

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА ЧАСТОТНЫМ МЕТОДОМ

С.В. Ольховиков, О.О. Дубровский  
(представил д.т.н., проф. Б.Т. Кононов)

*В статье предложена передаточная функция свинцового аккумулятора и приводятся результаты экспериментальных исследований химических источников тока частотным методом, используемые для определения технического состояния и степени заряженности аккумулятора.*

**Состояние вопроса.** Оценка технического состояния химических источников тока различных электрохимических систем частотными методами отличается большой наглядностью и позволяет определить остаточную емкость аккумулятора. Метод основан на определении изменения амплитуды и фазы выходного сигнала при изменении входного сигнала (частоты переменного тока, пропускаемого через аккумулятор).

**Анализ литературы.** Вопросы оценки технического состояния аккумуляторов рассматривались в [1, 3 – 5]. Анализ возможных методов и их сравнение приведен в [6]. Однако в этих работах не рассматривались частотные методы определения емкости аккумуляторов. В то же время в [2] предлагается эквивалентная схема химического источника тока, используя которую можно получить передаточную функцию аккумулятора и выполнить оценку его технического состояния.

**Цель статьи.** Описание результатов экспериментальных исследований химических источников тока частотными методами.

**Основной материал.** В процессе испытаний определялось техническое состояние и степень заряженности химических источников тока различных электрохимических систем:

- марганцево-цинковых элементов и батарей типа 100-АМЦГ-У-2,0;
- ртутно-цинковых элементов типа РЦ-55, РЦ-65, РЦ-75, РЦ-85;
- серебряно-цинковых аккумуляторов типа СЦК-3, СЦС-5;
- никель-кадмиевых аккумуляторов типа 32АКН-2,25М, 64НК-3Т;
- свинцово-кислотных аккумуляторов 6СТ-45, 6СТ-50, 6СТ-60.

Номинальная емкость исследуемых элементов и аккумуляторных батарей, была выбрана в диапазоне от 0,22 Ач до 60 Ач, так как для аккумуляторов, емкость которых меньше указанного нижнего диапазона

емкостей, частота подаваемого на вход аккумулятора синусоидального тока должна быть меньше 1Гц, что существенно усложняет схемную реализацию преобразователя частоты, вырабатывающего необходимый входной сигнал. Для исследования аккумуляторов, емкость которых больше указанного выше верхнего предела, необходимо иметь более мощный входной сигнал.

В настоящей статье приведены результаты испытаний кислотных аккумуляторов, наиболее широко используемых в военной технике.

Экспериментальная установка (рис. 1) состоит из аккумуляторной батареи (не менее двух одинаковых последовательно соединенных аккумуляторов), преобразователя частоты с синхронизированным выходом и двух-канального осциллографа (разрешающая способность развертки от 5 сек.).

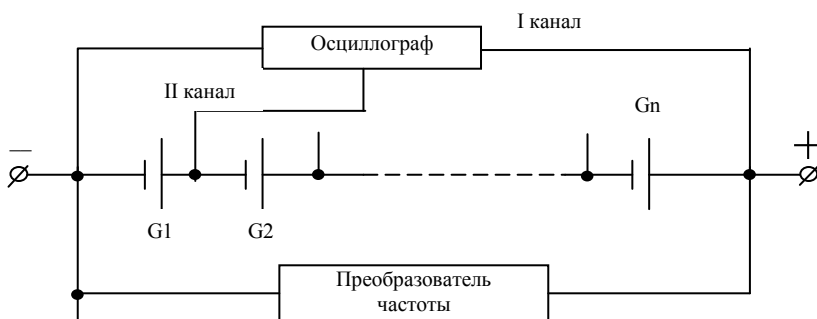


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки

Собранная экспериментальная установка работает следующим образом. На клеммы аккумуляторной батареи подключается преобразователь частоты и первый канал осциллографа. Второй канал осциллографа подключается к переходной клемме батареи непосредственно к плюсу второго аккумулятора.

Преобразователь частоты вырабатывает синусоидальную форму сигнала с частотой, изменяемой в диапазоне частот 0,1 – 15000 Гц.

