

ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОСМІЧНИХ РАКЕТНИХ КОМПЛЕКСАХ

- РЕВА В.С. аспірант, начальник групи Державне Підприємство Конструкторське Бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля, вул. Криворізька, 3, Дніпро, Україна, 49008, e-mail: reva.vad@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1104-8398;
- ЛИСЕНКО О.Г. канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електропривода Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», проспект Дмитра Яворницького, 19, Дніпро, Україна, e-mail: lysenkoag@ukr.net, ORCID: 0000-0002-7041-671X;
- УДОВИК О.В. аспірант кафедри електроенергетики Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», проспект Дмитра Яворницького, 19, Дніпро, Україна, e-mail: udovyk.o.v@nmu.one, ORCID: 0009-0002-1000-7815;

Мета роботи. Вирішення питань якості електроенергії на космічних ракетних комплексах шляхом розробки та створення систем контролю якості електроенергії (СКЯЕ). Розробка структури та визначення алгоритмів СКЯЕ в системах електропостачання космічних ракетних комплексів СЕП КРК із забезпеченням заданих параметрів електроенергії.

Методи дослідження. Огляд літературних джерел з тематики, метод експертних оцінок, метод системного аналізу, метод експериментального дослідження.

Отримані результати. Наведено показники якості електроенергії, які найбільш важливі для електроспоживачів КРК, контроль яких необхідно здійснювати. Визначено основні вимоги, пред'явлені до СКЯЕ. У разі виходу за допустимі межі показників якості електроенергії СКЯЕ дозволить зробити оперативні заходи необхідні для парирування нештатних ситуацій, завдяки управлінню елементами системи електропостачання. Проведено інформаційне забезпечення з побудовою загальноприйнятої структурної блок-схеми подібних систем, на основі якої реалізована трирівнева структура СКЯУ. Розглянуто алгоритм і основні принципи роботи СКЯУ в звичайному режимі і режимі виходу за межі норм показників якості електроенергії (ПЯЕ). Викладено короткий опис структури, а також приклад алгоритму управління повідомленнями СКЯУ.

Наукова новизна. Вирішено завдання комплексного підходу до питань якості електроенергії та створено трирівневу структуру системи контролю якості електроенергії в системах електропостачання КРК. Мікропроцесорні засоби контролю в першу чергу забезпечують швидкодію у порівнянні з подібними системами на аналого-цифрових перетворювачах. Запропонована СКЯУ здійснює контроль якості електроенергії з виведенням даних на екран оператора саме у реальному часі, веденням безперервного моніторингу з фіксацією та реєстрацією основних параметрів, а також оповіщенням оператора при виникненні нештатних ситуацій.

Практична цінність. Розроблено виготовлено та вдало пройдено усі види випробувань системи контролю якості електроенергії для КРК «Циклон-4» (Бразилія), та частково КРК «Циклон-4М» (Канада).

Ключові слова: якість, електроенергія, система електропостачання, контроль, структура, споживач, принцип роботи.

І. ВСТУП

При створенні системи електропостачання (СЕП) перспективних космічних ракетних комплексів (КРК), що проєктуються необхідно враховувати енергоємність споживачів технологічного обладнання (ТО) і технічних систем (ТС) задіяних у підготовці РКН, а також збільшення кількості споживачів різних номіналів напруги, в тому числі і низьковольтного обладнання. Для цього необхідно на ранньому етапі проєктування визначити склад і характеристики електрообладнання систем розташованих на наземному комплексі КРК. Так, наприклад аналіз вихідних даних (ВД) споживачів ТО і ТС показав, що на КРК «Дніпро» споживання становило трохи більше

1 МВт, при проєктуванні КРК «Циклон-4» збільшилося і стало близько 4,5 МВт. У теперішній час проєктування сучасних перспективних КРК обумовлюється потужністю споживачів щонайменше 6МВт.

До недавнього часу з боку енергопостачальних організацій питанням контролю та забезпечення якості електричної енергії не приділялося достатньої уваги, що при великих сумарних потужностях нерідко призводило до порушення функціонування технологічного обладнання, підключеного до електричної мережі. Спотворення показників якості електроенергії, що поширюються одними споживачами в СЕС і вихід з ладу будь-якого

компонента системи електропостачання з іншого боку – стає дуже серйозним порушенням робіт з підготовки РКН до пуску. Одночасний автоматизований моніторинг у різних точках СЕП – це крок для першого знайомства з проблемою ЯЕ, виявлення тенденцій зміни контрольних параметрів у часі, які забезпечують попереджувальний прогноз для інших споживачів електроенергії[1] - [4].

II. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Існує дві основні групи спотворень якості електричної енергії: стаціонарні спотворення, та які змінюються у часі. Гармоніки та інтергармоніки, коливання напруги і небаланс напруг відносяться до першої групи, а перехідні процеси напруги, зниження/перевищення напруги, переривання напруги та інші високочастотні спотворення складають другу групу.

Велика кількість методів обробки інформаційних сигналів використовується для визначення показників якості електричної енергії. Так одним із найбільш поширених є, так званий, метод середньоквадратичних значень на основі апроксимації кривої вхідного сигналу спеціальною функцією, яка забезпечує задовільну апроксимацію амплітуди основної частоти електричної мережі.

Найбільш широко використовуваним апаратом для аналізу параметрів якості електричної енергії є швидке перетворення Фур'є, яке трансформує сигнал із часового простору у частотний його декомпозицією на декілька частотних компонентів. Але алгоритм Фур'є має декілька джерел методичних похибок, які призводять до зниження точності результатів аналізу та його якісного спотворення [5].

Стосовно до електроенергетичних систем необхідно відмітити їх особливість – це наявність в одному інтервалі часу (періоді) декількох типів спотворень сигналу. Ідентифікація двох типів спотворень висвітлена такими вченими, Abdel-Galil (2004 p.) [6] та He (2006 p.) [7].

