

# Същност, свойства и предимства на интелигентните разпределителни енергийни мрежи със съхранение на електрическа енергия

V. Стефанова-Стоянова<sup>1</sup>, K. Стоянов<sup>2</sup>

## Nature, Properties and Advantages of the Intelligent Distribution Energy Networks with Electricity Storage

V. Stefanova-Stoyanova<sup>1</sup>, K. Stoyanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Computer Systems, Faculty of Computer Systems and Technologies, Technical University of Sofia, 8 Kliment Ohridski Blvd., 1000 Sofia, Bulgaria, [vwstoyanova@tu-sofia.bg](mailto:vwstoyanova@tu-sofia.bg)

<sup>2</sup> Bulgarian Engineers Union, Sofia, Bulgaria, [kratech@gmail.com](mailto:kratech@gmail.com)

**Key Words:** Smart Grid; distributed grid networks; intelligent management; energy storage; microgrid; ICT; smart home; smart cities.

**Abstract.** In the future, the methods and technical means for intelligent control of final energy consumption by economic criteria in real time, based on the integration of electricity and information networks, will become a priority for the construction and operation of Smart Energy Networks (SMART GRIDS), i.e. Energy Internet. Thus, energy and information processes in micro-networks must be considered as interconnected. Electricity storage is a key element of future smart distributed energy networks. For energy companies, the key pursued goals for the development of Smart Grid technologies are: reduction of energy losses; increasing the timeliness and completeness of payment for consumed energy resources; control of unevenness of the electric load schedule; improving the efficiency of asset management of energy companies; improving the quality of the integration of renewable and distributed generation facilities into the power system; improving the reliability of the energy system in the event of emergencies; improving the visualization of energy infrastructure facilities. The key tasks to be solved by energy consumers in the implementation of Smart Grid technologies are: improving consumer access to energy infrastructure; improving the reliability of power supply to all categories of consumers; improving the quality of energy resources; creation of a modern interface for interaction between energy consumers and its suppliers; the opportunity for the consumer to act as a full participant in the energy market; enhanced opportunities for consumers to manage energy consumption and reduce the level of payments for consumed energy resources. Governments and regulators of the energy industry are striving to achieve the following goals through the development of Smart Grid technologies: increasing the level of satisfaction of energy consumers with the quality and cost of energy supply; ensuring a stable economic position of enterprises in the energy industry; ensuring the modernization of fixed assets of the energy industry without a significant increase in tariffs. From the presented information it can be concluded that Smart-Grid is a system that is able to self-monitor and provide reports for all participants in the network (its status, needs, etc.) and complete information about

the electricity generated and transmitted in every aspect: efficiency, losses or economic benefits; This is especially important for liberalized electricity markets, where trade is hour-ahead. In this way, the smart system builds a load profile of each user and can accurately redistribute prepaid energy from exchanges. The surplus can be accumulated in a storage battery module or in heat energy in the consumers' boilers, depending on what the consumer or the consumer group has. In case of lack of (requested) energy, when the consumption has to be limited, the system has variants of strategy in which it either stops powerful consumers, without special significance (eg electric water heaters) or switches consumers to energy storage, until the next period/hour, thus the system includes as an energy generator the accumulator unit for storage of electricity and delivers in the network the insufficient amount of energy, i.e. this user is active, i.e. it consumes and produces energy. This would reduce the need to maintain a cold reserve and make the energy produced cheaper. The authors study the behavior of a real SG system developed by them, have a lake of data on its operation for several years and prepare a patent solution for cheap home smart composite batteries. The concept of using smart controllers as perceptrons – elements of neural networks, in which SG can be trained and respond autonomously as effectively as possible, is also the author's. The more modern and up-to-date perspective that the authors apply is to use neural network technology and machine learning to predict consumer behavior and energy generation in generating capacity, and to develop a strategy for the use of storage capacity (energy storage) as generating ones in order to balance the networks and use the cheapest source of electricity for a given period. It is also possible to apply purely economic approaches such as clearing, in the supplier-consumer relationship, consumer-consumer, many users to supplier. Thus, networks of pure distribution, if they have elements of smart grid, have energy storage capacity, can become highly efficient generating capacity to provide third parties (consumers, which can be entire networks) capacity, which far exceed their own consumption, but this will be the subject of a separate article by the authors.

