

УДК.621.355

С.В. Ольховиков

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА ЧАСТОТНЫМ МЕТОДОМ

В статье излагаются результаты анализа экспериментальных исследований свинцово-кислотного аккумулятора и приводятся рекомендации по обоснованию методики испытаний.

Ключевые слова: свинцово-кислотный аккумулятор, методика испытаний.

Введение

Состояние вопроса. Оценка степени заряженности химического источника тока с учетом его текущего технического состояния является актуальной задачей, решение которой будет способствовать продлению срока службы аккумуляторных батарей. Известные методы определения остаточной емкости аккумулятора, основанные на определении емкости путем регистрации величины разрядного тока, времени разряда и напряжения на зажимах аккумулятора, имеют низкую точность, так как не позволяют учесть саморазряд аккумулятора. Требуемая точность определения остаточной емкости аккумулятора достигается, если использовать частотный метод, предложенный в работах [2, 6]. Метод основан на регистрации изменения параметров переменного тока протекающего через аккумулятор, при изменении характеристик аккумулятора и последующем определении по данным, полученным в процессе испытаний, степени заряженности аккумулятора. Настоящая статья посвящена выбору частотного диапазона.

Анализ литературы. Вопросы оценки технического состояния аккумуляторов рассматривались в работах [1, 3 – 5]. В [2, 6] автором предлагается эквивалентная схема химического источника тока и показано, как, используя передаточную функцию аккумулятора можно определить изменение его внутреннего сопротивления и емкости.

Цель статьи. Выбор, на основании анализа результатов экспериментальных исследований аккумулятора, наиболее приемлемого диапазона частот для технической реализации предлагаемого метода, воздействия на аккумулятор переменного тока.

Основной материал

Используя результаты работы [6], передаточную функцию аккумулятора представим вещественной частью в виде

$$U(R, B, \omega) = R + \frac{B}{\sqrt{2\omega}} \quad (1)$$

и мнимой частью в виде

$$U(R, B, \omega) = \frac{\alpha_p}{\omega} + \frac{B}{\sqrt{2\omega}}, \quad (2)$$

где p – оператор дифференцирования; $\alpha_p = \frac{2 \times 10^{-3}}{V}$;

V – объем аккумуляторной батареи; B – поляризационная емкость аккумуляторной батареи; R – внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи; ω – частота.

В процессе испытаний анализировалось влияние, как внутреннего сопротивления и поляризационной емкости аккумуляторной батареи на амплитуду и фазу выходного сигнала, в качестве которого был выбран ток, протекающий через аккумулятор, при воздействии на него напряжения, изменяемого в диапазоне низких частот.

На рис. 1, а графики получены для следующих параметров аккумуляторной батареи:

$$R = 2 \times 10^{-3} \text{ Ом}; \alpha_p = \frac{2 \times 10^{-3}}{1,4}; B = 0,6 \times 10^{-3} \text{ А} \cdot \text{ч}.$$

Представлены зависимости входного напряжения $U_{вх}$ и тока I , проходящего через аккумулятор, при переменном напряжении, изменяющемся с частотой $f = 0,1 \text{ Гц}$. На данном рисунке для удобства наблюдения разности фаз, амплитуда тока отнормирована к $U_{вх}$, то есть, умножена на величину $U(R, B, \omega)$. На рис. 1, б те же зависимости получены для входного сигнала, частота f которого равна 1 Гц.

Из сравнения графиков (рис. 1) видно что, с возрастанием частоты фазовый сдвиг уменьшается, и его фиксация с требуемой точностью затрудняется.

Проанализируем семейство зависимостей амплитуды тока от внутреннего сопротивления R аккумулятора $f = \text{const}$ (рис. 2, а). В качестве параметра семейства выступает емкость аккумулятора B .

Из графиков (рис. 2, а) видно, что с ростом сопротивления амплитуда тока уменьшается по закону, близкому к квадратичной зависимости. Скорость уменьшения возрастает с возрастанием емкости аккумулятора. При частоте $f = 1 \text{ Гц}$ (рис. 2, б) аналогичные кривые стали более прямолинейными, что изменяет условия проведения оценки параметров R и B .

Проанализируем семейство зависимостей амплитуды тока от емкости аккумулятора B при постоянной частоте $f = \text{const}$ (рис. 3, а). В качестве параметра семейства выступает внутреннее сопротивление аккумулятора R .

