

Д. О. Босий¹
Д. Р. Земський¹
А. В. Антонов¹
Т. І. Друбєцька¹
І. Ю. Потапчук¹

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТІВ БІЗНЕС-АНАЛІТИКИ

¹Український державний університет науки і технологій

Розглянуто застосування сучасних інструментів бізнес-аналітики до аналізу режимів роботи системи електропостачання змінного струму на прикладі електрифікованої ділянки залізниці змінного струму з отриманням миттєвих значень фазних напруг і струмів в результаті чисельного розв'язання системи диференційних рівнянь. В процесі обґрунтування вибору інструменту для аналізу режимів роботи системи електропостачання розглянуто такі аналітичні платформи як Power BI, яка має глибоку інтеграцію з продуктами Microsoft, Tableau, з потужною системою візуалізації даних, та Qlik, яка використовує асоціативну модель даних і дозволяє користувачам інтерактивно працювати з даними без необхідності передбачення способів аналізу.

Розглянута система електропостачання ділянки залізниці змінного струму включає у себе тягові підстанції та нетягове навантаження, яке живиться від ліній «два проводи—рейка» (ДГР), систему зовнішнього електропостачання, від якої отримують електроенергію тягові підстанції. На базі отриманих миттєвих значень струму засобами комп'ютерної алгебри Matlab розраховано напруги у вузлах системи електропостачання. Обчислення складових потужностей та інтегральних показників виконано у середовищі QlikView, що використовується для обробки значного обсягу числових даних та їхньої візуалізації.

Інтерактивність перемикання візуалізацій та асоціативна модель даних у QlikView дозволили заощадити час для аналізу великого масиву інформації у вигляді миттєвих значень напруг і струмів, отриманих в результаті розв'язання сотень диференційних рівнянь числовим методом. Використання скрипта з власною мовою обробки даних Qlik із застосуванням стандартних функцій агрегації даних та принципів визначення діючих значень для електричних кіл змінного струму дозволило отримати інтегральні енергетичні характеристики.

Ключові слова: система електропостачання, режим роботи, навантаження, електрифікована залізниця, електровоз, несиметрія, несинусоїдність, бізнес-аналітика, великі дані, аналітична платформа, візуалізація, інтерактивна панель, дашборд.

Вступ

Електроенергія, як неодмінна складова повсякденного життя, стає запорукою подальшого економічного розвитку. Сучасні тенденції в розвитку електроенергетики включають низку таких стратегічних аспектів як:

- розширення використання відновлювальних джерел електроенергії;
- збільшення використання приватного електротранспорту;
- впровадження передових інформаційних технологій у сфері енергетики;
- децентралізація та поширення малопотужних систем генерації та розподілу електроенергії.

Зростання кількості енергетичних об'єктів, супроводжується використанням сучасних інформаційних технологій, що призводить до накопичення великих обсягів даних, які можна використовувати для оптимізації електроенергетичних систем та поліпшення їхнього функціонування.

Одним з ключових напрямків є впровадження систем розумного управління електромережею. Така концепція значно впливає на методи розподілу та контролю електроенергії, надаючи змогу аналізувати дані в реальному часі, що надходять від інтелектуальних лічильників та датчиків, та дозволяє ефективно виявляти та розв'язувати проблеми, такі як перебої у роботі, обмеження потужності та крадіжки електроенергії, що є критичним для забезпечення стійкості та надійності постачання електроенергії. Додатковою сферою застосування аналітики є прогнозування витрат на технічне обслуговування. Аналіз даних, що надходять від датчиків обладнання та документів з експлуатації, дозволяє передбачити можливі поломки та спланувати профілактичні заходи. Це сприяє підвищенню часу безвідмовної роботи обладнання та зменшенню витрат на аварійний ремонт.

Більше того, аналітика може використовуватися для прогнозування попиту на електроенергію, що дозволяє компаніям з енергетичного сектору ефективно планувати свої ресурси та оптимізувати ціни. Також вона може служити інструментом для виявлення шахрайства, що допомагає компаніям ефективно реагувати на порушення та зменшувати втрати.

Таким чином використання аналітики великих даних у секторі електроенергетики стає ключовим інструментом ефективного менеджменту бізнес-процесів.

Питання використання великих даних широко дискутується у міжнародних публікаціях. Наприклад, у статті [1] всебічно досліджуються виклики та можливості пов'язані з впровадженням аналітики великих даних в енергетичні системи. Робота аналізує конкретні застосування аналітики великих даних для поліпшення систем розподілу енергії, акцентуючи на необхідності застосування індивідуальних систем управління даними та передових засобів візуалізації. Дослідження також розглядає важливість використання аналітики великих даних для вдосконалення реакції на попит, моніторингу обладнання та планування операцій у системах електропостачання.

Стаття [2] досліджує новаторські підходи, які вже показали свою цінність для галузі, акцентуючи вплив аналітики великих даних на процеси прийняття рішень та потреби у великих обчислювальних потужностях для проведення такого аналізу. До того ж, ця робота висвітлює можливості використання аналітики великих даних для планового обслуговування, моніторингу стану та прогнозування виробництва вітрової енергії в енергетичних системах.

В дослідженні [3] обговорюється використання аналітики великих даних в процесі виробництва електроенергії на електростанціях. Досліджуються різноманітні способи застосування великих даних у виробництві електроенергії, такі як прогнозування технічного обслуговування, оптимізація продуктивності та реагування на попит. Робота також звертається до проблем, пов'язаних з впровадженням великих даних у виробництві електроенергії, серед них є питання кібербезпеки, недоліки у навичках персоналу, технологічні бар'єри, тощо.

