



УКРАЇНА

(19) UA (11) 29151 (13) U  
(51) МПК (2006)  
G01K 7/30МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЕЛЕКТРОЛІТУ ХІМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ

1

2

(21) u200707403

(22) 02.07.2007

(24) 10.01.2008

(72) СКРИПНИК ЮРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ, UA,  
БАРСУКОВ В'ЯЧЕСЛАВ ЗІНОВІЙОВИЧ, UA,  
ВЕЛИЧКО АНТОН СЕРГІЙОВИЧ, UA(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ, UA

(56)

(57) Спосіб визначення температури електроліту хімічних джерел струму, при якому виділяють теплові шуми, генеровані у діелектричному середовищі з активними втратами, та вимірюють середньоквадратичне шумових напруг, за якими визначають температуру електроліту, який відрізняється тим, що виділення теплових шумів здійснюють шляхом знімання шумових резонансних струмів з електроліту в зовнішньому ланцюзі хімічного джерела струму за допомогою

спочатку послідовно, а потім паралельно з'єднаних конденсатора і первинної обмотки трансформатора, перетворення їх в шумові напруги, які підсилюють, а температуру електроліту визначають по формулі:

$$\Theta = \frac{U_1 U_2}{S_0} - 273, ^\circ\text{C},$$

де  $\Theta$  - температура електроліту,  $^\circ\text{C}$ , $U_1$  і  $U_2$  - перші і друге середньоквадратичні значення шумових напруг, $S_0$  - нормована крутість перетворення добуткушумових напруг у температуру  $\left[ \frac{B^2}{K} \right]$ .

Корисна модель відноситься до області шумової термометрії і може бути використана для контролю температури електроліту хімічних джерел струму в процесі їхньої зарядки та експлуатації.

У процесі зарядки й експлуатації хімічних джерел струму (ХДС) відбувається розігрів електроліту. Перевищення температури електроліту не повинно бути більше допустимого значення і підлягає суворому контролю в процесі роботи ХДС. Існуючий контроль температури ґрунтується на контактних і безконтактних методах виміру температури корпусу ХДС [див. Богуцький В.С. Скундин А.М. Химические источники тока -М.: Энергоиздат, 1981 - с.]. Однак, у ряді випадків температура електроліту усередині ХДС значно відрізняється від температури зовнішнього корпусу. Відсутність вбудованих датчиків температури у більшості акумуляторів, що випускаються, і батарей ускладнюють ранню діагностику перевантажень і аварійних станів.

Відомий спосіб визначення внутрішньої температури ХДС, котрий дозволяє по дисперсії теплових шумів, що виникають у будь-якому

дисипативному середовищі, визначити температуру незалежно від хімічного складу чутливого елемента датчика [див. Саватеев А.В. Шумовая термометрия-л.: Энергоатомиздат. Ленинградське відділення, 1987, -с.57-63]. До недоліків шумового способу виміру температури варто віднести сильний вплив нестабільності опору чутливого елемента, теплові шуми якого пропорційні напрузі і безпосередньо вимірюються.

Відомий також спосіб визначення температури електроліту хімічних джерел струму [див. Куинн Т. Температура: перек. з англ.-М.: Мир, 1985, -с.118-119], заснований на вимірюванні потужності теплового шуму, що виникає в провідному середовищі. Однак через мале значення внутрішнього опору ХДС (одиниці і частки Ома) напруга теплового шуму важко помітна на фоні електричних шумів вимірювальної апаратури.

Відомий також спосіб визначення температури електроліту хімічних джерел струму [див. Корндорф С.Ф., Подорожський А.Н. Термофлуктуационный метод измерения интегральной по толщине температуры диэлектрика // Измерительная техника. -1970,

(13) U

(11) 29151

(19) UA

№12 -с.35-37], при якому виділяють теплові шуми, генеровані у діелектричному середовищі з активними втратами, та вимірюють середньоквадратичне значення шумових напруг, за якими визначають температуру електроліту. Крім того, відомий спосіб включає операції виміру двох добротностей резонансного контуру з втратами і без втрат і дисперсії теплових шумів резонансного контуру з урахуванням втрат. При цьому визначається відношення добротностей резонансного контуру з урахуванням реакції досліджуваного діелектричного середовища, а також - відношення дисперсій теплових шумів.

Однак у відомому способі присутній вплив мінливості внутрішнього опору джерела теплового шуму на результат виміру температури. Це пояснюється тим, що внутрішній опір ХДС значно змінюється в процесі експлуатації через зменшення розрядної ємності. Тому калібрування шумового способу, зроблене на зарядженому ХДС, у процесі експлуатації порушуються, що приводить до великих погрешностей виміру внутрішньої температури. Врахувати зміни внутрішнього опору важко, тому що ці зміни індивідуальні для кожного ХДС і носять значною мірою випадковий характер.

