

# 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-

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 «+» указывают для обозначения полярности остаточного напряжения после заряда прибора на заводе-изготовителе.

Запас энергии и мощность ионисторов можно рассчитать по формулам:

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

$$P = U^2 / 4R \text{ (Вт)},$$

где  $C$  – ёмкость, Ф;  $U$  – напряжение на электродах, В;  $R$  – эффективное последовательное сопротивление, Ом.

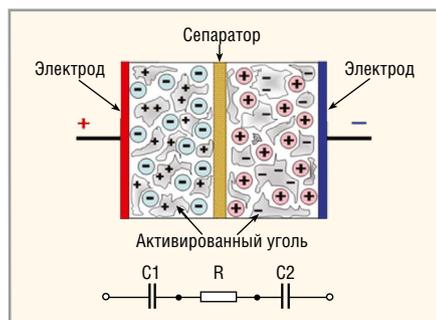


Рис. 1. Внутреннее устройство ионистора

Внутреннее омическое сопротивление  $R_{вн}$  может быть рассчитано по формуле  $R_{вн} = U/I_{кз}$ , где  $U$  – напряжение на ионисторе, В;  $I_{кз}$  – ток короткого замыкания, А. Например, для ионистора типа К58-3 (аналог DC-2R4D225)  $R_{вн} = 10...100$  Ом.

Электрическую ёмкость ионистора рассчитывают по формуле  $C = I \times t/U$ , где  $C$  – ёмкость, Ф;  $I$  – постоянный ток разряда, А;  $U$  – номинальное напряжение ионистора, В;  $t$  – время разрядки от  $U_{ном}$  до нуля, с; либо по формуле  $C = S/d$ , где  $d$  – толщина двойного электрического слоя (обычно 5...10 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 см<sup>2</sup>/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 К58-9а представляет собой залитый компаундом К58-3 с приваренными проволочными выводами («+» маркирован чёрной точкой). Ионисторы К58-9б и К58-9в (аналог DB-5R5D105) на напряжение 5 и 6,3 В состоят, соответственно, из двух и трёх элементов К58-3, соединённых последовательно. Розничная цена ионистора К58-10 ёмкостью 1 Ф на рабочее напряжение 6,3 В составляет примерно 200 руб., 0,47 Ф 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 начинает 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 пробую 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  $U_{ном}$  при температуре окружающей среды  $70^{\circ}\text{C}$  гарантированная долговечность составит 500 ч. При работе под напряжением  $0,8 U_{ном}$  она увеличивается до 5000 ч. Если же напряжение на ионисторе не превышает  $0,6 U_{ном}$ , а температура окружающей среды составляет  $40^{\circ}\text{C}$ , 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 ( $U_{пит} = 0$ ). Резистор R1 ограничивает зарядный ток ионистора, защищая источник питания от кратковременной перегрузки при включении. Если источник питания выдерживает кратковременную нагрузку током 100...250 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 Ф на напряжение 5,5 В (модель 1905V)



Рис. 3. Внешний вид ионистора К58-9а

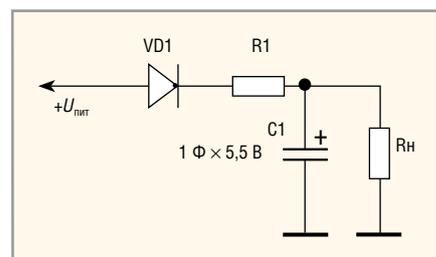


Рис. 4. Схема включения ионистора

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, Ф	Номинальное напряжение, В	Внутреннее сопротивление, Ом	Габариты а × б × с × д × е, мм	Масса, г
К58-3	2,00	2,5	30	18,3 × 2,7	2,0
К58-9а	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
К58-9б	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
К58-9в	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

комиться на интернет-странице компании «МастерКит».

Функциональным недостатком модели МТ9021 является шлейф питания – двухжильный провод длиной 2,5 м от батарейного отсека. На корпусе сигнализации имеется миниатюрный выключатель питания. Пока питание поступает, сигнализация работоспособна. Но если цепь питания разорвать, обрезав провод от батарейного отсека, сигнализация не успевает отправить SMS (на это требуется не менее 3 с), поскольку накопительный конденсатор (C1 по схеме) разряжается быстрее. Существенно увеличить ёмкость C1 не позволяют габариты корпуса сигнализации.