Результаты осциллографирования, приведенные на рис. 2 – 5, показывают, что при пропускании через аккумуляторную батарею низкочастотного синусоидального сигнала изменение фазы и амплитуды выходного сигнала существенно зависит от степени заряженности аккумулятора. Для исследования аккумулятора в ходе проведения контрольных циклов заряд-разряд были выбраны следующие значения емкостей: 25, 50, 75, 100% от номинальной. При этом для каждого значения емкости химического источника тока производились измерения в ста точках для каждого фиксированного значения частоты.

У полностью заряженного аккумулятора наблюдается максимальный фазовый сдвиг и максимальная амплитуда зондирующего сигнала. Изменение фазы выходного сигнала на поверхности электрод-электролит связано с изменением емкости двойного электрического слоя [1]. Для установления связи между величиной остаточной емкости аккумулятора и его параметрами определим коэффициенты, входящие в выражение для передаточной функции. В [2] получена передаточная функция свинцово-кислотного аккумулятора в виде

$$W(p) = \frac{U(p)}{i(p)} = \frac{\alpha_p}{p} + \frac{B}{\sqrt{p}} + R_{вн}, \quad (1)$$

где  $p$  – оператор дифференцирования;  $\alpha_p$ ,  $R_{вн}$ ,  $B$  – коэффициенты передаточной функции.

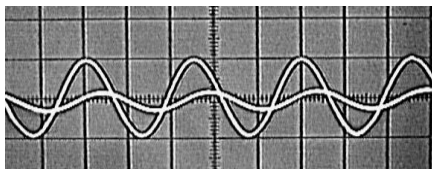


Рис. 2. Изменение амплитуды и фазы аккумулятора при  $Q = 25\% Q_{ном}$

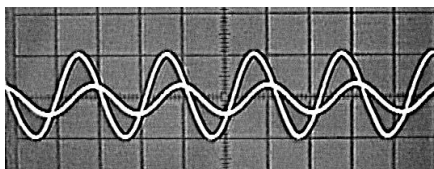


Рис. 3. Изменение амплитуды и фазы аккумулятора при  $Q = 50\% Q_{ном}$

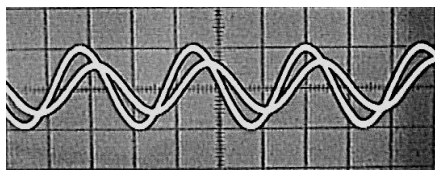


Рис. 4. Изменение амплитуды и фазы аккумулятора при  $Q = 75\% Q_{ном}$

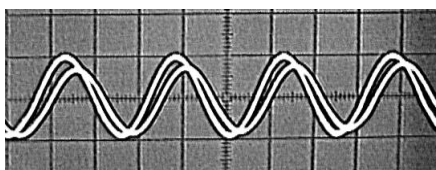


Рис. 5. Изменение амплитуды и фазы аккумулятора при  $Q = 100\% Q_{ном}$

Для определения вещественной и мнимой части амплитудно-частотной характеристики заменим  $p$  в (1) через  $j\omega$  и результат представим в виде

$$W(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega). \quad (2)$$

После преобразований получим вещественную часть амплитудно-частотной характеристики  $U(\omega)$ , равную

$$U(\omega) = R + \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{B}{\sqrt{\omega}}. \quad (3)$$

Соответственно мнимая часть амплитудно-частотной характеристики  $V(\omega)$  равна

$$V(\omega) = -\left(\frac{\alpha_p}{\omega} + \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{B}{\sqrt{\omega}}\right). \quad (4)$$

Для определения значений  $R$ ,  $\alpha_p$ ,  $B$ , входящих в состав  $U(\omega)$  и  $V(\omega)$ , необходимо иметь в каждом режиме работы, по крайней мере, не менее двух замеров величин  $A$  и  $\varphi$ , снятых для частот  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ . Действительно:

$$\begin{aligned} U(\omega_1) &= R + \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{B}{\sqrt{\omega_1}} = A(\omega_1) \cdot \cos \varphi(\omega_1); \\ V(\omega_1) &= -\left(\frac{\alpha_p}{\omega_1} + \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{B}{\sqrt{\omega_1}}\right) = A(\omega_1) \cdot \sin \varphi(\omega_1); \\ U(\omega_2) &= \left(R + \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{B}{\sqrt{\omega_2}}\right) = A(\omega_2) \cdot \cos \varphi(\omega_2); \\ V(\omega_2) &= -\left(\frac{\alpha_p}{\omega_2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{B}{\sqrt{\omega_2}}\right) = A(\omega_2) \cdot \sin \varphi(\omega_2). \end{aligned} \quad (5)$$

По результатам обработки осциллограмм, приведенным в табл. 1, найдены значения амплитудно-частотной  $A(\omega)$  и фазочастотной  $\varphi(\omega)$  характеристик, а также величины вещественной  $U(\omega)$  и мнимой  $V(\omega)$  частотной характеристики.

