

ЭНЕРГОСИСТЕМА БУДУЩЕГО. КОНЦЕПЦИЯ SMART GRID. СПЕЦИФИКА РЕАЛИЗАЦИИ НА УКРАИНЕ

Работа посвящена проблематике построения электроэнергетических систем будущего. Детально рассмотрены все современные стратегические направления развития источников генерации электроэнергии и энергосистем в целом. Отдельным пунктом выделены энергосистемы концепции Smart Grid с большой долей возобновляемых источников энергии, а также специфика реализации на Украине. Рассмотрен проект сооружаемого в ДонНТУ учебно-научного центра «Smart Grid – ДонНТУ», в котором реализована физическая модель «интеллектуальной» энергетической системы.

Ключевые слова: интеллектуальная электроэнергетическая система, физическая модель, возобновляемые источники энергии, концепция Smart Grid, учебно-научный центр «Smart Grid – ДонНТУ».

ПОСТАНОВКА ВОПРОСА

В настоящее время на Украине, как и во всем мире, очень остро стоит проблема исчерпаемости традиционных ископаемых энергоносителей, как например, каменный уголь, природный газ, торф, урановая руда. Согласно статистическим данным, запасов ископаемого топлива хватит человечеству примерно на 60–80 лет [1, 2]. На сегодняшний день в мире существуют несколько стратегических направлений, касающихся перспектив производства тепловой и электрической энергии. Следует выделить наиболее важные из них:

1. Разработка новых способов получения электроэнергии (например, проект создания термоядерного реактора ITER [3]).

2. Усовершенствование технологического цикла существующих тепловых, атомных и гидравлических электрических станций [4] за счет модернизации основного и вспомогательного оборудования, оборудования системы собственных нужд, внедрения новейших цифровых автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП).

3. Увеличение доли возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ) и накопителей энергии (НЭ) в электроэнергетических системах (ЭЭС).

4. Внедрение концепции «умной» или «интеллектуальной» энергосистемы (Smart Grid) в принципы построения (управления) энергетическими системами с большой долей ВИЭ [2–6].

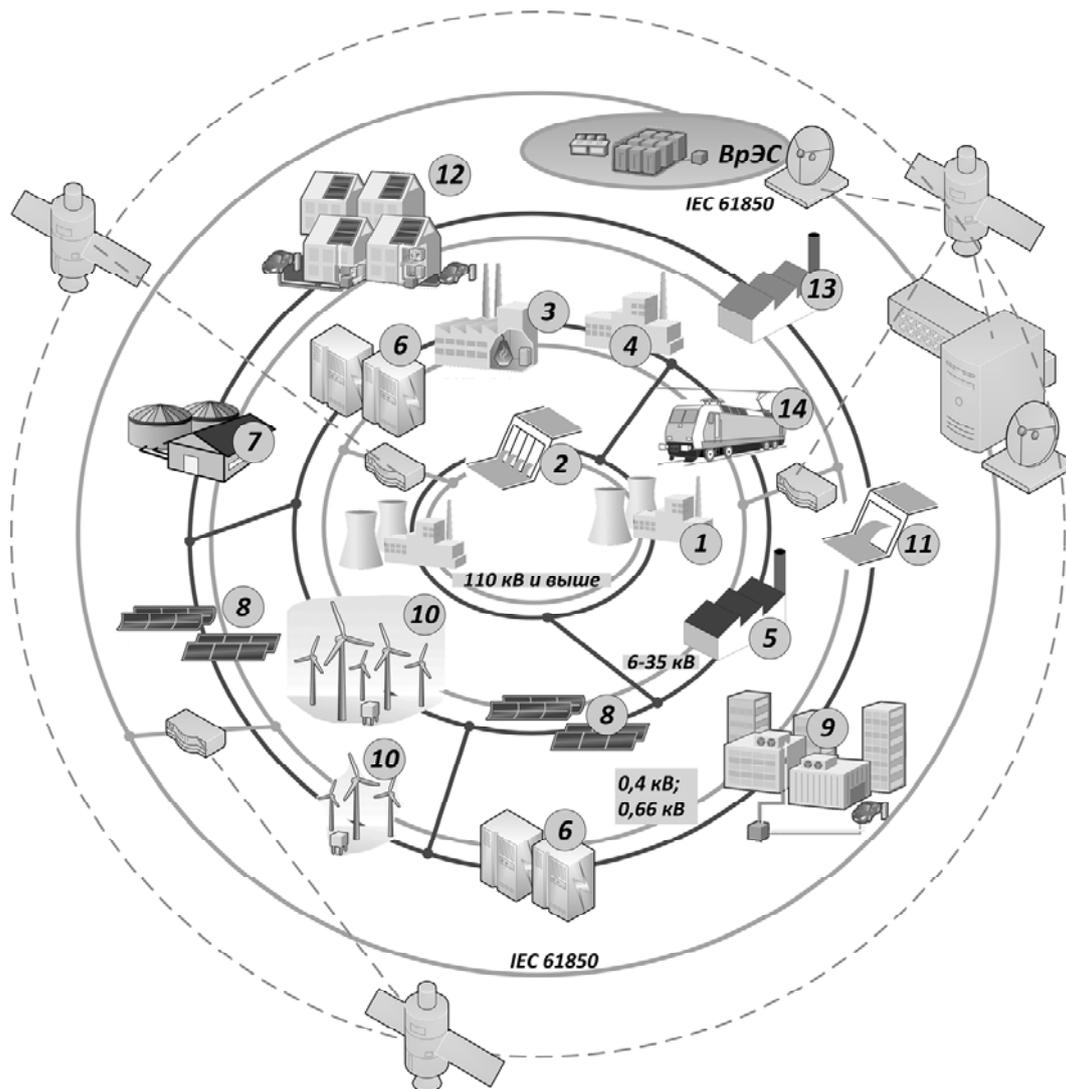
5. Увеличение устойчивости энергосистемы за счет применения релейной защиты и противоаварийной автоматики (РЗА), построенной с использованием новейшей аппаратной базы и защитной логики.