Из графиков видно, что с ростом емкости аккумулятора В амплитуда тока также падает по зависимости, близкой к квадратичной, однако в данном случае графики являются более пологими. Скорость уменьшения амплитуды тока в большей степени зависит от внутреннего сопротивления R аккумулятора, чем от изменения

емкости аккумулятора В. Это объясняется тем, что диапазон измерения емкости аккумулятора В на порядок меньше диапазона измерения внутреннего сопротивления R аккумулятора. При частоте $f = 1$ Гц (рис. 3, б) аналогичные кривые стали более прямолинейными, что изменяет условия проведения оценки параметров R и В.

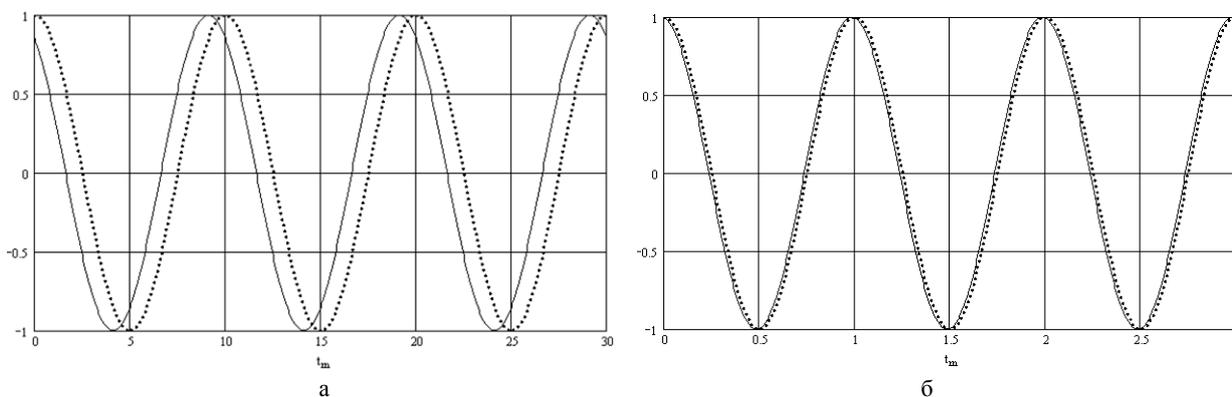


Рис. 1. Осциллограмма входного и выходного сигналов (а – $f = 0,1$ Гц; б – $f = 1$ Гц)

