

Конструкция и производство конденсаторов для компенсации коэффициента мощности в сетях низкого напряжения

Сергей ЧАПЛЫГИН
sergej.chaplygin@seznam.cz
Владимир ФАЛЬТА
falta@zez-silko.cz

В статье обсуждается качество конденсаторов ZEZ SILKO при сравнении их с дешевыми изделиями из Азии, а также рассказывается о подходах в оптимизации затрат.

Введение

Фирма ZEZ SILKO (Жамберк, Чешская Республика) — давно и хорошо зарекомендовавший себя в Европе и на других континентах чешский производитель силовых конденсаторов (в СССР его продукция была известна под маркой ZEZ Praha). Конденсаторы завода применяются, прежде всего, в энергетике (традиционной, а также солнечной, ветряной), транспортной технике (скоростные поезда, городской электротранспорт), в индукционном нагреве и металлургии, а также во многих других отраслях промышленности, включая такие изысканные и взыскательные, как ядерные исследования (речь о поставках многие годы силовых конденсаторов ZEZ SILKO в CERN (Женева) для обеспечения работы ускорителей этого европейского центра ядерных исследований, и в частности, адронного коллайдера).

Фирма опирается на 80-летний опыт производства силовых конденсаторов в Чехии, которое началось после получения лицензии компании MIKAFIL (Франция) в 1934 году и развилось, особенно в последние 25 лет, в передовое производство. Оно оснаще-

но современным намоточным, станочным и автоматическим оборудованием известных мировых компаний компаний (METAR machines, HILTON), на котором проводятся все ответственные операции по изготовлению конденсаторов. Технологическое оборудование высшего класса в сочетании с применением материалов и компонентов от лучших производителей, а также опытный коллектив конструкторов обеспечивают в процессе производства очень высокий процент выхода высококачественных изделий (конденсаторов и дросселей). Это позволяет избежать непроизводительных временных и людских затрат по контролю в процессе производства или на исправление допущенных отклонений или выбраковку из-за несоответствия. Обеспечение высокой устойчивости, надежности, долговечности гарантирует любому заказчику комфортное применение этих чешских изделий при любых условиях окружающей среды и состоянии сетей и контуров. То есть, к примеру, будет плавиться оплетка на соединительных проводах, но конденсаторы ZEZ SILKO (рис. 1) выдержат. В этом на просторах Таможенного Союза уже имели возможность убедиться потребители от Жлобина (Беларусь) до Усть-Каменогорска (Казахстан).

При разработке новых изделий на фирме исходят не только из опыта и знаний, полученных в ходе производства конденсаторов, но также из идей и открытий собственного отделения развития. Не в последнюю очередь они опираются и на результаты многочисленных испытаний и проверок на живучесть, как кратковременных, так и длительных, проводимых в собственной испытательной лаборатории и в независимых внешних тестовых центрах, в частности в Германии. Заказчику результаты типовых и приемо-сдаточных испытаний предоставляются по его желанию.

В завершении статьи читатель найдет фотоприложение, где на примерах показаны результаты неправильной конструкции или примеры отступлений от технологии в производстве у некоторых (прежде всего азиатских) современных производителей конденсаторов. Эти нарушения и отступления выбраны в качестве примера именно потому, что они являются не случайными, имеют признаки системной недоработки технологии изготовления. Названия компаний-производителей не приводятся, так как антиреклама не является целью статьи. Также не рассматриваются различные сознательные отступления некоторых производителей от известных правил расчета конденсаторов в виде применения, например, более тонкого диэлектрика. Такие «трюки» вроде бы не являются прямым нарушением технологии, но зато позволяют предложить более дешевый конденсатор, хотя в «нагрузку» предлагается еще и широкополосный дроссель, без которого применение такого «нежного» конденсатора возможно только в сетях с идеальной синусоидой, без перегрузок и гармоник, что возможно только теоретически.

