

# ПЛЕНОЧНЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ КОМПАНИИ AVX/TPC ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

**В связи с необходимостью замены изношенного подвижного состава сегодня актуален вопрос разработки и производства тяговых преобразователей и преобразователей собственных нужд для железнодорожного транспорта. Пленочные конденсаторы – это важная составляющая элементной базы преобразовательной техники.**

Завод компании TPC (Thomson Passive Components) по производству пленочных конденсаторов, с 1997 года принадлежащий корпорации AVX, находится во французском городе Дижоне. Сегодня компания AVX/TPC – официальный поставщик основных мировых производителей железнодорожного транспорта – от легкого метро до высокоскоростных поездов. Среди постоянных заказчиков компании такие производители, как Alstom, Bombardier, Siemens, SNCF и многие другие.

Компания разрабатывает конденсаторы по техническому заданию конечного потребителя, в котором оговариваются как условия работы, так и конструктивное исполнение. Используемые для этой цели математические модели, построенные с учетом результатов испытаний, позволяют рассчитать по заданным параметрам и изготовить конденсаторы для конкретных задач. Сотрудники TPC регулярно получают от своих заказчиков – производителей железнодорожной техники – экспериментальные данные по эксплуатации изделий и анализируют результаты моделирования.

По умолчанию конденсаторы разрабатываются с ресурсом 100 тыс. ч, но с учетом современных требований можно создать конденсаторы с повышенным ресурсом – до 20–30 лет.

Для увеличения надежности конденсаторов, в 1979 году учеными компании TPC была разработана *технология управляемого самовосстановления*.

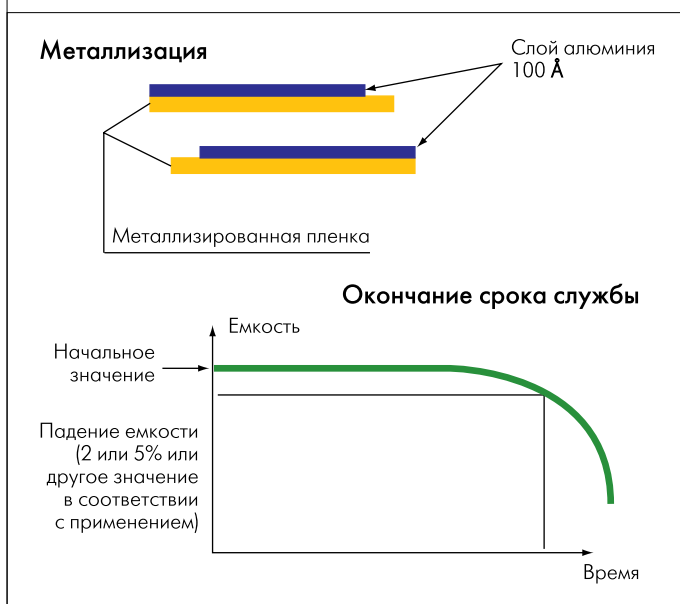
Эта технология обеспечивает работу конденсатора *без катастрофических отказов* благодаря изолированию областей пробоя в диэлектрике. В процессе работы конденсатор можно рассматривать как батарею из множества ячеек, при этом разрушение отдельных маленьких ячеек приводит к медленному и постепенному уменьшению величины емкости (рис.1). Схематическое изображение процесса самовосстановления пленки на примере конденсатора средней мощности показано на рис.2.

