

МОДУЛИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ВЧ-/СВЧ-СИГНАЛОВ. РЕШЕНИЯ КОМПАНИИ PICKERING

Компоненты и устройства, осуществляющие переключение ВЧ- и СВЧ-сигналов, играют значительную роль в радиотехнике.

Они используются при измерениях, в аппаратуре связи, в радиоцентрах и в других приложениях. Развитием техники собственно ВЧ- и СВЧ-переключателей являются более сложные устройства: модули со многими переключателями, мультиплексоры, а также переключательные матрицы. В статье рассматриваются подобные изделия на примере деятельности компании Pickering.

МОДУЛИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ВЧ-/СВЧ-СИГНАЛОВ КАК РАЗВИТИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И ДРУГИХ ПРИЛОЖЕНИЙ. ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЙ КОМПАНИИ PICKERING

Переключатели сигналов ВЧ-/СВЧ-диапазона разных типов, алгоритмы их функционирования, области использования, а также особенности изготовления различными производителями были подробно рассмотрены в ряде статей [1–5]. Для дальнейшего анализа представляют существенный интерес модули с переключателями, переключательные матрицы и другие устройства, являющиеся развитием техники отдельных переключателей. Данные устройства представляют собой изделия более высокого уровня сложности, позволяющие решать задачи по тестированию радиоэлектронных систем и комплексов, переключению многих сигналов, одновременному тестированию множества устройств и систем, применению сложных измерительных установок с большим количеством приборов и т. д.

В плане анализа этих устройств целесообразно рассмотреть разработки и продукцию известной английской компании Pickering Interfaces [6], имеющих значительный опыт в области технических решений по переключению ВЧ- и СВЧ-сигналов. Компания работает в данной сфере с 1968 года. Pickering, один из мировых лидеров в области модулей переключения высокочастотных сигналов, выпускает подобные изделия для частот от постоянного тока до 67 ГГц. При разработке и изготовлении модулей переключения сигналов существенным фактором является внешняя форма, стандарт, положенный в их основу. Компания Pickering разрабатывает и из-

готавливает устройства двух основных типов:

- в виде модулей на основе стандарта PXI;
- в виде модулей на основе стандарта LXI.

Стандарт PXI — открытый международный стандарт для построения контрольно-измерительного оборудования, берущий свое начало еще в компьютерной технике. Он позволяет создавать высокопроизводительные измерительные системы, наращивать их возможности, быстро перестраивать измерительные комплексы при изменении задач. Эти устройства обладают высокой надежностью, устойчивы к неблагоприятным факторам, имеют небольшие габариты, при их функционировании могут использоваться широкие возможности разработанного ранее программного обеспечения, что снижает их стоимость.

Стандарт LXI — стандарт информационных и контрольно-измерительных технологий, основанный на сетевом стандарте Ethernet. Преимущества измерительных устройств LXI по сравнению с устройствами PXI в том, что они самодостаточны, имеют собственную систему электропитания, охлаждения, запуска, выполнены в корпусах, как настольные измерительные приборы. Устройства LXI могут работать от источника переменного или постоянного тока.

В целом компания Pickering предлагает устройства трех типов для переключения высокочастотных сигналов:

- модули со многими переключателями;
- мультиплексоры;
- переключательные матрицы.

На базе стандарта PXI компания изготавливает все три типа устройств переключения сигналов, а на базе стандарта

LXI — мультиплексоры и матрицы разных видов и диапазонов частот.

РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДУЛЕЙ PXI

ВЧ-/СВЧ-мультиплексоры

Группа ВЧ-/СВЧ-мультиплексоров весьма объемная и насчитывает около 100 моделей, изготавливаемых для частот от постоянного тока до 8 ГГц. Мультиплексоры — это переключательные модули со многими входами и одним выходом. При их функционировании на выход поступает сигнал с одного из входов. В этой группе присутствуют относительно низкочастотные модели (диапазон до 600 МГц), а также высокочастотные и широкополосные (диапазон 10 МГц — 8 ГГц).

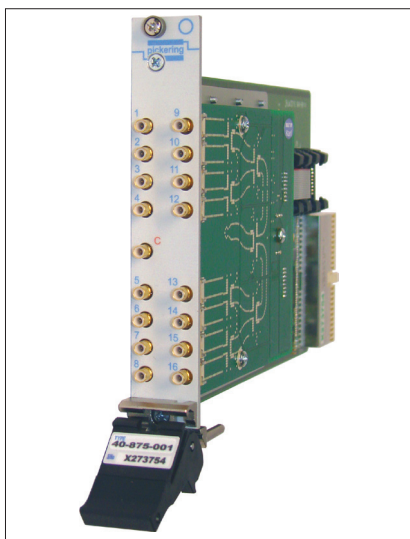
Практически все мультиплексоры изготовлены на основе электромеханической технологии переключения, и только в нескольких высокочастотных и широкополосных моделях применяется твердотельная технология. Большинство моделей функционирует на частотах до 3 ГГц (характеристики некоторых моделей приведены в табл. 1).

Мультиплексоры выпускаются с сопротивлением 50 и 75 Ом с конфигурациями 4:1, 6:1, 8:1, 16:1 (рис. 1) и 32:1. Многие модели изготавливаются с простой конфигурацией 4:1, которая может быть реализована на основе переключателя SP4T. В одном PXI модуле может быть установлено до 10 отдельных мультиплексоров (при конфигурации 4:1). В большинстве моделей один, два и четыре мультиплексора.

Как показывают характеристики различных моделей мультиплексоров, применение твердотельной технологии позволяет на два порядка повысить скорость переключения каналов.

