

# ВЧ- И СВЧ-КОММУТАТОРЫ: КАК СДЕЛАТЬ ПРАВИЛЬНЫЙ ВЫБОР?

ТЕНГ ТЕНГ КВЕК (THENG THENG QUEK), Keysight Technologies

*С ужесточением требований к энергопотреблению и габаритам систем все больше времени и ресурсов требуется для поиска необходимых коммутаторов. Эта статья углубит ваши познания в технологиях коммутации, в частности, в области двух основных технологий – твердотельных и электромеханических (ЭМ) коммутаторов. Основное внимание уделено теоретическим основам коммутации с подробными пояснениями некоторых типовых характеристик.*

В современных контрольно-измерительных системах ВЧ- и СВЧ-диапазона для передачи сигналов между приборами и исследуемыми устройствами широко применяются коаксиальные коммутаторы. Матричные коммутаторы позволяют выполнять несколько тестов, не меняя схему измерения, что позволяет обойтись без частых подключений и отключений. В результате весь процесс тестирования можно автоматизировать, что повышает производительность в условиях серийного производства.

## ТИПЫ КОММУТАТОРОВ

Прежде чем выбрать коммутатор, важно понять фундаментальные различия между основными типами коммутаторов. Существуют два основных типа коммутаторов ВЧ- и СВЧ-диапазона:

- электромеханические коммутаторы, в которых в качестве коммутирующего элемента используются механические контакты;
- твердотельные коммутаторы, которые подразделяются на два основных типа: коммутаторы на полевых транзисторах и коммутаторы на PIN-диодах. В полевом транзисторе создается канал (обедненная область), который позволяет току протекать от стока к истоку. PIN-диод содержит высокоомный нелегированный слой (I), расположенный между сильнолегированными слоями типа P и типа N.

## ВЫБОР КОММУТАТОРА

Ни один коммутатор не может отвечать всем требованиям во всех приложениях, поэтому важно знать, как выбрать тот коммутатор, который необходим

в конкретном случае. Для этого в таблице приведены для сравнения основные характеристики электромеханических и твердотельных коммутаторов. Практически во всех автоматизированных контрольно-измерительных системах используются управляемые компьютером коаксиальные матричные коммутаторы для распределения сигналов тестируемых устройств между измерительными приборами. Поскольку все воздействующие и ответные сигналы должны проходить через матричный коммутатор, характеристики сигнальных трактов коммутатора оказывают непосредственное влияние на точность и достоверность всех измерений.

Пример полного матричного коммутатора 2×10, позволяющего передавать сигналы между любыми двумя портами, показан на рисунке. Невозможно сконструировать матричный коммутатор так, чтобы он не влиял на исходные сигналы. Однако коммутатор можно оптимизировать в соответствии с требованиями конкретного приложения. К основным параметрам, которые следует при этом учитывать, относятся диапазон частот, вносимые потери, обратные потери, воспроизводимость, развязка, КСВ, время переключения, коммутируемая мощность, терминирующее эквивалентное сопротивление трактов, утечка видеосиг-

Таблица. Сравнение основных характеристик электромеханических и твердотельных коммутаторов (типовых)

Тип коммутатора	Электро-механический	Твердотельный		
		Полевой транзистор	PIN-диод	Гибридный
Диапазон частот	От 0 Гц	От 0 Гц	От МГц	От кГц
Вносимые потери	Малые	Большие	Средние	Большие
Развязка	Хорошая на всех частотах	Хорошая на нижних частотах	Хорошая на верхних частотах	Хорошая на верхних частотах
Обратные потери	Низкие	Низкие	Низкие	Низкие
Воспроизводимость	Хорошая	Отличная	Отличная	Отличная
Время переключения	Большое	Малое	Малое	Малое
Коммутируемая мощность	Высокая	Низкая	Низкая	Низкая
Срок службы	Средний	Большой	Большой	Большой
Стойкость к электростатическому разряду	Высокая	Низкая	Средняя	Низкая
Чувствительность	К вибрации	К избыточной ВЧ-мощности, температуре	К избыточной ВЧ-мощности, температуре	К избыточной ВЧ-мощности, температуре

нала, срок службы и конфигурация коммутатора.

### ВНОСИМЫЕ ПОТЕРИ

Вносимые потери играют важную роль во многих приложениях. В приемниках вносимые потери приводят к эквивалентному снижению эффективной чувствительности. В измерительных системах, где дополнительная мощность для компенсации потерь (например, за счет применения усилителей) может оказаться недоступной из-за высокой стоимости или нехватки места, малые вносимые потери становятся критически важным показателем. Разные технологии коммутации характеризуются различными вносимыми потерями. Но самые малые потери характерны для электромеханических коммутаторов (в диапазоне до 26,5 ГГц).

### РАЗВЯЗКА

Хорошая развязка не позволяет посторонним сигналам проникать в тракт полезного сигнала. Другими словами, следует исключить воздействие нежелательных сигналов на рассматриваемый измерительный порт. Хорошая развязка особенно важна в измерительных системах, где сигналы поступают с разных источников и подаются на разные приемники через разные коммутаторы. Если посторонние сигналы проникают в сигнальный тракт системы, достоверность измерений может существенно снизиться. Электромеханические коммутаторы обеспечивают лучшую развязку по сравнению с твердотельными коммутаторами (развязка коммутаторов ведущих производителей обычно превышает 120 дБ в диапазоне 0 Гц...26,5 ГГц).