М. Самойлова  
marina.samoylova@microem.ru

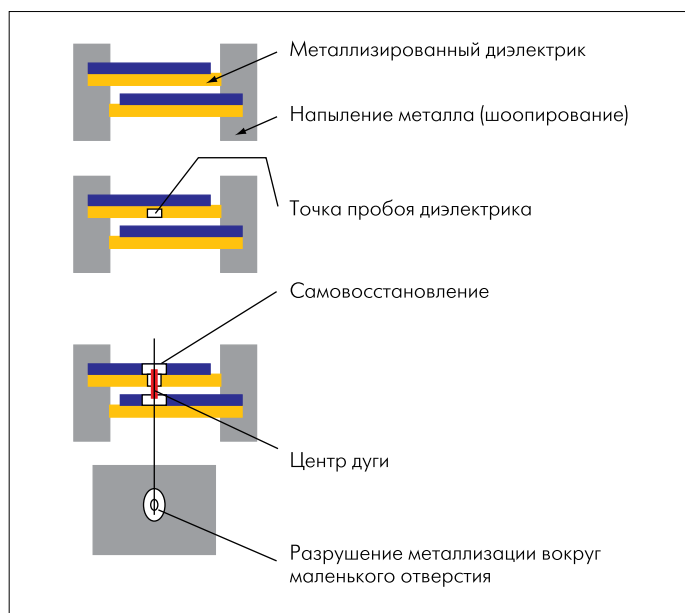
При возникновении в диэлектрике области предпробойного состояния (сопротивление резко снижается) энергия разряда конденсатора сосредоточится в этой области, и произойдет пробой диэлектрика. В результате ток самовосстановления потечет через точку пробоя, плотность тока вокруг нее увеличится настолько, что металлизация начнет испаряться. В итоге электрическая дуга разряда, достигнув максимальной длины, исчезнет, и точка пробоя изолируется. Самовосстановление ограничивается двумя слоями пленки. Вследствие отсутствия лавинного пробоя удается избежать катастрофических отказов.

Для производства конденсаторов средней мощности используется пленка со специально нанесенным рисунком, такая сегментация пленки позволяет отключать участки, поврежденные во время работы конденсатора.

Измеряя емкость в процессе эксплуатации, можно контролировать срок службы конденсаторов и таким образом существенно облегчать обслуживание. Принято считать, что уменьшение емкости на 2% – это окончание срока службы, хотя конденсатор работоспособен и после этого, а значение



**Рис. 1. Изменение величины емкости при старении конденсатора**



**Рис.2. Процесс самовосстановления пленки на примере конденсатора средней мощности**

емкости меняется не скачком, а плавно. Таким образом, если в процессе измерений окажется, что уменьшение емкости близко к критической величине – 2%, следует принять решение о замене конденсатора. Но устройство, содержащее данный конденсатор, при этом останется работоспособным. Таким образом, ситуация управляема, а технология получила название "управляемого самовосстановления". Итак, преимущества, которые дает использование данной технологии:

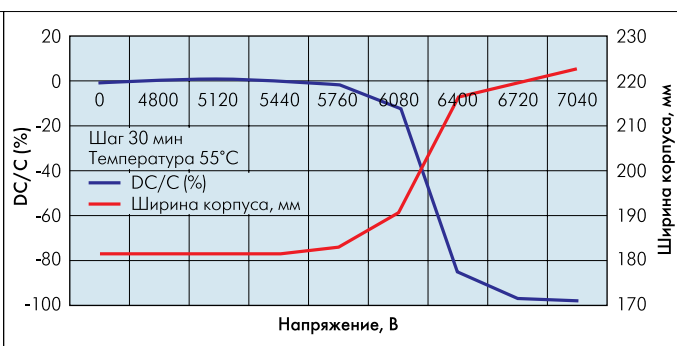
- полная безопасность;
- надежность;
- отсутствие скачкообразного падения емкости в конце срока службы.

### МАСЛОНАПОЛНЕННЫЕ И ГАЗОНАПОЛНЕННЫЕ КОНДЕНСАТОРЫ

Конденсаторы высокой мощности выпускаются либо маслонаполненными (AVX использует рапсовое масло), либо с наполнением газом. Компания AVX/TPC первой вышла на рынок с маслонаполненными конденсаторами. Применение маслонаполненных конденсаторов имеет определенные преимущества:

- существенное увеличение пробивного напряжения;
- безопасность работы;
- плавное снижение емкости и отсутствие катастрофического отказа;
- стабильность работы при низких температурах;
- экологическая чистота (наполнитель – пищевое рапсовое масло).

Напряжение пробоя в газах подчиняется закону Пашена и зависит от произведения межэлектродного расстояния и давления. Для газа при давлении 1 Бар оно составит 4 кВ/мм, для масла – 15 кВ/мм, для полипропилена – 600 кВ/мм. В маслонаполненных конденсаторах основное поле приложено к поли-



**Рис.3. Результаты неразрушающего теста маслонаполненного конденсатора**

пропилену, а так как его напряжение пробоя высокое, то можно получить более высокие характеристики конденсатора.

При номинальном напряжении как маслонаполненные, так и газонаполненные конденсаторы медленно теряют емкость (порядка 2% после 100 тыс. ч работы). Важно отметить, что при рабочих напряжениях, больших номинального, присутствие масла обеспечивает плавное снижение емкости и, как следствие, исключает катастрофический отказ.