## Увод

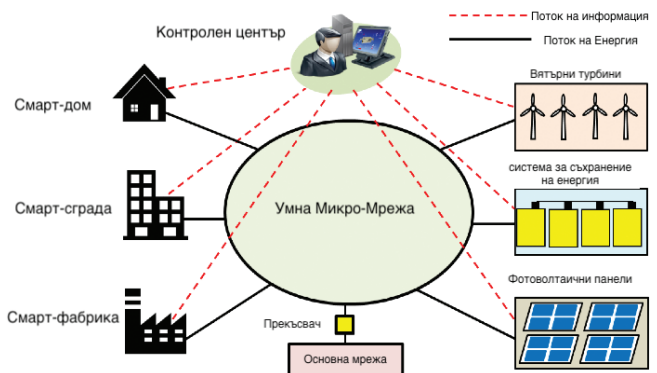
Дигитализацията на енергийния сектор се счита за един от основните инструменти за изпълнение на Енергийната стратегия на Европейския съюз. С революцията на микромрежите всяка къща ще има възможност да задоволи собствените си енергийни нужди на местно ниво от възобновяеми енергийни източници като слънчева или вятърна енергия. Събирането на данни в реално време, управлението на енергията и контролът на възобновяемите енергийни системи обаче ще зависят главно от работата на комуникационната инфраструктура. Тази статия може да подпомогне създаването на подходи в проектирането на архитектура на комуникационна мрежа, използваща както жични, така и безжични технологии за наблюдение и контрол на разпределени енергийни системи, включващи малки вятърни турбини и малки фотоволтаични системи.

## Изложение

Напоследък интеграцията на системите за възобновяема енергия в електрическата мрежа получава голямо внимание както в академичните среди, така и в индустрията. Очаква се евентуалното ниво на интеграция на системите за възобновяема енергия да бъде огромно и контролът им ще стане по-труден [15]. Тъй като вятърната и слънчевата енергия са най-известните и масови примери, тях ще имаме предвид в системите за възобновяема енергия. Има два вида системи от възобновяеми енергийни източници: мащабни вятърни и слънчеви ферми, разположени в отдалечени райони, и малки вятърни турбини (WT) и фотоволтаични (PV) панели, свързани към електрическата разпределителна система. Фокусът на този материал ще бъде върху дребномащабните (малките) системи за възобновяема енергия.

В днешно време много клиенти и домакинства са започнали да инсталират малки WT и PV панели като самостоятелни системи, за да задоволят част от своите енергийни нужди на местно ниво. Системата от микромрежи може да бъде определена като електрическа система с ниско/средно напрежение, която съдържа системи за възобновяема енергия, система за съхранение на енергия, контролируеми товари и система за управление на енергията. Размерът на системата с микромрежи може да варира от едно домакинство до голям географски район, като кампус. Потребителите/производителите на енергия като дом, сграда, фабрика или кампус могат да използват дребномащабни възобновяеми енергийни системи, за да се управляват или в островен режим, или свързани към основната мрежа. Клиентът може да подаде излишната мощност в мрежата или да я съхранява, използвайки системи за съхранение на енергия, които да се използват, когато е необходимо. Комуникационната инфраструктура се счита за основен елемент, който позволява мониторинг и контрол на работата на системите за възобновяема енергия. В допълнение, той позволява пренос на измерена информация и контролни сигнали между системите за възобновяема енергия и контролния център [15].

Внедряването на системи от възобновяеми енергийни източници се счита за ключово за стимулиране на технологията към бъдещото внедряване на интелигентна мрежа, която ще промени начина, по който произвеждаме и консумираме електрическа енергия. При определени условия тези системи ще могат да доставят необходимото електричество на изолирани/отдалечени места. Въпреки това управлението и контролът на работата на системите за възобновяема енергия в голям мащаб ще създаде много предизвикателства. За да се постигне надеждна, сигурна и рентабилна работа на системите за възобновяема енергия, както и на микромрежовите системи, информационните и комуникационните технологии се считат за съществен елемент. В тази връзка трябва да се проучат много аспекти на комуникационната технология и да се проучи тяхното изпълнение, за да се превърне интелигентната микромрежа в реалност. На *фиг. 1* е показан общ преглед на микромрежова система с възобновяеми енергийни ресурси (например малки WT и PV панели).