Застосування вейвлет-аналізу для ідентифікації і класифікації спотворень якості електричної енергії інтенсивно почало розроблятися на початку 2000 року. Слід відмітити роботи Yang (2000 p.), Elmitwally та Yang (2001 p.) [8], головною метою яких ставилось усунення шуму спотвореного сигналу його визначенням та локалізацією. Методи, засновані на вейвлет перетворенні, дозволяють значно скоротити обсяг інформації, що передається, про параметри електроенергії, що значною мірою задовольняє принципи побудови систем контролю ЯЕ.

Аналіз застосування даних методів дозволив окреслити найважливіші проблеми при класифікації спотворень електричної енергії, які не достатньо вирішені на даний час. До яких можливо віднести, що нормування окремих показників якості електричної

енергії (ПЯЕ) здійснюється за умови, що в даний момент часу має місце тільки один тип порушення ЯЕЕ. Тобто, одночасна дія декількох типів спотворень не розглядається і не враховується. А також і те, що на даний час відсутній безперервний контроль параметрів ЯЕЕ.

Виходячи із вищенаведеного, для побудови системи моніторингу параметрів якості електричної енергії для РКК, необхідно розробити такі методи та алгоритми, що їх реалізують, які дозволять:

- визначати та ідентифікувати відхилення параметрів ЯЕ незалежно від типу електрообладнання, що спричинило дані спотворення;
- забезпечити виявлення причини виникнення відхилення показників ЯЕ та встановити джерело такого спотворення;
- розробити узагальнений параметр визначення наявності спотворення ЯЕ, який би дозволив проведення моніторингу якості електричної енергії у реальному часі.

Приклади систем сучасного моніторингу показників якості електроенергії представили наступні вчені Гриб [9], Володарський [5] та Coleman [10]. Моніторинг показників якості електроенергії на базі сучасних SMART GRID систем наведено у Сінчук [11] та Бунько [12]. Слід відзначити, що структура та загальні принципи побудови існуючих автоматизованих систем контролю та обліку електроенергії розкриті у [13] та [14].

У даній статті розглянуто підхід до побудови системи контролю якості для визначення наявності спотворення якості електроенергії, час його появи та тривалості у реальному часі для РКК.

III. МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є вирішення питань якості електроенергії на космічних ракетних комплексах шляхом розробки та створення систем контролю якості електроенергії. Розробка структури та визначення алгоритмів СКЯЕ в системах електропостачання космічних ракетних комплексів СЕП РКК із забезпеченням заданих параметрів електроенергії.

IV. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ І АНАЛІЗ ОТРИМАННИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Усього стандартами встановлено більше одинадцяти показників якості електроенергії, однак для СЕП РКК найбільш важливими є: підвищена і знижена напруга, високовольтні імпульси, гармонічні спотворення напруги, нестабільна частота, провали напруги. Знижена якість електроенергії надає негативний вплив, як на роботу окремих споживачів, так і на нормальне функціонування енергосистеми в цілому.

При складній специфіці роботи електроспоживачів на КРК з підготовки та проведення пуску РН виникають різні позаштатних ситуацій, пов'язаних з якістю електроенергії.

При зниженні якості електроенергії в електричних мережах мають місце такі негативні наслідки:

– збільшення втрат електроенергії у всіх елементах електричної мережі;

– перегрів машин, що обертаються, прискорене старіння ізоляції, скорочення терміну служби або вихід з ладу електрообладнання;

– зростання споживання електроенергії та необхідної потужності електрообладнання;

– порушення роботи та помилкові спрацьовування пристроїв релейного захисту та автоматики;

– перешкоди в роботі чутливого обладнання (радіо і телевізійні системи, вимірювальні комплекси і т.д.),

– збій електронних систем управління та обчислювальної техніки, аварійне відключення обладнання із втратою даних у комп'ютерах.

На існуючих ракетних комплексах в системах електропостачання присутні окремі складові, які в тому чи іншому ступені контролюють показники якості електроенергії. Проте комплексний підхід щодо поліпшення структур СЕП з урахуванням режимів роботи та аналіз існуючих СЕП КРК показав необхідність створення системи контролю якості електроенергії (СКЯЕ).

Вищевикладені параметри електроенергії описуються такими формулами:

Відхилення напруги (1)

$$\delta U(t) = \frac{U(t) - U_n}{U_n} \cdot 100\% \quad (1)$$

де $U(t)$ - значення напруги;

U_n - номінальна напруга.

При цьому гранично допустимі значення розмаху зміни напруги в точках загального приєднання до електричних мереж в залежності від частоти повторення змін напруги або інтервалу між змінами напруги рівні значенням, що визначаються по кривій 1 рисунку 1.

Діюча напруга визначається за формулою (2)

$$U(t) = \frac{1}{3} (U_{AB(1)} + U_{BC(1)} + U_{AC(1)}) \quad (2)$$

де $U_{AB(1)}, U_{BC(1)}, U_{AC(1)}$ - діючі значення міжфазних напруг основної частоти.

Для мереж до 1 кВ (3):

$$\delta U_n = \pm 5\% \text{ та } \delta U_{\max} = \pm 10\%$$

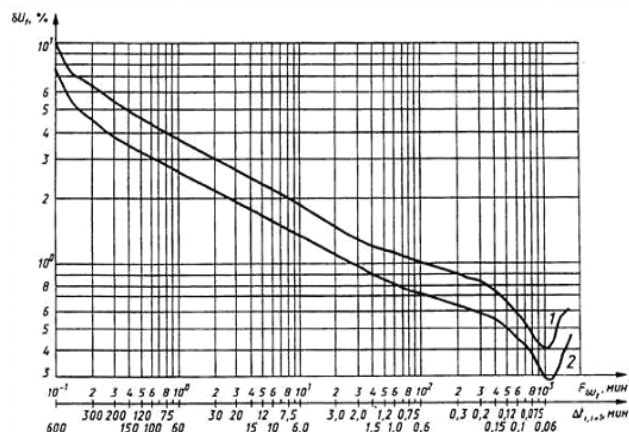


Рисунок 1 Допустимі значення розмаху зміни напруги в залежності від частоти повторення змін за хвилину. [15] - [18]

де m - число змін напруги за час виміру T ;

t_{i+1}, t_i - початкові моменти часу, які відповідають зміні напруги.