Таблица 1. Характеристики ВЧ-/СВЧ-мультиплексоров

Модель, сопротивление, Ом, тип соединителей	Диапазон частот, ГГц	Конфигурация	Количество мультиплексоров в модуле	Развязка, дБ	Вносимые потери, дБ	КСВН	Максимальная входная мощность, Вт	Время переключения, мс; жизненный цикл — минимальное количество переключений
40-755-005, 50, 26-контактные соединители MS-M RF	0–0,5	4:1	5	55	0,7	1,5:1	10	3; 10 ⁶
40-762-002, 50, SMB	0–0,6	8:1	2	50	3	1,6:1	1	10; 5·10 ⁶
40-766-001, 50, SMB	0–0,6	32:1	1	50	3	1,6:1	1	10; 5·10 ⁶
40-747-751, 75, SMB	0–1	16:1	1	27	2,9	1,92:1	10	5; 3·10 ⁵
40-749-511, 50, SMB	0–1,3	4:1	4	27	1,5	1,85:1	10	5; 3·10 ⁵
40-748-521, 50, SMA	0–2	8:1	2	20	2,6	1,95:1	10	5; 3·10 ⁵
40-746-731, 75, Siemens 1.0/2.3	0–2	4:1	2	20	3	1,8:1	10	5; 3·10 ⁵
40-875-001, 50, SMB	0–3	16:1	1	38	1,3	1,4:1	10	3; 10 ⁷ (при мощности менее 100 мВт)
40-832-102, 75, MCX	0–3	4:1	2	40	1,6	1,6:1	10	3; 10 ⁷ (при мощности менее 100 мВт)
40-883A-001, 50, SMA, твердотельный	0,01–8	8:1	1	50	8	1,8:1	30 дБм при непрерывном сигнале	50 мкс



▲ Рис. 1. Модуль с одним 16-канальным мультиплексором с соединителями SMB (модель 40-875-001)

Мультиплексоры и другие устройства переключения сигналов изготавливаются в виде модулей PXI с одним-тремя слотами. Для таких модулей используются стандартные значения напряжения питания: 3,3; 5 и ±12 В. Модули рассчитаны на использование в помещениях, то есть при рабочих температурах 0...+55 °С.

Мультиплексоры выпускаются с соединителями SMA, SMB, BNC, MCX, MS-M RF. Использование многоконтактных соединителей MS-M RF позволяет уменьшить вносимые потери до величины менее 1 дБ, однако полоса рабочих частот при этом сужается. На основе одного базового модуля PXI может выпускаться целая серия моделей, различающихся конфигурацией, количеством мультиплексоров, типом соединителей, а также рабочими частотами. Модели одной серии могут существенно отличаться по виду при использовании различных соединителей. Модели мультиплексоров с сопротивлением 75 Ом предназна-

ны для телекоммуникационных систем и высококачественного переключения видеосигналов.

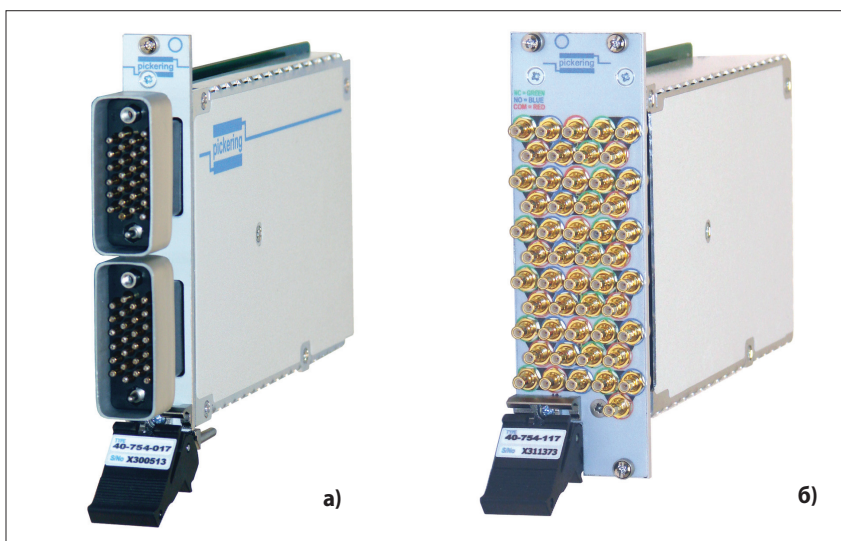
Для улучшения качественных показателей в некоторых моделях мультиплексоров предусмотрена функция автоматического включения нагрузки на неиспользуемых каналах (Automatic Termination). Это позволяет на 20 дБ улучшить показатели развязки.

ВЧ-/СВЧ-модули с переключателями SPDT

Модули с переключателями SPDT, так же как и мультиплексоры, выпускаются для рабочих частот до 8 ГГц. Количество моделей в данной группе изделий существенно меньше — 23. В данных модулях устанавливаются независимо функционирующие переключатели типа SPDT, имеющие один вход и два выхода. Модули могут содержать 2–17 переключателей, или каналов

(табл. 2). Во многих моделях имеется небольшое количество переключателей: два, три, четыре или шесть. Отдельные модели выпускаются с большим количеством переключателей — 9 и 17 (рис. 2).

Модули с твердотельными переключателями каналов занимают особое место в общем ряду, они имеют максимум 8 переключателей и изготавливаются с соединителями SMA. В этих широкополосных устройствах есть функция автоматической нагрузки неиспользуемых каналов для повышения качества функционирования. Также они характеризуются весьма высокой развязкой — 60 дБ и обеспечивают гораздо более высокое быстродействие, чем остальные модули, где предусмотрен электромеханический принцип переключения каналов. В то же время вносимые потери у модулей с твердотельными переключателями существенно выше, чем с электромеханическими.