**Фиг. 1.** Общ преглед на микромрежова система с възобновяеми енергийни ресурси (например малки WT и PV панели)

Приоритетната задача е разработването на интегрирани решения за микромрежи, т.е. автономни електрически мрежи, които обединяват няколко потребители и източници на електрическа енергия.

Следователно в бъдеще ще определяме микромрежата като енергийна информационна система (EIS), която представлява съвкупност от информационни технологии и енергийни елементи, които, взаимодействайки помежду си, дават възможност за контрол на режимите на работа на микромрежите. Фрагмент от микромрежа, принадлежащ на един потребител, ще се нарича енергийна информационна система на потребител на микромрежа. На *фиг. 2* е показана типична структура на интелигентна мрежова микромрежа [14].

Интелигентните микромрежи използват информационни и комуникационни технологии за ефективно управление на местните възобновяеми енергийни източници и устройства за съхранение на енергия, наричани общо разпределени енергийни ресурси (DER). Това изисква включването на доста сложни сензорни и/или задействащи устройства в интерфейсите на DER [14].

За нуждите на анализа в статията ще обсъждаме микромрежа, включваща само един потребител, което е частен случай на умна система, разглеждана в тази статия.

Тя напълно отговаря на една от приоритетните насоки за реализация на пътна карта на умни битови услуги, част от Industry 4.0, която формулира микроенергетиката на ниво частен дом, включително микрогенерацията в системите за съхранение на енергия, а също и управлението на енергопотреблението и съхранението на енергия на ниво домакинство.



Фиг. 2. Интелигентна микромрежова среда

Целта на настоящата работа е да се разгледа модела на микромрежа със система за съхранение на електрическа енергия и да предложи подход за оптимизация на режимите на работа според критерия за минимизиране на потребителските разходи за електрическа енергия. Тази цел може да постигне чрез решаване на следните задачи:

1. Определяне на основните режими на работа на микромрежа с акумулатор на електрическа енергия.
2. Математическо моделиране на микромрежа с акумулатор на електрическа енергия.
3. Оптимизиране на режимите на работа на микромрежата според критерия за минимизиране на потребителските разходи за електрическа енергия с цел определяне на моментите на превключване на режимите на работа на микромрежата.
4. Експериментална оценка на математическите модели и алгоритми за оптимизиране на режимите на работа на микромрежата.
5. Предлагане на алгоритъм за разработване на програмен пакет и платформа за решаване на възложените задачи.

## Изследователски методи

В тази работа ще използваме числени методи за търсене на глобален екстремум (методът на рояк частици и неговите модификации), разпоредбите на общата теория на алгоритмите и методологията на високопроизводителните изчисления. Изграждането на математически модели на микромрежата и нейните елементи е извършено по възловия метод, уравненията на Парк-Горев и теорията на М-системите. Научна новост е, че в настоящата работа за първи път се прави опит да се разработи математически модел на блок за съхранение на електрическа енергия в

стандартен вид, който представлява набор от М-елементи и отчита особеностите на съвместната работа на акумулаторната батерия и инвертора, да се формулира задача за оптимален контрол на режимите на работа на микромрежа с акумулатор на електрическа енергия с цел да се минимизират загубите на електрическа енергия на потребителите, да се предложи алгоритъм под формата на последователно решение на задачите за оптимизиране на графика на потреблението на енергия по товари и оптимизиране на работата на блока за съхранение на електрическа енергия и използване на модификация на метода на рояци частици за решаване на отделни подзадачи.