6. Разработка и внедрение различных способов экономии или энергосбережения электрической энергии (различные энергосберегающие технологии, Smart House, Smart Metering и т. д.).

После аварии, произошедшей в Японии на атомной электростанции (АЭС) Фукусима весной 2011 года, дальнейшее использование ядерной энергии во многих стра-

нах мира поставлено под вопросом. Так, например, в Германии в течение десяти лет все существующие АЭС должны быть выведены из эксплуатации [7]. На Украине решения подобного рода не приемлемы, так как отечественные атомные электростанции вырабатывают около 50 % всей мощности, и являются стратегическими структурными элементами энергосистемы. Альтернативным выходом из данной ситуации является масштабное внедрение ВИЭ. В качестве примера такого подхода можно привести снова Германию, в которой доля альтернативных источников в энергетической системе на окончание 2012 года составила 25 % от всей установленной мощности генерации [8].

Однако следует отметить, что генерируемая мощность ветроэлектростанциями (ВЭС), солнечными электростанциями (СЭС), когенерационными электростанциями (КГЭС) и другими альтернативными источниками энергии не является постоянной величиной и зависит от природных условий – наличие ветра, активности солнечного излучения и т. д. В этом случае такая нестабильность генерации ВИЭ вносит свои отрицательные коррективы в устойчивую работу энергосистемы. Как справедливо отмечено в [2, 4], классический принцип организации управления электроэнергетическими системами не подходит для ЭЭС с большой долей ВИЭ. Ведущими мировыми специалистами в области энергетики была разработана концепция Smart Grid [2–6] или концепция «умной энергосистемы». ЭЭС Smart Grid подразумевает использование в процессе организации и управления новейших технологий и алгоритмов, таких как, виртуальные электростанции (ВрЭС), FACTS-системы, фазоры или PMU (Phasor Measurement Unit) [9], вставки постоянного тока (HDVC), различного типа накопители энергии (в том числе и электромобили) и т. д. Построение систем связи, телекоммуникаций, систем управления и РЗА базируется на основе использования протокола МЭК (IEC) 61850. В качестве базовых источников электроэнергии (базовые электростанции) предусматриваются классические конденсационные тепловые элект-



1 – традиционные крупные тепловые и атомные электростанции; 2 – классические гидроэлектростанции; 3 – крупные промышленные потребители; 4 – малые ГТУ-ТЭЦ; 5 – промышленные потребители; 6 – накопители энергии; 7 – биогазовые электростанции; 8 – солнечные электростанции; 9 – потребители социальной сферы; 10 – ветровые электростанции; 11 – малые гидроэлектростанции; 12 – бытовые потребители; 13 – когенерационные электростанции; 14 – железнодорожный транспорт; ВрЭС – виртуальная электростанция

Рис. 1. Структурная схема энергосистемы концепции Smart Grid

ростанции (ТЭС) и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ). Для Украины, как уже говорилось ранее, в качестве базовых выступают, безусловно, и атомные электрические станции. Следует отметить тенденцию модернизации энергоблоков отечественных ТЭС и АЭС (компания ДТЭК, НАК «Энергоатом» и др.), построенных еще в советское время, а также тенденцию проектирования и будущего сооружения блоков нового поколения украинских ТЭС номинальной мощностью от 320 МВт до 660 МВт [4].

