

УДК 621.317.53.08

И.В. Антонишен, В.И. Туев, М.В. Южанин

## Способ измерения внутреннего сопротивления химических источников тока

Предложен способ измерения составляющих внутреннего сопротивления химического источника тока, рассмотрен принцип функционирования устройства, реализующего предложенный способ.

**Ключевые слова:** химический источник тока, аккумулятор, способ, внутреннее сопротивление.

Вопросы эксплуатации систем гарантированного электропитания, включающие вторичные химические источники тока (ХИТ) – аккумуляторы, имеют высокую значимость, поскольку от своевременности проведения технического обслуживания и замены вышедших из строя аккумуляторов зависит работоспособность питаемого оборудования.

Внутреннее сопротивление ХИТ является важным параметром, значение которого несет информацию о степени деградации ХИТ [1], позволяет прогнозировать продолжительность его существования и определить время замены этого ХИТ.

На рис. 1 приведены эквивалентная схема внутреннего сопротивления ХИТ (а) [2] и векторная диаграмма сопротивлений (б).

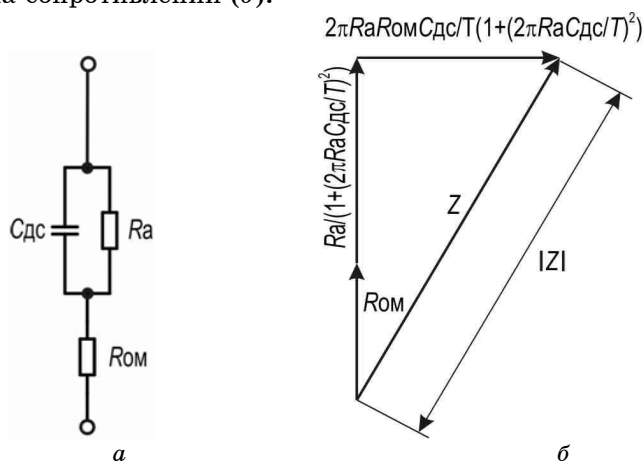


Рис. 1. Эквивалентная схема внутреннего сопротивления ХИТ (а) и векторная диаграмма сопротивлений (б)

Эквивалентная схема ХИТ состоит из омического сопротивления электролита  $R_{om}$ , активного сопротивления электрохимических реакций  $R_a$  и электрической емкости двойных электрических слоев  $C_{dc}$ , имеющих место на границах разделов электродов с электролитом ХИТ.

Известные способы измерения [3] и [4] дают информацию только о величине внутреннего сопротивления постоянному току ХИТ и значениям активной и реактивной составляющих ХИТ.

Целью работы является разработка нового способа измерения значений всех составляющих внутреннего сопротивления ХИТ.

Функциональная схема устройства, реализующего предлагаемый способ определения значений омического сопротивления, активного сопротивления электрохимических реакций и емкости двойных электрических слоев на границах разделов электродов с электролитом ХИТ, приведена на рис. 2, а форма сигналов на основных блоках схемы приведена на рис. 3. На рис. 2 приняты следующие обозначения: 1 – управляемый ключ; 2 – химический источник тока; 3 – резистор; 4 и 5 – первый и второй дифференциальные усилители (ДУ); 6 и 7 – первый и второй перемножители; 8 и 9 – первый и второй фильтры нижних частот (ФНЧ); 10 – микроконтроллер с аналого-цифровым преобразователем (АЦП); 11 – буквенно-цифровой индикатор.

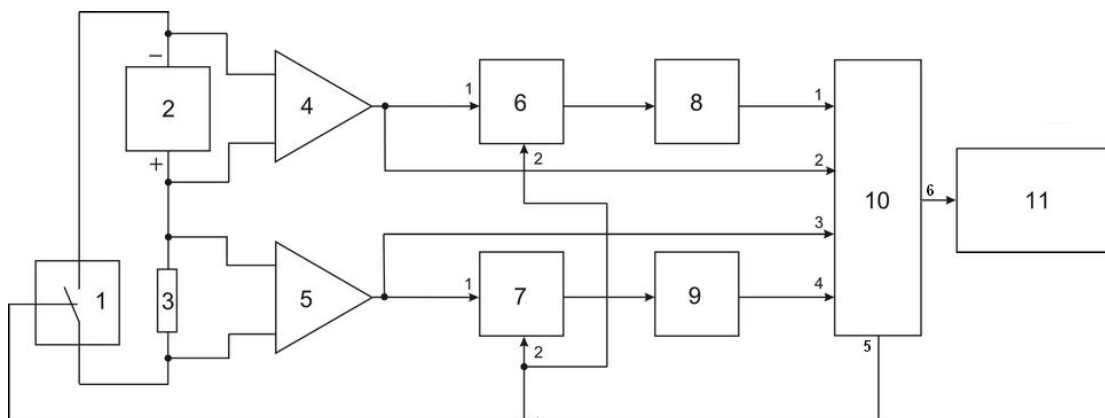


Рис. 2. Функциональная схема устройства для измерения внутреннего сопротивления ХИТ

