

# Обеспечение требуемой изоляции в коаксиальных переключателях

С.Ю. Молчанов, И.Ш. Бахтеев, А.А. Довгань, Н.В. Дмитричкова, В.О. Огородник,  
С.И. Кузюткин

АО «НПП «Алмаз», г. Саратов

**Аннотация:** в работе приведено описание коаксиального переключателя. Кратко обсуждается конструкция всей структуры переключателя и объясняется принцип работы переключателя. Основной упор сделан на описании основных отклонений геометрии в СВЧ-каналах, которые пагубным образом влияют на электрические характеристики, в частности на развязку (изоляцию) между не активными каналами. Результаты моделирования отклонений полностью совпадают с результатами, наблюдаемыми экспериментально.

**Ключевые слова:** коаксиальный переключатель; СВЧ; электрические параметры; изоляция

## 1. Введение

Коаксиальный переключатель представляет собой устройство, предназначенное для выбора между несколькими коаксиальными линиями передачи данных или сигналов. Переключатель находит применение в разных сферах, таких как телекоммуникация, радиоэлектроника и спутниковая связь и позволяет переключаться между различными устройствами и направлять сигналы в требуемом направлении. Одним из основных преимуществ коаксиального переключателя является его способность работать в широких частотных диапазонах. При этом требования к электрическим параметрам очень высоки. Электромеханические коаксиальные переключатели должны обладать высоким быстродействием (малым временем переключения), низкими КСВН и вносимыми потерями, а также высокой изоляцией (запираем СВЧ волны между неактивными каналами). Наиболее известные зарубежные компании, занимающиеся выпуском различных типов коаксиальных переключателей, являются COMDEV, Keysight, DowKey Microwave, Tesat, Radiall и Ceyear [1].

## 2. Принцип работы

Принцип работы коаксиального переключателя основан на использовании различных состояний контактов. Коммутируемые порты образуют электрическую связь посредством замыкания планки. Через замкнутые порты сигнал идет с минимальным ослаблением (не более 0,5 дБ при 50 Ом канале) и низким отражением, что позволяет сохранять качество сигнала, которое особенно важно для систем с высокоскоростной передачей данных. Разомкнутые каналы коаксиального переключателя обеспечивают высокие значения развязки между входами и выходами. Это позволяет избежать взаимных помех и обеспечить качественную передачу сигналов.

Из-за ограничений по массе и габаритам полезной нагрузки, а также невозможности технического обслуживания на орбите, к электрическим характеристикам и надёжности переключателей космического назначения предъявляются исключительно высокие требования. Наиболее важным параметром является изоляция между каналами, которая определяет динамический диапазон и

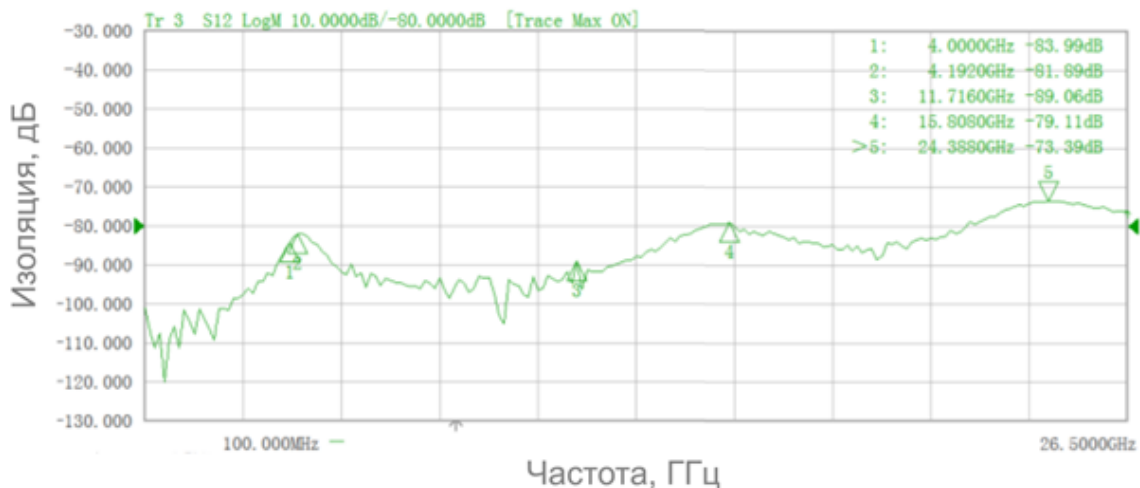
помехоустойчивость системы. Согласно инженерной практике, для переключателей космического класса изоляция должна быть не менее 65 дБ, а в некоторых высокочувствительных приёмных трактах требуется 70 дБ и более. Достижение такого показателя на частотах СВЧ диапазона представляет собой сложную техническую задачу, требующую комплексной оптимизации с учётом теории электромагнитного поля, конструкции, материаловедения и прецизионного производства

Типичные значения изоляции в коаксиальном переключателе при моделировании превышают 100 дБ [2], но на практике, при экспериментальных измерениях, этот параметр значительно ниже. Например, в работе [3], по результатам моделирования изоляция в рабочем диапазоне превышает 200 дБ. А экспериментально измеренные значения, лишь немногим более 70 дБ (рис.1). Изоляция характеризует уровень просачивания сигнала между разомкнутыми каналами и определяется как модуль коэффициента передачи ( $S_{21}$ ) между входным портом и отключённым выходным портом. Для космических применений изоляция 70 дБ означает, что мощность просочившегося сигнала составляет всего одну десятимиллионную часть входной мощности.

