ; заявник і власник НТУУ «КПІ». – заявл. 19.12.2014; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 11

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати відповідають світовому рівню, а підходи до побудови промислових багаторівневих автономних інверторів та фільтрокомпенсуючих пристроїв, а також способів керування перетворювачами електричної енергії, генераторами та навантаженнями локального технічного або технологічного об'єкту за вартісним критерієм не мають аналогів у світовій практиці. Використання розробки та інтеграція в систему Smart Grid дозволить знизити вартість та покращити якісні показники електричної енергії у системах Smart Grid з альтернативними джерелами.

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Практичне застосування розроблених методів синтезу перетворювачів електричної енергії з використанням ортогональних базисів дозволить побудувати БРІ з підвищеними характеристиками. Так, значення коефіцієнта нелінійних спотворень зменшується в 2 рази, а частота перемикання ключів зменшується в 1,25 разів в порівнянні з характеристиками БРІ на базі перетворення Уолша. Запропонована система моніторингу параметрів електроенергії досить просто інтегрується як до систем гарантованого електроживлення (СГЕЖ), так і до вже розроблених пристроїв, призначених для використання у системах Smart Grid. При цьому нарощування потужностей, перекомутація та вдосконалення СГЕЖ не впливає на роботу системи моніторингу. Запропонована узагальнена методика оцінки ефективності використання альтернативних джерел енергії дозволяє на етапі проектування системи обрати оптимальну конфігурацію джерел енергії за вартісним критерієм. Визначені достатні умови одержання додатного прибутку, а саме значення потужностей вітрогенератора $P_{ВГ} > 2,5$ кВт та фотогенераторної батареї $P_{ФГ} > 4$ кВт при участі у програмі державного стимулювання «Зелений тариф». Розроблені алгоритми керування дозволять на 5-10% збільшити прибуток при використанні фотогенератора та на 10-15% - при використанні дизель-генератора.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Можливими користувачами є підприємства та науково-дослідні організації, які займаються розробкою пристроїв перетворювальної техніки та мікропроцесорних систем керування ними, наприклад ІЕД НАНУ (м. Київ), НДІ ХЕМЗ (м. Харків) завод ВАТ Перетворювач (м. Запоріжжя) та інші підприємства електротехнічної галузі.

8. Стан готовності розробки.

Розроблені наукові засади побудови промислових багаторівневих автономних інверторів, фільтрокомпенсуючих пристроїв, системи моніторингу комплексного моніторингу та оцінки параметрів джерел енергії, акумуляторних батарей, перетворювальних пристроїв та навантажень у мережі Smart Grid; способи керування перетворювачами електричної енергії, генераторами та навантаженнями локального технічного або технологічного об'єкту за вартісним критерієм доведено до ступеню практичного застосування, що підтверджується збігом теоретичних розрахунків та комп'ютерного моделювання, а також впровадженням основних положень роботи в учбовий процес та підприємства.

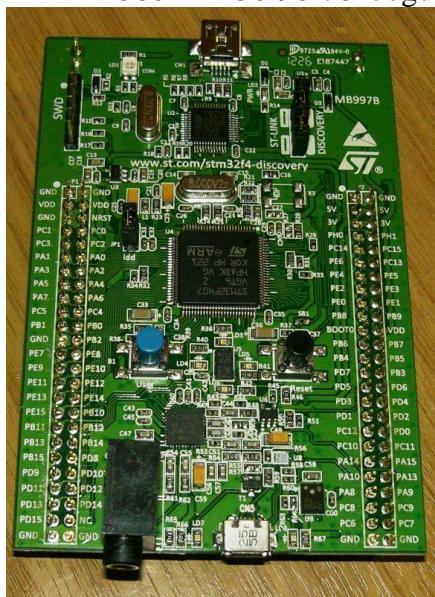
9. Існуючі результати впровадження.

Результати роботи впроваджено **в навчальний процес** в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут», Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» та Харківському національному університету будівництва та архітектури **та в промисловості**. У Харківському електромеханічному заводі при конструюванні та створенні систем гарантованого електроживлення впроваджено принципи керування багаторівневими інверторами та фільтрокомпенсуючими пристроями паралельного типу. При цьому забезпечується корекція реактивної потужності та підтримання постійного заряду акумулятора. В разі відсутності мережі формується напруга живлення необхідних параметрів. У ТОВ «ОЛІМП» (м. Харків) при розробці схем та аналізі процесів у пристроях перетворювальної техніки впроваджено принципи формування вихідної напруги на базі ортогональних спектральних перетворень.

