



УКРАЇНА

(19) UA (11) 41761 (13) U
(51) МПК (2009)
G01K 7/30МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЕЛЕКТРОЛІТУ ХІМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ

1

2

(21) u200814211

(22) 10.12.2008

(24) 10.06.2009

(46) 10.06.2009, Бюл. № 11, 2009 р.

(72) СКРИПНИК ЮРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ, UA, БА-
СУКОВ В'ЯЧЕСЛАВ ЗІНОВІЙОВИЧ, UA, ЖУРАЄВА
МІЛЕНА ХАМДАМУЛІВНА, UA(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ, UA(57) Пристрій для визначення температури елект-
роліту хімічних джерел струму, що містить вхідні
клеми, конденсатор та високочастотний двообмот-
ковий трансформатор, первинна обмотка якого
з'єднана з конденсатором, а до вторинної підклю-
чений диференційний підсилювач, який відрізня-

ється тим, що в нього додатково введені два роз-
подільних конденсатори, з'єднані між собою два
автоматичні перемикачі, другий диференційний
підсилювач, перемножувач та послідовно з'єднані
інтегратор, аналого-цифровий перетворювач, мік-
роконтролер та цифровий індикатор, при цьому
логічні виходи мікроконтролера з'єднані з керую-
чими входами автоматичних перемикачів, входи
яких через розподільні конденсатори з'єднані з
вхідними клемами, а виходи - з первинною обмот-
кою високочастотного трансформатора та конден-
сатором, другий диференційний підсилювач вклю-
чений паралельно першому, при цьому виходи
обох з'єднані з входами перемножувача.

Корисна модель відноситься до області шумо-
вої термометрії та може бути використана для
контролю температури електроліту хімічних дже-
рел струму в процесі їх заряду та роботи на кори-
сне навантаження.

В процесі заряду та експлуатації хімічних дже-
рел струму (ХДС) виникає розігрів електроліту,
який не повинен перевищувати встановлених
норм. Контактні та безконтактні засоби виміру те-
мператури корпусу ХДС не дають достовірної оцін-
ки температури електроліту через великий граді-
єнт температури по товщині пластмасового
корпусу, а також нерівномірного розподілу темпе-
ратури електроліту по об'єму електроліту.

Відомі пристрої для визначення температури
провідних середовищ, до яких відносяться й
електроліти, за рівнем теплових шумів (див. Сава-
теев А.В. Шумовая термометрия. - Л.: Энергоато-
миздат, Ленинградское отделение, 1987, - с. 98-
101). Через малий рівень теплових шумів викорис-
товують підсилювачі, квадратичні перетворювачі,
фільтри та інші електролітні пристрої для пере-
творення теплового шуму в електричний сигнал,
пропорційний температурі. Однак, через мале
значення внутрішнього опору ХДС, дисперсія теп-
лового шуму набагато менше дисперсії власних
шумів підсилювачів. Тому, оцінити температуру

електроліту як провідного середовища дуже
важко.

Відомий також пристрій для визначення тем-
ператури електроліту хімічних джерел струму
(описаний в патенті України на корисну модель
№29151, МПК G01K7/30, 2008, Бюл. №1), що міс-
тить вхідні клеми, конденсатор та високочастотний
двообмотковий трансформатор, первинна обмотка
якого з'єднана з конденсатором, а до вторинної
підключений диференційний підсилювач.

Крім того, пристрій містить вольтметр серед-
ньоквадратичних значень шумових напруг та
з'єднувальні дроти для пересполучення елементів
резонансної схеми з одного виду резонансу на
інший.

Особливістю відомого пристрою є тривалість
процесу виміру температури через необхідність
вручну змінювати конфігурацію вимірювальної
схеми. Крім того, під час переходу від послідовно-
го резонансного контуру до паралельного обмотка
трансформатора по постійному струму безпосере-
дньо шунтує ХДС, що порушує режим його роботи.
Також не виключений вплив власних шумів дифе-
ренційного підсилювача на точність виміру темпе-
ратури.