Измерение составляющих внутреннего сопротивления ХИТ проводится следующим образом. Микроконтроллер 10 формирует на выходе 1 управляющее напряжение, приводящее к замыканию управляемого ключа 1. Напряжение ХИТ 2 подается на входы ДУ 4 и с его выхода поступает на второй вход микроконтроллера 10. Напряжение с резистора 3 подается на входы ДУ 5 и с его выхода поступает на третий вход микроконтроллера 10. По законам коммутации напряжение на емкости  $C_{дс}$  скачком изменить нельзя, и в начальный момент времени (точки 1) на рис. 3 сопротивление ХИТ определяется омическим сопротивлением.

Значение омического сопротивления  $R_{ом}$  рассчитывается микроконтроллером 10 по формуле (1):

$$R_{ом} = \frac{\Delta U_2}{U_3} R, \quad (1)$$

где  $\Delta U_2$  – изменение напряжения на втором входе;  $U_3$  – значение напряжения на третьем входе микроконтроллера;  $R$  – значение сопротивления резистора 3.

Затем значение  $R_{ом}$  сохраняется в оперативной памяти микроконтроллера.

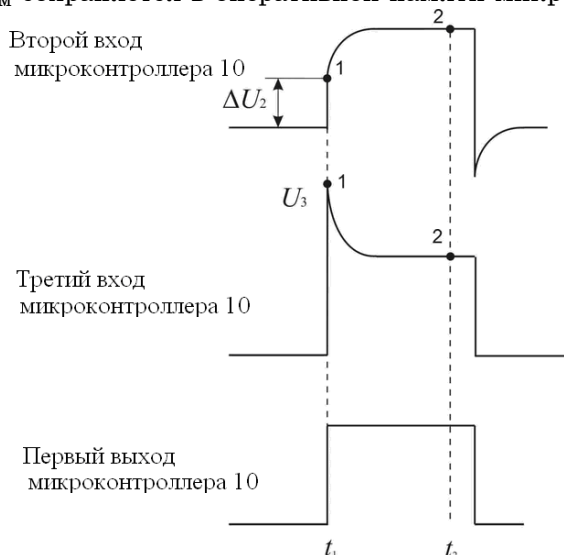


Рис. 3. Эпюры сигналов в схеме

Изменение напряжения на втором входе микроконтроллера 10 определяется по отношению к его значению при разомкнутом состоянии управляемого ключа 2 в момент времени  $t_1$  на рис. 3.

Через интервал времени, превышающий время переходного процесса в цепи ХИТ 2 – резистор 3 – замкнутый ключ 1 (точка 2 на рис. 3), микроконтроллером 10 измеряется изменение напряжения на втором и значение напряжения на третьем входах АЦП и

по формуле (1) рассчитывается сопротивление ХИТ постоянному току  $R_{пт}$  и также сохраняется в оперативной памяти микроконтроллера. Микроконтроллер 10 вычисляет и записывает в оперативную память значение активного сопротивления электрохимической реакции, взяв разность значений сопротивлений  $R_{пт}$  и  $R_{ом}$ .

Далее микроконтроллер 10 формирует на выходе 1 последовательность прямоугольных импульсов. Импульсный сигнал с выхода 1 управляет ключом 1 и поступает на вторые входы перемножителей 6 и 7. С выходов перемножителей 6 и 7 сигналы подаются на входы ФНЧ 8 и 9, с выходов которых напряжения поступают соответственно на первый и четвертый входы микроконтроллера 10. После достижения установившихся значений напряжений на выходах ФНЧ 8 и 9 микроконтроллер 10 рассчитывает значение модуля комплексного сопротивления ХИТ на частоте следования импульсов по формуле [5]

$$|Z| = \frac{U_1}{U_4} R, \quad (2)$$

где  $U_1$  – значение напряжения на первом входе микроконтроллера 10;  $U_4$  – значение напряжения на четвертом входе микроконтроллера 10.

Измеренное значение комплексного сопротивления ХИТ сохраняется в оперативной памяти микроконтроллера.

В соответствии с диаграммой сопротивлений, приведенной на рис. 1, б), полное сопротивление ХИТ определяется выражением, включающим измеренные значения  $R_{ом}$ ,  $R_a$  и неизвестное значение емкости  $C_{дс}$ :

$$Z = R_{ом} + \frac{R_a}{1 + \left( \frac{2\pi R_a C_{дс}}{T} \right)^2} + j \frac{2\pi R_a R_{ом} C_{дс}}{T \left[ 1 + \left( \frac{2\pi R_a C_{дс}}{T} \right)^2 \right]}. \quad (3)$$

На основе решения уравнения (3) численными методами микроконтроллер определяет значение емкости  $C_{дс}$ .