Мета дослідження [4] полягає у використанні архітектури великих даних для керування різноманітними та об'ємними даними. В роботі представлено систему прогнозування та моделювання, яка сприяє застосуванню різних методів прогнозування вартості електроенергії. Головний внесок цього дослідження полягає в тому, що емпірично підтверджено, що методи, засновані на аналізі реальних даних, є кращими за традиційні методи оцінки вартості проектів.

Робота [5] має на меті поліпшення прогнозованості фотовольтаїчних установок за допомогою глибокого навчання та хмарних обчислень. При цьому основна увага приділяється використанню вимірних даних про виробництво сонячної енергії для розширення прогнозних можливостей моделі та визначення оптимальних параметрів.

З вищевикладеного видно, що аналіз великих даних може бути застосований для широкого кола питань, проте вони досить обмежено висвітлені у вітчизняних публікаціях, присвячених енергетиці [6]—[8]. На погляд авторів цієї статті важливо звернути увагу спеціалістів на цей напрямок розвитку інформаційних технологій для подальшого визначення нових та ефективних методів аналізу великих даних з урахуванням умов української енергетики.

У рамках цієї статті авторами вивчається використання аналітичного інструменту для аналізу режимних параметрів системи електропостачання на прикладі електрифікованої ділянки залізниці змінного струму. Це дослідження може стати корисним як для науковців, що цікавляться розвитком сучасних методів аналізу, так і для широкого кола спеціалістів, які ухвалюють оперативні та стратегічні управлінські рішення в області електропостачання.

Обґрунтування вибору інструмента аналізу режимів роботи системи електропостачання

Бізнес-аналітика або BI (Business Intelligence) — це процес збору, організації та представлення

даних в режимі реального часу. Бізнес-аналітика дає можливість створювати інформаційні панелі, автоматичні звіти та візуалізації, які наочно ілюструють ключові показники предметної області. Платформи бізнес-аналітики представляють різноманітні програмні рішення, які допомагають компаніям аналізувати, інтерпретувати та використовувати свої дані для ухвалення рішень.

За версією Gartner® Magic Quadrant™ for Analytics and Business Intelligence Platforms, найпотужнішими платформами бізнес-аналітики є Qlik Sense, Microsoft Power BI та Tableau. Проаналізуємо і порівняємо деякі з їхніх основних параметрів.

У звіті компанії Gartner®, яка проводить авторитетні дослідження, що аналізують та оцінюють основних постачальників аналітичних платформ та рішень для бізнес-аналітики, аналітичні платформи оцінюються за двома основними критеріями: здатністю до реалізації та повнотою бачення (рис. 1). Результати оцінки показані у вигляді магічного квадранту, який поділяється на чотири частини: Лідери, Претенденти, Новатори та Нішеві гравці.

Лідери — це компанії, які мають потужні можливості та ясну стратегію розвитку, що дозволяє їм утримувати високі позиції на ринку. Претенденти — це ті, хто добре виконує свою роботу сьогодні, але їхнє бачення майбутнього може бути менш визначеним. Новатори мають чудові ідеї та бачення, але ще не досягли повної здатності до реалізації. Нішеві гравці мають специфічні можливості, які добре підходять для окремих випадків використання або ринків, але не охоплюють широкий спектр потреб.

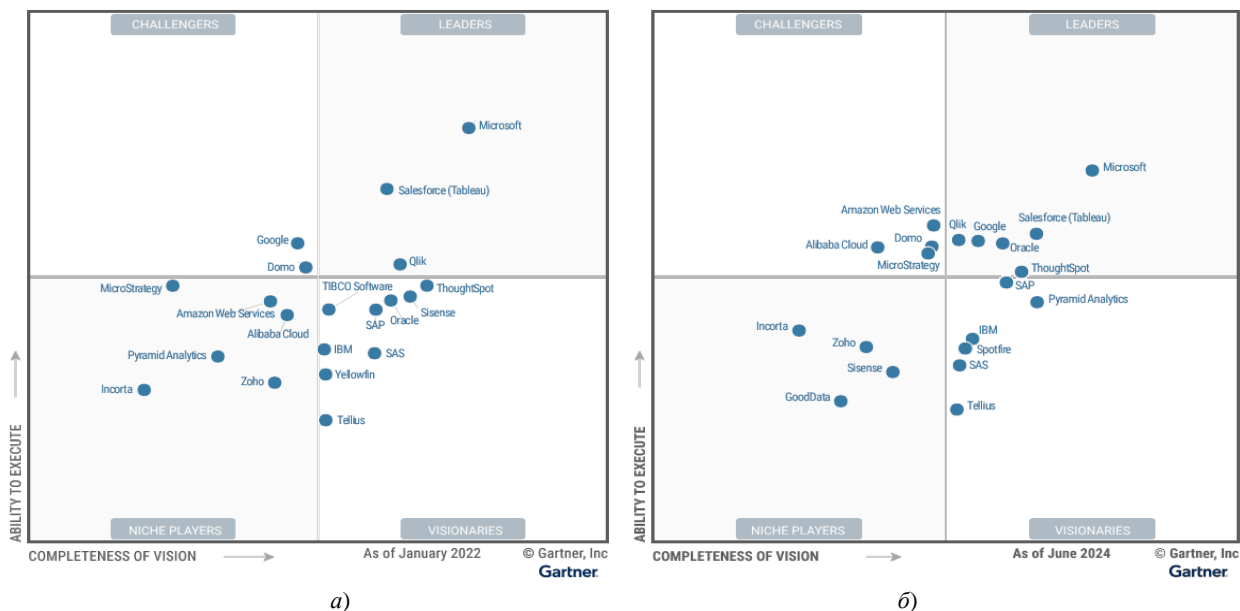


Рис. 1. Магічні квадранти Гартнера для платформ бізнес-аналітики за результатами : *a* — 2022 р.; *b* — 2024 р.

