

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.

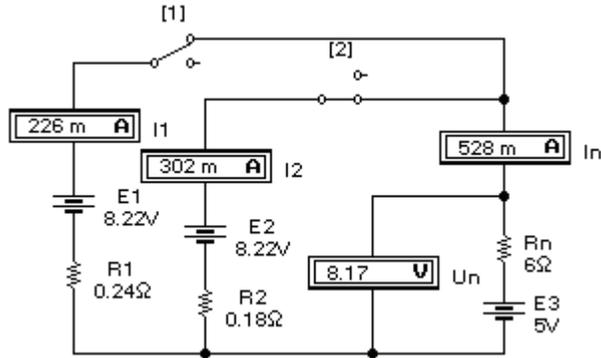


Рис. 1. Схема включения аккумуляторов в программе EWB 4.1

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, $Pn_1 = I_n \cdot U_n = 0,516 \cdot 8,1 = 4,18$ 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.

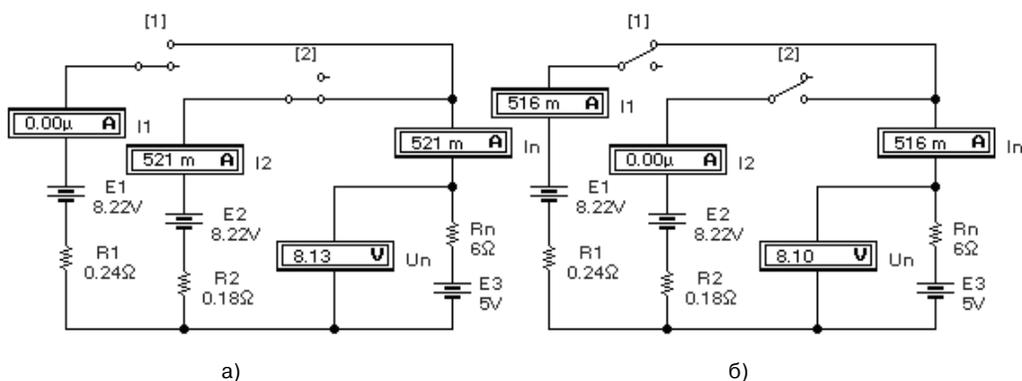


Рис. 2. Варианты одинарного подключения аккумуляторов

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. $\text{КПД}_1 = 100(4,346/4,347) = 99,98\%$.

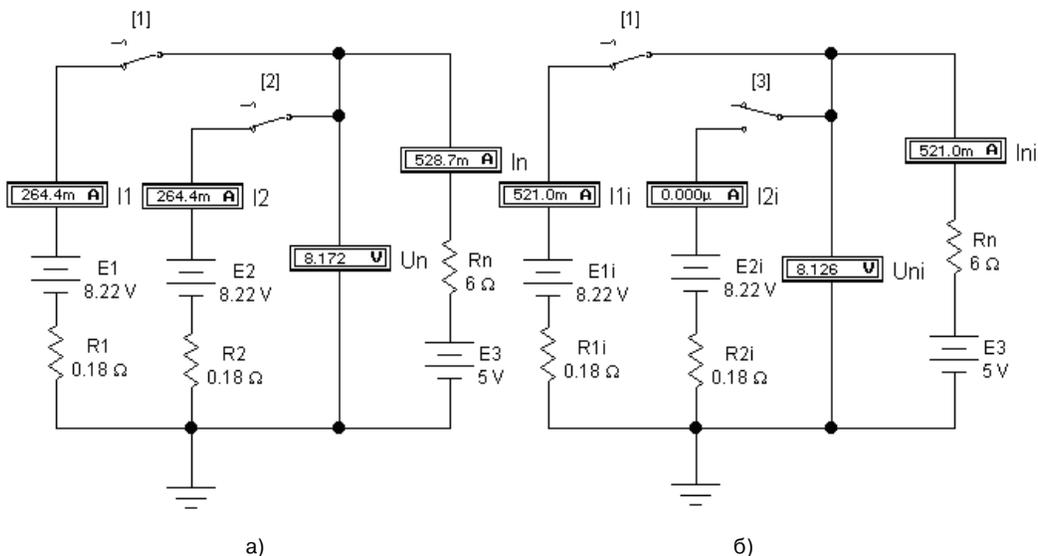


Рис. 3. Варианты включения сбалансированных аккумуляторов

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).

