

Список використаних джерел

1. Денисов А. И. Вентильные преобразователи в системах точной стабилизации / А. И. Денисов, В. М. Зволинский, Ю. В. Руденко. – К. : Наукова думка, 1995. – 250 с.
2. Денисов А. И. Оптимизация системы с глубокой широтно-импульсной модуляцией по минимуму суммарной ошибки / А. И. Денисов, Р. В. Заровский, С. А. Иванец // Технічна електродинаміка. – 2006. – Ч. 7. – С. 81-84.
3. Денисов Ю. А. Анализ ошибки системы стабилизации с широтно-импульсной модуляцией при глубоком регулировании / Ю. А. Денисов, Р. В. Заровский // Технічна електродинаміка. – 2005. – № 6. – С. 19-23.
4. Дискретные нелинейные системы / А. Д. Аверина, А. Н. Герасимов, С. П. Забродин и др. ; под ред. Ю. И. Топчеева. – М. : Машиностроение, 1982. – 312 с.
5. Заровський Р. В. Аналіз похибки регулювання в системі стабілізації високої точності з використанням функціональних рядів Вольтерра-Вінера / Р. В. Заровський, М. Г. Остапов // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2007. – № 28. – С. 229-236.
6. Цыпкин Я. З. Теория линейных импульсных систем / Я. З. Цыпкин. – М. : Физматгиз, 1963. – 968 с.
7. Цыпкин Я. З. Теория нелинейных импульсных систем / Я. З. Цыпкин, Ю. С. Попков. – М. : Наука, 1973. – 414 с.

УДК 621.316

С.А. Іванець, канд. техн. наук

О.В. Красножон, аспірант

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

РОЗВИТОК ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ “ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ” ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ SMART GRID

Розглянуто основні визначення поняття "інтелектуальна" електрична мережа. Проведено загальний аналіз концепції Smart Grid. Визначено та наведено стисло характеристики основних компонентів та систем, які слід використовувати для її практичної реалізації. Проведено прогнозування основних переваг та недоліків "інтелектуальної" енергетичної системи, реалізованої згідно з цією концепцією.

Ключові слова: "інтелектуальна" електрична мережа, енергетична система, пристрій FACTS, альтернативні джерела енергії, споживачі, концепція, підсистема, розподілена генерація.

Рассмотрены основные определения понятия "интеллектуальная" электрическая сеть. Проведён общий анализ концепции Smart Grid. Определены и кратко охарактеризованы основные компоненты и системы, которые следует использовать для её практической реализации. Проведено прогнозирование основных преимуществ и недостатков "интеллектуальной" энергетической системы, реализованной согласно этой концепции.

Ключевые слова: "интеллектуальная" электрическая сеть, энергетическая система, устройство FACTS, альтернативные источники энергии, потребитель, концепция, подсистема, распределённая генерация.

The principal definition of "smart" electrical grid concept has been examined. The general analysis of "Smart Grid" conception has been done. The main components and systems which should be used for its practical realization are determined and in brief defined. The prognostication of the main merits and demerits of the "smart" power system, implemented in accordance with this conception, has been done.

Key words: "smart" electrical grid, energy system, FACTS device, alternative energy sources, consumer, conception, subsystem, distributed generation.

Вступ. Аналіз сучасного стану електроенергетичної галузі України вказує на гостру необхідність її модернізації та вдосконалення. Ця проблема викликає неабияку зацікавленість у різних наукових колах. Нині існує велика кількість невідкладних проблем та завдань, вирішення яких дозволить модернізувати енергетичну систему країни, вивести її на новий, якісно більш високий рівень, який відповідатиме всім існуючим стандартам та вимогам. Запропоновані та використані раніше підходи та методи побудови електричних мереж не завжди задовольняють сучасні вимоги. У зв'язку з цим сьогодні велика увага приділяється розвитку та вдосконаленню існуючої енергетичної системи України згідно з концепцією "інтелектуальних" електричних мереж Smart Grid.

Концепція "інтелектуальних" електричних мереж вперше була запропонована відносно нещодавно (2005-2006 рр.) у США. Її виникнення зумовлено тим, що існуюча на той момент енергетична система вже не могла повністю забезпечувати швидкий зріст енергоспоживання, одночасне підключення та функціонування різнорідних відновлюваних джерел електроенергії в єдиній електричній мережі, можливість накопичення вже виробленої, але не спожитої електроенергії. Також енергосистема не забезпечувала необхідних показників якості електричної енергії, надійності енергозабезпечення, стабільності функціонування. Слід зазначити, що на необхідність перетворення енергосистеми істотний вплив відіграло стрімке скорочення запасів корисних копалин – джерел електричної енергії, вимоги промислової та екологічної безпеки, створення високоефективних технологій виробництва.

Вперше ідея перетворити електричну мережу на більш "інтелектуальну" одиницю була запропонована у США, оскільки саме ця країна є найбільшим світовим виробником та споживачем електричної енергії. На сьогодні концепція Smart Grid найбільш інтенсивно розвивається в таких країнах, як: Китай, США, Індія, Великобританія, Австралія, Канада, Франція, Німеччина, Росія [1]. Слід зазначити, що головним ініціатором та інвестором робіт з розвитку зазначеної концепції в усіх перелічених країнах світу є виключно держава, хоча, згідно з положеннями концепції, вона дає можливість отримувати значні переваги для споживачів будь-якого масштабу.

