

# Компоненты для силовой электроники корпорации Epcos AG

## Часть 4. Ультраконденсаторы (ионисторы) серии UltraCap

Сергей Пряхин

pse@dodeca.ru

### Основное отличие от обычного конденсатора — повышенная емкость

Ионистор<sup>1</sup> — особый новый тип электролитического конденсатора большой емкости, которая достигает нескольких тысяч фарад. Повышенная емкость обусловлена двумя факторами:

1. Увеличенная эффективная поверхность электродов, выполненных из активированного угля. Для ионисторов Epcos эта поверхность составляет около 2000 м<sup>2</sup>/г.
2. Сверхмалое расстояние между противоположными зарядами (расстояние порядка 10<sup>-9</sup> мм) — в качестве электродов используются высокопористые угольные материалы (в отличие от алюминиевых электродов обычных электролитических конденсаторов).

Благодаря этим факторам фирма Epcos выпускает конденсаторы серии UltraCap<sup>2</sup> B49300-A1605 емкостью 600 Ф в корпусе размером с металлическую банку газированного напитка (33×61×91 мм).

Электроды ионистора, обладающие химической инертностью и высокой электрической проводимостью, характеризуются умеренной стоимостью.

### Энергетическая диаграмма ионисторов

По плотности мощности и плотности энергии ионисторы заполняют нишу между аккумуляторными батареями и электролитическими конденсаторами. Ионисторы решают проблему обеспечения пиковой

мощности источников питания. Это особенно актуально для инновационных областей силовой электроники.

### Основное назначение — питание нагрузки большим током

Известно, что исправная аккумуляторная батарея может обеспечивать питание некоторого устройства (нагрузки) в течение длительного промежутка времени (измеряемого часами). При этом аккумулятор поддерживает необходимый номинальный (рабочий) ток питания. Однако пусковое значение тока нагрузки обычно выше номинального. Обеспечение повышенного тока — нелегкая задача для аккумулятора, особенно если он (по различным причинам) не до конца заряжен. Недостаточный пусковой ток — частая проблема старых аккумуляторов, для которых характерен саморазряд (утечка).

Кроме того, аккумулятор является инерционным источником тока с большим временем доступа к запасенной энергии. Частые разряды аккумулятора большим током и эксплуатация недозаряженного аккумулятора приводят к его быстрому выходу из строя.

С другой стороны, алюминиевые электролитические конденсаторы, которые обычно применяют в бесперебойных источниках питания (UPS), инверторах и приводах двигателей, обеспечивают значительный уровень тока лишь в миллисекундном интервале времени, что исключает возможность их использования в качестве источника питания. Время же разряда ионисторов измеряется в секундах, поэтому они хорошо подходят для кратковременного питания устройств большим током.

Обычно ионисторы применяют для питания устройств постоянным током заданной величины (рис. 2).

Приведенную характеристику не следует путать с характеристикой саморазряда ионистора (рис. 3).

Большой кратковременный ток заданной величины (сотни ампер) часто необходим для питания современного оборудования. Ионисторы не рассчитаны на полную замену аккумуляторов. Однако их применение эффективно для питания устройств в

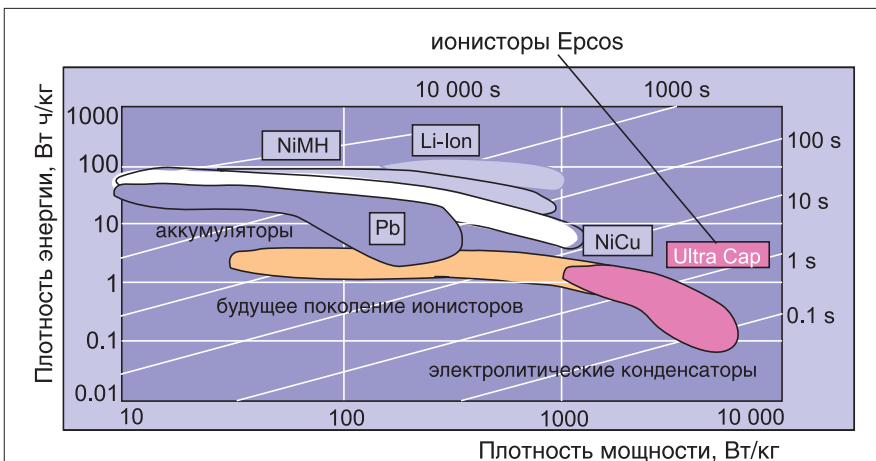


Рис. 1. Сравнительная диаграмма энергетического потенциала аккумуляторов, электролитических (алюминиевых) конденсаторов и ионисторов.