По значению электрического поля маслонаполненные конденсаторы, работающие как на постоянном, так и на переменном токе, имеют преимущества по сравнению с газонаполненными (например, величина электрического поля в газе на постоянном токе на несколько порядков (до 10<sup>6</sup>) выше, чем в масле).

Поведение маслонаполненного конденсатора иллюстрируется рис.3, на котором приведен результат неразрушающего теста конденсатора TRAFIM на 2500 мкФ/3000 В при температуре 55°C.

Каждые 30 мин напряжение увеличивали с шагом 0,1 U<sub>н</sub>=0,1 3000=300 В, при этом наблюдалось постепенное уменьшение емкости. При напряжении 7040 В (превышает номинальное более чем в 2 раза) емкость падает до нуля, что эквивалентно напряжению пробоя полипропилена 600 В/мкм (7040 В/ 12 мкм 600 В/мкм). Одновременно с уменьшением емкости происходит "разбухание" конденсатора. Иными словами, при увеличении поперечного сечения конденсатора, которое свидетельствует об уменьшении емкости, можно поставить вопрос о его замене.

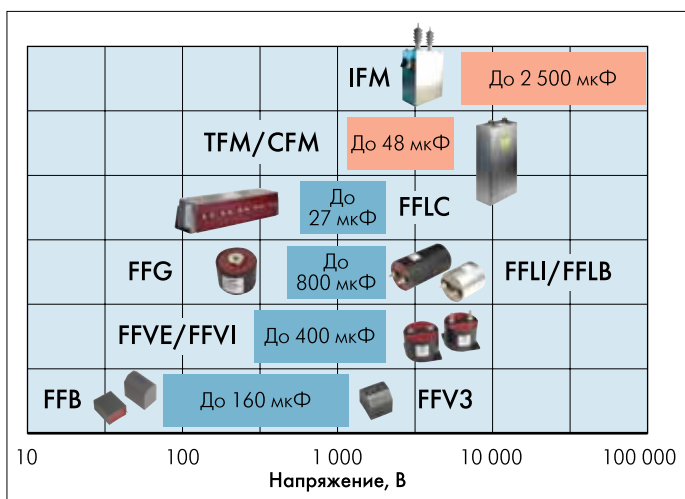


Рис.4. Фильтровые конденсаторы

**ПРОДУКЦИЯ AVX/TPC ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

В преобразовательной технике, как правило, используются две группы конденсаторов: фильтровые и для цепей развязки.

**Фильтровые конденсаторы** (рис.4). К маслонаполненным относятся конденсаторы TRAFIM (TFM), CAPAFIM (CFM) и FILFIM (IFM), к сухим – FFLC, FFLI, FFLB, FFVE и FFVI. Как сухие, так и маслонаполненные конденсаторы выполнены по технологии управляемого восстановления.

Области применения фильтровых конденсаторов:

- тяговые преобразователи;
- преобразователи собственных нужд (ПСН);
- зарядные устройства.

Особый интерес представляют маслонаполненные конденсаторы FIM и сухие конденсаторы FFLC.

К фильтровым конденсаторам высокой мощности FIM относятся серии TRAFIM, CAPAFIM и FILFIM (рис.5). В 1988 году для фильтров постоянного тока были разработаны конденсаторы серии TRAFIM (polypropylene Film, Impregnated and Metallized with Aluminium – из полипропиленовой пленки, металлизированной алюминием, наполненные рапсовым маслом), обладающие сверхвысокой плотностью и, соответственно, наименьшими габаритами. С 1990 года выпущено более 103000 конденсаторов



Рис.5. Конденсатор высокой мощности FILFIM

саторов нескольких поколений, отработавших свыше 3 млрд. ч без единого катастрофического отказа! Не так давно AVX/TPC объявила о начале производства очередного, седьмого, поколения маслонаполненных конденсаторов серии TRAFIM, срок службы которых увеличен с 100 тыс. до 300 тыс. ч.