Qlik є однією з провідних платформ візуальної аналітики та новатором у сфері бізнес-аналітики, керованої користувачами [9]. Компанія QlikTech, яка є розробником і власником продуктів аналітичної платформи Qlik, заснована у 1993 році. Її портфоліо рішень на основі хмарних та локальних рішень відповідає зростаючим вимогам клієнтів, включаючи автоматичні звіти та візуальний аналіз з функцією самообслуговування до керованої, вбудованої та користувацької аналітики, незалежно від того, де зберігаються дані. Користувачі Qlik отримують значущі висновки, досліджуючи приховані зв'язки в даних з різних джерел. Повністю інтегрована хмарна платформа Qlik працює на основі унікального асоціативного індексування даних у пам'яті QIX. Цей асоціативний двигун ідентифікує та з'єднує всі дані в асоціативну модель, надаючи користувачу необмежене поле для досліджень. Це є найпотужнішою конкурентною перевагою Qlik сьогодні у цифровому світі, керованому даними.

Інтуїтивна візуалізація та дослідження, передова аналітика та можливості підготовки даних для самообслуговування дозволяють продуктам Qlik Sense та QlikView поєднувати корпоративне управління та готовність, що дає змогу організаціям керувати різними випадками використання BI з єдиної платформи. Візуалізації Qlik є інтерактивними, гнучкими та налаштовуваними, з високоякісною графікою (рис. 2a).

Завдяки відкритому API Qlik інтегрується з джерелами даних стандартизованою мовою, пере-

довою прогнозною аналітикою та доповненою інтелектуальністю, що дозволяє обмін даними між сторонніми інструментами для розширених розрахунків [10]. Користувачі можуть візуалізувати складні розрахунки з зовнішніх інструментів у Qlik, поєднуючи асоціативну модель Qlik з передовою аналітикою для прогнозування продажів, управління запасами та виявлення шахрайства. Однією з найпотужніших функцій Qlik є створення історій з даних, що допомагає отримувати корисні інсайти. Платформа також забезпечує мобільність, дозволяючи проводити аналіз на будь-якому пристрої, та масштабується для обробки великої кількості даних.

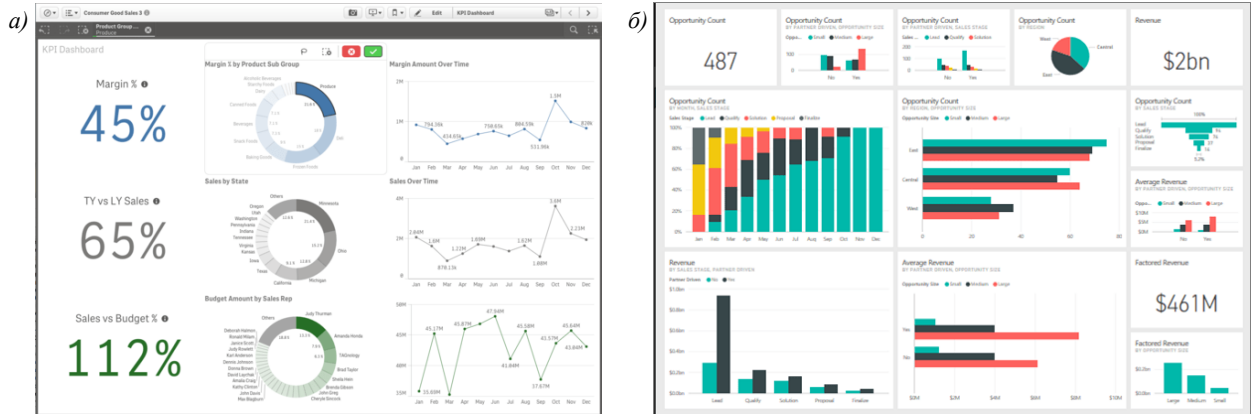


Рис. 2. Приклади інтерактивних інформаційних панелей (дешбордів), створених за допомогою різних аналітичних платформ: а — QlikSense; б — Power BI; в — Tableau

Microsoft випустила у 2015 році свій інструмент для візуалізації даних під назвою Power BI. Через 4 роки Gartner визнала Microsoft лідером у звіті «2019 Gartner Magic Quadrant for Analytics and Business Intelligence Platform» завдяки можливостям Power BI. Наразі Microsoft пропонує Power BI як частину Office 365, що ще більше сприяє його популярності [11].

Цей інструмент однаково використовують аналітики як малого, так і великого бізнесу. Користувачі, які добре володіють Excel, інтуїтивно розуміють Power BI. Те саме стосується технічних користувачів, які, ймовірно, використовують стек Microsoft Office. Щодо створення та відображення, Power BI пропонує візуальне відкриття даних і підготовку даних разом з інтерактивними інформаційними панелями та доповненою аналітикою (рис. 2б).

Однією з основних функцій Power BI є можливість персоналізувати інформаційні панелі відповідно до потреб бізнесу. Можна легко вбудовувати звіти BI та створювати інтерактивний глибокий аналіз для потужної аналітики даних, що надихне бізнес-користувачів на відкриття прихованих закономірностей.

