



УКРАЇНА

(19) UA (11) 26183 (13) U
(51) МПК (2006)
H01M 10/42МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ КОНТРОЛЮ ЗАЛИШКОВОЇ ЄМНОСТІ ХІМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ

1

(21) u200704058

(22) 12.04.2007

(24) 10.09.2007

(46) 10.09.2007, Бюл. № 14, 2007 р.

(72) Скрипник Юрій Олексійович, Барсуков В'ячеслав Зиновійович, Величко Антон Сергійович

(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

(57) Спосіб контролю залишкової ємності хімічних джерел струму, при якому підключають до клем хімічного джерела струму електричний ланцюг, оцінюють активну складову опору хімічного джерела струму, за значенням якої судять про його

2

залишкову ємність, який відрізняється тим, що електричний ланцюг утворюють у вигляді послідовно з'єднаних двох конденсаторів і первинної обмотки підвищувального трансформатора, при цьому вибирають частоту послідовного резонансу в області високочастотних теплових шумів хімічного джерела струму, підсилюють, квадратично перетворюють і усереднюють шумову напругу вторинної обмотки підвищувального трансформатора, виділяють з усередненої шумової напруги постійну складову, за якою оцінюють активну складову опору хімічного джерела струму.

Корисна модель відноситься до області виміру параметрів хімічних джерел струму (ХДС) і може бути використана для контролю залишкової ємності ХДС у процесі експлуатації і збереження.

У процесі експлуатації ХДС важливо мати постійний контроль над значенням залишкової (розрядної) ємності, щоб не допускати раптового відключення апаратури при повному вичерпанні ємності ХДС. При зберіганні ХДС також відбувається зменшення залишкової ємності внаслідок процесів саморозряду в результаті мимовільного протікання побічних хімічних реакцій і електричних витоків. Безпосередній вимір залишкової ємності ХДС пов'язаний з певними технічними труднощами. Тому на практиці залишкову ємність ХДС контролюють побічно по електричних параметрах, функціонально зв'язаних з зарядом.

Найбільш часто контроль залишкової ємності ХДС здійснюють за рівнем напруги на його клеммах [а.с. СРСР №554582, МПК H01M10/48, 1976р.], при якому визначають зниження напруги щодо номінального або початкового значення. Однак, цей спосіб контролю малочутливий, тому що в основній фазі процесу розряду або саморозряду напруга ХДС змінюється мало і звичайно різко зменшується тільки в кінцевій фазі розряду, близькій до повного вичерпання розрядної ємності.

Для підвищення чутливості до малих змін напруги ХДС використовують тестові методи контролю по падінню напруги на навантажувальному

резисторі від струму ХДС з додатковими каліброваними змінами напруги в ланцюзі з контрольованим ХДС і без нього [а.с. СРСР №1076986, МПК H01M10/42, 1984р.]. Однак необхідність переривання струму ХДС у процесі контролю залишкової ємності обмежує можливість його застосування в умовах безперервної експлуатації.

Відомий спосіб контролю залишкової ємності ХДС [а.с. СРСР №788235, МПК H01M10/42, 1978р.] заснований на вимірі напруги на внутрішньому ланцюзі ХДС при підключенні до нього зовнішнього джерела перемінного струму.

Зі зменшенням залишкової ємності ХДС звичайно зростає його внутрішній опір, а отже, росте і падіння напруги від струму зовнішнього джерела живлення. Однак через комплексний характер внутрішнього опору ХДС (наявність ємнісної складової від подвійного електричного шару, індуктивності електродів крім омичного опору електроліту) падіння напруги від зовнішнього перемінного струму не відбиває повною мірою активну складову внутрішнього опору ХДС, що функціонально зв'язана з залишковою ємністю. Тому і точність контролю залишкової ємності ХДС залишається низкою.

Відомий також спосіб контролю залишкової ємності хімічних джерел струму [див. "Electronics World" №1, 2004 - С.39-40], при якому підключають до клем хімічного джерела струму електричний ланцюг, оцінюють активну складову опору хімічно-

(13) U

(11) 26183

(19) UA

го джерела струму, за значенням якої судять про його залишкову ємність.

У відомому способі електричний ланцюг виконують у вигляді низькоомного навантаження (1-омний резистор), який періодично замикають потужним ключем, створюють змінну складову розрядного струму (12...15А), вимірюють змінну складову напруги (5...20мВ), за якою оцінюють залишкову ємність ХДС.

Однак періодична "просадка" ХДС за допомогою додаткового низькоомного навантаження під час безперервного контролю залишкової ємності ХДС прискорює розрядку ХДС и не допустима в автоматичних системах енергозабезпечення зі стабільною напругою. Крім того, покази мілівольтметра незручні для зчитування інформації о залишковій ємності, так як змінна напруга зростає зі збільшенням внутрішнього опору ХДС, а залишкова ємність при цьому зменшується. У результаті достовірність контролю залишкової ємності ХДС залишається низькою, а надійність енергозабезпечення, при такому способі контролю, недостатньою.