В основу корисної моделі покладена задача
створити такий пристрій для виміру температури
електроліту ХДС, в якому шляхом введення нових

(19) UA (11) 41761 (13) U

елементів та зв'язків забезпечилась би автоматизація процесу виміру температури ХДС, а також підвищення точності вимірювання.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрій для визначення температури електроліту хімічних джерел струму, що містить вхідні клеми, конденсатор та високочастотний двообмотковий трансформатор, первинна обмотка якого з'єднана з конденсатором, а до вторинної підключений диференційний підсилювач, згідно з корисною моделлю, введені два розподільних конденсатора, з'єднані між собою два автоматичні перемикачі, другий диференційний підсилювач, перемножувач, та послідовно з'єднані інтегратор, аналого-цифровий перетворювач, мікроконтролер та цифровий індикатор, при цьому логічні виходи мікроконтролера з'єднані з керуючими входами автоматичних перемикачів, входи яких через розподільні конденсатори з'єднані з вхідними клемми, а виходи - з первинною обмоткою високочастотного трансформатора та конденсатором, другий диференційний підсилювач включений паралельно першому, при цьому виходи обох з'єднані з входами перемножувача.

Введення в схему пристрою для визначення температури електроліту хімічних джерел струму двох роздільних конденсаторів, двох автоматичних перемикачів, другого диференційного підсилювача, перемножувача, інтегратора, аналого-цифрового перетворювача та мікроконтролера, включених вказаним образом, дозволяє по програмі мікроконтролера автоматично змінювати конфігурацію вимірювальної схеми. При одному положенні автоматичних перемикачів в ланцюгу з конденсатора та високочастотного трансформатора здійснюється режим послідовного резонансу, що відповідає короткому замкненню ХДС по шумах, а при іншому положенні автоматичних перемикачів - режим паралельного резонансу, що відповідає холостому ходу ХДС по шумах. Послідує перемноження двох результатів виміру в мікроконтролері та їх аналого-цифрове перетворення дозволяє отримати сигнал в цифровому вигляді, який пропорційний температурі електроліту ХДС та не залежить від його внутрішнього опору. Перетворення резонансних струмів та напруг шумового характеру двома диференційними підсилювачами з послідовним перемноженням підсилених напруг в перемножувачі та усередненням результату перемноження інтегратором виключає вплив власних шумів підсилювачів на значення дисперсії шумів самого ХДС, яке і містить інформацію про температуру його електроліту.

Таким чином, введені елементи та зв'язки в схему пристрою дозволяють повністю автоматизувати процес виміру температури з виключенням впливу внутрішнього опору ХДС, який суттєво змінюється в процесі його розряду, заглушити вплив шумів електронної схеми, що підвищує точність виміру температури електроліту ХДС.

На кресленні зображена електрична функціональна схема пристрою для виміру температури електроліту ХДС.

Пристрій містить вхідні клеми 1 і 2, розподільні конденсатори 3 та 4, автоматичні перемикачі 5 та

6, конденсатор 7 та високочастотний трансформатор 8, первинна обмотка якого 9, а вторинна - 10, диференційні підсилювачі 11 та 12, перемножувач 13, інтегратор 14, аналого-цифровий перетворювач (АЦП) 15, мікроконтролер 16 та цифровий індикатор 17.

Позицією 18 позначений контрольований ХДС, температуру електроліту якого безперервно вимірюють.

Вхідна клема 1 пристрою через розподільний конденсатор 3 з'єднана із входом автоматичного перемикача 5, один вихід якого з'єднаний з одним із входів автоматичного перемикача 6. Вихід автоматичного перемикача 6 через конденсатор 7 з'єднаний з одним з кінців первинної обмотки 9 високочастотного трансформатора 8. Інший вихід автоматичного перемикача 5 підключений до точки з'єднання конденсатора 7 та первинної обмотки 9 трансформатора. Вхідна клема 2 через розподільний конденсатор 4 з'єднана з другим входом автоматичного перемикача 6 та іншим кінцем первинної обмотки 9 трансформатора 8. Вторинна обмотка 10 трансформатора 8 з'єднана з входами диференційних підсилювачів 11 та 12, виходи яких підключені до входів перемножувача 13. До виходу перемножувача 13 через інтегратор 14 підключений АЦП 15, цифровий вихід якого з'єднаний з цифровим входом мікроконтролера 16, логічні виходи якого з'єднані з керуючими входами автоматичних перемикачів 5 і 6. До цифрового виходу мікроконтролера 16 підключений цифровий індикатор 17.

Пристрій для виміру температури електроліту ХДС працює наступним чином.