Доля ВИЭ на Украине по данным на 2013 год составляет около 1,1 % от всей установленной мощности генерации [10]. Этот факт объясняется лишь тем, что отечественная альтернативная энергетика находится на началь-

ном этапе развития. Также можно подчеркнуть высокую стоимость ВИЭ и их технического обслуживания. Однако, несмотря на это, такие крупные компании, как ДТЭК, «Active-Solar», «Fuhrlander-вiндтехнолоджи», ведут активную политику по внедрению и продвижению ВИЭ на Украине. В качестве примера результативности этой политики за пять прошлых лет можно привести строительство крупнейшей в Европе СЭС мощностью 100 МВт в Крыму (компания «Activ-Solar»), сооружение ВЭС или ветропарка суммарной мощностью 90 МВт в п. Ботиево (первая очередь Ботиевской ВЭС, ДТЭК «Винд Пауэр»), строительство новых 23 ветроагрегатов единичной мощностью 2500 кВт на Новоазовской ВЭС (Новоазовская ВЭС, «Fuhrlander-вiндтехно-лоджи») и др.

Исходя из вышеизложенного материала следует, что в мире остро стоит вопрос о детальном изучении, отработки принципов построения ЭЭС концепции Smart Grid, исследовании статических и динамических режимов работы, исследования поведения устройств систем управления, РЗА и др. Как справедливо отмечено в [11], ЭЭС концепции Smart Grid – это, прежде всего решение для нового облика государственной экономики, а не решение одной компании или предприятия.

УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР «SMART GRID – ДОННТУ»

Осознавая все это в Донецком национальном техническом университете (ДонНТУ) совместно с Магдебургским Отто фон Герике Университетом (OVGU) при поддержке ведущих компаний (Siemens, ДТЭК, «Active-Solar», ООО «Донтехпром», и др.) сооружается учебно-научный центр «Smart Grid – ДонНТУ» [12].

Силовая часть лаборатории «Smart Grid – ДонНТУ» (см. рис. 2) представляет собой блочную структуру, в которой в виде блоков реализованы физическая модель ТЭС, реальная солнечная электростанция, модели вет-

роагрегатов ВЭС, накопители энергии, компенсатор реактивной мощности. Также реализован специальный стенд для детального изучения современной микропроцессорной релейной защиты серии Siprotec™ производства фирмы Siemens®.

Физическая модель конденсационной турбины ТЭС в проекте выполнена с помощью асинхронного электродвигателя (АЭД) с короткозамкнутым ротором (КЗР), установленного на одном валу с синхронным генератором переменного тока. Работа турбины реализуется в виде программы, которая заложена в памяти преобразователя частоты Siemens® Sinamics™. Данная программа позволяет имитировать различные режимы (например, режим изменения активной мощности и т.д.). Система управления моделью ТЭС связана с системой управления всей лабораторией Smart Grid с помощью шины данных PROFIBUS. В качестве элементной базы приняты аппаратная и программная продукция фирмы Siemens®.

По аналогии с моделью ТЭС, описанной ранее по тексту, созданы модели ветроагрегатов (ВА), которые отличаются типом генератора. На первой установке,

