

Г.Р. СИМОНЯН

**О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ОТДАЧИ ПО ЕМКОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА**

Описан макет устройства для измерения коэффициента отдачи (КО) по емкости химических источников тока (ХИТ). Применение макета повышает точность измерения КО ХИТ по емкости, упрощает процесс измерения, делает результаты измерений независимыми от типа и степени заряженности ХИТ. Приведены функциональная схема макета, результаты измерения КО для ХИТ малой емкости.

**Ключевые слова:** заряд, разряд, емкость, узел временного хранения, внутреннее сопротивление, коэффициент отдачи.

Как известно, коэффициент отдачи по емкости является одним из важнейших параметров для оценки качества как бывших в эксплуатации, так и вновь разрабатываемых химических источников тока [1]. КО по емкости зависит от степени заряженности, состава и качества электролита, состояния электродов и степени их изношенности и т.д. В известном устройстве [2] при помощи ЭВМ анализируется характер переходного процесса во время разряда, и в результате вычисления определяется КО по емкости. Однако предложенные способ и устройство для его осуществления имеют ряд недостатков, влияющих на точность определения КО по емкости. Отметим, что различия происхождения, степени заряженности, а также состава и чистоты электролита ХИТ приводят к различным характеристикам переходного процесса во время разряда, что и является источником ошибки при определении КО.

Для существенного повышения точности измерения и упрощения эксплуатации предложено устройство, в котором без применения сложной вычислительной техники полностью компенсируется влияние внутреннего сопротивления ХИТ и обеспечивается цифровой выход для результата измерения. Упрощенная функциональная схема устройства представлена на рисунке.

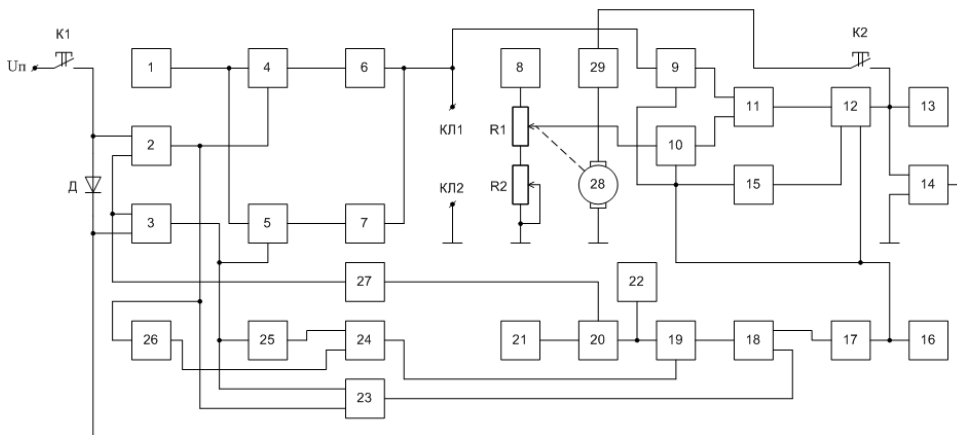


Рис. Функциональная схема измерителя КО ХИТ по емкости:

*K1, K2*- кнопки; 1-стабилизированный источник постоянного напряжения; Д-диод; 2-3 - RS-триггеры; 4-5 - электронные ключи; 6 - заряжающий преобразователь напряжение-ток; 7 - разряжающий преобразователь напряжение-ток; 8 - стабилизированный источник постоянного тока; 9-10 - модуляторы напряжения; 11 - дифференциальный усилитель переменного тока; 12 - синхронный детектор-фильтр; 13 - индикатор нуля; 14 - аналоговый компаратор; 15 - инвертор; 16 - генератор меандра; 17 - делитель частоты; 18 - логический умножитель; 19 - счетчик импульсов; 20 - цифровой компаратор; 21 - цифровой задатчик; 22 - цифровой дисплей; 23,24 - логические сумматоры; 25,26,27 - ждущие одновибраторы; 28 - микродвигатель постоянного тока; 29 - усилитель мощности; *Кл1, Кл2* - клеммы для подключения измеряемого ХИТ

