

Пленочные конденсаторы AVX/TPC

для преобразовательной техники

В нашей стране назрела необходимость замены изношенного подвижного состава. В связи с этим весьма актуален вопрос разработки и производства тяговых преобразователей и преобразователей собственных нужд для железнодорожного транспорта.

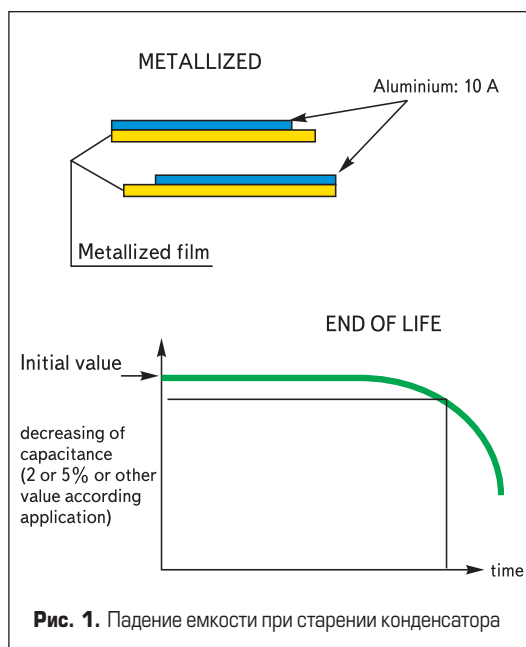
В данной статье приводится краткий обзор пленочных конденсаторов производства компании AVX/TPC как основной составляющей элементной базы преобразовательной техники.

Марина Самойлова

marina.samoylova@microem.ru

Завод компании TPC (Thomson Passive Components) по производству пленочных конденсаторов находится во французском городе Дижоне и с 1997 года принадлежит корпорации AVX. AVX/TPC является официальным поставщиком основных мировых производителей железнодорожного транспорта — высокоскоростных поездов и поездов для метро, а также трамваев и электричек. Среди постоянных заказчиков продукции компании AVX/TPC такие фирмы, как Alstom, Bombardier, Siemens и многие другие.

Компания разрабатывает конденсаторы с учетом технического задания конечного потребителя, в ТЗ указаны следующие условия работы: напряжение, ток, температура, данные окружающей среды... Имеющиеся математические модели, построенные по результатам испытаний, позволяют учесть все параметры, рассчитать и предложить конденсатор именно для данной задачи. Результаты моделирования подтверждаются экспериментальными данными, которые AVX/TPC регулярно получает от своих заказчиков — производителей железнодорожной техники.

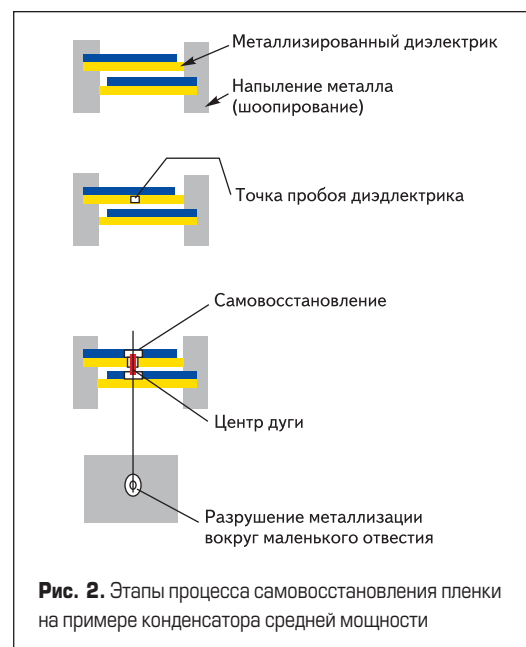


Согласно современным требованиям можно разработать конденсаторы со сроком жизни 20–30 лет.

Одно из слагаемых успеха компании AVX/TPC — разработанная в 1979 году *технология управляемого самовосстановления*. Эта технология позволяет конденсатору работать без катастрофических отказов, благодаря изолированию точек пробоя материала диэлектрика. В процессе работы конденсатор можно рассматривать как батарею из множества ячеек, при этом разрушение отдельных маленьких ячеек приводит к медленному и постепенному падению емкости (рис. 1).

Схематическое изображение процесса самовосстановления пленки на примере конденсатора средней мощности показано на рис. 2.