Концепція Smart Grid побудови "інтелектуальних" електричних мереж базується на таких головних принципах:

- автоматизація;
- інтеграція;
- контрольованість;
- можливість спостереження.

На жаль, на сьогодні термін "інтелектуальна" електрична мережа ще не набув єдиного загальноприйнятого тлумачення в наукових колах різних країн світу.

Аналіз існуючих визначень поняття "інтелектуальна" електрична мережа. Серед найпоширеніших існуючих визначень можна виділити такі.

Згідно з визначенням, що наводиться Міністерством електричної енергетики США, "інтелектуальна" електрична мережа – це повністю автоматизована система, що забезпечує двосторонній потік електричної енергії та всієї необхідної інформації між енергетичними об'єктами на всій місцевості, де вона розгорнута [2].

У країнах Євросоюзу під цим терміном слід розуміти таку електричну мережу, що задовольняє всі вимоги енергоефективного та економічного функціонування енергосистеми завдяки скоординованому управлінню та за допомогою двосторонніх комунікацій між елементами електричної мережі – електростанціями, джерелами та акумуляторами електричної енергії та її споживачами [3].

За визначенням NETL (The National Energy Technology Laboratory USA), "інтелектуальна" електрична мережа – це сукупність організаційних змін, нової моделі процесів, рішень у галузі автоматизованих систем управління технологічними процесами та диспетчерського керування в електроенергетиці [4].

Однак, на наш погляд, найбільш загальне та технічно повне визначення зазначеного поняття було сформульовано вченими інституту IEEE (The Institute of Electrotechnic and Electronic Engineers). Так, згідно з їхнім визначенням – це повністю інтегрована саморегульована та самовідновлювана електроенергетична система, що має мережну топологію та включає у себе всі джерела генерації, магістральні та розподільчі мережі та всі види споживачів електроенергії, керування якими здійснюється за допомогою єдиної мережі інформаційно-управляючих пристроїв та систем у реальному масштабі часу [5].

На основі проведеного аналізу наведених визначень, можна зробити висновок, що, по суті, "інтелектуальна" електрична мережа об'єднує у собі не одну, а дві мережі – електричну та інформаційно-керуючу, які тісно взаємодіють між собою та функціонують одночасно. Причому управління та контроль кожного з приладів електричної мережі здійснюється за допомогою необхідних "інтелектуальних" пристроїв, об'єднаних в єдину інформаційно-керуючу мережу [6; 7].

Мета статті. Аналіз наведених визначень поняття "інтелектуальна" електрична мережа вказує на те, що перетворення енергетичної системи будь-якої країни на більш "інтелектуальну" полягає у глибинних змінах багатьох галузей людської діяльності. Зокрема, воно включає розроблення повністю нового апарату регулювання юридичних та економічних відносин між постачальниками та споживачами електричної енергії, створення енергетичних ринків, нових моделей обліку та тарифікації наданих послуг. Виникає необхідність модернізації існуючих та розроблення принципово нових пристроїв та установок на всіх рівнях "інтелектуалізації" енергетичної мережі. Галузь автомобілебудування може бути істотно змінена за рахунок розроблення екологічно чистих видів транспорту – електромобілів (згідно з поширеною нині ідеєю V2G – Vehicle to Grid), які дозволяють знизити рівень забруднення довкілля.

Незважаючи на необхідність внесення такої великої кількості змін, процес перетворення енергетичних систем на більш "інтелектуальні" захоплює щороку все більше й більше країн світу. Наприклад, у Росії офіційно розроблена і виконується загальнонаціональна програма з перетворення енергетичної галузі згідно з цією концепцією [8].

Отже, метою статті є огляд основних положень концепції Smart Grid, розбудови "інтелектуальних" електричних мереж, основних систем технічних та інформаційних засобів, необхідних для практичного впровадження "інтелектуальних" мереж, а також визначення та прогнозування переваг і недоліків втілення цієї концепції з метою можливого подальшого аналізу придатності її використання для модернізації енергетичної системи нашої країни.

Виклад основного матеріалу. Вище зазначалось, що "інтелектуальна" електрична мережа має функціонувати в режимі реального часу, адже це є однією з найголовніших умов її використання. Така можливість забезпечується за рахунок певної організації саме інформаційної мережі, а не електричної. Топологія такої інформаційної мережі наведена нижче на рис. 1. З нього можна побачити, що інформаційна мережа складається з двох рівнів – локального та глобального. Кожен з цих рівнів, якщо потрібно, також може ділитися на підрівні [9].

Локальний рівень представлено інформаційними мережами рівня електричної станції/підстанції. Кожна електрична підстанція має свою внутрішню високошвидкісну локальну обчислювальну мережу (ЛОМ). Головним її завданням є організація двостороннього обміну інформацією між центральним керуючим сервером та всім необхідним обладнанням: пристроями вимірювання (давачами) та виконуваними пристроями – пристроями регулювання, контролю, захисту та ін. Через особливість стану середовища електричної підстанції дуже часто така інформаційна мережа розробляється відповідно до необхідних промислових стандартів. Центральний сервер підстанції виконує зчитування інформації з обладнання, її оброблення та зберігання, обмін даними з мережами глобального рівня, а також формує необхідні впливи для управління електричними приладами підстанції [10].