▲ Рис. 2. Модули на 17 переключателей:
а) с соединителями MS-M RF для частот до 0,5 ГГц (модель 40-754-017);
б) с соединителями SMB для частот до 1,2 ГГц (модель 40-754-117)

Таблица 2. Характеристики ВЧ-/СВЧ-модулей с переключателями SPDT

Модель, сопротивление, Ом, тип соединителей	Диапазон частот, ГГц	Количество переключателей в модуле	Развязка, дБ	Вносимые потери, дБ	КСВН	Максимальная мощность ВЧ-сигнала, Вт	Время переключения, мс; жизненный цикл — минимальное количество переключений
40-754-017, 50, MS-M RF	0–0,5	17	50	0,3	1,5:1	10	3; 10 ⁷ (при мощности менее 100 мВт)
40-710-504, 50, BNC	0–1	4	27	3	1,7:1	10	10; 3·10 ⁵
40-710-734, 75, 1.0/2.3	0–1	4	30	3	2,4:1	10	10; 3·10 ⁵
40-754-109, 50, SMB	0–1,2	9	45	0,5	1,5:1	10	3; 10 ⁷ (при мощности менее 100 мВт)
40-710-514, 50, SMB	0–2,5	4	17	3	1,7:1	10	10; 3·10 ⁵
40-870-106, 50, MCX	0–3	6	36	0,5	1,25:1	10	3; 10 ⁷ (при мощности менее 100 мВт)
40-830-003, 75, SMB	0–3	3	42	0,9	1,6:1	10	3; 10 ⁷ (при мощности менее 100 мВт)
40-880A-004, 50, SMA, твердотельные	0,01–8	8	60	4	1,8:1	36 дБм при непрерывном сигнале	50 мкс

Конкретные модели, выпускаемые на основе одной базовой разработки, могут различаться по внешнему виду и размерам при использовании соединителей разного типа (рис. 2). Так, применение многоконтактных соединителей MS-M RF позволяет создавать более компактные модули, однако при этом рабочий диапазон частот более низкий. В то же время применение этих соединителей обеспечивает очень низкие вносимые потери — на уровне 0,3 дБ и хорошую развязку в 50 дБ (в 17-канальном переключателе).

В переключательных модулях насчитывается больше соединителей, чем в мультиплексорах, — дополнительно используются соединители типов SMZ и 1.0/2.3.

Модули с СВЧ-переключателями

В продукции компании к числу самых крупных относится группа модулей с переключателями СВЧ-сигналов, которая содержит более 120 моделей. Общий диапазон частот для этой группы самый широкий для всех переключательных модулей на основе стандарта PXI — до 67 ГГц.

В данную группу входят переключательные модули с трансферными DPDT-переключателями, с переключателями SPDT, модули с многопозиционными переключателями SP4T и SP6T (также именуемые мультиплексорами).

Модули с трансферными переключателями выпускаются для рабочих частот до 50 ГГц (табл. 3) с двумя (рис. 3), а также и с одним переключателем. В отличие от других модулей изделия с трансфер-

ными переключателями изготавливаются только для сопротивления 50 Ом.

Трансферные переключатели высокочастотных сигналов имеют четыре порта и два возможных состояния, которые изменяются в зависимости от подачи управляющего напряжения. При отсутствии управляющего напряжения осуществляется прохождение сигнала между портами 1 и 2, 3 и 4. При подаче управляющего напряжения осуществляется связь между портами 1 и 3, а также 2 и 4. В данных модулях, так же как и в некоторых других, состояние переключателей отображается с помощью LED-индикаторов на передней панели.

В таблице переключаемая мощность указана для верхней части используемого диапазона. На низких частотах она существенно выше, достигая значения в 240 Вт на частоте в несколько ГГц. В то же время хорошо видно, как переключаемая мощность снижается с увеличением рабочей частоты. Время переключения для всех моделей составляет 15 мс.

Модули с трансферными переключателями имеют одни из лучших характеристик среди всех устройств переключения высокочастотных сигналов компании Pickering. Данные трансферные модули используются во многих высокочастотных приложениях, особенно там, где нужны высокая развязка, обычно на уровне 50–60 дБ, и очень небольшие вносимые потери, как правило, менее 1 дБ.

Весьма обширная подгруппа изделий — СВЧ-модули с переключателями

SPDT, предназначенные для общей полосы частот 0–50 ГГц (табл. 4). Модули выпускаются с относительно небольшим количеством переключателей: от одного до четырех.

Подавляющее большинство моделей — модули с переключателями с сопротивлением 50 Ом и только отдельные модели — переключатели с сопротивлением 75 Ом и соединителями 1.6/5.6 Female. Они рассчитаны на низкие частоты до 2,5 ГГц и имеют рекордно высокую развязку — 70 дБ, сочетающуюся с минимальными вносимыми потерями.

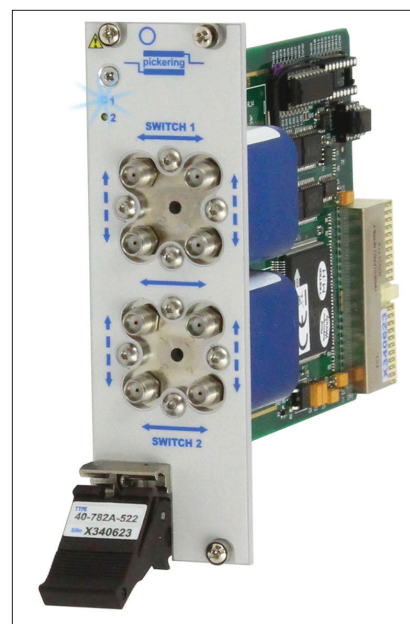


Рис. 3. Модуль с двумя трансферными переключателями для рабочих частот до 18 ГГц (модель 40-782A-522)

Таблица 3. СВЧ-модули с трансферными переключателями

Модель, тип соединителей	Диапазон частот, ГГц	Количество переключателей в модуле	Развязка, дБ	Вносимые потери, дБ	КСВН	Время переключения, мс	Средняя мощность ВЧ-сигнала, Вт	Жизненный цикл — минимальное количество переключений
40-782A-521, SMA	0–18	1	60	0,5	1,5:1	15	100	2,5·10 ⁶
40-782A-532, SMA	0–26,5	2	50	0,7	1,7:1	15	40	2,5·10 ⁶
40-782A-542, SMA-2.9	0–40	2	50	0,8	1,9:1	15	10	2,5·10 ⁶
40-782A-552, SMA-2.4	0–50	2	50	1,1	2,0:1	15	5	2·10 ⁶