Коефіцієнт несинусоїдності кривої напруги (4)

$$k_{ncU} = \frac{1}{U_n} \sqrt{\sum_{n=2}^N U_n^2} \cdot 100\% \quad (4)$$

де, U_n - діюче значення n -ї гармонійної складової напруги;

N - порядок останньої (з врахованих) гармоніки.

Відхилення частоти (5):

$$\Delta f = f - f_n \quad (5)$$

де f - поточне значення частоти,

f_n - номінальне значення частоти. [15] - [18].

Для автоматизованого контролю та обліку електроенергії на різноманітних промислових підприємствах широко використовуються принципи трирівневої структури. Саме такі структури дозволяють своєчасно вести контроль та облік електроенергії. Для СЕП космічних ракетних комплексів вперше було запропоновано систему контролю якості електроенергії на базі трирівневої структури. Наприклад у порівнянні з дворівневою структурою, яка забезпечує тільки збір даних без аналітики, надають повний цикл контролю параметрів якості електроенергії від споживача до оператора системи.

Інформаційне забезпечення, пов'язане з аналізом поточного стану об'єкта та його управлінням, для системи електропостачання КРК здійснюється за загальноприйнятою структурною блок-схемою,

наведено на рисунку 2.

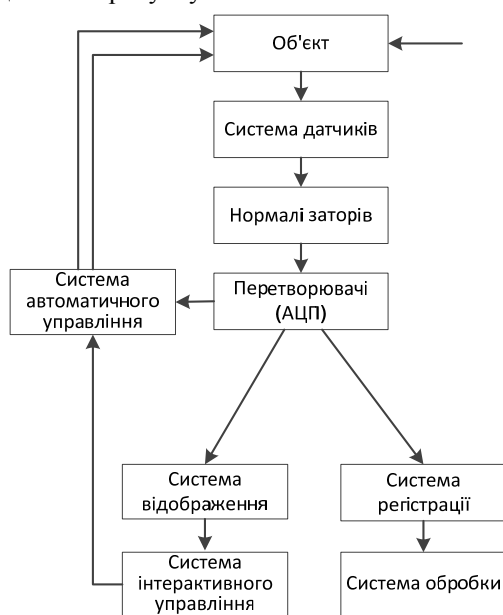


Рисунок 2. Загальноприйнята структурна блок-схема.

Зчитування інформації стану об'єкта здійснюється пристроями зв'язку з об'єктом, до складу якого входять системи датчиків, нормалі заторів і перетворювачів інформації (АЦП). Система датчиків забезпечує вимірювання параметрів і змінних аналізованого об'єкта і перетворює їх в електричну форму. Блок нормалі заторів забезпечує початкову обробку інформації датчиків, в разі необхідності виконує фільтрацію сигналів, лінеаризацію характеристик датчиків і масштабування сигналів для приведення їх до стандартизованих шкалах, АЦП створюють потоки цифрової інформації про об'єкт. Наведені етапи отримання та попередньої обробки інформації можуть забезпечуватися також інтегрованими системами датчиків - перетворювачів.

Подібна структурна схема характерна для більшості енергетичних об'єктів, безперервних виробництв, транспортних систем і об'єктів.

Для забезпечення якісним, безперебійним, надійним електроживленням споживачів електроенергії технологічного устаткування космічних ракетних комплексів було прийнято рішення про створення повноцінної системи контролю якості електроенергії СКЯЕ.

Основною задачею створеної СКЯЕ є забезпечення контролю параметрів живлення на затискачах електроспоживачів технологічного обладнання (ТО) за допомогою контролю осцилограм напруги змінного струму, значень напруги 380/220В і 28,5В, значень частоти і коефіцієнта несинусоїдності напруги змінного струму.

А також СКЯЕ має забезпечувати:

- контроль положення автоматичних вимикачів

вступних і відхідних фідерів та положення секційного вимикача в шафах СЕП (контроль та реєстрація спрацьовування протиаварійного захисту);

- контроль справності джерел безперебійного живлення (ДБЖ);

- управління (включення/відключення) вводами №1 та №2, вимикачем автоматичного введення резерву (АВР); ДБЖ, вентиляцією, ДЕА;

- запис та зберігання осцилограм напруги змінного струму та напруги 28,5 В на роз'ємах споживачів за 10 хв до аварії;

- формування та видача даних оператору;

- архівування історії зміни параметрів;

- тестування та самодіагностику стану складових частин СЕС.

Крім того, СКЯЕ повинно виконувати реєстрацію та відображення параметрів живлення електроспоживачів, контроль працездатності СЕП загалом та її складових частин із прив'язкою до системи єдиного часу.

На рис. 3 представлена загальна структура створеної СКЯЕ.

Зчитування інформації стану електроспоживачів здійснюється групою датчиків і перетворювачів інформації. Система датчиків забезпечує вимірювання параметрів і змінних аналізованого споживача і перетворює їх в цифрову форму. Далі через контролери інформація передається на систему відображення (АРМ оператора). Етапи отримання та попередньої обробки інформації можуть забезпечуватися також інтегрованими системами датчиків - перетворювачів.

