

# Пассивные ВЧ/СВЧ-компоненты American Technical Ceramics

**В настоящее время на рынке представлено большое количество различных пассивных ВЧ- и СВЧ-компонентов (конденсаторов, резисторов, индуктивностей и т. д.). Однако немногие производители могут предложить компоненты, которые характеризуются высокой надежностью, стабильностью параметров и широким диапазоном рабочих температур. Одним из таких производителей является компания American Technical Ceramics (ATC), продукцию которой мы рассмотрим в данной статье. Но сначала кратко расскажем о самой компании.**

**Станислав Дидилев**

sd@may.ru

Компания American Technical Ceramics была образована в Нью-Йорке в 1966 году и вначале называлась Phase Industries Inc. Свое нынешнее название компания получила в июне 1984 года.

АТС разрабатывает и производит керамические и фарфоровые многослойные конденсаторы, однослойные керамические конденсаторы, индуктивности, резисторы и мощные нагрузки, а также заказные изделия на базе многослойной керамики для использования в ВЧ/СВЧ, медицинской аппаратуре, в системах ВОЛС, а также в широком спектре изделий специального назначения и аэрокосмической отрасли.

Компания имеет собственный исследовательский центр в Джексонвилле, Флорида (Jacksonville, Florida), деятельность которого направлена на создание новых компонентов и улучшение параметров уже существующих. Основное производство АТС сосредоточено в Хантингтон Стэйшн, Нью-Йорк (Huntington Station, New York), однако часть производства находится там же, где и исследовательский центр, — в Джексонвилле. Эта часть производства подверглась серьезной модернизации и в настоящее время позволяет производить высококачественные керамические структуры различных размеров, форм и внутренней конфигурации со строго заданными параметрами. Производство сертифицировано по стандарту ISO-9001, а вся продукция сертифицирована по жестким стандартам MIL-PRF55342, MIL-STD202 и ANSI/J-STD-002. Сбыт продукции осуществляется через широкую сеть представительств в США, Европе, Канаде и странах Азиатско-Тихоокеанского региона.

Как было отмечено выше, продукцию АТС составляют много- и однослойные керамические и фарфоровые конденсаторы, различные резистивные продукты, чип-индуктивности, а также заказные специализированные тонкопленочные схемы. Рассмотрим каждый тип продукции более подробно.

Многослойные конденсаторы характеризуются:

- фарфоровым и керамическим диэлектриком с температурным коэффициентом  $\pm 90, 30 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ ;
- рабочим температурным диапазоном до  $-55...175^\circ\text{C}$ ; ультрастабильностью, устойчивостью к внешним воздействиям (диапазоны допусков: 0,1 пФ, 0,25 пФ, 0,5 пФ, 1%, 2%, 5% и более);
- самой высокой добротностью в промышленности ( $Q$  больше чем 10000, tg угла диэлектрических потерь менее 0,0001);
- низким эквивалентным последовательным сопротивлением (ESR/ESL), минимальными потерями на выводах, высокой частотой саморезонанса;
- высокой мощностью при работе в СВЧ-диапазоне. Низкие значения ESR и напряжения пробоя диэлектрика допускают режим работы 15 кВт в импульсе (900 Вт средняя мощн.) на 500 МГц (3000 В, 17 А, СВЧ) в 50-омных системах или 500 Вт непрерывно на 1 ГГц в системах 50 Ом;
- разнообразным покрытием выводов, различной конфигураций исполнения: чип, выводные, сборки.

Многослойные конденсаторы АТС выпускаются в основном четырех типоразмеров:

- «А» (0,05×0,05 дюйма),
  - «В» (0,11×0,11 дюйма),
  - «С» (0,23×0,25 дюйма),
  - «Е» (0,38×0,38 дюйма)
- с тремя типами диэлектриков:
- фарфоровым с низкими потерями (серия 100),
  - с нулевым температурным коэффициентом (серия 700),
  - с высокой диэлектрической проницаемостью (серия 200).