Щодо моделювання даних, Power BI має редактор запитів у вигляді інтегрованого інструменту ETL (Extract, Transform, Load), який дозволяє працювати з даними з багатьох джерел для створення ефективних моделей даних. Power BI працює на базі Data engine, що може обробляти складні корпоративні випадки використання. Більше того, інтеграція з Python та R дозволяє використовувати методи передової аналітики, візуалізації та видобування даних.

Інтеграція з Power BI є гладкою, незалежно від того, чи продукт Microsoft розгорнутий у хмарі чи локально, і він бездоганно візуалізує доступні дані. Power BI має різні вбудовані конектори, які легко підключають і об'єднують численні джерела даних для підготовки даних, підтримуючи інтеграцію з Cortana, Excel та багатьма іншими додатками. Power BI постійно покращується, з кожним оновленням додаються нові функції та вдосконалення, з різними варіантами ліцензування, зокрема надаючи і безкоштовні версії, такі як, Power BI Desktop.

Заснована у 2003 році, Tableau є бізнес-аналітичною платформою корпоративного масштабу з можливостями самообслуговування. Інтерактивні панелі Tableau пропонують широкий вибір кольорів, варіантів візуалізації та потужну аналітичну машину (рис. 2в). Користувачі можуть миттєво отримувати доступ до великих джерел даних без потреби у допомозі IT-команди та безпечно використовувати Tableau через рідні додатки навіть на Android та iOS. Популярність Tableau пояснюється простотою розгортання, підтримкою та зручністю використання. Це інструмент, орієнтований на візуалізацію даних. Організації можуть аналізувати дані без конкретної мети, досліджуючи їх з різних кутів зору, що може привести до несподіваних корисних висновків та інсайтів.

Під час аналізу можна отримувати дані з багатьох джерел, таких як хмари, таблиці, сховища даних тощо, а функція змішування даних у Tableau допоможе об'єднати всі дані у візуалізаціях, залишаючи їх окремими на джерелі. Tableau дозволяє робити з'єднання з базою даних в режимі реального часу, що дозволяє отримувати оновлення в режимі он-лайн. Функція перетягування для кластеризації дозволяє об'єднувати схожі групи, що допомагає проводити сегментаційний аналіз. Tableau Online є повністю хмарним рішенням, яке дозволяє публікувати та ділитися своїми відкриттями з іншими користувачами, запрошуючи їх до подальшого дослідження за допомогою інтерактивних візуалізацій.

Таким чином, серед розглянутих вище аналітичних платформ, Power BI відзначається своєю глибокою інтеграцією з іншими продуктами Microsoft, що робить його зручним для користувачів, які вже працюють з продуктами цієї компанії. Tableau вирізняється своєю потужною системою візуалізації даних, яка дозволяє створювати складні та ефективні графіки та діаграми. Основною перевагою Qlik є використання асоціативної моделі даних, яка дозволяє користувачам взаємодіяти з даними без необхідності передбачених шляхів аналізу. Це робить його особливо ефективним для роботи з великими масивами даних.

У подальшому для аналізу режимів роботи системи електропостачання вибрано QlikView, через високу швидкість та продуктивність цього інструменту для роботи з великими масивами даних, а також наявність безкоштовної версії QlikView Desktop.

Аналіз режимів роботи систем електропостачання

Консолідація та подальший аналіз інформації, отриманої шлях вимірювань параметрів режиму, або результатів моделювання системи електропостачання може бути складним та тривалим процесом у разі дослідження великої кількості вузлів та приєднань. Складність аналізу збільшується, коли предметом дослідження є вплив нелінійного, несиметричного або різкозмінного навантаження, і потребує як пофазного розрахунку так і розкладання струму та напруг на гармонічні складові, що дозволяє визначити необхідні показники якості електроенергії.

Для прикладу розглянемо систему електропостачання ділянки залізниці змінного струму на рис. 3, що включає у себе тягові підстанції та нетягове навантаження, яке живиться від ліній «два проводи—рейка» (ДПР), та систему зовнішнього електропостачання, від якої отримують електроенергію тягові підстанції. На кожній міжпідстанційній зоні знаходиться п'ять електровозів ВЛ-80 у режимі тяги, тобто споживання потужності. Під час моделювання електровози зведені до еквівалентного навантаження, розташованого всередині кожної міжпідстанційної зони.

Нетягове навантаження представлено у вигляді одиничного споживача, віднесеного на однаковій відстані від тягових підстанцій. Відстань між суміжними підстанціями взята рівною 50 км.

Використовуючи спеціально розроблений алгоритм побудови математичної моделі, реалізований у програмному середовищі Mathcad (Parametric Technology Corporation), отримано системи диференціальних рівнянь, що відтворюють електромагнітні процеси у системі електропостачання ділянки залізниці та нетягових споживачів [12]. Системи рівнянь експортувались до програми Matlab (The MathWorks) з метою зменшення тривалості чисельного розрахунку. В Matlab використано вбудовану функцію чисельного розрахунку диференціальних рівнянь ode15s з адаптивним кроком інтегрування, що реалізує метод диференціювання назад.