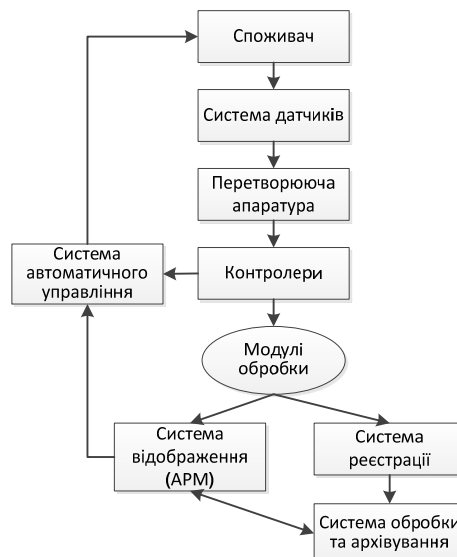


Рисунок 3. Структурна схема системи контролю якості електроенергії

Структура СКЯЕ реалізована трьома базовими рівнями (рис.4).

а) Перший рівень. Перший рівень (польовий) - забезпечує прийом сигналів від датчиків технічних систем і датчиків контролю стану обладнання. Обсяг цієї інформації забезпечує відображення реальної картини технологічного процесу і стану обладнання. Рівень складається з розміщених в шафах і щитах СЕП груп датчиків, контролерів вводу аналогових сигналів, промислових контролерів, перетворювачів напруги.

б) Другий рівень. Другий рівень реалізовує виконання рішень по автоматизації технологічного процесу технічних систем. Рівень реалізований на програмованих логічних контролерах (ПЛК), які обробляють сигнали, що надходять від контролерів локальних пристроїв, датчиків, здійснюючи контроль технологічних параметрів технічних систем і контроль стану обладнання.

Апаратура другого рівня встановлена у складових частинах СКЯЕ (щитах і шафах).

в) Третій рівень. Третій ієрархічний рівень – це рівень діалогу оператор - система управління (рівень управління і спостереження).

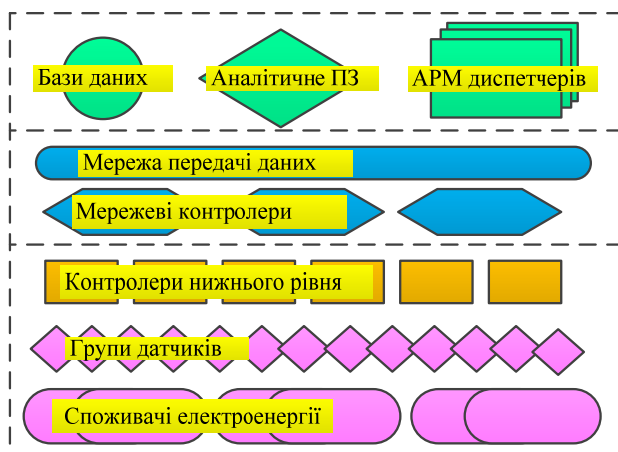


Рисунок 4. Тривінева структура СКЯЕ

На цьому рівні оператори мають доступ до інформації, що дозволяє здійснювати контроль і управління технологічними процесами технічних систем. Рівень складається з АРМ оператора, керованих комутаторів мереж Ethernet, ПО і бази даних.

Управління та обмін даними з СКЯЕ забезпечується по каналах мережі Modbus за допомогою пристрою сполучення з шиною Modbus / RTU.

Вимірювальні входи перетворювачів підключені до шин і вводів у виробі і виконують перетворення напруги трифазної мережі змінного струму 220/380 V сигнали (4-20) mA постійного струму, пропорційні вимірюванню фазним напруженням. Контролер вводу аналогових сигналів приймає сигнали постійного струму (4-20) mA, що надходять від перетворювачів і

трансформує у цифрову форму для передачі по мережі. [19] - [24]

Програмне забезпечення (ПО) системи являє собою сукупність програмних засобів, що забезпечують спільно з технічними засобами збір даних і диспетчерське управління. Наприклад SCADA-система "Vijeo Citect" здійснює контроль і управління технологічним обладнанням, а також взаємодію з оперативними і експлуатаційним персоналом СЕП НК.

В системі також реалізовані наступні завдання:

- архівування ходу процесів у вигляді трендів;
- архівування протоколів післяаварійних ситуацій;
- архівування протоколів подій;
- обмін даними з ПЛК в реальному часі;
- управління попереджувальними і тривожними повідомленнями.

Зчитування інформації стану електроспоживачів здійснюється групою датчиків і перетворювачів інформації. Система датчиків забезпечує вимірювання параметрів і змінних аналізованого споживача і перетворює їх у цифрову форму. можуть забезпечуватися також інтегрованими системами датчиків – перетворювачів. енергетичних промислових об'єктів.

Блок-схема алгоритму з переключення між джерелами живлення СЕП (ввод1, ввод2, резервний ввод) зовнішньої роботи СКЯЕ представлено на рис.5.

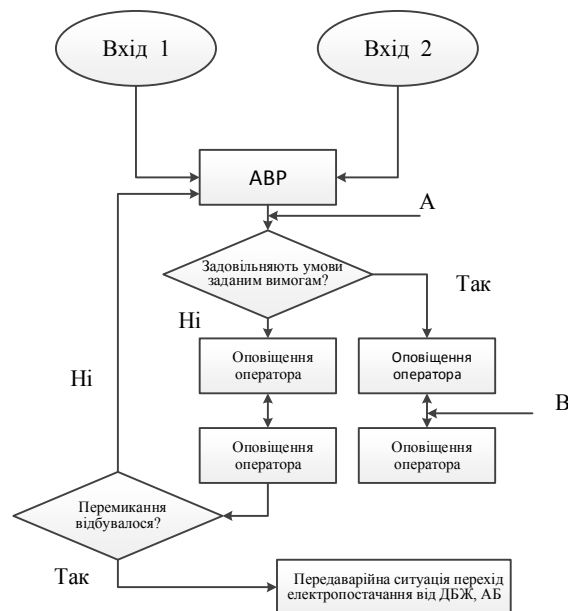


Рисунок 5. Блок-схема алгоритму зовнішньої роботи СКЯЕ

Вхід системи електропостачання здійснюється від двох незалежних джерел живлення (і одного резервного), перемикання між якими виконується за

допомогою включення автоматичного введення резерву (АВР). Вимірювання таких основних параметрів як напруга, частота, струм і коефіцієнт несинусоїдальності системою контролю якості виконується на двох рівнях, показаних на рис. 1, в точці А - на вводі в систему і в точці В - безпосередньо на шинах вводу споживача при цьому сигналізуючи оператору про отримані результати. СКЯЕ виробляє порівняння значень номінальних параметрів електроенергії з допустимими, в разі збою відбувається автоматичне включення резервного вводу і подається сигнал оператору. Повернення на робочий вхід системи за допомогою АВР після минулої позаштатної ситуації можливий тільки після усунення несправності на лінії. [25], [26].

