

## АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

В.И. Карлащук

Кафедра кибернетики и мехатроники  
Инженерный факультет  
Российский университет дружбы народов  
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115923

В работе представлены результаты расчета и моделирования параллельного включения химических источников тока. В результате проведенных исследований установлены оптимальные условия балансировки таких конструкций.

**Ключевые слова:** аккумулятор, литий-полимерный, Li-Pol, внутреннее сопротивление, балансировка.

Параллельное включение химических источников тока используется для увеличения мощности источников питания на их основе. Такие задачи встречаются, например, в солнечной энергетике при построении буферных аккумуляторных систем. В качестве практического примера в этой работе речь пойдет о параллельном включении литий-полимерных (Li-Pol) аккумуляторов [3; 4] планшетного компьютера Zenithink ZT-180, что вызвано возможностью размещения внутри этого компьютера еще одного аккумулятора для увеличения времени его работы в автономном режиме.

Объектом исследования явились два блока литий-полимерных аккумуляторов, состоящие каждый из двух последовательно включенных аккумуляторов (<http://wkarl.narod.ru/11.htm>). Путем измерения ЭДС (электродвижущей силы)  $E_1$  и  $E_2$  в режиме холостого хода и их внутреннего сопротивления ( $R_1$  и  $R_2$ ) при нагрузке  $R_n = 15$  Ом, имитирующей ZT-180, было установлено, что эти величины для первого и второго аккумуляторов составляют соответственно:  $E_1 = 8,22$  В,  $R_1 = 0,24$  (0,34) Ом и  $E_2 = 8,22$  В,  $R_2 = 0,18$  (0,2) Ом; цифры в скобках относятся к случаю разряженных аккумуляторов ( $E_1 = E_2 = 7,4$  В), что соответствует примерно 14% остаточного заряда согласно показаниям измерителя напряжения ZT-180 (использовалась программа brBatteryIndicator (<http://4pda.ru/forum/index.php?showtopic=187817&st=20>)). Заметим, что напряжение аккумуляторного блока в конце заряда (8,24 В или 4,12 В на каждый аккумулятор блока) на 0,08 В меньше допустимого для такого типа аккумуляторов. При таких условиях разряда было установлено, что в режиме просмотра видео время работы первого аккумулятора составляет 2 ч, второго — 2,5 ч.

Рассмотрим эквивалентную схему, выполненную в среде моделирующей программы Electronics Workbench (EWB) [1], для случая параллельного включения

заряженных аккумуляторов (рис. 1), где нагрузка (ZT-180) имитируется последовательно включенными резистором  $R_n$  и ЭДС  $E_3$ , имитирующей стабилизатор напряжения ZT-180. Предварительный анализ показал, что в этом случае наиболее эффективным методом расчета является принцип наложения.

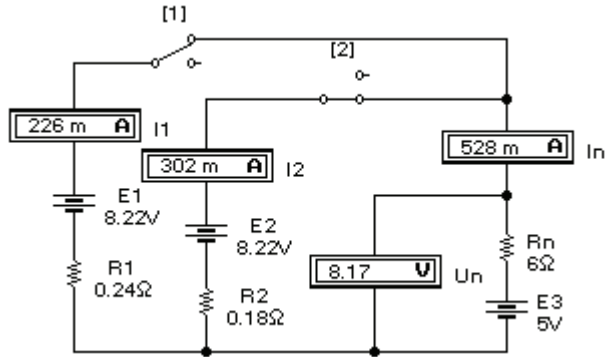


Рис. 1. Схема включения аккумуляторов в программе EWB 4.1

При  $E_2 = E_3 = 0$  ток в нагрузке, вызываемый ЭДС  $E_1$ :

$$I_1' = E_1(R_2 \parallel R_n)/(R_2 \parallel R_n + R_1)R_n,$$

где  $\parallel$  — условный знак параллельного включения резисторов;  $R_2 \parallel R_n = R_2 \cdot R_n / (R_2 + R_n) = 0,18 \cdot 6 / (0,18 + 6) = 0,175$  Ом;  $R_2 \parallel R_n + R_1 = 0,175 + 0,24 = 0,415$  Ом и, следовательно,  $I_1' = 8,22 \cdot 0,175 / 0,415 \cdot 6 = 0,77$  А.