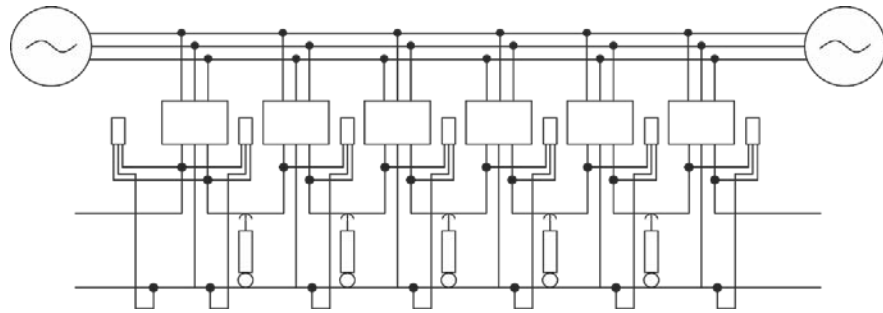


Рис. 3. Схема досліджуваної системи електропостачання ділянки залізниці

Розрахунки виконано для часового інтервалу $0 \dots 60$ мс та нульових початкових умов. Розрахунки проводились на персональному комп'ютері з чотири-ядерним процесором, тактовою частотою 4 ГГц. Під час розрахунків обсяг використаної оперативної пам'яті становив 8 Гбайт.

На базі отриманих миттєвих значень струму засобами комп'ютерної алгебри Matlab розраховувались напруги у вузлах системи електропостачання. Для гармонічного аналізу виділено останній період зміни струмів та напруг, у якому на підставі лінійної інтерполяції визначили миттєві значення електричних величин зі сталим кроком зміни. За отриманими дискретними значеннями за використання алгоритму швидкого перетворення Фуріє, реалізованого у бібліотеці Stats мови програмування R, проведено розкладання на гармонічні складові електричних величин. Розрахунок потужностей та показників якості виконано у середовищі QlikView, що використовується для обробки значного обсягу числових даних та їхньої візуалізації.

Отримані під час моделювання системи електропостачання значення струмів електроенергетичної системи, електровозів, нетягового споживача показані на осцилограмах рис. 4—6.

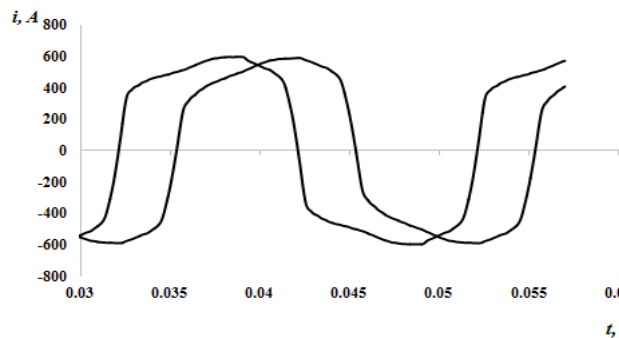


Рис. 4. Осцилограми струмів двох фаз еквівалентного тягового навантаження

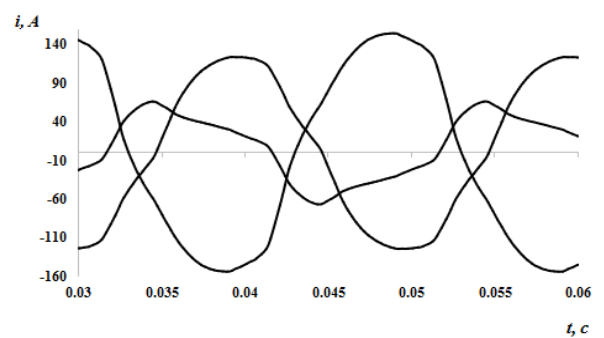


Рис. 5. Осцилограми первинних струмів трьох фаз однієї з тягових підстанцій

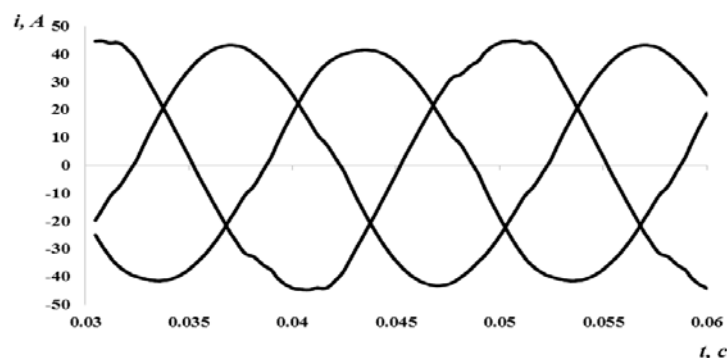


Рис. 6. Осцилограми струмів трьох фаз нетягового споживача

Тривалість моделювання, кількість рівнянь у системах та кількість миттєвих значень струмів для трьох варіантів живлення нетягового споживача подані у таблиці. Три способи живлення передбачали електропостачання споживача:

- 1) за наявною схемою ліній ДПР з консольним живленням;
- 2) за можливою схемою паралельної роботи ліній ДПР від двох суміжних підстанцій;
- 3) за новою схемою двостороннього живлення з використанням фазоповоротних перетворювачів (ФПП) [12].

Далі подані проміжні результати моделювання для ділянки залізниці між підстанціями ТП1—ТП3. Зіставлення та аналіз результатів моделювання для двох ділянок залізниці подано у вигляді розробленої інформаційної панелі (рис. 8) та зведеної таблиці (рис. 9).

Показники, що характеризують процес чисельного розрахунку моделі

Спосіб живлення споживача	Кількість рівнянь		Тривалість розрахунку моделі, хв	Кількість миттєвих значень струму
	3 підстанції	6 підстанцій		
ДПР, консольна схема	153	323	10...16	7,5 млн...24 млн
ДПР, двостороння схема	155	333		
ФПП, двостороння схема	211	401		

З огляду на те, що електрорухоми́й склад є нелінійним та однофазним, а параметри ліній ДПР несиметричні, важливо визначити показники несиметрії та несинусоїдності напруги для оцінки електромагнітної сумісності. Також визначені коефіцієнти активної та реактивної потужності, складові балансу потужності.

