

1 Мета

- Стандартизувати тестові позиції, мету тестування, методи тестування, критерії оцінки та правила прийняття рішень для шафи зберігання енергії з рідинним охолодженням.
- Визначити умови та процеси для шафи зберігання енергії з рідинним охолодженням на кожному етапі тестування (отримання завдання на тестування, підготовка до тестування, виконання тестування, завершення тестування).
- Визначити основні принципи тестування шафи зберігання енергії з рідинним охолодженням, класифікацію проблем невідповідності та стандарти оцінки якості.
- Перевіряти різні показники продуктивності шаф зберігання енергії з рідинним охолодженням, що виробляються компанією, щоб гарантувати, що безпека та надійність шафи зберігання енергії відповідають вимогам замовника.
- Виявляти очевидні або потенційні проблеми якості та надавати об'єктивні дані для підвищення якості продукції, безпеки та надійності.

2 Сфера застосування

Поширюється на функціональність та продуктивність шаф рідинного охолодження для зберігання енергії, що виробляються компанією Hoenergy New Energy Technology Co., Ltd.

3 Посилання на стандарти

№	Номер стандарту	Опис
1	Вимоги до технічних показників продукту	«Специфікація продукту»
2	IEC 62933-3-1:2018	(Планування та оцінка продуктивності систем накопичення енергії) Процедури експлуатації та технічного обслуговування електростанцій накопичення енергії
3	IEC 62933-2-1:2017	(Параметри та випробування елементів) Загальні технічні умови для електрохімічних систем накопичення енергії в електроенергетичних системах
4	IEC TS 62933-3-2:2023	(Показники продуктивності систем накопичення енергії) Експлуатаційні показники та оцінка електрохімічних електростанцій накопичення енергії
5	EN 50549-1:2019	(Підключення генеруючих установок до низьковольтних мереж) Технічні умови підключення електрохімічних систем накопичення енергії до мережі
6	EN 50549-10:2022	(Оцінка відповідності / випробування) Специфікації випробувань мережних електрохімічних систем накопичення енергії
7	IEC 62619:2022	(Промислові літєві елементи / акумулятори) Літій-іонні акумулятори для зберігання електричної енергії
8	IEC TS 62933-3-2:2023	(Показники продуктивності систем накопичення енергії) Експлуатаційні показники та оцінка електрохімічних електростанцій накопичення енергії
9	IEC 62933-2-1:2017	(Параметри та випробування елементів) Загальні технічні умови для електрохімічних систем накопичення енергії в електроенергетичних системах
10	EN 50549-10:2022	(Оцінка відповідності / випробування) Специфікації випробувань мережних електрохімічних систем накопичення енергії
11	IEC 62477-1:2022	(Безпека силових електронних перетворювачів) Технічні умови для перетворювачів накопичення енергії в електрохімічних системах накопичення енергії

4 Визначення термінів

- **EUT:** обладнання, що тестується (Equipment Under Test)
- **AE:** допоміжне обладнання (Auxiliary Equipment)

5 Основні принципи тестування та критерії оцінки

5.1 Основні принципи тестування

На основі стандартів (міжнародних, національних, галузевих), специфікацій тестування та технічних умов, а також з урахуванням тестових даних, здійснюється оцінка шафи рідинного охолодження для систем зберігання

енергії з погляду користувача, з метою виявлення функціональних дефектів та потенційних відмов на етапі тестування.

Робота з тестування виконується незалежно відповідно до процесу тестування, без впливу таких факторів, як ставлення та мислення команди розробників проекту, які можуть завадити процесу тестування.

5.2 Принципи та стандарти класифікації проблем

Класифікація за ступенем невідповідності характеристикам якості продукту:

- **Клас А (критичний дефект):** відмова основних функцій, функцій безпеки тощо
- **Клас В (важливий дефект):** невідповідність основним показникам або параметрам, на які клієнт звертає особливу увагу
- **Клас С (звичайний дефект):** невідповідність загальним показникам
- **Клас D (прийнятний дефект):** дефект, прийнятний з огляду на поточну ситуацію клієнта або компанії

5.3 Критерії оцінки якості

Якщо всі пункти перевірки відповідають установленим вимогам, вважається, що продукція пройшла перевірку (придатна).

Якщо будь-який пункт перевірки не відповідає установленим вимогам, слід призупинити перевірку. Відповідальна організація повинна проаналізувати пункти невідповідності, встановити причини та вжити коригувальних заходів, після чого повторно подати продукцію на перевірку. Якщо повторна перевірка дає позитивний результат, продукція все одно вважається такою, що пройшла перевірку. Якщо під час повторної перевірки знову виявлено пункти, які не відповідають установленим вимогам, продукція визнається такою, що не пройшла перевірку (непридатною).

