

К вопросу об эффективности и целесообразности создания гибридных (асимметричных) суперконденсаторов

Борис БЕЛЕНЬКИЙ,
к. т. н.
a3@giricond.ru

Начавшаяся в середине прошлого века реализация свойств двойного электрического слоя в накопителях электрической энергии позволяет сегодня ликвидировать серьезный разрыв, а точнее провал между энергетическими и мощностными характеристиками традиционных накопителей энергии: электрических конденсаторов и электрохимических накопителей — аккумуляторов. Разработкой и постановкой на производство двойнослойных накопителей энергии (запатентованное ОАО «НИИ «Гириконд» товарное наименование «ионисторы») занимается целый ряд зарубежных и отечественных фирм. При этом, кроме накопителей с двойным электрическим слоем на обоих электродах, предлагаются и так называемые гибридные (или асимметричные) накопители-суперконденсаторы, у которых на одном электроде накопление энергии осуществляется в двойном электрическом слое, а на другом — в электрохимической структуре аккумуляторов, как представлено, например, в [1].

Отдавая должное высокой компетентности разработчиков таких накопителей в части понимания соответствующих физических и химических процессов и не ставя под сомнение высокий уровень предлагаемых материаловедческих и технологических решений по реализации каждого электрода накопителей, предлагаю априори оценить ожидаемую конечную эффективность сочетания, что называется, «в одном флаконе» — конденсатора с двойным электрическим слоем и аккумулятора.

Как известно, двойной электрический слой обладает существенно меньшей удельной

энергоемкостью по сравнению с электрохимической структурой. В то же время его несомненным преимуществом является значительно меньшее, в связи с отсутствием массопереноса, внутреннее, или эквивалентное, последовательное сопротивление (ЭПС), что обеспечивает накопителям с двойным электрическим слоем повышенную по сравнению с аккумуляторами удельную мощность при разрядке.

Возьму на себя смелость предположить, что основной побудительной причиной создания «асимметричного суперконденсатора» является стремление совместить в одном изделии преимущества обоих упомянутых видов накопителей энергии. Возможно ли это?

Не вдаваясь в физическую и химическую природу происходящих в таком накопителе процессов, попробуем ответить на этот вопрос, рассмотрев его простейшую классическую феноменологическую модель, представленную на рисунке.

Сразу оговоримся, что мы подразумеваем под емкостью C_2 . Измеряемая в фарадах (Ф) электрическая емкость, например, линейного электрического конденсатора является, по существу, размерным коэффициентом пропорциональности между накопленным в нем зарядом и напряжением на его выводах. С точки зрения вольт-кулонной характеристики классические аккумуляторы представляют собой нелинейные накопители, у которых некое подобие линейности

проявляется лишь на начальной стадии зарядки, когда накопление заряда определяется только начальными процессами массопереноса на поверхности электрода. Именно эту, квазилинейную электрическую емкость мы подразумеваем под емкостью C_2 (рисунок). Емкость аккумулятора, измеряемая, как правило, в ампер-часах (А·ч), является, по существу, зарядом, основной процесс накопления которого, связанный с массопереносом в объеме электрода, происходит при практически постоянном напряжении и постоянным по величине током. Сразу отметим, и это представляется очевидным, что указанная основная составляющая емкости аккумуляторного электрода принципиально не может быть заряжена в таком режиме через емкость C_1 (рисунок).

При подключении рассматриваемой модели накопителя к источнику напряжения в конце процесса зарядки, описываемого набором экспонент, общее напряжение зарядки накопителя распределится между электродами обратно пропорционально их емкостям. Иначе говоря, $U_1/U_2 = C_2/C_1$, где U_1 и U_2 соответственно напряжения на двойнослойном и аккумуляторном электродах. Нетрудно убедиться, что точно в таком же соотношении (и это принципиально!) распределится накопленная на электродах энергия $W_1 = C_1 U_1^2/2$ и $W_2 = C_2 U_2^2/2$, где W_1 и W_2 соответственно энергия, накопленная на электроде с двойным электрическим слоем

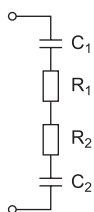


Рисунок. Феноменологическая модель «асимметричного» накопителя энергии:
 C_1 — электрическая емкость электрода с двойным электрическим слоем;
 C_2 — электрическая емкость электрохимического (аккумуляторного) электрода;
 R_1 — ЭПС электрода с двойным электрическим слоем;
 R_2 — ЭПС электрохимического электрода

и аккумуляторном электроде. Учитывая, что даже электрическая емкость C_2 , представляющая начальную часть вольт-кулонной характеристики аккумуляторного электрода, существенно больше C_1 , неизбежно приходим к выводу, что основная часть общей энергии накопителя придется на электрод с двойным электрическим слоем и лишь незначительная ее часть — на долю аккумуляторного электрода, обладающего потенциально высокой энергоемкостью.

Изложенные положения убедительно свидетельствуют, что в рассматриваемой модели накопителя энергии объективно действует следующая закономерность. Чем выше емкость аккумуляторного электрода (то есть его потенциальная энергоемкость), тем меньше и незначительнее (!) его реальный вклад в общую эффективную энергоемкость накопителя электрической энергии.

Возникает законный вопрос: какую же роль играет в таком накопителе его аккумуляторная составляющая? Фактически этой составляющей в рассматриваемой модели накопителя остается лишь роль соединителя между проводниками с разными типами проводимости. Кстати, именно такую роль играет в алюминиевых и танталовых электролитических конденсаторах их катодная

емкость, которая, как правило, на порядки больше их основной — анодной емкости. Но не слишком ли скромна эта роль для литий-ионной электрохимической структуры, обеспечивающей современным аккумуляторам высокий уровень энергоемкости? Отметим также, что повышенное значение ЭПС, свойственное электрохимической природе аккумуляторного электрода, неизбежно увеличивает общее внутреннее сопротивление накопителя $R = R_1 + R_2$, то есть заметно уменьшает развиваемую накопителем мощность при его разрядке.

Как видим, в рассматриваемой модели накопителя сочетаются отнюдь не преимущества двух видов накопителей энергии, а их недостатки: относительно низкая энергоемкость конденсаторов с двойным электрическим слоем и повышенное внутреннее сопротивление аккумуляторов.

Спрашивается, какие же преимущества от таких накопителей ожидают авторы их разработок по сравнению с конденсаторами с двойным электрическим слоем на обоих электродах?

А на поставленный вначале вопрос о том, можно ли сочетать в одном накопителе энергии преимущества конденсаторов с двойным электрическим слоем и аккумуляторов, дав-

но существует однозначный подтвержденный, практикой ответ: да, и можно, и нужно! Это уже нашедшее практическое применение параллельное соединение самостоятельных приборов — конденсатора с двойным электрическим слоем на обоих электродах («симметричный суперконденсатор») и временного аккумулятора. При этом параметры обоих компонентов накопителя могут быть сбалансированно увязаны между собой для оптимальной реализации режимов и условий работы накопителя энергии.

Именно таким и только таким представляется на основе приведенных выше соображений магистральный путь создания высокоэффективных накопителей электрической энергии самого различного назначения.

Но, может быть, представленная простейшая феноменологическая модель не в полной мере описывает свойства «асимметричного» суперконденсатора?

Давайте подискутируем...

Литература

1. Коштял Ю., Рыкованов А., Румянцев А., Жданов В. Литий-ионные конденсаторы: устройство и характеристики // Компоненты и технологии. 2015. № 2.