При возникновении слабого места в диэлектрике энергия разряда конденсатора устремится в эту область малого сопротивления, и произойдет пробой диэлектрика. В результате ток самовосстановления потечет через точку пробоя, при этом плотность тока вокруг нее будет настолько велика,



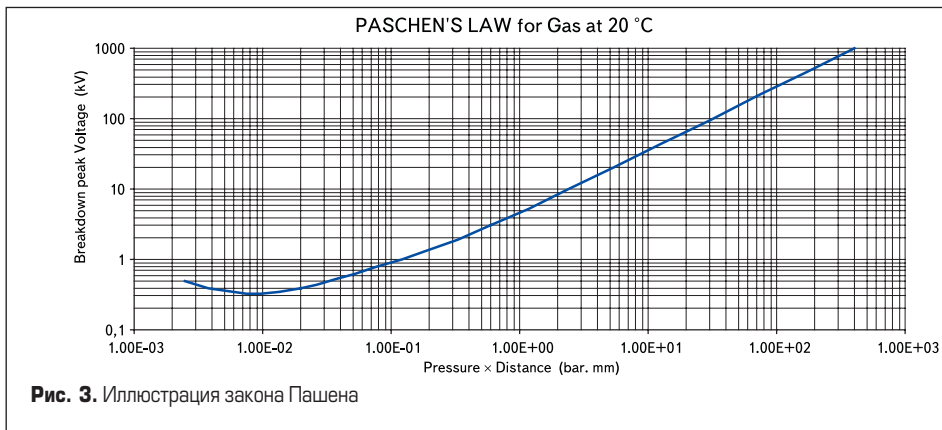


Рис. 3. Иллюстрация закона Пашена

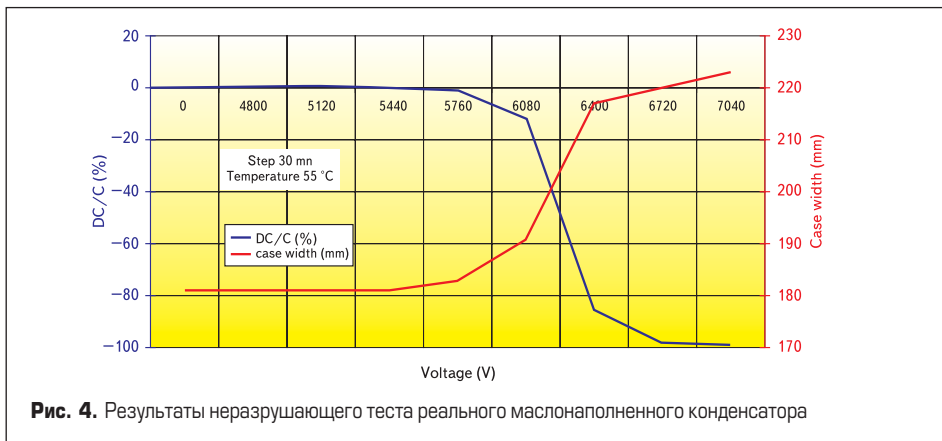


Рис. 4. Результаты неразрушающего теста реального масляного конденсатора

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 нет и катастрофических отказов.

Для конденсаторов высокой мощности, во избежание лавинного пробоя, используется специальная сегментация пленки, что позволяет отключать поврежденные сегменты во время работы конденсатора.

Измеряя емкость в процессе эксплуатации, можно контролировать срок службы и, таким образом, существенно облегчать обслуживание конденсатора. Критерием окончания срока его службы принято считать падение емкости на 2%, хотя конденсатор работоспособен и после этого, так как значение емкости меняется не скачком, а плавно. То есть, обнаружив в процессе измерений падение емкости на величину, близкую к критическим 2%, нужно принять решение о замене конденсатора. Но устройство, содержащее данный конденсатор, при этом останется работоспособным. Таким образом, ситуация управляема, поэтому технология и получила название «управляемого самовосстановления». Итак, преимущества, которые дает использование данной технологии, таковы:

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

Маслонаполненные и газонаполненные конденсаторы

Конденсаторы высокой мощности выпускаются либо маслянополненными (AVX исполь-

зуют рапсовое масло), либо с наполнением газом. Компания AVX/TPC первой вышла на рынок с маслянополненными конденсаторами. Они имеют определенные преимущества, а именно:

- существенное увеличение пробивного напряжения;
- абсолютно безопасная работа;
- плавное снижение емкости и отсутствие катастрофического отказа;
- отличное поведение при низких температурах;
- экологическая чистота: наполнитель — пищевое рапсовое масло.

