

Ионистор в автономной электрической цепи

Андрей Кашкаров (г. Санкт-Петербург)

Ионисторы – иногда их называют суперконденсаторами – обладают высокой удельной мощностью при небольшой энергоёмкости, обеспечивая сохранение энергии электрохимическим способом. В качестве аккумулятора малой ёмкости и напряжения ионисторы могут выполнять функции резервного или автономного питания.

ОТЛИЧИЯ ИОНИСТОРА ОТ АККУМУЛЯТОРА И КОНДЕНСАТОРА

Обычный конденсатор представляет собой два элемента, изготовленные из металлической фольги и разделённые слоем диэлектрика. Ионистор является принципиально другим элементом, сочетающим конденсатор с химическим аккумулятором. Обкладки ионистора разделены между собой слоем электролита (см. рис. 1). Для их изготовления используется не фольга, а специально подобранные материалы, выбор которых определяет свойства ионистора: токопроводящие полимеры, оксиды металлов и даже активированный уголь (его применение позволяет не только снизить себестоимость, но и повысить электрическую ёмкость). Под воздействием разности потенциалов, возникающей при включении ионистора в электрическую цепь постоянного тока, в двойном электрическом слое на границе электролита и электрода накапливается электрический заряд.

Поскольку ионистор не имеет диэлектрического слоя (в отличие от электролитических конденсаторов, где в качестве диэлектрика используется оксид металла), процесс заряда/разряда происходит непосредственно в слое ионов на поверхностях положительного и отрицательного электродов. Под воздействием напряже-

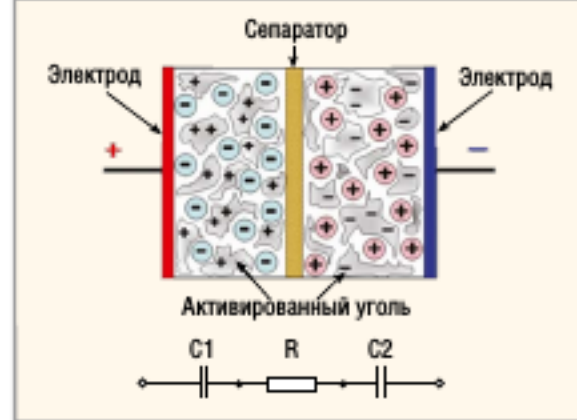


Рис. 1. Внутреннее устройство ионистора

ния на выводах ионистора заряженные частицы (анионы и катионы) движутся к соответствующим электродам и накапливаются на их поверхности. Вместе с зарядом самого электрода они образуют «двойной электрический слой». Аббревиатура EDLS (electric doublelayer capacitor) обозначает конденсатор с двойным электрическим слоем, т.е. ионистор.

Скопление отрицательно заряженных электронов на электроде приводит к его отрицательному заряду, что вызывает концентрацию в приповерхностном слое положительно заряженных катионов. Потому как ион имеет определённый размер, мешающий ему вплотную приблизиться к электроду, то вокруг образуется двойное облако ионов, имеющих противоположные заряды, т.е. плоский, но ёмкий конденсатор, расстояние между обкладками которого равно радиусу иона. Для получения электрического поля напряжённостью 1 000 000 В на обкладках такого конденсатора достаточно иметь разность потенциалов 1 В.

Для предотвращения проникновения ионов между электродами установлен сепаратор с хорошими изоляционными свойствами, чтобы защитить ионистор от внутреннего короткого замыкания. В отличие от «классических» аккумуляторов, в ионисторе не используются обратимые и необратимые химические реакции, поэтому он является более универсальным и безопасным в обращении.

В ионисторах используются органические или водные электролиты. Применение органического электролита позволяет получить высокое напряжение заряда, но повышает внутреннее сопротивление ионистора. При использовании водного электролита напряжение заряда вдвое меньше, как и внутреннее сопротивление ионистора.