<sup>1</sup> Другие названия: ультраконденсатор, суперконденсатор, конденсатор с двойным электрическим слоем (ДЭС), электрохимический конденсатор (ЭХК) и т. п.

<sup>2</sup> Дословный перевод с английского — «ультраконденсатор» (Прим. авт.).

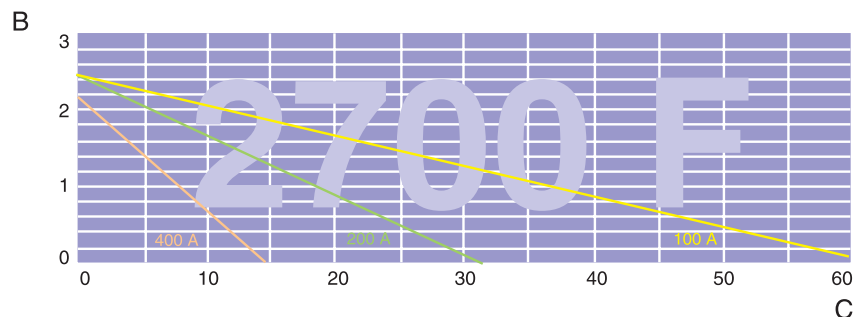


Рис. 2. Зависимость напряжения на ионисторе от времени (характеристика разряда при постоянном токе) на примере ионистора B49300-L1276-Q000 (2700 Ф/2,3 В)

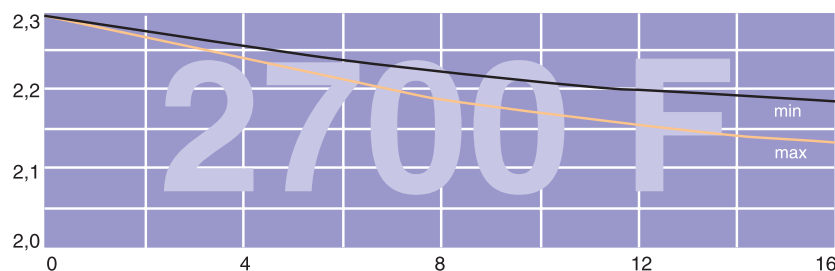


Рис. 3. Характеристика саморазряда (за счет тока утечки) при хранении. Пример: ионистор B49300-L1276-Q000, 2700 Ф/2,3 В. Ось ординат: напряжение разомкнутой цепи, В. Ось абсцисс: время хранения, ч

течение коротких промежутков времени, например для пуска двигателей внутреннего сгорания в автомобилях.

### Дополнительные преимущества ионисторов

В отличие от аккумуляторов, действие которых основано на отложении химических элементов на электродах, ионисторы фирмы Ersos реализуют чисто физический (электростатический) принцип работы. Заряд/разряд ионистора происходит за счет смещения ионов электролита в поле заряженных электродов. Поэтому ионистор успешно функционирует в цепях с частым электрическим зарядом/разрядом (число циклов — более 1 000 000). Аккумулятор же обычно выдерживает не более тысячи циклов заряд-разряд с полным предварительным зарядом в каждом цикле.

Кроме того, для аккумулятора весьма нежелательны пульсации напряжения и глубокий разряд, которые не опасны для ионистора. Ионисторы Ersos хотя и являются полярными элементами (полярность обозначена соответствующим символом на корпусе элемента, как у электролитических конденсаторов), но, в отличие от аккумуляторов, приложение обратного напряжения не оказывает негативного воздействия.

Еще одним слабым местом аккумуляторов является их плохая работа при низких температурах, отсюда — известные проблемы запуска двигателя в зимнее время. Ионисторы остаются работоспособными при отрицательной температуре. Гарантированный нижний предел рабочих температур ионисторов Ersos — 30 °С. Если, например, автомобиль оставить на ночь на морозе (вне гаража), то установ-

ленные в нем ионисторы благодаря широкому диапазону температур хранения не пострадают.