### ВРЕМЯ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ

Измерение времени переключения основано на измерении времени, за которое уровень мощности ВЧ-сигнала меняется от 10 до 90%. Для измерения используются высокоскоростной генератор и осциллограф. Малое время переключения было и будет оставаться одним из основных достоинств коммутаторов на полевых транзисторах на основе арсенида галлия (GaAs). При использовании идеальной управляющей цепи арсенид-галлиевые коммутаторы демонстрируют время коммутации менее 1 нс.

Заглядывая в будущее, можно сказать, что появление полупроводниковых приборов на основе InGaAs обещает сократить время коммутации до субнаносекундного диапазона. Быстрое переключение очень важно для автоматизированных измерительных систем,



Рис. Полный матричный коммутатор 2×10

в которых определяющей является скорость тестирования изделий. Время переключения особенно важно в приложениях, требующих последовательного включения нескольких коммутаторов. Другими приложениями, где требуется малое время переключения передаваемых и принимаемых сигналов, являются используемые в автомобильной промышленности системы адаптивного круиз-контроля (ACC) и системы предупреждения столкновений (CAS). Как показано в таблице, твердотельные (гибридные) коммутаторы имеют минимальное время переключения, за ними следуют твердотельные коммутаторы на PIN-диодах и электромеханические коммутаторы.

### СРОК СЛУЖБЫ

Срок службы коммутатора измеряется минимальным числом циклов коммутации (числом переключений из одного положения в другое и обратно), после которого коммутатор начинает работать за пределами номинальных

характеристик. Срок службы коммутатора чрезвычайно важен, если коммутатор интегрирован в контрольно-измерительные приборы или системы, требующие многих тысяч переключений в одном цикле измерений. В этом случае предпочтение следует отдавать твердотельным коммутаторам.

### СРЕДНЕЕ ВРЕМЯ НАРАБОТКИ НА ОТКАЗ

Среднее время наработки на отказ является статистической характеристикой надежности, которая используется в качестве общего показателя надежности изделия. Оно представляет собой среднее арифметическое значение продолжительности работы устройства между ремонтами. Среднее время наработки на отказ не является предполагаемым временем до первого отказа! Обычно производители ВЧ-коммутаторов приводят значение среднего времени наработки на отказ для справки. Обычно вы можете получить от производителя коммута-

тора точечную оценку срока службы, используемую для расчета среднего времени наработки на отказ, и предполагаемый срок службы в годах или часах.

Важно понимать, что среднее время наработки на отказ не равно предполагаемому времени безотказной работы и не определяет срока службы оборудования. Среднее время наработки на отказ является статистическим показателем, имеющим вероятностную природу, т.е. оно определяет предполагаемое среднее значение для большой группы оборудования, а не для отдельных экземпляров.

Иногда среднее время наработки на отказ используется для расчета резервирования и количества запасных частей. По указанным выше причинам этого делать не рекомендуется. Более эффективный способ расчета времени безотказной работы системы заключается в применении способов моделирования надежности, таких как параметрические и непараметрические статистические методы.

#### СРОК СЛУЖБЫ И НАДЕЖНОСТЬ

Надежность матричного коммутатора определяется сроком службы каждого отдельного коммутатора и общим числом используемых коммутаторов. Для обеспечения бесперебойной работы рекомендуется использовать электромеханические коммутаторы с высоким уровнем надежности. Срав-

ним надежность и периодичность замены коммутаторов с большим и с меньшим сроком службы в некотором образцовом приложении.

Настоящий пример имеет отношение к тестированию в процессе серийного производства компонентов или модулей, в ходе которого коммутаторы выполняют 5 тыс. коммутаций в течение 8 ч (10 коммутаций в минуту).

Коммутаторы высокой надежности:  
*периодичность замены = 5 млн/5 тыс. = 1 тыс. дней = ~2,7 года.*

Коммутаторы со сроком службы 1 млн циклов:  
*периодичность замены = 1 млн/5 тыс. = 200 дней = 6,5 мес.*

Обратите внимание, что многие производители коммутаторов указывают не число циклов, в течение которых гарантируется соответствие коммутатора заявленным характеристикам, а число циклов до выхода коммутатора из строя. Производители надежных коммутаторов гарантируют, что их коммутаторы соответствуют всем требованиям в течение минимум N миллионов циклов.

#### ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ

Воспроизводимость является мерой изменения вносимых потерь или фазы в тракте матричного коммутатора от цикла к циклу. Воспроизводимость гарантирует получение точных результатов. Наиболее важна воспроизво-

димость S-параметров, поскольку их нельзя откалибровать с помощью измерительного программного обеспечения. Хорошая воспроизводимость вносимых потерь снижает случайные ошибки в измерительном тракте, повышая тем самым точность измерений. Воспроизводимость и надежность коммутатора гарантируют высокую точность измерений и позволяют сократить эксплуатационные расходы за счет сокращения циклов калибровки и продления срока службы системы.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Правильный выбор коммутатора чрезвычайно важен для ВЧ- и СВЧ-приложений. В настоящей статье мы рассмотрели ключевые параметры, которые позволят выбрать матричный коммутатор в соответствии с требованиями того или иного приложения. Обладая информацией об имеющихся ВЧ-коммутаторах, предъявляемых требованиях и возможных компромиссах, инженеры могут сделать оптимальный выбор между предполагаемым сроком службы и стоимостью, не жертвуя при этом характеристиками системы. ◀

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Keysight Technologies *Коммутационные решения для научных исследований, проектирования, тестирования и производства. Рекомендации по применению*// <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5990-6169EN.pdf>.