### Системите за съхранение на електрическа енергия – ключов компонент на умните мрежи

Интелигентните мрежи (SmartGrid) са модернизираните енергийни разпределителни мрежи, прилагащи се за контрол и мониторинг на потреблението на електрическа енергия, базирани на използването на информационни и комуникационни мрежи и технологии, осигуряващи устойчивост на електропроизводството и разпределението на електрическа енергия, подобряващи надеждността и ефективността на системите като цяло [10]. SmartGrid е перспективно направление за развитие на единните енергосистеми, базирано върху възможността за съхраняване на енергия, оптимизирайки работата на електрическите мрежи. Системата за съхранение на енергия създава запас от енергия при непълно натоварване на енергийната система и последващото връщане в системата в моментите на пиково потребление, намалява зависимостта на генериращите мощности от неравномерностите на потреблението, подобрява качеството на произведената енергия за крайния потребител. Основен структурен компонент на системите за съхранение на енергия е акумулаторът. Основните предимства на използването на акумулатор в енергийната система са следните: увеличаване на честотната лента на мрежата; повишаване на надеждността на енергийната система; способността за регулиране на честотата и подобряване на качеството на електричеството; повишаване на капацитета на генериращото оборудване в региони с недостиг на енергия; намаляване на разходите за експлоатация и поддръжка на генериращо и мрежово оборудване; резервиране на електрическа енергия за потребители с голямо значение, както и тяхната поддръжка в случай на прекъсвания в захранването с електрическа енергия; възможността за работа в условията на диференцирана тарификация на цената на доставената електрическа енергия, която позволява акумулиране на енергия с ниска себестойност и нейната доставка в период на високи цени. Понастоящем все повече страни, използват въвеждането на интелигентни електрически мрежи (SmartGrid), както и създаването на разпределени енергосистеми вместо класическите централизирани системи за разпределение.

**Разпределената енергийна система** – енергосистема, реализираща разпределено производство на електрическа енергия, базирано на концепцията за разпределителна мрежа, включващо голям брой потребители на електрическа енергия, които имат собствени източници на

производство на електрическа енергия, което им позволява да отдават излишъка от електрическа енергия в общата електроснабдителна мрежа. Разпределените системи интегрират лесно в себе си възли за производство, предаване и разпределение на електрическа енергия. При създаването на интелигентни енергийни системи е необходимо да се решават проблемите при управлението на енергията, предаването на данните и анализа на информацията. Американското министерство на енергетиката счита, че SmartGrid притежават следните свойства [8]:

- гаранция за исканото количество на доставяната електрическа енергия;
- възможност за самостоятелно възстановяване в резултат на различни откази в системите за доставка на електрическа енергия;
- мрежова сигурност от различни видове атаки както от физически, така и от кибернетичен характер;
- регулиране на функционирането на мрежата, обезпечаващо синхронна работа на източниците на производство на електрическа енергия и възлите на нейното съхранение;
- възможност потребителите да участват в мрежата;
- подобряване на ефективността на цялата енергийна система.

Според Европейската комисия, която се занимава основно с въпросите за развитие на технологичните платформи в областта на енергията, SmartGrid имат следните характеристики, посочени в [1]:

- гъвкавост (способността да се променят, за да отговорят на текущите заявки на потребителите на дадена мрежа);
- надеждност (гаранция за сигурност и качество при преноса на електрическа енергия);
- икономичност (способността за ефективно управление на работата на интелигентна мрежа, за да се осигурят икономически ползи за потребителите);
- достъпност (възможност за включване на всички потребители на електрическа енергия към обща мрежа, което прави възможно продажбата на излишъка на електрическа енергия от собствените източници на производство на електроенергия в нея).

Основните компоненти на интелигентните мрежи са [1], [2]:

- микромрежи;
- централна електроснабдителна мрежа;
- система за обработка на данни.

**Микромрежа (на английски Smart Microgrid)** е автономна електрическа мрежа, обединяваща няколко потребители и източници на електрическа енергия. Тъй като Smart Microgrid технологиите са фокусирани върху използването на местни ВЕИ, това елиминира необходимостта от транспортиране на енергия на дълги разстояния, което намалява значително загубите. В допълнение микромрежите подобряват надеждността на електроснабдяването за сметка на оперативното превключване на потребителите

между общата мрежа и местните източници на енергия. Появяването на микромрежите неслучайно съвпадна с началото на широкото използване на възобновяеми енергийни източници. Неравномерното генериране на енергия от вятърни и слънчеви електроцентрали изисква постоянно преразпределение на енергийните ресурси във микромрежите и захранването им от външната централизирана мрежа. В случай на излишък на енергия е възможно тя да се прехвърли към външната (централна) мрежа [13], [12]. Централната електроснабдителна мрежа (разпределителна мрежа) представлява традиционна обща електроснабдителна мрежа, в която основната част от електрическата енергия се произвежда централно в големи електростанции като ТЕЦ, АЕЦ и ВЕЦ.