6 Тестові прилади, інструменти та середовище

6.1 Тестове обладнання

№	Назва обладнання	Постачальник	Модель
1	Тестер мережевого кабелю	Pro'sKit (Тайвань)	MT-7028
2	Токовимірювальні кліщі	Fluke	F393
3	Портативний кишеньковий тепловізор	Fluke	PTi120
4	Термогігрометр	Fluke	F971
5	Тестер опору ізоляції	Fluke	1535/1537
6	Аналізатор якості електроенергії	Zhiyuan Electronic	PA5006H-P0600-242
7	Пристрій для випробування ізоляції на пробій	Chroma	19053
8	CAN-адаптер	ZhouLigong	USBCAN-II+
9	Модуль USB-RS485	Ningtai Technology	UT-8890

6.2 Тестове середовище

- Висота майданчика для тестування не повинна перевищувати 2000 м
- Атмосферний тиск 86–106 кПа
- Температура навколишнього середовища під час роботи обладнання 20 ± 5 °C
- Середньодобова відносна вологість 45%–75%, на обладнанні не повинно бути конденсату

7 Тестові проекти, методи тестування, критерії оцінки та результати тестування

7.1 Перевірка зовнішнього вигляду та основних компонентів

Включає перевірку зовнішнього вигляду, перевірку обладнання, перевірку ліній, перевірку дверних замків і перевірку розмірів.

7.1.1 Зовнішній огляд

Метод випробування: Перевірити заводську табличку, маркування, логотип та зовнішній вигляд корпусу виробу.

Критерії оцінки: Заводська табличка, маркування та логотип відображаються чітко й коректно; корпус не має пошкоджень та слідів корозії.

Результати випробування:

№	Пункт перевірки	Критерії оцінки	Висновок
1	Передня сторона виробу	Заводська табличка, маркування та логотип відображаються чітко й коректно; корпус не має пошкоджень та слідів корозії	Відповідає
2	Ліва сторона виробу	Те саме	Відповідає
3	Права сторона виробу	Те саме	Відповідає
4	Задня сторона виробу	Те саме	Відповідає
5	Заводська табличка	Те саме	Відповідає
6	Логотип	Те саме	Відповідає

7.1.2 Перевірка обладнання

Метод випробування: Звіряючи специфікацію (BOM) із проектними монтажними кресленнями, перевірити місця встановлення та кріплення таких компонентів: EMS, PCS, акумуляторних шаф, рідинного охолоджувального агрегату, розподільчої шафи, пожежного обладнання, осушувача повітря тощо.

Критерії оцінки: Кожне обладнання має бути правильно та надійно закріплене на своєму місці, без деформацій і зміщення; з'єднувальні гвинти мають бути затягнуті.

Результати випробування:

№	Пункт випробування	Критерії оцінки	Висновок
1	PCS	Кожне обладнання правильно та надійно закріплене на своєму місці, без деформацій і зміщення; з'єднувальні гвинти затягнуті	Відповідає
2	EMS	Те саме	Відповідає
3	Акумуляторна шафа	Те саме	Відповідає
4	Рідинний охолоджувальний агрегат	Те саме	Відповідає
5	Розподільча шафа	Те саме	Відповідає
6	Пожежна шафа	Те саме	Відповідає
7	Осушувач повітря	Те саме	Відповідає
8	Інші компоненти	Те саме	Відповідає

7.1.3 Перевірка ліній

Метод випробування: Перевіряти поелектри відповідно до електричних схем:

- З'єднання силових, комунікаційних та допоміжних ліній живлення кожного батареиноного кластера виконані правильно та надійно;
- З'єднання силових, комунікаційних та ліній живлення кожної шафи збірки шин виконані правильно та надійно;
- З'єднання силових, комунікаційних ліній, ліній допоміжного живлення та ліній охолоджувального вентилятора PCS виконані правильно та надійно;
- Комунікаційні лінії та лінії допоміжного живлення EMS з'єднані правильно та надійно;
- Комунікаційні та силові лінії розподільчої шафи з'єднані правильно та надійно;
- Комунікаційні та силові лінії пожежної сигналізації з'єднані правильно та надійно;
- Заземлення кожного пристрою виконано правильно та надійно.

Критерії оцінки: Кабелі та шинні з'єднання в усіх місцях виконані правильно та надійно; заземлювальні та силові лінії правильно з'єднані відповідно до схеми, маркування ліній є чітким і правильним.

Результати випробувань:

№	Пункт випробування	Критерії оцінки	Висновок
1	Силові лінії / шини батарейного кластера	Кабелі та шинні з'єднання в усіх місцях виконані правильно та надійно; заземлювальні та силові лінії правильно з'єднані відповідно до схеми, маркування ліній є чітким і правильним	Відповідає
2	Сигнальні лінії батарейного кластера	Те саме	Відповідає
3	Силові лінії високовольтної шафи	Те саме	Відповідає
4	Сигнальні лінії високовольтної шафи	Те саме	Відповідає
5	Силові лінії / шини PCS	Те саме	Відповідає
6	Сигнальні лінії PCS	Те саме	Відповідає
7	Лінія живлення EMS	Те саме	Відповідає
8	Сигнальні лінії EMS	Те саме	Відповідає
9	Силові та сигнальні лінії рідинного охолоджувального агрегату	Те саме	Відповідає
10	Силові та сигнальні лінії осушувача	Те саме	Відповідає
11	Лінії живлення та сигналізації пожежної системи	Те саме	Відповідає

7.1.4 Перевірка замків дверей

Метод тестування: За допомогою ключа послідовно відмикати та замикати кожен замок дверей, спостерігаючи за кожним дверним полотном.