В основу корисної моделі покладена задача створити такий спосіб визначення температури електроліту хімічних джерел струму, в якому шляхом введення нових операцій і нової розрахункової формули забезпечилось би виключення впливу мінливості внутрішнього опору ХДС на результат виміру температури, що підвищить достовірність контролю внутрішньої температури хімічних джерел струму в процесі їхньої зарядки й експлуатації.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі визначення температури електроліту хімічних джерел струму, при якому виділяють теплові шуми, генеровані у діелектричному середовищі з активними втратами, та вимірюють середньоквадратичне значення шумових напруг, за якими визначають температуру електроліту, згідно з корисною моделлю, виділення теплових шумів здійснюють шляхом знімання шумових резонансних струмів з електроліту в зовнішньому ланцюзі хімічного джерела струму за допомогою спочатку послідовно, а потім паралельно з'єднаних конденсатора і первинної обмотки трансформатора, перетворення їх в шумові напруги, які підсилюють, а температуру електроліту визначають за формулою:

$$\Theta = \frac{U_1 U_2}{S_0} - 273 [^{\circ}\text{C}]$$

де  $\Theta$  - температура електроліту в градусах Цельсія;

$U_1$  і  $U_2$  - перше і друге середньоквадратичні значення шумових напруг;

$S_0$  - нормована крутизна перетворення

добутку шумових напруг у температуру  $\left[ \frac{\text{В}^2}{\text{К}} \right]$ .

Отримання результату першого виміру середньоквадратичного значення шумової напруги

шляхом виділення шумового резонансного струму з електроліту за допомогою послідовно з'єднаних конденсатора і первинної обмотки трансформатора, підключених до клем ХДС, і другого результату виміру за допомогою паралельно з'єднаних конденсатора і первинної обмотки трансформатора, наступне посилення резонансної шумової напруги вторинної обмотки трансформатора малошумовим підсилювачем і вимір середньоквадратичних значень посилених шумових напруг вольтметром дозволяє одержати в першому вимірі величину, пропорційну температурі і провідності електроліту ХДС, а в другому вимірі - величину пропорційну температурі й опору електроліту. Перемноження результатів двох вимірів з урахуванням нормованої крутості перетворення дає можливість одержати інформацію про температуру електроліту незалежно від значення внутрішнього опору ХДС, що підвищує достовірність контролю внутрішньої температури ХДС у процесі їхньої зарядки й експлуатації. При цьому крутизна перетворення температури в напругу не залежить від внутрішнього опору ХДС.

Корисна модель представлена на рисунках Фіг.1 та Фіг.2, містить хімічне джерело струму (ХДС) 1, навантаження ХДС у вигляді навантаження 2, клем ХДС 3 і 4, конденсатор 5, первинну обмотку 6 трансформатора 7, вторинна обмотка 8 трансформатора 7, диференціальний підсилювач 9 і вольтметр 10, що вимірює середньоквадратичні значення шумової напруги.

У вимірювальній схемі Фіг.1 конденсатор 5 включений послідовно з первинною обмоткою 6 трансформатора 7 і обоє зазначених елементів підключені до клем ХДС 3 і 4.

У вимірювальній схемі Фіг.2 конденсатор 5 і первинна обмотка трансформатора 7 включені паралельно і також підключені до клем ХДС 3 і 4.

Спосіб здійснюється наступним чином.

Хімічне джерело струму (ХДС) 1 живить струмом навантаження 2 і в процесі роботи розігрівається. Для визначення температури електроліту до клем 3 і 4 ХДС спочатку підключається резонансний ланцюг з послідовно підключених конденсатора 5 і індуктивності первинної обмотки 6 трансформатора 7 (Фіг.1). У ХДС 1 через поляризацію електродів в електроліті утвориться подвійний електричний шар, що як параметр еквівалентної електричної схеми представляє собою конденсатор з активними (дисипативними) втратами. Відомо, що конденсатор з дисипативними втратами в діелектричному середовищі є джерелом теплових шумів, що виникають внаслідок теплового хаотичного руху носіїв струму (іонів), а також флуктуючих диполів, що знаходяться в термодинамічній рівновазі з молекулами речовини електроліту. Інші резистивні елементи еквівалентної схеми ХДС (омічний опір електроліту, катода, анода і т.д.) є низкоомними і внесок їхній у шумову напругу і струм досить малий. Тому в зовнішньому ланцюзі ХДС з низькоомной, як правило, навантаженням рівень теплових шумів в основному визначається

діелектричними втратами в електроліті, переважно в подвійному електричному шарі.