Вхідні клеми 1 та 2 пристрою з'єднують з впробуванням ХДС 18, в якому через поляризацію електродів в електроліті виникає подвійний електричний шар. За своїми електричними параметрами подвійний шар представляє собою конденсатор з активними (дисипативними) втратами та являє собою джерело теплового шуму з широким частотним спектром. Крім теплового шуму ХДС властиві й низькочастотні шуми, обумовлені флюктуаціями структурних параметрів електродних систем. Для виділення теплового шуму, який несе інформацію про температуру, доцільно використовувати резонансний ланцюг, настроєний на високочастотну частину спектру флюктуацій носіїв струму (йонів). Для цього використовується ємність конденсатора 7 та індуктивність первинної обмотки 9. Конфігурація резонансного контуру визначається положенням автоматичних перемикачів 5 та 6, які керуються логічними сигналами мікроконтролера 16.

По програмі, занесеній в пам'ять мікроконтролера 16, спочатку автоматичні перемикачі 5 та 6 встановлені в положення, вказані на кресленні. Ці положення забезпечують послідовне включення конденсатора 7 та обмотки 9 відносно джерела шумового струму, яким є ємність з втратами подвійного шару ХДС. В результаті резонансу шумових високочастотних напруг в послідовному колі шумовий струм визначається тільки внутрішнім опором джерела шуму.

Згідно з формулою Найквіста середньоквадратичне значення шумового струму визначається виразом:

$$\overline{I_0} = \sqrt{\frac{4kT_x\Delta f}{\operatorname{Re} Z}}, \quad (1)$$

де k - стала Больцмана;

T_x - термодинамічна температура електроліту ХДС;

Δf - ширина смуги частот відокремленого шуму;

$\operatorname{Re} Z$ - активна складова комплексного опору джерела шуму;

Знак „-” означає тимчасове усереднення шумового сигналу, після квадратичного перетворення миттєвих значень.

При паралельній схемі заміщення подвійного електричного шару конденсатором з ємністю C_0 та опором втрат R_0 активна складова комплексного опору

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

де ε - діелектрична проникність електроліту ХДС;

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

ω_0 - резонансна колова частота.

Резонансна частота ω_0 визначається ємністю конденсатора 7 та індуктивністю обмотки 9 високочастотного трансформатора 8:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}, \quad (3)$$

де L_1 - індуктивність обмотки 9;

C_1 - ємність конденсатора 7.

Смуга частот шумів Δf , відокремлюваних резонансним колом $L_1 C_1$, визначається, в основному, добротністю Q первинної обмотки 9 високочастотного трансформатора 8 на резонансній частоті ω_0 :

$$A = \frac{\omega_0 L_1}{r_1}, \quad (4)$$

де r_1 - активний опір первинної обмотки 9.

Резонансна шумова напруга з первинної обмотки 9 трансформуються у вторинну обмотку 10. При використанні високочастотного трансформатора 8 середньоквадратичне значення вихідної напруги

$$\overline{U_2} = k_1 \overline{U_1} = k_1 \omega_0 L_1 \overline{I_0}, \quad (5)$$

де $k_1 = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}$ - коефіцієнт трансформації високочастотного трансформатора 8;

L_2 - індуктивність вторинної обмотки 10 ($L_2 > L_1$).

Шумова напруга (5) підсилюється паралельно підключеними диференційними підсилювачами 11 та 12, вихідні напруги яких між собою перемножуються перемножувачем 13 та усереднюються інтегратором 14. Так як власні шуми диференційних підсилювачів 11 та 12 незалежні та між собою не корельовані, усереднене значення підсилених шумів напруг визначається тільки шумовою напругою (5) високочастотного трансформатора 8:

$$\overline{U_3} = k_2^2 \overline{U_2}^2 = k_1^2 k_2^2 \omega_0^2 L_1^2 \overline{I_0}^2, \quad (6)$$

де $\overline{I_0}^2$ - дисперсія шумового струму ХДС 18;

k_2 - коефіцієнт підсилення диференційних підсилювачів 11 и 12.

Усереднена напруга $\overline{U_3}$ представляє собою постійну напругу, яка перетворюється з допомогою АЦП 15 в цифровий код

$$N_1 = \frac{\overline{U_3}}{q} = \frac{1}{q} k_1^2 k_2^2 \omega_0^2 L_1^2 \overline{I_0}^2, \quad (7)$$

де q - одиниця молодшого розряду АЦП 15.

Цифровий код N_1 вводиться в мікроконтролер 16, де й запам'ятовується.

