

Суперконденсаторы для электроники

(часть 1)

Александр Деспотули, Александра Андреева (Московская обл.)

Авторы знакомят читателей с перспективными изделиями электронной техники – суперконденсаторами. В статье изложены принципы функционирования суперконденсаторов, показаны конструкции приборов с двойным электрическим слоем и описана технология их изготовления. Выполнены оценки предельных параметров емкостных накопителей и приведены характеристики суперконденсаторов. Прогнозируется, что развитие интегральной электроники, нано-/микросистемной техники и техники ультраплотного поверхностного монтажа обеспечит массовый спрос на микроисточники с высокими плотностями ёмкости ρ_C , энергии ρ_E и мощности ρ_W .

ВВЕДЕНИЕ

Международные экспертные бизнес-агентства по исследованию и анализу новых возможностей для роста корпораций в индустрии пассивных электронных компонентов [1] выделяют суперконденсаторы (СК) как особо перспективную группу приборов. На основе комплексного анализа мирового рынка эксперты делают вывод, что, благодаря использованию нанотехнологий, технические характеристики СК быстро улучшаются, а цена одной фарады и единицы запасаемой энергии неуклонно снижается. Эксперты [2] разделяют мировой рынок по перспективам применения СК на три основных сегмента: применение на транспорте, в индустрии и электронике. С конца 1970-х годов СК находят широкое применение в электронике, приборы которой с повышением портативности и мобильности всё больше нуждаются в автономных источниках с вы-

сокой плотностью энергии ρ_E и мощности ρ_W .

Что же отличает СК от конденсаторов, применяемых нами в повседневной работе?

СК превосходят конденсаторы других типов по плотности ёмкости ρ_C , заряда ρ_Q и энергии ρ_E . В обычном плоском конденсаторе заряд концентрируется на обращённых друг к другу поверхностях электродов, а энергия электрического поля сконцентрирована в объёме межэлектродного промежутка. У СК с двумя одинаковыми электродами, разделёнными жидким электролитом, при заряде на гетеропереходах электролит/электрод формируются двойные электрические слои (ДЭС), т.е. слои пространственно разделённых зарядов разного знака. На одном электроде ДЭС формируют избыточные электроны и притянутые к электроду катионы электролита, а на другом – положительно заряженная поверхность

электрода и притянутые к этой поверхности анионы. Оба ДЭС соединены последовательно через электролит и концентрируют заряд, напряжение и энергию. В жидких электролитах ДЭС имеет толщину до $\sim 0,1$ нм и высокую ёмкость $\sim 10^{-5}$ Ф/см². Пористые электроды суперконденсаторов с внутренней поверхностью до $\approx 10^7$ см²/г обеспечивают гигантские значения ёмкости (~ 100 Ф). Поскольку для катионов и анионов электролита часть пор недоступна, то ρ_C электродов ~ 25 Ф/г.

Принцип радикального уменьшения массы химического источника тока за счёт использования дополнительного СК продемонстрирован на рис. 1. Для пуска автомобильного двигателя требуется мощность порядка 5 кВт в течение 2 с (10 кДж). Свинцовый кислотный аккумулятор массой 1 кг имеет энергию 100 кДж, что достаточно для 10 пусков, но его мощность только 0,2 кВт, что в 25 раз меньше требуемой. Поэтому используются аккумуляторы массой 25 кг. СК массой 0,5 кг запасает 20 кДж и обеспечивает мощность 5 кВт, что достаточно для пуска двигателя. Если составить гибридный источник массой 1,5 кг (аккумулятор – 1 кг и СК – 0,5 кг), то с его помощью можно запустить двигатель 10 раз. Оптимальным гибридным источником на сегодняшний день представляется сочетание, например, литиевого аккумулятора и СК.

Экспертные агентства [1, 2] отмечают тенденцию замещения в электронике танталовых и алюминиевых конденсаторов на СК, которые имеют более высокие значения ρ_C , ρ_E и ρ_W . СК могут обеспечить работу различных систем при повышенных импульсных токовых нагрузках, поэтому они заменяют в ряде случаев химические источники тока. СК обладают уникальной комбинацией важных характеристик. По сравнению с литиевыми элементами, к преимуществам СК относятся на порядок большая плотность мощности ρ_W , длительные сроки хранения (~ 10 лет), отсутствие токсичных и представляющих опасность компонентов,



Рис. 1. Преимущество гибридных источников энергии и мощности

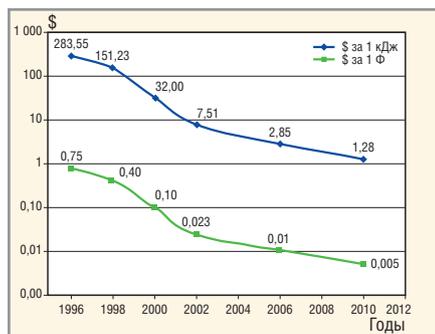


Рис. 2. Снижение стоимости фарады и джоуля для СК в период 1994–2012 гг.