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

$$\bar{U}_0 = \sqrt{4kT \Delta f \operatorname{Re} Z} \quad (1)$$

де  $k$  - стала Больцмана;

$T$  - термодинамічна температура електроліту ХДС;

$\Delta f$  - ширина смуги частот, у якій виділяється шум;

$\operatorname{Re} Z$  - активна складового внутрішнього опору ХДС;

Знак "----" означає усереднення.

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

$$\bar{I}_0 = \sqrt{\frac{4kT \Delta f}{\operatorname{Re} Z}} \quad (2)$$

де  $\frac{1}{\operatorname{Re} Z}$  - активна складової комплексної провідності ХДС.

При паралельній схемі заміщення конденсатора з активними втратами ідеальною ємністю  $C_0$  й опором  $R_0$  активна складового внутрішнього опору ХДС:

$$\operatorname{Re} Z = \frac{R_0}{1 + (\omega_0 R_0 C_0)^2} = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\omega_0 \varepsilon C_0 (1 + \operatorname{tg}^2 \delta)} \quad (3)$$

де  $\varepsilon$  - діелектрична проникність електроліту;

$\operatorname{tg} \delta$  - показник активних втрат ( $\delta$  - фазовий кут втрат);

$\omega_0$  - резонансна кутова частота.

Спектр частот теплового шуму досить широкий (від одиниць кГц до десятків МГц і вище), а середньоквадратичне значення напруги теплового шуму мале (одиниці і частки мікровольт).

При зазначеному з'єднанні конденсатора 5 і індуктивності первинної обмотки 6 у ланцюзі виникає послідовний резонанс шумових струмів на частоті

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} \quad (4)$$

де  $L_1$  - індуктивність первинної обмотки 6 трансформатора 7;

$C_1$  - ємність конденсатора 5.

Смуга частот шумів  $\Delta f = \frac{\Delta \omega}{2\pi}$ , виділяємих резонансним ланцюгом, визначається в основному добротністю  $Q$  первинної обмотки 6 трансформатора 7 і резонансною частотою  $\omega_0$ :

$$Q = \frac{\omega_0 L_1}{r_1} \quad (5)$$

де  $r_1$  - опір первинної обмотки трансформатора.

Якщо опір обмотки  $r_1$  вибрати невеликим за рахунок великого діаметра проводу, то на частоті резонансу  $\omega_0$  можна вважати, що клема 3,4 ХДС по теплових шумах замкнуті накоротко. У цьому

випадку шумовий струм визначається тільки активною складовою провідності, тобто виразом (2). Відповідно до цього на вторинній обмотці 8 трансформатора 7 створюється шумова напруга, середньоквадратичне значення якої визначається:

$$\bar{U}' = K_1 \omega_0 L_1 \bar{I}_0 \quad (6)$$

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

підвищую чого трансформатора 7.

$L_2$  - індуктивність вторинної обмотки 8 трансформатора 7 ( $L_2 > L_1$ ).

Вихідна напруга трансформатора 7 із вторинної обмотки 8 підсилюється диференціальним підсилювачем 9 і вимірюється вольтметром 10 середньоквадратичних значень. Перша напруга, що вимірюється:

$$U_1 = K_2 \bar{U}' \quad (7)$$

де  $K_2$  - коефіцієнт підсилення диференціального підсилювача 9.

Потім конденсатор 5 і первинну обмотку 6 трансформатора 7 з'єднують паралельно (Фіг.2). У цьому випадку в ланцюзі виникає паралельний резонанс, а опір резонансного контуру різко зростає. Оскільки в резонансному контурі використовуються ті ж самі елементи 5 і 6, то резонансна частота залишається постійною (4) і при цьому не змінюється смуга частот виділяемого теплового шуму. У цьому випадку можна вважати, що по шумах у ХДС має місце режим холостого ходу і до первинної обмотки 6 трансформатора 7 цілком прикладена шумова напруга (1). Тоді на вторинній обмотці 8 трансформатора 7 з'явиться шумова напруга:

$$\bar{U}'' = K_1 \bar{U}_0 \quad (8)$$

Після підсилення шумової напруги (8) диференціальним підсилювачем 9, вольтметром 10 вимірюється середньоквадратичне значення другої напруги:

$$U_2 = K_2 \bar{U}'' \quad (9)$$

Температуру електроліту ХДС визначають за формулою в градусах Кельвіна

$$T = \frac{U_1 U_2}{S_0} [K] \quad (10)$$

де  $S_0 = 4kK_1^2 K_2^2 \omega_0 L_1 \Delta f$  - крутизна перетворення добутку напруг у температуру

$$\left[ \frac{B^2}{K} \right].$$

Дійсно, добуток напруг

$$U_1 U_2 = K_2^2 \bar{U}' \bar{U}'' \quad (11)$$

Підставляючи в (11) вирази (6) і (8), одержуємо

$$U_1 U_2 = K_1^2 K_2^2 \omega_0 L_1 \bar{I}_0 \bar{U}_0 \quad (12)$$

Підставивши в (12) вирази струму  $\bar{I}_0$  з (1) і напруги  $\bar{U}_0$  з (2) остаточно одержимо

$$U_1 U_2 = 4kK_1^2 K_2^2 \omega_0 L_1 \Delta f T = S_0 T \quad (13)$$

З виразу (13) випливає розрахункове співвідношення (10).

При контролі температури електроліту ХДС у градусах Цельсія варто користуватися формулою:

$$\Theta = \frac{U_1 U_2}{S_0} - 273 [^{\circ}\text{C}] \quad (14)$$

Крутизну  $S_0$  нормують у процесі калібрування, коли добуток середньоквадратичних напруг  $U_1 U_2$  зіставляється зі значенням температури, вимірюваної зразковим термометром, чутливий елемент якого розміщений безпосередньо в електроліті ХДС. Знаючи добуток двох обмірюваних напруг і дійсну температуру електроліту ХДС можна визначити крутизну перетворення

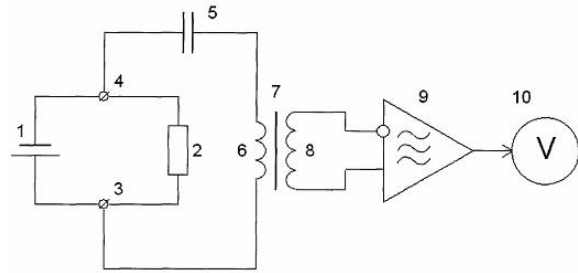
$$S_0 = \frac{U_1 U_2}{\Theta_0} \left[ \frac{\text{В}^2}{\text{К}} \right] \quad (15)$$

де  $\Theta_0$  - вимірювана термометром температура електроліту в градусах Кельвіна.

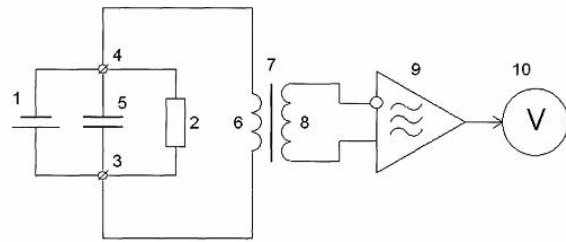
У процесі експлуатації ХДС, його внутрішня температура визначається співвідношенням (10) або (14). З формули (13) видно, що добуток вимірюваних середньоквадратичних напруг шумів не залежить від внутрішнього опору ХДС. Тому нормування крутизни перетворення  $S_0$  можна робити після зберігання (резервування) ХДС, у процесі якого неминуче відбувається деякий саморозряд, а отже, неконтрольовано змінюється його внутрішній опір.

З формули (14) випливає, що поточну температуру ХДС можна визначити за двома виміряними середньоквадратичними значеннями шумової напруги при зазначених змінах у з'єднанні тих самих елементів резонансної схеми (Фіг.1 і Фіг.2). При цьому каліброване значення крутизни перетворення  $S_0$ , як вказано вище, не залежить від змін внутрішнього опору ХДС, а отже, воно не змінюється в процесі експлуатації (розряду) ХДС.

Дослідження показали, що запропонований шумовий спосіб дозволяє контролювати внутрішню температуру ХДС при повному заряді в діапазоні від  $+20^{\circ}\text{C}$  до  $+120^{\circ}\text{C}$  з погрешністю не більш  $\pm 0,5^{\circ}$ . При цьому зменшення ємності ХДС (заряду) до 5-10% від початкового значення, що приводить до великого збільшення опору (приблизно в 3 - 5 разів), змінює результат не більше ніж на  $+ 1^{\circ}\text{C}$ . Подальше підвищення точності виміру температури запропонованим способом можливо зменшенням впливу власних шумів диференціального підсилювача на показання вольтметра середньоквадратичних значень і підвищенням добротності резонансного ланцюга вимірювальної схеми.



Фіг. 1



Фіг. 2