За счет большой эквивалентной площади обкладок вес и габаритные размеры ионисторов существенно меньше размеров литиевых элементов и аккумуляторов. В свою очередь, ионисторы фирмы Ersos — мирового лидера в производстве широкого спектра конденсаторов на основе передовых технологий — отличаются особенной компактностью и плотностью энергии. Благодаря своим малым размерам ионисторы Ersos могут также использоваться в качестве основных питающих элементов в различных слаботочных электрических схемах: часы, калькуляторы, электронные игры, устройства дистанционного управления, микрокомпьютеры, радиоприемники и т. п. Их преимуществом перед гальваническими (литиевыми и т. п.) элементами являются возможность повторного заряда и отсутствие экологически вредных наполнителей и компонентов.

### Области применения ионисторов Ersos

#### 1. Автотранспорт:

- для запуска дизельных двигателей и двигателей внутреннего сгорания;
- для снижения расхода топлива за счет регенерации энергии при торможении автобусов и легковых автомобилей.

#### 2. Железнодорожный транспорт:

- для запуска дизельных двигателей локомотивов;
- метро, трамваи.

#### 3. Электромобили:

- гибридного типа (HEV);
- автомобили на топливных элементах (FCEV);

- применение в составе интегрированных стартовых генераторов (ISG).

#### 4. Бесперебойные и резервные источники питания (UPS).

#### 5. Возобновляемые источники питания (ветряные генераторы и солнечные батареи).

#### 6. Пейджеры и сотовые телефоны (питание большим током в момент вызова абонента и перегрузки основного питающего элемента).

#### 7. Электропривод.

#### 8. Различное оборудование в областях медицины, бытовой электроники, телекоммуникаций, промышленности, производства и др.

### Конструкция ионистора

Конструктивно ионистор состоит из двух электродов (см. также рис. 5), погруженных в электролит<sup>1</sup>. Электроды ионисторов Ersos выполнены из активированного угля, покрыты алюминиевой фольгой и разделены диэлектриком (бумага, полимер или стекловолокно). Кроме того, электроды имеют сегментированную структуру, что обеспечивает большую мощность, отдаваемую в нагрузку, и малые потери энергии. Сегментированная структура определяет форму корпуса ионистора, которая близка к призматической. Такая форма является благоприятным фактором для компактной сборки ионисторных элементов в модули.

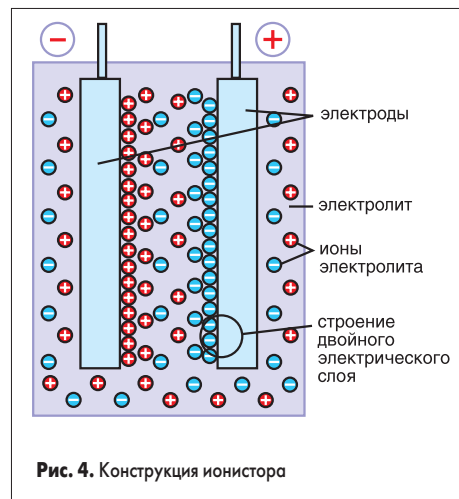


Рис. 4. Конструкция ионистора

Корпус ионистора Ersos выполнен из алюминия<sup>2</sup>, благодаря чему прибор лучше защищен от внешних воздействий и диффузии электролита<sup>3</sup>, чем в случае использования пластмассового корпуса. Кроме того, в крышке корпуса предусмотрен предохранительный клапан (см. габаритный чертеж изделия в каталоге Ersos), через который при нарушении условий эксплуатации (при повышенном давлении) удаляется избыточный газ.

<sup>1</sup> При напряжениях выше 1 В (в частности, при 2,3 В), для исключения газовыделения в ионисторах используется органический электролит (с высокой проводимостью).

<sup>2</sup> Пластмасса здесь используется только для электрической изоляции выводов.

<sup>3</sup> Что привело бы к высыханию электролита и увеличению сопротивления ESR.