Было установлено, что схема МТ9021 стабильно работает в диапазоне напряжений питания 3,3... 4,7 В. Ток потребления в энергосберегающем режиме составляет всего 100 мкА, что обеспечивает длительную работу устройства от одного комплекта батарей. Необходимая доработка сигнализации заключается в подключении источника резервного питания – аккумулятора или ионистора – непосредственно в корпусе основного блока.

Недостатком использования аккумулятора, кроме стоимости, является то, что при постоянно замкнутой цепи выключателя питания напряжение приложено к плате до тех пор, пока аккумулятор не разрядится. Поэтому сигнализация будет раз в 10 мин посылать «тревожные» SMS, если в зоне охраны находится и перемещается какой-либо объект. Если же использовать ионистор ёмкостью 0,47 Ф и напряжением 5 В, как показано на рисунке 5, то запасённой в нём энергии будет вполне достаточно для отправки SMS. Через минуту-полторы напряжение на его выводах становится ниже 3 В, и сигнализация отключается.

### Работа с солнечной батареей

Ионисторы накапливают энергию в момент максимальной производительности устройств, генерирующих электрическую энергию. Чем это удобно в сочетании с солнечной батареей?

Солнечная батарея обеспечивает максимальный световой выход при температуре её поверхности +25...+30°C. Летом, в солнечную погоду, неизбежен нагрев всей поверхности модуля, и при температуре выше +60°C КПД батареи значительно снижается. В данном случае блоки из батарей ионисторов как нельзя лучше подходят для накопления энергии в момент максимальной эффективности солнечной батареи и сглаживания пиковой нагрузки.

### Особенности заряда и саморазряд ионисторов

Процесс заряда ионистора малым током является оптимальным при времени заряда 24 ч и более. Время заряда не оказывает решающего влияния на саморазряд ионистора, поскольку внутреннее сопротивление ионистора, в данном случае, изменяется лишь за счёт сопротивления перераспределённых ионов электрическому току. Чем ниже температура ионистора, тем больше времени уйдёт на саморазряд, и тем более продолжительным будет срок его службы.

Если время полезной работы ионистора ( $T_{\text{back-up}}$ ) приравнять к сроку его службы, то последний может быть рассчитан по формуле  $T_{\text{back-up}} = CU/i = C \times (U_0 - i \times R - U_1) / (I + I_L)$ , где  $C$  – ёмкость ионистора, Ф;  $i$  – ток в течение времени  $T_{\text{back-up}}$ , А;  $I_L$  – ток утечки, А;  $R$  – внутреннее сопротивление ионистора, Ом;  $U_1$  – напряжение, до которого разрядится ионистор, В;  $U_0$  – приложенное напряжение, В.

Например, новый ионистор 1905V фирмы Panasonic ёмкостью 1 Ф (с учётом допуска –20%, 0,8 Ф) и рабочим

напряжением 5,5 В после полного заряда до 5 В разрядится током 10 мкА при температуре 40°C до напряжения 2 В за 55 ч. В течение срока эксплуатации время разряда может уменьшиться в 1,5–2 раза за счёт потери ёмкости и изменения внутреннего сопротивления (при сохранении тока заряда, приложенного напряжения и температуры окружающей среды). Возможно также изменение ёмкости ионистора от тока разряда, приложенного напряжения и температуры окружающей среды за счёт старения ионистора (при эксплуатации свыше 1000 ч) в непрерывных циклах заряд/разряд.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сегодня ионисторы нашли широкое применение в электронике и вычислительной технике. Ионисторы с небольшими токами разряда используются в сотовых телефонах, компьютерах, в робототехнике, автомобильной электронике, струйных принтерах и во многих других электронных устройствах. Ионисторы идеально подходят для электрических схем, в которых необходим быстрый заряд элементов резервного питания с длительным сроком службы и большим числом циклов заряд/разряд.

Ионисторы с большими токами разряда применяются в экспериментальных автобусах с электроприводом (заряд на каждой второй остановке) и электромобилях, а также для сглаживания пиковых нагрузок в автономных электрогенераторах возобновляемых источников энергии.

При объединении ионисторов и химических аккумуляторов в одном блоке питания их недостатки взаимно компенсируются. В результате получается автономный источник питания с увеличенным сроком службы, меньшей стоимостью и большим запасом энергии, чем у обычных аккумуляторов. 