Критерії оцінки: Замки дверей функціонують нормально, без деформації та пошкоджень.

Результати тестування:

№	Тестовий пункт	Критерії оцінки	Висновок
1	Зовнішній вигляд та функціональність замка дверей	Замок дверей функціонує нормально, без деформації та пошкоджень	Відповідає

7.1.5 Перевірка розмірів

Метод випробування: Виміряйте розміри шафи в усіх напрямках рулеткою та порівняйте їх з проектними кресленнями.

Критерії оцінки: Відповідно до ISO 2768-1:1989 «Загальні допуски. Частина 1: Допуски на лінійні та кутові розміри»:

Таблиця 1. Граничні відхилення лінійних розмірів (мм)

Клас допуску	0,5–3	>3–6	>6–30	>30–120	>120–400	>400–1000	>1000–2000	>2000–4000
Точний (f)	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	—
Середній (m)	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
Грубий (c)	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4
Дуже грубий (v)	—	±0,5	±1	±1,5	±2,5	±4	±6	±8

Похибка за довжиною $\leq \pm 1,2$ мм; похибка за шириною $\leq \pm 1,2$ мм; похибка за висотою $\leq \pm 2$ мм.

Результати випробування:

№	Пункт випробування	Критерій оцінки	Висновок
1	Довжина	Похибка розмірів обладнання ≤ 10 мм	Відповідає
2	Ширина	Похибка розмірів обладнання ≤ 10 мм	Відповідає
3	Висота	Похибка розмірів обладнання ≤ 10 мм	Відповідає

7.2 Функціональне тестування

7.2.1 Перевірка увімкнення батарейного кластера

Метод тестування:

1. Виміряти напругу В+/В- між кожним батарейним РАСК та високовольтною шафою;
2. Увімкнути автоматичний вимикач високовольтної шафи;
3. З'єднати комп'ютер із високовольтною шафою за допомогою CAN-адаптера, відкрити головний контролер та зчитати дані батарейного кластера.

Критерії оцінки: Напруга РАСК, напруга батарейного кластера та максимальна різниця напруг відповідають стандартам (напруга РАСК 134,4–172,8 В, різниця напруг <0,5 В; напруга батарейного кластера 672–864 В, різниця напруг <2 В). Високовольтна шафа живиться нормально, без сигналів тривоги. Напруга кожного батарейного кластера, кожного РАСК та кожного осередку є нормальною, дані датчиків температури — у нормі.

Результати тестування:

Пункт	Стандартне значення	Зразок	Номер РАСК	Мінімальне значення	Максимальне значення	Різниця напруг	Висновок
Перевірка батарейного кластера	134,4–172,8 В	1	#1	Vout (V)	Vout (V)	—	Відповідає
Перевірка батарейного кластера	672–864 В	1	—	Vout (V)	Vout (V)	—	Відповідає
Перевірка максимальної різниці напруг РАСК	різниця напруг 0–0,5 В	1	—	Vout (V)	Vout (V)	0–0,5	Відповідає

7.2.2 Перевірка процедури увімкнення

Метод випробування:

1. Увімкнути автоматичний вимикач з боку змінного струму;
2. Увімкнути автоматичні вимикачі рідинного охолоджувального агрегату, пожежної сигналізації, вентилятора, блока живлення 24 В, розеток, освітлення, високовольтної шафи тощо;
3. Увімкнути батарейний кластер.

Критерії оцінки: Система працює нормально, під час запуску відсутні сигнали тривоги та спрацьовування захисту.

Результати випробування:

№	Пункт випробування	Критерії оцінки	Висновок
1	Процедура увімкнення	Система працює нормально, під час запуску відсутні сигнали тривоги та спрацьовування захисту	Відповідає

7.2.3 Перевірка даних EMS

Метод тестування: Після увімкнення системи слід увійти до локальної платформи EMS та хмарної платформи, щоб переглянути дані платформи.

Критерії оцінки: Дані локальної платформи EMS та хмарної платформи повинні бути стабільно нормальними.

Результати тестування:

№	Тестовий пункт	Критерії оцінки	Висновок
1	Перевірка даних EMS	Дані локальної платформи EMS та хмарної платформи стабільно нормальні	Відповідає

7.2.4 Перевірка інформації про батарейні кластери

Метод тестування:

1. Увійдіть до локальної платформи EMS та хмарної платформи;
2. Перевірте інформацію про напругу кластера, струм кластера, SOC кластера, доступну ємність заряду, доступну ємність розряду, ємність одноразового заряду, ємність одноразового розряду, сукупну ємність заряду, сукупну ємність розряду, максимальну напругу окремого елемента, мінімальну напругу окремого елемента, середню температуру, максимальну температуру окремого елемента, мінімальну температуру окремого елемента, SOH окремого елемента, ізоляцію R+, ізоляцію R-, середній SOC тощо.