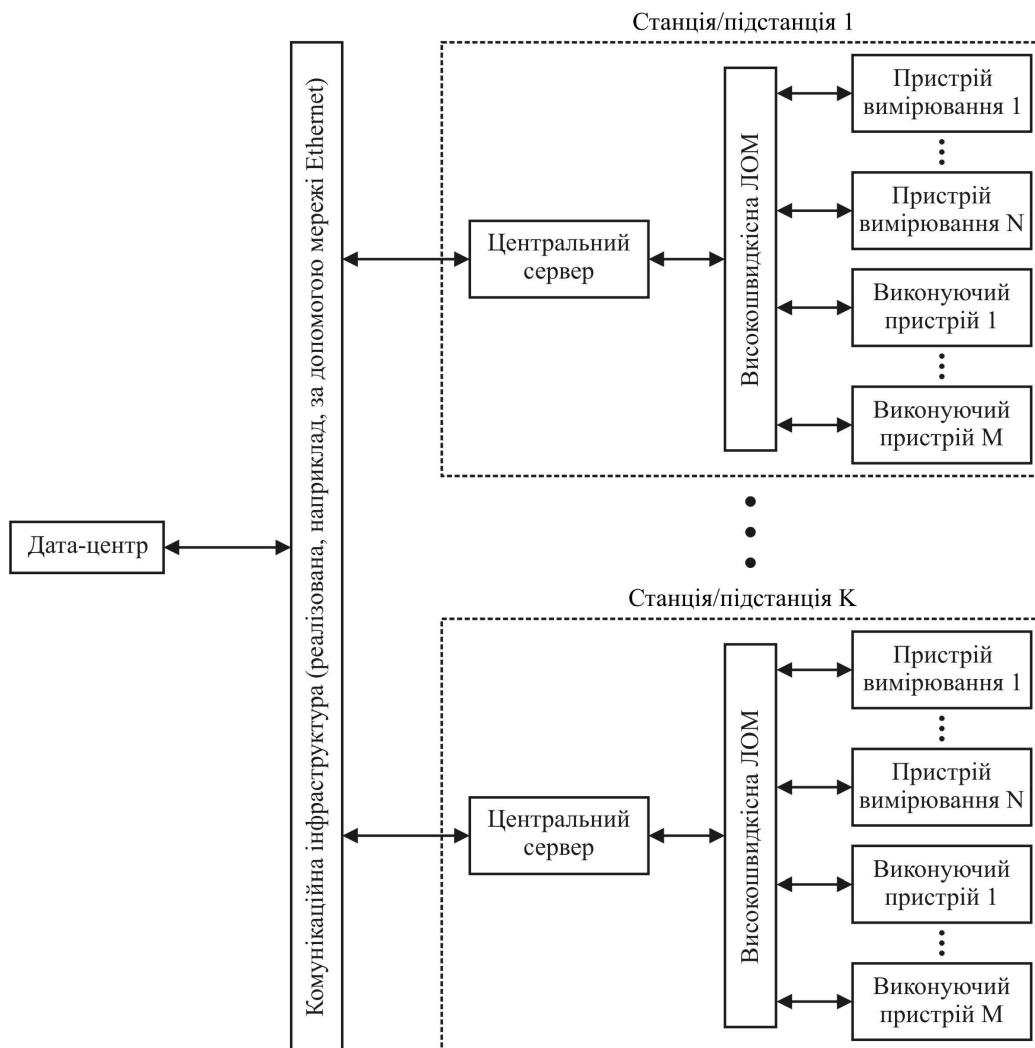


Рис. 1. Топологія інформаційної мережі згідно з концепцією Smart Grid

Глобальний рівень інформаційної мережі здійснює об'єднання керуючих серверів локального рівня (або інших інформаційно-керуючих пристроїв) в єдину високошвидкісну обчислювальну комп'ютерну мережу. Наприклад, їх можна з'єднати в мережу Ethernet відповідної топології за допомогою пристроїв комутації та маршрутизації інформаційних пакетів. Така глобальна мережа підпорядковується центру управління, так званому дата-центру (data-center). Саме він виконує обробку всього наявного обсягу інформації та прийняття необхідних рішень з управління приладами електричної мережі різного рівня залежно від багатьох чинників. Залежно від площі території, на якій необхідно розгорнути інтелектуальну мережу, дата-центри можуть об'єднуватися у центри ще більш високого рівня.

Очевидно, що центр керування, реалізований на кожному з рівнів, повинен мати достатню обчислювальну потужність, пропускну спроможність обчислювальної мережі, резервні обчислювальні потужності та ін. Адже головним завданням будь-якого центру керування є забезпечення безперешкодного функціонування SCADA-системи (Supervisory Control and Data Acquisition) та інших допоміжних програмно-апаратних комплексів, складність яких зростає досить нелінійно залежно від масштабу центру управління [11].

Слід зауважити, що така "сильно розгалужена" структура інформаційної мережі у вигляді "дерева" дозволяє забезпечити можливість масштабування "інтелектуальної" електричної мережі (під час розгортання мережі на великих територіях). Однак це приводить до

значного підвищення часу реакції такої мережі на події та процеси, які протікають усередині неї, що може негативно відбиватися на роботі самої ж мережі. Крім того, така структура може істотно знижувати надійність функціонування електричної мережі [12].

Розглянемо далі основні компоненти та системи, які необхідно використовувати під час побудови "інтелектуальних" електричних мереж.