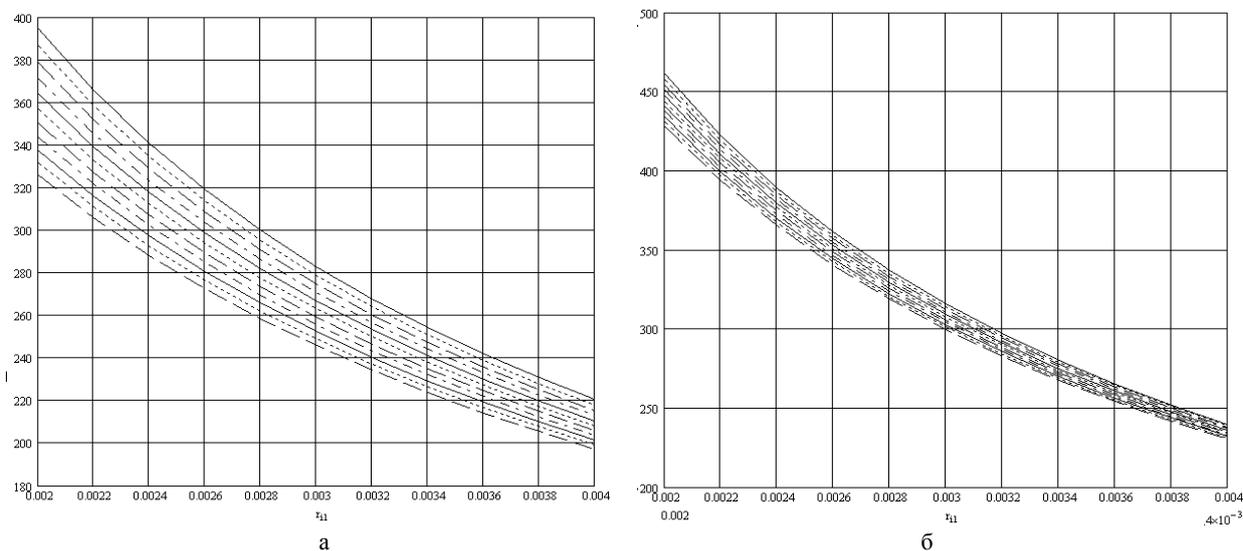


Рис. 2. Влияние омического сопротивления аккумулятора на амплитуду выходного сигнала (а – $f = 0,1$ Гц; б – $f = 1$ Гц)

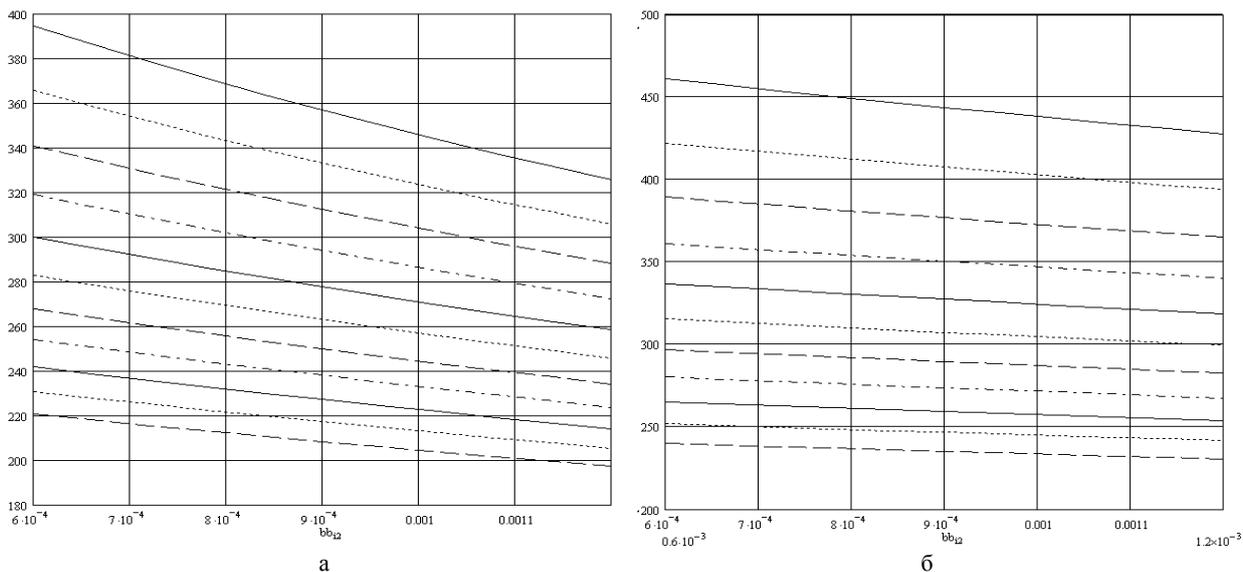


Рис. 3. Влияние поляризационной емкости аккумулятора на амплитуду выходного сигнала (а – $f = 0,1$ Гц; б – $f = 1$ Гц)

Проаналізуємо семейство залежностей амплитуди тока от частоты входного гармонического напряжения $U_{вх}$ (рис. 4, а), построенное при постоянной емкости аккумулятора $B = 0,6 \times 10^{-3}$ А·ч. Параметром семейства графиков в данном случае выступает внутреннее сопротивление R аккумулятора.

Из графиков (рис. 4, а) видно, что зависимость приведенные зависимости близки к функции квадратного корня. При увеличении внутреннего сопротивления аккумулятора R , амплитуда тока уменьшается, графики становятся более пологими. Видно, что наибольший скачок амплитуды наблюдается в диапазоне частот от 0,001 до 0,6 Гц. Начиная с частот, лежащих в диапазоне от 1 до 2 Гц графики можно с достаточной для инженерных расчетов точностью аппроксимировать линейными функциями.