Устройство работает следующим образом. К измерителю присоединяется ХИТ, при этом положительный вывод подключается к клемме Кл1, а отрицательный вывод - к клемме Кл2. Включается питание устройства. Нажимается и отпускается кнопка К2. Этим замыкается цепь обратной связи, микродвигатель 28 вращается, что приводит к перемещению подвижного контакта резистора R1 и выравниванию напряжения холостого хода ХИТ (клемма Кл1) к напряжению подвижного контакта резистора R1. Однако из-за наличия статического момента скольжения полное выравнивание производится вручную, после отпускания кнопки К2, при помощи перемещения подвижного контакта резистора R2, следуя показаниям индикатора нуля 13. В этом положении напряжение на подвижном контакте резистора R1 полностью повторяет напряжение на клемме Кл1 относительно общего провода и остается без изменения на неопределенно долгое время, так как двигатель 28 обесточен, а кнопка К2 разомкнута. Далее в цифровом задатчике устанавливается код, который определяет длительность зарядного процесса первого полупериода работы устройства (фактически устанавливается количество импульсов - суммарная длительность процесса заряда первого полупериода работы). После этого запускается первый полупериод работы устройства,

для чего нажимается и отпускается кнопка К1. Это приводит к переходу триггера 2 к единичному логическому уровню на выходе, что открывает ключ 4, и напряжение с выхода источника напряжения 1 передается ко входу заряжающего преобразователя напряжение–ток (ЗПНТ) 6. Начинается заряд ХИТ током, определяемым величиной напряжения источника 1 и коэффициентом передачи ЗПНТ 6. Тем же логическим уровнем выхода триггера 2 через ждущий одновибратор 26 и логический сумматор 24 обнуляется счетчик 19, а через логический сумматор 23 и умножитель 18 разрешается поступление импульсов делителя частоты 17 ко входу счетчика 19. В этом положении напряжение на клемме Кл1 относительно Кл2 (фактически относительно общего провода) будет

$$U_{13} = U_0 + I_{13} \cdot R_{\text{вн}} + I_{13} \cdot K_3 \cdot t_{13}, \quad (1)$$

где  $U_{13}$  - напряжение на клемме Кл1 в режиме заряда в первом полупериоде;  $U_0$  – напряжение холостого хода ХИТ;  $I_{13}$  – величина тока заряда в первом полупериоде;  $R_{\text{вн}}$  – внутреннее сопротивление ХИТ;  $K_3$  – коэффициент, характеризующий рост напряжения на клемме Кл1 в результате заряда ХИТ;  $t_{13}$  – длительность процесса заряда для первого полупериода.

В свою очередь, ток заряда связан с выходным напряжением источника 1 согласно следующей формуле:

$$I_{13} = U_1 \cdot K_{n3}, \quad (2)$$

где  $U_1$  – выходное напряжение источника 1;  $K_{n3}$  - коэффициент передачи ЗПНТ 6.

При включении режима заряда напряжение  $U_{\text{вн}} = I_{13} \cdot R_{\text{вн}}$  в формуле (1), обусловленное наличием внутреннего сопротивления, возрастает сразу, а напряжение  $U_3 = I_{13} \cdot K_3 \cdot t_{13}$ , характеризующее рост напряжения ХИТ в результате заряда, растет медленнее в зависимости от длительности и величины тока заряда и коэффициента  $K_3$ , что характерно для конкретного типа аккумулятора. Рост напряжения на Кл1 продолжается до тех пор, пока длительность, т.е. число импульсов, насчитанных счетчиком 19, становится равным числу импульсов, установленному в цифровом задатчике 21, после чего на выходе цифрового компаратора 20 появляется импульс, передний фронт которого запускает ждущий одновибратор 27. Выходным импульсом ждущего одновибратора 27 триггер 2 перебрасывается в нулевое состояние, а триггер 3 - в единичное состояние. Тогда закрывается ключ 4 и открывается ключ 5, процесс заряда прекращается (на входе ЗПНТ 6 нулевое напряжение), и начинается процесс разряда, так как на входе разрядного преобразователя напряжение – ток (РПНТ) 7 появляется напряжение с выхода источника 1. Одновременно сигнал с выхода триггера 3 через логический сумматор 23 поступает на вход логического умножителя 18, тем самым обеспечивается продолжение поступления импульсов в счетчик 19, а через ждущий одновибратор 25 логический сумматор 24 обнуляет