Визначення складових повної потужності виконано у середовищі QlikView, до якого імпортовано результати моделювання. На рис. 7 показано вікно редактора сценарію QlikView, де виконується розрахунок складових повної потужності та власне коефіцієнта потужності.

```

64
65 t_NRows:
66 Load
67     Count(time) as No_of_rec
68 Resident SubInfo
69 Where SubKey='Sub1';
70
71 Let N=Peek('No_of_rec',0,'t_NRows');
72
73 PowerQuality:
74 Load
75     SubKey,
76     Sqrt(Sum(V_A*V_A) / $(N)) as VA,
77     Sqrt(Sum(V_B*V_B) / $(N)) as VB,
78     Sqrt(Sum(V_C*V_C) / $(N)) as VC,
79
80     Sqrt(Sum(I_A*I_A) / $(N)) as IA,
81     Sqrt(Sum(I_B*I_B) / $(N)) as IB,
82     Sqrt(Sum(I_C*I_C) / $(N)) as IC,
83
84     Sqrt(Sum(V_A*V_A) / $(N))*Sqrt(Sum(I_A*I_A) / $(N)) as SA,
85     Sqrt(Sum(V_B*V_B) / $(N))*Sqrt(Sum(I_B*I_B) / $(N)) as SB,
86     Sqrt(Sum(V_C*V_C) / $(N))*Sqrt(Sum(I_C*I_C) / $(N)) as SC,
87
88     Avg(V_A*I_A) as PA,
89     Avg(V_B*I_B) as PB,
90     Avg(V_C*I_C) as PC,
91
92     acos(Avg(V_A*I_A) / (Sqrt(Sum(V_A*V_A) / $(N))*Sqrt(Sum(I_A*I_A) / $(N))))*180/pi() as phiA,
93     acos(Avg(V_B*I_B) / (Sqrt(Sum(V_B*V_B) / $(N))*Sqrt(Sum(I_B*I_B) / $(N))))*180/pi() as phiB,
94     acos(Avg(V_C*I_C) / (Sqrt(Sum(V_C*V_C) / $(N))*Sqrt(Sum(I_C*I_C) / $(N))))*180/pi() as phiC
95
96 Resident SubInfo
97 Group by SubKey;
98

```

Рис. 7. Розрахунок складових повної потужності у скрипті програми QlikView

На рис. 8 показано фрагмент розробленої інформаційної панелі з інтерактивним пофазним відображенням форм напруг і струмів тягових підстанцій досліджуваної ділянки на приєднаннях 110, 35 та 27,5 кВ. Перемикання відображення даних для кожної з шести підстанцій та кожної з семи ліній ДПР виконується за допомогою фільтра за ключовими параметрами SubKey та TWRKey.

На рис. 9 показано приклад формування зведеної таблиці з розрахунками компонентів повної потужності та результуючого кута навантаження для вводу 110 кВ кожної з шести тягових підстанцій досліджуваної ділянки.

Таким чином, завдяки інтерактивності перемикання візуалізацій та асоціативній моделі даних

використання програми QlikView дозволило заощадити час для аналізу великого масиву інформації у вигляді миттєвих значень напруг і струмів, отриманих в результаті розв'язання сотень диференціальних рівнянь числовим методом. Використання скрипта з власною мовою обробки даних Qlik дозволило отримати інтегральні енергетичні характеристики, застосовуючи стандартні функції агрегації даних та принципи визначення діючих значень для електричних кіл змінного струму.