При  $E_1 = E_3 = 0$  аналогичным образом рассчитываем:

$$I_2' = E_2(R_1 \parallel R_n)/(R_1 \parallel R_n + R_2)R_n,$$

где  $R_1 \parallel R_n = R_1 \cdot R_n / (R_1 + R_n) = 0,24 \cdot 6 / (0,24 + 6) = 0,23$  Ом;  $R_1 \parallel R_n + R_2 = 0,23 + 0,18 = 0,41$  Ом и  $I_2' = 8,22 \cdot 0,23 / 0,41 \cdot 6 = 0,578$  А.

При  $E_1 = E_2 = 0$ :

$$I_3' = -E_3/(R_1 \parallel R_2 + R_n),$$

где  $R_1 \parallel R_2 = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2) = 0,24 \cdot 0,18 / (0,24 + 0,18) = 0,103$  Ом и  $I_3' = -5 / (0,103 + 6) = -0,819$  А.

Ток в нагрузке  $I_n = I_1' + I_2' - I_3' = 0,77 + 0,578 - 0,819 = 0,529$  А = 529 мА, что с учетом погрешностей округления промежуточных результатов совпадает с результатами моделирования на рис. 1 и близко к полученным при измерении потребляемого тока ZT-180 в <http://wkarl.narod.ru/11.htm>. Убедившись в совпадении результатов расчета и моделирования, далее будем пользоваться только результатами моделирования.

В качестве оценки эффективности применения параллельного включения аккумуляторов используем коэффициент полезного действия (КПД). Мощность, развиваемая источниками ЭДС, для схемы на рис. 1 составляет  $P_e = I_1 \cdot E_1 + I_2 \cdot E_2 = 0,226 \cdot 8,22 + 0,302 \cdot 8,22 = 4,34$  Вт, мощность в нагрузке  $P_n = I_n \cdot U_n = 0,528 \cdot 8,17 =$

$= 4,314$  Вт, т.е.  $\text{КПД}_1 = 100(4,314/4,34) = 99,4\%$ . Если использовать только один (второй) аккумулятор, отключив ключом 1 первый (рис. 2 а), то получим  $Pe_2 = I_2 \cdot E_2 = 0,521 \cdot 8,22 = 4,283$  Вт,  $Pn_2 = I_n \cdot U_n = 0,521 \cdot 8,13 = 4,236$  Вт и  $\text{КПД}_2 = 100(4,236/4,283) = 98,9\%$ , т.е. использование только одного (второго) аккумулятора ухудшает КПД на 0,5%. При использовании только первого аккумулятора (рис. 2 б) получим  $Pe_1 = I_1 \cdot E_1 = 0,516 \cdot 8,22 = 4,24$  Вт,  $Pn_2 = I_n \cdot U_n = 0,516 \cdot 8,1 = 4,18$  Вт и  $\text{КПД}_3 = 100(4,18/4,24) = 98,6\%$ , т.е. использование только одного «постаревшего» аккумулятора ухудшает КПД на 0,8% по сравнению с параллельным включением двух.