счетчик импульсов 19 в самом начале счета времени процесса разряда. В этом положении (процесс разряда первого полупериода) напряжение на клемме Кл1 относительно Кл2 будет

$$U_{1p} = U_0 - I_{1p} \cdot R_{вн} + I_{1з} \cdot K_3 \cdot t_{1з} - I_{1p} \cdot K_p \cdot t_{1p}, \quad (3)$$

где  $U_{1p}$  - напряжение на клемме Кл1 в режиме разряда в первом полупериоде;  $I_{1p}$  - величина тока разряда в первом полупериоде;  $K_p$  - коэффициент, характеризующий снижение напряжения на клемме Кл1 в результате разряда ХИТ;  $t_{1p}$  - длительность процесса разряда первого полупериода.

В свою очередь, ток разряда связан с выходным напряжением источника 1 согласно следующей формуле:

$$I_{1p} = U_1 \cdot K_{np}, \quad (4)$$

где  $U_1$  - выходное напряжение источника 1;  $K_{np}$  - коэффициент передачи РПНТ 7.

Первый полупериод завершается тогда, когда на выходе синхронного фильтра-детектора 12 имеем нулевое напряжение, т.е. напряжение на клемме Кл1 в режиме разряда становится равным напряжению на подвижном контакте резистора R1. Это означает, что в результате разряда напряжение на клемме Кл1 уменьшилось и сравнялось с напряжением  $U_0$  холостого хода ХИТ, сохранившимся в начале первого полупериода на подвижном контакте R1. Как только на входе аналогового компаратора 14 напряжение становится равным нулю, на его выходе появляется напряжение высокого уровня. Это перебрасывает триггер 3 в нулевое состояние, разряд ХИТ прекращается, и одновременно прекращается передача импульсов с делителя 17 на вход счетчика 19, а цифровой дисплей показывает число импульсов, насчитанных в течение разряда (фактически длительность разряда первого полупериода). Как только прекращается разряд ХИТ, оператор сразу же устанавливает на цифровом задатчике 21 новое значение времени заряда для второго полупериода, которое на один или два порядка больше времени, установленного для первого полупериода работы, и запускает второй полупериод нажатием кнопки К1. Во втором полупериоде напряжение между клеммами Кл1 и Кл2 будет

$$U_{2з} = U_0 + I_{1p} \cdot R_{вн} + I_{2з} \cdot R_{вн} + I_{2з} \cdot K_3 \cdot t_{2з}, \quad (5)$$

где  $U_{2з}$  - напряжение на клемме Кл1 в режиме заряда во втором полупериоде;  $I_{2з}$  - величина тока заряда во втором полупериоде;  $R_{вн}$  - внутреннее сопротивление ХИТ;  $t_{2з}$  - длительность процесса заряда второго полупериода.

Если учесть, что токи разряда и заряда для обоих полупериодов работы равны

$$I_{1p} = I_{1з} = I_{2p} = I_{2з} = I, \quad (6)$$

так как равны  $K_{пз}$  и  $K_{пр}$  (учитывая (2) и (4)), кроме того, из-за относительно небольшой длительности полупериодов внутреннее сопротивление  $R_{вн}$  не меняется, то уравнение (5) будет иметь вид

$$U_{2з} = U_0 + 2I \cdot R_{вн} + I \cdot K_3 \cdot t_{2з}, \quad (7)$$

где  $I$  – величина тока заряда и разряда в первом и во втором полупериодах.

