

Пленочные конденсаторы будут жить вечно?

Пленочные конденсаторы существуют без каких-либо заметных изменений очень давно. Зачастую отличить самую последнюю модель от аналога, выпущенного двадцать лет назад, можно только по более свежему цвету краски. Значит ли это, что, остановившись в своем развитии, они постепенно и незаметно уйдут в историю, как это сейчас происходит с механическими реле? Или же пленочные конденсаторы заняли среди электронных компонентов нишу, в которой их характеристики, достигнутые еще много десятилетий назад, являются необходимыми и достаточными? Способов же заменить пленочные конденсаторы чем-то другим или предложений вовсе отказаться от них пока нет в прогнозах даже на ближайшее будущее.

Евгений ОБЫДЕННОВ

evgeniy.obydenov@ptelectronics.ru

Пленочные конденсаторы падают жертвой RoHS*?

Вопрос в такой провокационной формулировке периодически поднимается в Интернете и печатных изданиях, посвященных последним проблемам и тенденциям развития современной электроники. Речь идет не о том, что производители и потребители пленочных конденсаторов сталкиваются с трудностями сейчас, а о том, что следующее ужесточение принятых в RoHS норм может затронуть пленочные конденсаторы. При этом когда именно такое ужесточение произойдет, произойдет ли оно вообще и что именно может измениться в нормативах, сейчас никому не известно. Производители и разработчики электроники формулируют вопрос таким образом: «Если использовать пленочные конденсаторы станет невозможно, то как мы будем без них обходиться и чем сможем заменить?»

Несмотря на активную дискуссию, производители пленочных конденсаторов почти не принимают в ней участие. Никаких заявлений о принятии курса на свертывание производства в будущем или, наоборот, о выводе на рынок новых перспективных моделей с их стороны не поступает. Складывается ощущение, что бороться за будущее пленочных конденсаторов сами производители не собираются, а их производство существует лишь постольку, поскольку на них есть спрос в том виде, в котором они существуют сейчас. А если спрос пропадет, компании просто загружат свои производственные мощности чем-то другим. Один из редких комментариев, полученных от представителя производи-



теля пленочных конденсаторов, дословно звучит так: «Мы не продвигаем на рынке модели пленочных конденсаторов в чип-исполнении, потому что в этих корпусах мы производим керамические конденсаторы».

Пленочные конденсаторы на общем фоне технологического развития

RoHS — это не результат и не причина технического прогресса, по большому счету эта директива и развитие технологий вообще лежат в перпендикулярных плоскостях. RoHS — это законодательный акт, направленный на сокращение вредных выбросов в окружающую среду. Вся производимая в мире электроника рано или поздно ста-

новится отходами, которые либо перерабатываются, либо захораниваются. При этом содержащиеся в электронике вредные вещества попадают в окружающую среду. Среди веществ, содержание которых ограничено RoHS, для электроники актуальны свинец, ртуть, кадмий и шестивалентный хром.

Свинец содержится в некоторых видах припоев, а все бессвинцовые припои имеют более высокую температуру плавления, поэтому использовать их можно только с электронными компонентами, имеющими достаточную стойкость к нагреву. 80–90% всех выпускаемых сегодня пленочных конденсаторов имеют выводы для монтажа в отверстие, нагрев их корпуса при пайке не происходит, и, стало быть, паять их можно любым припоем. Поэтому вопрос о том, что RoHS может

* RoHS (Restriction of Hazardous Substance) — директива, ограничивающая содержание вредных веществ в различных потребительских товарах. Электроника, находящаяся внутри бытовых приборов, также подпадает под действие RoHS.

вытеснить из электронных устройств пленочные конденсаторы в том виде, в котором они больше всего распространены сейчас, не корректен. Другое дело, что монтаж в отверстие дорог по сравнению с поверхностным. Керамические конденсаторы, лишённые этого недостатка, в ряде случаев могут заменять пленочные. Пленочные конденсаторы, по сравнению с чип-керамическими, проигрывают по экономическим показателям, а не по соответствию требованиям RoHS.

Термостойкие диэлектрики, на основе которых можно производить пленочные конденсаторы в чип-исполнении, пригодные для пайки бессвинцовыми припоями, существуют достаточно давно. Небольшое количество пленочных конденсаторов в чип-корпусах, использование которых никак не нарушает нормативов RoHS, присутствует на рынке. Но их доля не увеличивается, то есть технология производства пленочных конденсаторов в современных чип-корпусах не получила развития и распространения. Это результат того, что конкуренция экономических показателей в большинстве случаев берет верх над конкуренцией по показателям надежности и долговечности оборудования.

Диэлектрик в керамических конденсаторах не плавится и не теряет своих механических свойств при температуре пайки, как это может происходить с пленочными конденсаторами. Но керамический конденсатор чувствителен к скорости нагрева и охлаждения, это усложняет технологию его пайки, а несоблюдение скорости нагрева и охлаждения приводит к возникновению трещин в структуре конденсатора. При пайке пленочных чип- и выводных конденсаторов такой проблемы не возникает.

То обстоятельство, что керамические чип-конденсаторы имеют значительно меньшие габариты, чем пленочные с аналогичной емкостью, в большинстве случаев не является указанием на устаревание технологии пленочных конденсаторов. Это лишь вопрос экономики: чем меньше места на плате занимает элемент, тем меньше и дешевле нужна плата, а чем меньше плата — тем меньше и дешевле корпус прибора. Пленочные конденсаторы превосходят керамические по надежности и стабильности показателей на протяжении всего жизненного цикла. Никаких предпосылок к тому, что сложившееся распределение достоинств и недостатков керамических и пленочных конденсаторов в ближайшее время будет меняться, нет. Керамические конденсаторы так и будут оставаться дешевыми, а пленочные — надежными, тяжелыми и дорогими.

Пленочные чип-конденсаторы производства WIMA

Германская компания WIMA — один из немногих производителей, создающий и активно продвигающий на рынке новые

современные модели пленочных конденсаторов в чип-исполнении. Пленочные конденсаторы WIMA соответствуют директиве RoHS, доступны в чип-корпусах типоразмеров 1812 (4,5×3,2×1,5 мм), 2220, 2824, 4030, 5040 и 6054 (15,3×13,7×7 мм), отличаются высокой надежностью и стабильностью параметров. Диапазон значений рабочего напряжения (63–1000 В) и емкости (от 1000 пФ до 6,7 мкФ) делает пленочные чип-конденсаторы WIMA современным аналогом почти всех выпускаемых в мире пленочных конденсаторов в корпусах с гибкими выводами.

В конденсаторах WIMA используются диэлектрики PET (Polyethylene naphthalate, полиэтилен нафталат) и PSS (Polyphenylene sulphide, полипропилен сульфид), выдерживающие пайку бессвинцовыми припоями и способные выдержать еще большие значения температуры, если какой-либо технологический процесс того потребует.



Рис. 1. Форма корпуса конденсатора WIMA для поверхностного монтажа

Пленочные чип-конденсаторы WIMA имеют полноценный пластиковый корпус (рис. 1), дающий по сравнению с бескорпусными или штампованными аналогами массу преимуществ:

- Прогрев тела конденсатора при пайке происходит более равномерно, исключается возможность повреждения конденсатора на этапе монтажа платы, требования к технологии пайки становятся более мягкими.
- Отсутствует опасность повреждения или отслоения контактов, связанная с эластичностью конденсатора.
- Отсутствует опасность расслаивания конденсатора во время пайки.
- Корпус конденсатора выполнен из огнестойкого пластика в соответствии со стандартом UL 94 V-0.

Пленочные сверхминиатюрные конденсаторы WIMA для монтажа в отверстие

WIMA производит самые миниатюрные пленочные конденсаторы из всех существующих сегодня на мировом рынке. Размеры конденсатора с выводами для монтажа в отверстие серии PCM2.5 составляют 2,5×7×4,6 мм.



Рис. 2. Конденсаторы WIMA с расстоянием между центрами монтажных отверстий 2,5 мм

Диапазон емкости конденсаторов серии PCM2.5 — от 100 пФ до 1 мкФ, диапазон рабочего напряжения — 50–400 В. Выбрана такая форма корпуса (рис. 2), что конденсатор занимает на печатной плате минимум места и подходит для решений, где требуются малые габариты и высокая плотность монтажа.

Конденсаторы серии PCM2.5 имеют хорошие частотные характеристики и предназначены для построения ВЧ-фильтров и прочих высокочастотных узлов. Диэлектриком служит полиэстер или полипропилен, либо применяется технология смешанных пленок. В последнем случае металлизированный с обеих сторон диэлектрик чередуется со слоями неметаллизированного. Такая конструкция конденсатора имеет высокую устойчивость к импульсным токам. Малые габариты достигаются за счет применения пленок толщиной 8 мкм и менее, такие пленки изготавливаются на специальных прецизионных станках, являющихся ноу-хау фирмы и представляющих собой коммерческую тайну.

Пленочные миниатюрные конденсаторы WIMA для монтажа в отверстие

Конденсаторы в корпусах серии PCM5 имеют размеры от 2,5×6,5×7,2 до 11×16×7,2 мм. Аббревиатура PCM в системе маркировки WIMA означает расстояние между центрами отверстий в посадочной площадке для конденсатора. В конденсаторах серии PCM5 диэлектриками служат полиэстер или полипропилен, либо применяется технология смешанных пленок.

Конденсаторы на основе полиэстера можно использовать для создания фильтров, развязок и других подобных узлов. Благодаря применению сверхтонких пленок их емкость достигает 10 мкФ. Конденсаторы серии MKS 2-НТ предназначены для работы при температуре окружающей среды до +150 °С. Их используют в промышленном оборудовании, приборах освещения, датчиках и сенсорах. Конденсаторы серии MKS 2-НТ производятся с применением специального высокотемпературного полиэстера, что уменьшает температурные девиации емкости, диэлектрических потерь и тока утечки.

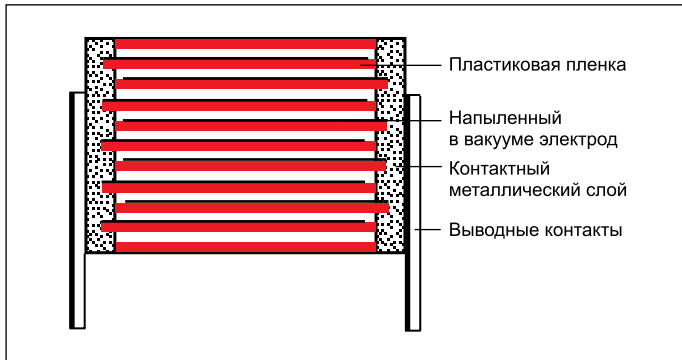


Рис. 3. Внутренняя конструкция металлизированных конденсаторов

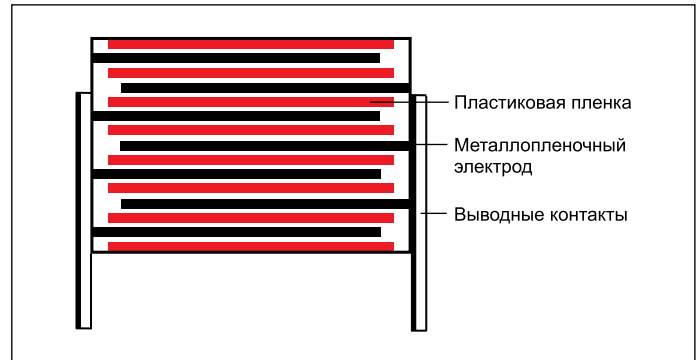


Рис. 5. Внутренняя конструкция фольговых конденсаторов

Конденсаторы на основе полипропилена можно использовать в высокочастотных цепях, таких как резонансные контуры и источники питания. Кроме того, эта серия конденсаторов находит применение в высококачественной аудиоаппаратуре. Ряд моделей полипропиленовых конденсаторов специальной конструкции предназначены для работы при больших значениях импульсного тока. Максимальное рабочее напряжение конденсаторов с полипропиленовым диэлектриком в корпусе РСМ5 составляет 1000 В.

Конденсаторы на смешанных пленках служат для использования в фильтрах, резонансных контурах и других цепях, где требуется высокая температурная стабильность. Они являются лучшим аналогом устаревших конденсаторов на основе поликарбоната.

Конденсаторы WIMA общего применения

Среди конденсаторов в корпусах РСМ7.5–РСМ37.5 разработчиком предоставлен широкий выбор типов диэлектрика, факторов корпуса, значений рабочего напряжения и емкости. По своей конструкции пленочные конденсаторы делятся на два типа: с металлизацией на диэлектрике и с обкладками из фольги.

Структурная схема конденсатора с металлизацией на диэлектрике показана на рис. 3. Обкладкой служит тонкая металлическая пленка, нанесенная на пленку диэлектрика. Выполненные таким образом пластины

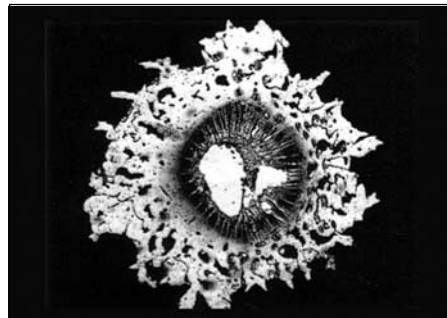


Рис. 4. Микрофотография канала пробоя

поочередно соединены с контактами конденсатора. Эта конструкция позволяет создавать устройства с наибольшим отношением емкость/объем. Среди всех выпускаемых WIMA конденсаторов самую большую емкость — 220 мкФ при рабочем напряжении 50 В — имеет модель MKS 4.

Особенность конденсаторов с металлизацией на диэлектрике — способность к самовосстановлению после пробоя. В месте пробоя тонкая металлическая пленка испаряется, область пробоя оказывается изолирована, и конденсатор продолжает работать. Микрофотография канала пробоя приведена на рис. 4.

Конденсатор с обкладками из фольги схематически показан на рис. 5. Слои диэлектрика чередуются со слоями тонкой фольги, которые соединены одним из своих краев с контактами конденсатора. Конденсаторы такого вида имеют самое низкое паразитическое сопротивление, благодаря чему нахо-

дят применение в различных импульсных схемах. Кроме того, неметаллизированный диэлектрик таких конденсаторов имеет очень низкий ток утечки.

Конденсаторы WIMA для работы на импульсном токе и напряжении

Стабильная работа конденсаторов при больших значениях импульсного тока обеспечивается рядом конструктивных особенностей. Одно из «узких» мест импульсного конденсатора — электрическое соединение между обкладками и контактами конденсатора.

В конденсаторах WIMA серии МКР 10 (рис. 6) применяют обкладки, выполненные в виде двусторонней металлизации на диэлектрической пленке. По сравнению с односторонней металлизацией это дает вдвое меньшее электрическое сопротивление пятна контакта между обкладкой и выводом конденсатора. Преимущества конденсатора на металлизированной диэлектрической пленке, такие как способность к самовосстановлению и большое отношение емкость/объем, сохраняются.

Особого внимания заслуживает конструкция FKP 4 и FKP 1. Конденсаторы FKP 4, как показано на рис. 7, имеют электроды из фольги, попарно соединенные с противоположными выводами конденсатора и перекрытые сверху слоями металлизированного с одной стороны диэлектрика. Такая конструкция позволяет конденсатору пропускать значительный импульсный ток и обеспечивает, как

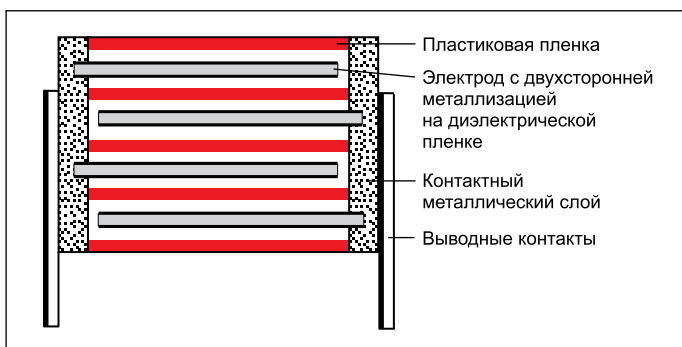


Рис. 6. Внутренняя конструкция конденсаторов серии МКР 10

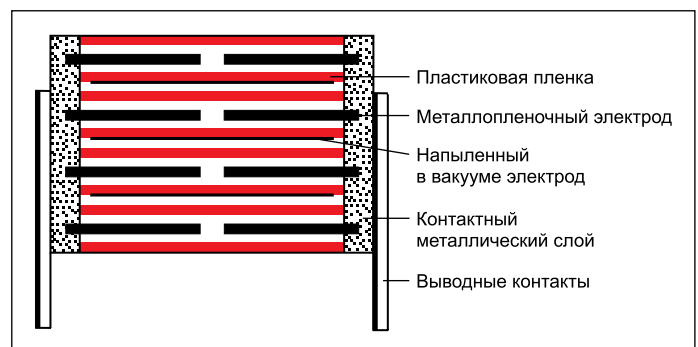


рис. 7. Внутренняя конструкция конденсаторов серии FKP 4

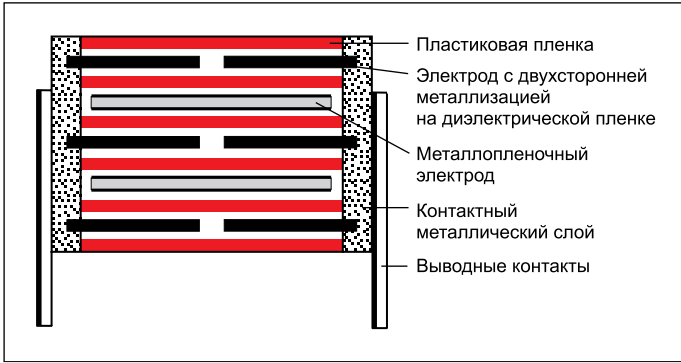


Рис. 8. Внутренняя конструкция конденсаторов серии FKP 1

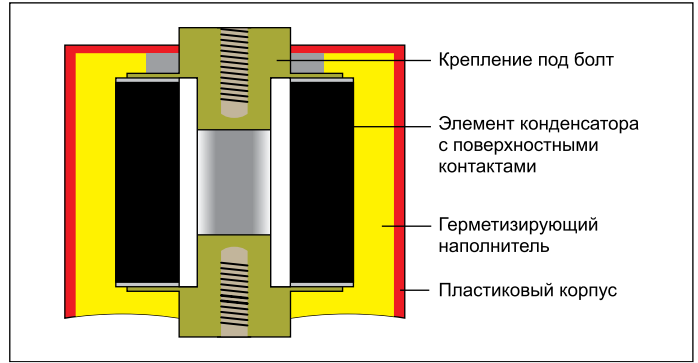


Рис. 10. Конденсаторы WIMA для подавления выбросов тока и напряжения в силовых преобразователях на IGBT-транзисторах и тиристорах

и у обычных конденсаторов с металлизированной диэлектрической пленкой, большое отношение емкость/объем.

Аналогичным образом устроены конденсаторы серии FKP 1, с той лишь разницей, что в них попарно соединенные с выводами конденсатора пластины перекрыты пленкой диэлектрика с двусторонней металлизацией (рис. 8). Конденсаторы этой серии предназначены для работы при особо больших значениях импульсного тока. При этом преимущества конденсаторов с металлизированным диэлектриком (способность к самовосстановлению и большая удельная емкость) сохраняются.

Конденсаторы WIMA для подавления выбросов в силовых преобразователях

WIMA выпускает несколько серий конденсаторов, предназначенных для подавления выбросов тока и напряжения в силовых преобразователях на IGBT и тиристорах. Поскольку тиристорные и транзисторные преобразователи отличаются принципом работы, частотой и характером возникающих в них выбросов, для работы в каждом типе преобразователей служит специальный тип конденсаторов.

На рис. 9 показан конденсатор для работы в цепи снаббера импульсного преобразователя. Контакты конденсатора, выполненные в виде винтовых клемм, обеспечивают большую площадь контакта с ответными прово-

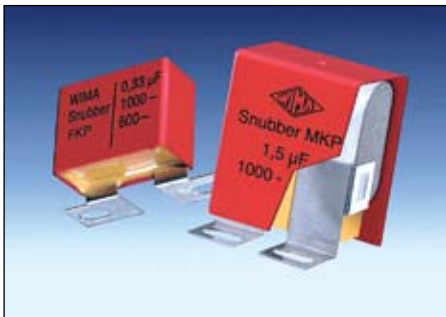


Рис. 9. Демпферные конденсаторы WIMA

дниками и тем самым долговечную работу узла при больших значениях импульсного тока. В конструкции конденсатора применена металлизированная с двух сторон полипропиленовая пленка.

Конденсаторы для работы в силовых тиристорных преобразователях имеют цилиндрические корпуса из негорючего пластика с резьбовыми креплениями под винт М6 либо М8 в торцах (рис. 10). Конструкция корпусов позволяет полностью герметизировать электрическую цепь. Конденсаторы имеют емкость 1–100 мкФ и рабочее напряжение 400–1500 В. Диэлектриком служит металлизированная полипропиленовая пленка.

Радиочастотные конденсаторы WIMA

Пленочные конденсаторы подавления помех радиочастотного диапазона (рис. 11) служат как для подавления помех, излучаемых электронным прибором, так и для защиты

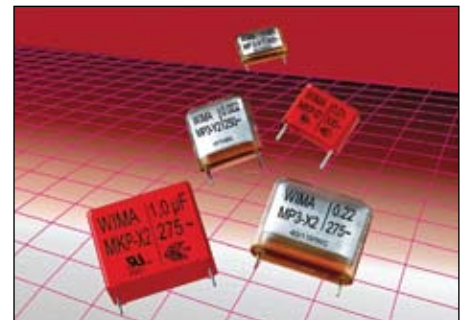


Рис. 11. Радиочастотные конденсаторы WIMA

цепи от пульсаций и выбросов, приходящих по линиям питания.

Существуют два типа радиочастотных пленочных конденсаторов — X и Y. Первый может использоваться в цепях питания, будучи включенным между фазами либо между фазой и нулевым проводом. Конденсаторы типа Y обладают большей механической и электрической стойкостью, их можно включать между

Таблица. Сравнение различных диэлектриков

Параметр	PET	PP	PEN	PPS	NPO	X7R	Тантал
Диэлектрическая проницаемость 1 кгЦ/23 °С	3,3; увеличивается с ростом температуры	2,2; уменьшается с ростом температуры	3; увеличивается с ростом температуры	3; мало зависит от температуры	12–40	700–2000	26
Диапазон рабочих температур, °С	–55...+105	–55...+100	–55...+125	–55...+140	–55...+125	–55...+125	–55...+125
Диэлектрические потери, %	0,5	0,05–0,1	1	0,05	0,6	2,5	п.а. (нет данных)
Температурный дрейф емкости, %	±5	±2,5	±5	±1,5	±1	±15	±10
Дрейф емкости в зависимости от напряжения, %	Несущественный	Несущественный	Несущественный	Несущественный	Несущественный	–20	Несущественный
Кoeffициент старения, %/ч (емкость уменьшается)	Несущественный	Несущественный	Несущественный	Несущественный	Несущественный	2	п.а. (нет данных)
Объемные диэлектрические потери	1 кгЦ	0,8	0,05	0,8	0,2	0,01	2,5
	10 кгЦ	1,5	0,08	1,5	0,25		
	100 кгЦ	3	0,25	3	5		
ESR	Низкий	Очень низкий	Низкий	Очень низкий	Низкий	Средний	Высокий
Ris, МОм·мкФ	+25 °С	10 000	100 000	10 000	10 000	10 000	1000
	+85 °С	1000	10000	1000	1000	1000	500
Диапазон емкости	220 пФ – 220 мкФ	27 пФ – 100 мкФ	1000 пФ – 6,8 мкФ	10 000 пФ – 0,47 мкФ	1 пФ – 0,1 мкФ	100 пФ – 2,2 мкФ	100 000 пФ – 1000 мкФ
Класс точности, ±%	5/10/20	1/2,5/5/10	5/10/20	2,5/5/10/20	5/10	10/20	10/20
Способность к самовосстановлению после пробоя	Да	Да	Да	Да	Нет	Нет	Нет
Наиболее вероятное состояние после отказа	Разомкнут	Разомкнут	Разомкнут	Разомкнут	Закорочен	Закорочен	Закорочен
Общая надежность	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	Средняя	Низкая
Пьезоэлектрический эффект	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Да	Да
Устойчивость к механическим и тепловым перегрузкам	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая	От низкого до среднего	От низкого до среднего	Высокая
Полярность					Нет		Да

фазой питания и корпусом прибора. В соответствии со стандартом IEC 60386-14 максимальное переменное рабочее напряжение больше максимального постоянного на 10%. Эту особенность нужно помнить и учитывать при проектировании, поскольку в таблицах характеристик для пленочных конденсаторов всегда указан только один тип напряжения.

Полипропиленовые радиочастотные конденсаторы WIMA типов X2 и Y2 имеют емкость до 2,2 мкФ при рабочем напряжении ~275 и ~300 В. Цена этих конденсаторов невелика, что делает их привлекательными для потребителей.

Радиочастотные металлобумажные конденсаторы WIMA выпускаются в негорючих кор-

пусах, выполненных методом заливки эпоксидной смолой в вакууме. Конденсаторы имеют рабочий диапазон температур до +110 °С и соответствуют классу безопасности X1, X2 и Y2. Благодаря свойствам бумажного диэлектрика, способность к самовосстановлению у этих конденсаторов чрезвычайно высока, даже при большом импульсном токе. ■