

С. Я. Бовчалюк<sup>1</sup>  
С. О. Тимчук<sup>1</sup>  
І. О. Фурман<sup>1</sup>  
О. М. Піскаръов<sup>1</sup>

## ПЕРСПЕКТИВИ ПОБУДОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МЕРЕЖ SMART GRID НА БАЗІ ПЛІС-ТЕХНОЛОГІЙ

<sup>1</sup>Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

*Проведено аналіз недоліків та оцінено перспективи розвитку енергосистеми України на базі концепції Smart Grid. Наведено принципи побудови і приклади технічної реалізації технології паралельного логічного керування об'єктами критичного застосування, а також оцінено можливість застосування цієї технології на базі безпечних ПЛІС-контролерів для реалізації інтелектуальних мереж в Україні.*

**Ключові слова:** інтелектуальні мережі, Smart Grid, системи критичного застосування, керувальний автомат паралельної дії, безпечний ПЛІС-контролер.

### Вступ

В останні роки можна спостерігати значні зміни в енергетиці промислово розвинених країн світу. Ці процеси також не минули енергетику України: збільшується питоме споживання енергії на людину; зростає кількість споживаної електричної енергії, включно з виникненням її дефіциту; збільшується навантаження на електричні мережі. Окрім вищевказаних факторів додатковим викликом для енергетичних компаній є стрімкий розвиток так званих «зелених» джерел енергії — вітроелектростанцій, сонячних станцій, тощо. Для цих джерел енергії характерними є: переважно невелика генерована потужність, нестабільність генерованої потужності (добова, погодна, тощо), розосередженість за електричними мережами і ще значна кількість характеристик, які не дозволяють достатньо просто інтегрувати такі джерела до існуючих мереж, без внесення певних змін до організації та обслуговування енергетичного господарства.

За останній рік стрімко збільшується кількість моделей електричних автомобілів, а в деяких державах навіть прийняті рішення про відмову від автомобілів з двигунами внутрішнього згорання у найближчі роки або десятиліття. До того ж намітилась тенденція застосування електромобілів для перерозподілу електроенергії: заряд відбувається у нічні години мінімального навантаження, а надлишок енергії віддається в електромережу в денні години на спеціально обладнаних місцях паркування. Цей фактор додатково впливає на електричні мережі з можливістю у перспективі корекції як добової завантаженості, так і просторової (оскільки заряд відбувається в одній точці електромережі, а розряд в іншій).

Вищевказані виклики (як такі, що вже є в наявності, так і перспективні) додатково накладають на типові технічні проблеми Українських електромереж: більше половини з них мають 100 % знос, недосконалий моніторинг технічного і прогностичного їх стану; якісною електроенергією забезпечено близько 65 % користувачів; тривалість відключень досягає 100 годин і більше (що на порядок вище, ніж у розвинених країнах); втрати при передачі електроенергії неприпустимо великі і сягають 15...20 %, а подекуди і до 40 %. Таким чином, за технічним станом, оснащенням обладнанням, схемним рішенням і методам оптимального керування електромережі України потребують докорінної реконструкції [1]. Одна з теоретичних спроб подолання цих проблем описана в [2], однак в роботі основну увагу приділено оптимізації структури електричної мережі, у той час, як питанням «інформаційної» або «інтелектуальної» їх наповненості уваги практично не приділялось.

Однією із концепцій, яка має ефективно розв'язувати вказані проблеми, є Smart Grid (розумні мережі або розумна енергетика), що можна визначити, як швидкозростаючий комплекс технологій, технологічних процесів, улаштувань та додатків, за допомогою яких створюються електронні комунікації нового покоління [3, 4]. Слід зауважити, що на сьогодні в Україні ця технологія, на

думку авторів, фактично, знаходиться у зачатковому стані, хоча окремі елементи енергосистеми держави можна однозначно характеризувати, як «розумна енергетика». Так можна згадати атомні електростанції: без наявності «інтелекту» об'єкти такого класу просто не можна собі уявити. Однак потрібно зауважити, що вся «інтелектуальність», переважно, носить безпековий характер, оскільки атомна енергетика відноситься до об'єктів критичного застосування, аварії на яких просто неприпустимі, що й показала Чорнобильська трагедія 1986 року. Саме в атомній енергетиці широке застосування знайшли так звані ПЛІС-технології, які дозволяють будувати системи керування і захисту ядерних реакторів із заданими значеннями достовірності обробки інформації, безвідмовності роботи, безпечності функціонування тощо.