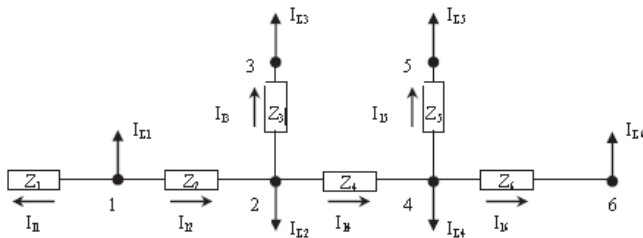
Микромрежите могат да работят едновременно както със свързаната централизирана мрежа, така и в автономен режим. Microgrids, съединени с централизираните електрически мрежи, не оказват видим ефект върху работата им, тъй като по-голямата част от произведената енергия се консумира на мястото на производството, което елиминира загубите, свързани с транспортирането и на разстояние [11], [9]. Комбинирането на различни видове електроцентрали увеличава значително надеждността на цялата микромрежа [4], [6]. Множеството взаимодействащи си микромрежи, свързани с централизираните основни мрежи, образуват разпределена енергосистема. Под потребители на Microgrids ние разбираме електрически товари, електрически акумулатори на енергия и собствени устройства за генерация на електрическа енергия като например слънчеви панели или вятърни генератори.

За ефективна работа на интелигентните мрежи се изисква наличие на система за обработка на данни (Smart Grid сървър) – кооперативен сървър за съхранение, централизирана обработка и предаване на информация към всички микромрежи в даден регион [5], [7]. Тази информация съдържа сведения за тарифите на електрическата енергия, доклади за прогнози за времето, статистически данни, позволяващи да се прогнозира енергопотреблението. През август 2013 г. консултантска компания Markets and Markets публикува доклад, съдържащ прогнозен средногодишен темп на растеж на микромрежите в периода от 2012 до 2020 г. Въз основа на този доклад се очаква средногодишен ръст със 17% на пазара. В съответствие с тези данни можем да заключим, че към 2022 г. общата мощност на микромрежите ще надхвърли 15 GW [3].

## II. Математически модел на микромрежа

Математическото моделиране на  $m$ -фазна микромрежа е илюстрирано на схема, изобразена като ориентирано дърво-граф на *фиг. 3*. В дадения граф всички негови възли се номерират от корена на дървото, номериран с номер 1. По аналогичен начин се задава направление и за ребрата, а непосредствената им номерация произлиза от използването на номерата на възлите, инцидентни на съответното ребро (номера на реброто съвпада с максималния номер на дадения възел). Съвкупността на активните и индуктив-

ните импеданси на линиите за предаване са обозначени на фигурата чрез Z1-Z6 съответно.



Фиг. 3. Математическото моделиране на m-фазна микромрежа

В съответствие с първия закон на Кирхов токовете на линиите за предаване могат да се изразят чрез сумата на токовите компоненти във възлите li (1):

$$\begin{aligned}
 (1) \quad I_{16} &= I_{26}, I_{15} = I_{25}, I_{14} = I_{24} + I_{15(4)} + I_{16(4)} = I_{24} + C_{45}I_{25} + C_{46}I_{26}, \\
 I_{13} &= I_{23}, I_{12} = I_{22} + I_{13(2)} + I_{14(2)} = I_{22} + C_{23}I_{23} + C_{24}I_{24} + C_{25}I_{25} + C_{26}I_{26}, \\
 I_{11} &= -I_{21} - I_{12(1)} = -(I_{21} + C_{12}I_{22} + C_{13}I_{23} + C_{14}I_{24} + C_{15}I_{25} + C_{16}I_{26}), \quad (2.4)
 \end{aligned}$$