Серия 100 конденсаторов является основной в линейке продуктов компании и выпускается на протяжении 35 лет на основе запатентованного АТС фарфорового диэлектрика. Она широко ис-

пользуется в различных ВЧ- и СВЧ-устройствах. Серия 700 чуть менее эффективна в энергетическом плане, но благодаря низкому температурному коэффициенту конденсаторы этой серии обладают высочайшей стабильностью параметров. Конденсаторы серии 200 используются в основном в компактных устройствах, где требуется высокая емкость в ограниченном объеме.

Все выпускаемые АТС конденсаторы можно разделить на две группы: для коммерческого применения и высоконадежные. Однако данное деление условно. Оно основывается на количестве стадий тестирования, которым подвергаются конденсаторы, и ширине допуска измеряемых параметров.

Применение коммерческих продуктов АТС весьма разнообразно: это системы сотовой связи, персональные коммуникационные системы (PCS), медицинское оборудование, оборудование для полупроводниковой промышленности и многое другое. Что касается высоконадежных компонентов, то они, как правило, применяются в спутниковых системах связи (включая коммерческие коммуникационные спутники), в различной военной авиационной и космической технике, высокоточном оружии и т. д.

Каждый из высоконадежных компонентов проходит серию тестов, включающих климатические испытания, а также инструментальные измерения, проверяющие соответствие заявленным параметрам. Причем условия и тип испытаний определяются не только требованиями стандартов, но и пожеланиями заказчиков.

Исторически сложилось так, что рынок высококачественных многослойных ВЧ/СВЧ-конденсаторов ориентирован в основном на применение в дорогостоящем мелко- и среднесерийном оборудовании, требующем значительных капиталовложений. И поскольку стоимость отказа подобного оборудования весьма велика, заказчики готовы платить большие суммы за данную продукцию. Однако в последнее время активное развитие различных телекоммуникационных систем обусловило спрос на высококачественные компоненты среднего ценового диапазона, предназначенные для массового производства. Следуя данной тенденции рынка, АТС выпустила новую линейку продукции, ориентированную в основном на массовое производство. Речь идет о линейке конденсаторов 600S. Приборы этой линейки меньше (посадочный размер всего 0,06×0,03 дюйма) и дешевле (две трети цены) стандартного многослойного конденсатора АТС. Помимо этого конденсаторы данной серии используют специально разработанный диэлектрик, что позволяет им достигать большей эффективности по сравнению с аналогами в различных телекоммуникационных приложениях.

Помимо этого American Technical Ceramics предлагает специализированные конденсаторы, работающие на частотах больших, чем стандартные многослойные ВЧ/СВЧ-конденсаторы — серия однослойных керамических конденсаторов Microcap. Приборы этой серии выпускаются как в коммерческом, так и в вы-

соконадежном исполнении и активно используются в различных широкополосных системах связи, спутниковых системах, а также в системах миллиметрового диапазона. Другим продуктом, ориентированным на тот же рынок, является серия 500S широкополосных СВЧ-конденсаторов (Broadband Microwave Capacitor — ВМС), оптимизированная для крупносерийного производства, использующего технологию поверхностного монтажа.

Расширяя спектр своей продукции, в июне 2000 года АТС анонсировала линейку мощных резистивных компонентов. Данные компоненты выполнены по тонкопленочной технологии с применением подложки из нетоксичного нитрида алюминия (материала с высокой теплопроводностью), на которую нанесены проводящие и резистивные слои. Как показывает практика, тонкопленочные резисторы гораздо надежнее и способны выдержать большую мощность, чем их толстопленочные аналоги. Ассортимент резистивной продукции American Technical Ceramics достаточно разнообразен: это резисторы, терминаторы, аттенюаторы, а также сходные продукты, которые, как правило, используются в тех же областях, что и выпускаемые данным производителем конденсаторы. В настоящее время резистивные продукты АТС активно применяются в широком спектре различных устройств: сумматорах, делителях мощности, преобразователях частоты и т. д.

