

СИСТЕМА ВОДНЕВОГО РЕЗЕРВУВАННЯ ЕНЕРГІЇ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ДЖЕРЕЛ ГАРАНТОВАНОГО ЖИВЛЕННЯ

Вступ

Перспективним вектором розвитку сучасних технологій є воднева енергетика. Традиційно високий інтерес до цих технологій виявляється у автомобілебудуванні та аерокосмічному секторі, оскільки паливно-комірчані стеки здатні забезпечувати довгострокову автономну подачу електроенергії із високою ефективністю. Проте можливість застосувань паливних комірок значно ширша, і уже сьогодні на ринку телекомунікацій спостерігається певне зацікавлення цією технологією.

Це пов'язано із необхідністю забезпечення безперебійного живлення телекомунікаційного устаткування. Інформаційна мережа вважається коректно побудованою, якщо вона працює 360 днів на рік. Зважаючи на технічне обслуговування, модернізацію та ремонт мереж передачі інформації, задача підтримки її функціональності є практично неможливою без стабільного живлення телекомунікаційної апаратури. Для гарантування безперебійного енергопостачання використовують системи електроживильних установок. Вони забезпечують стабілізацію живлення із загальної мережі, а при його зникненні – резервне енергопостачання із акумуляторних батарей.

Забезпечення телекомунікаційної системи електроенергією із автономного джерела є складним і дорогим інженерним завданням. Ціна класичних свинцевих акумуляторних батарей для утримання навантаження потужністю 1 кВт протягом 48 годин обійдеться замовнику орієнтовно у 8000 доларів. Крім того, на ринку спостерігається тенденція до зростання цін на акумуляторні батареї, пов'язана із зростанням цін на свинець.

Альтернативним шляхом енергозабезпечення телекомунікаційних мереж можуть стати системи живлення, побудовані на базі паливно-комірчанних стеків [1]. Ціна самих протонно-обмінних стеків первинного живлення складає приблизно 5000 доларів за кВт потужності і має тенденцію до здешевлення.

На сьогоднішньому ринку уже представлені дані системи, проте вони поки що не набувають широкого поширення. Це пов'язано із складністю у виробництві систем контролю режимів роботи і систем відбору електроенергії. Крім того, протонно-обмінний стек необхідно забезпечувати енергосировиною, яка також накладає певні умови щодо застосування системи. Для того, щоб паливна комірка видала 1 кВт·год електроенергії, їй потрібно використати приблизно 1 м³ водню чистотою 99,99% [2]. Для комерційного виробництва і використання дана технологія стане більш привабливою тоді, коли буде розроблено уніфіковану загальну концепцію побудови джерел живлення на основі протонно-обмінних стеків та детерміновані стандарти і методики виготовлення, зберігання і фільтрації водню.

Шляхом до здешевлення енергетичних установок на базі паливних комірок є інтеграція виробництва звичайних електроживильних установок та протонно-обмінних джерел живлення в один технологічний процес. Ця інтеграція полягає у виробництві взаємозамінних силових і вимірювальних блоків та у супутному виготовленні енергоносія при пуско-налагоджувальних роботах в технологічному процесі дослідження контролю якості електроживильних установок.

На тернопільському підприємстві "Інтеграл" нами було проведено вимірювання енергетичних витрат у технологічному процесі пуско-налагоджувальних робіт при дослідженні електроживильних установок. Ці дослідження показали, що підприємство за місяць на даний технологічний процес витрачало 37,3 МВт·год електроенергії, а за рік близько 447,6 МВт·год.

Такі великі витрати виникають, коли електроживильна установка проходить технологічний процес наладки датчиків і вимірювальних систем. Ліва частина загальних енерговитрат припадає на технологічний процес перевірки функціональності, у якому система безперервно працює протягом 48 годин із навантаженням 70...90% номінальної потужності. При випробуванні систем використовують стенди, складені із вольфрамових навантаж опорою у 1 Ом, які перетворюють енергію у тепло. Таке конструктивне рішення призводить до викидів великої кількості тепла у приміщення. Тому необхідно постійно проводити примусову вентиляцію, кондиціонування і зволоження повітря, що також створює додаткові витрати енергії.