В основу корисної моделі покладена задача створити такий спосіб контролю залишкової ємності ХДС, в якому шляхом введення нових операцій із сигналами шумового характеру забезпечувалась би можливість безперервного контролю поточного значення залишкової ємності працюючого або такого, що зберігається ХДС, при мінімальних витратах часу, що підвищить надійність електрохімічного енергозабезпечення різних систем.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб контролю залишкової ємності хімічних джерел струму, при якому підключають до клем хімічного джерела струму електричний ланцюг, оцінюють активну складову опору хімічного джерела струму, за значенням якої судять про його залишкову ємність, згідно з корисною моделлю, електричний ланцюг утворюють у вигляді послідовно з'єднаних двох конденсаторів і первинної обмотки підвищувального трансформатора, при цьому вибирають частоту послідовного резонансу в області високочастотних теплових шумів хімічного джерела струму, підсилюють, квадратично перетворюють і усереднюють шумову напругу вторинної обмотки підвищувального трансформатора, виділяють з усередненої шумової напруги постійну складову за якою оцінюють активну складову опору хімічного джерела струму.

Виконання електричного ланцюга з ємності й індуктивності, що утворюють послідовний резонансний контур, дозволяє здійснити режим короткого замикання ХДС по високочастотній частині теплових шумів. Використання як індуктивності первинної обмотки підвищувального трансформатора забезпечує перетворення резонансного шумового струму в напругу з великим коефіцієнтом перетворення. Наступне підсилення шумової напруги малошумовим диференціальним підсилювачем, квадратичне перетворення посиленої напруги дає можливість одержати постійну електричну напругу пропорційну квадрату шумового струму, а отже, і обернено пропорційну активній складовій внутрішнього опору ХДС, що забезпечує безперервний

контроль залишкової ємності в процесі роботи ХДС або його збереженні, забезпечуючи тим високу надійність електрохімічного енергозабезпечення різних систем.

На кресленні приведена функціональна схема вимірювального пристрою, за допомогою якого реалізується пропонований спосіб.

Пристрій містить хімічне джерело струму (ХДС) 1, клеми зовнішнього ланцюга ХДС 2 і 3, опір навантаження 4, конденсатори додаткового ланцюга 5 і 6, підвищуючий трансформатор 7, малошумовий диференціальний підсилювач 8, квадратичний перетворювач 9, фільтр нижніх частот 10 і вольтметр 11.

Електричний ланцюг перемінного струму з конденсаторів 5, 6 і первинної обмотки підвищувального трансформатора 7 приєднаний до клем 2, 3 ХДС і не повинен впливати на роботу основного ланцюга постійного струму, навантаженого на резистор 2.

Спосіб здійснюється таким чином.

У процесі експлуатації ХДС до його клем 2 і 3 підключають паралельно основному навантаженню 4 додатковий електричний ланцюг з послідовно включених конденсаторів 5, 6 і первинної обмотки трансформатора 7. Параметри додаткового ланцюга вибирають з умови виникнення послідовного резонансу на частоті виділюваного діапазону теплових шумів ХДС.

У ХДС на електродах в електроліті утвориться подвійний електричний шар, що, як параметр еквівалентного електричного ланцюга являє собою конденсатор з активними (дисипативними) втратами. Як відомо, конденсатор з дисипативними втратами являє собою джерело теплового шуму, що виникає внаслідок теплового хаотичного руху носіїв струму (іонів), що знаходяться в термодинамічній рівновазі з молекулами речовини електроліту. У той же час рівень теплових шумів, створюваних іншими провідними елементами ХДС, зневажливо малий. Тому ХДС з однієї сторони є джерелом постійного струму завдяки токообразующим хімічним реакціям, з іншого боку - джерелом широкополосного електричного шуму теплового характеру через наявність подвійного електричного шару з втратами. Амплітуда теплового шуму невелика (одиниці мікрівольт), але його частота змінюється в широкому діапазоні (від одиниць кГц до сотень кГц і вище).

Середньоквадратичне значення шумової напруги ХДС при розімкнутому ланцюзі відповідно до формули Найквіста:

$$U_0 = \sqrt{4kT\Delta f Re Z}, \quad (1)$$

де k стала Больцмана;

T - термодинамічна температура електроліта ХДС;

Δf - ширина смуги частот, у якій виділяється шум;

$Re Z$ - активна складова внутрішнього опору ХДС;

При короткому замиканні ланцюга ХДС середньоквадратичне значення шумового струму визначається виразом:

$$\bar{I}_0 = \sqrt{\frac{4kT\Delta f}{ReZ}}. \quad (2)$$

При замкнутому ланцюзі ХДС і наявності зовнішнього навантаження напруга шумів і шумовий струм залежать від значення активної складової опору зовнішнього навантаження.