**Основные характеристики конденсаторов FIM**

Диапазон емкостей .....	2,6–15600 мкФ
Рабочее напряжение (постоянный ток) .....	1200–100000 В
Тестовое напряжение между выводами.....	1,5 U <sub>n</sub> , в течение 10 с
Срок службы при U <sub>ном</sub> и максимально допустимой T <sub>корп</sub> .....	100000 ч (для поколения TRAFIM 7 – 300000 ч)
Максимальная T <sub>корп</sub> .....	до 85°C
Стандартное значение I <sub>макс</sub> .....	255 А
Индуктивность.....	от 40 нГн
Плотность энергии .....	до 500 Дж/л (500 Дж–30 кДж/конденсатор)
Материал корпуса.....	нержавеющая сталь (по заказу возможен алюминий)

Конденсаторы FFLC (рис.6) изготавливаются по сухой технологии, обладают низкой реактивной мощностью, производятся с контактами типа Male и Female.

**Основные характеристики конденсаторов FFLC**

Номинальная емкость .....	1120–8800 мкФ
Рабочее напряжение (постоянный ток) .....	680–1200 В
Максимальная T <sub>корп</sub> .....	85°C
Диапазон рабочих температур .....	от -40 до 85°C
Максимальный рабочий ток I <sub>эфф</sub> .....	140–300 А
Паразитная индуктивность .....	28–40 нГн
Тестовое напряжение между выводами (постоянный ток) .....	1,5 U <sub>n</sub> (в течение 10 с, 25°C)
Тестовое напряжение между выводами и корпусом, эфф.....	4 кВ (при 50 Гц, в течение 1 мин, 25°C)
Материал корпуса .....	алюминий

По требованию заказчика изготавливаются конденсаторы с малыми паразитными индуктивностями, а также с напряжением до 1900 В. Рекомендации по применению: при напряжениях 1200–1400 В рентабельнее использовать маслонаполненные конденсаторы FIM, а при напряжениях до 1200 В – сухие конденсаторы FFLC.

**Конденсаторы для защитных цепей.** Эта группа конденсаторов включает в себя серии FSB (рис.7), FPX и



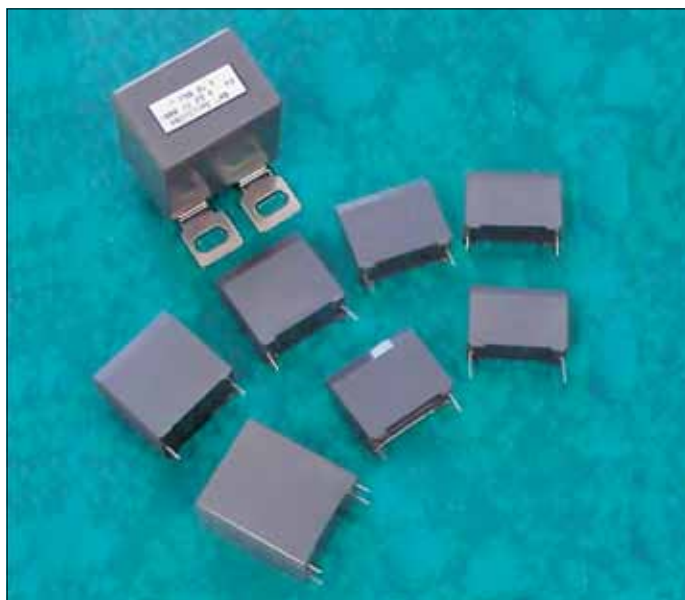
Рис.6. Конденсатор FFLC



FPG (рис.8). Они выполнены по технологии управляемого самовосстановления. Для обеспечения высокого импульсного тока используется усиленная металлизация, которая защищает IGBT-модули от бросков напряжения и обеспечивает им длительный срок службы.

Области применения конденсаторов серий FSB, FPX и FPG:

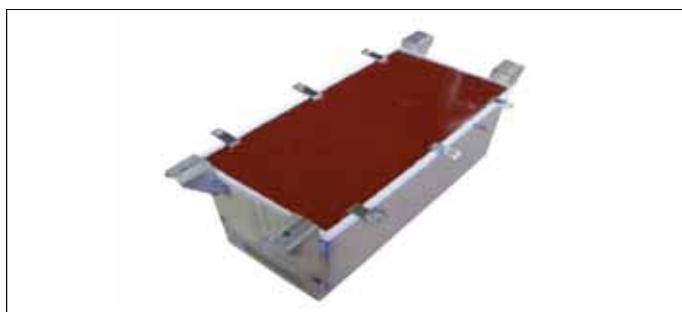
- снабберные цепи;
- защита тиристоров.