Виходом із цієї ситуації може стати система рекуперації енергії, побудована на статичних, електромагнітних чи динамічних системах. Системи складно синхронізувати із загальною мережею, зважаючи на те, що навантаження повинно бути різним для різних систем живлення, а варіація потужності блоків живлення відбувається від кількох ват до сотень кіловат. Крім того, ускладнення на адміністративному рівні, пов'язані з оформленням супутніх документів на відшкодування рекуперованої енергії, та і сам процес відшкодування не оправдовує складності побудови даної системи.

З іншого боку, енергію, яка витрачається, можна скерувати на виготовлення енергосировини для роботи протонно-обмінних стеків. Виготовлення 1 м³ водню методом електролізу передбачає споживання 4,3 ... 4,5 кВт·год електроенергії [3]. Енергії у 47,6 МВт·год вистачить на виробництво 99466,6 м³ водню, що забезпечить безперебійну роботу 100 систем потужністю у 1 кВт протягом 1000 годин.

Постановка задачі

Метою даних досліджень є аналіз схем випробування джерел живлення і схем резервування енергії у вигляді водню та розробка системи, яка інтегрує вимоги і особливості цих установок, реалізує схему випробування джерел гарантованого живлення, для навантаження яких використовується генератор водню

В загальній класичній побудові процес хімічного резервування енергії у вигляді водню виглядає наступним чином: при дослідженні джерел живлення і їх пуско-налагоджувальних роботах роль корисного навантаження відіграє електролізер, що продукує газ, після чого водень потрапляє у систему зберігання і використовується паливною коміркою (рис. 1).

Проблема даної схеми полягає в тому, що для забезпечення можливості відпрацювання ресурсу роботи паливної комірки їй необхідно постачати паливо протягом, як мінімум, 4000 годин, тобто потрібно забезпечити 4000 м³ водню. Для зберігання таких об'ємів водню можна використати балони Б-400Л згідно з ГОСТ 12247-80. Виходячи з того, що водень зберігають під тиском у 40 МПа [4], для забезпечення енергії у 1 кВт протягом терміну експлуатації паливно-комірчаного стеку необхідна місткість системи зберігання у 100 м³ або потрібно постійно постачати енергоносії, підвозячи балони з воднем до місця роботи телекомунікаційного обладнання. Таке рішення є дещо небезпечним при довгостроковому використанні даної системи. Водень має здатність проникати у металеву решітку і руйнувати її, зменшуючи міцність металу, із

якого зроблено балон. Такий підхід до побудови резервних джерел живлення на базі протонно-обмінних стеків є ірраціональним.

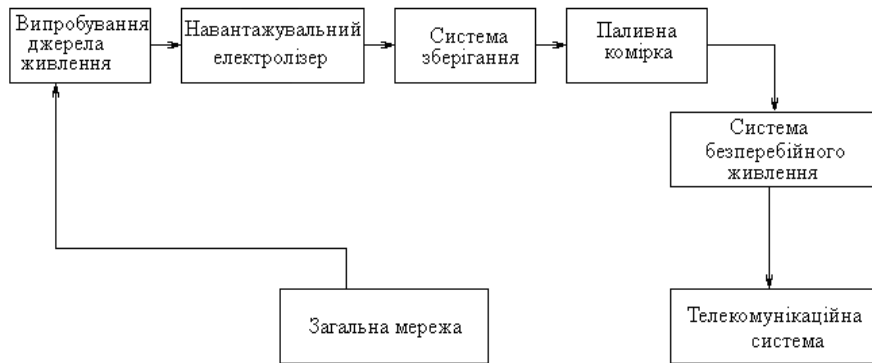


Рис.1. Схема хімічного резервування енергії при випробуваннях джерел живлення

Вирішення даної проблеми можливе на рівні організації більш ефективного методу зберігання водню. Оскільки на ринку немає такого методу, то проблему потрібно вирішувати дещо іншим способом, а саме - виробляти не самий водень, а речовину, яка здатна його витіснити із води. Можливо організувати процес електролізу розплаву хлористого магнію із подальшим відновленням оксиду кремнію до енерго-консерванту необхідної чистоти. Зарезервованій кремній зберігається у середовищі без кисню і при подачі води виділяє водень:



Реалізація даної схеми дозволить побудувати систему зберігання, яка здатна отримати з 1кг кремнію 1,3 м³ водню [4], що складе 3 т кремнію або об'єм у 1,28 м³ для резервування 4 МВт·год електроенергії. Дана система при наявності води здатна забезпечувати високу щільність консервації енергії. Процес виготовлення енергоконсерванту має певні технологічні недоліки: складність у автоматизації сховища енергоносія; необхідність збереження його у безкисневому середовищі; велика кількість технологічних етапів при його виробництві.

Іншим методом побудови протонно-обмінних джерел живлення на основі резервування енергії при пуско-налагоджувальних роботах електроживильних установок є зберігання менших об'ємів газу з можливістю перезарядки енергоносія безпосередньо на місці роботи паливної комірки (рис.2).

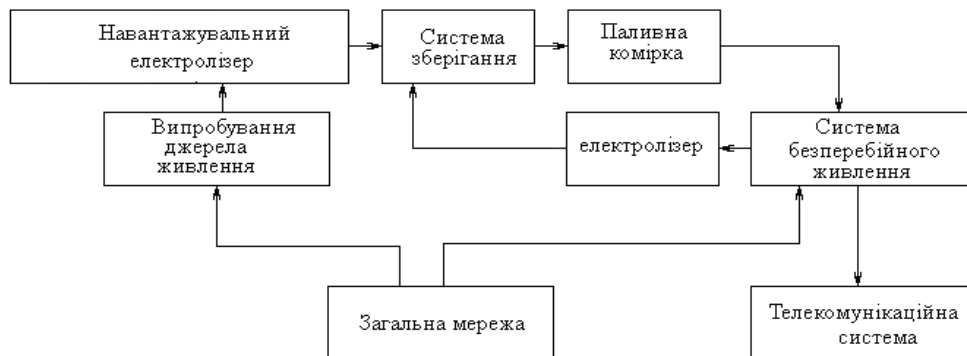


Рис. 2. Схема хімічного резервування енергії із можливістю перезарядки на місці роботи

Оскільки для реалізації поставлених завдань необхідно проводити електроліз при дослідженні джерел живлення і безпосередньо у системі безперебійного енергопостачання, то потрібно визначитись із прийнятним варіантом даного технологічного процесу.

Зважаючи на простоту конструкції, непримхливість до електроживлення та можливість варіації потужності наші вимоги може задовольнити конструкційна схема класичного монополярного електролізера або, як альтернатива, використання біполярних електролізерів [1].

Монополярний електролізер складається із невеликих блоків однакового перерізу, з'єднаних паралельно. Кількістю підключених блоків можна регулювати потужність струму, що повинен проходити крізь електролізер.

Але монополярний електролізер має суттєвий недолік, який пов'язаний із тим, що ККД цього приладу сильно залежить від балансу робочої напруги [5]. Баланс напруги і газонаповнення монополярної ванни виражається формулою:

$$U = \phi_{p,a} - \phi_{p,k} + \eta_a + \eta_k + \Delta U_{el-m} + \Delta U_{д} + \Delta U_{el-ди} + \Delta U_{конт}, \quad (2)$$

де $\phi_{p,a}$ і $\phi_{p,k}$ – рівноважні потенціали анода та катода, В;

η_a і η_k – перенапряга виділення водню та кисню на аноді і катоді, В;

ΔU_{el-m} , $\Delta U_{д}$, $\Delta U_{el-ди}$, $\Delta U_{конт}$ – падіння напруги в електроліті, діафрагмі, електродах та контактах, В.