Практична реалізація концепції Smart Grid. Нижче на рис. 2 зображено топологію розподіленої "інтелектуальної" електроенергетичної системи масштабу міста згідно з концепцією Smart Grid. Неважко помітити, що така енергосистема істотно відрізняється від тих, що існують нині.

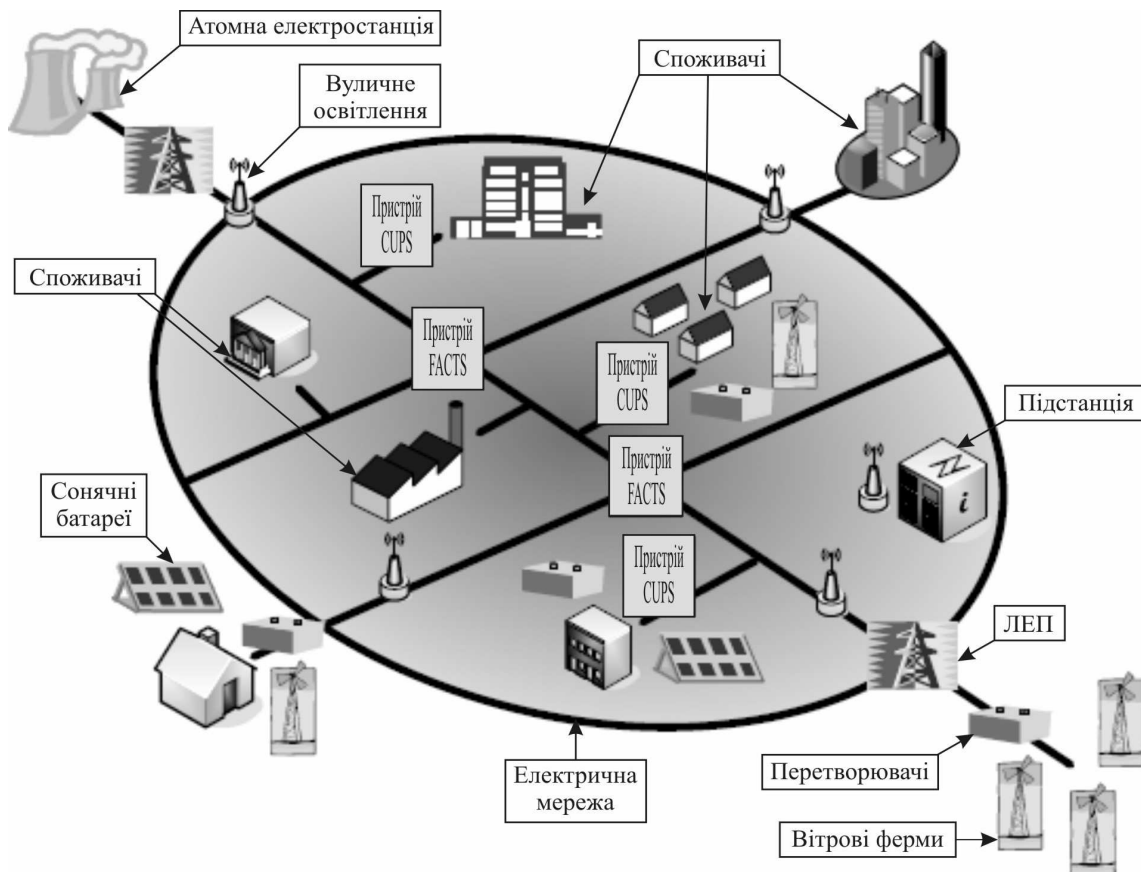


Рис. 2. Топологія "інтелектуальної" енергетичної системи масштабу міста

Згідно з підходами, що існували до появи концепції Smart Grid, будь-яку електричну мережу (та енергосистему в цілому) розробляли таким чином, щоб вона була зосередженою та одноранговою. По суті, це означало, що в такій мережі існує лише 2 великих класи пристроїв – джерела електричної енергії (потужні електростанції з різним типом генерації – теплові, гідроакumuлюючі, атомні) та споживачі електричної енергії різного масштабу. Сама ж електрична енергія в таких мережах передавалась лише від джерел до споживачів. Причому одне джерело, як правило, постачало енергію декільком споживачам. Всі джерела електроенергії об'єднуються в єдину мережу за допомогою необхідних пристроїв узгодження.

Такі електричні мережі характеризуються багатьма істотними недоліками, які стали все більше проявлятися останнім часом. Ось лише деякі з них [13]:

- стан споживача електричної енергії, а також процеси, що протікають у ньому, є маловідомими для джерела, що призводить до нестабільної роботи та виникнення різних аварійних ситуацій;
- відсутність систематичного контролю в роботі електричної мережі для своєчасного виявлення перебоїв та відмов обладнання, обривів ліній електропередач;

- висока собівартість електричної енергії через недостатню ефективність її генерації та передачі;
- відсутність механізмів накопичення інформації про час та обсяги споживання для раціоналізації процесу споживання та зниження навантаження на мережу живлення (що є особливо критичним у часи пікового споживання).

На відміну від викладеного вище, топологія "інтелектуальної" мережі, зображеної на рис. 2, дозволяє інтегрувати в єдину мережу відновлювані джерела електричної енергії різної потужності, а також велику кількість споживачів, що мають різний характер навантаження (індуктивне, активне, ємнісне) [14].