Критерії оцінки: Інформація про батареїні кластери є правильною.

Результати тестування:

№	Тестовий пункт	Критерії оцінки	Висновок
1	Перевірка інформації про батареїні кластери	Інформація про батареїні кластери є правильною	Відповідає

7.2.5 Перевірка точності вимірювання кінцевої напруги батареїного кластера

Метод тестування:

1. Виміряти напругу на кінцях батареїного PACK V1 за допомогою мультиметра в режимі вимірювання напруги;
2. Зчитати значення напруги на кінцях батареїного PACK V2 з локальної/хмарної платформи EMS;
3. Обчислити похибку вимірювання кінцевої напруги $(V2-V1)/V1$;
4. Взяти максимальне значення похибки, отримане під час процесу тестування.

Критерії оцінки: Похибка вимірювання $\leq \pm 5\%$.

Результати тестування:

Пункт	Нормативне значення	Зразок	Номер PACK	Виміряне значення Vout (В)	Дані EMS Vout (В)	Головний пристрій BMS Vout (В)	Різниця напруг	Висновок
Перевірка точності напруги PACK	-0.50%~+0.50%	1	#1	-0.50%	-0.50%	—	—	Відповідає
Те саме	Те саме	2	—	—	—	—	—	Відповідає
Те саме	Те саме	3	—	—	—	—	—	Відповідає
Те саме	Те саме	4	—	—	—	—	—	Відповідає
Те саме	Те саме	5	—	—	—	—	—	Відповідає
Перевірка точності напруги батареїного кластера	-0.50%~+0.50%	1	—	-0.50%	-0.50%	—	—	Відповідає

7.2.6 Перевірка точності напруги на клемі PCS

Метод випробування:

1. Виміряти мультиметром у режимі вольтметра напругу постійного струму на клемі PCS V1 та трифазну напругу з боку змінного струму VA1, VB1, VC1;
2. Зчитати напругу постійного струму на клемі PCS V2 та трифазну напругу з боку змінного струму VA2, VB2, VC2 з локальної/хмарної платформи EMS;
3. Обчислити похибку вимірювання напруги на клемі $(V2-V1)/V1$, $(VA1-VA2)/VA1$, $(VB1-VB2)/VB1$, $(VC1-VC2)/VC1$;
4. Взяти максимальне значення похибки, отримане під час випробування.

Критерії оцінки: Похибка вимірювання $\leq \pm 5\%$, відповідно до специфікації PCS.

Результати випробування:

Пункт	Нормативне значення	Зразок	Категорія	Виміряне значення	Дані платформи	Різниця напруги	Висновок
Перевірка точності напруги на клемі PCS	-0,50%~+0,50%	1	Напруга фази А	-0,50%	0,50%	—	Відповідає
Те саме	Те саме	1	Напруга фази В	—	—	—	Відповідає
Те саме	Те саме	1	Напруга фази С	—	—	—	Відповідає
Те саме	Те саме	1	Напруга постійного струму	—	—	—	Відповідає

7.2.7 Перевірка освітлення

Метод тестування: Відкрити та закрити двері акумуляторного відсіку і спостерігати за станом освітлення.

Критерії оцінки: Освітлення працює нормально.

7.2.8 Перевірка вентилятора охолодження PCS

Метод тестування:

1. Запустіть роботу PCS;
2. Якщо температура радіатора PCS перевищує задане значення, спостерігайте за роботою вентилятора PASC;
3. Зупиніть роботу PCS;
4. Знову спостерігайте за роботою вентилятора.

Критерії оцінки: Коли активна/реактивна потужність заряджання та розряджання PCS нижча за задане значення (наприклад, 1 % від номінальної потужності), і температура радіатора PCS перевищує задану температуру (80 °C), вентилятор вмикається та працює, доки температура радіатора не знизиться до заданої температури (60 °C); коли активна/реактивна потужність заряджання та розряджання PCS вища за задане значення (наприклад, 1 % від номінальної потужності), і температура радіатора PCS перевищує задану температуру (60 °C), вентилятор вмикається та працює, доки температура не знизиться до заданої температури (50 °C).

Результати тестування:

№	Тестовий пункт	Висновок
1	Напрямок повітряного потоку вентилятора	Відповідає
2	Логіка керування вентилятором	Відповідає

7.2.9 Перевірка даних рідинно-охолоджувальної установки

Метод тестування:

1. Спостерігати за значенням температури запуску охолодження / температури запуску нагрівання рідинно-охолоджувальної установки;
2. Порівняти дані рідинного охолодження між локальною EMS та хмарною платформою;
3. Вручну налаштувати значення температури запуску охолодження / температури запуску нагрівання рідинно-охолоджувальної установки та спостерігати за робочим станом.