На рис. 4, б приведено семейство кривых, иллюстрирующих зависимость амплитуды тока от частоты входного гармонического напряжения $U_{вх}$, построенное при постоянном внутреннем сопротивлении аккумулятора $R = 2 \times 10^{-3}$ Ом. Параметром семейства выступает емкость аккумулятора B . Приведенное на рис. 4, б семейство является более плотным, графики значительно ближе расположены друг к другу по сравнению с графиками семейства на рис. 4, а. Это обусловлено тем, что как само значение емкости аккумулятора B , так и диапазон его изменения на порядок ниже, чем значение и диапазон изменения внутреннего сопротивления аккумулятора R . Как и на рис. 4, а можно констатировать, что практически линейная зависимость амплитуды тока от частоты входного гармонического напряжения $U_{вх}$ сохраняется в диапазоне частот f от 1 до 2 Гц. Значительный снижение амплитуды тока имеет место в диапазоне от 0,001 до 0,4 Гц.

На рис. 5 приведено семейство кривых, показывающих зависимость разности фаз между гармоническими колебаниями тока и входного напряжения $U_{вх}$ в зависимости от изменения внутреннего сопротивления аккумулятора R при фиксированной частоте входного напряжения $U_{вх}$ ($f = 0,1$ Гц – рис. 5, а; $f = 1$ Гц – рис. 5, б). Параметром семейства

является емкость аккумулятора B . Следует заметить, что при разности фаз $\varphi = 45^\circ$ семейство графиков сходится. Так как параметром семейства является емкость, то в данном случае семейство обладает большой плотностью, графики близко расположены друг к другу. Это обусловлено тем, что само значение B и диапазон его изменения на порядок ниже, чем значение и диапазон изменения R .

На рис. 6 приведены семейства кривых, показывающих зависимость разности фаз между гармоническими колебаниями тока и входного напряжения $U_{вх}$ при фиксированной частоте входного напряжения $U_{вх}$ ($f = 0,1$ Гц – рис. 6, а; $f = 1$ Гц – рис. 6, б) в зависимости от емкости аккумулятора B . Параметром семейства является внутреннее сопротивление аккумулятора R . Так как диапазон изменения емкости достаточно мал, то рассмотренные участки близки к линейным зависимостям, а поскольку диапазон значений внутреннего сопротивления R на порядок больше емкости B , то графики хорошо различимы между собой.

На следующем рис. 7, а приведено семейство кривых, показывающих зависимость разности фаз между гармоническими колебаниями тока и входного напряжения $U_{вх}$ в зависимости от частоты этого напряжения при фиксированной емкости аккумулятора $B = 0,6 \times 10^{-3}$ А·ч. Параметром семейства является внутреннее сопротивление R . Зависимость близка к функции квадратного корня, семейства графиков является достаточно плотным. С возрастанием внутреннего сопротивления фазовый сдвиг уменьшается. На рис. 7, б приведено семейство кривых, показывающих зависимость разности фаз между гармоническими колебаниями тока и входного напряжения $U_{вх}$ в зависимости от частоты этого напряжения при фиксированном внутреннем сопротивлении аккумулятора $R = 2 \times 10^{-3}$ Ом. Параметром семейства является емкость B . Приведенные зависимости также близки к функции квадратного корня. Семейства (рис. 7, б) значительно более плотное по сравнению с семейством (рис. 7, а), так как значение и диапазон емкости B на порядок меньше, чем значение и диапазон измерения внутреннего сопротивления.