Таблица 1  
Результаты обработки частотных характеристик

Емкость, %	Частота входного воздействия, Гц	$A(\omega)$ , о.е.	$Q(\omega)$ , град.	$U = A(\omega) \cdot \cos \varphi(\omega)$	$V = A(\omega) \cdot \sin \varphi(\omega)$
25	200	2,2	0	2,2	0
	400	2,2	4,8	2,1922	0,1840
	600	2,2	7,2	2,1826	0,2757
50	200	2,2	2,4	2,1980	0,0921
	400	2,1	7,2	2,0834	0,2631
	600	2,0	9,6	1,9719	0,3335
75	200	2,7	4,8	2,6905	0,2259
	400	2,7	4,8	2,6905	0,2259
	600	2,5	9,6	2,4649	0,4169
100	200	2,75	9,6	2,7114	0,4586
	400	2,7	12	2,6409	0,5613
	600	2,7	12	2,6409	0,5613

В табл. 2 приведены значения коэффициентов  $\alpha_p$ ,  $B$  и  $R_{ом}$ , полученные по данным табл. 1 и соотношений (5):  $\alpha_p$  – характеризует ЭДС

аккумулятора, которая зависит от плотности электролита; В – характеризует емкость химического источника тока;  $R_{ом}$  – характеризует внутреннее сопротивление химического источника тока.

Таблица 2

Значения коэффициентов частотных характеристик

Емкость, %	$\alpha_p$	В	$R_{ом}$
25	- 415,71331	- 25,5460992	1,869092
	- 348,5783	- 24,23895	1,92253
	- 618,5861	- 38,18016	2,13
50	- 141,707821	- 22,659543	2,1773
	- 179,2750	- 15,235446	2,14739
	- 309,781797	- 21,816724	2,2232
75	- 200,13529	- 16,021276	2,91639989
	- 220,971630	- 23,926268	2,7405065
	- 260,822380	- 30,18427859	2,8125926
100	- 80,9041931	- 34,571665	3,1056
	- 164,408470	- 42,09219858	3,03913
	- 120,135380	- 48,7235121	3,20214611

**Вывод.** Изменение величины фазового сдвига выходного сигнала в зависимости от частоты и емкости аккумуляторной батареи показывает, что частотные методы дают принципиальную возможность в определении их технического состояния и остаточной емкости. Кроме того, частотный метод может быть применен для оценки состояния различных типов и различных электрохимических систем химических источников тока.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дасаян М.А. Агуф И.А. Современная теория свинцового аккумулятора. – М.: Энергия, 1975. – 282 с.
2. Дубровский О.О. Эквивалентная схема химического источника тока // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вып. 6 (16). – С. 171 – 173.
3. Ромаманов В.В., Хашев Ю.М. Химические источники тока. – М.: Сов. радио, 1978. – 264 с.
4. Устинов П.Н. Стационарные аккумуляторные установки. – М.: Энергия, 1970. – 344 с.
5. Фрумкин А.Н., Богоцкий В.С., Кофа З.А., Кабанов Б.Н. Кинетика электродных процессов. – М.: МГУ, 1952. – 310 с.
6. Ольховиков С.В. Оцінка технічного стану хімічних джерел струму // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вып. 9. – С. 114 – 123.

Поступила 15.09.2004

**ОЛЬХОВИКОВ** *Станислав Валериевич*, начальник отделения, инструктор учебного тренировочного комплекса кафедры 303 ХУ ПС. Область научных интересов – электротехника.  
**ДУБРОВСКИЙ** *Олег Олегович*, офицер запаса. Область научных интересов –

*электротехника.*