Критерії оцінки:

1. Коли PCS працює: за максимальної температури ≥ 35 °C вмикається охолодження; за температури ≤ 20 °C активується режим водяної циркуляції для підтримки температури; за температури ≤ 5 °C вмикається нагрівання; коли температура піднімається до 15 °C, активується режим водяної циркуляції для підтримки температури.
2. Коли PCS не працює: за максимальної температури ≥ 40 °C вмикається охолодження; за температури ≤ 35 °C TMS зупиняється; за температури ≤ 5 °C вмикається нагрівання; коли температура піднімається до 15 °C, TMS зупиняється.

Результати тестування:

№	Тестований параметр	Критерії оцінки	Висновок
1	Перевірка даних рідинно-охолоджувальної установки	Логіка керування коректна	Відповідає

7.2.10 Перевірка пожежної безпеки

Метод тестування: Спостерігати за станом пожежної системи та зворотною інформацією на локальній/хмарній платформі EMS.

Критерії оцінки: Пожежна система працює нормально, зворотний зв'язок коректний.

Результати тестування:

№	Тестований пункт	Висновок
1	Робочий стан	Відповідає
2	Зворотний зв'язок про несправності	Відповідає

7.2.11 Перевірка аварійного вимикача

Метод тестування:

1. Подайте команду на заряджання/розряджання на номінальній потужності системи через локальний/хмарний EMS;
2. Натисніть аварійний вимикач;
3. Спостерігайте за робочим станом системи та станом індикаторних ламп.

Критерії оцінки: Після натискання аварійного вимикача система припиняє заряджання/розряджання, індикатор аварійної зупинки засвічується; після відпускання аварійного вимикача система відновлює заряджання/розряджання, індикатор аварійної зупинки гасне.

Результати тестування:

№	Тестований параметр	Висновок
1	Зворотний зв'язок стану коректний	Відповідає
2	Логіка коректна	Відповідає

7.2.12 Імітаційне тестування тривоги BMS

Метод тестування:

1. Спостерігайте поточні значення струму заряду/розряду, напруги окремих елементів та температури окремих елементів BMS;
2. Встановіть уставку тривоги на головному пристрої нижчою за поточне значення;
3. Спостерігайте за робочим станом усієї системи;
4. Встановіть уставку тривоги на головному пристрої вищою за поточне значення;
5. Спостерігайте за робочим станом усієї системи.

Критерій оцінки: Відповідає технічним стандартам.

Результати тестування:

№	Тип тривоги	Критерій оцінки	Висновок
1	Перенапруга окремого елемента	Відповідає технічним стандартам	Придатно
2	Перенапруга кластера	Відповідає технічним стандартам	Придатно
3	Надмірний розряд окремого елемента	Відповідає технічним стандартам	Придатно
4	Надмірний розряд кластера	Відповідає технічним стандартам	Придатно
5	Перевищення струму розряду	Відповідає технічним стандартам	Придатно
6	Перевищення струму заряду	Відповідає технічним стандартам	Придатно
7	Перегрів під час заряду	Відповідає технічним стандартам	Придатно
8	Перегрів під час розряду	Відповідає технічним стандартам	Придатно
9	Тривога SOC	Відповідає технічним стандартам	Придатно

7.2.13 Симуляція тестування аварійних сигналів PCS

Метод тестування:

1. Симулювати аварійний сигнал зниженої напруги PCS;
2. Симулювати аварійний сигнал зворотної послідовності PCS;
3. Спостерігати за станом PCS та режимом заряджання/розряджання.

Критерії оцінки: У разі виникнення аварійного сигналу система припиняє заряджання/розряджання; після зняття аварійного сигналу заряджання/розряджання відновлюється до нормального режиму.

Результати тестування:

№	Тип аварійного сигналу	Критерії оцінки	Висновок
1	Знижена напруга	Відповідає технічним стандартам	Придатно
2	Зворотна послідовність	Відповідає технічним стандартам	Придатно

7.2.14 Тестування сигналізації зв'язку між BMS та EMS

Метод тестування:

1. Від'єднати лінію зв'язку між BMS та EMS;
2. Спостерігати за локальним або хмарним станом EMS;
3. Відновити лінію зв'язку між BMS та EMS;
4. Спостерігати за локальним або хмарним станом EMS.

Критерії оцінки: Після від'єднання лінії зв'язку система припиняє заряджання та розряджання і формує системну сигналізацію; після відновлення лінії зв'язку система повертається до нормального заряджання та розряджання.

Результати тестування:

№	Тестований пункт	Критерії оцінки	Висновок
1	Імітація сигналізації зв'язку між BMS та EMS	Від'єднання — зупинка та сигналізація, відновлення — повернення до нормальної роботи	Відповідає

7.2.15 Тестування сигналізації при імітації обриву зв'язку між PCS та EMS

Метод тестування:

1. Від'єднати лінію зв'язку між PCS та EMS;
2. Спостерігати за локальним або хмарним станом EMS;
3. Відновити лінію зв'язку між PCS та EMS;
4. Спостерігати за локальним або хмарним станом EMS.

Критерії оцінки: При від'єднанні лінії зв'язку система припиняє заряджання та розряджання і генерує системну сигналізацію; після відновлення лінії зв'язку система повертається до нормального заряджання та розряджання.