огромное число циклов перезарядки без изменения ёмкости (до 10 000 000 циклов).

Анализ тенденций развития микро- и нанoeлектроники показывает возникновение потребности в низковольтных конденсаторах (рабочее напряжение менее 1 В) в период 2006–2016 гг. с рекордно высокими частотно-ёмкостными характеристиками [3]. Число приложений СК по мере осознания потенциала этих приборов всё время возрастает. СК миниатюрных размеров с плотностью ёмкости ρ_C более 10 мкФ/мм³ могут занять новую рыночную нишу:

- в секторе беспроводных средств (РСМСА-карты, флэш-карты, сотовые телефоны, специальные компьютеры, беспроводные сенсорные сети);
- в потребительском секторе (цифровые камеры, ноутбуки, цифровые плееры, игрушки, е-книги, пульты дистанционного управления);
- в производственном секторе (пульты дистанционного управления, считыватели меток товаров, медицинские приборы, промышленные лазеры, транспортные приложения, выпрямители, источники бесперебойного питания, детекторы дыма, системы наблюдения и контроля, и многое другое).

Физическая идея, реализованная в СК, озвучена давно. В 1879 г. выдающийся немецкий ученый Г. Гельмгольц (1821–1894) предложил концепцию двойного электрического слоя для границы металл/жидкий электролит. Он представил ДЭС как конденсатор необычно большой ёмкости (condenser of enormous capacity). Термин «суперконденсатор» (синоним «конденсатор с ДЭС») появился на 100 лет позднее. Он известен как торговая марка (Supercap™) японской корпорации NEC.

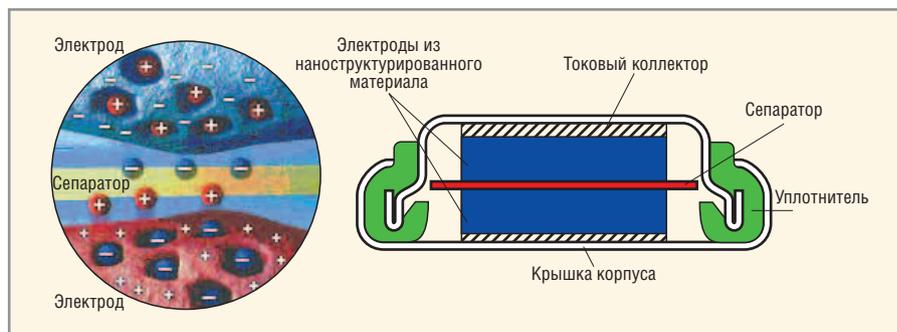


Рис. 3. Модель распределения ионов электролита у поверхности электродов СК и конструкция СК в форме таблетки

Ёмкость современных СК и батарей на их основе составляет 1...10 000 Ф. Они имеют ультратонкий ДЭС ($d \sim 1$ нм) и гигантские площади A распределённых в объёме прибора дисперсных электродов. В качестве электродных материалов в СК используются пористые вещества с внутренней поверхностью до 1000...3000 м²/г. Ёмкость СК может быть оценена по формуле плоского конденсатора: $C = \epsilon_0 \epsilon_r A/d$, где $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$ Ф/м, $\epsilon_r = 1$ (относительная диэлектрическая проницаемость ДЭС). Толщина ДЭС d зависит от концентрации ионов в электролите и размера ионов и для концентрированных жидких электролитов составляет 0,5...1 нм. Поэтому на гладких электродах поверхностная плотность ёмкости превышает 10^{-5} Ф/см², а напряжённость электрического поля в ДЭС может быть больше 10^7 В/см.