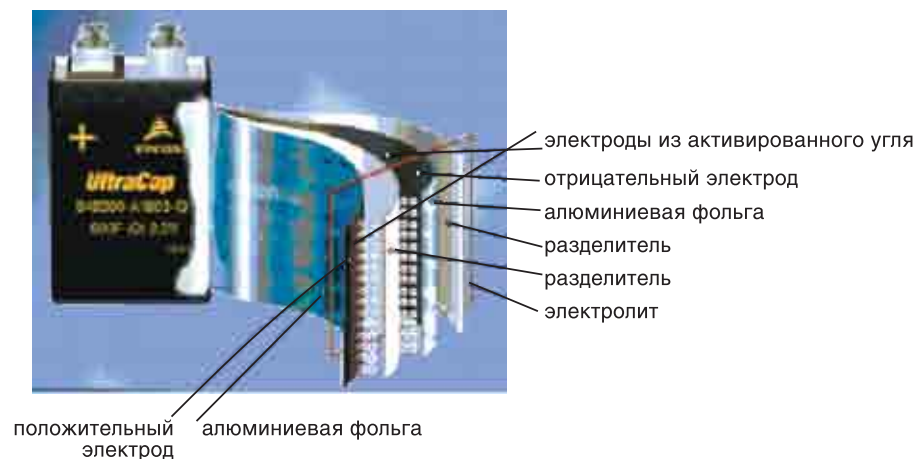


Рис. 5. Ионистор Ersos в разрезе

Технология производства ионисторов Ersos дает возможность их длительного хранения на складе без изменения параметров (обычно свойственного аккумуляторам), увеличенный срок эксплуатации, сверхнизкое значение и высокую стабильность эквивалентного последовательного сопротивления (ESR), а также отсутствие требований по техническому обслуживанию и специальной утилизации.

### Свойства ионисторов Ersos

#### Электрические свойства

- Высокая плотность энергии.
- Допустим быстрый заряд большим током.
- Допустим заряд током различного уровня при различных токовых режимах (допустим непостоянный ток заряда).
- Допустимы сверхвысокие токи разряда.
- Защита от глубокого разряда.
- Длительный срок эксплуатации.
- Число рабочих циклов — несколько миллионов.
- Защита от неправильной полярности по питанию.
- Сверхнизкое стабильное сопротивление ESR.
- Расширенный диапазон рабочих температур.

#### Физические свойства

- Малый вес и габариты.
- Предохранительный клапан избыточного давления.
- Защита от утечек.

- Вибростойкость.
- Без наполнителей и компонентов, вредных для окружающей среды, в том числе без полихлорированного бифенила PCB (Polychlorinated Biphenyls) и тяжелых металлов Cd, Ni, Pb.
- Не загрязняет окружающей среды.

### Вопросы заряда/разряда

Простейший способ заряда ионистора — при постоянном напряжении (максимально допустимое значение тока см. в табл. 2). Значение зарядного тока ограничено только внутренним сопротивлением заряжающего устройства, так как внутреннее сопротивление самого ионистора крайне мало.

Разряд ионистора можно производить при любом уровне накопленного в нем заряда. При этом и заряд, и разряд можно прервать в любой момент и это не повредит ионистору. В результате несмотря на то, что верхний предел номинального напряжения этих устройств совпадает с напряжением аккумуляторов, ионисторы можно использовать во всем диапазоне напряжений от 0 до 2,3 В. Таким образом, обеспечивается совместимость с другими, батарейными элементами.

Ввиду отсутствия жесткого лимита по напряжению, ионисторы способны кратковременно поддерживать:

- 1) необходимый повышенный уровень мощности (от номинального);
- 2) мощность, недостающую до номинальной (при использовании в качестве резервного элемента электрической цепи при случайном дефиците энергии основного источника мощности).

### Влияние повышенного напряжения и температуры

В течение ограниченного интервала времени напряжение на ионисторе может превышать номинальное (2,3 В), но такой режим работы сокращает срок эксплуатации изделия. На рис. 6 изображен характер зависимости среднего срока эксплуатации (в годах) от приложенного напряжения (в Вольтах) и окружающей температуры.

Превышение напряжения является неблагоприятным фактором для ионисторов. С другой стороны, эксплуатация в недонапряженном режиме влечет за собой снижение их полной мощности.