Напряжение пробоя в газах подчиняется закону Пашена (рис. 3) 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 маслянополненных конденсаторах основное поле приложено к полипропилену, а так как его напряжение пробоя высокое, это позволяет добиться более высоких характеристик устройства.

При номинальном напряжении как маслянополненные, так и газонаполненные конденсаторы медленно теряют емкость (порядка 2% после 100 000 часов работы). При рабочих напряжениях выше номинального масло позволяет обеспечить плавное снижение емкости и, что важно, уберечь конденсатор от катастрофического отказа.

Как на постоянном, так и на переменном токе, по значению электрического поля маслянополненные конденсаторы предпочтительнее по сравнению с газонаполненными (например, величина электрического поля в газе на постоянном токе на порядки — в 10⁶ раз выше, чем в масле).

На рис. 4 приведен результат неразрушающего теста реального маслянополненного конденсатора TRAFIM на 2500 мкФ/ 3000 В при температуре 55 °C.

Каждые 30 минут напряжение увеличивали с шагом $0,1 \times U_n = 0,1 \times 3000 = 300$ В, при этом происходило постепенное падение емкости. При напряжении порядка 7040 В (превышение номинального более, чем в 2 раза) емкость падает до нуля, что эквивалентно напряжению пробоя полипропилена 600 В/мкм (7040 В/12 мкм \approx 600 В/мкм). Одновременно с падением емкости происходит «разбухание» конденсатора. То есть при увеличении поперечного сечения конденсатора необходимо измерить емкость и подумать о заказе нового конденсатора для замены старого.

Производство AVX/TPC для преобразовательной техники

Условно можно выделить две группы конденсаторов, а именно — фильтровые и для цепей развязки.

Фильтровые конденсаторы

На рис. 5 наглядно представлен спектр выпускаемой AVX/TPC продукции. К маслянополненным относятся конденсаторы TRAFIM

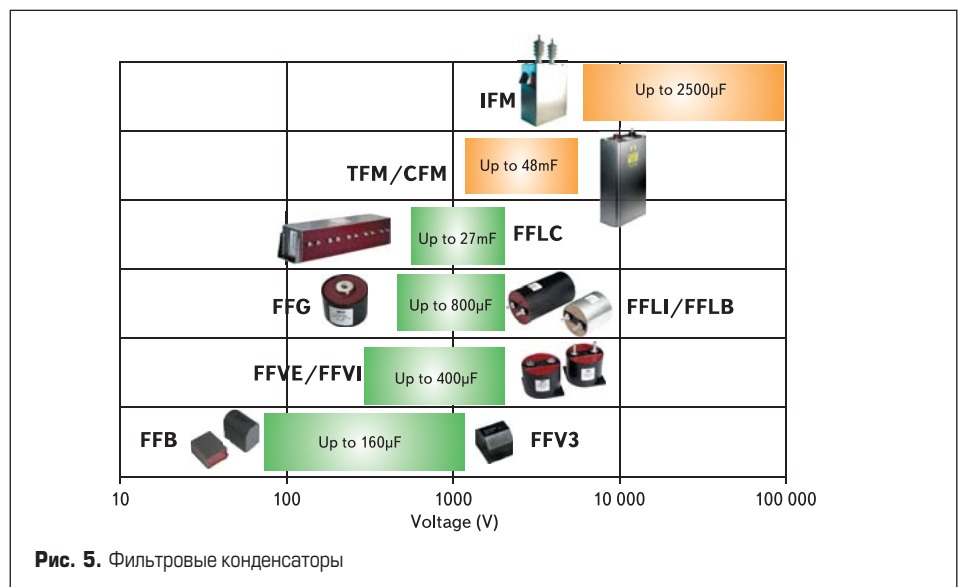


Рис. 5. Фильтровые конденсаторы

(TFM), SARAFIM (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;
- ПСН;
- зарядные устройства.

Особый интерес среди фильтровых представляют маслонаполненные конденсаторы FIM и сухие конденсаторы FFLC.

