

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ ВЧ/СВЧ-СИГНАЛОВ – ОСНОВНЫЕ ТИПЫ И ПРОИЗВОДИТЕЛИ

ЧАСТЬ 2

В.Кочемасов, к.т.н.¹

УДК 621.389
ВАК 05.27.00

В первой части статьи, опубликованной в предыдущем номере журнала, рассматривались основные характеристики и режимы работы электромеханических переключателей (ЭМПК) ВЧ/СВЧ-сигналов, была приведена информация о некоторых типах коаксиальных ЭМПК. Сегодня речь пойдет о других типах таких переключателей.

Трансферные (DPDT) электромеханические переключатели

Переключатели этого типа оказались наиболее востребованными при проведении различных испытаний. Один из возможных примеров использования трансферного ЭМПК представлен на рис.11а. При реализации такой схемы включения двух испытываемых устройств (ИУ1 и ИУ2) появляется возможность тестировать их с помо-

щью двух приборов без переключения измерительных СВЧ-кабелей. Это существенно снижает трудоемкость измерений, обеспечивает повторяемость результатов и повышает срок жизни используемых кабелей. Применение трансферного переключателя позволяет также, не переключая кабелей, обеспечивать прохождение сигнала на выход непосредственно либо через другое изделие, например фильтр (рис.11б). Кроме того, с помощью

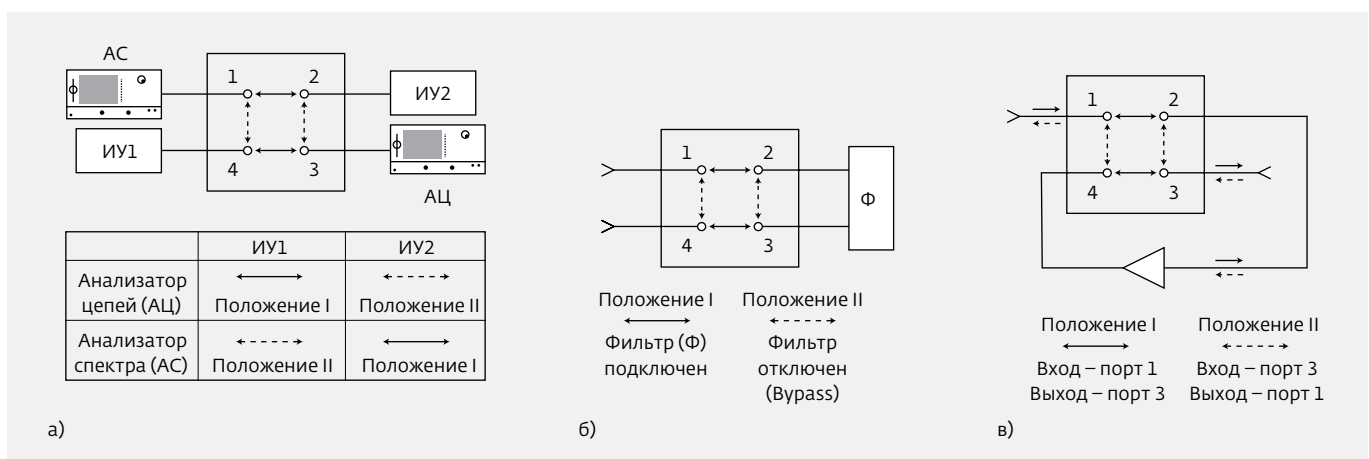


Рис.11. Варианты использования DPDT-переключателей: а) исследование характеристик испытываемых устройств ИУ1 и ИУ2 с применением анализатора спектра и анализатора цепей; б) реализация режима Вурасс при исследовании характеристик фильтра Ф; в) схема двунаправленного усилителя

¹ ООО "Радиокомп", генеральный директор, vkochemasov@radiocomp.ru.

трансферного переключателя легко реализуется схема двунаправленного (bi-directional) усилителя (рис.11в).

