

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СХЕМА ХИМИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА ТОКА

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

Описывается эквивалентная схема химического источника тока, которая отражает основные процессы, происходящие в свинцовом аккумуляторе, и может быть использована для определения технического состояния аккумулятора.

Для исследования работы химического источника тока удобно представлять его эквивалентной химической схемой замещения. Для обоснования схемы замещений свинцового аккумулятора воспользуемся результатами [1] аналитического описания его электрических характеристик.

Представим переменную, составляющую напряжение на зажимах аккумулятора, следующим образом

$$U(t) = \alpha_p \int_0^t i(\tau) d\tau + \frac{B}{2} \int_0^t \frac{i(\tau)}{\sqrt{t-\tau}} d\tau + i(t)r_0, \quad (1)$$

где α_p – коэффициент, характеризующий изменение равновесной э.д.с. при прохождении через аккумулятор единицы количества электричества; B – постоянный коэффициент; r_0 – внутреннее омическое сопротивление аккумулятора.

В соответствии с (1) передаточная функция свинцового аккумулятора имеет вид

$$W(p) = \frac{U(p)}{i(p)} = \frac{\alpha_p}{p} + \frac{B\sqrt{\pi}}{2\sqrt{p}} + r_0, \quad (2)$$

где $i(p)$ – изображение тока; p – оператор дифференцирования.

Передаточную функцию (2) будем рассматривать как сопротивление аккумулятора в операторной форме. Заменяя в (2) p на $j\omega$, получим выражение для внутреннего комплексного сопротивления аккумулятора

$$Z(j\omega) = \frac{U(j\omega)}{i(j\omega)} = \frac{\alpha_p}{j\omega} + \frac{B\sqrt{\pi}}{2\sqrt{j\omega}} + r_0. \quad (3)$$

Из (3) следует, что внутреннее сопротивление аккумулятора содержит три составляющие, а аккумулятор может быть представлен схемой замещения, показанной на рис. 1.

В соответствии со схемой замещения первая составляющая внут-

ренного сопротивления аккумулятора является емкостной составляющей, величину которой определим как

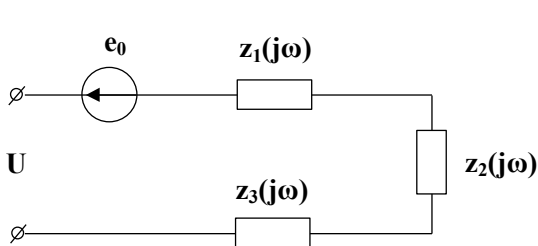


Рис.1 . Эквивалентная электрическая схема замещения аккумулятора

$$Z_1(j\omega) = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{Vj\omega}, \quad (4)$$

где V – количество электролита, л.

Вторая составляющая определяется сопротивлением электролита и вычисляется как

$$Z_2(j\omega) = \frac{B\sqrt{\pi}}{2\sqrt{j\omega}}. \quad (5)$$

Третья составляющая внутреннего сопротивления аккумулятора представляет собой активное сопротивление и определяется сопротивлением электродов.

В [2] предлагается учитывать влияние емкости двойного электрического слоя введением в эквивалентную схему замещения некоторой сосредоточенной емкости, равной

$$C_{дс} = K_{дс} \cdot S, \quad (6)$$

где $K_{дс}$ – коэффициент пропорциональности двойного электрического слоя; F – площадь пластин.

С учетом сосредоточенной емкости представим аккумулятор эквивалентной схемой замещения, показанной на рис.2.

Схема замещения отражает реальные физические процессы в аккумуляторе. Изменению равновесной э.д.с аккумулятора соответствует изменение величины заряда конденсатора C_p , причем диод VD ограничивает равновесное э.д.с. при заряде величиной e_0 .

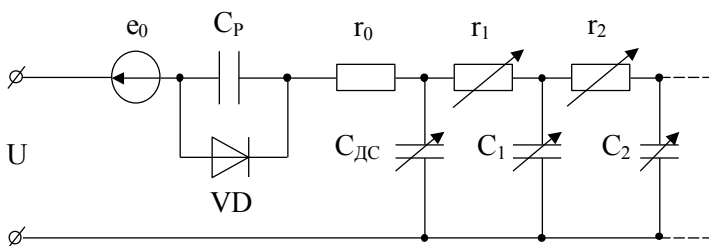


Рис.2. Эквивалентная электрическая схема замещения аккумулятора

Концентрационная поляризация электродов аккумулятора моделируется посредством длинной rc – линии, процессы в которой описываются уравнением

$$\frac{dU}{dt} = \frac{1}{rc} \cdot \frac{d^2U}{dx^2} \quad (7)$$

Распределение напряжения вдоль длинной линии соответствует распределению концентрации раствора электролита в направлении, перпендикулярном поверхности электрода.

Учитывая э.д.с. поляризации и граничное условие нестационарной диффузии из (7) [3], получено:

$$r = \frac{0.052}{Z \cdot F \cdot S \cdot D} ; \quad C = \frac{1}{r \cdot D} = \frac{Z \cdot F \cdot S}{0.052} \quad (8)$$

где z – число электронов; F – число Фарадея; D – коэффициент диффузии.

Исходя из того, что площадь поверхности раздела «электрод – раствор» электролита связана с количеством активной массы электрода следующим соотношением [4]:

$$S = K_s (m_0 - \Delta m)^{2/3} \quad (9)$$

где K_s – постоянный коэффициент; m_0 – начальное количество активной массы; $\Delta m = (m_1 + m_2 + m_3)$ – «дефект массы», т.е. количество активной массы, не участвующей в токообразующем процессе.

Окончательно получим:

$$r = \frac{0.052}{Z \cdot F \cdot K_s \cdot (m_0 - \Delta m)^{2/3}} ; \quad (10)$$

$$C = \frac{Z \cdot F \cdot K_s \cdot (m_0 - \Delta m)^{2/3}}{0.052} ; \quad C_{дс} = K_{дс} \cdot (m_0 - \Delta m)^{2/3} \quad (11)$$

Описанная эквивалентная схема замещения отражает основные процессы, происходящие в свинцовом аккумуляторе, и может быть использована для определения технического состояния аккумулятора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Любиев О.Н. Исследования свинцового аккумулятора как элемента электрической цепи. – Новочеркасск: НПИ, 1971. – 123 с.
2. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. – М.: Наука, 1984. – 658 с.
3. Любиев О.Н. Математическое моделирование электротехнических систем. – Новочеркасск, 1979. – 246 с.
4. Дубровский О.О. Математическая модель химического источника тока // Системи обробки інформації. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип. 3 (13). – С. 89 – 93.

Поступила в редколлегию 19.09.2001