Таким чином, найголовніша проблема практичної реалізації "інтелектуальної" енергетичної системи з вказаною топологією полягає у розробленні та підключенні обладнання, яке б дозволяло підключати до електричної мережі будь-які пасивні та активні компоненти, узгоджувати та контролювати режими їх роботи завдяки обробці великого обсягу інформації про стан функціонування пристроїв у режимі реального часу [15].

Для вирішення цієї проблеми використовуються такі системи:

- FACTS – Flexible Alternating Current Systems – "гнучкі системи передачі змінного струму" (в російськомовній літературі дуже часто вживається термін "гнучкі лінії передачі змінного струму");
- CUPS – Custom Power Systems – енергетичні системи з можливістю налаштування під потреби споживача;
- AS – Ancillary Services – допоміжні підсистеми.

Головною метою використання допоміжних підсистем є забезпечення стабільності, ефективності та надійності "інтелектуальної" електричної мережі в цілому, запобігання виникненню можливих перебоїв та аварійних ситуацій, акумулювання виробленої електричної енергії, підвищення її якості. Саме ці підсистеми знаходяться під безпосереднім управлінням оператора мережі. Серед допоміжних підсистем можна виділити такі:

- DG – Distributed Generation – підсистема розподіленої генерації електричної енергії;
- PFC – Power Flow Control – підсистема управління потоком потужності;
- ESS – Energy Storage System – підсистема акумулювання електричної енергії.

Розглянемо більше детально кожен із наведених систем та підсистем.

Гнучкі системи передачі змінного струму. Системи FACTS використовуються, в основному, для підвищення якісних та кількісних показників роботи ЛЕП (ліній електропередачі). По суті, вони являють собою сучасні потужні мікропроцесорні підсистеми, що здійснюють управління приладами силової електроніки, якими обладнуються ЛЕП. Мікропроцесорні підсистеми можуть одночасно підключатися і до інформаційної мережі з метою забезпечення оператора мережі всією необхідною інформацією в режимі реального часу [16].

Нижче на рис. 3 представлено узагальнену структуру пристроїв системи FACTS. Такий пристрій складається зі: статичного джерела реактивної потужності (як ємнісного, так і індуктивного характеру), схеми вимірювання електричних параметрів (підключається безпосередньо до ЛЕП) та системи управління. З рис. 3 очевидно, що обмін реактивною потужністю між таким пристроєм та енергосистемою є двостороннім [11].

Пристрій FACTS може підключатися до ЛЕП практично у будь-якому місці, але частіше за все його підключають до однієї із фаз трансформатора підстанції. Завданням схеми вимірювання електричних параметрів є визначення характеру навантаження в лінії та його величини. Причому такі вимірювання здійснюються через дуже короткі проміжки часу, оскільки режим роботи ЛЕП може змінюватися дуже швидко. Залежно від результатів вимірювання система управління комутує до ЛЕП джерело реактивної потужності протилежного характеру (наприклад, якщо характер навантаження лінії ак-

тивно-ємнісний, то до неї слід підключити джерело реактивної потужності тієї ж величини, але індуктивного характеру) [17].

Таким чином, система управління вирішує завдання комутації джерела реактивної потужності необхідного характеру та номіналу і відстеження перехідних процесів, що протікають у ЛЕП. Як алгоритми функціонування таких систем можуть використовуватися, наприклад, генетичні алгоритми, оскільки вони дозволяють відшукати оптимум (мінімум або максимум) необхідної величини для функції багатьох змінних (параметрів, що описують стан електричної мережі) [18].

Як альтернативні алгоритми функціонування можуть також виступати алгоритми "нечіткої" логіки (fuzzy logic), які до того ж можуть виконуватися за допомогою штучних нейронних мереж, що дозволить спростити їх налаштування та підвищити швидкість виконання [19].

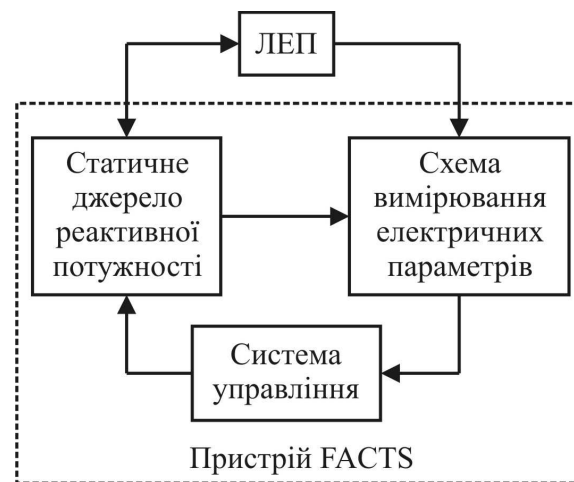


Рис. 3. Узагальнена структура пристроїв системи FACTS

Використання приладів FACTS дозволяє перетворити звичайні ЛЕП із пасивних приладів передачі електроенергії в активні, тобто значно підвищити ступінь їх керованості. В такому випадку одночасно забезпечується не тільки передача електричної енергії, а й регулювання режимів роботи ЛЕП – регулювання рівня напруги, коректування коефіцієнта потужності, компенсація реактивної потужності, регулювання пропускної спроможності лінії в режимі реального часу.