Таблица 4. Характеристики модулей СВЧ с переключателями SPDT

Модель, сопротивление, Ом, тип соединителей	Диапазон частот, ГГц	Количество переключателей в модуле	Развязка, дБ	Вносимые потери, дБ	КСВН	Средняя мощность ВЧ-сигнала, Вт	Время переключения, мс; жизненный цикл — минимальное количество переключений
40-780A-752, 75, 1.6/5.6 Female	0–2,5	2	70	0,3	1,3:1	240	–
40-780A-512, 50, N-типа	0–12,4	2	60	0,5	1,5:1	200	10; 10 ⁷
40-780A-524, 50, SMA	0–18	4	60	0,5	1,5:1	100	10; 10 ⁷
40-780A-534, 50, SMA	0–26,5	4	55	0,7	1,7:1	40	10; 10 ⁷
40-780A-543, 50, SMA-2.9	0–40	3	50	0,8	1,9:1	10	10; 10 ⁷
40-780A-554, 50, SMA-2.4	0–50	4	50	1,1	1,9:1	5	10; 10 ⁷
40-780A-573, 50, SMA-1.85	0–67	3	50	1,1	1,9:1	3	15; 10 ⁶

Таблица 5. Характеристики модулей с многопозиционными переключателями SP4T и SP6T

Серия модулей, модель, сопротивление, Ом, тип соединителя, особенности	Диапазон частот, ГГц	Конфигурация, тип переключателя	Количество переключателей в модуле	Развязка, дБ	Вносимые потери, дБ	КСВН	Максимальная мощность ВЧ-сигнала, Вт	Время переключения, мс; жизненный цикл — минимальное количество переключений
40-785B, 75, соединители 1.6/5.6	0–2,5	SP6T	1–2	70	0,3	1,3:1	240	15; 2·10 ⁶
40-785B, 75, соединители 1.6/5.6, с вынесенным монтажом переключателей	0–2,5	SP6T	1–3	70	0,3	1,3:1	240	15; 2·10 ⁶
40-784A, 50, SMA	0–6	SP4T, SP6T	1–3	70	0,3	1,3:1	150	10,5; 10 ⁷
40-784A, 50, SMA	0–18	SP4T, SP6T	1–3	60	0,5	1,5:1	100	10,5; 10 ⁷
40-785B, 50, SMA	0–18	SP6T	1–2	60	0,5	1,5:1	100	15; 5·10 ⁶
40-785B, 50, SMA, с вынесенным монтажом переключателей	0–18	SP6T	1–3	60	0,5	1,5:1	100	15; 5·10 ⁶
40-784A, 50, SMA	0–26,5	SP4T, SP6T	1–3	55	0,6	1,6:1	40	10,5; 10 ⁷
40-784A, 50, SMA-2.9	0–40	SP4T, SP6T	1–3	45	1,1	2,2:1	5	10,5; 2·10 ⁶
40-785B, 50, SMA-2.9, с вынесенным монтажом переключателей	0–40	SP6T	1–3	50	1,1	2,2:1	5	15; 2·10 ⁶
40-785B, 50, SMA-2.4	0–50	SP6T	1–2	50	1,2	2,2:1	3	15; 2·10 ⁶
40-785B, 50, SMA-2.4, с вынесенным монтажом переключателей	0–50	SP6T	1–3	50	1,2	2,2:1	3	15; 2·10 ⁶

Надо отметить, что у всех СВЧ-модулей с переключателями SPDT достаточно хорошие показатели по развязке и вносимым потерям.

Жизненный цикл модулей с переключателями SPDT очень большой: 10 млн переключений для моделей всех частотных диапазонов, кроме изделий для диапазона до 67 ГГц, у которых он составляет 1 млн переключений.

Самой многочисленной группой данного раздела продукции являются модули с многопозиционными переключателями SP4T и SP6T (СВЧ-мультиплексоры). Как и в группе модулей с переключателями SPDT, подавляющее большинство моделей рассчитано на сопротивление 50 Ом (табл. 5).

Как показывают данные, большинство модулей с многопозиционными переключателями характеризуются хорошей развязкой и низкими вносимыми потерями. Требования по электропитанию для всех модулей одинаковые: 3,3 В (0), 5 В (0,2 А), 12 В (0,75 А), –12 В (0).

К особенностям разработок переключательных модулей с многопозиционными



▲ Рис. 4. Модуль с двумя переключателями SP6T, подсоединяемыми по специальным кабелям, диапазон частот до 18 ГГц (модель 40-785B-522-E)

ми переключателями компании Pickering следует отнести то, что некоторые модели выпускаются не только со стандартно устанавливаемыми панельными переключателями, но и с вынесенными (удаленными) переключателями (рис. 4).

Такой нестандартный подход позволяет сделать сам модуль, устанавливаемый в приборную стойку, более компактным и легким и более гибко использовать имеющиеся измерительные ресурсы. Например, сам переключатель может быть установлен ближе к тестируемому прибору и к измерительному оборудованию. Модули поставляются со стандартными кабелями длиной 1,5 м (рис. 4).

ВЧ-/СВЧ-матрицы

Переключательные матрицы компании Pickering в основном имеют относительно невысокие рабочие частоты — до 2,5 ГГц, и только твердотельные матрицы — расширенный диапазон частот до 8 ГГц (табл. 6). Высокочастотные и СВЧ-матрицы выпускаются как с самыми простыми конфигурациями 2×2, так и с более сложными — до 16×4. В этой группе представлено 36 моделей.