Използвайки първия закон на Кирхов и каноничната форма на математическия модел за i-я възел на микромрежата, с който са съединени компонентите, получаваме формула (2) и (3):

$$(2) \quad \frac{d}{dt} I_{\Sigma i} = \left( \sum_{j=1}^n Q_{ij} \right) U_i + \sum_{j=1}^n H_{ji} = Q_{\Sigma i} U_i + H_{\Sigma i}$$

$$(3) \quad \frac{d}{dt} I_{dq0} = QU_{dq0} + H$$

Следователно обобщеният математически модел на микромрежата е изразен във формула (4):

$$(4) \quad U = -(K_1 + LK_2 Q_{\Sigma})^{-1} [LK_2 H_{\Sigma} + (LK'_2 + ZK_2) I_{\Sigma}]$$

На практика така може да се изчисли и получи картина на потреблението на електрическа енергия в дадена микромрежа, т.е. да се състави товаров профил на потребител или група типови потребители.

## Заклучение

От представената информация може да се направи изводът, че SmartGrid е система, която е в състояние да се самоконтролира и да предоставя отчети както за всички участници в мрежата (нейното състояние, нужди и т.н.), така и пълна информация за генерираната и предаваната електрическа енергия във всеки аспект: ефективност, загуби или икономически ползи. Това е особено важно за либерализираните пазари на електрическа енергия, в които търговията е час напред. По този начин умната система построява товаров профил на всеки потребител и може съвсем точно да преразпределя предплатената енергия от борсите. Излишъкът може да се акумулира в акумулаторен модул за съхранение или в топлинна енергия в бойлерите

на потребителите в зависимост от това с какво разполага потребителят или групата потребители. При недостиг на (заявена) енергия, когато трябва да се ограничи потреблението, системата има варианти на стратегия, при които или спира мощни консуматори без особено значение (например електрически бойлери), или превключва консуматори към energy storage (където ги има) до следващия период/час, като по този начин системата включва като генератор на енергия акумулаторния блок за съхранение на електрическа енергия и доставя в мрежата недостигащото количество енергия, т.е. този потребител е активен, т.е. той консумира и произвежда енергия. Това би намалило нуждата от поддръжка на студен резерв и прави по-евтина произвежданата енергия. Авторите изследват поведението на разработена от тях реална SG-система, имат езеро от данни за работата ѝ за няколко години и подготвят патентно решение за евтини домашни умни съставни батерии. Авторска е и концепцията за използване на умни контролери като перцептрони – елементи на невронни мрежи, при което SG могат да се обучават и да реагират автономно максимално ефективно.

Потребителите имат възможност да изберат един от двата метода за построяване на график за потребление на електрическа енергия:

1. На основата за наличие на данни за средното значение на почасово потребление, характерно за типа потребител за даден регион, за даден месец и ден от седмицата.
2. Потребителят може да определи ръчно график за потребление на електрическа енергия за дадено денонощие. Ако електрическата енергия се използва за отопление, при планирането може да се използва и прогнозата за времето.

По-съвременната и модерна перспектива, която прилагат авторите, е да се използват технологиите с невронни мрежи и машинно обучение, за да се предсказва поведението на потребителите и генерирането на енергия в генериращите мощности и да се състави и стратегия за използването на акумулиращите мощности (energy storage) като генериращи такива, за да се балансират мрежите и да се използва най-евтиният източник на електрическа енергия за даден период. Възможно е също така да се прилагат чисто икономически подходи като clearing в отношенията доставчик-потребител, потребител-потребител, много потребители към доставчик. Така мрежите от чисто разпределителни, ако притежават елементи на smart grid, притежават energy storage капацитети, могат да се превърнат във високоэффективни генериращи мощности, които да предоставят на трети страни (потребители, които могат да бъдат и цели мрежи) мощности, които далеч надвишават собственото потребление, но това ще бъде предмет на отделна статия на авторите.