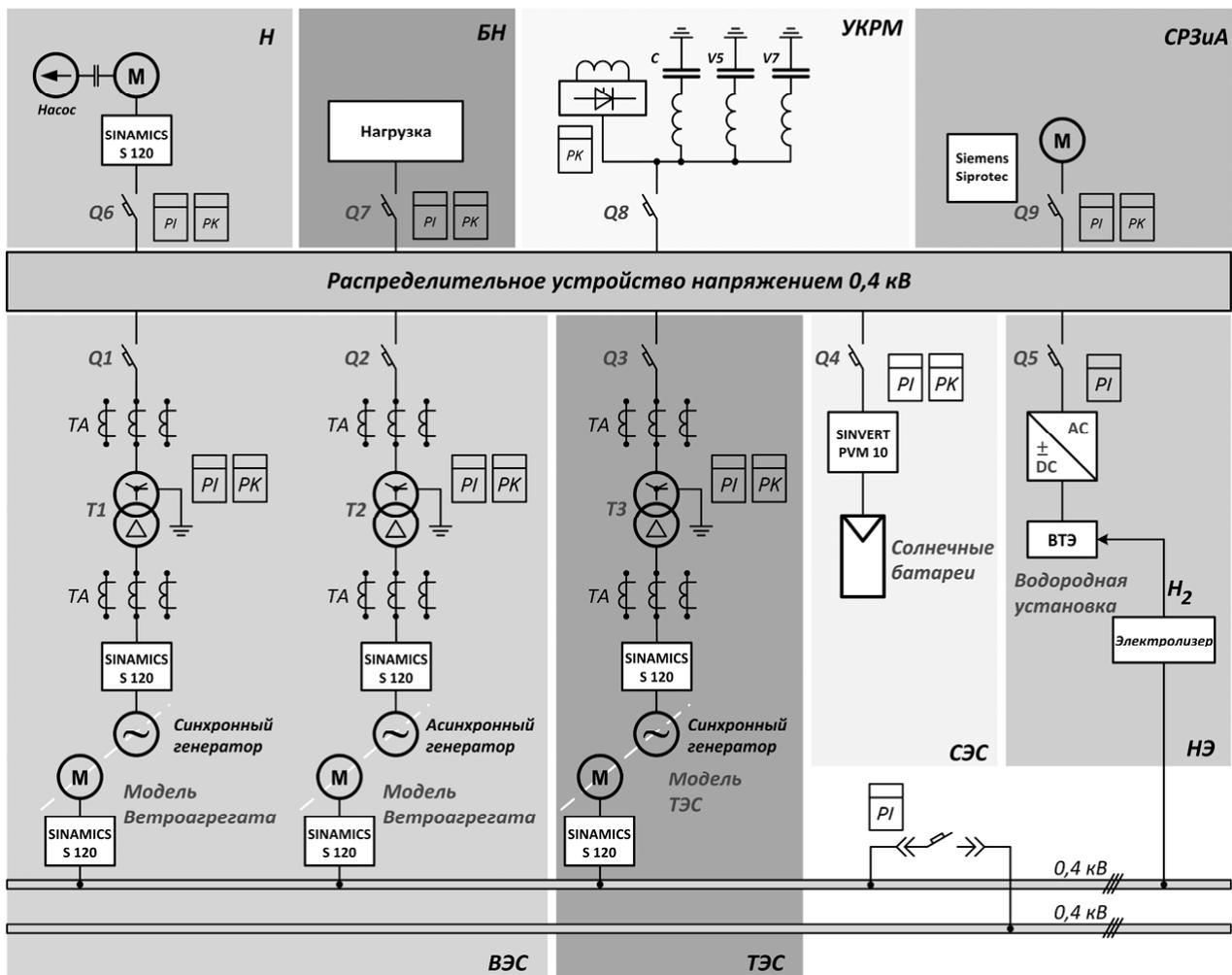


Рис. 2. Структурная схема силовой части учебно-научного центра «Smart Grid – ДонНТУ»

согласно проекта, установлен асинхронный генератор переменного тока с КЗР, а на второй – синхронный генератор с постоянными магнитами на роторе в качестве системы возбуждения. На валу с генератором также устанавливается АЭД с КЗР, представляющий собой модель ветроколеса. Благодаря подключению электродвигателей к сети через преобразователь частоты (ПЧ) осуществлена система моделирования ветроагрегатов (моделирование различной активности по ветру, пилч-регулирование и т. д.). Все генераторы переменного тока ветроустановок подключаются к энергосистеме через ПЧ, что позволяет стабилизировать частоту напряжения. Система управления моделью ВА должна подключаться с помощью шины PROFIBUS к общей системе управления учебно-научного центра «Smart Grid – ДонНТУ».