Враховуючи вищевказане, з'явилась ідея об'єднати напрацювання науковців і практиків у сферах класичної енергетики і автоматизації об'єктів критичного застосування з метою формування концепції побудови і модернізації інтелектуальних (Smart Grid) електричних мереж з імплементацією ідей паралельної обробки інформації і безпечного керування на базі ПЛІС-технологій.

### Результати дослідження

На думку Європейської Комісії, що займається питаннями розвитку технологічної платформи в області енергетики, Smart Grid можна описати такими аспектами функціонування [5]: гнучкість — мережа має підлаштовуватись під вимоги користувача; доступність — мережа має бути доступною для нових користувачів; надійність — мережа має гарантувати захищеність і якість доставки електроенергії; економічність — найбільшу цінність мають являти інноваційні технології у поєднанні із ефективним керуванням функціонування електричної мережі. Спробуємо проаналізувати існуючі електромережі на відповідність деяким з цих аспектів.

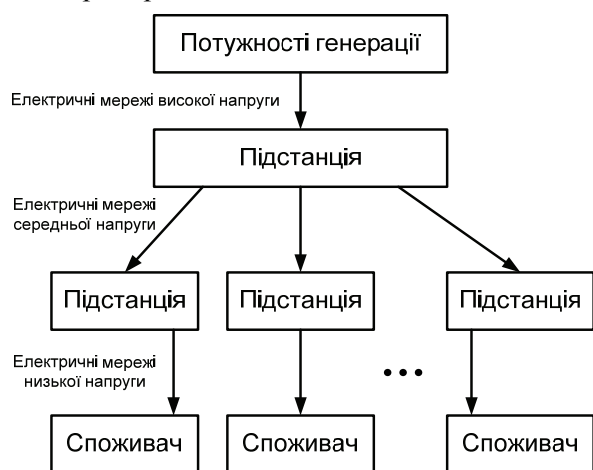


Рис. 1. Узагальнена структура технічного забезпечення електричної мережі

Сучасна електрична мережа України, як власне і мережі більшості інших країн, у більшості являє собою радіальну структуру (рис. 1), яка лише іноді буває закільцьованою [1, 2]. Ця структура є «жорсткою» і такою, що виконує лише функції доставки електричної енергії кінцевому споживачу і певні регуляторно-захисні функції, як такої інтелектуальної складової практично немає. Під регуляторно-захисними функціями автори розуміють лише функції підтримання заданого діапазону напруги і захисту електромережі у випадку виникнення аварійних або нештатних ситуацій. Причому остання функція, фактично, передбачає лише аварійне відключення проблемної ділянки від загальної мережі, з подальшим встановленням причин аварії і її усуненням в ручному або автоматичному (за

наявності технічних засобів) режимі. Через відсутність гнучкості мереж страждає також її доступність, оскільки підключення додаткових споживачів (особливо з достатньо великою потужністю споживання) може вимагати навіть змін у топології мережі. Надійність функціонування мережі складається з великої кількості факторів і детально буде розглядатись у майбутньому (з точки зору інформаційного наповнення мережі), але, з точки зору безперебійного отримання енергії пересічним кінцевим споживачем, вона є недостатньою, на що вже було вказано.