Появление СК на рынке электронных компонентов относится к 1978 г., когда в Японии по лицензии были выпущены СК, используемые как резервные источники питания чипов памяти компьютеров. СК имели ёмкость ~ 1 Ф при рабочем напряжении 2,3...2,7 В. В 90-е годы СК получили известность в связи с попытками создания гибридных источников, обеспечивающих рациональное энергопотребление транспортных средств в переходных режимах движения (ускорение и рекуперация энергии при торможении). Аналогичные задачи возникают и в других областях техники. Например, автономные миниатюрные системы сбора и передачи информации действуют в импульсном режиме, требующем высоких уровней мощности, с чем не справляются батареи и другие слаботочные источники.

СК относятся к наукоёмкой и высокотехнологичной продукции. Материаловедение, нанотехнологии и электрохимия играют решающую

роль в раскрытии потенциала СК (повышение технических характеристик и уменьшение стоимости СК, рис. 2 [4]). СК разного типа и назначения производятся в Азии, США, Европе и Австралии. Основными мировыми производителями СК являются AVX [5] (торговая марка Best Cap), Panasonic [6] (Gold Capacitor), Nichicon [7] (EVerCAP), Elna [8] (DYNACAP), NEC-Tokin [9] (Super capacitor), Maxwell [10] (Ultracapacitor), CAP-XX [11], NESS CAP [12] (NESSCAP). В России ведутся разработки СК (ЭСМА, Троицк [13], ЭЛИТ Курск [14]), а «Гириконд» (С-Петербург) выпускает СК под маркой «Ионистор». Рынок СК в РФ фактически ещё не сложился. Продаются СК малыми партиями как изделия специального назначения, заказываемые, главным образом, МО РФ.

ПРИНЦИП РАБОТЫ, КОНСТРУКЦИИ И ТИПЫ СК

Существует несколько основных конструкций СК. В большинстве представленных на рынке СК электроды выполнены из разных сортов нанопористого углерода. Между электродами расположен сепаратор, проницаемый для ионов водного или жидкого органического электролита (симметричная конструкция, рис. 3). При подаче разности потенциалов на электродах формируются ДЭС, образуемые избыточными носителями противоположной полярности. Ёмкости ДЭС электродов C_1 и C_2 соединены последовательно через электролит, так что общая ёмкость СК $C = C_1 C_2 / (C_1 + C_2)$, а при $C_1 = C_2$ величина $C = C_1/2$. Для увеличения ёмкости СК размеры нанопор анода (катода) подбираются так, чтобы в поры могли входить отрицательные (положительные) ионы электролита, имеющие разные размеры.

Разработан ряд электрохимических конденсаторов асимметричной

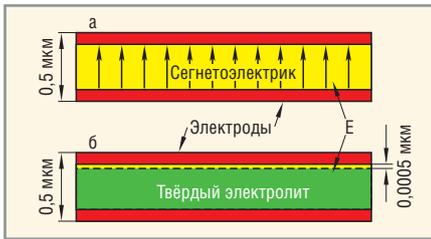


Рис. 4. В тонкопленочном сегнетоэлектрическом конденсаторе электрическое поле E занимает слой толщиной ≈0,5 мкм (а), в СК сопоставимой ёмкости на основе ПСИП электрическое поле E концентрируется в слое толщиной ≈0,0005 мкм (б)

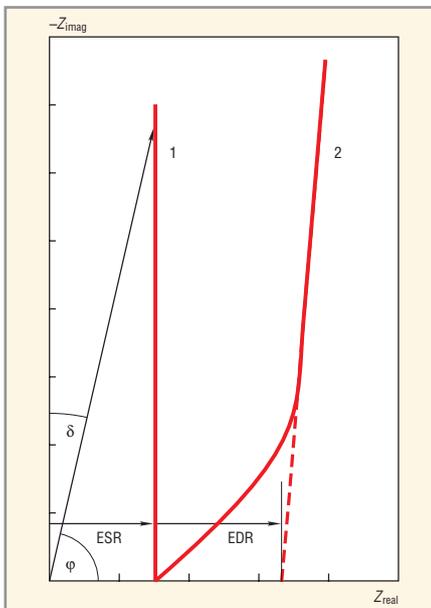


Рис. 5. Графики Найквиста стандартного конденсатора (1) и типичного СК (2)

конструкции [15], в которых один электрод (обычно отрицательный) выполнен из активированного углеродного материала и является идеально поляризуемым, а на другом электроде в процессе зарядно-разрядного цикла идут фарадеевские процессы (неполяризуемый электрод), сопровождающиеся изменением массы электрода и переносом заряда черезгетерограницу электрод/электролит. Ёмкость положительного электрода обычно более чем на порядок превышает ёмкость отрицательного электрода при одинаковых размерах. Ёмкость асимметричного СК определяется ёмкостью поляризуемого электрода: $C = C_1$.

