

ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ
В ЛАБОРАТОРИЯХ

УДК 54.084

МАЛОШУМЯЩИЙ ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ПРИБОР
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ШУМОВ
ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

© 2019 г. Е. А. Астафьев

Поступила в редакцию 03.05.2018 г.

После доработки 12.06.2018 г.

Принята к публикации 20.06.2018 г.

DOI: 10.1134/S0032816219010038

В настоящее время и в перспективе представляет интерес исследование электрохимических шумов химических источников тока. Основной проблемой при этом является необходимость в измерении малых переменных сигналов амплитудой ≤ 10 нВ на фоне большой постоянной составляющей, которая в случае литиевых аккумуляторов и батарей составляет >3 В. Ранее нами были созданы приборы для измерения электрохимических шумов [1, 2], которые используются при проведении научных исследований [3, 4]. Однако работа с литиевыми аккумуляторами и батареями предъявляет более жесткие требования к уровню собственных шумов прибора. Для исследования же топливных элементов в некоторых нагрузочных режимах необходимо расширение интервала рабочих частот, по крайней мере до 1 кГц [4].

Нами был разработан и опробован в лаборатории новый прибор для измерения электрохимических шумов NM-5. Он имеет два канала оцифровки данных. На входе основного канала установлен пассивный аналоговый фильтр высоких частот для удаления постоянной составляющей. Он состоит из последовательно включенного низкоимпедансного электролитического конденсатора Panasonic EEUFM1C332L, 3300 мкФ \times 16 В, серии FM. На выходе фильтра установлен прецизионный тонкопленочный металлофольговый постоянный резистор MSU0805d1002bp500 номиналом 10 кОм с точностью 0.1%. Частота среза фильтра 5 мГц.

Для обеспечения низкого уровня собственных шумов основного рабочего канала использованы два сдвоенных малошумящих операционных усилителя ADA4898 с собственным уровнем шумов по напряжению 0.9 нВ/Гц^{0.5} на частоте 1 кГц. В цепи резистивного делителя обратной связи каждого усилителя применены прецизионные резисторы той же серии, что и в фильтре. Делительный резистор можно выбрать номиналом 1 или 10 кОм, заземленный — 10 или 100 Ом для формирования коэффициентов усиления 11, 101 или 1001.

Второй, вспомогательный, канал предназначен для регистрации постоянной разности потенциалов на клеммах исследуемого химического источника тока. В это же время основной канал синхронно измеряет и регистрирует электрохимические шумы этого источника. Вспомогательный канал подключен непосредственно к исследуемому объекту при помощи прецизионного делителя из двух резисторов по 10 кОм, таким образом коэффициент деления равен двум. В основе этого вспомогательного канала использован повторитель на прецизионном малошумящем операционном усилителе OPA2140. Он работает со второй микросхемой аналого-цифрового преобразователя (а.ц.п.).

В приборе использованы два идентичных канала а.ц.п., собранных на микросхемах AD7177-2 разрядностью 32 бит, источник опорного напряжения — включенные параллельно три микросхемы прецизионных источников опорного напряжения LTC6655BHMS8-2.5. С ними, при включенном делителе, интервал рабочих напряжений вспомогательного канала составляет ± 5 В. Максимальная скорость работы а.ц.п. составляет 5000 точек/с.

Достигнутый уровень собственных шумов прибора — 0.62 нВ/Гц^{0.5} на частоте 1 кГц, что эквивалентно тепловому шуму резистора номиналом 23 Ом. На рис. 1а представлены результаты испытания прибора с несколькими модельными RC-цепями. Проведено измерение их тепловых шумов. С помощью формулы Найквиста рассчитаны частотные зависимости их действительной составляющей импеданса от частоты. Как видно, наблюдается хорошее совпадение теоретических и экспериментальных зависимостей, а разброс зашумленности кривых составляет не более 10 Ом от пика до пика.