Баланс напруги може бути розрахований за рівнянням Нернса :

$$\phi_{p,a} = \phi_a^0 + \frac{2,3RT}{F} \lg a_{H^+} = 1,23 - \frac{2,3RT}{F} pH, \quad (3)$$

$$\phi_{p,k} = \phi_k^0 + \frac{2,3RT}{F} \lg a_{H^+} = -\frac{2,3RT}{F} pH, \quad (4)$$

в умовах температури 292...294 К це складе: $\phi_{p,a} = 1,23 - 0,058 pH$; $\phi_{p,k} = -0,058 pH$;

$\phi_{p,a}$ і $\phi_{p,k}$ – рівноважні потенціали анода та катода, В;

pH – величина, що показує міру активності іонів водню H^+ в розчині;

ϕ_k^0 , ϕ_a^0 – стандартні окисно-відновлювальні потенціали катода та анода, В;

T – температура, К;

F – число Фарадея;

R – універсальна газова стала.

Числові значення виділення кисню і водню в даному випадку залежатимуть від сили струму електроліту і визначаються за законом Фарадея:

$$\Delta m = k_e I \Delta t, \quad (5)$$

де Δm – маса речовини, що прореагувала;

I – сила струму, що пройшов через електроліт протягом Δt ;

k_e – коефіцієнт пропорційності, показує кількість речовини, що прореагувала при проходженні одиниці струму. Величина k – це електрохімічний еквівалент:

$$k = M / (N_A z |e|), \quad (6)$$

де z – валентність іона;

M – молярна маса речовини, яка виділилась на електроді;

N_A – стала Авогадро, $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Падіння напруги в електроліті вимірюють для визначення граничного опору електроліту і розраховують за формулою:

$$\Delta U_{el-m} = kipl, \quad (7)$$

де k – коефіцієнт газонаповнення (в будь-якому випадку $k > 1$);

p – граничний електричний питомий опір електроліту, Ом · см;

i – щільність струму, А/см²;

l – відстань між електродами, см.

Величина струму варіюється кількістю увімкнених монополярних електролізерів. Для технологічного контролю джерел живлення необхідно змінювати також значення напруги. Телекомунікаційні системи працюють при 48 і 60 В, що суттєво відрізняється від балансу напруг, при якому у електролізері відбувається максимально ефективний процес виділення водню. Для компенсації такого недоліку систему можна побудувати за методом біполярного електролізу або за методом перетворення напруги. Метод перетворення напруги полягає у створенні перетворювачів напруги з досить широким діапазоном потужності для підтримки балансу напруг у монополярних електролізерах. Більш уніфікованим методом контролю напруги є її контроль за допомогою кількості біполів у біполярному електролізері (рис.3).

Змінюючи кількість біполів, задіяних в даному процесі, ми зможемо вибрати саме той баланс напруги та опору, який буде близьким як до балансу напруги при електролізі, так і до тестової напруги у джерелі живлення. Змінюючи кількість рядів біполярних електролізерів, можна

підібрати струм, необхідний для тестування джерела живлення.

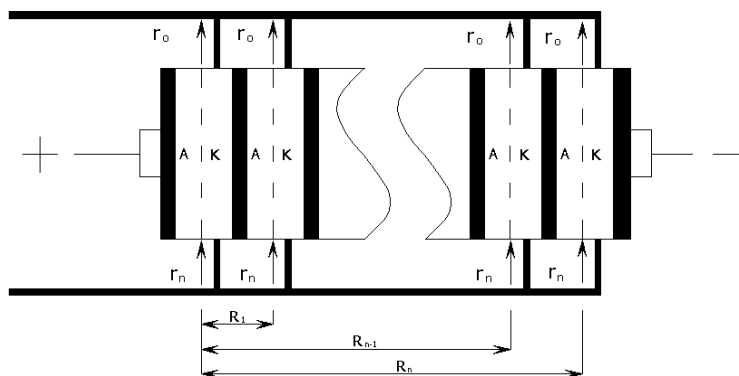


Рис. 3. Розподіл опорів у біполярному електролізері

В біполярних електролізерах відбувається втрата струму через утворення паралельних електричних кіл, які проводять струм без протікання процесу електролізу. В газовідвідні канали електролізера потрапляє частина електроліту, яка спричиняє виникнення паралельних електричних кіл. Така ж проблема присутня у штуцерах, за допомогою яких підводиться електроліт. Дані втрати розраховуються за допомогою системи катодних проміжків [5]:

$$I_y = I_n + I_0 = \left[\frac{U}{R_1 + r_n} + \frac{2U}{R_2 + r_n} + \dots + \frac{(n-1)U}{R_n + r_n} \right] + \left[\frac{U}{R_1 + r_o} + \frac{2U}{R_2 + r_o} + \dots + \frac{(n-1)U}{R_n + r_o} \right], \quad (8)$$