По электрохимическому поведению СК можно разделить на следующие типы [16]:

1. СК с идеально поляризуемыми электродами (симметричные СК), например, со следующими структурами: Au⁻-30-% водный раствор

KOH-Au⁺; C-38-% водный раствор H₂SO₄-C⁻; Pt-органический электролит-Pt⁺. В таких СК на электродах в рабочем интервале напряжений электрохимические реакции не протекают, поэтому по величине энергии, мощности, температурному диапазону и количеству циклов заряд-разряд они ближе всего к оксидно-электролитическим конденсаторам.

2. СК с идеально поляризуемым электродом и неполяризуемым/слабополяризуемым вторым электродом (асимметричные СК), например, со следующими структурами: Ag-твёрдый электролит RbAg₄I₅-C⁻; C-30-% водный раствор KOH-NiOOH⁺. В конденсаторе с твёрдым электролитом RbAg₄I₅ (суперионным проводником) реакция протекает на катоде: Ag⁺ + e ↔ Ag⁰, а в конденсаторе с 30-% водным раствором KOH реакция на аноде имеет вид: Ni²⁺ - e ↔ Ni³⁺. Эти реакции накладывают диффузионные и кинетические ограничения на скорость зарядки и разрядки СК, поэтому по своим характеристикам асимметричные СК ближе к аккумуляторам, чем к симметричным СК.

По типу используемых в качестве электролитов материалов СК можно разделить на следующие группы:

- жидкостные,
- твердотельные,
- полимерные,
- на основе биологических объектов.

Полимерные электролиты представляют собой растворы солей в полимере. На макроскопическом уровне такие вещества ведут себя как твёрдые тела, что обеспечивается контактными взаимодействиями макромолекул полимера, а на микроскопическом уровне они демонстрируют черты поведения жидкостей. В настоящее время наиболее часто используются полимерные твёрдые электролиты, образующиеся при смешивании окиси полиэтилена и таких солей, как LiClO₄, LiAsF₆, LiCF₃SO₃ и др.

Применение СК на основе твёрдых электролитов обеспечивает ряд преимуществ. Для электроники важна возможность создания тонкопленочных СК с использованием микроэлектронных технологий. Перспективно использовать в СК высокопроводящие твёрдые электролиты – так называемые «передовые суперинионные проводники» (ПСИП) – вещества с рекордно высоким уровнем ион-транспортных характеристик. СК на основе ПСИП могут конкурировать с высо-

коёмкими конденсаторами на основе сегнетоэлектрических материалов. В СК на основе ПСИП, так же как в СК с жидкими электролитами, энергия электрического поля запасается в ДЭС молекулярной толщины. Вызываемые проникающими ионизирующими излучениями токи утечки конденсаторов повышаются с увеличением объёма, занимаемого электрическим полем (рис. 4).

Радиационно-стойкие высокоёмкие СК необходимы для создания электроники и объектов нано- и микросистемной техники, предназначенных для работы в условиях сильных космических излучений и на территориях с высокими концентрациями радионуклидов. Пленочные СК на основе ПСИП должны значительно превосходить сегнетоэлектрические конденсаторы по радиационной стойкости.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СК

Имеются отличия в частотных характеристиках обычных конденсаторов и СК. Для исследования электрических характеристик СК может быть использован метод электрохимического импеданса. Если к исследуемому прибору приложить синусоидальное напряжение небольшой амплитуды $V^* = V \exp(j\omega t)$ (записано в форме комплексной экспоненты), то электрический ток (отклик на воздействие) записывается в виде: $I^* = I \exp(j\omega t + \varphi)$, где V и I – действительные числа, φ – угол сдвига фаз между током и напряжением.

Полное комплексное сопротивление Z (импеданс) конденсатора определяется обобщённым законом Ома: $Z = V^*/I^* = (V/I) \exp(-j\varphi)$.

Применение формулы Эйлера, связывающей тригонометрические функции с комплексной экспонентой, даёт: $Z = (V/I)(\cos\varphi - j\sin\varphi) = Z_{real} - jZ_{imag}$, где $Z_{real} = V/I \cos\varphi$, а $Z_{imag} = V/I \sin\varphi$.