Далі за командою мікроконтролера 16 автоматичні перемикачі 5 та 6 перемикаються в протилежне положення. При цьому конденсатор 7 вмикається паралельно первинній обмотці 9, і резонансний контур підключається безпосередньо до джерела теплового шуму ХДС 18. Частота резонансу й смуга відокремлюваного шуму при цьому не змінюються. Опір паралельного резонансного контуру різко зростає, що відповідає режиму неробочого ходу для шумів ХДС 18. Для розімкненого джерела шуму, за формулою Найквіста, вихідне середньоквадратичне значення шумової напруги

$$\overline{U_0} = \sqrt{4kT_x\Delta f \operatorname{Re} Z}. \quad (8)$$

Напруга (8) трансформуються у вторинний ланцюг високочастотного трансформатора 8. З урахуванням коефіцієнта трансформації k_1 вихідна напруга трансформатора 8

$$\overline{U_4} = k_1 \overline{U_0}. \quad (9)$$

Шумова напруга (9) також підсилюється паралельно підключеними диференційними підсилювачами 11 та 12. Після перемноження підсилених напруг перемножувачем 13 та усереднення перемножених напруг інтегратором 14 формується постійна складова напруги

$$\overline{U_5} = k_2^2 \overline{U_4}^2 = k_1^2 k_2^2 \overline{U_0}^2, \quad (10)$$

де $\overline{U_0}^2$ - дисперсія шумової напруги ХДС.

Постійна напруга (10) перетворюється також за допомогою АЦП 15 в цифровий код

$$N_2 = \frac{\overline{U_5}}{q} = \frac{1}{q} k_1^2 k_2^2 \overline{U_0}^2. \quad (11)$$

Цифровий код (11) вводиться в пам'ять мікроконтролера 16, де й запам'ятовується. Далі за програмою мікроконтролера 16 відбувається обчислювальна обробка результатів двох вимірів (7) та (11) за алгоритмом, при якому формується цифровий код

$$N_3 = \sqrt{N_1 N_2} = \frac{1}{q} k_1^2 k_2^2 \omega_0 L_1 \overline{U_0} \overline{I_0}. \quad (12)$$

Підставляючи в вираз (12) середньоквадратичні значення шумової напруги (8) та шумового струму (1), отримаємо код середньоквадратичного значення добутку

$$N_3 = \frac{4}{q} k k_1^2 k_2^2 \omega_0 L_1 \Delta f T_x = S_0 T_x, \quad (13)$$

де $S_0 = \frac{4}{q} k k_1^2 k_2^2 \omega_0 L_1 \Delta f$ - крутість перетворення шумових струмів та напруг в температуру $[B^2/K]$.

Так як на результат виміру (13) не впливає шумовий опір подвійного шару електроліту, тому калібрування пристрою можна провести за допомогою будь-якого ХДС з відомою температурою електроліту. В процесі калібрування по відомій температурі T_0 отримують цифровий код

$$N_0 = S_0 T_0. \quad (14)$$

З виразу (14) отримаємо вираз для крутість перетворення

$$S_0 = \frac{N_0}{T_0}. \quad (15)$$

Значення крутість перетворення (15) вводять в пам'ять мікроконтролера 16. Тоді результат виміру температури обчислюють через відношення температур:

$$N_4 = \frac{T_x}{T_0} N_0. \quad (16)$$

Результат виміру температури електроліту ХДС 18 в градусах Цельсія виводиться на цифровий індикатор 17:

$$\theta_x = \frac{T_x}{T_0} N_0 - 273 [^{\circ}C]. \quad (17)$$

Завдяки введенню розподільних конденсаторів 3 та 4 виключається шунтування ХДС первинної обмотки трансформатора 8 при паралельному резонансному контурі, що, поряд з виключенням впливу власних шумів диференціальних підсилювачів, підвищує точність виміру температури електроліту без безпосереднього контакту з агресивним середовищем. Автоматичне змінення конфігурації резонансного контуру та мікропроцесорна обробка результатів вимірів забезпечує безпосередній відлік температури електроліту ХДС 18 без додаткових переключень елементів схеми.

Для виключення впливу низькочастотних шумів ХДС доцільно шумовий струм та шумову напругу теплових шумів вимірювати в частотному діапазоні 200-500кГц в смузі частот 10-20кГц, а змінення конфігурації резонансного кола здійснювати за допомогою магнітокермованих реле (герконів). Виключення впливу внутрішнього опору ХДС на результат виміру температури дозволяє контролювати температуру ХДС як в процесі заряду, так і при робочому розряді. При цьому змінення внутрішнього опору ХДС, зв'язані зі змінням ємності (заряду) ХДС, практично не впливають на результат виміру температури електроліту (похибка не більше $\pm 0,2 \div 0,5^{\circ}C$). Час виміру температури ХДС не перевищує кількох секунд, які лімітуються перехідними процесами в резонансних колах.