Для получения более высоких значений напряжения, необходимых для работы автономной аппаратуры, ионисторы можно включать последовательно. При этом полученное напряжение будет равно сумме напряжений используемых приборов. Для надёжной работы такой составной батареи необходимо каждый ионистор зашунтировать резистором, чтобы выровнять напряжение на элементах. Ток через выравнивающий резистор должен быть в несколько раз больше тока утечки (саморазряда) ионистора, который составляет микроамперы у маломощных ионисторов.

- Достоинства ионисторов:
- очень высокая удельная ёмкость по сравнению с электролитическими конденсаторами;
 - низкое внутреннее сопротивление;
 - малое время заряда и разряда;
 - большое число циклов заряд/разряд (более ста тысяч);
 - длительный срок эксплуатации;
 - низкая стоимость;
 - простая электрическая схема заряда;
 - небольшие габариты и вес.
- При этом ионисторы имеют ряд особенностей:
- обладают высоким КПД (до 95%);
 - имеют сравнительно низкий ток утечки;
 - работают в диапазоне температур $-40...+70^{\circ}\text{C}$; при более высокой температуре, как правило, разрушаются. Существенным недостатком ионистора является появление лавинных токов утечки при напряжении, превышающем рабочее. Это приводит не только к саморазряду ионистора, но и может стать источником опасности при эксплуатации.

В принципе, ионистор – неполярный прибор. Вывод «+» указывает для обозначения полярности остаточного напряжения после заряда прибора на заводе-изготовителе.

Запас энергии и мощность ионистора можно рассчитать по формулам:

$$E = C \times U^2 / 2 \text{ (Дж)},$$

$$P = U^2 / 4R \text{ (Вт)},$$

где C – ёмкость, F ; U – напряжение на электродах, V ; R – эффективное последовательное сопротивление, Ом .

Внутреннее омическое сопротивление $R_{\text{ин}}$ может быть рассчитано по формуле $R_{\text{ин}} = U/I_{\text{кз}}$, где U – напряжение на ионисторе, V ; $I_{\text{кз}}$ – ток короткого замыкания, A . Например, для ионистора типа K58-3 (аналог DC-2R4D225) $R_{\text{ин}} = 10...100 \text{ Ом}$.

Электрическую ёмкость ионистора рассчитывают по формуле $C = I \times t / U$, где C – ёмкость, F ; I – постоянный ток разряда, A ; U – номинальное напряжение ионистора, V ; t – время разрядки от $U_{\text{ном}}$ до нуля, s , либо по формуле $C = S/d$, где d – толщина двойного электрического слоя (обычно $5...10 \text{ нм}$); S – общая площадь поверхности электрода из активированного угля. Толщина двойного электрического слоя очень мала и сопоставима с размером молекулы. Электрод ионистора представляет собой совокупность сверхбольшого количества частиц активированного угля с площадью поверхности до $3000 \text{ см}^2/\text{г}$.

Основные характеристики отечественных ионисторов приведены в таблице. Рабочая температура ионисторов $-25...+70^{\circ}\text{C}$; отклонения ёмкости от номинальной – $20/+80\%$. При изменении рабочего (максимального) напряжения внешний вид ионисторов (см. рис. 2 и 3) может существенно отличаться (по габаритам), даже если они имеют одинаковую ёмкость. Прибор K58-9a представляет собой залитый компаундом K58-3 с приваренными проволоочными выводами («+» маркирован чёрной точкой). Ионисторы K58-9b и K58-9в (аналог DB-5R5D105) на напряжение 5 и 6,3 В состоят, соответственно, из двух и трёх элементов K58-3, соединённых последовательно. Розничная цена ионистора K58-10 ёмкостью 1 F на рабочее напряжение 6,3 В составляет примерно 200 руб., 0,47 F на напряжение 5,5 В – всего 50 руб.