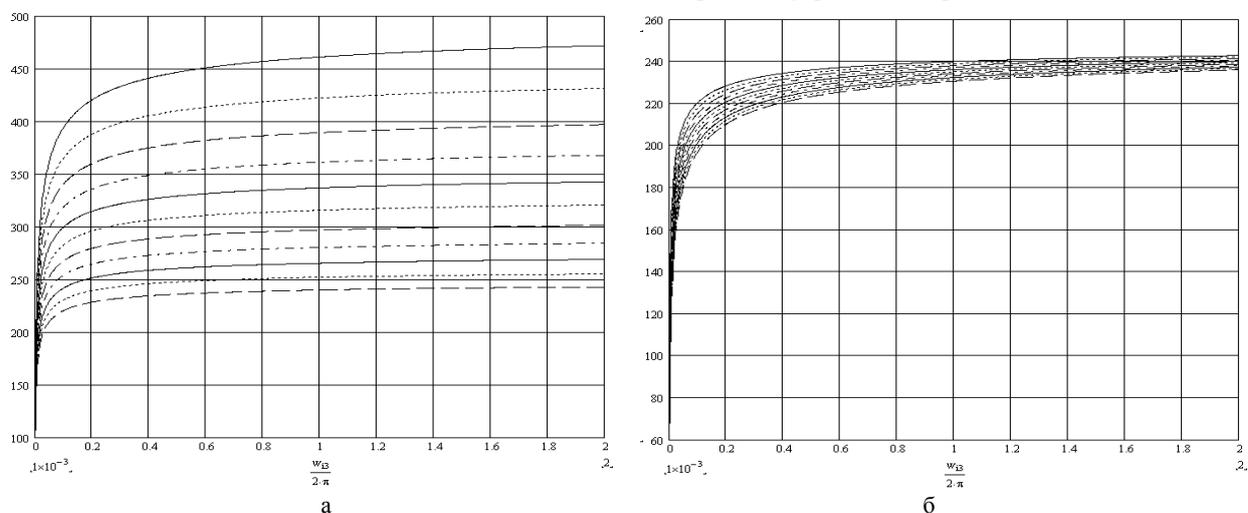


Рис. 4. Влияние частоты входного сигнала на амплитуду выходного сигнала (а – при постоянной поляризационной емкости; б – при постоянном внутреннем сопротивлении)

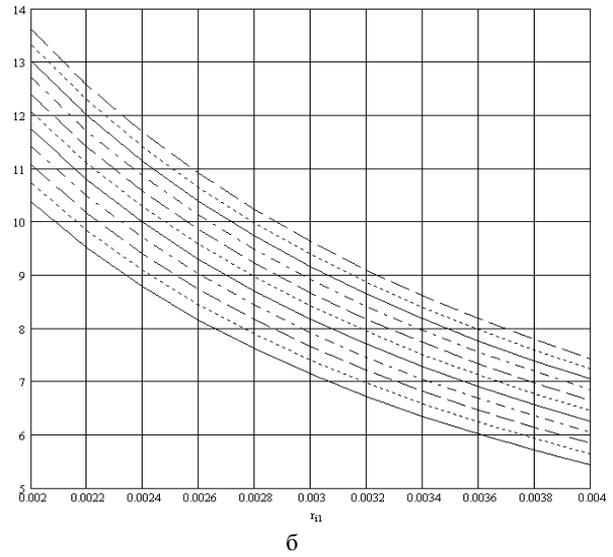
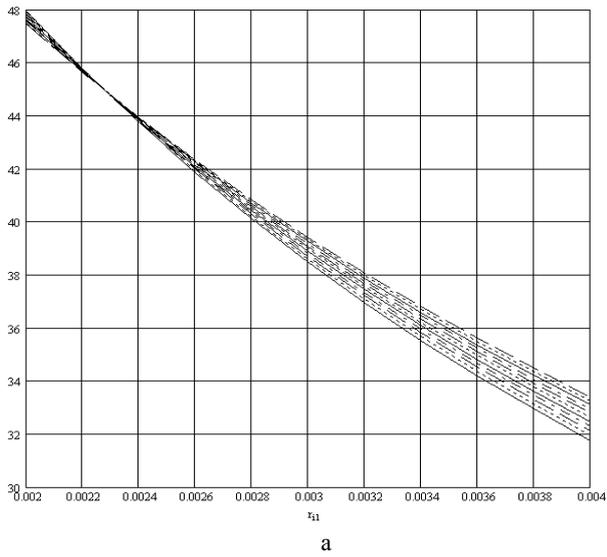


Рис. 5. Зависимость угла сдвига фаз между гармоническими колебаниями напряжения и тока от омического сопротивления аккумулятора (а – $f = 0,1$ Гц; б – $f = 1$ Гц)