Трансферные переключатели выпускаются многими производителями (табл.2) и так же, как и другие виды устройств, различаются видом актуаторов (рис.12а, б), наличием или отсутствием подавляющих диодов, индикаторов, внутренних согласованных нагрузок, логических драйверов, а также электрическими характеристиками и конструктивным исполнением. Последнее зависит от предъявляемых требований и традиций предприятий-изготовителей.

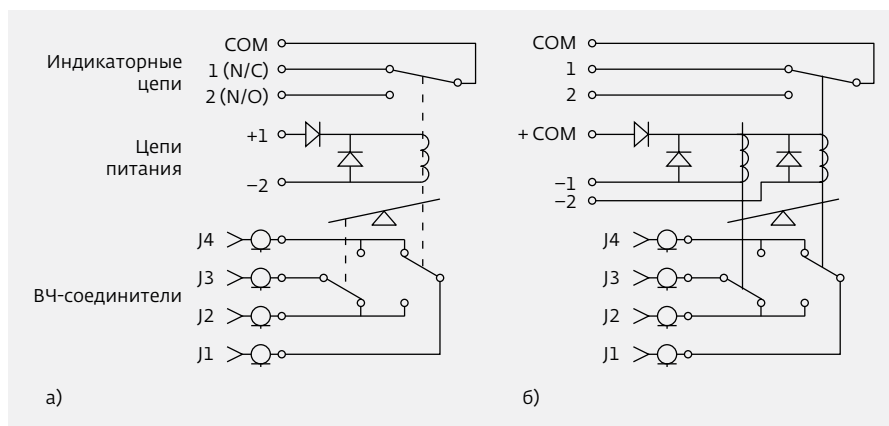


Рис.12. Принципиальные схемы DPDT-переключателей с актуаторами типа Failsafe (а) и Pulse Latching (б)

Таблица 2. Характеристики трансферных (DPDT) переключателей

Фирма	Модель, серия	Диапазон частот, ГГц	IL, дБ	Iso, дБ	КСВН	Срок службы, млн. циклов
Dow-Key Microwave	411JNT	0-3,0	0,25	75	1,30	1,0
Dow-Key Microwave	411FL	0-4,0	0,10-0,25	80	1,10-1,25	2,0
Spinner	BN512690	0-5,0	0,05-0,10	80-50	1,04-1,12	0,5
Ducommun Technologies	Серия ТК4	0-40,0	0,3-1,0	70-50	1,30-2,00	1,0
Ducommun Technologies	Серия TN/TNH	0-12,4	0,2-0,4	80-60	1,20-1,45	1,0
Dow-Key Microwave	412	0-12,4	0,15-0,60	85-60	1,15-1,60	1,0
Dow-Key Microwave	411C	0-18,0	0,1-0,5	85-60	1,10-1,50	1,0/5,0
Teledyne Relays	CS-37	0-18,0	0,2-0,5	70-60	1,25-1,50	5,0
EPX Microwave	Серия MTRAN	0-18,0	0,2-0,5	70-60	1,25-1,50	1,0
RelComm Technologies	RWS-WS3AB-I	0-18,0	0,2-0,5	80-60	1,20-1,50	1,0
Sector Microwave Industries	Серия SM7-1018	0-23,0	0,2-0,5	90-60	1,25-1,50	-
Teledyne Relays	CCS-53	0-26,5	0,2-0,7	70-50	1,25-1,80	5,0
RLC Electronics	Серия SR-Tmin-min-R	0-26,5	0,3-0,8	70-40	1,35-1,80	1,0
MCLI	Серия C1	0-26,5	0,2-0,7	90-50	1,20-1,65	1,0
Charter Engineering	Серия L1	0-26,5	0,2-0,7	90-50	1,20-1,65	1,0



Рис.13. Мощные DPDT-переключатели в коаксиальном исполнении: а) модель BN 512690 (Spinner); б) модель 417LP (Dow-Key Microwave)