Солнечная электростанция (СЭС), реализованная в лаборатории, представляет собой 55 современных солнечных панелей (батарей) производства украинского предприятия «Квазар» [13]. Суммарная мощность СЭС составляет 10 кВт. Выдача мощности в сеть производится с помощью инвертора, ведомого сетью Siemens® SINVERT™ PVM10. Система автоматического управления СЭС через шину данных PROFIBUS соединена с общей системой управления Smart Grid. Так как солнечная электростанция реализована на серийно выпускаемых аппаратных и программных продуктах фирмы Siemens®, то данная установка может быть использована в качестве базовой, для диагностики работы других солнечных электростанций Донецкого региона и Украины в целом.

Водород, получаемый путем электролиза воды, гораздо дороже, получаемого из природного газа. Несмотря на это, в ЭЭС концепции Smart Grid процесс производства водорода, вырабатываемого путем электролиза в период избытка вырабатываемой электрической энергии ВИЭ, является актуальным [14]. Таким образом, процесс преобразования излишней электроэнергии от ВИЭ в водород является накоплением энергии. Обратное превращение или трансформация водорода в электрическую энергию производится с помощью водородных топливных элементов (ВТЭ). Современные ВТЭ способны в 2–3 раза сократить потребность в органическом топливе для ТЭС и существенно сократить вредные выбросы в атмосферу. Также следует подчеркнуть тенденцию развития и внедрения гибридных водородных двигателей в автомобилестроении, например, применение в городском транспорте Берлина низкопольных автобусов MAN® Lion City Bus [15]. В качестве модели водородной установки (ВУ) с ВТЭ была принята учебная станция «Nexa® Lernsystem» (номинальная мощность 1,2 кВт). Данная ВУ оснащена необходимыми системами контроля и оптимизации, а также встроенной системой энергоменеджмента. С помощью шины данных PROFIBUS интегрируется в общую систему управления лабораторией.

Отдельным пунктом следует отметить лабораторный стенд, созданный для исследования современных циф-

ровых устройств РЗА производства фирмы Siemens®. Стенд включает микропроцессорные терминалы Siprotec™ 7SD61, Siprotec™ 7SJ64 и Siprotec™ 7SA611. В качестве защищаемого объекта используется асинхронный электродвигатель (АЭД) с КЗР номинальной мощностью 5,5 кВт и напряжением статора 0,4 кВ. На стенде смонтированы все необходимые элементы: вводные автоматы 0,4 кВ, автомат оперативного постоянного тока 220 В, необходимые клеммные коробки, система переключения между терминалами, светодиодные индикаторы, система имитации короткого замыкания, необходимые трансформаторы тока и напряжения и др. Настройка, программирование и управление терминалами осуществляется с помощью специального программного обеспечения Siemens® DigSi™, установленного на специальном персональном компьютере. Стенд подключен к шине 0,4 кВ распределительного устройства лаборатории «Smart Grid-ДонНТУ», и представляет собой в физической модели узел с двигательной нагрузкой (присоединение кабель-двигатель).

При построении лабораторной установки используется принцип поддержания в узле постоянного значения реактивной мощности за счет применения динамических компенсаторов реактивной мощности (процесс регулирования индуктивности компенсатора с последующей компенсацией этой мощности с помощью конденсаторных батарей). Данная система обеспечивает максимальное быстродействие компенсатора, что позволяет повысить его эффективность, и является одним из важных моментов ЭЭС с мощными ветропарками (компенсация реактивной мощности ВА в пусковых режимах).

В совокупности данная лаборатория позволяет физически моделировать различного рода нормальные, аномальные и аварийные режимы работы энергосистем концепции Smart Grid. К таким режимам следует отнести синхронизацию генераторов, компенсацию реактивной мощности, перетоки мощности, динамические режимы работы ветрогенераторов, солнечных панелей СЭС, динамические режимы процессов накопления-разряда накопителей энергии, устойчивость энергосистемы и режимы работы виртуальных электростанций и др. Особенно следует подчеркнуть специальный стенд для исследования микропроцессорных устройств РЗА, позволяющий приобрести навыки работы с современными терминалами, а также исследовать их работоспособность в различных аварийных и аномальных режимах.

В целом внедрение учебно-научного центра в ДонНТУ будет способствовать повышению качества обучения и подготовки студентов и кадров высшей квалификации [12,16] с учетом тенденций развития современной энергетики, а также может послужить для повышения квалификации и уровня инженерных работников энергопредприятий, занимающихся эксплуатацией силовой части энергетических объектов, устройств РЗА, АСУ ТП и др.