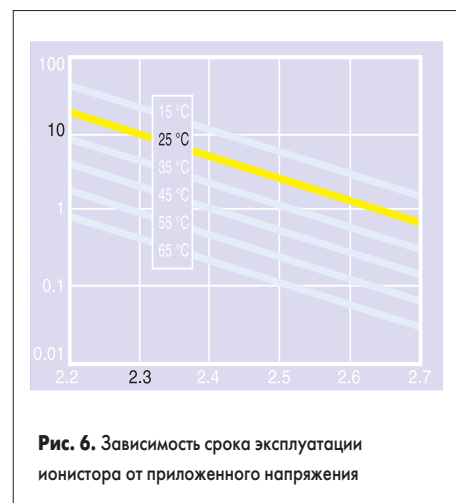


Рис. 6. Зависимость срока эксплуатации ионистора от приложенного напряжения

### Справочные данные по ионисторам фирмы Ersos

Корпорация Ersos производит как отдельные ионисторы (ионисторные элементы, табл. 1 и 2), так и готовые ионисторные модули, изготовленные на их основе (табл. 3). Все ионисторные элементы Ersos рассчитаны на номинальное напряжение 2,3 В.

Таблица 1. Сводная таблица ионисторов Ersos (таблица ионисторных элементов)

Номер изделия	Емкость, Ф	Запасенная энергия, Дж	Вес, г	Особенности	Размеры, мм
B49100-F1503-Q000	5	13,2	5,5	Штыревые луженые выводы	4,75×22,75×14,75
B49100-A1104-Q000	10	26,5	6,4	Штыревые луженые выводы	4,7×23,5×29,0
B49200-L1105-Q000	100	265	37	Плоский штыревой разъем (клемма)	17×34×55
B49200-F1125-Q000	120	317	37	Плоский штыревой разъем (клемма)	17×34×55
B49300-A1605-Q000	600	1587	290	Резьбовой разъем, резьба М6	33×61×91
B49300-F1126-Q000	1200	3174	420	Резьбовой разъем, резьба М6	33×61×158
B49300-L1276-Q000	2700	7142	725	Резьбовой разъем, резьба М6	61×61×156

Таблица 2. Технические характеристики ионистора (спецификация) на примере B49300-L1276-Q000 (2700 Ф/2,3 В)

Параметр	Величина
Номинальная емкость*	2700 Ф
Допуск емкости	-10...+30 %
Номинальное напряжение	2,3 В
Плотность мощности (при согласованной нагрузке)	3040 Вт/кг; 3700 Вт/дм <sup>3</sup>
Номинальный ток (при 25 °С)	400 А
Запасенная энергия (при номинальном напряжении)	7142 Дж
Плотность энергии (при номинальном напряжении)	2,74 Вт-час/кг; 3,33 Вт/дм <sup>3</sup>
Импульсное перенапряжение	2,7 В
Макс. ток утечки (12 час., 25 °С)	6 мА
Макс. (последовательное) сопротивление ESR	600 мкОм
Макс. (последовательное) сопротивление ESR при постоянном токе	1000 мкОм
Вес	725 г
Объем	0,60 дм <sup>3</sup>
Диапазон рабочих температур	-30...+70 °С
Диапазон температур хранения	-40...+70 °С
Срок эксплуатации (при номинальном напряжении и 25 °С)	90 000 ч
Срок эксплуатации, циклический режим** (при номинальном токе 100А и 25 °С)	150 000 ч

Критерий пригодности к эксплуатации:  
 $|\Delta C| > 20\%$  исходного значения или ESR > 200 %  
или I<sub>CC</sub> (ток утечки) выше заданного значения

**Примечания:**\*Разряд с постоянным током<sup>1</sup> при окружающей температуре 25 °С.

\*\*Один цикл состоит из заряда до номинального напряжения, паузы 30 с, разряда до 0 В, паузы 30 с и т. д.

Таблица 3. Сводная таблица ионисторных модулей Ersos

Емкость, Ф	Номинальное напряжение, В	Номер изделия	Особенности	Размеры, мм
450	14	B48700-F4455-Q006	Плоский штыревой разъем (клемма) с резьбой М6	123×184×173
67	42	B48720-B7674-Q018	Плоский штыревой разъем (клемма) с резьбой М6. Встроенная схема Активного баланса напряжения	213×196×192
100	56	B48710-A9105-Q027	Стойка 19". Встроенная схема резистивного баланса напряжения	360×440×220

**Ионисторные модули Ersos**

Для получения ионисторов с номинальным напряжением выше 2,3 В, а также с заданной энергией и плотностью энергии (мощностью), фирма Ersos производит так называемые ионисторные модули, образованные последовательным соединением нескольких отдельных ионисторных элементов (из табл. 1). Конструктивно элементы легко соединяются в модули благодаря специальной технологии электродов, обеспечивающей максимальную отдаваемую мощность каждого элемента, а также малые потери.

