

Вадим Яковлев, Дмитрий Соснин, Михаил Митин (г. Москва)

## Конденсаторные пусковые устройства

Копирование, тиражирование и размещение данных материалов на Web-сайтах без письменного разрешения редакции преследуется в административном и уголовном порядке в соответствии с Законом РФ.



В последние годы на современных легковых автомобилях стали устанавливаться конденсаторные пусковые устройства, работающие совместно с классической аккумуляторной системой пуска. Это стало возможным благодаря разработке электрохимических импульсных конденсаторов сверхвысокой энергоемкости, которые оказались удобным средством хранения электрической энергии на борту автомобиля и получили название суперконденсаторов.

### Устройство, работа, характеристики

Главное преимущество суперконденсатора состоит в уникальной способности накапливать электрический заряд сверхвысокой плотности до 10 раз выше, чем в классических электролитических конденсаторах, и этим обеспечивать мощность импульсного разряда на стартерный электродвигатель с многократным превышением по сравнению с аккумуляторной батареей.

Электрохимические конденсаторы относятся к устройствам, накопление электрической энергии в которых происходит благодаря заряду двойного электрического слоя у каждой электродной пластины конденсатора. Двойной слой образован поверхностью металлического электрода и слоем «прилипших» к нему ионов электролита (см. рис. 1) [1]. Такой электрический слой можно рассматривать как плоский конденсатор с двумя обкладками, емкость которого пропорциональна площади обкладок и обратно пропорциональна расстоянию между ними. Так как расстояние между заряженной поверхностью металлического электрода и слоем ионов измеряется ангстремами ( $10^{-10}$  м), а величина поверхности проводника электрода (например, активированного угля) достигает  $1500...2000 \text{ м}^2/\text{г}$  то

емкость электрохимического конденсатора с угольными электродами массой 1 г может составлять  $100...300 \text{ Ф}$ .

Устойчивое (рабочее) напряжение отдельного элемента электрохимического конденсатора обычно лежит в пределах  $1,2...3 \text{ В}$ . Оно ограничено величиной, при которой на электродах возникает процесс электролиза, который зависит от природы электролита.

Типичная, наиболее часто применяющаяся конструкция электрохимического конденсатора с двойным электрическим слоем — это так называемый «симметричный» плоский суперконденсатор, в котором положительный и отрицательный электроды имеют одинаковые размеры, выполнены из одного и того же материала (в большинстве случаев из активированного пористого углерода), а прилегающие слои имеют одинаковую емкость (рис. 1).

Из рисунка очевидно, что электрохимический конденсатор представляет собой систему, состоящую из двух электродов, помещенных в электролит. В этом слу-

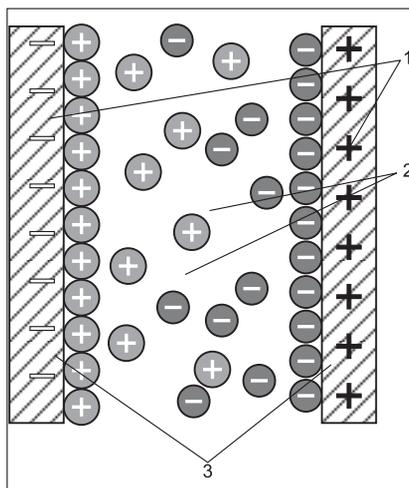


Рис. 1. Устройство суперконденсатора: 1 — отрицательный и положительный электроды, 2 — ионы электролита, 3 — область двойного электрического слоя

чае двойной электрический слой на поверхности каждого электрода является отдельным конденсатором. Между собой они соединены последовательно через электролит, который обладает ионной проводимостью. Упрощенная эквивалентная электрическая схема такого конденсатора выглядит так, как показано на рис. 2.

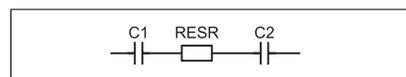


Рис. 2. Эквивалентная схема суперконденсатора

Здесь  $C_1$  — емкость двойного электрического слоя отрицательного электрода;  $C_2$  — емкость двойного электрического слоя положительного электрода; RESR — эквивалентное последовательное сопротивление электролита и материалов электродов.

Принимая во внимание последовательное соединение емкостей, образованных двойными электрическими слоями на отрицательном и положительном электродах, емкость электрохимического конденсатора  $C$  определяется по формуле:

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2, \text{ тогда} \\ C = (C_1 \times C_2) / (C_1 + C_2).$$

В случае симметричной конструкции, когда емкости, образованные двойными электрическими слоями обоих электродов, одинаковые, т.е.  $C_1 = C_2$ , суммарная емкость всего конденсатора будет равна  $0,5 C$ .

Таким образом, при равных массах положительного и отрицательного электродов емкость симметричного конденсатора равна половине емкости двойного электрического слоя у одного электрода.

Разработан ряд асимметричных электрохимических конденсаторов, в которых один электрод (чаще всего отрицательный) выполнен из активированного углерод-