ВИВОДИ

На основе изложенного материала можно сделать вывод о целесообразности сооружения и последующего внедрения учебно-научного центра «Smart Grid–ДонНТУ» в Донецком национальном техническом университете, который позволит исследовать динамические и статические режимы работы электроэнергетических систем концепции Smart Grid с большой долей возобновляемых источников энергии. Сооружение такого центра будет способствовать улучшению подготовки студентов-выпускников университета, кадров высшей квалификации, кадров производственного технического персонала энергопредприятий, а также развитию и внедрению ЭЭС концепции интеллектуальной энергосистемы на Украине.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сибикин Ю. Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – М. : КНОРУС, 2010. – 232 с.
2. Стычинский З. А. Возобновляемые источники энергии: Теоретические основы, технологии, технические характеристики, экономика / З. А. Стычинский, Н. И. Воропай. – Magdeburg: Издательство Магдебургского университета имени Отто-фон-Герике (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg). docupoint GmbH, 2010. – 209 с.
3. Официальный сайт международного проекта ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). Режим доступа: <http://www.iter.org>
4. Стогній Б. С. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхні технологічне забезпечення / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, С. П. Денисюк // Технічна електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 44–50.
5. Официальный сайт компании Siemens® (Сименс) Smart Grid. Режим доступа: <http://w3.siemens.com/smartgrid/global/en/Pages/Default.aspx>
6. Официальный сайт агентства по возобновляемой энергетике. Режим доступа: <http://www.rea.org.ua>
7. Официальный сайт Информационно-аналитического портала «Империя». Демонтаж АЭС обойдется Германии в десятки миллиардов евро. <http://www.imperiya.by/news.html>
8. Официальный сайт Deutsche Welle. Германия произвела четверть электроэнергии из возобновляемых источников. Режим доступа: <http://www.dw.de>
9. Khan R. H. Wide area PMU communication over a WiMAX network in the smart grid / R.H. Khan, J.Y.Khan / Proceedings of Smart Grid Communications (SmartGridComm) IEEE Third International Conference. – 2012. – P. 187–192.
10. Официальный сайт программы финансирования альтернативной энергетики в Украине (USELF). Режим доступа: <http://www.uself.com.ua/>
11. Информационный портал ЛІГА.net. Интеллектуальные сети Smart Grid: экспертное мнение. Режим доступа: <http://blog.liga.net/user/epopova/article/6447.aspx>
12. Официальный сайт научно-учебного центра «Smart Grid–ДонНТУ». Режим доступа: <http://smartgrid.donntu.edu.ua>
13. Официальный сайт ПАО «Квазар». Режим доступа: <http://www.kvazar.com/>
14. Международный информационный научный портал «Водород». Режим доступа: <http://www.hydrogen.ru>
15. Газета о пассажирском транспорте «Омнибус». Гибридные, красивые, экономичные. Режим доступа: <http://www.omnibus.ru/zarubezhe/zarubezhe14>
16. Левшов А. В. О математическом моделировании фотоэлектрических модулей / А. В. Левшов, А. Ю. Федоров // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електро-техніка та енергетика». – Донецьк : ДВНЗ «ДонНТУ», 2013. – № 1 (14). – С. 153–158.

Стаття надійшла до редакції 07.05.2014.

Ткаченко С. М.

Канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Україна

ЕНЕРГОСИСТЕМА МАЙБУТНЬОГО. КОНЦЕПЦІЯ SMART GRID. СПЕЦИФІКА РЕАЛІЗАЦІЇ НА УКРАЇНІ

Робота присвячена проблематиці побудови електроенергетичних систем майбутнього. Детально розглянуто всі сучасні стратегічні напрямки розвитку джерел генерації електроенергії та енергосистем у цілому. Окремим пунктом виділено енергосистеми концепції Smart Grid з великою часткою поновлюваних джерел енергії, а також специфіка реалізації на Україні. Розглянуто проект навчально-наукового центру «Smart Grid – ДонНТУ», що споруджується у ДонНТУ, в якому реалізована фізична модель «інтелектуальної» енергетичної системи.

Ключові слова: інтелектуальна електроенергетична система, фізична модель, поновлювані джерела енергії, концепція Smart Grid, навчально-науковий центр «Smart Grid – ДонНТУ».

Tkachenko S. N.