Результати тестування:

№	Тестовий пункт	Критерії оцінки	Висновок
1	Імітація сигналізації при обриві зв'язку між PCS та EMS	При від'єднанні — зупинка та сигналізація, при відновленні — повернення до роботи	Відповідає

7.2.16 Тестування сигналізації зв'язку між емульованим BMS та PCS

Метод тестування:

1. Від'єднати лінію зв'язку між PCS та BMS;
2. Спостерігати за станом EMS локально або у хмарі;
3. Відновити лінію зв'язку між PCS та BMS;
4. Спостерігати за станом EMS локально або у хмарі.

Критерії оцінки: При від'єднанні лінії зв'язку система припиняє заряджання/розряджання та формує системну сигналізацію; після відновлення лінії зв'язку система повертається до нормального режиму заряджання/розряджання.

Результати тестування:

№	Тестовий пункт	Критерії оцінки	Висновок
1	Симуляція сигналізації зв'язку між BMS та PCS	При від'єднанні лінії — зупинка та сигналізація, при відновленні — повернення до роботи	Відповідає

7.2.17 Імітаційне тестування сигналізації про втрату зв'язку між BMS та рідинно-охолоджувальною установкою

Метод тестування:

1. Від'єднати лінію зв'язку між кондиціонером та BMS;
2. Спостерігати за локальним або хмарним станом EMS;
3. Відновити лінію зв'язку між кондиціонером та BMS;
4. Спостерігати за локальним або хмарним станом EMS.

Критерії оцінки: Після від'єднання лінії зв'язку система припиняє заряджання та розряджання і формує системну сигналізацію; після відновлення лінії зв'язку система повертається до штатного режиму заряджання та розряджання.

Результати тестування:

№	Тестовий пункт	Критерії оцінки	Висновок
1	Імітація сигналізації про втрату зв'язку між BMS та рідинно-охолоджувальною установкою	Від'єднання лінії — зупинка та сигналізація, відновлення лінії — повернення до штатного режиму	Відповідає

7.2.18 Тестування ізоляції

Метод тестування: Виміряти опір ізоляції між вхідними/вихідними клемми інтегрованого шафи та корпусом, а також опір ізоляції між високовольним блоком В+/В– та корпусом, 3110 В постійного струму протягом 10 с.

Критерії оцінки: Опір ізоляції повинен бути не менше 1 МОм.

Результати тестування:

Пункт	Нормативне значення	Зразок	Категорія	Вимірне значення (Ом)	Висновок
Тестування ізоляції	≥ 1 МОм	1	В+ до корпусу	—	Придатно
Тестування ізоляції	≥ 1 МОм	1	В– до корпусу	—	Придатно

7.2.19 Випробування на електричну міцність ізоляції

Метод випробування: Виміряти струм витоку між вхідними/вихідними клемми інтегрованого корпусу та корпусом, а також струм витоку між клемми В+/В– високовольного блока та корпусом, 3110 VDC@60s.

Критерії оцінки: Струм витоку <1 мА.

Результати випробування:

Пункт	Нормативне значення	Зразок	Категорія	Струм витоку (мА)	Висновок
Випробування на електричну міцність ізоляції	<1 мА	1	В+ відносно корпусу	—	Придатно
Випробування на електричну міцність ізоляції	<1 мА	1	В– відносно корпусу	—	Придатно

7.2.20 Тест калібрування SOC

Метод тестування:

- Локальна/хмарна система керування EMS виконує заряджання на 1/2 номінальної потужності;
- Спостерігати за даними SOC від BMS до спрацьовування захисту BMS від надмірного розряджання.

Критерії оцінки: Значення калібрування SOC при повному заряджанні становить 100%.

Результати тестування:

№	Тестовий пункт	Критерії оцінки	Висновок
1	Тест калібрування SOC	SOC відкалібровано до 100%	Відповідає

7.2.21 Тестування на повній потужності

Метод тестування:

- Локальна/хмарна система керування EMS виконує розряд на повній потужності до досягнення кінцевих параметрів, потім заряд на повній потужності до досягнення кінцевих параметрів;
- Спостерігати за робочим станом усієї системи протягом усього процесу.

Критерії оцінки: Під час процесу заряду та розряду на повній потужності не повинно виникати жодних попереджень чи захисних спрацьовувань, а сам процес заряду/розряду не повинен перериватися.

Результати тестування:

№	Тестовий пункт	Критерії оцінки	Висновок
1	Тестування на повній потужності	Відсутність попереджень і захистів під час заряду/розряду, процес не переривається	Відповідає

7.2.22 Випробування ефективності заряджання та розряджання

Методика випробування:

- Локальна/хмарна система управління EMS виконує розряджання на повній потужності до кінцевого стану, потім заряджання на повній потужності до кінцевого стану, а потім знову розряджання на повній потужності до кінцевого стану;
- За допомогою аналізатора якості електричної енергії зчитати величину повного заряду W1 та величину повного розряду W2;
- Розрахувати середню ефективність $\eta = W2/W1 \times 100\%$.

Критерії оцінки: Середня ефективність перевищує проектні вимоги системи.