де I_y – втрати струму у біполярному електролізері;

I_n – витік струму через систему подачі електроліту;

I_0 – витік струму через відвідну систему;

U – напруга в одній комірці, одному біполі;

n – кількість комірок в електролізері;

r_n, r_o – опір електроліту, який заповнює підвідні та відвідні штуцери до каналів;

R_1, R_2, \dots, R_n – реальний опір електроліту в каналі.

Для усунення витікання струму через підвідні штуцери необхідно розробити конструкцію електролізера без електроліто-підвідних каналів. Це частково усуне проблему утворення паралельних електричних кіл. Така зміна не дозволить постійно видобувати водень через перевитрату електроліту. Тому роботу приладу можна побудувати таким чином, щоб технологічний процес проходив у два етапи. Перший етап – це процес електролізу, у якому отримують водень через відвідні канали. Другий етап – заміна електроліту через відвідні канали. Кількість електроліту та конструкцію електролізера слід розраховувати під технологічний процес випробування джерел живлення, а саме - робочий цикл повинен складати 48 годин (рис. 4).

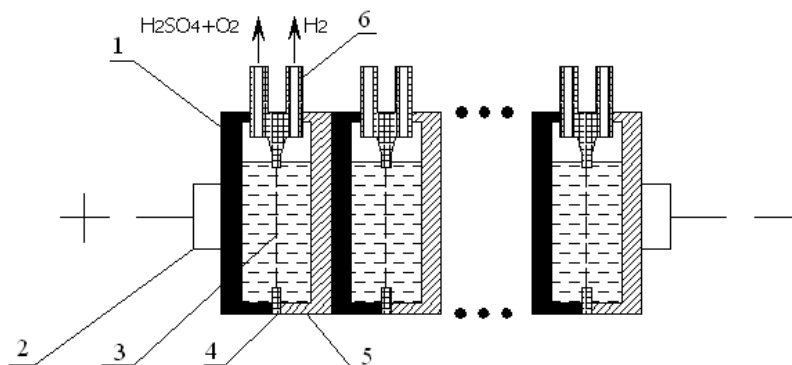


Рис. 4. Біполярний електролізер без електроліто-підвідних штуцерів

1 – графітовий електрод; 2 – контакт; 3 – мембрана; 4 – ізолятор; 5 – цинковий електрод;

6 – штуцери для відводу газу

Вирішення даної проблеми полягає не тільки у модернізації електролізера, але й усього технологічного процесу. Суть методу – об'єднання деяких проміжних приладів для генерації водню, його компресії і зберігання. Така концепція реалізується за допомогою універсального модуля накопичувального електролізера (рис.5).

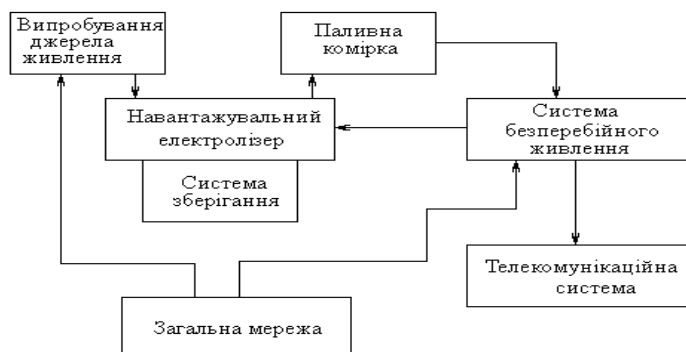


Рис.5. Модернізована схема хімічного резервування енергії при випробуваннях джерел живлення із можливістю перезарядки на місці роботи

Його конструкція базуватиметься на біполярному електролізі та не міститиме електроліто-підвідних штуцерів, що суттєво зменшить втрати струму, а його наповнення електролітом розраховане на певну кількість циклів заряду і розряду аналогічно класичній акумуляторній батареї.