Таким чином, явно назріло питання внесення змін у поточний стан справ, і одним з перспективних напрямків є впровадження концепції Smart Grid. Питаннями інтелектуалізації мереж займається достатньо багато науковців і наукових організацій, але практична реалізація цих ідей є лише епізодичною і носить, на жаль, несистемний характер. Так в роботі [6] запропонована концепція відомчої системи збору метеоданих, що дозволяє автоматизувати збір, обробку і передачу достовірних метеоданих про параметри навколишнього середовища. Подібний підхід пропонується застосувати для формування інформаційної системи, яка б могла виконувати функції збору технічних параметрів роботи електромережі, функції автоматичних перемикачів або відключень в електромережі і в перспективі — функції прогнозування, за можливості, запобігання аномальним або аварійним режимам роботи електромережі.

Технічна реалізація подібної системи вимагає різноманітного обладнання, яке за виконуваними функціями можна умовно поділити на щонайменше чотири великі групи:

- 1) елементи збору інформації (різного роду датчики струмів, напруг, метеопараметрів тощо);
- 2) елементи, що формують зв'язок (дротовий, оптоволоконний, радіо, GSM тощо);
- 3) елементи обробки інформації (контролери, комп'ютери, сервери і т.п.);

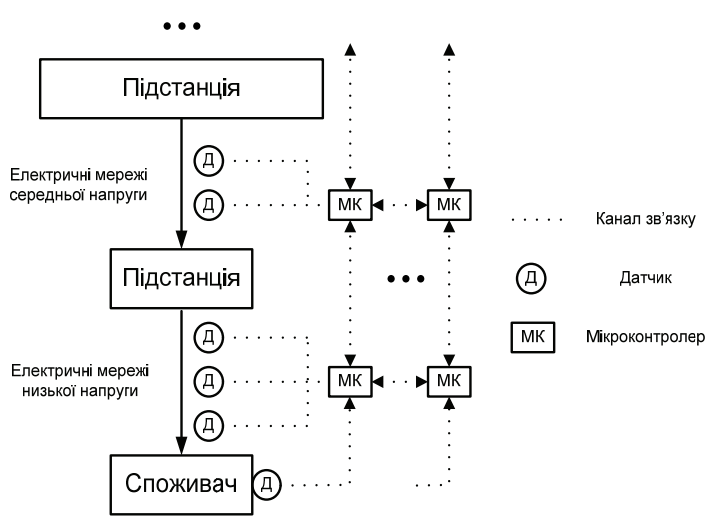


Рис. 2. Частина структури мережі Smart Grid

У роботах І. О. Фурмана, М. Л. Малиновського та ін. показані значні переваги застосування паралельної обробки інформації на базі ПЛІС-технологій для побудови систем керування об'єктами критичного застосування (в атомній енергетиці, залізничному транспорті, авіації, тощо) [7]. Вищезгадані тенденції в енергетиці, на думку авторів, дозволяють не тільки віднести сучасне енергетичне господарство до таких об'єктів, але і запропонувати концепцію побудови інтелектуальних Smart Grid мереж на базі такої технології.

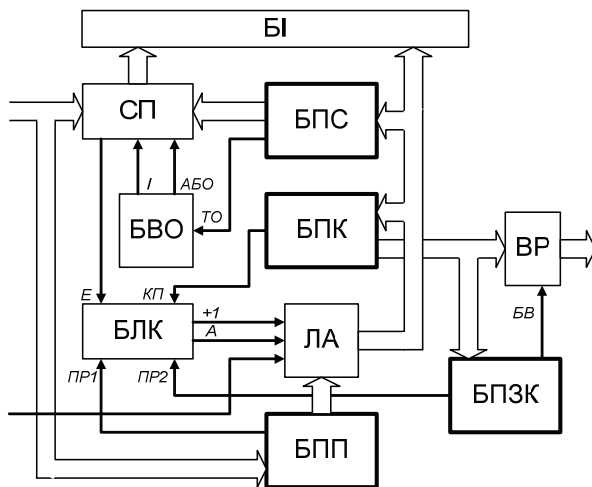


Рис. 3. Структура керувального автомата паралельної дії

ні» комбінації фактичних станів керованого об'єкта і зовнішнього середовища. Для такої структури зовсім нехарактерна така проблема всіх без виключення класичних мікропроцесорних контролерів