## Литература

1. European Commission Community Research. European SmartGrids Technology Platform. Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future/European Commission. Luxembourg, Office

- for Official Publications of the European Communities, 2006, 44.
2. Hatzigiorgiou, N., H. Asano, R. Iravani and C. Marnay. Microgrids: an Overview of Ongoing Research, Development, and Demonstration Projects. – *IEEE Power and Energy Magazine*, 5, 2007, No. 4, 78-94.
  3. Katiraei, F., M. R. Iravani. Power Management Strategies for a Microgrid with Multiple Distributed Generation Units, Power Systems. – *IEEE Transactions*, 21, 2006, 1821-1831.
  4. Majumder, R., A. Ghosh, G. Ledwich, F. Zare. Stability Analysis and Control of Multiple Converter Based Autonomous Microgrid. Proc. of 7th IEEE International Conference on Control and Automation (ICCA'09), 9-11 December 2009, New Zealand, Christchurch, 1663-1668.
  5. Pogaku, N., M. Prodanovic, T. C. Green. Modeling, Analysis and Testing of Autonomous Operation of an Inverter-Based Microgrid. – *IEEE Trans. on Power Electronics*, 22, 2007, Issue 2, 613-625.
  6. Pudjianto, D., G. Strbac, F. van Oberbeeke, A. I. Androutsos, Z. Larrabe, J. T. Saraiva. Investigation of Regulatory, Commercial, Economic and Environmental Issues in MicroGrids. Proc. of International Conference on Future Power Systems, Nov. 2005, 1-6.
  7. Puttgen, H. B., P. R. MacGregor, F. Lambert. Distributed Generation: Semantic Hype or the Dawn of a New Era. – *Power and Energy Magazine, IEEE*, 1, 2003, No. 1, 22-29.
  8. Saad, W., Z. Han, H. V. Poor and T. Basar. Game Theoretic Methods for the Smart Grid. – *Information Theory*, 8, 2012, No. 1-2, 1-177.
  9. Tuladhar, A., H. Jin, T. Unger, K. Mauch. Control of Parallel Inverters in Distributed AC Power Systems with Consideration of line impedance effect. – *IEEE Trans. on Industry Applications*, 36, 2000, No. 1, 131-138.
  10. U.S. Department of Energy. Smart Grid: <http://www.oe.energy.gov/smartgrid.htm>.
  11. Zhang, Y., N. Gatsis, G. B. Giannakis. Risk-constrained Energy Management with Multiple Wind Farms. Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2013 IEEE PES, 2013, 1-6.
  12. Zhao, B., X. Zhang, P. Li, K. Wang, M. Xue and C. Wang. Optimal Sizing, Operating Strategy and Operational Experience of a Stand-alone Microgrid on Dongfushan Island. – *Applied Energy*, 113, 2014, 1656-1666.
  13. Энергосберегающие технологии. Smart Microgrids – интеллектуальные сети. [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:Smart\\_Grid\\_\(%D0%A3%D0%BC%D0%BD%D1%8B%D0%B5\\_%D0%A1%D0%B5%D1%82%D0%B8\)](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:Smart_Grid_(%D0%A3%D0%BC%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%A1%D0%B5%D1%82%D0%B8)).
  14. <https://www.wbdg.org/resources/distributed-energy-resources-der>.
  15. Mohamed A. Ahmed, Yong Cheol Kang, Young-Chon Kim. Communication Network Architectures for Smart-House with Renewable Energy Resources. [https://www.researchgate.net/publication/281103124\\_Communication\\_Network\\_Architectures\\_for\\_Smart-House\\_with\\_Renewable\\_Energy\\_Resources/link/55d5407108ae6788fa352c6a/download](https://www.researchgate.net/publication/281103124_Communication_Network_Architectures_for_Smart-House_with_Renewable_Energy_Resources/link/55d5407108ae6788fa352c6a/download).

За контакти:

Гл. ас. д-р **Върбинка Стефанова-Стоянова**  
 Катедра "Компютърни системи"  
 Факултет "Компютърни  
 системи и технологии"  
 Технически университет – София  
 e-mail: [vvstoyanova@tu-sofia.bg](mailto:vvstoyanova@tu-sofia.bg)  
**Инж. Красимир Стоянов**  
 Изпълнителен секретар  
 на Съюза на инженерите  
 в България  
 e-mail: [kratech@gmail.com](mailto:kratech@gmail.com)