Следует отметить, что при соединении ионисторных элементов в модули для нормального функционирования модуля необходимо обеспечить одинаковый уровень напряжения на зажимах этих элементов. Поэтому использование готовых модулей Ersos представляется предпочтительным: производитель сам гарантирует штатное

функционирование модуля в различных режимах питания нагрузки.

С другой стороны, при желании снизить стоимость ионисторного модуля, разработчик может воспользоваться специальным элементом (схемой) активного баланса, предоставляемым фирмой Ersos.

Ионисторные модули Ersos с учетом их характеристик являются уникальным в своем роде продуктом на российском рынке.

**Баланс напряжения ионисторных элементов**

Необходимым условием штатного функционирования ионисторных элементов при их соединении (обычно последовательном) является одинаковый уровень напряжения на зажимах этих элементов. Для гарантированного обеспечения равного напряжения возможно применение схем так называемого пассивного или активного баланса (а также комбинированного).

1. **Пассивный баланс напряжения.** Производится параллельным подсоединением резисто-

ра к зажимам ионисторного элемента. Пассивный баланс рекомендуется:

- при отсутствии ограничений на уровень тока замкнутой цепи;
- при необходимости питания нагрузок в продолжительный период времени (например, в источниках бесперебойного питания).

2. **Активный баланс напряжения.** Параллельно каждому ионисторному элементу подключают устройство активного баланса (печатная плата с микросхемой компаратора и резистивными делителями).

**Принцип действия и схема устройства активного баланса**

Компаратор обладает встроенным эталонным источником напряжения U<sub>ref</sub> и весьма низким диапазоном питающего напряжения (рис. 7). При превышении напряжения на ионисторе U<sub>C</sub> среднего значения напряжения подключенных элементов компаратор замыкает ключ S и происходит шунтирование U<sub>C</sub> током примерно 800 мА через резистор R<sub>бур</sub>. После выравнивания между U<sub>C</sub> и

<sup>1</sup>DCC-разряд (Discharging with Constant Current).

средним значением напряжения подключенных элементов ключ замыкается.

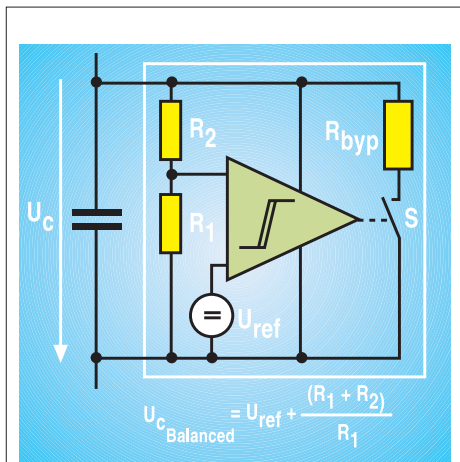


Рис. 7. Схема устройства активного баланса

Активный баланс рекомендуется:

- а) если требуется ограничение тока замкнутой цепи;
  - б) при циклическом режиме работы ионисторного модуля (например, в автомобильных применениях).
3. Комбинированный баланс используется при отклонении напряжения от номинального:
- а) схемы пассивного баланса — при низком напряжении (1,7 В), в случае быстрых разрядов или разрядов большим током;
  - б) схемы активного баланса — для защиты от импульсного напряжения ( $U > 2,5$  В).