Величины V , I и φ определяются экспериментально в некотором частотном диапазоне. При этом каждой частоте ω^i из набора частот $\{\omega^i\}$ соответствует пара чисел Z_{real}^i, Z_{imag}^i , задающих на координатной плоскости $Z_{real}-Z_{imag}$ точку. Полная совокупность пар чисел $\{Z_{real}^i, Z_{imag}^i\}$ задаёт на координатной плоскости линию, называемую графиком Найквиста.

На рис. 5 показаны графики Найквиста стандартного конденсатора и типичного СК [17], имеющие одина-

ковые последовательные эквивалентные сопротивления (equivalent series resistance, ESR). Множество $\{Z_{real}, Z_{imag}\}$ стандартного конденсатора – это вертикальная линия 1, а график Найквиста СК (кривая 2) содержит два участка: большим частотам $\{\omega\}$ соответствует участок с углом наклона, близким к 45° (область Варбурга), а низким $\{\omega\}$ – участок с углом наклона, близким к 90° . Поэтому СК можно представить стандартным конденсатором, у которого к ESR добавляется ещё одно сопротивление, называемое эквивалентным распределённым сопротивлением (equivalent distributed resistance, EDR). Область Варбурга соотносят с распределением сопротивлений и емкостей в порах электродного материала.

Эквивалентная схема поры приведена на рис. 6 [17]. Если удельная проводимость электрода много больше, чем электролита (условие обычно выполняется), то на высоких частотах поведение СК определяется участками пор, близкими к поверхности (элементы R_1 и C_1 эквивалентной схемы), а вклад более глубоких участков ($R_2C_2, R_3C_3, \dots, R_nC_n$) незначителен: сопротивление и ёмкость СК (Z_{real}, Z_{imag}) уменьшаются на высоких частотах. Поэтому для создания СК с высокими частотно-ёмкостными характеристиками важен учёт двух основных факторов: величины внутренней поверхности распределённого нанопористого электрода и ионной проводимости электролита. В высокочастотных СК следует использовать электролиты с рекордно высоким уровнем ион-транспортных характеристик. Именно такой подход установлен работами [3, 18], нацеленными на создание инновационных наноионных СК на основе ПСИП. В статье [18] впервые введён в рассмотрение третий основной фактор высокочастотных СК – быстрый ионный транспорт (БИТ) в ДЭС на гетерогранице ПСИП-электрод.

У СК с пористыми электродами существует связь между ρ_E и ρ_W , поскольку произведение $\rho_E \times \rho_W$ является постоянной величиной для данного уровня технологий. Запасаемая энергия и мощность СК могут быть оценены по формулам: $E = CU^2/2$ и $W = U^2/4R$, где C – ёмкость СК, U – напряжение на электродах СК, R – эффективное последовательное сопротивление. На рис. 7 показана зависи-

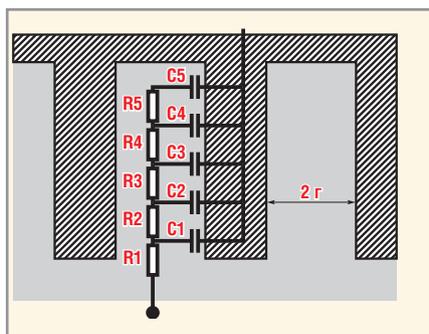


Рис. 6. Эквивалентная электрическая схема поры электродного материала СК

мость ρ_W от ρ_E для СК, имеющих водный и органический электролит и углеродные электроды. Толщины активного слоя электродов – 1, 10, 100 и 1000 мкм [17]. Видно, что в области тонких электродов (1...10 мкм) уменьшение толщины электрода ведёт к небольшому увеличению ρ_W , определяемому постоянным внутренним сопротивлением электролита, и быстрому понижению ρ_E . В области толстых пористых электродов (100...1000 мкм) при увеличении толщины электрода ρ_E увеличивается незначительно, но ρ_W уменьшается более чем в 10 раз из-за возрастания внутреннего сопротивления.