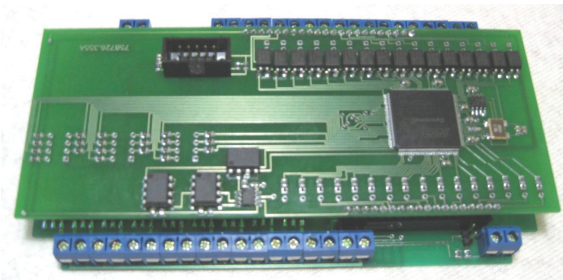


Рис. 4. Загальний вигляд монтажних плат промислового зразка ПЛІС-контролера паралельної дії

- 4) виконавчі елементи (роз'єднувачі, перемикачі та ін.).

У рамках цієї статті особливу увагу приділено третьому з перерахованих елементів, а саме контролерам, які призначені для виконання функцій прийому інформації від, наприклад, датчиків, її попередньої обробки і, або передачі на централізовані пункти обробки і зберігання даних, або безпосереднього керування виконавчими елементами. Саме до цих контролерів мають висуватись найжорсткіші вимоги з безвідмовності роботи, швидкодії і надійності. Фрагмент можливої структури інтелектуальної електричної мережі з розташуванням тільки датчиків і мікроконтролерів показано на рис. 2.

Базова структура керувального автомата паралельної дії показана на рис. 3. Керувальний автомат складається з таких елементів: блока індикації — БІ; схеми порівняння — СП; блока вибору операцій — БВО; блока логічного керування — БЛК; лічильника адреси — ЛА; вихідного регістра — ВР; а також блоків пам'яті станів, команд, переходів і заборонених комбінацій — БПС, БПК, БПП, БПЗК. Принциповою особливістю показаної структури є керування процесом обробки програми потоком вхідних станів, тобто потоком, який формують в асинхронній послідовності інтервалів дискретного автоматного часу «дозволені»

послідовної дії, як «зависання», що позитивно відображається на характеристиках надійності керувальних автоматів. Детально з роботою автоматів подібного класу можна ознайомитись в [7, 8]. Приклад практичної реалізації ПЛК паралельної дії на базі ПЛІС ЕРМ1270Т144 сімейства МАХ ІІ із 16-ма дискретними входами і 16-ма дискретними виходами показано на рис. 4.

В останні роки можна спостерігати за розвитком і ширшим практичним використанням методів і засобів створення систем критичного застосування

(СКЗ) на основі мікроелектронних компонентів паралельної дії із застосуванням ПЛІС. Їх використання дало можливість підвищити швидкодію, надійність, достовірність обробки інформації в СКЗ, а також дозволило підвищити показники безпеки за рахунок усунення ризиків, пов'язаних із застосуванням операційних систем і програмною реалізацією алгоритмів керування відповідальними технологічними процесами. Як приклад реально існуючої СКЗ, яку можна пропонувати як прототип для створення мікроконтролерів для Smart Grid, наводимо безпечний ПЛІС-контролер S4C [7].

Архітектура ПЛІС-контролера S4C показана на рис. 5 і складається з двох каналів, кожен з яких містить функціональний модуль і діагностичну систему, яка у разі виникнення помилок, блокує роботу модуля, тобто ядро логіки, у якому виявлено помилку, і переходить до незворотного захисного стану. Слід зазначити, що такий алгоритм роботи є обов'язковим для забезпечення вимог безпеки СКЗ.

