

# Конденсаторы ZEZ SILKO

## для силовой электроники

**Компания ZEZ SILKO s.r.o., чешский производитель силовых конденсаторов, уже в течение 80 лет занимается их производством. Фирма известна своими изделиями не только в области энергетики, компенсации реактивной мощности в сетях высокого и низкого напряжения или в области оборудования для индукционного нагрева, но также и в области силовой электроники.**

**Владимир Фальта**

**К**онденсаторы компании ZEZ SILKO s.r.o. для силовой электроники имеют весьма широкий спектр применения. Прежде всего, это оборудование для транспортных средств на электрической тяге, то есть преобразователи для электровозов, трамваев, троллейбусов, электричек метро, а также для новейших электроавтобусов на аккумуляторных батареях. Кроме того, компания поставляет конденсаторы для различных преобразователей и инверторов, которые применяются для управления приводами промышленного оборудования, в технологических линиях, дизельных агрегатах. В линейку продуктов компании входят также конденсаторы для многоуровневых преобразователей для преобразования электрической энергии, полученной от нетрадиционных (альтернативных) источников энергии, таких как, например, ветряные или фотоэлектрические (солнечные) электростанции. Конденсаторы компании можно увидеть в теле- и радиопередатчиках, в современном медицинском оборудовании, например в рентгеноскопических аппаратах, ультразвуковых или импульсных генераторах. Кроме того, они широко используются в оборудовании для защиты от перенапряжения. Не в последнюю очередь изделия компании используются и в оборудовании лабораторий передовых организаций и компаний, занимающихся, например, изучением физики элементарных частиц, таких как CERN (Европейский совет по ядерным исследованиям). Здесь конденсаторы ZEZ SILKO нашли свое достойное место в конструкции андронного коллайдера и в целом ряде других, не менее важных применений.

### Конструкция

подавляющее большинство конденсаторов, используемых в указанном выше оборудовании,

сконструировано с применением уже ставшей привычной для компенсационных конденсаторов низкого напряжения системы МКР. Речь идет о так называемой сухой (в отличие от импрегнированной) самовосстанавливающейся системе, в которой конденсаторная секция сделана из металлизированной полипропиленовой пленки. Конденсаторная секция, как правило, залита в корпусе самозатухающей полиуретановой (PUR) массой, отвечающей строгим требованиям стандарта UL 94. Контактные выводы чаще всего делаются в виде резьбовых шпилек M6, M10 или M12, а также в виде встроенных резьбовых втулок M6 или M8, или плоскими встроенными в корпус конденсатора шинами, которые позволяют практически безындуктивно соединить контакты конденсатора непосредственно с контактными площадками полупроводника. По цели применения конденсаторы компании, предназначенные для вышеперечисленного оборудования, можно разделить на три основные группы: конденсаторы постоянного тока; фильтрационные конденсаторы переменного тока; защитные демпфирующие конденсаторы.

### Конденсаторы постоянного тока

Данные конденсаторы служат для сглаживания волновых пульсаций напряжения постоянного тока. В электрических тяговых транспортных средствах они могут применяться в преобразователях как главных приводов, так и вспомогательных (рис. 1).

Для этой группы конденсаторов характерны большая собственная емкость, чаще всего 400–16 000 мкФ, высокая нагрузка по току (от 60 до 500 А), весьма низкая собственная индуктивность (у некоторых типов конденсаторов эта величина может быть



Рис. 1. Конденсаторы постоянного тока

менее 25 нГн). Номинальные рабочие напряжения варьируются в диапазоне от 700 В до 6 кВ постоянного тока. В транспортной технике (трамваи, троллейбусы, электропоезда метро) чаще всего используются конденсаторы с рабочим напряжением 900–1100 В, а в случае применения в преобразователях электровозов — с напряжениями 2–6 кВ. Выпускаются устройства в двух конструктивных исполнениях: цилиндрических алюминиевых корпусах диаметром 85, 116 и 136 мм разной высоты и в прямоугольных корпусах из нержавеющей стали или алюминия (для больших номиналов). Эти конденсаторы, как правило, разрабатываются и поставляются в соответствии с техническим заданием заказчика.

#### Фильтрационные конденсаторы переменного тока

Данные конденсаторы (рис. 2) необходимы для фильтрации переменной высокочастотной составляющей выходного напряжения и служат для выделения чистой синусоиды на выходе инвертора. Конденсаторы изготавливаются в однофазном и трехфазном исполнении. Рабочее напряжение 200–1200 В (эффективное). Доступен весьма широкий диапазон емкостей — от единиц до сотен микрофарад, в зависимости от номинального напряжения и размеров. Конденсаторы выполнены в алюминиевых корпусах диаметром от 65 до 136 мм. Корпуса сконструированы таким образом, что их верхняя часть позволяет надежно сработать системе защиты при превышении допустимого уровня давления. Чтобы такой разъединитель по превышению внутреннего давления надежно и должным образом сработал, конденсаторы необходимо подсоединять исключительно многожильными проводами достаточной длины и с достаточным запасом, чтобы они не препятствовали требуемому вздутию крышки конденсатора на 15 мм. Присоединительные контакты таких конденсаторов изготовлены в виде резьбовых шпилек М6 или М10, а трехфазные конденсаторы снабжены специальным внешним терминалом с контактными зажимами для каждой отдельной фазы.

#### Защитные демпфирующие конденсаторы

Демпфирующие конденсаторы (рис. 3), или снабберы, предназначены для снижения величины перенапряжений в переходных процессах, возникающих при коммутации силовых полупроводниковых элементов в случае индуктивной нагрузки в импульсных преобразователях напряжения. Кроме того, снабберы позволяют снизить динамические потери в силовых ключах, что позволяет облегчить их тепловой режим работы. Данные конденсаторы, прежде всего, используются в устройствах на IGBT и GTO, а в случае необходимости — в SCR-оборудовании. Характерной особенностью демпфирующих конденсаторов является их весьма низкая соб-



Рис. 2. Фильтрационные конденсаторы переменного тока

ственная индуктивность, как правило, в пределах 8–12 нГн, и высокая устойчивость по отношению к пиковым токам и напряжению. За некоторыми исключениями они всегда выполняются в цилиндрическом корпусе, изготовленном из высококачественного изоляционного материала с усиливающим наполнителем из стекловолнока. Аксиально расположенные выводы таких конденсаторов изготавливаются в виде встроенных (утопленных в корпус) резьбовых втулок с резьбой М6 или М8. Исключением в части конструктивного исполнения являются конденсаторы в плоских прямоугольных корпусах со сквозными контактными отверстиями, расположенными посередине корпуса конденсатора. Такое конструктивное исполнение позволяет устанавливать конденсатор непосредственно на выводы транзистора, что уменьшает паразитную индуктивность демпфирующей цепи в целом. Номинальная емкость данных типов конденсаторов, как правило, находится в пределах единиц микрофарад, а их номинальное рабочее напряжение составляет 1200–5500 В при номинальном рабочем токе до 80 А.

#### Специальные конденсаторы

Специальные конденсаторы разработаны для применения в специфическом оборудовании: медицинской технике, импульсных генераторах и лазерах, лабораторной техники ускорителей элементарных частиц (рис. 4). Их объединяет способность выполнять функцию накопления и сохранения энергии (energy storage). Эти конденсаторы всегда разрабатываются и изготавливаются в соответствии со спецификацией заказчика и под конкретную область применения. Речь идет о самых разнообразных конструкциях с различными параметрами: номинальное напряжение 1–20 кВ и емкости от десятков нанофарад до сотен микрофарад.



Рис. 3. Демпфирующие конденсаторы

Очень важным параметром является способность отдачи максимального количества энергии  $Q = 0,5CU^2$  за минимальный промежуток времени. Это требование в целом и определяет внутреннюю конструкцию конденсатора, а именно, вариант исполнения непосредственно самих конденсаторных секций, выбор размеров проводников тока, а также геометрическое расположение и вид выводов конденсатора.

Например, конденсатор типа ROBJN 1-20/0,2 (номинальное напряжение  $U_n = 20$  кВ, номинальная емкость  $C_n = 0,2$  мкФ), предназначенный для использования в составе ультразвукового ударного оборудования для измельчения желчных камней, имеет специальное аксиальное расположение выводов, благодаря чему достигается очень низкая собственная индуктивность. Конденсаторы для стоматологических рентгеноскопических аппаратов имеют компактные размеры при номинальном напряжении  $U_n = 40$  кВ и номинальной емкости  $C_n = 0,015$  мкФ. Весьма специфическую конструкцию имеют также конденсаторы серии RUDJS 1-80/0,0302 (номинальное напряжение  $U_n = 80$  кВ, номинальная емкость  $C_n = 30,2$  нФ), их пиковый разрядный ток не менее 2,2 кА. Эти конденсаторы предназначены и работают в оборудовании Большого адронного коллайдера (Large Hadron Collider, LHC) CERN. Конденсаторы изготовлены в специальных корпусах-трубках из стекловолна. Прочные, очень точно выполненные винтовые выводы этих конденсаторов расположены аксиально. Конденсаторы имеют высокие параметры в части срока службы и сохранения изменения емкости даже после 50 млн разрядных циклов. Отклонение их номинальной емкости в этом случае не превышает 1% от номинального значения.

Все конденсаторы, изготовленные на производственных мощностях компании, проходят приемо-сдаточные испытания согласно требованиям стандартов IEC 61071 и IEC 61881. Управление системой качества проверено и одобрено сертификационным органом



Рис. 4. Конденсаторы для специального оборудования

BUREAU VERITAS согласно стандарту ISO 9001. В 2014 г. фирма получила сертификат системы менеджмента IRIS — поставщиков для железнодорожной и транспортной техники.