Associate professor, Candidate of Technical Sciences, Donetsk National Technical University, Ukraine

POWER SYSTEM OF THE FUTURE. THE CONCEPT OF SMART GRID. SPECIFICITY OF REALIZATION IN UKRAINE

Work is dedicated to a perspective of electrical power systems creation of the future. All modern strategic directions of generation sources development of the electrical power and power supply systems as a whole are in details considered. Special item in work is allocated to power supply systems of the Smart Grid conception with a big share of renewable energy sources, and also specificity of their realization in Ukraine. The project of educational scientific center «Smart Grid – DonNTU» constructed in Donetsk National Technical University in which the physical model of an «intellectual» power system is realized is considered. The power part of «Smart Grid – DonNTU» laboratory represents block structure in which in the blocks form such models are realized: physical model of a thermal power plant, a real solar power plant, wind turbines models, energy stores, reactive power compensators. The special bench for detailed studying of modern digital relay protection of the Siprotec™ series of Siemens® production is also realized. The physical model of the condensation turbine of a thermal power plant, and also models of wind-generating installations are executed by means of induction electrical motors with the short-circuited rotor; established on one shaft with generators of AC current. The solar power plant realized in laboratory, represents fifty five modern solar panels of the Ukrainian production with a total power of 10 kW. As model of hydrogen installation with hydrogen fuel cells in the project was accepted the educational station «Nexa® Lernsystem» with a rated power of 1,2 kW was created. This installation is equipped with necessary monitoring and optimization systems, and also built-in system of power management. At creation of laboratory installation the principle of maintenance in node constant value of reactive power due to use of dynamical reactive power compensators that will allow providing the maximum speed of the compensator is assumed as a basis and to increase its efficiency. By means of the PROFIBUS data bus all elements of physical model is integrated into the general control system of laboratory. In total this laboratory allows to model physically different normal, abnormal and emergency conditions of power supply systems of the Smart Grid conception work.

Keywords: intellectual electrical power system, physical model, renewable energy sources, the conception of Smart Grid, educational scientific center «Smart Grid – DonNTU».

REFERENCES

1. Sibikin Y. D., M. Y. Sibikin Alternative and renewable energy sources: tutorial. Moscow, KNORUS, 2010, 232 p.
2. Stychinsky Z. A., Voropai N. I. Renewable energy sources: Theoretical bases, technologies, specifications, economics. Magdeburg, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg docupoint GmbH, 2010, 209 p.
3. The official website of the international project ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). Access: <http://www.iter.org>
4. Stogniy B. S., Kirilenko O. V., Denysyuk S. P. Smart electric grid power systems and their technological support, «Technical electrodynamics», 2010, No. 6, pp. 44–50.
5. Official site of Siemens® Smart Grid. Access: <http://w3.siemens.com/smartgrid/global/en/Pages/Default.aspx>
6. Official Site of renewable energy agency. Access: <http://www.rea.org.ua>
7. The Official Website of Information-analytical Portal «Empire». Dismantling of nuclear power plants in Germany will cost tens of billions of euros. Access: <http://www.imperiya.by/news.html>
8. Official site of Deutsche Welle. Germanium produced a quarter of electricity from renewable sources. Access: <http://www.dw.de>
9. Khan R. H., Khan J. Y. Wide area PMU communication over a WiMAX network in the smart grid, *Proceedings of Smart Grid Communications (SmartGridComm) IEEE Third International Conference*, 2012, pp. 187–192.
10. The official website of funding alternative energy in Ukraine (USELF). Access: <http://www.uself.com.ua/>
11. LIGA.net Information Portal. Intellectual network Smart Grid: expert opinion. Access: <http://blog.liga.net/user/epopova/article/6447.aspx>
12. The Official Website of Research and Education Center «Smart Grid – DonNTU». Access: <http://smartgrid.donntu.edu.ua>
13. Official site of PAO «Kvazar». Access: <http://www.kvazar.com/>
14. International Information Research Portal «Hydrogen». Access: <http://www.hydrogen.ru>
15. «Omnibus» Newspaper Passenger Transport website. Hybrid, beautiful, economical. Access: <http://www.omnibus.ru/zarubezhe/zarubezhe14>
16. Levshov A. V., Fedorov A. Y. About mathematical simulation of photovoltaic modules, *Proceeding of State Institution of Higher Education «Donetsk National Technical University». Series «Electrical and Power Engineering»*. Donetsk, 2013, volume 1 (14), pp. 153–158.