**Рис.7. Конденсатор FSB**



**Рис.8. Конденсаторы FPX, FPG**



**Рис.9. Заказной конденсатор FFLC для замены батареи электролитических конденсаторов**

Отличительные особенности конденсаторов для защитных цепей:

- номинальная емкость 0,01 мкФ – 6 мФ;
- напряжение постоянного тока 600–3000 В;
- максимальная  $T_{корп}$  85°C;
- максимальный ток 23–160 А (эфф.);
- паразитная индуктивность 5–25 нГн.

**Заказные конденсаторы.** Как уже отмечалось, компания производит в основном custom design, т. е. заказные конденсаторы, их доля в общем объеме составляет 80–85%. Это представляет большой интерес для разработчиков и конструкторов, поскольку отпадает необходимость "подгонять" конденсатор как под размеры преобразователя, так и под некий стандартный тип из каталога. Дизайн заказных конденсаторов является know-how и не может быть раскрыт сторонним лицам без официального согласия собственника разработки.

В заказных изделиях учитываются не только требования спецификации к электрическим параметрам и габаритам, можно также разработать конденсатор для замены батареи (рис.9), сделать корпус изделия не из нержавеющей стали, а из алюминия. Иногда в соответствии с конструкцией преобразователя требуется особое расположение конденсаторов и их крепеж (в частности, в перевернутом виде или на боку). Для удовлетворения нужд заказчика компания ТРС выпускает конденсаторы с фронтальным расположением выводов, с водяным охлаждением и т.д.

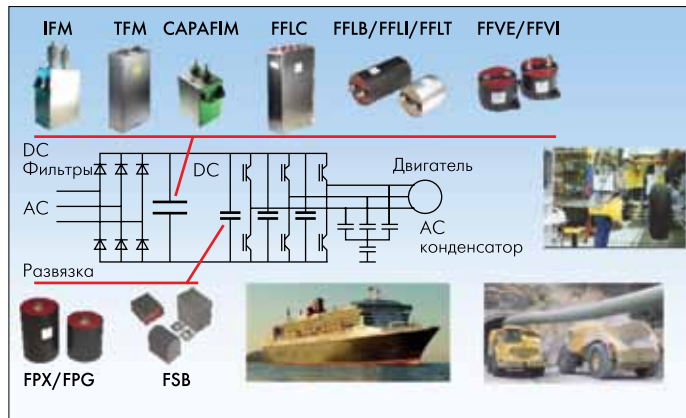


**Рис. 10. Преобразователь собственных нужд с использованием заказного конденсатора**

На рис.10 представлен образец ПСН для высокоскоростного поезда с использованием заказного конденсатора.

Вся продукция компании TPC соответствует международным техническим нормам и стандартам оборудования железнодорожного транспорта. Приведем их перечень:

- IEC 61071. Конденсаторы силовые электронные: Общие положения и Требования к испытаниям на разъединение предохранителей, к испытаниям на разрушение, к испытаниям на самовосстановление и к испытаниям на долговечность.
- IEC 61881. Оборудование для подвижного состава железных дорог. Конденсаторы для силовой электроники.
- EN 61373. Транспорт железнодорожный. Оборудование для подвижного состава. Испытания на вибрацию и удар.
- IEC 60077. Оборудование электротяговое.
- IEC 60068-2-11. Испытания на воздействие внешних факторов. Соляной туман.
- EC 60068-2-3. Испытания на воздействия внешних факторов. Влажное тепло, постоянный режим.
- NF F 16-101. Транспорт железнодорожный. Характер горения. Выбор материалов
- NF F 16-102. Транспорт железнодорожный. Характер горения. Выбор материалов применительно к электрооборудованию.



**Рис. 11. Применение конденсаторов AVX/TPC в системах управления электроприводом**

Что касается оценки и сертификации систем менеджмента качества, сейчас во всем мире начинается переход предприятий железнодорожного машиностроения с универсального стандарта ISO 9001 на *специализированный стандарт IRIS* – европейский стандарт железнодорожной промышленности, учитывающий особые требования к безопасности и надежности железнодорожной техники. Компания AVX/TPC получила сертификат, подтверждающий соответствие данному стандарту.