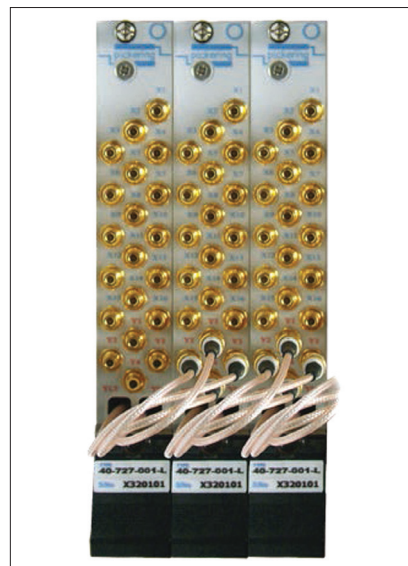
Матрицы осуществляют коммутацию по принципу «каждый-с-каждым», то есть сигнал с любого входа может быть подан на любой выход матрицы. В модуле может устанавливаться одна или две матрицы. В этой группе продукции, по сравнению с другими, в большей степени представлены изделия с сопротивлением 75 Ом. В матричных модулях компании в отличие от других изделий также применяется метод коммутации с помощью герконов. Это позволяет ре-



▲ Рис. 5. Матрица 16×2 с рабочими частотами до 100 МГц с возможностью расширения (модель 40-728-101-L)

ализовать большее число циклов переключения и добиться большего срока жизни матрицы. В некоторых модулях применяется метод коммутации, сочетающий электромеханическую технологию и использование герконов.

В данной группе компания предлагает матрицы с интересными дополнительными возможностями для пользователей — их можно соединять и таким образом формировать новые матрицы с расширенной конфигурацией (рис 5). Матрицы, имеющие эту опцию (Loop Thru Option), соединяются с помощью специальных кабелей, встроенных в переднюю часть корпуса (соединение показано на рис. 6). Как видно, четыре дополнительных кабеля, выходы которых находятся в нижней части первого матричного модуля, соединяются с портами Y второго матричного модуля, а до-



▲ Рис. 6. Матрица в конфигурации 48×4, полученная с помощью соединения трех матриц с конфигурацией 16×4 (модель 40-727-001-L) для рабочих частот до 300 МГц

полнительные выходы второго модуля соединяются с портами Y третьего матричного модуля.

За счет применения дополнительных кабелей в таких матрицах вносимые потери увеличиваются — на частоте 300 МГц они возрастают примерно на 0,6 дБ. Кроме того, в этих комплексных матрицах за счет некоторого усложнения общей структуры и внесения дополнительных элементов будет снижаться жизненный цикл изделий. Понятно, что определенное ухудшение отдельных показателей будет во многом зависеть от количества объединяемых матриц и диапазона рабочих частот.

Таблица 6. Характеристики ВЧ-/СВЧ-переключательных матриц

Модель, сопротивление, Ом, тип соединителей, особенности	Диапазон частот, ГГц	Конфигурация матрицы	Количество матриц в модуле	Развязка, дБ	Вносимые потери, дБ	КСВН	Максимальная мощность ВЧ-сигнала, Вт	Время переключения, мс, жизненный цикл — минимальное количество переключений
40-729-101, 75, SMB	0–0,1	8×4	1	70	3	2,0:1	10	5; 10 ⁹
40-728-101-L, 75 SMB, с возможностью расширения	0–0,1	16×2	1	70	3	2,0:1	10	5; 10 ⁷
40-726A-751, 75, SMB, коммутация с помощью герконов	0–0,25	12×8	1	–	3	3:1	10	1; 10 ⁹ (при небольшой мощности)
40-729-001, 50, SMB	0–0,3	8×4	1	70	3	2:1	10	5; 10 ⁹
40-727-002, 50, MS-M RF	0–0,3	16×4	1	70	3	2:1	10	5; 10 ⁹
40-727-002-L, 50, MS-M RF, с возможностью расширения	0–0,3	16×4	1	70	3	2:1	10	5; 10 ⁷ (при расширении)
40-725-511, 50, SMB, коммутация с помощью герконов	0–0,5	8×9	1	70	3	3:1	10	1; 10 ⁹ (при небольшой мощности)
40-750-521, 50, SMA	0–1,5	8×2	1	50	3	1,8:1	10	5; 2·10 ⁷ (при небольшой мощности)
40-877-001, 50, SMB	0–2,5	2×2	2	32	1,4	1,5:1	10	3; 10 ⁷ (при мощности, менее 100 мВт)
40-837-002, 75, SMB, с возможностью расширения	0–2,5	2×2	2	40	2	1,8:1	10	3; 10 ⁷ (при мощности, менее 100 мВт)
40-884A-001, 50, SMA, твердотельная	0,01–8	4×4	1	60	8	1,85:1	30 дБм непрерывная	50 мкс

Далее будут рассмотрены модули переключения высокочастотных сигналов на основе стандарта LXI.

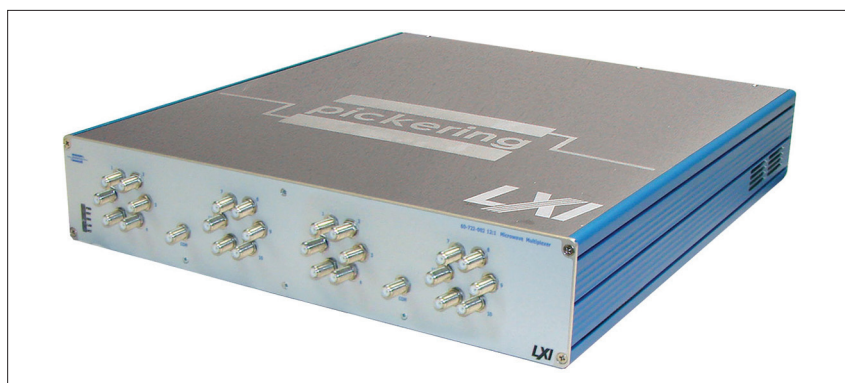
МОДУЛИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ВЧ-/СВЧ-СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТА LXI

Высокочастотные мультиплексоры

Высокочастотные мультиплексоры с сопротивлением 75 Ом имеют диапазон рабочих частот до 1 ГГц. Они характеризуются очень высокой развязкой, низкими потерями и хорошим значением КСВН. В данной группе представлено две модели — с одним и двумя мультиплексорами в модуле (рис. 7).