На рис. 1б приведены частотные зависимости электрохимических шумов водородно-воздушного топливного элемента, зарегистрированные

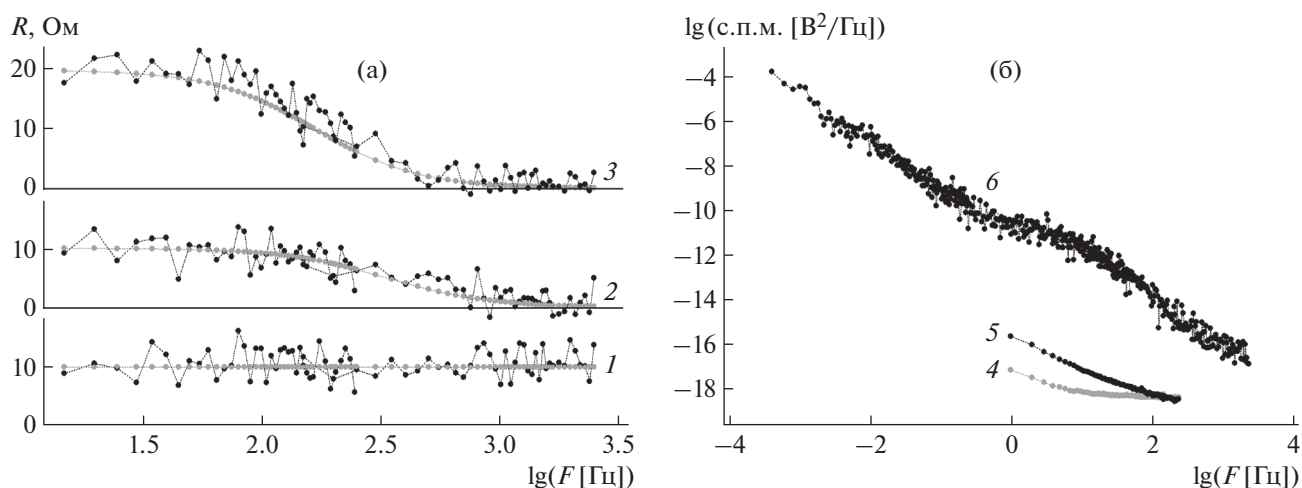


Рис. 1. Частотные зависимости: а – эквивалентного шумового сопротивления (1 – резистор номиналом 10 Ом, 2 – RC-цепь из резистора 10 Ом параллельно с конденсатором 47 мкФ, 3 – RC-цепь из резистора 20 Ом параллельно с конденсатором 47 мкФ; серым цветом обозначены теоретические зависимости; б – электрохимических шумов (4 – собственные шумы прибора, 5 – шумы литий-тионилхлоридной батареи, 6 – водородно-воздушного топливного элемента; с.п.м. – спектральные плотности мощности).

при отключенном фильтре высоких частот, что необходимо для обеспечения максимально широкой полосы на низких частотах. Благодаря повышенному быстродействию прибора общая полоса рабочих частот достигла семи порядков.

Также на этом рисунке приведен спектр электрохимических шумов литий-тионилхлоридной батареи. Благодаря малым собственным шумам прибора удалось зарегистрировать ее шумы в состоянии минимально возможной нагрузки – при работе только на входные цепи прибора, имеющие сопротивление 20 кОм. Спектры шумов прибора вычтены для всех кривых. Все представленные кривые, кроме кривой б, зарегистрированы с включенным фильтром высоких частот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астафьев Е.А., Укше А.Е., Добровольский Ю.А. // ПТЭ. 2017. № 6. С. 130. doi 10.7868/S0032816217050032
2. Астафьев Е.А. // ПТЭ. 2018. № 1. С. 151. doi 10.7868/S0032816218010123
3. Астафьев Е.А. // Электрохимия. 2018. № 6. С. 554. doi 10.1134/S1023193518060034
4. Astafev E.A., Ukshe A.E., Gerasimova E.V., Dobrovolsky Yu.A., Manzhos R.A. // J. Solid State Electrochem. 2018. doi 10.1007/s10008-018-3892-4

Адрес для справок: Россия, 142432, Черноголовка Московской обл., просп. Академика Семенова, 1, Институт проблем химической физики РАН. E-mail: tdsipch@list.ru