Миниатюрный трансферный переключатель типа Failsafe CS-37 с SMA-соединителями компании Teledyne Relays характеризуется длительным сроком службы (два года или 5 млн. циклов), который снижается до 1 млн. циклов при наличии индикаторов. В диапазоне частот 0–18 ГГц в этом ЭМПК $P_{вх.} = 380–35$ Вт, $IL = 0,2–0,5$ дБ, $Iso = 70–60$ дБ, $KCBH = 1,25–1,50$. Время переключения не превосходит 20 мс, $MTBF = 6,8$ млн. ч, рабочий диапазон температур составляет $-54...85^{\circ}C$. В нерабочем состоянии изделия выдерживают ударные нагрузки (500 г) и значительные вибрации (10 г (СКЗ)).

В режимах Failsafe и Latching могут работать ЭМПК серии 411С с соединителями SMA или 2,9 м (К), производимые компанией Dow-Key Microwave. Рабочий диапазон этих переключателей 0–18 ГГц, но может быть расширен до 40 ГГц.

Переключатели, рассчитанные на большую мощность – 2,0–0,9 кВт в диапазоне частот 0–5 ГГц – производятся компанией Spinner (рис.13а). Эти ЭМПК обеспечивают в рабочей полосе частот $KCBH \leq 1,04–1,12$, развязку $Iso \geq 80–50$ дБ, вносимые потери $IL \leq 0,05–0,10$ дБ, время переключения $T_n \leq 100$ мс, срок службы ≥ 50 тыс. циклов переключения. Масса этих изделий равна 1200 г.

Мощные СВЧ-переключатели серии 417LP типа Latching компании Dow-Key Microwave с соединителями 7/16" (рис.13б) работают в диапазоне частот 20–2000 МГц, обеспечивая $IL < 0,3$ дБ, $Iso > 65$ дБ, $KCBH = 1,5:1$, $T_n < 500$ мс и срок службы 100 тыс. циклов переключения. Допустимая входная мощность этих ЭМПК в диапазонах частот 20–100, 100–1200 и 1200–2000 МГц не превышает 4, 3 и 1 кВт соответственно.

Многие производители выпускают трансферные переключатели в космическом исполнении. Так, компания Sector Microwave Industries производит СВЧ-переключатель SM7-1018 типа Latching, рассчитанный на диапазон частот 0–23 ГГц. В этом диапазоне обеспечиваются $IL = 0,2–0,5$ дБ, $Iso = 90–60$ дБ, $KCBH = 1,25–1,50$. Стандартные испытания на соответствие космическим

Таблица 3. Основные характеристики трансферных (DPDT) переключателей, выпускаемых компанией Docommun Technologies для космических приложений

Космическая программа	Диапазон частот, ГГц	Допустимая входная мощность, Вт
MTSAT	0,1–2,9	26
LEO	6,9–9,0	10
Hot Bird-6	10,5–12,7	10
METOP	10,95–12,75	10
SWIFT	2,1064–2,2875	20
GLAST	2,1–2,3 14,8–15,2	20,8 55,2
SAMARITAN Mission	6,0–8,0	2

условиям по желанию заказчика могут быть существенно расширены.

Надежные, качественные, высокочастотные (до 46 ГГц) ЭМПК с SMA-соединителями (рис.14а) производит компания Docommun Technologies. Возможные опции включают актуаторы типа Failsafe и Latching, индикаторные цепи и подавляющие диоды. Эти переключатели были разработаны для различных космических программ (табл. 3).

Один из наиболее известных производителей ЭМПК космического назначения – компания Dow-Key Microwave. Ее изделия (рис.14б, в, табл. 4) находят применение в ряде космических программ, реализуемых многими странами, в том числе Россией.