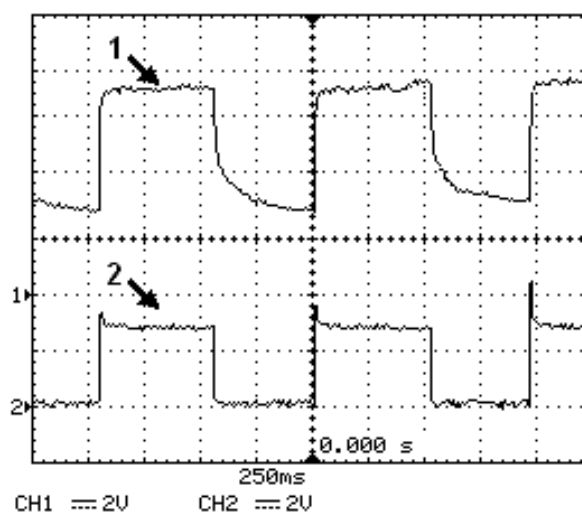
Численные значения омического сопротивления  $R_{ом}$ , активного сопротивления электрохимической реакции  $R_a$  и емкости двойного электрического слоя  $C_{дс}$  после расчета микроконтроллером отображаются на экране буквенно-цифрового индикатора 11.

На рис. 4 приведены экспериментально измеренные эпюры изменения напряжения на ХИТ 2 (эпюра 1) и напряжения на резисторе 3 (эпюра 2), полученные с применением цифрового осциллографа. В экспериментальной установке использованы ХИТ типа CSB GP 1272 F2, сопротивление, собранное из двух параллельно включенных резисторов МТЕ 0,125 51 Ом и электронный ключ на полевом транзисторе типа IRF3710.

Рассчитанные по измеренным эпюрам напряжений значения составляющих внутреннего сопротивления равны  $R_{ом} = 58,56$  Ом,  $R_a = 10,51$  Ом,  $C_{дс} = 3,56$  мФ. Значения омического и активного сопротивлений свидетельствуют о высокой степени деградации использованного в эксперименте ХИТ, что подтверждается проведением контрольного цикла заряд-разряд, значение остаточной емкости ХИТ составляет 20% от номинальной.

Таким образом, предлагаемый способ определения значений омического сопротивления, активного сопротивления электрохимической реакции и емкости двойного электрического слоя на границе раздела электрода с электролитом ХИТ обладает расширенной функциональностью – позволяет определять три параметра полного внутреннего сопротивления ХИТ.

Рис. 4. Эпюры напряжений на ХИТ и сопротивлении



Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в соответствии с договором № 2148 от 05.07.2010 г. в порядке реализации Постановления № 218 Правительства РФ.

*Литература*

1. Таганова А.А. Диагностика химических источников тока // Современная электроника. – 2007. - №7. – С. 20-22.
2. Багоцкий В.С. Химические источники тока / В.С. Багоцкий, А.М. Скундин. – М.: Энергоиздат, 1981. – 360 с.
3. ГОСТ Р МЭК 60896-2-99. Свинцово-кислотные стационарные батареи. Общие требования и методы испытаний. – М.: Издательство стандартов, 1999. – 54 с.
4. Пат. 2 154 834 РФ, МКП G 01 R 27/02. Способ измерения составляющих полного сопротивления и устройство для его осуществления / Г.В. Петкевич, Е.А. Петров, В.П. Мокшанцев (РФ). - Заявл. 14.10.1998; опубл. 20.08.2000. – Бюл. – № 7.
5. Туев В.И. Измерение сопротивлений двухполюсников с применением импульсного сигнала // Известия Том. политех. ун-та. – 2006. – № 1. – С. 178-182.

**Антонишен Игорь Владимирович**

Аспирант каф. радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга (РЭТЭМ) ТУСУРа

Тел.: (382-2) 70-15-06

Эл. почта: mxm@ms.tusur.ru

**Туев Василий Иванович**

Д-р техн. наук, зав. каф. РЭТЭМ ТУСУРа

Тел.: (382-2) 70-15-06

Эл. почта: tvi\_retem@main.tusur.ru

**Южанин Максим Владимирович**

Аспирант каф. средств радиосвязи ТУСУРа

Тел.: (382-2) 70-15-06

Эл. почта: mxm@ms.tusur.ru

Antonishen I.V., Tuev V.I., Yuzhanin M.V.

**A technique for measurement of internal resistance of chemical power sources**

A technique for measurement of internal resistance of chemical power source is suggested. The operation principle of device, which implements the given technique, is considered.

**Keywords:** chemical current source, accumulator, technique, internal resistance.