На рис. 6 представлена спрощена схема підключення СКЯЕ, де під блоком «М» показана сума модулів і датчиків, що передає інформацію параметрів електроенергії від шин живлення вводу в систему або безпосередньо від споживачів. Перетворена інформація йде на керований комутатор, який живиться від блоку живлення, за допомогою зв'язку Ethernet інформація передає сигнал на монітор оператора СКЯЕ.

Перевірка готовності пристроїв СКЯЕ і каналів зв'язку Modbus виконується контролерами Modicon M340 по алгоритмам, наведеним вище. Дані зчитуються серверами баз даних SERVKL-2 (2E101_1, 2E101_2), реєструються в базі даних і відображаються на мнемосхемах на моніторі оператора АРМ WSKL-3

(2E101_3).

Принцип побудови системи контролю якості електроенергії та управління був повноцінно впроваджений до складу системи електропостачання для космічного ракетного комплексу «Циклон-4». На систему було розроблено повний комплект експлуатаційної і робочої конструкторської документації. На виробничих і випробувальних потужностях Корпорації «ЕЛКОР» (м.Харків) були виготовлені складові частини систем електропостачання та СКЯЕ. По закінченню виготовлення повноцінно проведено ряд випробувань силової частини і СКЯЕ відповідно до ТЗ і ПМД. Дані зчитуються серверами та заносяться до бази даних і відображаються на мнемосхемах на моніторі оператора АРМ.

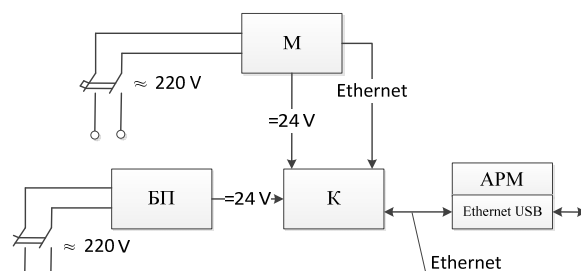


Рисунок 6. Схема підключень СКЯЕ

Приклад мнемосхеми оператора наведено на рис. 7

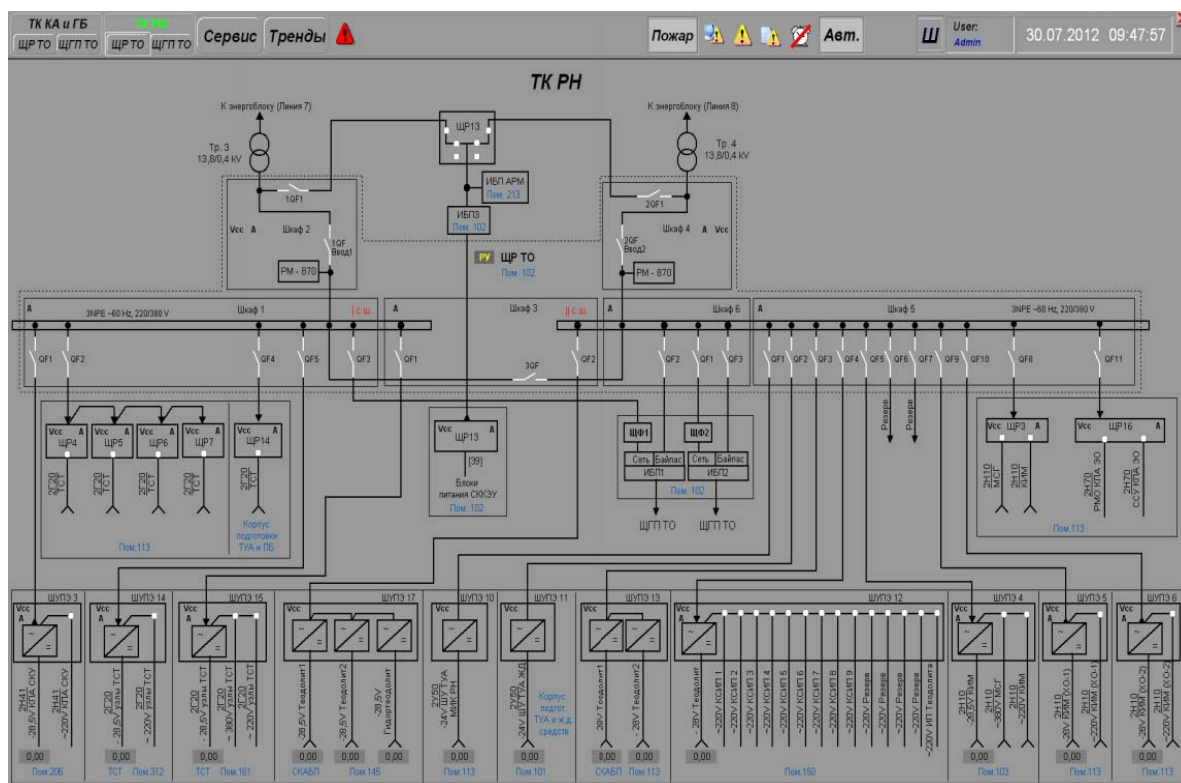


Рисунок 7. Мнемосхема програмного вікна оператора СКЯЕ для відстеження показників якості електроенергії.