Кроме выпуска стандартизированной продукции компания АТС (одна из немногих на рынке) изготавливает специализированные тонкопленочные схемы, выполненные по спецификации заказчика. С помощью тонкопленочной структуры, размещенной на требуемой подложке, можно легко формировать проводящие, резистивные, емкостные и прочие элементы схемы. Заказчику достаточно затем лишь установить оставшиеся дискретные элементы. Подобные решения используются там, где необходимо обеспечить высокую надежность устройства при минимальных размерах. Например, в СВЧ-аппаратуре, оптических репитерах и т. д. Компания АТС ориентирована не только на массовое, но и на мелкосерийное производство, что делает доступным данные технологии большинству предприятий в России.

В 2002 году АТС представила несколько новых продуктов, основанных на перспективной технологии LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic). Эта технология позволяет размещать элементы схемы не на плоскости, как раньше, а в объеме. Используя различные типы керамических материалов, можно интегрировать в схему не только стандартные пассивные компоненты, но и такие устройства, как ответвители, сумматоры, делители сигнала, фильтры, а также трансформаторы импедансов. Подобная компоновка элементов позволяет достичь значительной функциональности в сравнительно небольшом объеме. К сожалению, в рамках этой статьи невозможно рассмотреть технологии LTCC в достаточном объеме.

Образцы продукции АТС представлены на рис. 1–5. Для того чтобы лучше предста-



Рис. 1. Многослойные керамические конденсаторы АТС



Рис. 2. Тонкопленочная продукция АТС



Рис. 3. Однослойные конденсаторы АТС



Рис. 4. Моточные чип-индуктивности АТС серии WL



Рис. 5. Резистивная продукция АТС

вить весь спектр продукции этой компании, обратимся к таблице 1, в которую сведены все основные продукты АТС, приведено краткое описание каждого продукта и его возможные применения.

Таблица 1. Продукция American Technical Ceramics. Краткое описание и возможные применения