Як відомо, реактивна потужність – це така потужність, що споживається реактивними елементами електричних кіл змінного струму (індуктивностями та ємностями), вона не виконує ніякої корисної роботи і лише циркулює між реактивними елементами, тому очевидно, що зниження обсягів циркуляції реактивної потужності через ЛЕП дозволить підвищити їх пропускну спроможність та знизити втрати електричної енергії при її передачі через ЛЕП.

Результати практичного впровадження пристроїв FACTS в існуючі електричні мережі вказують на можливість підвищення пропускної спроможності ЛЕП приблизно на 20 % та зниження втрат електричної енергії при передачі майже на 40 % [13].

Енергетичні системи з можливістю налаштування. Ідея створення енергетичних систем з можливістю налаштування під потреби споживача виникла внаслідок спроби вирішення проблем низької якості енергопостачання та вирівнювання "піків" енергоспоживання, що виникають у певний час протягом доби.

У складі "інтелектуальної" електричної мережі ці системи тісно взаємодіють з FACTS та допоміжними підсистемами. Їх найголовніше завдання – управління навантаженням: саме вони здійснюють автоматичне включення-відключення споживачів від

Розподілена генерація електричної енергії. Узагальнену структуру установки розподіленої генерації електричної енергії зображено на рис. 5.

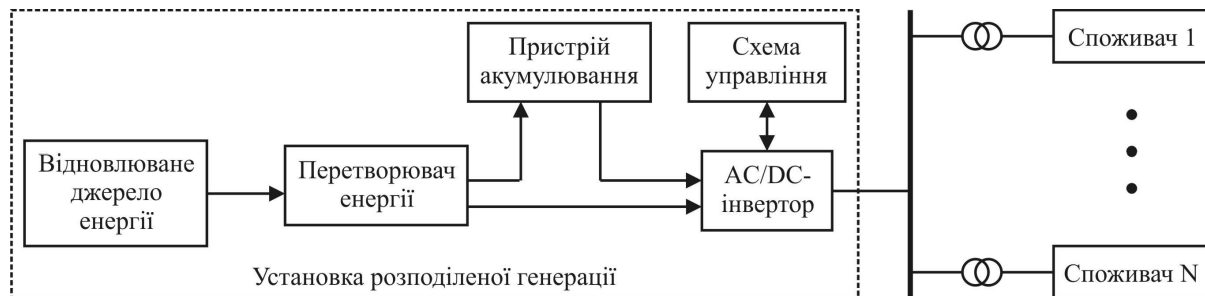


Рис. 5. Узагальнена структура установки розподіленої генерації

До складу такої установки входять: відновлюване джерело енергії, перетворювач енергії джерела в енергію необхідного виду або форми, пристрій акумулювання електричної енергії, перетворювач постійної напруги у змінну, "інтелектуальна" схема управління перетворювачем. Споживачі електроенергії можуть підключатися до енергосистеми за допомогою пристроїв узгодження, наприклад, трансформаторів.

Як відновлювані джерела енергії можуть виступати вітрові електростанції (вітрові ферми), сонячні батареї, гідроелектростанції, геотермальні джерела та ін. Після здійснення перетворення енергії джерела до необхідного виду (наприклад, з механічної в електричну) або форми (під час використання сонячних батарей), її можна або накопичувати у спеціальних пристроях акумуляції, або передавати в електричну мережу.

Оскільки існуючі у світі енергетичні системи працюють саме на змінному струмі, то виникає необхідність використання перетворювачів постійного струму у змінний (так званих DC/AC-інверторів) [22]. Управління роботою такого перетворювача здійснюється відповідною схемою, що входить до складу енергетичних систем з можливістю налаштування (їх було розглянуто вище).

Із сказаного вище слід зауважити, що:

- розміщення джерел розподіленої генерації якомога ближче до споживачів дозволить зменшити втрати електричної енергії під час передачі [23];
- відновлювані джерела енергії все ж істотно програють стаціонарним електростанціям за обсягами генерації електроенергії, її якості та стабільності генерації;
- використання джерел розподіленої генерації дозволяє знизити навантаження на електричну мережу та заощадити використання горючих корисних копалин.

Слід зазначити, що істотним недоліком розглянутої установки розподіленої генерації є значні втрати енергії, що відбуваються у процесі її перетворень [24].

Підсистема акумулювання електричної енергії. Підсистеми акумулювання електричної енергії відіграють ключову роль у забезпеченні стабільності роботи всієї енергетичної системи, адже вони дозволяють накопичувати вже вироблену електроенергію з метою подальшого її використання, підвищуючи при цьому ефективність використання корисних копалин та вирівнюючи піки навантаження на енергосистему [25]. Класичний приклад такої підсистеми – гідроакумулююча електростанція (ГАЕС).

Однак, згідно з концепцією Smart Grid, з метою акумуляції електроенергії можуть використовуватися більш сучасні та ефективні методи. Наприклад, для цього можна використовувати підземні шахти та пустоти. Коли загальний рівень енергоспоживання низький, електричний компресор стискає та нагнітає повітря у підземну шахту. У часи пікового споживання компресор вимикається, а розігріте повітря піднімається на поверхню, де у спеціальному теплообміннику нагріває воду до агрегатного стану пари, яка згодом крутить лопаті турбіни генератора.