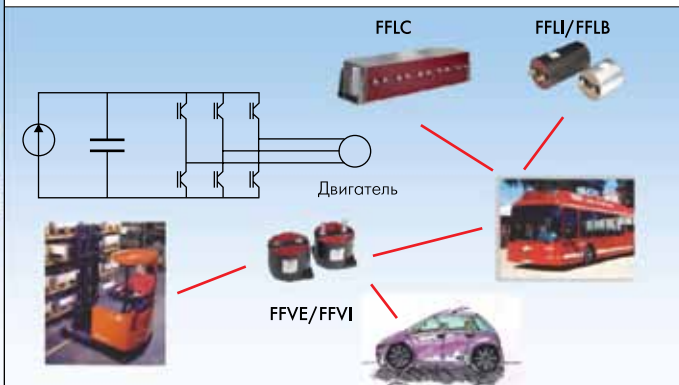
Для российских условий очень важна возможность работы компонентов (в данном случае конденсаторов) при низких отрицательных температурах. Использование рапсового масла в качестве наполнителя существенно улучшает диэлектрические свойства конденсаторов. Маслонаполненные конденсаторы FIM отлично работают при температурах до -60°C.

Проведенные испытания на прочность (напряжение 1,4 U<sub>n</sub> при температурах -40 и -55°C, в том числе для перевернутого конденсатора) и термоциклирование показали, что конденсаторы могут работать при температуре -55°C в течение 100000 ч.

Очевидно, что использование компонентов в подвижном составе накладывает дополнительные требования к их виброустойчивости. По данному параметру маслонаполненные конденсаторы FIM отвечают требованиям стандарта IEC 61373 категория 1, класс B.

Как уже отмечалось, один из главных рынков для компании AVX/TPC – это преобразовательная техника. На рис.11 показаны виды конденсаторов и примеры их использования. Крупными заказчиками данной продукции являются такие компании, как Siemens, ABB, Convertteam.

Еще одно перспективное направление в применении конденсаторов AVX/TPC – гибридный транспорт (рис.12). В этих приложениях конденсаторы применяются, чтобы предотвратить выбросы пульсаций тока в источник питания и сгладить изменения напряжения на шинах постоянного тока. Среди заказчиков AVX/TPC – компании с мировым именем, такие как General Motors и Renault, Alstom и др.



**Рис. 12. Использование пленочных конденсаторов в гибридном транспорте**



Хотелось бы остановиться на еще одном актуальном вопросе – сравнении пленочных и электролитических конденсаторов. В условиях экономического кризиса понятно желание разработчиков удешевить изделие, например, установив в него более дешевые электролитические конденсаторы. Но насколько это оправдано?

Сравнение пленочных и электролитических конденсаторов по основным показателям приведено в таблице.

Из таблицы видно, что электролитические конденсаторы проигрывают пленочным по стойкости к перегрузкам и сроку службы. Известно также, что электролитические конденсаторы, в отличие от пленочных, могут течь и взрываться.

Сравнение работы электролитических и пленочных конденсаторов в конкретных приложениях дает следующие результаты.

При использовании в автомобиле пленочный конденсатор имеет неоспоримые преимущества – высокий ток и большую емкость.

Анализ работы конденсаторов в фильтрах постоянно-го тока легкого электротранспорта (в метро, на подвесной дороге) приводит к выводу, что в тех случаях, когда требуется повышенная надежность, способность выдерживать перегрузки по напряжению и при работе на высоком значении эффективного тока, пленочная технология является

#### Сравнение пленочных и электролитических конденсаторов

Параметр	Пленочные конденсаторы	Электролитические конденсаторы
Превышение номинального напряжения	В 2 раза	В 1,2 раза
Броски обратного напряжения	Допускаются	Не допускаются
Быстрый разряд	Допускается	Не допускается
Эффективный ток	До 1 А/мкФ	До 0,025 А/мкФ
Средний срок наработки на отказ	Высокий	В 10 раз меньше
Риск выброса вредных веществ	Нет	Есть (используется кислота)
Максимальное уменьшение емкости в конце срока службы	5%	30%
Необходимость восстановления после длительного хранения	Нет	Да

лучшим решением по сравнению с электролитической.

В заключение можно сказать, что применяемые компанией ТРС технологии (самовосстановление, использование рапсового масла в качестве наполнителя) делают компанию лидером на рынке конденсаторов для преобразовательной техники.

Получить каталоги и более подробную информацию можно у *официального дистрибьютора AVX/TPC в России ЗАО "МикроЭМ"*. Более подробные сведения можно найти на следующих сайтах: [www.avx.com](http://www.avx.com), [www.microem.ru](http://www.microem.ru). ○