Мультиплексоры имеют 12 каналов, развязку 85 дБ, вносимые потери составляют 1,3 дБ, КСВН 1,5:1, выдерживаемая мощность 400 Вт, время переключения 20 мс. Минимальное число переключений — $2 \cdot 10^6$ для позиции (при небольшой мощности). Здесь следует отметить, что при увеличении рабочей мощности до максимальной количество переключений уменьшается практически на порядок.

Высокочастотные мультиплексоры выдерживают достаточно большую мощность: она значительно выше, чем у других устройств. По своему внешнему виду они во многом идентичны настольным приборам. Модули выполнены в достаточно компактных корпусах для стандартных 19-дюймовых стоек. Их высота 2 U (U — стандартная единица высоты оборудования, равная 44,45 мм), глубина 500 мм. Используются соединители F-типа. Питание осуществляется от ис-



▲ Рис. 7. Модуль с двумя мультиплексорами в корпусе (модель 60-722-002)

точника переменного тока: 90–264 В, 50/60 Гц. На передней панели расположены индикаторы, отображающие состояние прибора и его подключение к сети. Соединитель интерфейса 1000Base-T Ethernet расположен на задней панели устройства.

Данные мультиплексоры идеально подходят для создания комплексных переключательных систем для многих приложений, прежде всего для тех, где необходимо обеспечить высокие качественные показатели.

СВЧ-мультиплексоры

Группа СВЧ-мультиплексоров достаточно многочисленная — около 50 моделей. Они выпускаются для частот до 40 ГГц с сопротивлением 50 и 75 Ом. В этой группе всего несколько моделей с сопротивлением 75 Ом, причем их рабочие частоты до 2,5 ГГц. Самая многочисленная подгруппа — устройства для диапазона частот 0–18 ГГц.

В данных устройствах используются только простые конфигурации мультиплексоров — 4:1 и 6:1. В то же время



▲ Рис. 8. Модуль — 8 мультиплексоров с конфигурацией 4:1 с сопротивлением 50 Ом (модель 60-802-008), частота до 6 ГГц

Таблица 7. Характеристики СВЧ-мультиплексоров

Модель, сопротивление, Ом, тип соединителей	Диапазон частот, ГГц	Конфигурация	Количество мультиплексоров в модуле	Развязка, дБ	Вносимые потери, дБ	КСВН	Максимальная мощность, Вт	Время переключения, мс; жизненный цикл — минимальное количество переключений
60-820-016, 75, 1.6/5.6	0–2,5	6:1	16	70	0,3	1,3:1	240	18; $2 \cdot 10^6$ для позиции (при небольшой мощности)
60-802-008, 50, SMA	0–6	4:1	8	70	0,3	1,3:1	150	13; 10^7 для позиции (при небольшой мощности)
60-800-008, 50, SMA	0–18	6:1	8	60	0,5	1,5:1	100	18; $5 \cdot 10^6$ для позиции (при небольшой мощности)
60-802-216, 50, SMA	0–18	4:1	16	60	0,5	1,5:1	100	13; 10^7 для позиции (при небольшой мощности)
60-800-107, 50, SMA, с автоматическим включением нагрузки	0–18	6:1	7	60	0,5	1,5:1	100	18; $5 \cdot 10^6$ для позиции (при небольшой мощности)
60-801-304, 50, SMA	0–26,5	6:1	4	55	0,6	1,6:1	40	13; 10^7 для позиции (при небольшой мощности)
60-802-312, 50, SMA	0–26,5	4:1	12	55	0,6	1,6:1	40	13; 10^7 для позиции (при небольшой мощности)
60-800-307, 50, SMA, с автоматическим включением нагрузки	0–26,5	6:1	7	55	0,7	1,7:1	40	18; $5 \cdot 10^6$ для позиции (при небольшой мощности)
60-801-408, 50, SMA-2.9	0–40	6:1	8	45	1,1	2,2:1	5	13; 10^7 для позиции (при небольшой мощности)
60-802-416, 50, SMA-2.9	0–40	4:1	16	45	1,1	2,2:1	5	13; 10^7 для позиции (при небольшой мощности)

в одном модуле может устанавливаться от двух до 16 мультиплексов (табл. 7). В основном в модуле устанавливается четное и небольшое количество мультиплексов: два, четыре, восемь (рис. 8), но есть и нетипичные модели, содержащие семь отдельных мультиплексов.

Наиболее высокие качественные показатели имеют устройства с относительно низкими частотами до 6 ГГц, у которых вносимые потери на уровне 0,3 дБ. Мультиплексы, имеющие до восьми каналов, выпускаются в узких корпусах высотой 1U, а модели с большим количеством каналов — в корпусах высотой 2U. СВЧ-мультиплексы представляют собой высококачественные изделия для построения переключательных систем и позволяют обеспечить относительно небольшие габаритные показатели.

Видеомультиплексы

Видеомультиплексы выпускаются с сопротивлением 75 Ом. Общий диапазон рабочих частот достигает 1 ГГц. Их особенность среди других переключательных устройств компании — большое количество каналов, до 144. Количество моделей в этой группе невелико — шесть изделий.

Видеомультиплексы имеют число каналов 24; 48; 72; 96; 120; 144. При этом в модуле устанавливается один мультиплексор. Данные устройства характеризуются развязкой 65 дБ, вносимыми потерями 3,5 дБ, КСВН 1,5:1, выдерживают мощность 0,5 Вт, их время переключения 5 мс. Минимальное количество переключений — не менее $5 \cdot 10^6$ при небольшой мощности.

Мультиплексы служат для высококачественного переключения видеосигналов, при этом переключаемая мощность небольшая. Они выполнены с соединителями F-типа. Питание осуществляется от источника переменного тока 90–120/200–240 В, 50/60 Гц. В мультиплексах автоматически включаются нагрузки в 75 Ом на неиспользуемых каналах.

Модели с числом каналов 24, 48 и 72 изготавливаются в стандартных корпусах высотой 2U, а модели с числом каналов 96, 120 и 144 — в корпусах высотой 3U. Видеомультиплексы оптимальны для мониторинговых приложений, когда необходимо выбрать один канал из большого числа отслеживаемых и подключить его к измерительному оборудованию.