За матеріалами роботи захищено три кандидатські дисертації, видано один навчальний посібник з грифом МОН України, два дистанційних курси з грифом Університета, одна монографія, отримано 2 патенти України. Отримано почесний диплом за створення підручника «Електроніка» у рамках XV Ювілейної Міжнародної виставки навчальних закладів «Сучасна освіта в Україні – 2012» та золота медаль міжнародної виставки «Освіта та кар'єра 2013» у номінації «Видання підручників та навчальних посібників нового покоління»

10. Назва організації, телефон, E-mail

Науково-дослідний інститут прикладної електроніки Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут",
+380-44-236-96-76 bogdan@ee.ntu-kpi.kiev.ua



а)

б)

Відлагоджувальна плата (а) та система керування (б) БРІ та ФКП на мікроконтролері STM32F407VGT6,

11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. Жуйков В. Я. Мікропроцесорна техніка: Навч. посіб. / Жуйков В. Я., Захожай О. І., Паеранд Ю. Е., Терещенко Т. О. – Алчевськ : ДонДТУ, 2013(лист МОНУ № 1/11-12151 від 22.12.2011). – 497 с.
2. Дистанційний курс Спеціалізовані та промислові мікропроцесорні системи Сертифікат УЦДО від 15.05.2012; № НМП №2536 - 11,7 д.а
3. Дистанційний курс Сучасні напрямки комп'ютерної та мікропроцесорної техніки Сертифікат УЦДО від 25.04.2013; № НМП №3670 - 12,16 д.а
4. Блинов И.В., Денисюк С.П., Жуйков В.Я., Кириленко А.В., Киселева А.Г., Лукьяненко Л.Н., Осипенко Е.С., Павловский В.В., Парус Е.В., Сопель М.Ф., Стелюк А.О., Танкевич С.Е. Интеллектуальные электроэнергетические системы: элементы и режимы: Под общ. ред. акад. НАН Украины А.В. Кириленко / Институт электродинамики НАН Украины. – К.: Ин-т электродинамики НАН Украины, 2014. – 408с.
5. Bezhenar V. Multilevel Inverters Based on M-ary System/ V. Bezhenar, T. Tereschenko, J. Yamnenko // XXXII International Scientific Conference “Electronics and Nanotechnology 2012”, Proceedings. – K., 2012. – P. 23–24.
6. Muzyka I., Pichkalyov E. Analog-digital Control System of Uninterruptible Power Supplies / I. Muzyka, E. Pichkalyov // XXXII International Scientific Conference “Electronics and Nanotechnology 2012”, Proceedings. – K., 2012. – P. 82–83. **(стаття зі студентом)**
7. Tereschenko T. The Definition of Cyclic Convolution Based on Radix-m Argument Spectral Transform Electronics and Nanotechnology / T. Tereschenko, D. Lazarev // Proceeding of the XXXII International Scientific Conference ELNANO. – Ukraine, K., April 10–12, 2012. – P. 92–93.
8. Khyznyak T. Simulation of Power-supply Subsystem Based on Photovoltaic Power System Using Petri Nets / T. Khyznyak, V. Kolesnik // XXXII International Scientific Conference “Electronics and Nanotechnology 2012”, Proceedings. – K., 2012. – P. 109-110. **(стаття зі студентом)**
9. Tereschenko T. O. Identifying the State of Semiconductor Converters in the Discrete Wavelet Basis / T. O. Tereschenko, T. A. Khyznyak, Gusev O. O. // XXXII International Scientific Conference “Electronics and Nanotechnology 2012”, Proceedings. – K., 2012. – P. 117–118.
10. Микитюк В. І. Оцінка параметрів вихідної напруги автономного інвертора / В. І. Микитюк, О. О. Гусев, Т. А. Хижняк // V Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка-2012», Збірник статей. – К., 2012. – С. 319–322. **(стаття зі студентом)**
11. Терещенко Т. А. Формирование выходного напряжения многоуровневого инвертора на базе ортогональных преобразований Техническая электродинамика / Т. А. Терещенко, В. А. Беженар // Темат. вып. “Проблемы современной электротехники”. – Ч. 2. – С. 51–53. **(фахове видання)**
12. Pichkalev E. S. Control of uninterruptible power supply system with minimization of fuel consumption / E. S. Pichkalev, Yu. S. Yamnenko // special issue “Problems of present-day electrotechnics” of the journal “Technical electrodynamics”. – vol. 2. – P.107–109. **(фахове видання)**
13. Терещенко Т. А. Применение преобразования Уолша в системе видеосопровождения для вычисления корреляции изображений объектов / Т. А. Терещенко, Д. В. Лазарев,