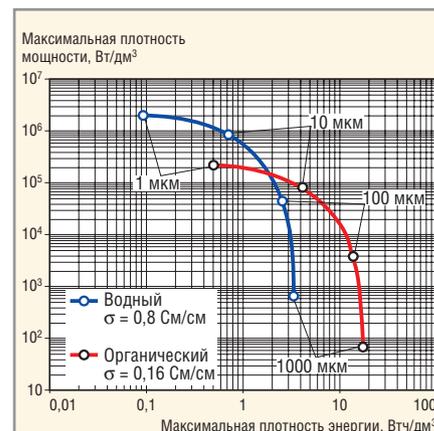


Рис. 7. Зависимость запасаемой энергии и генерируемой мощности СК от толщины пористого углеродного электрода в диапазоне 1...1000 мкм, σ – ионная электропроводность (водный и органический электролиты)

Представленная на рис. 8 эквивалентная схема даёт упрощённое представление о поведении СК в различных режимах заряда и разряда. Индуктивность L нужно учитывать на высоких частотах или при работе в импульсных режимах. Сопротивление $R_p \gg R_s$, так что R_p можно не учитывать для режимов большой мощности. Импеданс СК $Z = R_s + j(\omega L - 1/\omega C)$ становится чисто резистив-

Таблица 1. Типичные технические характеристики коммерческих СК цилиндрической формы

Наименование параметра	Значение параметра
Диапазон рабочих температур, °C	-25...70
Максимальное напряжение, В	2,5
Диапазон номиналов емкости, Ф	0,47...47
Разброс номиналов ёмкости при 20°C, %	±20
Ток утечки, мА	$C^*/2$
Стабильность при низкой температуре**	≥0,7

* Численное значение ёмкости СК после выдержки в течение 30 мин при напряжении 2,5 В.
 ** Представляет собой отношение значения ёмкости СК при -25°C к ёмкости при 20°C.

Таблица 2. Ёмкость, размеры и экспериментальные данные ESR цилиндрических СК

Ёмкость СК*, Ф	0,47	1	2,2	3,3	4,7	10	22	33	47
Размеры корпуса, мм (диаметр/высота)	6,3/11	8/11,5	8/20	10/20	12,5/20	12,5/31,5 и 10/40	16/31,5	18/31,5	18/40
ESR при 1 кГц, 20°C, Ом	7	2	1	1	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1

* Максимальное напряжение 2,5 В.

Таблица 3. Ёмкость, размеры и ESR СК модельного ряда GS1

Обозначение модели	GS1 02F	GS1 03F	GS1 04F	GS1 11F	GS1 21F	GS1 05F	GS1 13F	GS1 08F	GS1 18F	GS1 19F	GS1 20F
Ёмкость ± 20%, Ф	0,3	0,4	0,55	0,65	0,8	1,1	1,4	1,6	2,4	3,3	4
Высота корпуса*, мм	0,9	1,1	1,2	1,4	1	1,2	1,4	1,7	1,6	1,8	2,1
ESR** ± 20%, мОм	34	26	22	18	34	26	20	18	28	24	22

* Длина и ширина корпуса 39 ± 1 и 17 ± 0,5 мм соответственно.
 ** Изменяется с температурой: при -20°C составляет 150%, а при 75°C – 75% от номинального значения.

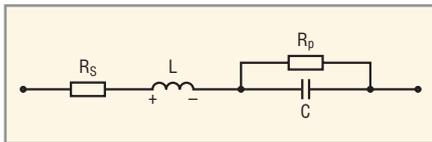


Рис. 8. Простая эквивалентная схема:

C – ёмкость СК, R_s – последовательное сопротивление (ESR), R_p – параллельное сопротивление утечки (моделирует саморазряд СК), L – индуктивность (определяется конструкцией СК)

ным на резонансной частоте, т.е. когда $\omega L - 1/\omega C = 0$. На самом деле поведение Z в СК с пористыми электродами является сложным. В соответствии с рис. 6 эквивалентная схема реального СК включает наряду с L последовательность RC цепочек (рис. 9).

Из представленных данных следует, что толщина слоя электродного материала, распределение пор по размерам, электропроводность электролита и другие факторы определяют ρ_E , ρ_W , ρ_C и ESR СК. Поэтому при сравнении характеристик разных СК необходимо учитывать их назначение. Типичные технические характеристики коммерческих СК цилиндрической формы, используемых в электронике, приведены в табл. 1 и 2. Из таблиц следует, что СК ёмкостью 4,7 Ф и объёмом 2453 мм³ обеспечивает $\rho_C \approx 2000$ мкФ/мм³.