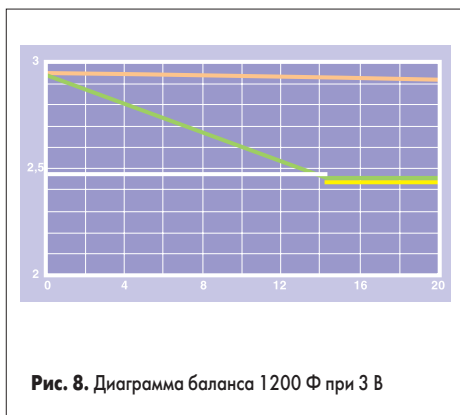


Рис. 8. Диаграмма баланса 1200 Ф при 3 В

Спецификация устройства активного баланса В44069-А1235-Г001

Параметр	Величина
Напряжение порога (UTH)	2,35 В
Допуск	-2...+2 %
Гистерезис	±10 мВ
Рабочее напряжение (UOP)	-0,2...+3,5 В
Импульсное напряжение	5,5 В
Сопротивление ESR (UOP>UTH)	3 Ом
Сопротивление ESR (UOP<UTH)	15 Ом
Вес	3 г
Диапазон рабочих температур	-40...+85 °С
Диапазон температур хранения	-55...+125 °С
Размеры, мм	43×28×4

Примечания:

1. Не требует дополнительного источника питания.
2. Устанавливается вместе с соединительными шинами элементов модуля.
3. Неправильная полярность может повредить микросхему устройства.

Примеры баланса ионисторных элементов

Пример 1 (рис. 8). Диаграмма баланса 1200 Ф при 3 В.

Показана зависимость напряжения  $U_c$  (В) от времени (мин).

- Цветом обозначено:
- Красный — пассивный баланс 120 Ом.
- Зеленый — активный баланс.
- Белый — ключ замкнут.

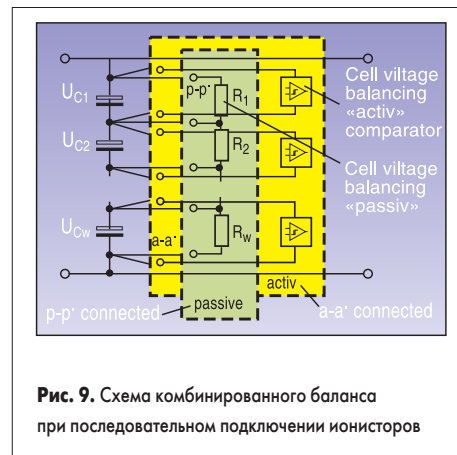


Рис. 9. Схема комбинированного баланса при последовательном подключении ионисторов

Желтый — ключ разомкнут.

Пример 2 (рис. 9). Схема комбинированного баланса при последовательном подключении ионисторов.

Цветом обозначено:

- Зеленый — элементы пассивного баланса.
- Желтый — элементы активного баланса.
- Элементы как активного, так и пассивного баланса подключены параллельно.

Пример 3 (рис. 10). Схема комбинированного баланса при параллельном подключении ионисторов.

Цветом обозначено:

- Зеленый — элементы пассивного баланса.
- Желтый — элементы активного баланса.
- Элементы как активного, так и пассивного баланса подключены параллельно.

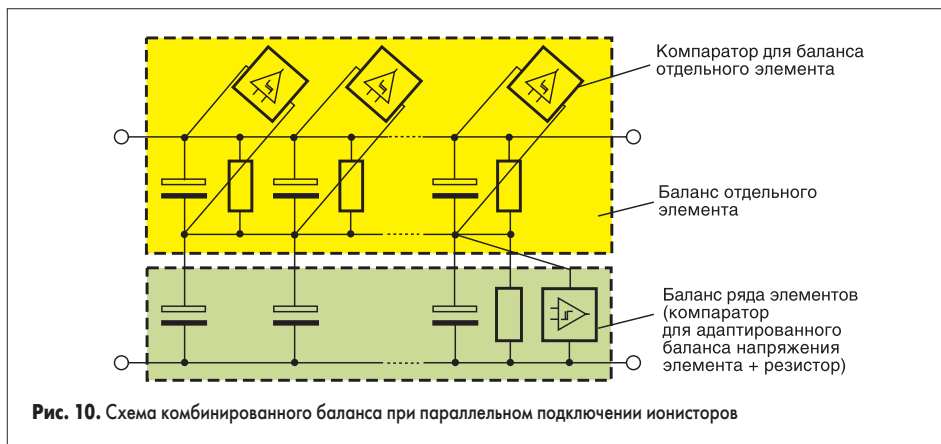


Рис. 10. Схема комбинированного баланса при параллельном подключении ионисторов