По истечении времени заряда второго полупериода, определяемого цифровым задатчиком 21, напряжение между клеммами Кл1 и Кл2 будет

$$U_{2р} = U_0 + I \cdot K_3 \cdot t_{2з} - I \cdot K_p \cdot t_{2р}, \quad (8)$$

где  $t_{2р}$  - длительность процесса разряда второго полупериода.

Отсутствие в формуле (8)  $2I \cdot R_{вн}$  обусловлено тем, что, во-первых, отсутствует рост напряжения на внутреннем сопротивлении в режиме заряда, равном  $I \cdot R_{вн}$ ; во-вторых, присутствует падение напряжения на внутреннем сопротивлении из-за наличия тока разряда (также равном  $I \cdot R_{вн}$  с отрицательным знаком). Как только напряжение между входами усилителя 11 снижается до нуля, появляется высокий уровень на выходе аналогового компаратора 14, и триггер 3 переходит в нулевое состояние. Разряд прекращается, прекращается также поступление импульсов с выхода делителя частоты 17 ко входу счетчика 19 (на выходе логического сумматора 23 имеется нулевое состояние). Дисплей показывает число импульсов, поступивших в счетчик в течение разряда второго полупериода. Исходя из того, что процесс разряда прекращается при равенстве напряжений на клемме Кл1 и подвижном контакте резистора R1, можно написать

$$U_{Кл1} = U_0. \quad (9)$$

При этом количество заряда  $Q_{2з}$ , полученное ХИТ в процессе заряда во втором полупериоде, будет

$$Q_{2з} = I \cdot t_{2з}, \quad (10)$$

если учесть, что длительность процесса заряда во втором полупериоде равна

$$t_{2з} = n_3 \cdot t_u, \quad (11)$$

где  $n_3$  - число импульсов, установленное оператором в начале второго полупериода работы устройства в цифровом задатчике;  $t_u$  - длительность периода импульса на выходе делителя 17.

А количество заряда  $Q_{2р}$ , отданное ХИТ в процессе разряда во втором полупериоде, будет

$$Q_{2р} = I \cdot t_{2р}, \quad (12)$$

если учесть, что длительность процесса разряда во втором полупериоде равна

$$t_{2p} = n_p \cdot t_u, \quad (13)$$

где  $n_p$  - число импульсов, зафиксированное на дисплее 22 после завершения процесса разряда второго полупериода работы устройства.

КО по емкости  $K_o$ , определяемый как отношение количества отданного заряда к количеству полученного ХИТ заряда, будет

$$K_o = \frac{Q_{2p}}{Q_{23}} = \frac{I \cdot n_p \cdot t_u}{I \cdot n_3 \cdot t_u} = n_p / n_3. \quad (14)$$

Для удобства расчетов число  $n_3$  выбрано кратным к десяти ( $10^2$ ,  $10^3$ ), поэтому КО по емкости  $K_o$  получается делением числа  $n_p$  на  $10^2$  или  $10^3$ .

В разработанном макете применены два последовательно соединенных многооборотных резистора R1 и R2, при этом величины сопротивления отличаются в сто раз. Это обеспечивает сверхвысокую разрешающую способность установки величины напряжения холостого хода ХИТ на временное хранение цепочкой источник тока 8 - резисторы R1 и R2. Во все время хранения это напряжение абсолютно не меняется, так как обесточенный двигатель обеспечивает неподвижность оси, с которой соединен подвижный контакт резистора R1. Из-за флуктуации напряжения источника 1 уровень хранимого напряжения изменяется не более, чем на  $1 \cdot 10^{-6} B$ . Точность установки напряжения холостого хода ХИТ на хранение не превосходит один микровольт и практически не зависит от времени хранения.