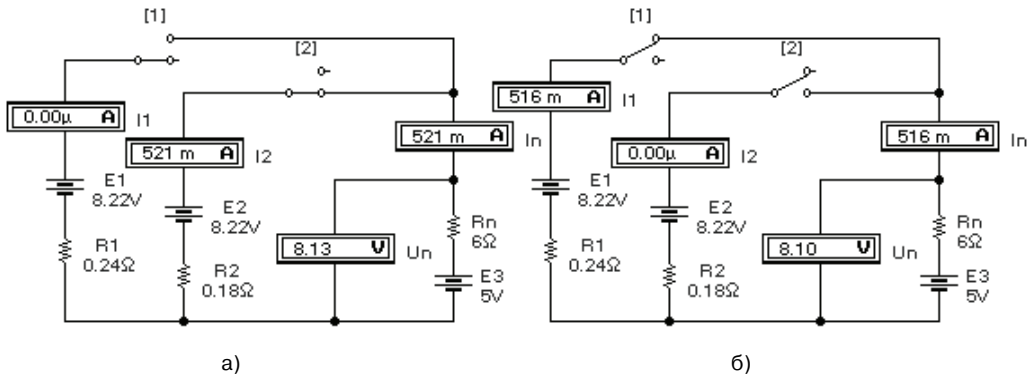


Рис. 2. Варианты одинарного подключения аккумуляторов

Теперь рассмотрим два параллельно включенных, но полностью сбалансированных и сравнительно свежих аккумулятора (рис. 3 а). Для этого случая  $Pe = I_1 \cdot E_1 + I_2 \cdot E_2 = 0,2644 \cdot 8,22 + 0,2644 \cdot 8,22 = 4,347$  Вт, мощность в нагрузке  $Pn = I_n \cdot U_n = 0,5287 \cdot 8,22 = 4,346$  Вт, т.е.  $\text{КПД}_1 = 100(4,346/4,347) = 99,98\%$ .

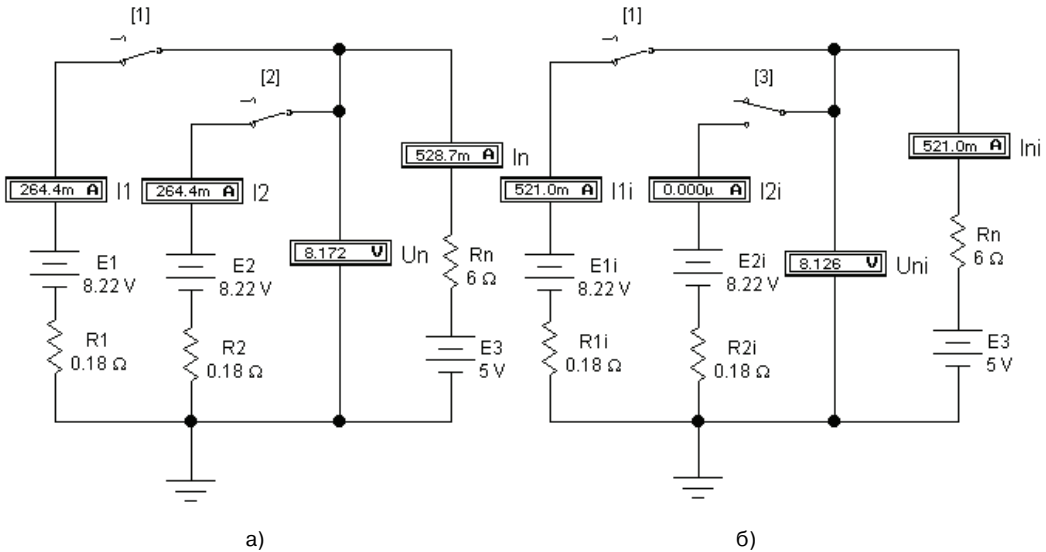


Рис. 3. Варианты включения сбалансированных аккумуляторов

Рассмотрим процесс разряда аккумуляторного блока в динамике. Для этого воспользуемся графическим измерительным инструментом DC Sweep Analysis из модуля ISIS программы Proteus [2], результаты применения которого представлены на рис. 4, где, кроме уже знакомых нам элементов схемы включения аккумуляторов, показаны:

- пробники (датчики) напряжения  $Un$  и тока  $RN(2)$  в нагрузке;
- противоЭДС  $E11$  и  $E22$  ( $Enn$ ), имитирующие процесс снижения ЭДС в процессе разряда и изменяющиеся по закону  $10 \cdot X$ , где  $X$  задается в диалоговом окне инструмента в пределах от  $X = 0$  m(V) (Start value) до  $X = 250$  m(V) (Stop value) (откладывается программой по оси абсцисс) при номинальном значении 100 m(V) (Nominal value; необязательный параметр) и количестве шагов 100 (No. Steps);
- по левой оси ординат откладывается напряжение на нагрузке  $Un$ , по правой — ток в нагрузке  $In$ , м(A) (указывается в команде Add Traces контекстного меню);
- выбрав команду Maximize (Show Window) из контекстного меню, получаем графики зависимостей  $Un = f(Enn)$  и  $In = f(Enn)$  с возможностью определения координат любой точки этих зависимостей с помощью визирной линейки, формируемой щелчком мыши по выбранной точке; в частности, при  $X = 220$  m(V) получаем  $In = 167$  m(A) и  $Un = 6$  (V) (минимально допустимое напряжение разряда рассматриваемого блока аккумуляторов, т.е. 3 В на один аккумулятор).