- Д. С. Александров // Темат. вып. “Проблемы современной электротехники”. – Ч.2., С. 133–135. **(фахове видання, стаття зі студентом)**
14. Жуйков В. Я. Силовая электроника в смарт сетях / В. Я. Жуйков // Темат. вып. “Проблемы современной электротехники”. – Ч. 3. – С. 49–51. **(фахове видання)**
15. Миколаец Д. А. Энергетический расчет фильтро-компенсирующего преобразователя с накопительным аккумулятором / Д. А. Миколаец // Темат. вып. “Проблемы современной электротехники”. – Ч. 3. – С.71–73. **(фахове видання)**
16. Жуйков В. Я. Контекстно-зависимое управление преобразователями электроэнергии в микрогрид локального объекта / В. Я. Жуйков, Ю. С. Ямненко, Т. А. Терещенко, А. Г. Киселева // Технічна електродинаміка. Темат. вип. „Силова електроніка та енергоефективність”. – Ч. 2. – С. 95–101. **(фахове видання. Scopus)**
17. Пичкалѳв Е. С. Керування режимами роботи дизельного генератора за критерієм мінімізації вартісних витрат / Е. С. Пичкалѳв // Технічна електродинаміка. Темат. вип. „Силова електроніка та енергоефективність” – Ч. 3. – С. 85–87. **(фахове видання. Scopus)**
18. Терещенко Т. А. Multilevel converters for microwelding based on M-ary system / Т. А. Терещенко, В. Я. Жуйков, В. М. Спивак, В. А. Беженар, Ю. С. Ямненко // Tenth Anniversary International Conference on Electron Beam Technologies. – Varna, Bulgaria, 1–4 June 2012. – P. 127–130.
19. Ушаков Д. Р. Оцінка вартісних характеристик джерел електричної енергії для систем гарантованого електроживлення / Д. Р. Ушаков // VI Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка-2013». Збірник статей. – К., 2013. – С. 275–279. **(стаття зі студентом)**
20. Гонтарев Д. О. Комбінована система живлення з сонячною батареєю / Д. О. Гонтарев // VI Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка-2013». Збірник статей. – 2013. – С. 264–267. **(стаття зі студентом)**
21. Терещенко Т. А. Исследование преобразователя понижающего типа, инвариантного к входным возмущениям / Т. А. Терещенко, Ю. С. Ямненко, Е. С. Пичкалѳв, Д. Р. Ушаков // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. Специальный выпуск. – Харьков, 2013. – Т. 2. – № 8(114). – С. 155–158. **(стаття зі студентом) (фахове видання)**
22. Миколаєць Д. А. Баланс енергії в паралельному компенсаторі при вузькому навантажувальному струмі / Д. А. Миколаєць // Энергосбережение энергетика энергоаудит. Специальный выпуск. – Харьков, 2013. – Т. 2. – № 8(114). – С. 96–97. **(фахове видання)**
23. Жуйков В. Я. Формирование синусоидального напряжения разнотипными источниками энергии / В. Я. Жуйков, Е. В. Вербицкий, Е. С. Осипенко // Энергосбережение энергетика энергоаудит. Специальный выпуск. – Харьков, 2013. – Т. 2. – № 8(114). – С. 104–106. **(фахове видання)**
24. Tereshchenko T. Wavelet transform at oriented basis for networks traffic forecasting / Т. Tereshchenko, Y. Yamnenko, A. Veretiuk, S. Veretiuk // Proceedings of the XXXIII International Scientific Conference ELNANO. – Kyiv, Ukraine, 2013. – P. 450–454. **(Scopus)**
25. Pichkalov Ie. Optimal control of uninterruptable power system with diesel generator / Ievgen Pichkalov, Anna Kyselova, Olga Kyselova, Gennadiy Kyselov // Proceedings of the XXXIII International Scientific Conference ELNANO. – Kyiv, Ukraine, 2013. – P. 378–380. **(Scopus)**
26. Zhuikov V. Integration of context-aware control system in Microgrid / Valerii Zhuikov, Anna Kyselova // Proceedings of the XXXIII International Scientific Conference ELNANO. – Kyiv, Ukraine, 2013. – P. 386–390. **(Scopus)**

27. Khyzhniak T. Modeling of power-supply subsystems of Microgrid using Petri nets / Tetiana Khyzhniak, Viktor Kolesnyk // Proceedings of the XXXIII International Scientific Conference ELNANO. – Kyiv, Ukraine, 2013. – P. 391–395. (**Scopus**)
28. Bezhenar V. Multilevel inverter as VAR-compensator / Vladimir Bezhenar, Dmitry Mikolaets, Vitaly Mykytyuk, Tatiana Tereshchenko // Proceedings of the XXXIII International Scientific Conference ELNANO. – Kyiv, Ukraine, 2013. – P. 370–372. (**Scopus**)
29. Артеменко М. Ю. Порівняння стратегій керування засобами паралельної активної фільтрації трифазної мережі / М. Ю. Артеменко, Л. М. Батрак // Праці IV Міжнародної науково-практичної конференції «Обробка сигналів і негаусівських процесів». – Черкаси, 2013. – С.34–37.
30. Pichkalyov E. Resources Save Control of Hybrid Uninterruptible Power Supply Systems / E. Pichkalyov Y. Yamnenko, T. Tereshchenko // 2014 IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). – Kyiv, Ukraine, June 2–6, 2014. – P.102–105. (**Scopus**)
31. Терещенко Т. А. Багаторівневий інвертор напруги з амплітудною широтно-імпульсною модуляцією / Т. А. Терещенко, В. О. Беженар, М. Ю. Білошицький // Техническая электродинамика. – 2014. – № 4. – С. 81–83. (**фахове видання**)
32. Терещенко Т. А. Способы определения автокорреляционной функции с помощью преобразования Уолша / Т. А. Терещенко, Л. Г. Лайкова, А. С. Пархоменко // Техническая электродинамика. – 2014. – № 5. – С. 104–106. (**фахове видання**)
33. Zhuikov V. Compensator currents form determination considering wind generator aerodynamic resistance / V. Zhuikov, K. Osypenko // 2014 IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS-2014), Proceedings. – P. 168–171. (**Scopus**)