Аналоговый компаратор 14 реализован на прецизионной микросхеме ОР-07. Индикатор нуля 13 реализован в виде микроамперметра со средним положением стрелки и дифференциальным инструментальным усилителем, при этом цена деления шкалы, приведенная к входам (с учетом усиления дифференциального усилителя 11 и синхронного детектора-фильтра 12), составляет 0,1 мкВ. Частота модуляции генератора - 70 Гц, а частота счетных импульсов (фактически частота на выходе делителя 17) - примерно 1 Гц. Постоянная времени синхронного детектора-фильтра 1 с. Преобразователи напряжение – ток для зарядки и для разрядки ХИТ - собраны согласно [3]. Все логические элементы собраны на микросхемах серии К561. В качестве электронных ключей 4 и 5 и модуляторов 9 и 10 использован 4 - канальный коммутатор К590КН2. Микродвигатель типа ДПМ- 25-Н1-05, а усилитель мощности собран на операционном усилителе К157УД1, имеющим выходное сопротивление порядка 20 Ом. Измерение КО по емкости проводилось на аккумуляторах фирмы Camelion типа С031 напряжением 7,2 В и емкостью 1,3 А/час, имеющих разные степени заряженности, новых и бывших в эксплуатации. Измерения показали хорошую повторяемость измеряемой величины КО. КО измеряемых аккумуляторов находился в пределах от 0,41

до 0,65. В течение измерений КО температура окружающей среды поддерживалась в пределах  $22 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ .

Благодаря высокой точности, относительной простоте обслуживания разработанное устройство по определению КО по емкости может найти применение при определении степени изношенности, режимов заряда и разряда, степени заряженности ХИТ. Особенно нужно отметить то обстоятельство, что применение устройства по определению КО по емкости может существенно ускорить разработку новых ХИТ, когда необходимо быстро оценить качество его компонентов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Романов В.В., Хашев Ю.М.** Химические источники тока. – М.: Советское радио, 1968.
2. Патент Российской Федерации N2246155. Способ определения электрических параметров аккумуляторов для комплектровки их в батареи и устройство для его осуществления / **Е.В. Пугачев, А.С. Тимофеев, В.И. Вавиловский, Т.А. Бич, С.А. Мельчуков**; МПК: H01M10/48.- Заявл. 17.06.2002; Оpubл. 27.01.2004.
3. **Гутников В.С.** Интегральная электроника в измерительных устройствах. –М.: Энергоатомиздат, 1988.

ЗАО “К - Телеком”. Материал поступил в редакцию 20.05.2015.

#### Հ.Ռ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ

#### ՀՈՍԱՆՔԻ ՔԻՄԻԱԿԱՆ ԱՂԲՅՈՒՐՆԵՐԻ՝ ԸՍՏ ՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ՏՍՅՔԻ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ԶԱՓՄԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Նկարագրված է հոսանքի քիմիական աղբյուրների՝ ըստ ունակության տացքի գործակիցը չափող սարք: Սարքի օգտագործումն ապահովում է քիմիական աղբյուրների՝ ըստ ունակության տացքի գործակցի չափման մեծ ճշգրտություն, պարզեցնում է չափման գործընթացը, անկախ դաձնում չափման արդյունքները հոսանքի քիմիական աղբյուրի տեսակից և լիցքավորվածության աստճանից: Բերված են սարքի ֆունկցիոնալ սխեման, փոքր ունակության հոսանքի աղբյուրների չափման արդյունքները:

**Առանցքային բառեր.** լիցքավորում, լիցքաթափում, ունակություն, ժամանակավոր պահպանման հանգույց, ներքին դիմադրություն, տացքի գործակից:

#### H.R. SIMONYAN

#### THE POSSIBILITY OF MEASURING THE YIELD EFFICIENCY BY THE CAPACITY OF THE CHEMICAL SOURCES OF CURRENT

The model of a device for measuring the yield efficiency by the capacity (RCC) of the chemical sources of current (CSC) is described. The application of the device increases the accuracy of the RCC measurement, simplifies the process of measuring, making it independent from the type and state of the charge of the CSC. The functional diagram of the device, the measured values for small capacity CSC are introduced.

**Keywords:** charge, discharge, capacity, temporary storage unit, internal resistance, yield efficiency.