Видеоматрицы и высокочастотные матрицы

Видеоматрицы являются самыми низкочастотными изделиями среди переключательных модулей компании



▲ Рис. 9. Модуль с двумя видеоматрицами 24×8 серии 60-711 с соединителями BNC

Pickering, их диапазон до 25 МГц. Они выпускаются с сопротивлением 75 Ом. В эту небольшую группу входит девять моделей. Видеоматрицы представляют собой двунаправленные устройства с конфигурацией 24×8. В модуле может быть установлена одна или две матрицы (рис. 9). Они позволяют относительно просто создавать более сложные двунаправленные матричные системы.

Все матрицы характеризуются развязкой 55 дБ, вносимыми потерями 0,29 дБ, КСВН 1,37:1, максимальной мощностью 30 Вт, временем переключения 3 мс. Минимальное число переключений при небольшой мощности — 10^8 .

Видеоматрицы выпускаются с соединителями mini SMB, MCX, BNC и могут быть перестроены программно и установлены в конфигурациях двойной матрицы 24×8 или одинарной 48×8, а также в других конфигурациях. Видеоматрицы производятся в виде модулей со стандартной высотой 1U (с соединителями SMB/MCX) и глубиной 340 мм, со стандартной высотой 2U (с соединителями BNC) и глубиной 500 мм. Вес устройств 4,6 кг.

Весьма похожая группа изделий компании — высокочастотные матрицы, выпускаемые для частот до 50 МГц. При этом на практике они могут использоваться и до 100 МГц. В отличие от видеоматриц они имеют сопротивление в 50 Ом и также выполнены в одинар-

ной или двойной конфигурации 24×8. Программным путем может быть установлена конфигурация 48×8. В группу входит четыре модели.

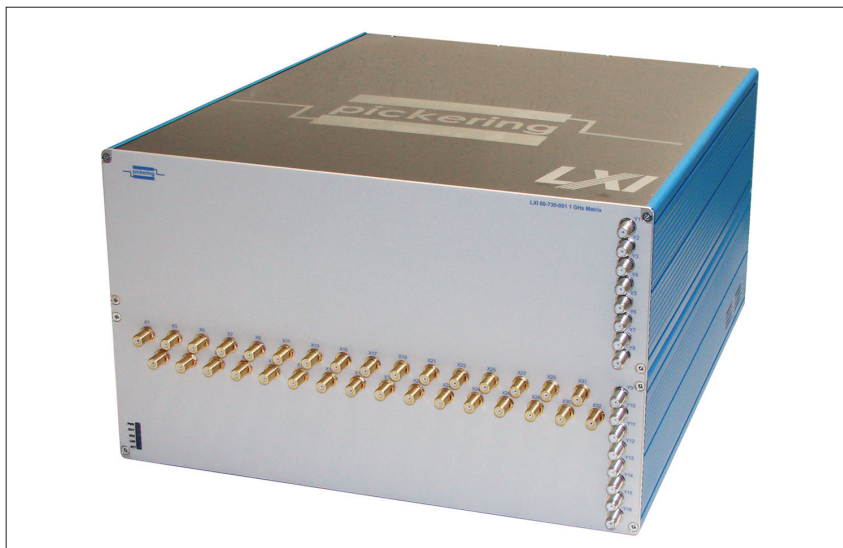
У всех высокочастотных матриц развязка 60 дБ, вносимые потери 1 дБ, КСВН 1,8:1, выдерживаемые мощность 10 Вт, время переключения 3 мс. Минимальное число переключений при небольшой мощности — 10^8 .

Блоки высокочастотных матриц имеют высоту 1U и глубину 340 мм (при соединителях SMB) и высоту 2U и глубину 500 мм (при соединителях BNC). Вес блоков высокочастотных матриц также 4,6 кг.

Радиочастотные матрицы с диапазоном до 1 ГГц

Эти матрицы изготавливаются с сопротивлением 75 Ом и имеют рабочие частоты до 1 ГГц, хотя могут работать и на частотах до 1,5 ГГц. В группе насчитывается 11 изделий. Матрицы выпускаются с различными конфигурациями, от относительно простой 8×4 до более сложной 32×16. При этом количество выходов составляет четыре, восемь и 16 (рис. 10). Конструкция данных матриц позволила создать эффективное, недорогое и конкурентное решение для переключения высокочастотных каналов.

Для всех устройств развязка 85 дБ, перекрестные помехи –75 дБ, вносимые потери 1,7 дБ, КСВН 1,4:1, выдерживаемая



▲ Рис. 10. Матрица 32×16 с диапазоном частот до 1 ГГц (модель 60-730-001)

Таблица 8. Характеристики СВЧ-матриц

Модель, особенности	Диапазон частот, ГГц	Конфигурация	Количество матриц в модуле	Развязка/ослабление перекрестных помех, дБ	Вносимые потери, дБ	КСВН	Максимальная мощность, Вт
60-750-133	0–10	3×3	1	90/85	3,6	1,6:1	60
60-750-133-А, с возможностью расширения	0–10	3×3	1	90/85	3,6	1,6:1	60
60-750-144-В, с включением нагрузки	0–10	4×4	1	90/85	3,6	1,6:1	60
60-750-184-С, с возможностью расширения и включением нагрузки	0–10	8×4	1	90/85	5	1,8:1	60
60-750-233-В, с включением нагрузки	0–10	3×3	2	90/85	3,6	1,6:1	60
60-750-244-А, с возможностью расширения	0–10	4×4	2	90/85	3,6	1,6:1	60
60-751-133-В, с включением нагрузки	0–20	3×3	1	60/90	4,5	1,6:1	30
60-751-133-С, с возможностью расширения и включением нагрузки	0–20	3×3	1	60/90	4,5	1,6:1	30
60-751-144-С, с возможностью расширения и включением нагрузки	0–20	4×4	1	60/90	4,5	1,6:1	30

мощность 0,125 Вт, время переключения 3 мс. Минимальное количество переключений для позиции 10⁷ (при мощности менее 100 мВт).