Фильтровые конденсаторы высокой мощности FIM

К ним относятся устройства серий TRAFIM, SARAFIM и FILFIM (рис. 6, 7). Еще в 1988 году для фильтров постоянного тока на базе технологии управляемого самовосстановления были разработаны конденсаторы серии TRAFIM (polypropylene Film, Impregnated and Metallized with Aluminium — из полипропиленовой пленки, металлизированной алюминием, наполненные рапсовым маслом). Они обладают сверхвысокой плотностью и, соответственно, наименьшими габаритами. Использование рапсового масла вместо газа на порядок снижает вероятность пробоя. С 1990 года выпущено более 103 000 конденсаторов, отработавших свыше 3 млрд часов без единого катастрофического отказа! Не так давно компания AVX/TPC объявила о начале производства очередного, 7-го поколения маслонаполненных конденсаторов серии TRAFIM, их срок службы увеличен со 100 000 до 300 000 часов.

Особенности конденсаторов FIM:

- диапазон емкостей: 2,6–15 600 мкФ;
- рабочее напряжение на постоянном токе: 1200–100 000 В;
- тестовое напряжение между выводами: $1,5 U_n$ в течение 10 секунд;
- срок службы при номинальном напряжении и максимально допустимой температуре корпуса: 100 000 часов (для поколения TRAFIM 7 — 300 000 часов);



Рис. 6. Внешний вид конденсатора FILFIM



Рис. 7. Внешний вид конденсатора FFLC

- максимальная температура корпуса: до +85 °С;
- стандартное значение максимального тока: 255 А;
- низкоиндуктивное исполнение: до 40 нГн;
- высокая плотность энергии: до 500 Дж/л (500 Дж – 30 кДж/конденсатор);
- корпус из нержавеющей стали (по заказу возможен алюминиевый).

Особенности конденсаторов FFLC:

- низкая реактивная мощность;
- номинальная емкость: 1120–8800 мкФ;
- рабочее напряжение: 680–1200 В DC;
- максимальная температура корпуса: 85 °С;
- рабочая температура: –40...+85 °С;
- максимальный ток I_{rms} : 140–300 A_{rms} ;
 - паразитная индуктивность: 28–40 нГн;
 - тестовое напряжение между выводами: $1,5 \times V_n$ DC в течение 10 с при 25 °С;
 - тестовое напряжение между выводами и корпусом: 4 кVrms при 50 Гц в течение 1 мин при 25 °С;
 - алюминиевый корпус.

Под заказ производятся конденсаторы с малыми паразитными индуктивностями, а также с напряжением до 1900 В.

На напряжения порядка 1200–1400 В рентабельнее использовать маслонаполненные конденсаторы FIM, а при напряжениях до 1200 В — сухие FFLC.

Конденсаторы для защитных цепей

Конденсаторы серий FSB, FPX и FPG также выполнены по технологии управляемого самовосстановления (рис. 8, 9). В данном случае, чтобы обеспечить высокий импульсный ток, используется усиленная металлизация. Таким образом, осуществляется защита IGBT-модулей от бросков напряжения и гарантируется длительный срок службы.

Области применения:

- снабберные цепи;

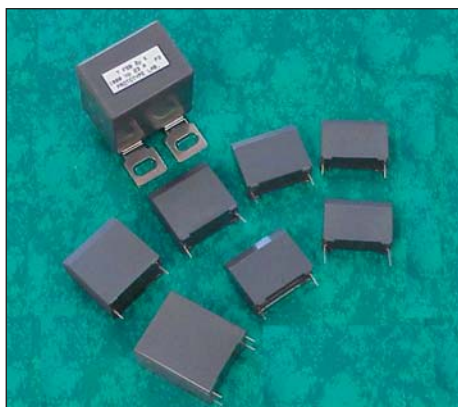


Рис. 8. Внешний вид конденсаторов FSB



Рис. 9. Внешний вид конденсаторов FPX/FPG

- защита тиристоров.
- Особенности:
- номинальная емкость 0,01 мкФ – 6 мФ;
 - напряжение постоянного тока 600–3000 В;
 - максимальная температура корпуса: 85 °С;
 - максимальный ток: 23–160 А (эф.ф.);
 - паразитная индуктивность: 5–25 нГн.