V. ВИСНОВОК

Для вирішення завдання комплексного підходу до питань якості електроенергії та створено трирівневу структуру системи контролю якості електроенергії в системах електропостачання КРК. Запропонована та створена СКЯУ здійснює контроль якості електроенергії, за допомогою загальноприйнятих методів контролю показників ЯЕ, з виведенням даних на екран оператора саме у реальному часі, веденням безперервного моніторингу з фіксацією та реєстрацією основних параметрів, а також оповіщенням оператора при виникненні нештатних ситуацій.

Розроблена система контролю якості електроенергії та управління дозволяє підвищити енергетичну ефективність систем електропостачання, надійність і безвідмовність роботи СЕП у цілому, зменшити рівень втрат електроенергії в мережі, попередити і парировати позаштатні ситуації в СЕП, що виникають у всіх режимах експлуатації космодрому, поліпшити стійкість роботи систем електропостачання і збільшити період експлуатації електрообладнання. У випадку виходу за допустимі межі показників якості електроенергії СКЯЕ дозволить вжити оперативних заходів по забезпеченню ЯЕ завдяки управлінню елементами системи електропостачання, це також дозволить підтвердити виконання вимог Замовника пускових послуг до електропостачання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Линник А. К. Філософські аспекти розробки ракетно-космічної техніки [Електронний ресурс] / А. К. Линник // System design and analysis of aerospace technique characteristics. – 2021. – Т. 28, № 1. – С. 14–19. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15421/472102>
- [2] Правила УРКТ-01.01 Розробка, виготовлення та експлуатація ракетно-космічної техніки. [Введені в дію наказом НКАУ від 12.12.2001р. №210] - 12 с.
- [3] Федоров О. П. Космічна техніка та технології. Енциклопедія Сучасної України. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України . [Електронний ресурс]. – Режим доступу URL: <https://esu.com.ua/article-3846>.
- [4] Шевцов В. Ю. Технології проектування і конструювання техніки і технічних систем [Електронний ресурс] / В. Ю. Шевцов // System design and analysis of aerospace technique characteristics. – 2022. – Т. 26, № 1. – С. 63–70. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15421/471909>
- [5] Володарський С.Т. Система моніторингу якості електричної енергії в децентралізованих системах електропостачання [Електронний ресурс] / С.Т. Володарський, А.В. Волошко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – №. 318 (69). – С. 10–18.
- [6] Abdel-Galil, T. Power quality disturbance classification using the inductive inference approach [Text] / T. Abdel-Galil, M. Kamel, A. M. Youssed // IEEE Trans. on Power Delivery. – 2004. – Vol. 19, №. 4. – P. 1812–1818.
- [7] He, H. A self-organizing learning array system for power Quality classification based on wavelet transform [Text] / H. He, J. A. Starzyk // IEEE Trans. on Power Delivery. – 2006. – Vol. 21, № 1. – P. 286–295.
- [8] Yang, H. T. A de-noising scheme for enhancing wavelet-based power quality monitoring system [Text] / H. T. Yang, L. Chung, C. C. Liao // IEEE on Power Delivery. – 2001. – Vol. 16, Issue 3. – P. 353–360
- [9] Гриб О. Г. Моніторинг споживання електроенергії з контролем якості / О. Г. Гриб, Д. А. Гапон, Т. С. Ієрусалімова, М. С. Белов, О. В. Лелека // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - 2016. - № 2. - С. 39-44. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vvpi_2016_2_8
- [10] Coleman P. Power Quality Monitoring [Electronic resource] / Patrick Coleman // Electrical Engineering Handbook. – [S. l.], 2007. – Mode of access: <https://doi.org/10.1201/9781420009255.ch33>
- [11] Sinchuk I. O. Electricity quality control in the aspect of implementation of micro grid technology [Electronic resource] / I. O. Sinchuk, M. G. Kotyakova // Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences. – 2023. – Vol. 1, no. 2. – P. 288–292. – Mode of access: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.1/45>
- [12] Bunko V. Analysis of the use and implementation of the smart system for monitoring the electrical energy of the educational building [Electronic resource] / Vasyi Bunko, Oleksandr Kondrat, Nazarii Bunko // Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. – 2024. – No. 4. – P. 169–176. – Mode of access: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2024.4.22>
- [13] Приклад реалізації автоматизованої системи контролю та комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.svaltera.ua/presscenter/articles/4379.php> – Назва з екрана
- [14] Системи обліку енергоспоживання і контролю технічного обслуговування [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://innovinnprom.com/galuzevi-rishennya/systemy-obliku-energospozhyvannya-i-kontrolyu-tehnichnogo-obslugovuvannya> – Назва з екрана
- [15] ДСТУ EN 50160:2023. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах

- загальної призначеності. – [На заміну ДСТУ EN 50160:2014; чинний від 2023-12-08] – Київ: Мінекономірозвитку України, 2023. – 27 с.
- [16] ДСТУ 3466-96. Якість електричної енергії терміни та визначення. – [Чинний від 1998-01-01] – Київ: НУВО «Енергокомплекс», 1996. – 15с.
- [17] IEEE 1547:2003. Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System. – [Valid from 2023-07-28], 2003. – 16 p.
- [18] Фролов В.П. Метод формування структур систем безперебійного електропостачання стартових комплексів ракет-носіїв на основі моделювання: дис.... канд. техн. наук : 05.07.06 / Фролов Віктор Петрович. - Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М.С.Жуковського Харк. авіац. ін-т., 2010.- 171 с.
- [19] Electrical Power Systems Quality / H. Wayne Beaty [et al.]. – 2nd ed. – [S. l.]: McGraw-Hill Professional, 2002. – 528 p.
- [20] Power Quality Harmonics Analysis and Real Measurements Data [Electronic resource] / ed. by G. Romero. – [S. l.]: InTech, 2011. – Mode of access: <https://doi.org/10.5772/699>
- [21] Janik P. Influence of increasing numbers of RE-inverters on the power quality in the distribution grids: A PQ case study of a representative wind turbine and photovoltaic system [Electronic resource] / Przemyslaw Janik, Grzegorz Kosobudzki, Harald Schwarz // Frontiers in Energy. – 2017. – Vol. 11, no. 2. – P. 155–167. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s11708-017-0469-3>
- [22] Pivnyak G. Assessment of power supply energy efficiency by voltage quality criterion [Electronic resource] / G. Pivnyak et al. // *Rynek Energii*. – 2021. – No. 4(155). P. 75-84. ISSN 14255960.
- [23] El Hajji M. The electromagnetic interference caused by high voltage power lines along the electrical railway equipment [Electronic resource] / Moine El Hajji, Hassane Mahmoudi, Moussa Labadi // International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). – 2020. – Vol. 10, no. 5. – P. 4581. – Mode of access: <https://doi.org/10.11591/ijece.v10i5.pp4581-4591>
- [24] Stones J. Power quality [Electronic resource] / J. Stones, A. Collinson // Power Engineering Journal. – 2001. – Vol. 15, no. 2. – P. 58–64. – Mode of access: <https://doi.org/10.1049/pe:20010201>
- [25] Voltage sag analysis case studies [Electronic resource] / J. Lamoree [et al.] // IEEE Transactions on Industry Applications. – 1994. – Vol. 30, no. 4. – P. 1083–1089. – Mode of access: <https://doi.org/10.1109/28.297926>
- [26] Bollen M. H. J. Voltage sags: effects, mitigation and prediction [Electronic resource] / M. H. J. Bollen // Power Engineering Journal. – 1996. – Vol. 10, no. 3. – P. 129–135. – Mode of access: <https://doi.org/10.1049/pe:19960304>

Надійшла (Received) 13.01.2025

Прийнята (Accepted) 11.02.2025

Опублікована (Published) 30.04.2025

FEATURES OF THE CREATION OF ELECTRIC POWER QUALITY CONTROL SYSTEMS IN POWER SUPPLY SYSTEMS OF SPACE ROCKET COMPLEXES

- REVA V.S. Postgraduate Student, Head of the group, «Yuzhnoye» SDO, Krivorizska street, 3, Dnipro, Ukraine, 49008, e-mail: reva.vad@ukr.net, ORCID: 0000-0000-0000-0000;
- LYSENKO O.G. Ph.D. technical Sciences, associate professor, associate professor of the electric drive department engineering of the Dnipro University of Technology, Dmytro Yavornytskyi Avenue, 19, Dnipro, Ukraine, e-mail: lysenkoag@ukr.net, ORCID: 0000-0002-7041-671X.
- UDOVYK O.V. Postgraduate student of the Department of electric power engineering of the of the Dnipro University of Technology, Dmytro Yavornytskyi Avenue, 19, Dnipro, Ukraine, e-mail: udovyk.o.v@nmu.one, ORCID: 0009-0002-1000-7815.

Purpose. Solution of electric power quality issues at space rocket complexes during the execution of launch preparation and launch cycles for the space rocket through the creation and solution of the electric power quality control system (EPQCS) as a separate structure within the power supply system of space rocket complexes PSS SRC with the provision of specified power parameters.

Methodology. Review of literary sources on the subject, method of expert evaluations, method of system analysis, method of experimental research.

Findings. Indicators of electricity quality, which are the most important for SRC electricity consumers, and which must be monitored, are given. The main requirements to EPQCS have been determined. In case of exceeding the permissible limits of electricity power quality indicators, EPQCS will allow to take operational measures necessary to counter off-nominal situations, by using to the management of the elements of the power supply system. Information security was carried out using a routinely adopted structural block diagram of such systems, on the basis of which the three-tier structure of the EPQCS was implemented. The algorithm and basic principles of the operation of the EPQCS in the nominal mode and the mode beyond the limits of the power quality indicators (PQI) are reviewed. A short

description of the structure, as well as an example of the algorithm for managing the EPQCS subordinates, has been included.

Originality. The task of a comprehensive approach to electricity power quality indicators was solved and created electric power quality control system in the SRC power supply systems. Microprocessor control means primarily provide speed in comparison with similar systems based on analog-to-digital converters. The proposed EPQCS carries out electricity quality control with the display of data on the operator's screen in real time, continuous monitoring with fixation and registration of the main parameters, as well as notification of the operator in case off-nominal situations.

Practical value. Developed, manufactured and successfully passed all types of tests of the electric power quality control system for the SRC «Cyclone -4» (Brazil), and partly for the SRC «Cyclone -4M» (Canada).

Keywords: quality, electric power, power supply system, control, structure, consumer, principle of operation.