Система реалізується наступним чином: навантажувальний електролізер замість генерації водню розкладає сіль сульфату цинку на метал та кислоту. Метал зберігається безпосередньо у електролізері, кислота відводиться у систему зберігання і розподілу. Супутніми продуктами реакції є водень і кисень, які можна закачувати в балони та використовувати при пуско-налагоджувальних роботах джерел живлення на основі паливних комірок. Коли паливній комірці необхідно генерувати енергію, назад у електролізер подають кислоту, проходить вивільнення водню, що живить стек. Таким чином можна об'єднати систему генерації, компресії та зберігання енергоносія в один етап.

Методика випробування джерел живлення із можливістю використання електролізерів-генераторів водню для хімічного резервування енергії наступна: при випробуванні джерел безперерійного живлення використовується набір із біполярних електролізерів, кількість біполів в якому розрахована під конкретну напругу у 48 або 60 В. Їх кількістю і перерізом регулюється струм для навантаження джерел живлення. Під час проведення випробувань електролізер підключається до системи живлення і в нього заливають розчин солі сульфату цинку. Після проведення досліджень джерела живлення із електролізера через газовідвідні канали викачують розчин солі, що не встигла прореагувати, разом із генерованою кислотою. Коли на катодах електролізера збирається достатня кількість металу, прилад знімають із загального випробувального стенду і встановлюють на джерело живлення разом із паливною коміркою та системою розподілу кислоти. При необхідності вивільнити із електролізера водень контролер системи живлення подає сигнал, і в генератор водню закачується кислота, з якої накопичений там метал вивільняє водень. Варіюючи кількістю камер біполя, у яких закачується кислота, можна обирати певний швидкісний режим вивільнення водню. Після відпрацювання резерву у електролізері утворюється сіль, яка може бути розкладена ним знову на компоненти, тобто система буде здатна до перезаряду безпосередньо на місці роботи.

На даному етапі ведуться експериментальні дослідження та робота над конструктивним рішенням накопичувального електролізера. Для перевірки функціональності обраних технічних рішень та для отримання первинних результатів було побудовано прототип лабораторної установки. Даний прототип являє собою спрощену модель біполярного електролізера і складається із двох біполів.

Суть експерименту полягає у випробуванні джерела живлення на функціональність. Протягом чотирьох годин джерело живлення випробовується у режимі обмеження струму, значення вихідної напруги системи живлення та об'єм генерованого газу фіксуються із дискретністю у 5 хв, після чого вимірюють час протікання реакції генерованого цинку та кислоти і реєструється кількість водню, яка при цьому утворюється.

Висновки

1. Запропоновано узагальнену технологічну схему генерації та акумуляції електроенергії у процесі випробувань джерел гарантованого живлення.
2. Інтеграція сховища енергоносія та електролізера здатна за своїми основними функціональними характеристиками забезпечувати можливість створення автономних джерел гарантованого живлення на основі протонно - обмінних паливних комірок.
3. Перспективою розвитку даного дослідження є можливість спрощення енергетичних систем на базі паливних комірок, а також розробка методики довгострокового акумулювання значних об'ємів енергії.

Література

1. Шпильрайн Э. Э. Введение в водородную энергетику – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 264 с.
 2. Sossina M. Haile Fuel cell materials and components Department of Materials Seines and of Chemical Engineering California Institute of Technology, - 2003 – Vol.1, №1 - p2.-14.
 3. Гамбург Д.Ю. Водород: свойства, получение, хранение, транспортировка и применение -.М.: Химия, 1989 – 672 с.
 4. Абрамов Ю.А Системы хранения и подачи водорода на основе твердых веществ для бортовых энергетических установок. – Х: Фолио 2002 – 369с.
 5. Коруца Иржи. Ионы, электроны, мембраны: – М.: Мир, 1983 – 283 с.
-
-