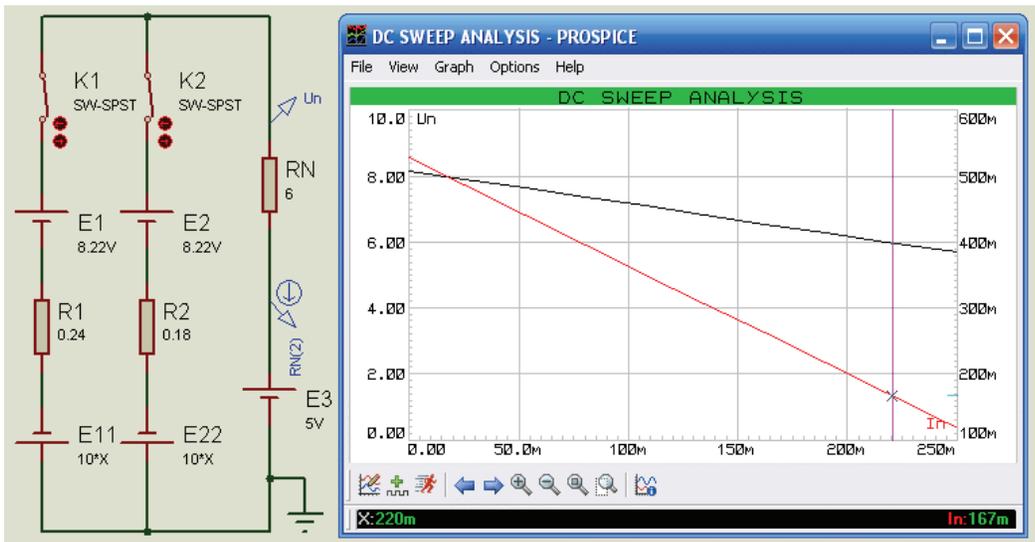


Рис. 4. Схема моделей аккумуляторов в среде ISIS/Proteus

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.

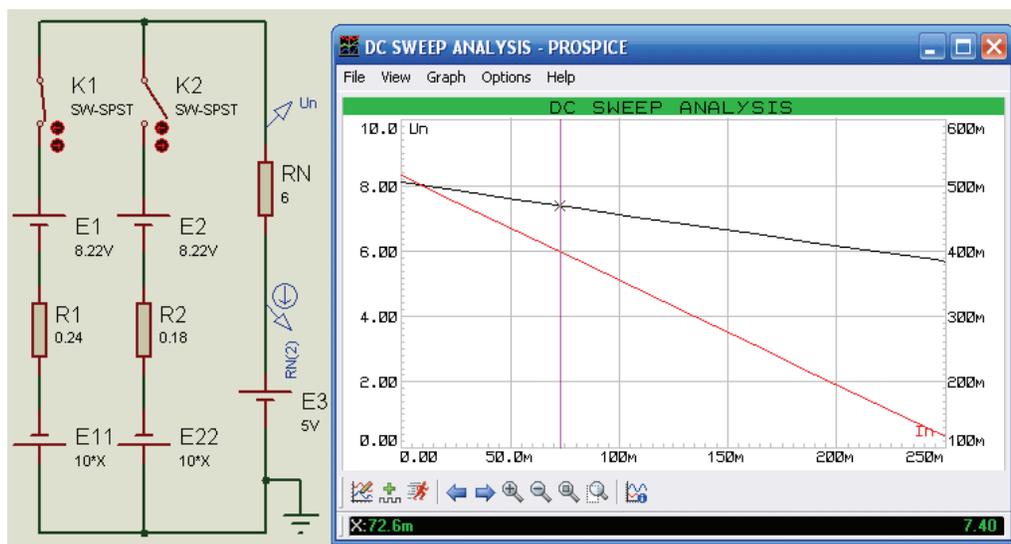


Рис. 5. К определению скорости изменения противоЭДС

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. Germetithnye 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.