НАПРЯЖЕНИЕ РАЗЛОЖЕНИЯ

Производители ионисторов обычно используют водные (водорастворимые) или органические (водонерастворимые) электролиты. Двойной электрический слой работает как изолирующий (диэлектрик) и не позволяет протекать сквозному току при внешнем постоянном напряжении. Органический электролит допускает приложенное напряжение до 3 В, а водный – до 1,5 В. При определённом напряжении через ионистор начинается протекать ток, обусловленный электрохимическими про-

цессами. Это напряжение называется напряжением разложения или, более точно, напряжением электрохимического распада электролита. Дальнейшее его увеличение ведёт к более интенсивному разложению электролита, появлению лавинного тока утечки тока и пробою ионистора. Поэтому ионисторы, по сравнению с оксидными конденсаторами, имеют малое рабочее напряжение, ограниченное напряжением разложения.

Условия эксплуатации и долговечность ионистора

Долговечность ионистора зависит от условий эксплуатации. Так, при работе под напряжением $U_{\text{ном}}$ при температуре окружающей среды 70°C гарантированная долговечность составит 500 ч. При работе под напряжением $0,8 U_{\text{ном}}$ она увеличивается до 5000 ч. Если же напряжение на ионисторе не превышает $0,6 U_{\text{ном}}$, а температура окружающей среды составляет 40°C , то ионистор будет исправно работать не менее 40 000 ч.

Стандартная схема включения ионистора в качестве резервного источника питания приведена на рисунке 4. Диод VD1 предотвращает разряд ионистора C1 при нулевом напряжении питания ($U_{\text{пит}} = 0$). Резистор R1 ограничивает зарядный ток ионистора, защищая источник питания от кратковременной перегрузки при включении. Если источник питания выдерживает кратковременную нагрузку током $100...250 \text{ мА}$, такая защита не требуется.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИОНИСТОРОВ

Встраиваемый источник резервного питания

Электронная сигнализация МТ9021 – современное охранное устройство, предназначенное для охраны квартир, офисов, гаражей, дач или склад-



Рис. 2. Внешний вид ионистора DC-2R4D225 ёмкостью 1 F на напряжение 5,5 В (модель 1905V)



Рис. 3. Внешний вид ионистора K58-9a

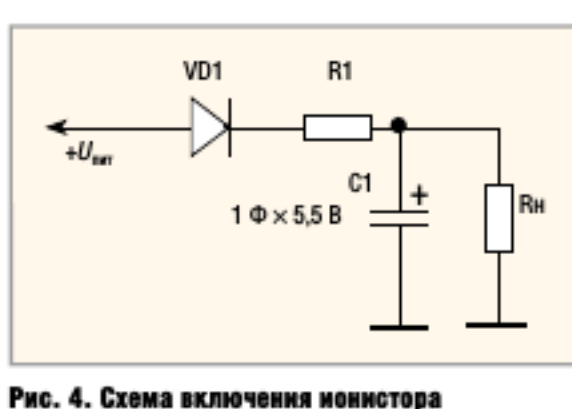


Рис. 4. Схема включения ионистора

ских помещений. Отличительной особенностью МТ9021 является наличие встроенных датчиков движения и температуры. При срабатывании датчика движения или при повышении температуры внутри охраняемого помещения до $+65^{\circ}\text{C}$ устройство осуществляет рассылку SMS по списку телефонных номеров (до 5), хранящихся в его памяти. В месте установки сигнализации должно быть покрытие сети Мегафон. С подробной документацией на эту сигнализацию можно озна-

Основные характеристики ионисторов отечественного производства

Тип ионистора	Ёмкость, F	Номинальное напряжение, В	Внутреннее сопротивление, Ом	Габариты $a \times b \times c \times d \times e$, мм	Масса, г
K58-3	2,00	2,5	30	18,3 × 2,7	2,0
K58-9a	0,47	2,5	80	10,5 × 14 × 5 × 26 × 4,5	0,5
	2,00	2,5	30	19 × 23 × 5 × 38 × 5,5	2,0
K58-9b	0,62	5,0	60	27 × 22,5 × 10 × 35 × 13	11,0
	1,00	5,0	60	27 × 22,5 × 10 × 35 × 13	11,0
	0,62	6,3	90	27 × 22,5 × 10 × 35 × 13	11,0
K58-9в	1,00	5,0	60	21,5 × 8 × 5 × 4	8,0
	0,62	6,3	90	21,5 × 10,5 × 5 × 16	10,0