Інший принцип акумуляції електроенергії базується на здатності деяких матеріалів до надпровідності. Для такого принципу акумуляції використовується котушка індуктивності, обмотка якої виготовлена з надпровідного матеріалу, а також кріостат – холодильник (оскільки в більшості матеріалів надпровідність проявляється при істотно низьких температурах).

Слід зауважити, що кожний із принципів акумуляції має свої суттєві недоліки:

- необхідність відчуження великих земельних площ, будівництво гребель та водосховищ на річках (під час використання ГАЕС);
- суттєве теплове забруднення навколишнього середовища;
- відносно низька потужність надпровідників (1 МВт протягом 3 секунд) порівняно з установками інших принципів акумуляції, а також складність виготовлення кріостатів та висока вартість надпровідних матеріалів.

Висновки. Нині концепція Smart Grid ще повністю не втілена в жодній з країн світу. Однак навіть досвід її часткового впровадження дозволяє зробити прогнози стосовно того, які переваги та недоліки вона може мати, а також зробити економічне оцінювання придатності використання ідей цієї концепції під час вдосконалення енергетичної системи нашої країни. Беручи до уваги викладений вище матеріал, можна виділити такі переваги:

- скорочення матеріальних витрат на побудову нових електростанцій за допомогою істотного підвищення ефективності функціонування вже існуючих;
- скорочення матеріальних витрат на технічне обслуговування та підтримку існуючих електричних мереж;
- скорочення часу простою в роботі електричної мережі після виникнення аварійних ситуацій завдяки здатності обладнання до повного або часткового самовідновлення;
- підвищення загальної надійності функціонування електричної мережі за рахунок підвищення її стійкості до збурень різного роду, наприклад, до коливань напруги, навантаження та ін.;
- зниження втрат електричної енергії в ЛЕП, а також збільшення обсягів її транзиту без побудови нових об'єктів інфраструктури електричної мережі завдяки використанню пристроїв FACTS;
- забезпечення більш рівномірного розподілення навантаження на електростанції (особливо на час пікового споживання електричної енергії) за рахунок комутації пристроїв акумуляції та завдяки використанню установок розподіленої генерації;
- зниження негативного впливу роботи електричних мереж на екологічний стан довкілля;
- сприяння розвитку та поширенню технологій екологічно чистого транспорту – електромобілів;
- сприяння розвитку та поширенню технологій "розумного" помешкання, "розумного" міста та ін.;
- зниження собівартості генерації та передачі електричної енергії для кінцевого споживача будь-якого масштабу;
- забезпечення можливості збору якомога більшої кількості інформації про стан роботи будь-якого вузла електричної мережі в режимі реального часу для здійснення більш гнучкого контролю та управління всією електроенергетичною системою;
- виявлення та запобігання псуванню мережного обладнання та крадіжки електричної енергії за допомогою моніторингу роботи мережі в реальному масштабі часу.

Однак не слід забувати, що втілення концепції Smart Grid також може мати значені нижче суттєві недоліки:

- істотне (близько 30 %) підвищення загального рівня споживання електричної енергії, спричинене необхідністю застосування великої кількості додаткового "розумного" обладнання (приладів управління, контролю, збору, збереження, обробки, передачі даних та ін.);
- неможливість забезпечення повного захисту "інтелектуальної" електричної мережі від зазіхань з боку злоумисників у зв'язку з неможливістю забезпечення абсолютного захисту даних, які передаються через інформаційну мережу (яка навіть за умов використання існуючих протоколів кодування та шифрування все одно не є безпечною);
- втрати електричної енергії у випадку генерації її за допомогою використання відновлюваних джерел енергії через необхідність здійснення різних перетворень енергії;
- можливість появи нестабільності у роботі всієї енергосистеми, що викликана зниженням обсягів електричної енергії, що генерується відновлюваними джерелами, через несприятливі погодні умови;
- необхідність значних матеріальних витрат для розвитку вказаної концепції в Україні (наприклад, приблизна вартість закупівлі силового обладнання для електричної мережі без збільшення обсягів генерації енергії становить 500 млн доларів) [26].

Список використаних джерел

1. *Smart Power Grids – Talking about a Revolution*. IEEE Emerging Technology Portal, 2009.
2. «*Grids 2030*». A National Vision for Electricity's Second 100 years. Office of Electric Transmission and Distribution of USA Department of Energy, 2003.
3. *European Commission Directorate-General for Research Information and Communication Unit European Communities: «European Technology Platform Smart Grids, Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the future»*, European Communities, 2006.
4. *The National Energy Technology Laboratory: «A vision for the Modern Grid»*, March 2007.
5. *Office of Electricity Delivery & Energy Reliability [Electronic resource]*. – Access mode : <http://energy.gov>.
6. *News and analysis for the modernization and automation of electric power [Electronic resource]*. – Access mode : <http://www.smartgridnews.com>.
7. *Management and Control of Domestic Smart Grid Technology / Moldernik A., Bakker V., Bosman M. G. C., Hurink J. L., Smit C. G. M. // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2010. – № 2. – P. 375-381.*
8. *Гуревич В. И. Интеллектуальные сети: новые перспективы или новые проблемы? / В. И. Гуревич // Энергорынок. – 2010. – № 6. – С. 62-66.*
9. *Anjan Bose. Smart transmission grid applications and their supporting infrastructure. – Washington State University. – 18 p.*
10. *Kenneth P. Birman, Lakshmi Ganesh, Robert van Renesse. Running Smart Grid Control Software on Cloud Computing Architectures. – 27 p.*
11. *Забезпечення надійності функціонування та стійкої роботи інтелектуальних енергетичних систем / С. П. Денисюк, П. Й. Тарасевич, О. В. Сподинський та ін. // Праці ІЕД НАНУ. – 2010. – № 27. – С. 27-33.*
12. *Melike Erol-Kantarci, Hussein T. Mouftah. Demand Management and wireless Sensor Networks in the Smart Grid // Energy management systems. – 22 p.*
13. *Стогній Б. С. Интеллектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, С. П. Денисюк // Технічна електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 44-50.*
14. *The European Technology Platform for Electricity Networks of the Future [Electronic resource]*. – Access mode : <http://www.smartgrids.eu>.
15. *Khosrow Moslehi. Smart Grid – A Reliability Perspective / Moslehi Khosrow, Kumar Ranjit // Innovative Smart Grid Technologies. – 2010. – № 2. – P. 375-381.*
16. *Haibo He. Toward a Smart Grid: Integration of computational intelligence into Power Grid / He Haibo // Neural Networks. – 2010. – № 1. – P. 1-6.*