Емкостная секция

Самая главная часть конденсатора — емкостная секция. Ее свойства являются одним из ключевых факторов для высокой надежности и долговечности. Секция стандартно изготавливается намоткой двух металлизированных в вакууме полипропиленовых пленок. Материалом для металлизации служат, как правило, Zn, сплав ZnAl или Al. Пленки применяются различные по толщине и ширине, в зависимости от номинального напряжения и необходимой мощности конденсатора. Толщина полипропиленовой пленки обычно бывает в пределах 5–10 мкм, ширина — 37,5–100 мм. Неотъемлемым ус-



Рис. 1. Конденсаторы ZEZ SILKO

ловием качественного конденсатора является применение качественных полипропиленовых пленок известных проверенных изготовителей. Естественной составляющей обеспечения качества по этой позиции являются входные испытания и наличие сертификата качества, предоставляемого производителем такой пленки. Кроме того, очень важную роль в производстве конденсаторов играют современное намоточное оборудование, оптимальные рабочие условия и соблюдение требований по чистоте, температуре и влажности рабочих помещений, а также безукоризненная, отработанная до мельчайших деталей технология изготовления всего конденсатора.

После намотки секции следует операция шопирования. Она состоит в нанесении тонкого слоя металла (цинка) на обе торцевые стороны секции. Эти шопированные площадки обеспечивают электрический контакт отдельной секции в общей конструкции конденсатора. Далее следуют важные технологические операции по температурной стабилизации секции, отжиг и последующие контрольные измерения соответствия емкости и tgα.

Связка, соединения, пайка

Соединение секций в связку реализуется медными проводниками. При изготовлении трехфазного конденсатора обычно три отдельные секции включаются по схеме треугольник. Сама операция соединения секций, то есть пайка проводников на шопированные торцы секций, также очень важна. При этой операции есть опасность теплового повреждения секции и наоборот, при недостаточно пропаянном соединении возможна опасность возникновения так называемых холодных соединений. Сечения проводников необходимо правильно рассчитать с учетом не только номинального тока ($I = 2\pi fCU$), но также на возможное повышение тока вследствие наличия в реальной сети высших гармоник. Выводные проводники, которые выводятся на клеммик, имеют так называемый разрывной предохранитель. Он должен безопасно отключить конденсатор в случае аварийной ситуации или недопустимой перегрузки. По существу, речь идет о точно определенном механическом ослаблении (сужении) проводника, которое в процессе изготовления должно быть выполнено с высокой точностью, чтобы было обеспечено его надежное и правильное срабатывание в нужный момент.

Установка в корпус, импрегнация

Готовая связка секций далее устанавливается вместе с изоляциями в алюминиевый корпус. На специализированном устройстве делается складка безопасности на корпусе и фиксирование крышки с проходным изолятором к корпусу. Таким образом подготовленные конденсаторы поступают на про-

сушку и вакуумирование. Непосредственно после этих операций следует заполнение конденсаторов нелетучим газом — азотом. Следующим неотъемлемым условием для изготовления конденсаторов, наполняемых газом, является исключительная герметичность корпуса. Поэтому следующая операция — 100%-ная проверка всех изготовленных конденсаторов на специальном оборудовании — определителе негерметичности. Это устройство может с исключительной высокой чувствительностью обнаружить какую-либо микроскопическую течь.

Наконец, на конденсатор устанавливаются разрядные резисторы, и он проходит испытания согласно стандартам IEC (EN).

Политика качества и сертификация

Качество своих изделий ZEZ SILKO обеспечивает следующим образом:

- входной контроль ключевых материалов;
- приобретение материалов только от известных признанных изготовителей;
- 100%-ный контроль на решающих операциях;
- регулярное обучение сотрудников;
- 100%-ный выходной контроль согласно IEC (EN) 60831, с оформлением протоколов контроля и записью полученных параметров.

Проведены типовые испытания в независимых лабораториях VDE (Германия), в CESI (Италия); получен сертификат UL810 (для североамериканских потребителей). Сертификат ISO 9001 ZEZ SILKO получила в 1999 г. В настоящее время фирма находится в стадии сертификации согласно стандарту IRIS — на получение сертификата поставщика для железной дороги и тяговых средств железнодорожного транспорта. Мы бережно относимся к окружающей среде. Обеспечено соблюдение директивы RoHS, а также требований по экологической утилизации отходов; применяются безопасные материалы.

Как не должно быть...

Ошибки в конструкции или технологии на примере изделий некоторых производителей из Азии

То, что некоторые изготовители конденсаторов не соблюдают рассмотренные выше критерии при конструировании и производстве конденсаторов, свидетельствуют следующие фотографии конденсаторов чужого производства, попавших в лабораторию ZEZ SILKO, которые сопровождаются нашими пояснениями и комментариями.