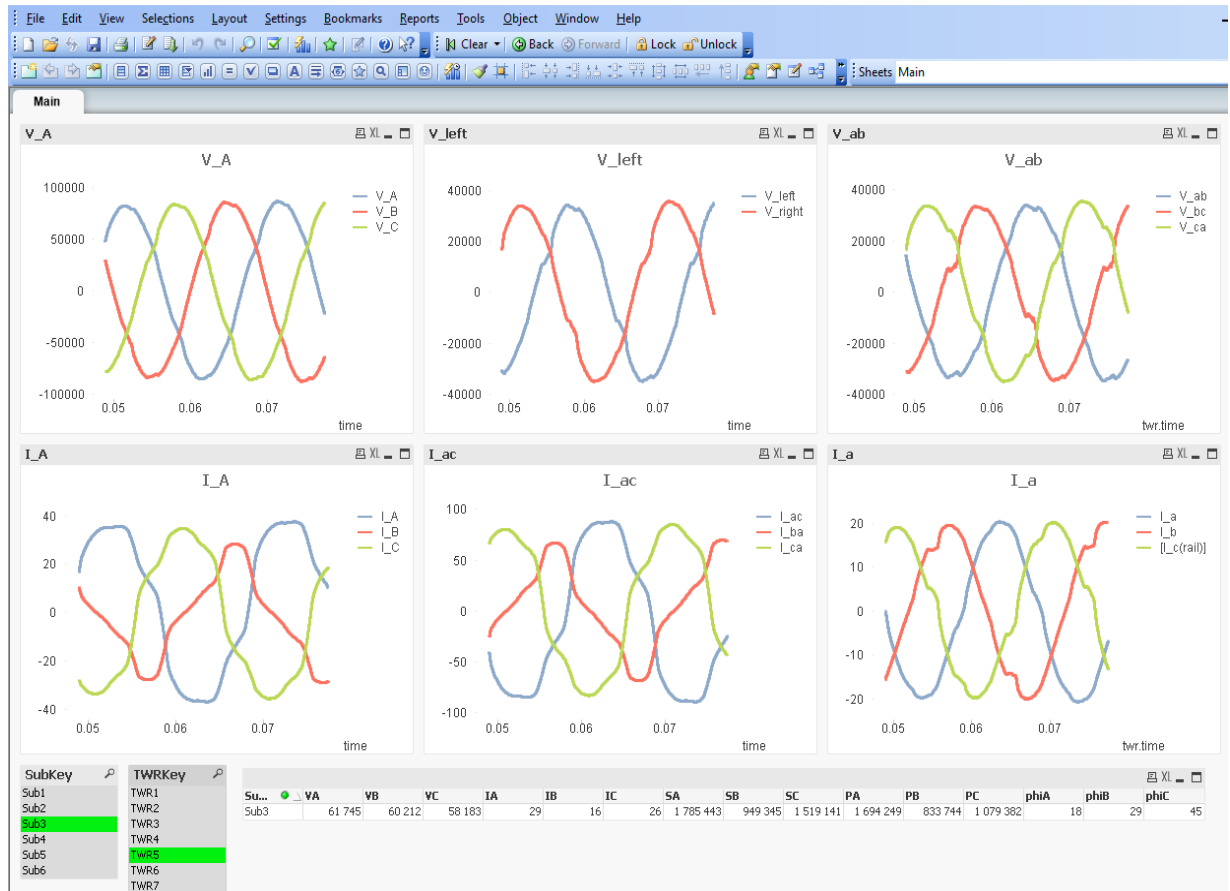


Рис. 8. Розроблена інформаційна панель для аналізу електромагнітних процесів

SubKey	VA	VB	VC	IA	IB	IC	SA	SB	SC	PA	PB	PC	phiA	phiB	phiC
Sub1	61 945	60 551	63 860	40	29	29	2 483 033	1 754 646	3 194 402	2 239 904	1 005 393	2 124 542	26	55	48
Sub2	60 671	62 489	58 956	26	22	29	1 553 275	1 388 898	1 692 642	1 100 887	1 207 362	1 473 049	45	30	30
Sub3	61 745	60 212	58 183	29	16	26	1 785 443	949 345	1 519 141	1 694 249	833 744	1 079 382	18	29	45
Sub4	61 755	60 224	58 182	29	16	26	1 805 625	942 190	1 512 006	1 725 015	842 200	1 050 976	17	27	46
Sub5	60 698	62 512	58 953	25	22	29	1 509 769	1 364 389	1 734 799	1 026 316	1 206 384	1 501 014	47	28	30
Sub6	61 960	60 568	63 881	38	27	48	2 374 865	1 625 702	3 094 034	2 125 687	838 699	1 941 363	26	59	51

Рис. 9. Результати розрахунку складових повної потужності та коефіцієнтів потужності для вводів 110 кВ шести підстанцій

Висновки

Задачі, які постають перед фахівцями, часто вимагають детального аналізу електроенергетичних процесів в системах електропостачання. Від повноти моделі, яку використовують для визначення параметрів режимів електричних мереж, залежить якість розрахунків, а також зростає кількість задач, для розв'язання яких цю модель можна застосувати. Наразі існує низка програмних комплексів для аналізу ustalених режимів в системах електропостачання загального призначення з можливістю розрахунку тягових систем живлення, а також програм, призначених для прогнозування і оцінки експлуатаційних показників залізничного транспорту.

Водночас в результаті розвитку інформаційних технологій розроблені аналітичні платформи, що дозволяють проводити інтерактивний аналіз даних.

Найвідомішими платформами для цього є Power BI, яка відзначається глибокою інтеграцією з

іншими продуктами Microsoft, Tableau з потужною системою візуалізації даних у вигляді складних та ефективних графіків та діаграм, та Qlik, у якій в додачу до гнучких компонентів візуалізації використовується асоціативна модель даних, що спрощує взаємодію з великою кількістю даних.