Заказные изделия

Как уже отмечалось, компания производит в основном заказные конденсаторы, и объем такой продукции составляет 80–85%. Это представляет большой интерес для разработчиков и конструкторов, так как отпадает необходимость «подгонять» конденсатор под размеры преобразователя. Дизайн заказных конденсаторов является «know-how» и не может быть раскрыт сторонним лицам без официального согласия собственника разработки. Пример заказного конденсатора FFLC показан на рис. 10.

В заказных изделиях учитываются не только требования спецификации к электрическим параметрам и габаритам. Можно также рассмотреть вопрос о замене батареи на один конденсатор, сделать корпус не из нержавеющей

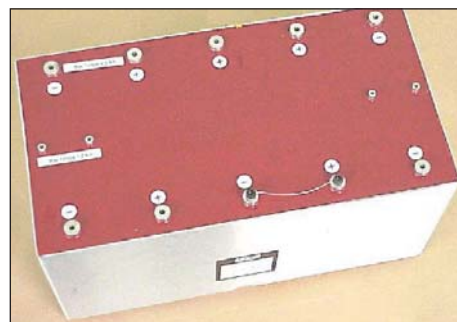


Рис. 10. Пример заказного конденсатора FFLC для замены батареи электролитических конденсаторов



Рис. 11. Вид ПСН с использованием заказного конденсатора

стали, а из алюминия. Иногда конструкция преобразователя требует особого расположения и крепежа конденсаторов, в частности, в перевернутом виде или на боку. ТРС выпускает конденсаторы с фронтальным расположением выводов, с водяным охлаждением. На рис. 11 представлен образец ПСН для высокоскоростного поезда с использованием заказного конденсатора.

Соответствие стандартам

Еще один важный момент — соответствие международным нормам и стандартам. Компания AVX/TPC при выпуске своей продукции руководствуется такими нормами и стандартами:

- IEC 61071. Конденсаторы силовые электронные: Общие положения и требования к испытаниям на разведение 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 воздействие 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.

Работа при низких температурах

Для климатических условий в России большую роль играет работоспособность компонентов при низких, отрицательных температурах. Использование рапсового масла в качестве наполнителя существенно улучшает диэлектрические свойства конденсаторов, и, таким образом, маслonaполненные конденсаторы FIM отлично работают при температурах до -60°C .

Проведенные испытания на прочность (напряжение $1,4 U_n$ при температурах -40 и -55°C , в том числе для перевернутого конденсатора),

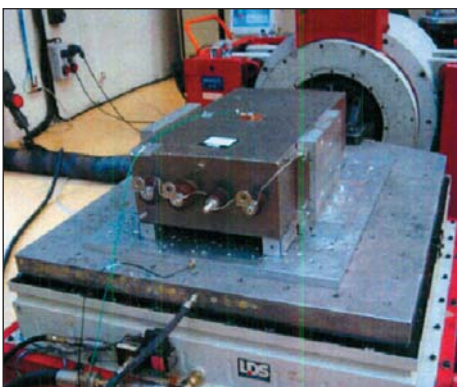


Рис. 12. Вибростенд

Рис. 13. Примеры использования конденсаторов AVX/TPC в системах управления электроприводом

а также термоциклирование показали возможность работы конденсаторов при -55°C в течение 100 000 часов.

Вибрационная стойкость

Использование конденсаторов в подвижном составе приводит к дополнительным требованиям по их виброустойчивости. Маслonaполненные конденсаторы TFM соответствуют требованиям стандарта IEC 61373 (категория 1, класс B).

Применение конденсаторов в схемах управления электроприводом

Как уже отмечалось, одним из главных рынков для компании AVX/TPC является преобразовательная техника. На рис. 13 схематично показаны виды конденсаторов и примеры их использования. Крупными заказчиками данной продукции являются такие компании, как Siemens, ABB, Convertteam.

Применение конденсаторов в гибридном транспорте

Еще одно перспективное направление в применении конденсаторов AVX/TPC — гибридный транспорт (рис. 14). В таких приложениях назначение конденсатора — это предотвращение выбросов пульсаций тока в источнике питания и сглаживание изменений напряжения на шинах постоянного тока. Среди заказчиков AVX/TPC — фирмы General Motors, Renault, Alstom и другие.

Заключение

Из представленного в статье обзора следует, что используемые ТРС технологии (самовосстановление, использование рапсового масла в качестве наполнителя) обеспечивают лидирующее положение ТРС на рынке конденсаторов для преобразовательной техники.

Рис. 14. Пример использования пленочных конденсаторов в гибридном транспорте