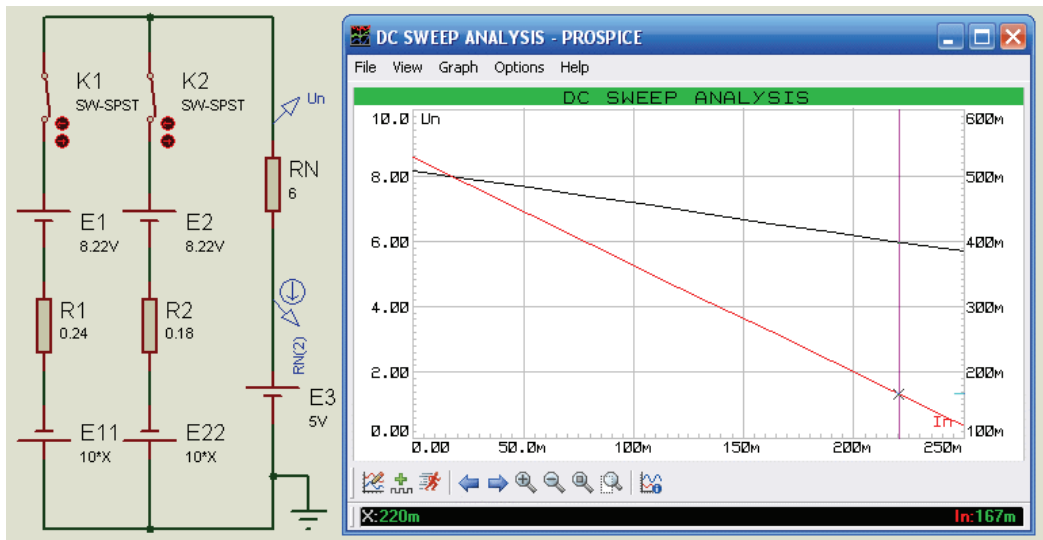


Рис. 4. Схема моделей аккумуляторов в среде ISIS/Proteus

При  $X = 0$  (на самом деле удастся установить «крестик» только на  $X = 294$  мкВ) получаем  $Un = 8,16$  В,  $In = 527$  мА, что близко к данным «статического» режима на рис. 1 (см. выше).

Для получения динамических характеристик необходимо знать скорость изменения противоЭДС. Для этого ключом K2 отключим E2 и после запуска моделирования командой Simulate Graph из контекстного меню поставим курсором

мышь «крестик» в точке  $U_n = 7,4 \text{ В}$  ( $I_n = 400 \text{ мА}$ ), при котором для  $E1$  через время 2 ч (120 мин.) появляется сообщение ZT-180 о необходимости подключения зарядного устройства.