Как показано на рис. 2, конденсаторы не имеют складки безопасности на корпусе. Обычно она выполняется примерно на расстоянии 20–30 мм от верхней части корпуса и существенно помогает надежному отключению конденсатора в случае недопустимой перегрузки или аварийной ситуации.



Рис. 2. Конденсаторы без складки безопасности на корпусе

Складка безопасности на корпусе вместе с возможностью вздутия верха корпуса примерно на 10–15 мм вверх обеспечивают надежную и безотказную функцию разъединителя по давлению и стала неотъемлемой частью производства, поэтому ее отсутствие должно насторожить потребителя, так как свидетельствует об отставании в технологии производства у данного производителя. Отсутствие на корпусе конденсатора складки безопасности значительно повышает риск неконтролируемого разрушения корпуса в случае аварии или перегрузки конденсатора.

При неправильно рассчитанных и неработающих разъединителях по давлению также имеется очень серьезный риск разрыва корпуса газами, которые возникают при активном процессе регенерации металлизированной полипропиленовой пленки. Такое может случиться из-за неправильной технологии изготовления секций или сильной перегрузки и благодаря повышенной температуре.

В отношении установки температурного датчика в качестве дополнительной меры безопасности, которая позволяет отключать и сохранять конденсатор до срабатывания аварийного разъединителя по давлению, необходимо заметить следующее: критическая температура на конденсаторе с высокими потерями будет достигнута очевидно раньше, чем у конденсатора с низкими потерями, и фактически такой датчик позволяет сохранить не очень качественный конденсатор, который плохо переносит наличие гармоник в сети или другие отклонения условий эксплуатации. Однако потребитель в результате такой охраны и отключения перегреваемых конденсаторов получит из сети некомпенсированную реактивную мощность, за которую должен платить поставщику электроэнергии, то есть конденсатор в таких случаях не выполняет свою прямую задачу. Правильно рассчитанный и выбранный на основе анализа сети конденсатор будет нагреваться при определенном уровне гармоник или от каких-либо других источников повышенной температуры рабочих секций, но его запас устойчивости позволит уверенно обеспечивать компенсацию сети потре-

бителя до уровня перегрузок, определенного стандартами. Таким образом, на наш взгляд, установка датчика температуры для отключения конденсатора при его перегреве является спорным решением.

Некачественное прессование деталей из пластмассы, например для клеммного терминала, в результате дает плохое соединение этих частей. Отдельные части вследствие этого не держатся в сборке и результат очевиден на фото. Нет особой нужды перечислять, к чему это ведет: пробой между контактами, ненадежный контакт соединительных проводников и т. п.

Разрядные резисторы

Неправильное размещение разрядных резисторов показано на рис. 3. Резисторы в процессе работы нагреваются в зависимости от приложенной мощности ($P = U^2/R$). В случае неподходящего места установки резисторов происходит дополнительный нагрев клеммника, что может привести к разогреву контакта, повышению вследствие этого переходного сопротивления в месте соединения и последующим серьезным отказам.



Рис. 3. Неправильное размещение разрядных резисторов

Секция

На рис. 4 представлены элементы емкостной секции. В случае применения неподходящего наполнителя (наполнителя конденсатора) уже в течение относительно короткого периода произойдет разбухание полипропиленовой пленки и ее повреждение — растрескивание, отслоение и другие нарушения металлизации. В результате вырастет значение коэффициента потерь, что приведет к росту температуры внутри секции и, в свою очередь, ускорит дальнейшее разрушение металлизации пленки. В результате произойдет быстрый выход из строя всего конденсатора. Конденсатор перестает работать, то есть не выполняет свою функцию, и происходит его отключение от сети.

Мы здесь не оцениваем тот факт, что приведенная на фото связка секций была установлена в цилиндрический корпус. Очевидно, таким образом производитель этих конденсаторов пытался показать, что

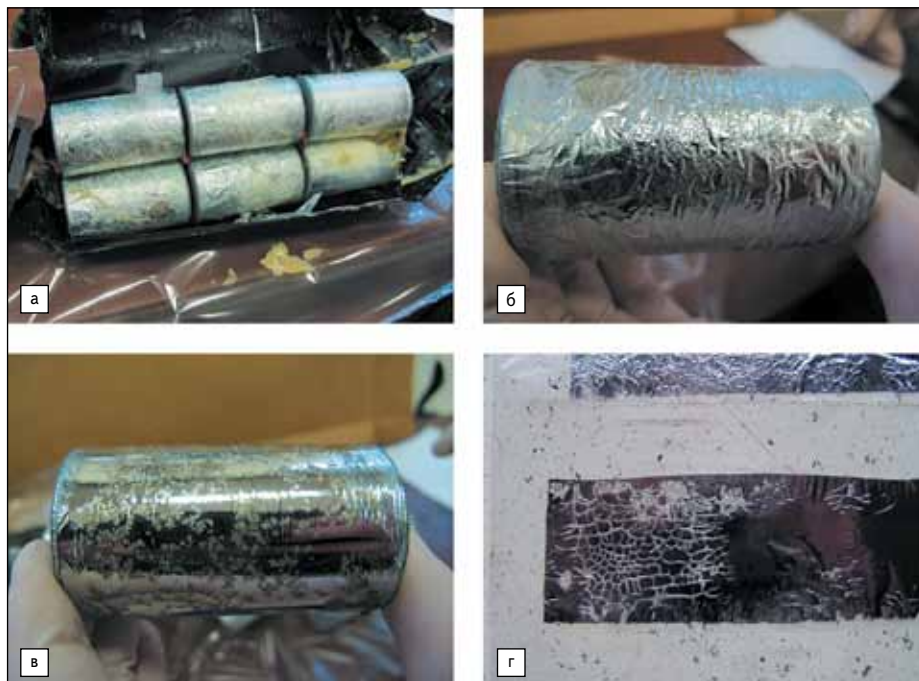


Рис. 4. а) Связка емкостных секций; б) отдельная секция с охранной пленкой; в) секция без охранной пленки с большим количеством сильных восстановлений (местных пробоев); г) полипропиленовая пленка со значительно поврежденной металлизацией

его конденсаторы хотя бы снаружи соответствуют современным подходам в конструировании и производстве компенсационных конденсаторов низкого напряжения. Но, как видим, этот производитель вынужден был собирать конденсатор из небольших секций, что свидетельствует об отсутствии у него оборудования для намотки больших секций, так как очевидно, что сама такая «гирлянда» даже теоретически уступает по надежности связке из цельных секций, то есть конденсатору, в котором каждая секция намотана точно на требуемую емкость.

Предохранители

На рис. 5 виден результат отказа плохо сконструированного предохранителя. Средний предохранитель прерван, то есть он сработал, а предохранитель справа цел, то есть не сработал. Это показывает, что функция разъединения, предохранения в этом кон-



Рис. 5. Результат отказа плохо сконструированного предохранителя

денсаторе не сработала, как того требовалось. В данном случае мы видим, что произошел отрыв контакта предохранительного проводника от шопированной поверхности секции. Правильно сконструированный и правильно установленный предохранитель должен всегда сработать на разрыв электрической цепи.

Как и в случае неправильно рассчитанного или неправильно изготовленного разъединителя по давлению, в случае неправильно срабатывающих электрических предохранителей имеется серьезный риск произвольного разрыва корпуса газами (взрыва конденсатора), которые в данном случае возникают от непрерывающегося аварийного тока, превышающего допустимые значения.

Пайка

На рис. 6 приведены примеры плохой технологии пайки. На рис. 6а — соединения не слиты, пайка получилась послойной. Недостаточный разогрев олова привел к так называемому холодному соединению, сопровождаемому высоким переходным сопротивлением, которое в процессе работы разогревается и приводит к повышению температуры конденсатора, что, в свою очередь, в лучшем случае ведет к сокращению срока его службы.

Большое количество соединений — мест припайки на шопированном торце секции (рис. 6б, в) — не является необходимым для правильной работы конденсатора. Наоборот: при проведении пайки больших контактных площадок произойдет чрезмерное нагревание полипропиленовой пленки в местах пайки. Это приведет к повреждению пленки под шопированным слоем.

В результате получается неизбежное сокращение срока службы или даже нарушение секции и отказ конденсатора.

Из снимков также очевидно применение чрезмерного количества флюса — окислителя, необходимого для пайки. В результате применения неподходящего средства может произойти его проникновение в слои секции и повреждение металлизации. На рис. 6б, в стоит обратить внимание на качество лицевых (шопированных торцов) сторон секции. Заметные кольца и неравномерная структура лицевой части секции на третьем снимке свидетельствуют о неосвоенной технологии намотки секций. Надо учитывать, что только качественная намотка секций обеспечивает долговечность конденсатора.

Все вышеуказанные технологические дефекты, то есть неправильная припайка проводников, некачественно намотанные секции, неподходящий импрегнант и другие технологические и конструктивные недостатки, в качестве результата дают повышенный нагрев конденсаторов и существенное сокращение их долговечности. В случае неподходящих, неправильно сконструированных или даже отсутствующих элементов безопасности конденсатора (например, предохранители-разъединители от превышения давления) имеется очень серьезный риск повреждения конденсаторов, разрыва корпуса или даже риск возникновения пожара с далеко идущими последствиями для окружающего оборудования и обслуживающего персонала.

О подходах в оптимизации затрат при компенсации реактивной мощности

Как видно по рис. 2–6, такие изделия, вследствие своего низкого технологического уровня и качества изготовления, не соответствуют требованиям современных рынков с большим количеством сложных потребителей (различные преобразователи, выдающие в сеть высшие гармоники, большое количество индуктивных нагрузок, различные импульсные устройства и т. д.). Производители таких конденсаторов это понимают и поэтому выходят на рынок с более низкими ценами, однако насколько соответствуют эти цены сниженным показателям качества их изделий?

Производители, обеспечивающие высокие показатели качества, свои цены устанавливают не только исходя из текущей стоимости исходных материалов, стоимости рабочей силы и конъюнктуры рынков, но также исходя из многолетнего опыта безотказной эксплуатации собственных изделий, так как именно показатели окупаемости, соотношенные с реальным сроком службы, позволяют определить справедливую рыночную цену (очевидно, что конденсатор, отработавший 20 и более лет, должен стоить дороже конденсатора, срок службы которого в лучшем случае составит 5–7 лет, как минимум в три раза — столько нужно «бюджетных» конденсаторов, чтобы покрыть срок действия одно-

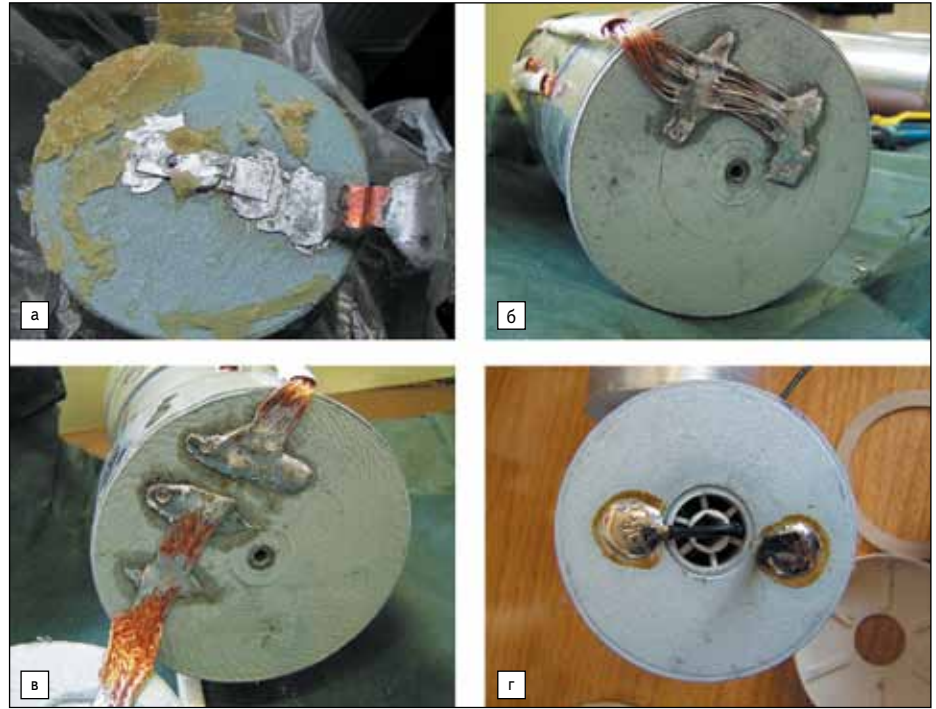


Рис. 6. Примеры плохой технологии пайки

го качественного конденсатора с указанным сроком службы). Производители дешевых конденсаторов осознают недостатки своих изделий и даже идут к потребителю со сниженными ценами, не объясняя свою политику ценообразования, не предупреждая о реальной живучести своих конденсаторов, хорошо понимая психологию потенциального покупателя, который, в силу разных причин, не способен и иногда даже не заинтересован адекватно оценить истинную цену применения «дешевых» конденсаторов (взрывы, возгорания, простой оборудования и персонала, дополнительные затраты по замене при необоснованных отказах, преждевременном старении, затраты на ремонт и пр.). Можно допустить, что и сами производители таких «бюджетных» конденсаторов не способны справедливо оценить свои изделия, цена на которые должна быть, очевидно, в разы ниже по отношению к уровню цен высококачественных конденсаторов, так как риски применения таких конденсаторов очень велики и реально они всегда готовы нанести урон бюджету предприятия — как того, которое поставило такие конденсаторы в свои установки, так и того, которое эти установки применяет. На практике, однако, потребитель видит предложения, хотя и соблазнительные, но все же не радикально отличающиеся от цен передовых производителей. Никто не считает убытки от таких конденсаторов в отраслях, эти неоправданные затраты скрыты за общими цифрами убытков конкретного предприятия, об этом нет никакой официальной статистики, поэтому масштабы отказов таких конденсаторов и экономический урон от их применения

в масштабах отраслей неизвестен. Однако он реально существует, информация распространяется между специалистами, и это, безусловно, оказывает давление на цену предложения конденсаторов, не только так называемых «бюджетных», но и в целом. На этом феномене необходимо остановиться более подробно: из-за отсутствия объективной информации по отказам устройств конкретных производителей возникает неосведомленность или искаженные представления у людей, принимающих решения. Понимание того, что невозможно правильно оценить качество конденсаторов, получить понятные, простые критерии отличия качественных изделий от некондиционных, сопровождающихся практически одинаковыми описаниями технических параметров и ссылками на одинаковые стандарты, ведет к тому, что формирует у покупателей интуитивное ощущение, что цены конденсаторов на всякий случай должны быть ниже. Потребитель, даже обладающий необходимой испытательной базой для входного контроля, не гарантирован от того, что высокие показатели присланных образцов будут в дальнейшем строго соблюдаться. Это дезориентирует и влияет на ценовую политику всех производителей. Поэтому иногда производители качественных конденсаторов вынуждены уступать перед напором спекулянтов по «продавливанию» цен, так как обе стороны лишены объективных ориентиров оценки качества, а те параметры, которые определены стандартами как показатели качества, на самом деле отражают лишь примерный, самый низкий уровень, ниже которого нельзя опускаться. Именно он записан

в каталогах производителей, поскольку и они не очень заинтересованы в раскрытии всех своих преимуществ. А поскольку конкуренты не стесняются использовать фото конденсаторов ZEZ SILKO в своих рекламных материалах, то можно предположить, что и лучшие показатели быстро окажутся там же.

Мы не говорим здесь о международной системе обеспечения качества, так как наличие аккредитованных независимых испытательных центров и лабораторий также не является полноценной гарантией в силу эпизодичности и специфики их контроля.

Заключение

Таким образом, говоря о справедливой цене для некондиционных конденсаторов, необходимо понимать, что, приобретая такое «дешевое» устройство по относительно низкой цене, потребитель парадоксально существенно переплачивает за его ненадежность, несоответствие стандартам, сроку службы и другие отклонения, связанные с несоблюдением технологии, которые не всегда можно определить по внешнему виду изделия.

Здесь уместно привести житейскую мудрость: «мы не настолько богаты, чтобы

покупать дешевые вещи...». Однако вспоминают об этом, как правило, уже после того, когда так удачно приобретенный конденсатор вдруг тихо перестал работать или громко бухнул, да так, что выгорело все, что было внутри установки. Мы прекрасно понимаем таких потребителей, а так называемые «откаты» еще и дополнительно стимулируют ответственных за покупки к частой замене.

Если наш анализ не убеждает, мы не будем настаивать на собственной точке зрения как единственно правильной. Хотя работаем мы быстро, чтобы успевать выполнить многочисленные заказы, но давно никуда не торопимся, мы готовы подождать, пока потребитель сам во всем убедится, — за нами опыт многих поколений чешских производителей силовых конденсаторов и, между прочим, такие простые свидетельства правильности выбранного пути, как наши дилеры, не только в Европе, но и в странах Азии продающие наши «дорогие» конденсаторы в самом центре производства «дешевых» — в Китае, Пакистане, Иране, Турции.

Девиз компании «ZEZ SILKO — это больше, чем просто хороший партнер!» становится понятным, когда нашу продукцию начинают сравнивать в процессе работы. ■