В табл. 3 представлены технические характеристики СК модельного ряда GS1 компании CAP-XX. Максимальное и номинальное напряжение 2,5 и 2,3 В соответственно, максимальный импульсный ток 30 А. Диапазон рабочих температур: -30...+75°C, температура хранения от -40°C до +75°C. При заданной ёмкости и значении ESR СК этого



Рис. 10. СК промышленной серии корпорации Maxwell Technologies

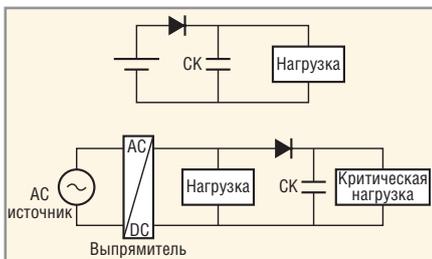


Рис. 11. Схема стабилизации напряжения критической нагрузки с помощью СК

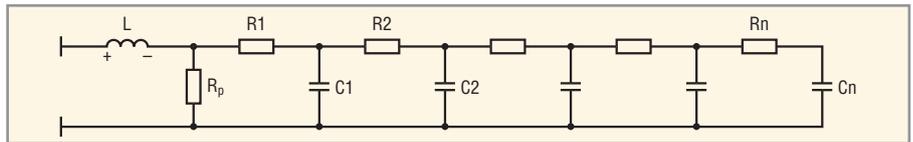


Рис. 9. Эквивалентная электрическая схема реального СК

модельного ряда имеют высокие значения ρ_C , ρ_E и ρ_W [11]. Например, СК GS120F ёмкостью 4 Ф имеет объём 1392 мм³ и $\rho_C \approx 2800$ мкФ/мм³, что примерно на 30...40% выше, чем у СК некоторых других марок. Следует отметить, что значительное снижение ESR достигается нанесением на углеродные волокна тонких плёнок благородных металлов, например золота. Это, однако, увеличивает стоимость СК.

На рис. 10 показан внешний вид СК типа MC2600 компании Maxwell Technologies (ёмкость 2600 Ф, рабочее напряжение 2,7 В) и 16-вольтовой батареи BMOD2600-16, составленной из 6 ячеек MC2600. Цилиндрические ячейки MC2600 имеют размеры 138 × 57,7 мм и массу 470 г. Батареи BMOD2600-16 имеют массу 5 кг и размеры 420 × 160 × 70 мм.

В настоящее время основным препятствием широкого использования СК является их стоимость. В 2005 г. в СК индустриальной серии BOOSTCAP типа MC2600 достигается $\rho_W \approx 10,4$ кВт/кг и $\rho_E \approx 5,6$ Вт час/кг (2×10^4 Дж/кг) [10]. Стоимость СК MC2600 составляет \$27 при ежегодном объёме продаж 1 млн. шт. Таким образом, цена одной фарады оказывается ~\$0,01. Компания Maxwell Technologies планирует в течение 5 лет снизить эту величину в два раза [4].

Методы измерения и контроля электрических параметров СК можно найти в технических документах, представленных на сайтах компаний – производителей СК [5 – 14].

На рис. 11 показан принцип стабилизации напряжения критической нагрузки путём параллельного подключения СК. Кроме того, СК можно эффективно использовать в следующих случаях [11]:

- для продления срока службы батарей цифровых фотоаппаратов и камер,
- при мобильной радиосвязи по протоколам GPRS/GSM,
- для замещения электролитических танталовых конденсаторов,
- для улучшения характеристик источников на основе литиевых и NiMH-элементов при температурах ниже 0°C,

- в беспроводных сенсорных сетях,
- в автоматизированных средствах измерений,
- в системах наблюдения и контроля,
- в медицинских приборах,
- в сотовых телефонах,
- при Hot-Swap-замене источника мобильного ноутбука и в других случаях.