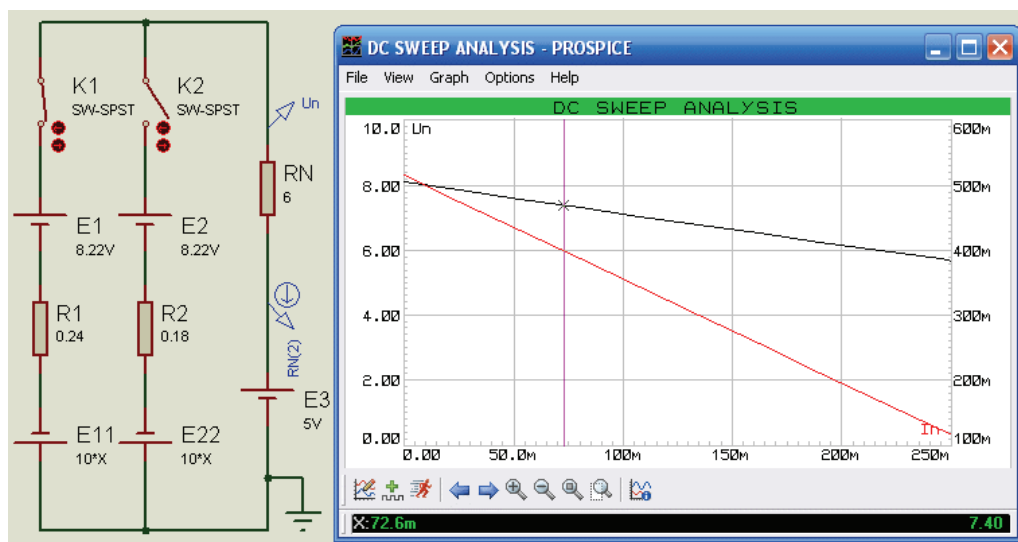


Рис. 5. К определению скорости изменения противоЭДС

В указанной точке  $X1 = 72,6 \text{ мВ}$ , т.е. скорость изменения  $V_{x1} = 72,6/120 = 0,605 \text{ мВ/мин}$  для  $E1$ . Аналогичным образом получаем  $X2 = 75 \text{ мВ}$  для второго аккумулятора, т.е.  $V_{x2} = 75/150 = 0,5 \text{ мВ/мин}$  и среднее значение для обоих аккумуляторов  $V_x = 0,5525 \text{ мВ/мин}$  или  $0,276 \text{ мВ/мин}$  на аккумулятор в среднем. В случае параллельного включения (см. рис. 4) при  $U_n = 7,4 \text{ В}$  ( $I_n = 400 \text{ мА}$ ) находим  $X = 77,5 \text{ мВ}$  и, следовательно, время работы двоянного аккумуляторного блока составит  $77,5/0,276 = 280,8 \text{ мин.}$  или  $4,68 \text{ ч}$ , что близко к получаемым на практике (с учетом 10—14%-ного недоразряда).

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Карлащук В.И.* Электронная лаборатория на IBM PC. Том. I: Моделирование элементов аналоговых систем на Electronics Workbench и MATLAB. Изд. 6-е пер. и доп. — М.: Солон-Пресс, 2006. [*Karlashuk V.I.* Elektronnaja laboratorija na IBM PC. Tom 1: Modelirovanie elementov analogovyh system na Electronics Workbench i MATLAB. Izd. 6-e per. i dop. — М.: Solon-Press, 2006.]
- [2] *Карлащук В.И.* Электронная лаборатория на IBM PC. Том 3: Моделирование в среде Proteus: Учеб. пособие. — М.: РУДН, 2009. [*Karlashuk V.I.* Elektronnaja laboratorija na IBM PC. Tom 1: Modelirovanie v srede Proteus. Uthebnoe posobie. М.: RUDN, 2009.]
- [3] *Таганова А.А., Бубнов Ю.И., Орлов Б.* Герметичные химические источники тока: элементы и аккумуляторы, оборудование для испытаний и эксплуатации. — СПб.: Химиздат, 2005. [*Taganova A.A., Bubnov Yu.I., Orlov B.* Germetithnye himitheskie istochniki toka: elementy i akkumulatory. — SPb.: Himizdat, 2005.]
- [4] *Таганова А.А., Пак И.А.* Герметичные химические источники тока для портативной аппаратуры: Справочник. — СПб.: Химиздат, 2003. [*Taganova A.A., Pak I.A.* Germetithnyue himitheskie istochniki toka dla portativnoj apparatury: Spravochnik — SPb.: Himizdat, 2003.]

## **THE ANALYSIS AND MODELLING OF THE PARALLEL INCLUSIONS OF CHEMICAL SOURCES OF THE CURRENT**

**V.I. Karlashchuk**

Department of cybernetics and mechatronics  
Engineering Faculty  
Peoples Friendship University of Russia  
*Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115923*

In work results of calculation and modelling parallel inclusion of chemical sources a current are presented. As a result the spent researches optimum conditions of balancing of such designs are established.

**Key words:** the accumulator, lithium-polymeric, Li-Pol, internal resistance, balancing.