Завдяки інтерактивності візуалізацій та асоціативній моделі даних використання програми QlikView дозволило ефективно проаналізувати режими роботи системи електропостачання змінного струму на підставі великого масиву інформації у вигляді миттєвих значень напруг і струмів, отриманих в результаті розв'язання системи диференціальних рівнянь числовим методом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] H. Akhavan-Hejazi, and H. Mohsenian-Rad, "Power systems big data analytics: An assessment of paradigm shift barriers and prospects," *Energy Reports.*, vol. 4, pp. 91-100, Nov. 2018. [Electronic resource]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2017.11.002>. Accessed: Apr. 13, 2024.
- [2] M. Kezunovic, P. Pinson, Z. Obradovic, S. Grijalva, T. Hong, and R. Bessa, "Big data analytics for future electricity grids," *Electric Power Syst. Res.*, vol. 189, p. 106788, Dec. 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.epr.2020.106788>. Accessed: Apr. 13, 2024.
- [3] Marek Moleda and Dariusz Mrozek, "Big data in power generation," *Beyond Databases, Archit. Struct. Paving Road Smart Data Process. Anal.*, vol. 1018, pp. 19-29, 2019.
- [4] J. M. Davila Delgado, L. Oyedele, M. Bilal, A. Ajayi, L. Akanbi, and O. Akinade, "Big data analytics system for costing power transmission projects," *J. Construction Eng. Manage.*, vol. 146, no. 1, p. 05019017, Jan. 2020. [Electronic resource]. Available: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001745](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001745). Accessed: Apr. 13, 2024.
- [5] Z. Zhou, "Intelligent prediction method for power generation based on deep learning and cloud computing in big data networks," *Int. J. Intell. Netw.*, vol. 4, pp. 224-230, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ijin.2023.08.004>. Accessed: Apr. 13, 2024.
- [6] О. І. Піжук, «Великі дані як основоположний драйвер цифрової трансформації економіки,» *Економіка та держава*, № 6, с. 50-54, 2019.
- [7] М. О. Ястребенецький, і О. М. Дибач, «Перспективи застосування технологій Big Data в атомній енергетиці України,» *Ядерна та радіаційна безпека*, № 2 (82), с. 9-13, черв. 2019. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://doi.org/10.32918/nrs.2019.2\(82\).02](https://doi.org/10.32918/nrs.2019.2(82).02). Дата звернення: 14 квіт. 2024.
- [8] С. А. Шворов та ін., «Збирання біомаси для біогазових установок з використанням технології "Big data",» *Енергетика і автоматика*, № 5, с. 13-22, 2018. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eia_2018_5_4. Дата звернення: 14 квіт. 2024.
- [9] *Gartner Magic Quadrant for Analytics and Business Intelligence Platforms 2022*. [Electronic resource]. Available: <https://www.interdobs.nl/sac/gartner-magic-quadrant-for-analytics-and-business-intelligence-platforms-2022/>.
- [10] *Gartner Quadrant Leaders for Analytics and BI: Qlik Sense vs Microsoft Power BI vs Tableau*. [Online]. Available: <https://datalabsua.com/en/leaders-quadrant-of-the-magic-quadrant-for-analytics-and-bi-qlik-sense-vs-microsoft-power-bi-vs-tableau/>.
- [11] *Qlik became a Gartner Magic Quadrant leader for the 10th year in a row!* [Online]. Available: <https://datalabsua.com/en/qlik-became-a-gartner-magic-quadrant-leader-for-the-10th-year-in-a-row/>.
- [12] D. Bosyi, and D. Zemskyi, "Increasing Power Supply Efficiency for "Two WireRail" Line Consumers," *Problemy Kolejnictwa*, 2020. Iss. 188. pp. 93-102. <https://doi.org/10.36137/1881E>.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 23.09.2024

Босий Дмитро Олексійович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри інтелектуальних систем енергопостачання, e-mail: d.o.bosyi@ust.edu.ua ;

Земський Денис Романович — д-р філософії, доцент кафедри інтелектуальних систем енергопостачання, e-mail: d.r.zemskyi@ust.edu.ua ;

Антонов Андрій Владиславович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інтелектуальних систем енергопостачання, e-mail: a.v.antonov@ust.edu.ua ;

Друбецька Тетяна Ігорівна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інтелектуальних систем енергопостачання, e-mail: t.i.drubetska@ust.edu.ua ;

Потапчук Ірина Юрївна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри інтелектуальних систем енергопостачання, e-mail: i.y.potapchuk@ust.edu.ua .

Український державний університет науки і технологій, Дніпро

D. O. Bosyi¹
D. R. Zemskyi¹
A. V. Antonov¹
T. I. Drubetska¹
I. Yu. Potapchuk¹

Analysis of Operating Modes of Power Supply Systems Using Business Analytics Tools

¹Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro

The article discusses the application of modern business analytics tools to the analysis of operating modes of an alternating current power supply system, using the example of an electrified section of an AC railway with phase-by-phase measurement of instantaneous voltage and current values obtained from solving a system of differential equations. The analysis of the power supply system's operating modes is justified by selecting analytical platforms such as Power BI, which has deep integration with Microsoft products, Tableau, known for its powerful data visualization capabilities, and Qlik, which employs an associative data model, allowing users to interact with data without the need to predict analysis methods.

The AC railway power supply system under consideration includes traction substations and non-traction loads powered by the "two-wire-rail" (TWR) lines, as well as the external power supply system from which traction substations receive electricity. Based on the obtained instantaneous current values, Matlab's computer algebra tools were used to calculate the voltages at the nodes of the power supply system. Power components and integral indicators were calculated in the Qlik-View environment, which is used for processing a large volume of numerical data and visualizing it.

The interactivity of switching between visualizations and the associative data model in QlikView allowed time savings when analyzing large amounts of information in the form of instantaneous voltage and current values obtained by solving hundreds of differential equations using numerical methods. Using a script with Qlik's own data processing language enabled the derivation of integral energy characteristics by applying standard data aggregation functions and principles for determining effective values for alternating current circuits.

Keywords: power supply system, operating mode, load, electrified railway, electric locomotive, unbalance, non-sinusoidal waveform, business analytics, big data, analytics platform, visualization, interactive panel, dashboard.

Bosyi Dmytro O. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Intelligent Energy Supply, e-mail: d.o.bosyi@ust.edu.ua ;

Zemskyi Denys R. — PhD, Associate Professor of the Chair of Intelligent Energy Supply, e-mail: d.r.zemskyi@ust.edu.ua ;

Antonov Andrii V. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Intelligent Energy Supply, e-mail: a.v.antonov@ust.edu.ua ;

Drubetska Tetiana I. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Intelligent Energy Supply, e-mail: t.i.drubetska@ust.edu.ua ;

Potapchuk Iryna Yu. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Intelligent Energy Supply, e-mail: i.y.potapchuk@ust.edu.ua