Продолжение следует

ЛИТЕРАТУРА

1. www.paumanokgroup.com/specialty_reports/reports.asp?c=9.
2. www.frost.com/prod/servlet/company-info.pag.
3. Деспотули АЛ., Андреева А.В., Веденеев В.В., Аристов В.В., Мальцев П.П. Высокоёмкие конденсаторы для ультраплотного поверхностного монтажа. Нано- и микросистемная техника. 2006. № 3.
4. Ball R. Supercapacitors see growth as costs fall. www.electronicweek.com/ Home/Default.aspx.
5. www.avxcorp.com.
6. www.panasonic.com/industrial/components/capacitive/cap_gold.htm.
7. www.nichicon-us.com.
8. www.elna-america.com.
9. www.nec-tokin.com/english/product/supercapacitor/outline01.html.
10. www.maxwell.com.
11. www.cap-xx.com.
12. www.nesscap.com/products_edlc.htm.
13. www.esma-cap.com.
14. www.elit-cap.com/files/rus/invest.htm.
15. Pasquier A. Du, Plitz I., Gural J., Menocal S., Amatucci G. Characteristics and performance of 500F asymmetric hybrid advanced supercapacitor prototypes. J. Power Sources. 2003. V. 113. P. 62.
16. Кузнецов В., Панькина О., Мачковская Р., Шувалов Е., Востриков И. Конденсаторы с двойным электрическим слоем (нонисторы): разработка и производство. Компоненты и технологии. 2005. № 6.
17. Kotz R., Carlen M. Principles and applications of electrochemical capacitors. Electrochimica Acta. 2000. V. 45. P. 2483–2498.
18. Деспотули АЛ., Андреева А.В. Создание новых типов тонкопленочных суперконденсаторов для микросистемной техники и микро(нано)электроники. Микросистемная техника. 2003. № 11, 12.



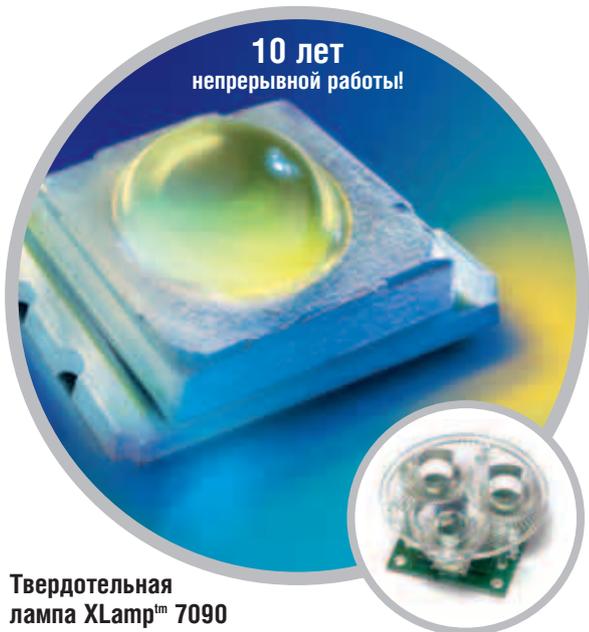
Яркая идея для вашего бизнеса

Самые высокоэффективные светодиодные лампы XLamp™

CREE
LIGHTING

\$ 0.06 за 1 Люмен!

10 лет
непрерывной работы!



Твердотельная
лампа XLamp™ 7090

Области применения

- Автономные источники света
- Взрывобезопасное осветительное оборудование
- Уличные и бытовые светильники
- Ландшафтная подсветка
- Светофоры и сигнальные устройства
- Автомобильное осветительное оборудование

ИКСЛАЙТ
XLight



XLD-C-007
Кластер с драйвером

Технические характеристики ламп XLamp™

	Мощность лампы, Вт		
	0,5	1	3
Габариты, мм	4,5x5	7x9	7x9
Световой поток, лм	до 23,5	до 87	до 113
Рабочий ток, mA	125	350	700
Угол излучения, град	100	100	100

Цвета свечения

Цвет	0,5 Вт	1 Вт	3 Вт
Белый		●	●
Глубокий голубой	●	●	●
Голубой	●	●	●
Бирюзовый	●	●	●
Зелёный	●	●	●
Янтарный	●	●	●
Красно-оранжевый	●	●	●
Красный	●	●	●



XLD-AL-004:
светодиодная лампа
с драйвером
на алюминиевой
печатной плате

Вся номенклатура светодиодных ламп XLamp™ со склада в Москве

Компания ПРОСОФТ совместно с партнером – компанией Фаствел предлагает широкую номенклатуру изделий для светотехнических решений.

- Драйверы светодиодных ламп XLamp™ и кластеров на их основе
- Блоки управления осветительными системами
- Широкая номенклатура оптики для XLamp™ и кластеров на их основе
- Разработка и изготовление светотехнической электроники по требованиям заказчика

ПРОСОФТ — официальный дистрибьютор компании CREE в России и странах СНГ

PROSOFT®

ПРОСОФТ — АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

Телефон: (495) 234-0636 • E-mail: info@prochip.ru • Web: www.prochip.ru