Полученные результаты численного моделирования могут рассматриваться только как приближенные решения электродинамической задачи с общей погрешностью, включающей:

- погрешность модели вследствие неполной адекватности математического описания реальному физическому объекту;
- погрешность решения за счет допустимости ошибок округления;
- погрешность численного метода, возникающая при дискретизации задачи.

Изоляция может быть улучшена на резонансной частоте. Однако это приводит к сужению полосы. Поэтому при расчете изоляции необходимо дорабатывать трехмерную модель максимально близко к возможностям изготовления, чтобы теоретические и экспериментальные значения отличались только на величину отклонений при изготовлении.

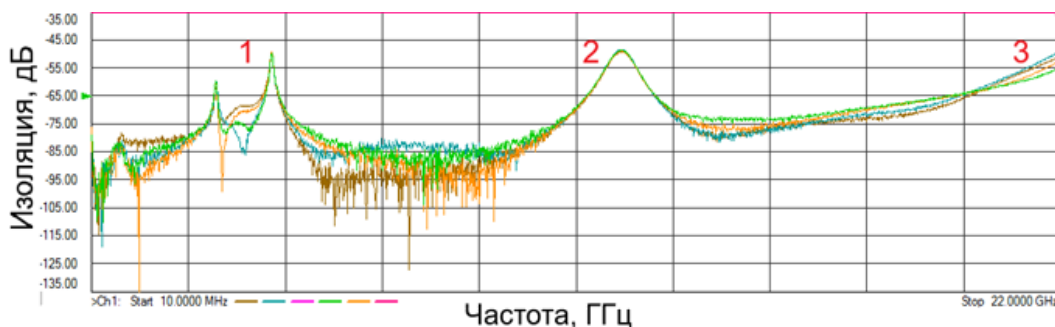


**Рисунок 1.** Результат измерения изоляции электромеханического коаксиального переключателя SP10T [3].

### 3. Улучшение изоляции

Анализ полученных экспериментально значения изоляции, проведённый сотрудниками отдела 117, выявил два основных отклонения в конструкции переключателя, существенно влияющие на получаемые значения. На рис. 2

изображена кривая измеренных значений изоляции в неисправном переключателе. Схематично показаны 3 области значений, выходящие за ТЗ. Значит в данном переключателе имеются 3 отклонения в геометрии конструкции. В идеальном случае, кривая изоляции должна быть прямой, без резонансов.



**Рисунок 2.** Результат измерения изоляции электро-механического коаксиального переключателя Т-типа

Передача энергии в коаксиальной линии осуществляется посредством волны типа ТЕМ. Для нее необходимо наличие проводника в центре канала. В корпусе переключателя этим проводником является планка, замыкающая и размыкающая контакты. При размыкании контакта планка образует с корпусом переключателя омическую связь. Распространение волн ТЕМ (поперечные электромагнитные) становится невозможным, а распространение волноводных мод ТЕ (поперечные электрические) сдерживается малым значением поперечного сечения канала (частота отсечки значительно выше). Таким образом обеспечиваются высокие значения изоляции.

Отклонения 1 и 2 (рис.2) связаны с неидеальным контактом корпус-планка в разомкнутых каналах. Это может быть связано как с наличием загрязнений на планке или корпусе в местах контакта, так и с неровностью (кривизной) одной из деталей. Незначительный «просвет» между корпусом и планкой позволяет волне ТЕМ перетекать на уровнях, превышающих максимально возможный, который установлен в ТЗ на прибор.

Отклонение 3 связано с неплотным прижатием 2-х половинок корпуса и перетеканием энергии через зазор в стенке СВЧ канала. Зачастую эту проблему можно решить, проверив обе поверхности на плоскостность, а также на наличие заусенцев и посторонних частиц, случайным образом попадающих при сборке.

#### 4. Заключение

В данной работе проанализированы основные геометрические отклонения в размерах и форме деталей, влияющих на изоляцию (развязку) между не активными каналами коаксиального переключателя. В традиционных коаксиальных переключателях коммутируется только центральный проводник, а внешний проводник остаётся сквозным. В разомкнутом состоянии «оборванный» конец центрального проводника может служить излучателем, вызывая утечку сигнала. Представленные отклонения могут снижать изоляционные характеристики и в других коаксиальных устройствах СВЧ техники. Анализ данных устройств по представленным отклонениям, поможет специалистам решить проблему с электрическими параметрами и улучшить выход годной продукции при массовом производстве.

### Список литературы

1. CAO H et al. Research on the design of a DC~90 GHz ultra-wideband coaxial switch // Space Electronic Technology. – 2025. – Т. 22. – №. 5. – С. 67-72.
2. Forcier N. RF/microwave switch considerations //2008 IEEE AUTOTESTCON. – IEEE, 2008. – С. 484-489.
3. Zhang T., Wen C., Xiong W. A novel design of ultra-wideband SP10T electromechanical coaxial switch //2020 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT). – IEEE, 2020. – С. 1-3.