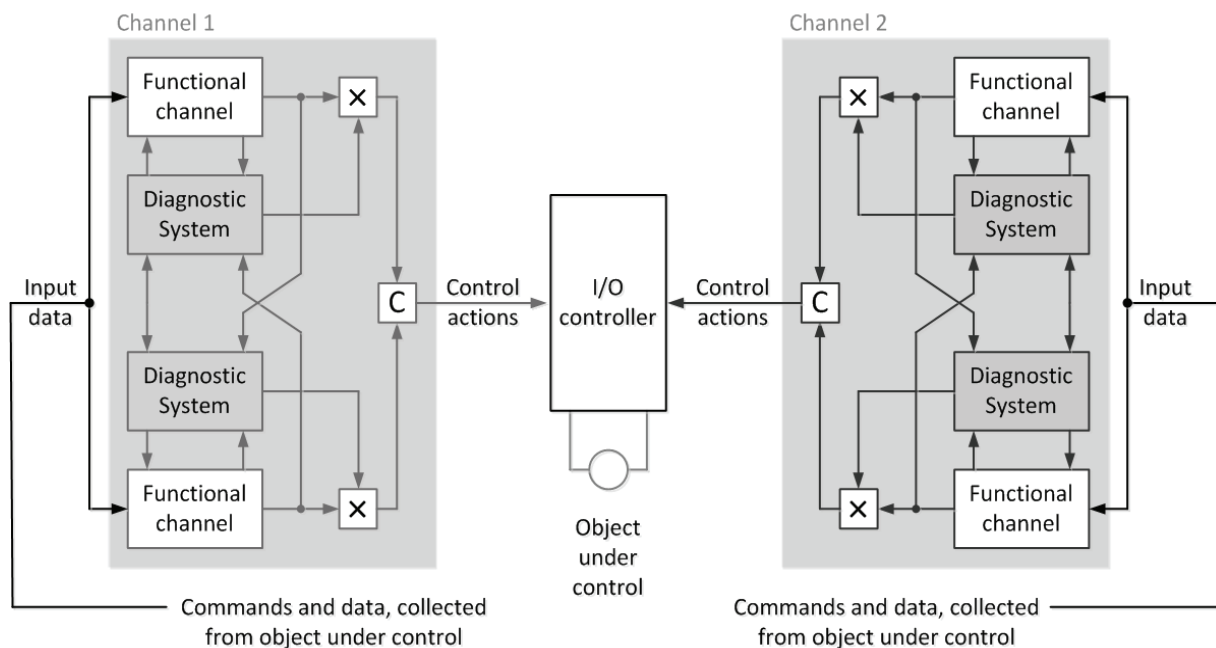


Рис. 5. Архітектура безпечного ПЛІС-контролера S4C

Безпечність ПЛІС-контролера S4C досягається за рахунок: застосування архітектури з двома дубльованими каналами; тестового самодіагностування апаратної частини і цілісності конфігурації ПЛІС; функціональної діагностики під час формування керувальних впливів; використання захищених протоколів обміну даними.

Зовнішній вигляд промислового зразка ПЛІС-контролера S4C, реалізованого для монтажу у касети показана на рис. 6.



Рис. 6. Зовнішній вигляд безпечного ПЛІС-контролера S4C

## Висновки

Проведений аналіз електричних мереж України показав необхідність її модернізації і оновлення. Однією із найперспективніших визнано концепцію Smart Grid. Розгляд технічних засобів реалізації технології паралельної обробки інформації і конкретних промислових зразків, що реалізують СКЗ на залізничному транспорті, показав перспективність застосування цієї технології і в енергетиці. Все це разом дасть можливість підвищити надійність і ефективність функціонування енергосистеми нашої держави.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тимчук С. А. Модели и методы поиска оптимальной структуры сети электроснабжения при нечетко заданных целях : монография / С. А. Тимчук. — Харьков : Факт, 2010. — 219 с.
2. Тимчук С. А. Синтез оптимальной структуры распределительных электрических сетей при неопределенности исходной информации : монография / С. А. Тимчук, Н. М. Черемисин. — Харьков : ООО «В деле», 2016. — 270 с.
3. Дорофеев В. В. Активно-адаптивная сеть — новое качество ЭЭС России / В. В. Дорофеев, А. А. Макаров // Энергоэксперт. — 2009. — № 4 (15). — С. 28—34.
4. Ледин С. С. Интеллектуальные сети Smart Grid — будущее российской энергетики / С. С. Ледин // Автоматизация & IT в энергетике. — 2010. — № 11 (16). — С. 4—8.
5. European Smart Grids Technology Platform. Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. — Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 2006.
6. Формирование ведомственной системы сбора метеоданных в условиях эффективного оптового рынка электроэнергии / [Н. Н. Титов, Н. М. Черемисин, П. Д. Лежнюк и др.] // Праці інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск. Енергетичні ринки: перехід до нової моделі ринку двосторонніх контрактів і балансуєчого ринку. — К. : 2009. — С. 41—48.
7. Фурман И. А. Развитие архитектуры ПЛК параллельного действия: от абстрактной модели параллельного автомата, до инженерной реализации безопасного ПЛИС-контроллера / И. А. Фурман, С. Я. Бовчалоук, М. Л. Малиновский // Энергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. — 2016. — № 2 (5). — С. 62—66.
8. Бовчалоук С. Я. Новая информационная технология логического управления в энергетике и на транспорте / С. Я. Бовчалоук // Системи управління, навігації та зв'язку. — К. : Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, 2007. — Вип. 3 — С. 47—51.