Продукт	Описание	Возможные применения
Многослойные конденсаторы серии 100	Ультростабильные (class 1 EIA) высокодобротные многослойные фарфоровые конденсаторы широкого применения. Доступны в корпусах четырех различных типов.	Высоконадежные ВЧ/СВЧ-усилители высокой мощности. Спутниковая связь, аэрокосмическая промышленность, медицинские приборы и оборудование по производству полупроводников.
Многослойные конденсаторы серии 200	Многослойные конденсаторы высокой емкости (до 100000 пФ) с диэлектриком из ВХ-керамики.	Широкополосные ВЧ/СВЧ-усилители, импульсные источники питания.
Конденсаторы миллиметрового диапазона серии 500	Конденсаторы для поверхностного монтажа (тип корпуса EIA 603) с крайне высокой частотой саморезонанса (до 40 ГГц). Используют диэлектрик типа NPO.	Системы связи миллиметрового диапазона.
Многослойные конденсаторы серии 600	Конденсаторы с минимальным эквивалентным последовательным сопротивлением (ESR) и высоким рабочим напряжением. Эффективность и теплопроводящие свойства позволяют конденсаторам данной серии надежно работать при больших уровнях сигналов.	Решения в области беспроводной связи, использующие массовое производство: сотовая связь, персональные средства коммуникации (PCS), телевидение высокой четкости (HDTV), спутниковые телекоммуникационные системы, приложения, использующие стандарты Bluetooth или 802.11.
Многослойные конденсаторы серии 650	Конденсаторы с низким эквивалентным последовательным сопротивлением. Используют диэлектрик типа NPO. Доступны в трех стандартных типах корпусов. Обладают высочайшей стабильностью параметров и высокой частотой саморезонанса.	Сотовые телефоны, персональные цифровые помощники с ридиомодулями, различные широкополосные системы беспроводного доступа, Bluetooth.
Многослойные конденсаторы серии 700	Ультростабильные (class 1EIA) высокодобротные конденсаторы широкого применения с фарфоровым или многослойным керамическим диэлектриком. Хорошо подходят для применений, где требуется высокая стабильность параметров.	Высоконадежные решения для коммерческих и военных применений в спутниковых системах связи, медицинском оборудовании и аэрокосмической промышленности.
Многослойные конденсаторы серии 900	Многослойные керамические конденсаторы высокой емкости с диэлектриком X7R. Обладают прочной конструкцией корпуса и обеспечивают емкость до 1 мкФ.	Широкополосные ВЧ/СВЧ-усилители средней и большой мощности, а также импульсные источники питания.
Однослойные конденсаторы серий 111, 112, 113, 116, 117, 118, 119	Высококачественные однослойные конденсаторы с крайне высокой частотой саморезонанса (до 100 ГГц). Обладают емкостью от 0,03 до 6200 пФ. Используют широкую гамму материалов диэлектрика.	Системы связи миллиметрового диапазона.
Мощные резистивные компоненты	Резисторы, терминаторы, аттенуаторы на базе нетоксичного нитрида алюминия. Работают в диапазоне мощностей от 0,1 до 500 Вт на частотах ВЧ/СВЧ.	Высоконадежные ВЧ/СВЧ-усилители большой мощности, а также решения для коммерческих и военных применений в спутниковых системах связи, медицинском оборудовании и аэрокосмической промышленности.
Высокочастотные моточные чип-индуктивности серии WL	Высококачественные моточные чип-индуктивности, выполненные в 5 различных корпусах (стандарт EIA). Выпускаются изделия с номиналами от 1 до 1200 нГн.	Системы беспроводной связи: оборудование сотовых сетей связи, различное телекоммуникационное оборудование.
Специализированные тонкопленочные схемы	Высококачественные цепи, выполненные в виде напыленной пленки с гальваническим покрытием на подложке из различных материалов. Подложки включают в себя: оксид алюминия, бериллия, нитрид алюминия, кварц, феррит, сапфир и специальные диэлектрики. Типовые функции: интегрированные резисторы, до 6 слоев металлизации, улучшенные переходные отверстия, лазерная подгонка, резка. Скрайбирование на небольшие пластинки.	ВЧ/СВЧ-модули для спутниковых систем связи, волоконно-оптической аппаратуры и различных военных применений.
Схемы, выполненные по технологии LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic)	Технология LTCC позволяет создавать компактные специализированные решения, работающие как на низких частотах, так и в диапазоне ВЧ/СВЧ. Возможно создание многослойных схем.	Телекоммуникационные системы, военные применения, медицинское оборудование и волоконно-оптические системы связи.

Компания ATC выпускает 40 различных наборов разработчика, содержащих полный ряд образцов конденсаторов, индуктивностей, резисторов и нагрузок.

Высокое качество компонентов ATC во многом определяется хорошим техническим уровнем разработки и тщательно налаженным процессом производства продукции. Прежде чем новый продукт появится на рынке, он подвергается самому тщательному тестированию для выявления существующих недостатков. Кроме того, продукция ATC проходила проверку у сторонних организаций и получила самые хорошие оценки. В качестве примера можно привести исследование, проведенное инженерами Motorola, заключавшееся в сравнении температурных параметров конденсаторов, использующих-

ся в выходных цепях усилителя мощности диапазона 2 ГГц.

В качестве испытательной платформы был взят усилитель мощности на LDMOS-транзисторе MRF21125, предназначенный для работы в составе аппаратуры UMTS. По условиям испытаний использовалась одна и та же плата усилителя, на которую сначала установили конденсаторы ATC, а затем приборы другого производителя. В обоих случаях тестовая плата была покрыта черной краской для обеспечения однородности коэффициента черноты. Параметры испытаний были следующие:

Выходная мощность усилителя — 22 Вт,  
Рабочая частота — 2,14 ГГц,  
Модуляция — WCDMA,  
Напряжение питания — 27 В,  
Активный прибор — Motorola MRF21125,