Результати випробування:

Пункт	Стандартне значення	Зразок	Категорія	Обсяг заряду	Обсяг розряду	Ефективність	Висновок
Випробування ефективності заряджання та розряджання	Відповідає проектним вимогам	1	Повна потужність	—	—	—	Відповідає

7.2.23 Тест на різницю температур

Метод випробування:

- Локальна/хмарна система керування EMS здійснює розряд на повній потужності до кінцевого значення, потім заряд на повній потужності до кінцевого значення, а потім знову розряд на повній потужності до кінцевого значення;
- Зафіксувати значення температури кожного датчика температури;
- Обчислити різницю температур.

Критерій оцінки: Максимальна різниця температур не повинна перевищувати 10 °C.

Результати випробування:

Пункт	Нормативне значення	Потужність (kW)	Номер батарейного кластера	Максимальна температура (°C)	Мінімальна температура (°C)	Різниця температур (°C)	Висновок
Тест на різницю температур	<10 °C	Повна потужність	#1	—	—	—	Відповідає

7.2.24 Перевірка різниці напруг

Метод випробування:

- Локальна/хмарна система керування EMS виконує розряд на повну потужність до кінцевого стану, потім заряд на повну потужність до кінцевого стану, а потім знову розряд на повну потужність до кінцевого стану;
- Зафіксувати напругу кожного елемента та обчислити максимальну різницю напруг.

Критерій оцінки: Максимальна різниця напруг не повинна перевищувати 200 mV.

Результати випробування:

Пункт	Нормативне значення	Потужність (kW)	Номер батарейного кластера	Найвища напруга елемента (mV)	Найнижча напруга елемента (mV)	Різниця напруг (mV)	Висновок
Перевірка різниці напруг	<200 mV	Повна потужність	#1	—	—	—	Відповідає

7.2.25 Тестування точності SOC

Метод тестування:

- Локальна/хмарна система керування EMS виконує розряд на повну потужність до кінцевого значення, потім заряд на повну потужність до кінцевого значення, а потім знову розряд на повну потужність до кінцевого значення;
- За допомогою аналізатора якості електроенергії обчислюються SOC заряджання та SOC розряджання, які порівнюються з даними BMS.

Критерії оцінки: Похибка SOC не повинен перевищувати 5%.

Результати тестування:

Пункт	Стандартне значення	Потужність	Вимірне значення	Розрахункове значення	Відхилення	Висновок
Тестування точності SOC	<5%	Номінальна потужність	—	—	—	Відповідає

7.2.26 Тест ємності

Метод тестування:

1. Локальна/хмарна система керування EMS виконує повну розрядку до кінцевого рівня на повній потужності, потім повний заряд до кінцевого рівня на повній потужності, а потім знову повну розрядку до кінцевого рівня на повній потужності;
2. За допомогою аналізатора якості електроенергії розрахувати ємність заряду та ємність розряду;
3. Розрахувати різницю ємностей.

Критерій оцінки: Ємність не нижча за 95% від номінальної ємності.

Результати тестування:

Пункт	Стандартне значення	Потужність	Тестове значення	Висновок
Тест ємності	>95%	Номінальна потужність	—	Відповідає

7.2.27 Перевірка версії програмного забезпечення

Метод тестування:

1. Перевірити версію програмного забезпечення головного контролера;
2. Перевірити версію програмного забезпечення підлеглого контролера.

Критерії оцінки: Номер версії правильний.

Результати тестування:

№	Категорія	Номер версії	Висновок
1	Головний контролер BMS	—	Відповідає
2	Підлеглий контролер BMS	—	Відповідає

7.2.28 Тестування оновлення BMS OTA

Метод тестування:

1. Виконайте оновлення основної та підпорядкованої програм BMS через хмарну платформу EMS, спостерігайте за процесом оновлення та явищами після оновлення, повторіть 10 разів;
2. Виконайте оновлення основної та підпорядкованої програм BMS за допомогою верхнього рівня ПЗ основного контролера BMS, спостерігайте за процесом оновлення та явищами після оновлення, повторіть 10 разів.

Критерії оцінювання: Оновлення програми виконується нормально, після оновлення система працює нормально.

Результати тестування:

№	Тестований пункт	Документ
1	Оновлення через хмарну платформу — нормально	Пройдено
2	Оновлення через верхнє ПЗ BMS — нормально	Пройдено

7.2.29 Випробування на шум

Метод випробування: На відстані 1 м та 1,2 м від пристрою в горизонтальному положенні за допомогою шумоміра виміряти рівень шуму під час роботи пристрою при повному навантаженні та зафіксувати максимальне значення.

Критерій оцінки: Відповідно до IEC 62933-2-1:2017 (параметри та випробування елементів): рівень шуму не повинен перевищувати 80 дБ.

Результати випробування:

Пункт	Нормативне значення	Виміряне значення	Висновок
Випробування на шум	≤80 дБ	—	Відповідає

7.2.30 Випробування на водонепроникність

Метод випробування: IPX4: використовується розпилювальна головка з 121 отворами діаметром 0,5 мм, витрата води встановлюється на 10 л/хв, відстань між зразком і соплом становить 300–500 мм, тривалість випробування — 10 хв.