Наряду с трансферными ЭМПК, Dow-Key Microwave выпускает Т-переключатели космического исполнения, отличающиеся тем, что в них реализуются не две, а три комбинации прохождения ВЧ-сигналов, между четырьмя

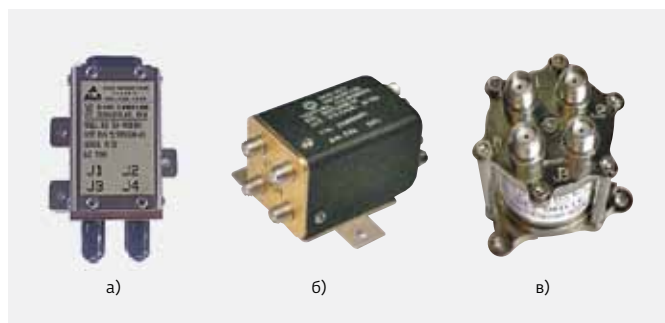


Рис.14. DPDT-переключатели космического исполнения: а) модель TS4-443F005-10 (Docommun Technologies); б) и в) модели 707 и 401H2 (Dow-Key Microwave)

Таблица 4. Характеристики DPDT- и T-переключателей космического назначения компании Dow-Key Microwave

Серия	Тип ЭМПК	Диапазон частот, ГГц	IL (макс), дБ	Iso (мин), дБ	КСВН (макс.)	Масса (макс.), г	$P_{вх}$, Вт	Срок службы, млн. циклов
4113НАС	DPDT	1,25–1,65	0,20	60	1,20	185	50	0,05
700	DPDT	0–10,0	0,45	60	1,45	140	30	0,10
707	DPDT	0–18,0	0,50	60	2,00	70	6	0,10
411Н	DPDT	0–18,0	0,50	60	1,50	110	7	0,10
411НQ	DPDT	0–27,0	0,45	65	1,45	55	2	0,20
511Н	T	0,36–0,38	0,10	60	1,22	210	200	0,10
511Н	T	0–4,0	0,25	60	1,25	95	260	0,10
511Н	T	2,50–4,39	0,20	60	1,25	195	140	0,10
511Н	T	1,0–8,8	0,24	60	1,25	670	35	0,10

портами (рис.15). Эти переключатели (рис.16) не только обеспечивают превосходные технические характеристики (см. табл. 4), но и, несмотря на малую массу, способны пропускать значительные мощности. Одна из моделей T-переключателей (511Н-730322), предназначенная для работы в диапазоне частот 0–4,8 ГГц, в процессе испытаний подтвердила способность работать при пиковой мощности 270 Вт на частоте 1,9 ГГц без проявления мультитакторного эффекта.

К наиболее эффективным ЭМПК относятся также изделия компании Mini-Circuits. Так, переключатель MTS-18XL-B+ (Failsafe) в диапазоне частот 0–18 ГГц обеспечивает $IL=0,10–0,25$ дБ, $Iso=100–76$ дБ, $КСВН=1,05–1,15$, $P_{вх} < 10$ Вт. При этом срок службы изделия составляет один год или 10 млн. циклов переключения. Однако, следует иметь в виду, что такой срок службы обеспечивается при $P_{вх} < 0,1$ Вт, и уже при $P_{вх}=1$ Вт снижается до 3 млн. циклов переключения.

Сдвоенные трансферные переключатели в PXI-исполнении (рис.17а) предлагает компания Keysight Technologies. В диапазоне частот 0–26,5 ГГц они обеспе-

чивают чрезвычайно низкий уровень вносимого ослабления $IL=0,20–0,86$ дБ, очень высокий уровень развязки $Iso=110–57$ дБ и $КСВН=1,10–1,65$. В течение срока жизни в 5 млн. циклов переключатели обеспечивают повторяемость вносимого ослабления 0,03 дБ, что предопределяет целесообразность их использования в системах тестирования массовой продукции.

DPDT-переключатели, выполненные в виде одного блока двух трансферных ЭМПК с внутренними согласованными нагрузками и разными типами соединителей (рис.17б), выпускаются компанией Logus Microwave.

Многопозиционные электромеханические переключатели

Многопозиционные ЭМПК применяются как при тестировании больших партий радиокомпонентов, так и при решении задач резервирования с целью повышения надежности различного рода систем.