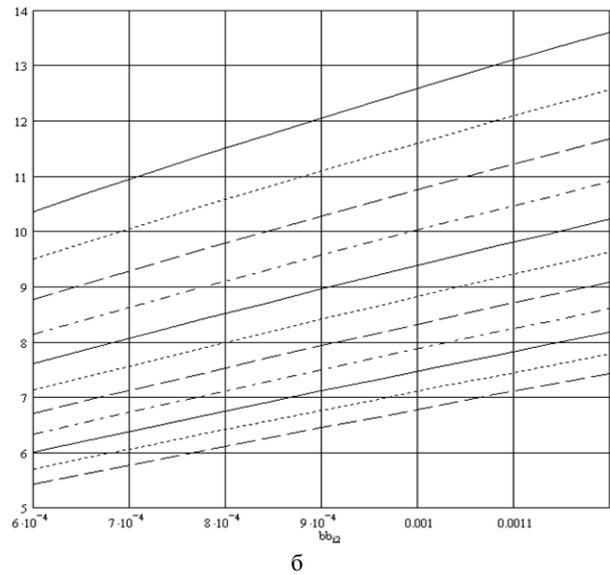
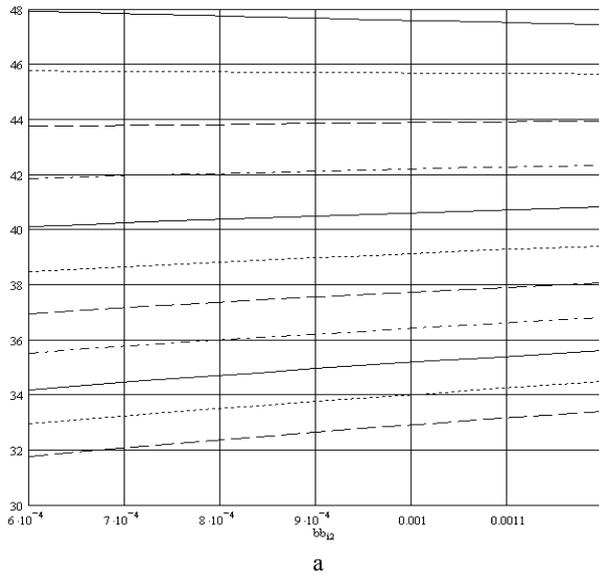


Рис. 6. Зависимость угла сдвига фаз между гармоническими колебаниями напряжения и тока от поляризационной емкости аккумулятора (а – $f = 0,1$ Гц; б – $f = 1$ Гц)

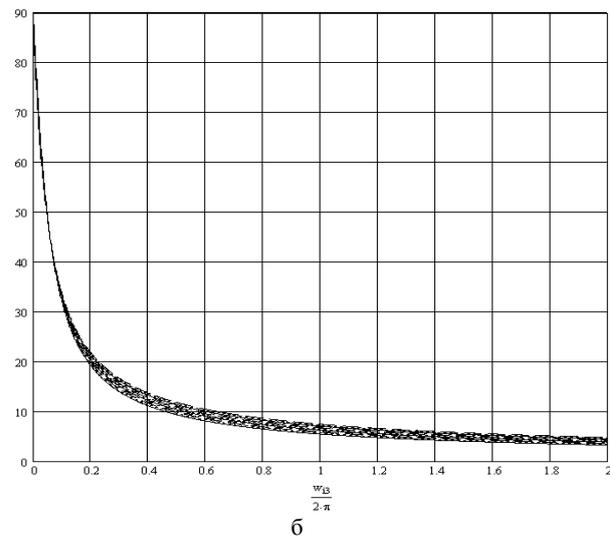
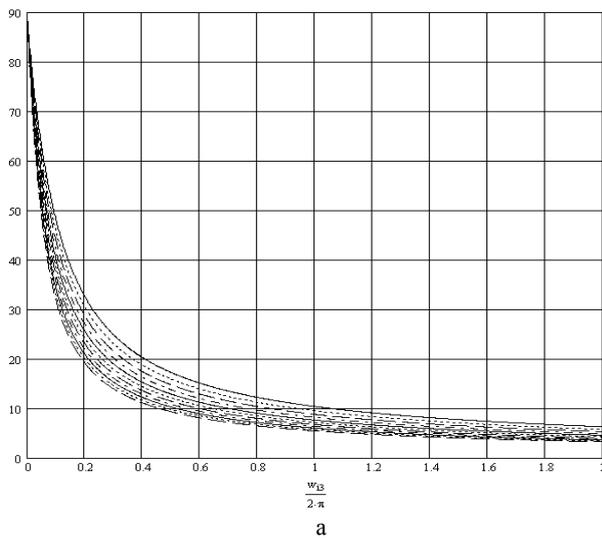