17. *Dapeng Wu*. Fault-Tolerant and Scalable Key Management for Smart Grid / Wu Dapeng, Zhou Chi // *IEEE Transactions on Smart Grid*. – 2010. – № 2. – P. 375-381.
18. *Ramaswamy P. C.* Relevance of voltage control, grid reconfiguration and adaptive protection in smart grids and genetic algorithm as an optimization tool in achieving their control objectives / P. C. Ramaswamy, G. Deconick // *Networking, Sensing and Control*. – 2011. – № 1. – P. 26-31.
19. *Рутковская Д.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечёткие системы / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский ; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
20. *Metke A. R.* Security Technology for Smart Grid Networks / A. R. Metke, R. L. Ekl // *IEEE Transactions on Smart Grid*. – 2010. – № 1. – P. 99-107.
21. *Yanmei Li*. The Fuzzy Neural Network Model of Smart Grid Risk Evaluation Based on Bayes / Li Yanmei, Wang Jingmin, Li Shuangtao // *Journal of Computers*. – 2011. – № 1. – P. 90-97.
22. *Erol-Kantarci M.* Wireless Sensor Networks for Cost-Efficient Residential Energy Management in the Smart Grid / M. Erol-Kantarci, H. T. Mouftah // *IEEE Transactions on Smart Grid*. – 2010. – № 2. – P. 314-325.
23. *Ковальчук О. А.* Оптимізація схем приєднання розосереджених джерел електроенергії в локальній електричній системі / О. А. Ковальчук, В. В. Кулик, О. Б. Бурикін // *Технічна електродинаміка*. – 2012. – № 3. – С. 27-28.
24. *Security Technology for Smart Grid Networks / A. Moldernik, V. Bakker, M. G. C. Bosman, J. L. Hurink, G. J. M. Smit* // *IEEE Transactions on Smart Grid*. – 2010. – № 2. – P. 109-119.
25. *Raju A. D. J.* Recurrent neural network for faulty data identification in smart grid / A. D. J. Raju // *Recent Advancements in Electrical, Electronics and Control Engineering*. – 2011. – № 1. – P. 303-308.
26. *Жуйков В. Я.* Силовая электроника в смарт-сетях / В. Я. Жуйков // *Технічна електродинаміка*. – 2012. – № 3. – С. 49-50.

УДК 621.3.05

А. Л. Приступа, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ БЕЗКОНТАКТНОЇ ПІДЗАРЯДКИ АКУМУЛЯТОРІВ ІМПЛАНТОВАНИХ ЕЛЕКТРОПРИЛАДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕСЛІВСЬКИХ ПРОЦЕСІВ

Наведено результати експериментальних досліджень теслівських процесів щодо бездротової передачі енергії для підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів. Показано, що відхилення результатів математичного моделювання від експериментальних не перевищує 5 % у робочому діапазоні. Виділено напрями подальших досліджень щодо створення ефективних систем безконтактної підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів.

Ключові слова: бездротова передача енергії, підзарядка акумулятора, імплантовані електроприлади.

Приведены результаты экспериментальных исследований тесловских процессов при беспроводной передаче энергии для подзарядки аккумуляторов имплантируемых электроприборов. Показано, что отклонение результатов математического моделирования от экспериментальных не превышает 5 % в рабочем диапазоне. Выделены направления дальнейших исследований для создания эффективных систем бесконтактной подзарядки аккумуляторов имплантируемых электроприборов.

Ключевые слова: беспроводная передача энергии, подзарядка аккумулятора, имплантируемые электроприборы.

The results of experimental researches of Tesla processes at wireless transmission of energy to recharge the batteries of implantable electrical appliances. It is shown that the deviation of the results of mathematical modeling from experimental does not exceed 5 % of the operating range. Identified areas for further research to establish effective contactless recharging the batteries of implantable electrical appliances.

Key words: wireless transmission of energy, battery recharge, implantable electrical appliances.

Для перевірки справедливості теорії теслівських процесів щодо бездротової передачі енергії, коли відстань, на яку здійснюється передача енергії, має один порядок з відстанню між передавальними антенами та можливості використання таких схем для підзарядки акумуляторів імплантованих електроприладів, було проведено декілька експериментів. Експериментальна установка для зняття відповідних характеристик наведена на