Критерії оцінки: Всередину обладнання не повинна проникати вода, що може спричинити пошкодження; загалом, навіть у разі потрапляння води, її кількості має бути недостатньо для впливу на нормальну роботу обладнання або створення загрози безпеці. Відповідно до IEC 60529:2013.

Умови випробування:

- Температура навколишнього середовища: 15–35 °C; вологість навколишнього середовища: 25–75 % RH; атмосферний тиск: 86–106 кПа
- Випробувальне обладнання: машина для випробування на водонепроникність ZC1207 IPX3-X6
- Після випробування перевірити наявність води, що потрапила всередину корпусу

Контрольний стандарт: IEC 60529:2013

Результати випробування: Після випробування IPX4 сторона обладнання з жалюзі піддавалася впливу дощу; всередині обладнання виявлено чіткі сліди води.

7.2.31 Тестування захисту від зворотного потоку

Метод випробування:

1. Налаштуйте точку потужності захисту від зворотного потоку P_{nl} та час спрацьовування T_d (відповідно до вимог випробування);
2. Система реалізує два режими: згладжування піків та заповнення провалів, а також режим диспетчеризації в реальному часі; кожен режим повинен окремо працювати у стані заряджання та розряджання;
3. У зазначених чотирьох режимах роботи регулюйте потужність електронного навантаження так, щоб воно працювало в діапазоні 0–50 кВт;
4. Тривалість зворотного потоку має бути не менше 5 с;
5. За допомогою аналізатора якості електроенергії запишіть такі параметри, як активна потужність у точці приєднання накопичувача та в точці РСС.

Критерії оцінки: Час спрацьовування захисту від зворотного потоку не повинен перевищувати 2 с.

Результати випробування:

Режим	Середній час спрацьовування (с)	Висновок
Згладжування піків та заповнення провалів (заряджання)	1.581	Відповідає
Згладжування піків та заповнення провалів (розряджання)	1.931	Відповідає
Диспетчеризація в реальному часі (заряджання)	1.897	Відповідає
Диспетчеризація в реальному часі (розряджання)	1.663	Відповідає

7.2.32 Тест на захист від перевантаження

Метод випробування:

1. Налаштуйте точку потужності захисту від перевантаження P_{gz} та час спрацьовування T_d (відповідно до вимог випробування);
2. Система реалізує три режими: зрізання піків та заповнення провалів, динамічне розширення потужності, диспетчеризація в реальному часі. Кожен режим має працювати окремо в стані заряджання та розряджання;
3. У зазначених шести робочих режимах відрегулюйте потужність електронного навантаження так, щоб електронне навантаження працювало в діапазоні 0–50 кВт;
4. Тривалість перевантаження має бути не менше 5 с;
5. За допомогою аналізатора зафіксуйте такі параметри, як активна потужність у точці підключення системи накопичення енергії та в точці РСС.

Критерії оцінки: Час спрацьовування захисту від перевантаження не повинен перевищувати 2 с.

Результати випробування:

Режим	Середній час спрацьовування (с)	Висновок
Зрізання піків та заповнення провалів (заряджання)	1,663	Відповідає
Зрізання піків та заповнення провалів (розряджання)	1,651	Відповідає
Динамічне розширення потужності (заряджання)	1,710	Відповідає
Динамічне розширення потужності (розряджання)	—	Відповідає
Диспетчеризація в реальному часі (заряджання)	—	Відповідає
Диспетчеризація в реальному часі (розряджання)	—	Відповідає

7.2.33 Тест на стабільність

Метод тестування:

1. Налаштуйте параметри тарифу на електроенергію для електростанції в хмарній платформі та згенеруйте плановий графік потужності, який потім передається до локальної системи EMS;
2. До робочих параметрів належать параметри захисту від зворотного потоку, параметри захисту від перевантаження, потужність електростанції, верхня та нижня межа SOC, конфігурація лічильників, конфігурація зв'язку тощо;
3. Запустіть електростанцію, щоб система накопичення енергії брала участь у роботі зі згладжування пікових навантажень на об'єкті; параметри, такі як активна потужність системи накопичення енергії та точки приєднання до мережі, реєструються за допомогою аналізатора якості електроенергії електростанції;
4. За наявності можливості вручну налаштуйте параметри перевантаження та зворотного потоку таким чином, щоб вони відповідали умовам спрацювання захисних функцій.

Критерії оцінки:

1. Хмарна платформа та локальна система працюють нормально, зокрема чи задовольняє заряджання та розряджання системи накопичення енергії вимогам планового графіку згладжування пікових навантажень;
2. Усі рівні захисних функцій працюють нормально, включно із захистом за SOC, захистом від перевантаження та захистом від зворотного потоку;
3. Моніторинг даних електростанції працює нормально, включно з параметрами електроенергії в реальному часі, інформацією інтерфейсу хмарної платформи та даними потужності;
4. Енергетичне обладнання та обладнання моніторингу не зависають, не працюють із затримками та підключені належним чином.