Рис. 7. Зависимость угла сдвига фаз от частоты входного сигнала

(а – при фиксированной поляризационной емкости; б – при фиксированном омическом сопротивлении аккумулятора)

Проанализировав, два последних семейства графиков, мы можем сделать вывод о том, что в диапазоне изменения частоты от 1 до 2 Гц изменения фазы составляет единицы градусов. Поэтому в этом диапазоне для измерения разности фаз необходимы более высокоточные приборы, что ограничивает техническое использование частотного метода в этом диапазоне. В диапазоне изменения частоты от 0,001 до 0,3 Гц изменения фазы составляет более полусотни градусов, что облегчает использование частотного метода в этом диапазоне.

Исходя из приведенного выше анализа графиков, может быть предложена следующая методика проведения измерений при использовании частотного метода. Будем полагать, что объем электролита аккумуляторной батареи и его плотность нам известны. Неизвестными и подлежащими оценке являются такие параметры как, внутреннее сопротивление и емкость аккумуляторной батареи.

Будем считать, что наиболее целесообразной методикой оценки степени заряженности аккумуляторной батареи на основе частотного способа, является такая методика, которая обеспечивала бы наибольшую простоту и технологичность. Очевидно, что на первом этапе необходимо оценить внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи. Оценивать R необходимо, потому что оно на порядок больше, чем поляризационная емкость и, следовательно, его изменение значительно в большей степени влияет на амплитуду и фазу, чем изменение поляризационной емкости. Если для аккумуляторной батареи, которая находится в эксплуатации принять значение R , соответствующее значению сопротивления для новой батареи, то это приведет к значительным погрешностям в измерении емкости.

Таким образом, для оценки внутреннего сопротивления аккумуляторной батареи необходимо анализировать участки графиков, где влияние поляризационной емкости наименьшее. Целесообразно измерение сопротивления производить в диапазоне частот от 0,001 до 0,1 Гц, где влияние емкости

незначительное и, как следствие, погрешностью, возникающей вследствие незнания истинного значения емкости, можно пренебречь. После этого целесообразно использовать кривые при уже известном внутреннем сопротивлении аккумуляторной батареи, где влияние емкости на амплитуду и фазу максимальное.

Вывод

Для повышения точности измерений целесообразней использовать диапазон низких частот от 0,001 до 0,6 Гц, поскольку в этом диапазоне имеет место наибольший скачок амплитуды и фазы, следовательно, при фиксированной погрешности приборов относительная погрешность будет меньше. Определение параметров аккумуляторной батареи целесообразно производить, используя для этого предложенную методику.

Список литературы

1. Дасаян М.А. Современная теория свинцового аккумулятора / М.А. Дасаян, И.А. Агуф. – М.: Энергия, 1975. – 282 с.
2. Кононов Б.Т. Моделирование физических полей / Б.Т. Кононов, С.В. Ольховиков // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХУ ПС, 2006. – Вип. 5 (54). – С. 135-141.
3. Ромаманов В.В. Химические источники тока / В.В. Ромаманов, Ю.М. Хашев. – М.: Советское радио, 1978. – 264 с.
4. Устинов П.Н. Стационарные аккумуляторные установки / П.Н. Устинов. – М.: Энергия, 1970. – 344 с.
5. Кинетика электродных процессов / А.Н. Фрумкин, В.С. Богоцкий, З.А. Кофа, Б.Н. Кабанов. – М.: МГУ, 1952. – 310 с.
6. Ольховиков С.В. Оцінка технічного стану хімічних джерел струму / С.В. Ольховиков // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 9. – С. 114-123.

Поступила в редколлегию 17.12.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.Т. Кононов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ХІМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ ЧАСТОТНИМ МЕТОДОМ

С.В. Ольховіков

У статті висловлюються результати аналізу експериментальних досліджень свинцевої-кислотного акумулятора і приводяться рекомендації по обґрунтуванню методики випробувань.

Ключові слова: свинцевий-кислотний акумулятор, методика випробувань.

DETERMINATION OF PARAMETERS OF CHEMICAL SOURCES OF CURRENT BY A FREQUENCY METHOD

S.V. Ol'khovikov

In the article the results of analysis of experimental researches of leaden-acid accumulator are expounded and led recommendation on the ground of method of tests.

Keywords: leaden-acid accumulator, method of tests.