При рівнобіжній схемі заміщення конденсатором з активними втратами ідеальною ємністю C_0 й опором R_0 одержимо:

$$ReZ = \frac{R_0}{1 + (\omega_{cp} R_0 C_0)^2} = \frac{tg\delta}{\omega_{cp} \varepsilon C_0 (1 + tg^2\delta)}, \quad (3)$$

де ε - діелектрична проникність електроліту;

$tg\delta$ - показник активних втрат (δ - фазовий кут втрат);

ω_{cp} - середня кутова частота вибраної смуги частот теплового шуму.

З виразу (3) видно, що активна складова внутрішнього опору ХДС пропорційна тангенсові кута втрат у подвійному електричному шарі в обраній смузі частот теплового шуму. Активні втрати ХДС визначаються діелектричними властивостями електроліту і концентрацією домішок у ньому.

В обраній смузі частот завдяки послідовному резонансові додатковий LC-ланцюг шунтує практично нульовим опором навантаження 4 і весь шумовий струм ХДС приводиться до трансформатора 7. При послідовному резонансі має місце співвідношення:

$$j\omega_{cp}L_1 + \frac{1}{j\omega_{cp}C_1} + \frac{1}{j\omega_{cp}C_2} = 0, \quad (4)$$

де L_1 - індуктивність первинної обмотки підвищувального трансформатора 7;

C_1, C_2 - ємності конденсаторів 5 і 6;

знак "—" означає усереднення.

Ємності конденсаторів 5 і 6 вибирають однаковими і тоді для виконання умов послідовного резонансу:

$$C_1 = \frac{1}{2\pi^2 f_{cp}^2 L_1}. \quad (5)$$

При виконанні (5) резонансний шумовий струм створює на вторинній обмотці трансформатора 7 з індуктивністю L_2 напругу, середньоквадратичне значення якої:

$$\bar{U}_1 = K_1 Q \omega_{cp} L_1 \bar{I}_0, \quad (6)$$

де $K_1 = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$ - коефіцієнт трансформації підви-

щую чого трансформатора 7;

Q - добротність резонансного ланцюга.

Вихідна напруга трансформатора 7 із вторинної обмотки підсилюється мал шумовим диференціальним підсилювачем 8 і надходить на вхід квадратичного перетворювача 9. В результаті квадратичного перетворення і наступного усереднення фільтром 10 нижніх частот формується постійна напруга.

$$\bar{U}_2 = K_3 S (K_2 \bar{U}_1)^2, \quad (7)$$

де S - крутизна квадратичного перетворення 9;
 K_2 - коефіцієнт підсилення диференціального підсилювача 8;

K_3 - коефіцієнт передачі фільтра 10 нижніх частот; Підставивши в (7) вираз (6), одержуємо

$$\bar{U}_2 = K_1^2 K_2^2 Q^2 K_3 S \omega_{cp}^2 L_1^2 \bar{I}_0^2. \quad (8)$$

Підставляючи в (8) вираз (2) остаточно одержимо:

$$\bar{U}_2 = \frac{4k(K_1 K_2 Q \omega_{cp} L_1)^2 K_3 S T \Delta f}{ReZ}. \quad (9)$$

З отриманого виразу видно, що вихідна напруга, яка реєструється вольтметром 11, обернено пропорційна активній складовій внутрішнього опору ХДС і не залежить від його робочого навантаження 4.

На початку експлуатації ХДС, коли його залишкова ємність велика, а внутрішній опір малий, реєструєма напруга (9) велика. В міру розряду ХДС його внутрішній опір збільшується, а реєструєма напруга зменшується, що свідчить про зменшення заряду ХДС. З огляду на функціональний зв'язок між зарядом і його внутрішнім опором (обернено пропорційний) шкалу вольтметра можна проградувати в одиницях залишкової ємності ХДС.

Таким чином, запропонований спосіб може бути використаний для контролю ємності ХДС як у режимі збереження з розімкнутим ланцюгом, так і в процесі експлуатації, коли його ланцюг замкнений на навантаження. При цьому робота додаткового LC - ланцюга не порушує електрохімічних процесів усередині ХДС, тому що для контролю використовується не зовнішній зондувальний сигнал, а власні шуми самого ХДС.

Дослідження показали, що тепловий шум вибраний у смузі частот 90-110кГц, функціонально пов'язаний з активною складовою внутрішнього опору ХДС і достатньо віддалений від низькочастотних промислових наведень (50Гц) і високочастотних радіоперешкод (понад 150кГц). При коефіцієнті трансформації 10 і коефіцієнті підсилення диференціального підсилювача 1000 можливе одержання інформаційного сигналу у виді постійної напруги на рівні 0,1-0,5В, що досить для надійної реєстрації величини залишкової ємності ХДС вольтметром. Градування шкали вольтметра виконується в процесі зарядки ХДС по його зарядному струму і часу заряду. Похибка оцінки поточної залишкової ємності ХДС по вольтметру не перевищує $\pm 3\%$ при відхиленнях температури електроліту не більш $\pm 5^\circ\text{C}$ щодо початкової температури ($+20^\circ\text{C}$). При цьому цілком відсутні зовнішні електричні впливи на працюючий або ХДС, що зберігається.