Рекомендована кафедрою автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій

Стаття надійшла до редакції 12.10.2017

**Бовчалоук Станіслав Ярославович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій, e-mail: bovchaliuk@ukr.net ;

**Тимчук Сергій Олександрович** — д-р техн. наук, доцент, професор кафедри автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій;

**Фурман Ілля Олександрович** — д-р техн. наук, професор, професор кафедри автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій;

**Піскаръов Олексій Миколайович** — канд. техн. наук, завідувач кафедри автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Харків

**S. Ya. Bovchaliuk<sup>1</sup>**

**S. O. Tymchuk<sup>1</sup>**

**I. O. Furman<sup>1</sup>**

**O. M. Piskariov<sup>1</sup>**

## Perspectives of Intellectual Smart Grid Electric Networks Construction Based on PLD-technologies

<sup>1</sup>Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture

*The analysis of shortcomings is carried out and the perspectives of the power system development of Ukraine based on the concept of Smart Grid were estimated. The principles of construction and examples of technical implementation of the technology of parallel logical control by objects of critical application are given, as well as the possibility of using this tech-*

nology on the basis of safe PLD-controllers for the implementation of intellectual electric networks in Ukraine.

**Keywords:** Intelligent Networks, Smart Grid, Critical Application Systems, Parallel Control Machine, Safe PLD-Controller.

**Bovchaliuk Stanislav Ya.** — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Automation and Computer-Integrated Technologies, e-mail: bovchaliuk@ukr.net ;

**Тумчук Сергій О.** — Dr. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Professor of the Chair of Automation and Computer-Integrated Technologies;

**Furman Iliia** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Automation and Computer-Integrated Technologies;

**Piskariov Oleksiy** — Cand. Sc. (Eng.), Head of the Chair of Automation and Computer-Integrated Technologies.

**С. Я. Бовчалюк<sup>1</sup>**

**С. А. Тимчук<sup>1</sup>**

**И. А. Фурман<sup>1</sup>**

**А. Н. Пискарев<sup>1</sup>**

## **Перспективы построения интеллектуальных сетей Smart Grid на базе ПЛИС-технологий**

<sup>1</sup>Харьковский национальный технический университет  
сельского хозяйства имени Петра Василенко

*Проведен анализ недостатков и оценены перспективы развития энергосистемы Украины на базе концепции Smart Grid. Приведены принципы построения и примеры технической реализации технологии параллельного логического управления объектами критического применения, а также дана оценка возможности применения этой технологии на базе безопасных ПЛИС-контроллеров для реализации интеллектуальных сетей в Украине.*

**Ключевые слова:** интеллектуальные сети, Smart Grid, системы критического применения, управляющий автомат параллельного действия, безопасный ПЛИС-контроллер.

**Бовчалюк Станислав Ярославович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий, e-mail: bovchaliuk@ukr.net ;

**Тимчук Сергей Александрович** — д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий;

**Фурман Илья Александрович** — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий;

**Пискарев Алексей Николаевич** — канд. техн. наук, заведующий кафедрой автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий