

Надежность и срок службы пленочных конденсаторов

Олег Гнеушев

oleg.gneushev@eu.tdk.com

Один из самых распространенных радиоэлементов в любом электронном устройстве — конденсатор. Конденсаторы бывают электролитические, керамические, пленочные, танталовые и т. д. Каждый из этих типов обладает рядом достоинств и недостатков, что и определяет область их применения и распространенность.

Низкая цена и доступность приводят к широкому распространению электролитических и керамических конденсаторов. Однако они подходят не для всех целей. Так, например, высокие токи утечки не позволяют использовать электролиты в измерительных цепях, а применение керамических конденсаторов ограничено из-за высокого значения диэлектрической абсорбции. Очень часто именно пленочные конденсаторы благодаря низкому $\text{tg}\delta$, малой абсорбции, минимальным токам утечки, высокой надежности и длительным срокам службы являются оптимальным выбором для решения определенных задач.

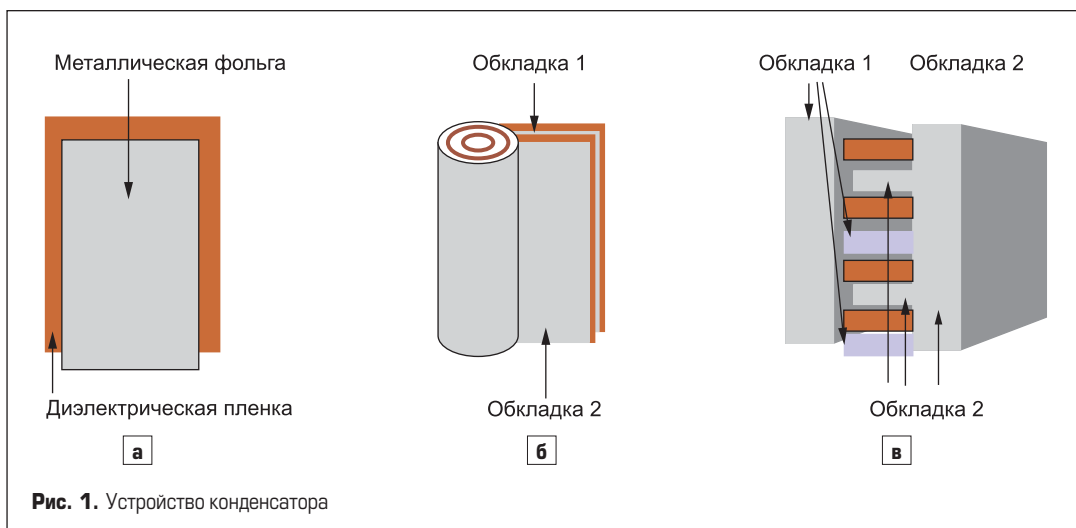
Устройство пленочных конденсаторов

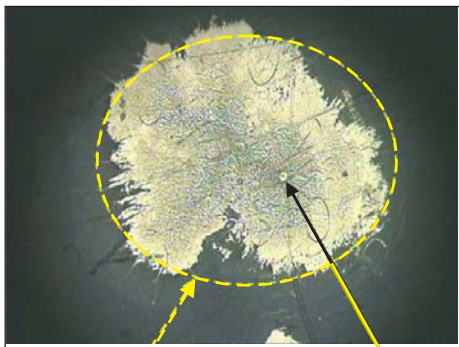
Пленочные конденсаторы представляют собой конструкцию с диэлектриком из пленки. В процессе производства на диэлектрическую пленку напыляют металлический слой (металлопленочные конденсаторы) либо напрессовывают фольгу (фольговые конденсаторы) (рис. 1а).

В самом простом случае полученную пленку сворачивают в рулон (рис. 1б) — такая конструкция проста в изготовлении, но имеет большую паразитную индуктивность. С целью снижения индуктивности конденсаторы для высокочастотных приложений изготавливают в виде многослойного стека-пачки (рис. 1в), что, по сути, является множеством параллельно соединенных конденсаторов.

Большинство типов конденсаторов при разовых перегрузках выходят из строя безвозвратно и по факту являются «одноразовыми». Одно из главных отличий пленочных конденсаторов от конденсаторов других типов — способность к самовосстановлению, что позволяет им выдерживать множественные броски тока и напряжения, в несколько раз превышающие номинальные параметры конденсатора. Это свойство делает пленочные конденсаторы самыми надежными и долго живущими из всех типов конденсаторов, поэтому такие конденсаторы нашли широкое распространение как в слаботочной, так и в силовой электронике.

Неудивительно, что производителей пленочных конденсаторов очень много. Практически все они заявляют сходные параметры и сроки службы своей продукции, хотя часто даже внешне, по габаритам, пленочные конденсаторы с одинаковыми заявленными параметрами различаются очень сильно, еще сильнее может отличаться цена на них.





Зона деметаллизации, размер несколько мм Точка пробоя, диаметр 10–100 мкм

Рис. 2. Самовосстановление диэлектрической прочности пленочного конденсатора

На практике же многие производители электроники имели возможность убедиться, что срок службы и надежность, казалось бы, одинаковых пленочных конденсаторов отличается в разы, некоторые из них выходят из строя через несколько месяцев, а другие служат верой и правдой долгие годы.

Основные факторы, влияющие на срок службы пленочных конденсаторов

Рассмотрим более подробно силовые пленочные конденсаторы. Срок службы пленочного конденсатора зависит от количества и энергии случившихся микропробоев, которые происходят чаще в процессе эксплуатации и износа конденсатора. Каждый случай самовосстановления приводит к небольшому снижению емкости конденсатора. Для силовых конденсаторов DC срок жизни определяется временем, за которое емкость снизилась на 3% от первоначального значения, этот критерий устанавливается стандартом IEC 61071.

Рассмотрим способность пленочных конденсаторов к самовосстановлению (рис. 2). Если при перенапряжении произошел пробой диэлектрика, то через место пробоя начинает протекать ток, который будет разогревать металлическую пленку около места пробоя. Постепенно разогреваясь, металл расплавляется и испаряется. В результате диэлектрическая прочность восстанавливается.

Вследствие того, что постепенно снижается площадь металлизации, происходит также и снижение площади контактов внутренних соединений конденсатора, поэтому растет фактор потерь tgδ по мере старения конденсатора. Количество и энергия микропробоев в конденсаторе зависит от накапливаемой деградации (износа) диэлектрика. Основные факторы, влияющие на скорость деградации диэлектрика, — влажность и электрическая напряженность поля в диэлектрике. Эти факторы действуют в течение всего срока нормальной эксплуатации конденсатора.

Срок службы:
 $L_T = L_0 \exp((T_0 - T_{diel})/AC)$
 $L_0 = 100\ 000\ \text{ч}$
 $T_0 = 70\ \text{°C}$

AC = Коэффициент Аррениуса

Менее 50 °C - > 13
 50...80 °C - = 13
 Более 80 °C - < 13

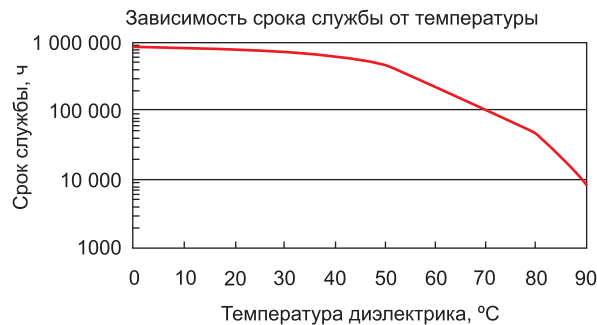


Рис. 3. График срока службы пленочного конденсатора в зависимости от температуры

Зависимость срока службы от температуры описывается законом Аррениуса и имеет экспоненциальную форму (рис. 3).

Зависимость срока службы конденсатора от напряженности поля в диэлектрике показана на рис. 4.

Чтобы конденсатор прослужил заданное время, очевидно, что допустимая температура должна быть увязана с рабочим напряжением: рабочее напряжение должно быть ниже при высокой температуре окружающей среды

и, соответственно, разрешенное рабочее напряжение может быть выше при низкой температуре (рис. 5).

Общая формула для оценки срока службы силовых пленочных конденсаторов выглядит следующим образом:

$$L = L_0 \times e^{\frac{(T_0 - T_{diel})}{AC}} \times \left(\frac{U_{oper}}{U_n} \right)^{-VSF}$$

где $L_0 = 100\ 000\ \text{ч}$; $T_0 = 70\ \text{°C}$; $AC = 13$; $VSF = 16$.

Срок службы:
 $L_V = L_0 \times (U/U_n)^{-VSF}$
 $L_0 = 100\ 000\ \text{ч}$
 $U_n = \text{Номинальное напряжение}$
 VSF-Стресс-фактор напряжения °C

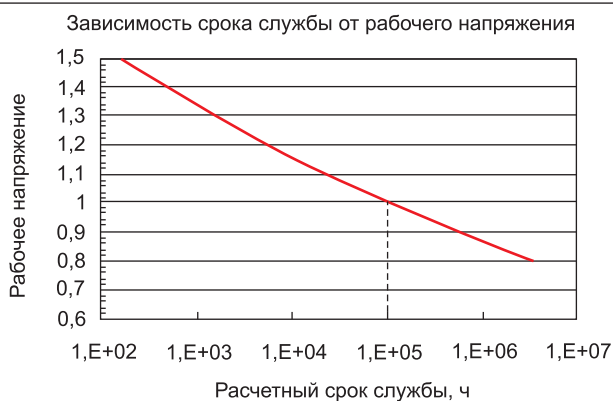


Рис. 4. График срока службы пленочного конденсатора в зависимости от напряженности поля в диэлектрике

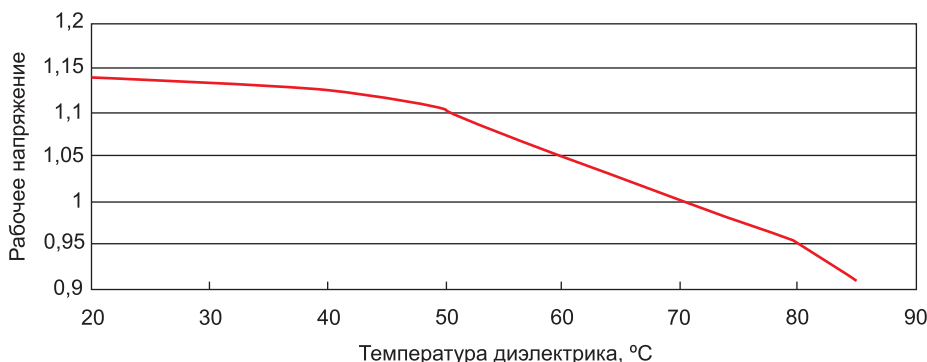


Рис. 5. График зависимости рабочего напряжения пленочного конденсатора от температуры окружающей среды

Надежность

Надежность, согласно IEEE (Институт инженеров электротехники и электроники), — это способность компонента выполнять требуемую функцию в установленных условиях определенный период времени. Введение понятия интенсивности отказов — это способ оцифровать надежность компонента. Это частота, с которой компонент отказывает, и время между отказами — обратная величина — MTBF. Параметр Failure In Time (FIT) для серии компонентов показывает **ожидаемое количество отказов за 10^9 ч работы**.

Для конденсаторов, сделанных по разным технологиям, значение FIT отличается. Так, для сухих (газонаполненных) конденсаторов FIT = 100, для маслonaполненных и конденсаторов с компаундным заполнением FIT = 200.

Методика проверки надежности силовых пленочных конденсаторов

Как было показано выше, пленочные конденсаторы очень надежны и способны выдерживать большие перегрузки, сохраняя при этом работоспособность. Однако при одних и тех же условиях некоторые конденсаторы работают на пределе возможностей — происходят частые микропробои, через несколько месяцев они те-

ряют емкость и выходят из строя, а другие конденсаторы работают надежно на протяжении десяти и более лет. Во многих сферах применения срок службы силовых конденсаторов имеет принципиальное значение.

Каким же образом можно проверить надежность силовых конденсаторов, если они выдерживают многократные перегрузки и не «умирают» быстро? Для этого применяют специальную методику ускоренного старения конденсаторов, описанную в международном стандарте IEC 61881-1.

Для конденсаторов DC-применения проводят один из тестов. Конденсатор помещают в специальную камеру с повышенной температурой:

- прикладывают 1,3 номинального напряжения конденсатора в течение 500 ч при температуре +70 °C;
- если требуется более быстрое получение результата, прикладывают 1,4 номинала напряжения в течение 250 ч при температуре +70 °C.

Критерием прохождения теста является падение емкости конденсатора менее чем на 3%. Сравнительные тесты по этой же методике проводят для определения надежности и срока службы конденсаторов, сделанных по разным технологиям, или конденсаторов разных производителей.

Для конденсаторов AC-применения проводят аналогичные тесты:

- прикладывают 1,25 номинального напряжения конденсатора в течение 500 ч при температуре +70 °C;
- если требуется более быстрое получение результата, прикладывают 1,35 номинала напряжения в течение 250 ч при температуре +70 °C.

Критерий прохождения теста — падение емкости конденсатора менее чем на 3%.

Падение емкости на 3% на первый взгляд не кажется критичным. Но дело в том, что процесс старения происходит по экспоненциальному закону, соответственно, быстро ускоряется. Поэтому очень полезно для оценки того, насколько хорошо конденсатор справился с условиями ускоренных тестов, дополнительно контролировать изменение tgδ. Этот параметр характеризует износ внутренней структуры конденсатора в процессе эксплуатации. Критерием выхода конденсатора из строя является увеличение значения tgδ в 1,5 раза по сравнению с измеренным перед тестом первоначальным показателем.

Результаты тестов, полученные в течение нескольких недель, дают четкое представление о надежности тех или иных пленочных конденсаторов разных производителей, и дают возможность уже на этапе разработки спрогнозировать надежную работу оборудования на протяжении длительного времени.