Модули матриц с конфигурациями 8×4 и 16×4 имеют высоту 2U, модули с конфигурациями 24×4, 32×4, 8×8, 16×8, 24×8 и 32×8 — высоту 3 U, модули с конфигурациями 16×16, 24×16 и 3×16—6 U, то есть являются весьма крупногабаритными устройствами. Глубина всех модулей 500 мм. В данных матрицах устанавливаются соединители F-типа.

Эти радиочастотные матрицы характеризуются очень высокой развязкой, низким уровнем перекрестных помех и хорошим значением вносимых потерь. Размеры матриц существенно увеличиваются при росте числа выходов, доходя до типового размера 6U.

Радиочастотные матрицы с частотой до 2,4 ГГц

Похожа по характеристикам и относительно небольшая группа высокочастотных матриц с рабочей частотой до 2,4 ГГц, выпускаемых уже с сопротивлением 50 Ом. В этой группе также 11 изделий.

Для всех матриц развязка составляет 75 дБ, перекрестные помехи –60 дБ, вносимые потери 2,5 дБ, КСВН 1,6:1, максимальная мощность 0,5 Вт, время переключения 3 мс. Минимальное число переключений — 10⁶ для позиции (при мощности менее 100 мВт). Показатели развязки, потерь, КСВН и жизненного цикла здесь несколько хуже, чем у матриц с рабочими частотами до 1 ГГц, а максимальная мощность, наоборот, даже немного выше.

Размеры данных модулей такие же, как и у модулей матриц с частотами до 1 ГГц. Используемые соединители — SMA.

Матрицы с рабочими частотами до 2,4 ГГц отличаются тем, что у них есть опция объединения и формирования таким образом более сложных устройств с большим числом каналов. При этом



▲ Рис. 11. Модуль с матрицей 4×4 для диапазона до 10 ГГц (модель 60-750-144)

дополнительные вносимые потери находятся на невысоком уровне — 1,3 дБ. У таких матриц есть дополнительная группа портов LT (Loop-Thru Switching) и дополнительные связи между этими портами и выходами Y. При соединении двух матриц выходы первой матрицы Y1 подключаются к дополнительным портам второй матрицы LT2, которые связаны с ее выходами Y2. Таким образом, формируется новая матрица с увеличенным в два раза числом входов (X1 и X2) и таким же, как у исходных матриц, числом выходов — Y2.

СВЧ-матрицы

Весьма обширная группа изделий компании — это СВЧ-матрицы, выпускаемые для частот до 20 ГГц с сопротивлением 50 Ом. В группе 28 моделей. Наибольшая часть — матрицы с диапазоном частот до 10 ГГц. В группе СВЧ-матриц в основном присутствуют матрицы с простой конфигурацией — 3×3 и 4×4 (рис. 11), хотя для диапазона частот до 10 ГГц также выпускаются более сложные матрицы — в конфигурации 8×4.

Для рабочих частот до 10 ГГц в модуле устанавливаются одна или две матрицы, для рабочих частот до 20 ГГц — одна матрица (табл. 8).

Для всех матриц максимальное время переключения составляет 18 мс. Минимальное количество переключе-

ний при небольшой мощности составляет 5×10⁶ для одной позиции. Матрицы характеризуются достаточно высокой развязкой и значительным ослаблением перекрестных помех, особенно это относится к моделям с диапазоном частот до 10 ГГц. Вносимые потери, приведенные в таблице, характерны для верхней части рабочего диапазона частот, где они существенны, а на частотах в несколько ГГц они будут практически в 3 раза ниже. На более низких частотах диапазона также улучшается значение КСВН.

Все СВЧ-матрицы поставляются в стандартных корпусах с высотой 2U и глубиной 500 мм с соединителями SMA. У некоторых моделей группы есть опция соединения в более сложные устройства (функция Loop-Thru), а также (табл. 8) опции автоматического включения нагрузки и комбинирования отдельных матриц (Terminated With Loop-Thru).

СВЧ-матрицы практически идеально подходят для приложений, где требуются быстрая установка параметров устройств переключения высокочастотных сигналов и оперативное начало работы, и для тех приложений, где требуется контроль устройств с больших расстояний.

Выводы

В заключение отметим общие особенности модулей переключения высокочастотных сигналов компании Pickering,

делающие их привлекательными для потребителей, в том числе из России:

- модули основаны на известных стандартах контрольно-измерительных систем — PXI и LXI;
- полнота предлагаемых структурных решений — выпуск модулей с отдельными переключателями, мультиплексоров и матриц;
- широкий диапазон частот: до 67 ГГц;
- большое количество моделей;
- возможность объединения переключательных модулей с целью создания устройств с большим числом каналов;
- выпуск модулей не только с панельными, но и с вынесенными переключателями;
- относительная простота модулей и эффективность удаленного управления ими;
- относительно невысокая цена предлагаемых устройств. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочемасов В. *Электромеханические переключатели ВЧ-/СВЧ-сигналов — основные типы и производители. Часть 1–3.*//Электроника: НТБ. 2016. № 7–9.
2. Кочемасов В., Кирпиченков А. *Твердотельные СВЧ-переключатели. Часть 1*//Электроника: НТБ. 2017. № 10. Части 2, 3//Электроника: НТБ. 2018. № 1, 2.
3. Кочемасов В., Рауткин Ю. *Интегральные СВЧ-переключатели. Часть 1–3*//Электроника: НТБ. 2018. № 4–6.
4. Кочемасов В., Майстренко А. *СВЧ-переключатели на основе МЭМС/СВЧ-Электроника. 2016. № 1.*
5. Кочемасов В., Дингес С., Шадский В. *Твердотельные СВЧ-переключатели средней и большой мощности. Часть 1, 2*//Электроника: НТБ. 2019. № 8, 9.
6. www.pickeringtest.com/en-ru/