REFERENCES

- [1] Linnyk A. K. (2021). Filosofski aspektu rozrobku raketno-kosmichnoi techniku (Philosophical aspects of the development of rocket and space technology) [Electronic resource]. *System design and analysis of aerospace technique characteristics*. Vol. 28, No. 1. 14–19. Access mode: <https://doi.org/10.15421/472102>
- [2] Pravyla URKT-01.01 Rozrobka, vygotovlennya ta ekspluatatsiya raketno-kosmichnoi tekhniki (Rules URKT-01.01 Development, manufacture and operation of rocket and space technology). [Put into effect by the order of the NKAU dated 12.12.2001 №210]. – 12 p.
- [3] Fedorov O.P. (2014). Kosmichna tekhnika ta tekhnologii. Enciklopediya Suchasni Ukrainy. Kyiv: Institut Encyklopedicheskikh doslidzen NAN Ukrainy (Space engineering and technologies. Encyclopedia of Modern Ukraine. Kyiv: Institute of Encyclopedic Research of the National Academy of Sciences of Ukraine). URL: <https://esu.com.ua/article-3846>.
- [4] Shevtsov V. Yu. (2022). Tehnologysya proektuvannya I konstruyuvannya tehniky I tehnicnyh system. Systemne proektuvannya ta analiz harakterystyk aerokosmichnoi tehniky. (Technologies of design and construction of equipment and technical systems) [Electronic resource]. *System design and analysis of aerospace technique characteristics*. Vol. 26, No. 1, 63–70. Access mode: <https://doi.org/10.15421/471909>
- [5] Volodarsky E.T. (2014). Systema monitoringu yakosti elektrychnoi energii u decentralizovanykh systemakh electropostachannya (Electric energy quality monitoring system in decentralized power supply systems) [Electronic resource]. *Eastern European Journal of Advanced Technologies*. No. 318 (69), 10–18.
- [6] Abdel-Galil, T., Kamel M., Youssed A. M. (2004). Power quality disturbance classification using the inductive inference approach [Text]. *IEEE Trans. on Power Delivery*. Vol. 19, No. 4. 1812–1818.
- [7] He, H., Starzyk, J. A. (2006). A self-organizing learning array system for power Quality classification based on wavelet transform [Text]. *IEEE Trans. on Power Delivery*. Vol. 21, No 1, 286–295.
- [8] Yang, H. T., Chung, L., Liao, C. C. (2001). A denoising scheme for enhancing wavelet-based power quality monitoring system [Text]. *IEEE on Power Delivery*. Vol. 16, Issue 3, 353–360.
- [9] Hryb O. G., Gapon D. A., Ierusalimova T. S., Belov M. S., Leleka O. V. (2016). Monitoryng spogivannya elektroenergii z kontrolem yakosti (Monitoring of electricity consumption with quality control). *Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute*. No. 2, P. 39–44. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vvpi_2016_2_8
- [10] Coleman P. (2007). Power Quality Monitoring [Electronic resource]. *Electrical Engineering Handbook*. Mode of access: <https://doi.org/10.1201/9781420009255.ch33>
- [11] Sinchuk I. O., Kotyakova M. G. (2023). Electricity quality control in the aspect of implementation of micro grid technology [Electronic resource]. *Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Technical Sciences*. Vol. 1, No. 2, 288–292. Mode of access: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.1/45>
- [12] Bunko V., Kondrat O., Bunko N. (2024). Analysis of the use and implementation of the smart system for monitoring the electrical energy of the educational building [Electronic resource]. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. No. 4, 169–176. Mode of access: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2024.4.22>
- [13] An example of implementing an automated system for monitoring and commercial accounting of electricity (ASKOE) [Electronic resource] – Access mode: <https://www.svaltera.ua/presscenter/articles/4379.php> – Screen title
- [14] Energy consumption accounting and maintenance control systems [Electronic resource] – Access mode: <https://innovinnprom.com/galuzevirishennya/systemy-obliku-energospozhyvannya-i-kontrolyu-tehnicnogo-obslugovuvannya> – Screen title
- [15] DSTU EN 50160:2023 Harakterystyky naprugy electropostaczannya v mererzakh zagalnogo przyznacennya. – [Replaces DSTU EN 50160:2014; valid from 1998-01-01] – Kyiv, Minekonomrozvytku Ukrainy. (Characteristics of

- power supply voltage in general purpose electrical networks, Kyiv, Ministry of Economic Development of Ukraine), 27p.
- [16] DSTU 3466-96 Yakist elektrychnoi energii terminy ta vyznachennya. – [Valid from 1998-01-01] – Kyiv NUVO "Energokompleks" (Quality of electrical energy, terms and definitions, Kyiv, NUVO "Energokompleks"), 15p.
- [17] IEEE 1547:2003. Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System. – [Valid from 2023-07-28] , 2003. – 16 p.
- [18] Frolov V.P. Metod formuvannya struktur system bezperebiinogo elektropostachannya startovyh kompleksiv raket-nosiiv na osnovi matematychnogo moduluvannya: dys... kand. techn. nauk: 05.07.06 (The method of forming the structures of uninterrupted power supply systems of launch complexes based on modeling: diss. Ph.D. technical of science: 05.07.06)/ Kharkiv: Nac. Aerokosm. Un-t. im. N.E. Gukovskogo Khark. aviac. In-t. 171p.
- [19] H. Wayne Beaty. (2002). Electrical Power Systems Quality. [S. l.]: McGraw-Hill Professional, 528.
- [20] Romero G. (2011). Power Quality Harmonics Analysis and Real Measurements Data [Electronic resource]. InTech, Mode of access: <https://doi.org/10.5772/699>
- [21] Janik P. Kosobudzki G, Schwarz H. (2017). Influence of increasing numbers of RE-inverters on the power quality in the distribution grids: A PQ case study of a representative wind turbine and photovoltaic system [Electronic resource]. *Frontiers in Energy*. Vol. 11, No. 2, 155–167. Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s11708-017-0469-3>
- [22] Pivnyak G. Assessment of power supply energy efficiency by voltage quality criterion [Electronic resource] / G. Pivnyak et al. // *Rynek Energii*. – 2021. – No. 4(155). P. 75-84. ISSN 14255960.
- [23] El Hajji M., Mahmoudi H., Labbadi M. (2020). The electromagnetic interference caused by high voltage power lines along the electrical railway equipment [Electronic resource]. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. Vol. 10, No. 5, 45-81. Mode of access: <https://doi.org/10.11591/ijece.v10i5.pp4581-4591>
- [24] Stones J., Collinson A., (2001). Power quality [Electronic resource]. *Power Engineering Journal*. Vol. 15, No. 2, 58–64. Mode of access: <https://doi.org/10.1049/pe:20010201>
- [25] J. Lamoree. (1994). Voltage sag analysis case studies [Electronic resource]. *IEEE Transactions on Industry Applications*. Vol. 30, No. 4, 1083–1089. Mode of access: <https://doi.org/10.1109/28.297926>
- [26] Bollen M. H. J. (1996). Voltage sags: effects, mitigation and prediction [Electronic resource]. *Power Engineering Journal*. Vol. 10, No. 3, 129–135. Mode of access: <https://doi.org/10.1049/pe:19960304>