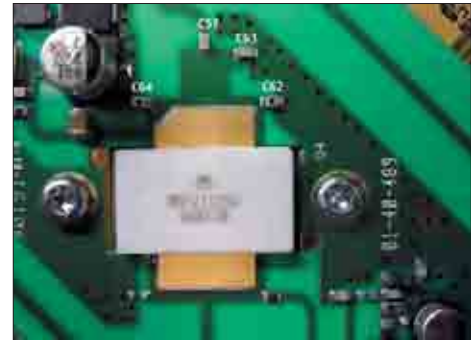


Рис. 6. Общий вид платы усилителя, используемой для тестирования

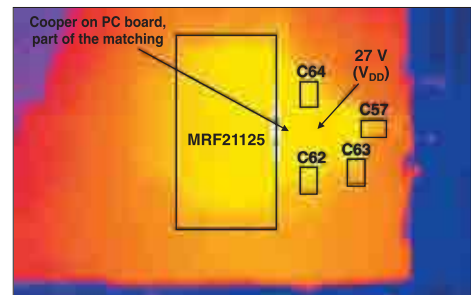


Рис. 7. Расположение элементов усилителя при термосканировании

Потребляемый ток — 1,3 А,

Сравниваемые конденсаторы — ATC серии 600S (корпус EIA 0603) и высокодобротные конденсаторы другого производителя в корпусе EIA 0805. Обозначение по схеме: C62, C63, C64 и C57 (см. рис. 6 и 7).

Было проведено термосканирование платы усилителя. Результат термосканирования при использовании конденсаторов ATC приведен на рис. 8, а результат термосканирования при использовании приборов другого производителя — на рис. 9.

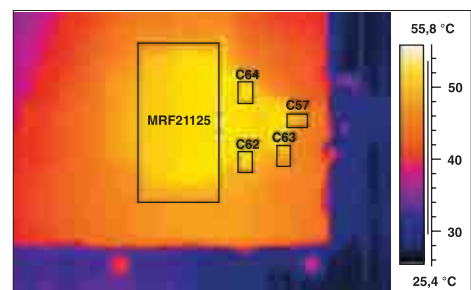


Рис. 8. Результат термосканирования при использовании конденсаторов ATC



Рис. 9. Результат термосканирования при использовании конденсаторов другого производителя

**Таблица 2.** Сравнение температур двух испытываемых типов конденсаторов

Конденсатор (обозначение на схеме, номинал)	Конденсаторы другого производителя (температура, °С)	Конденсаторы АТС (температура, °С)
C62, 1 пФ	55,6	54,5
C64, 1 пФ	55,7	54,2
C63, 1,2 пФ	55	54,3
C57, 18 пФ	55	49,2

В рамках эксперимента были произведены замеры температуры конденсаторов двух сравниваемых типов. Результаты замеров приведены в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, конденсаторы небольшой емкости (C62, C63, C64) разных производителей имеют приблизительно одинаковую температуру, близкую к темпе-

ратуре транзистора, что, впрочем, и неудивительно: все они находятся в непосредственной близости от него, а транзистор в данной схеме является основным тепловыделяющим элементом. Гораздо показательнее сравнение температур конденсатора C57, расположенного на некотором расстоянии от транзистора. Из таблицы видно, что температура прибора от АТС приблизительно на 6 градусов ниже, чем у конкурента. Поскольку C57 в данной схеме является связывающим конденсатором, испытывающим на себе полную выходную мощность усилителя, он будет рассеивать мощность в прямой зависимости от эквивалентного последовательного сопротивления ( $P=I^2 \cdot ESR$ ). Следовательно, более низкая температура

конденсатора говорит о меньшем значении ESR: на частоте 2 ГГц конденсатор АТС 600S180 (18 пФ) обладал ESR 0,08 Ом, тогда как значение ESR конкурента составило 0,18 Ом.

Таким образом, на практике было подтверждено высокое качество продукции АТС и преимущества ее применения.

Всю необходимую информацию по продукции American Technical Ceramics можно получить на сайтах [www.atceramics.com](http://www.atceramics.com) и [www.semiconductor.ru](http://www.semiconductor.ru).

При написании этого материала использовалась статья Ричарда Фиоре (Richard Fiore) «RF Power Amplifiers Operate Cooler with Improved Reliability Using ATC's EIA 600 Series Ultra-Low ESR Ceramic Capacitors». Microwave Product Digest. ATC#001-985 Rev. A 5/03. ■