Пример использования многопозиционного ЭМПК для снятия характеристик набора фильтров представлен на рис.18. С помощью этого стенда можно прово-



Рис.15. Возможные пути прохождения сигнала в T-переключателях

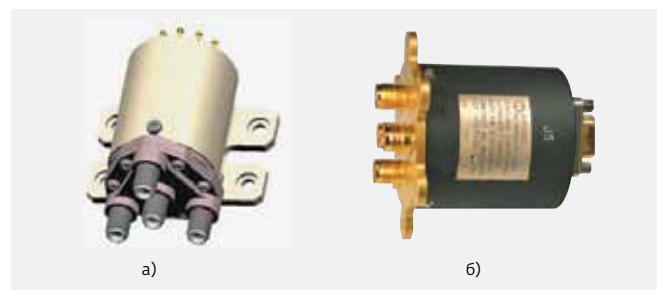


Рис.16. T-переключатели космического исполнения: а) средней мощности; б) большой мощности

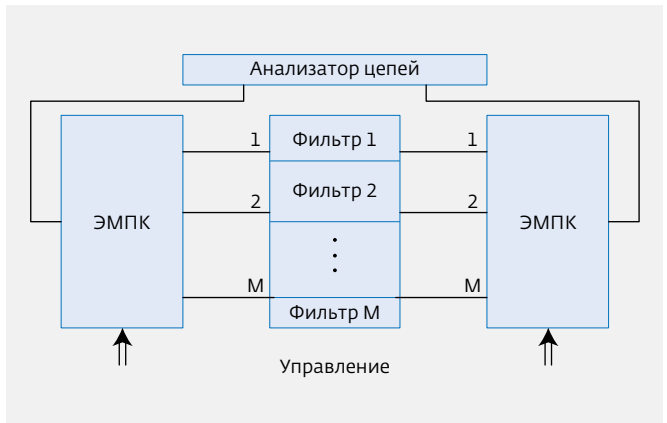
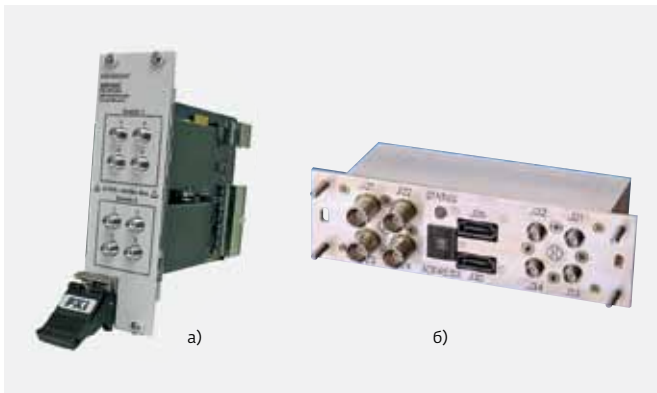


Рис.17. Сдвоенные DPDT-переключатели, выпускаемые компаниями Keysight Technologies (а) и Logus Microwave (б)

Рис.18. Стенд для тестирования характеристик гребенки фильтров

дить многочисленные измерения без переключения подсоединительных кабелей, что значительно повышает производительность операций.

Задача автоматического резервирования актуальна в тех случаях, когда аппаратура работает в космосе и единственной возможностью сохранения ее работоспособности является замена вышедших из строя узлов резервными. Быстрая автоматическая замена может потребоваться и в тех случаях, когда выход из строя мощных предварительных каскадов приводит к катастрофическим последствиям в окончных высокоомощных трактах.

Автоматическое резервирование часто применяется и в усилителях со сложением мощностей, где выход из строя одного парциального усилителя приводит к недопустимому снижению мощности передатчика. Рассмотрим этот случай на примере трехканального сложения мощностей^{*}, когда четвертый усилитель является резервным (рис.19). В рабочем состоянии ВЧ-сигналы со входов 1, 2, 3 через усилители У1, У2, У3 поступают соответственно на выходы 1, 2, 3 через нормально замкнутые контакты ЭМПК SP6T. При выходе из строя второго усилителя У2 на его

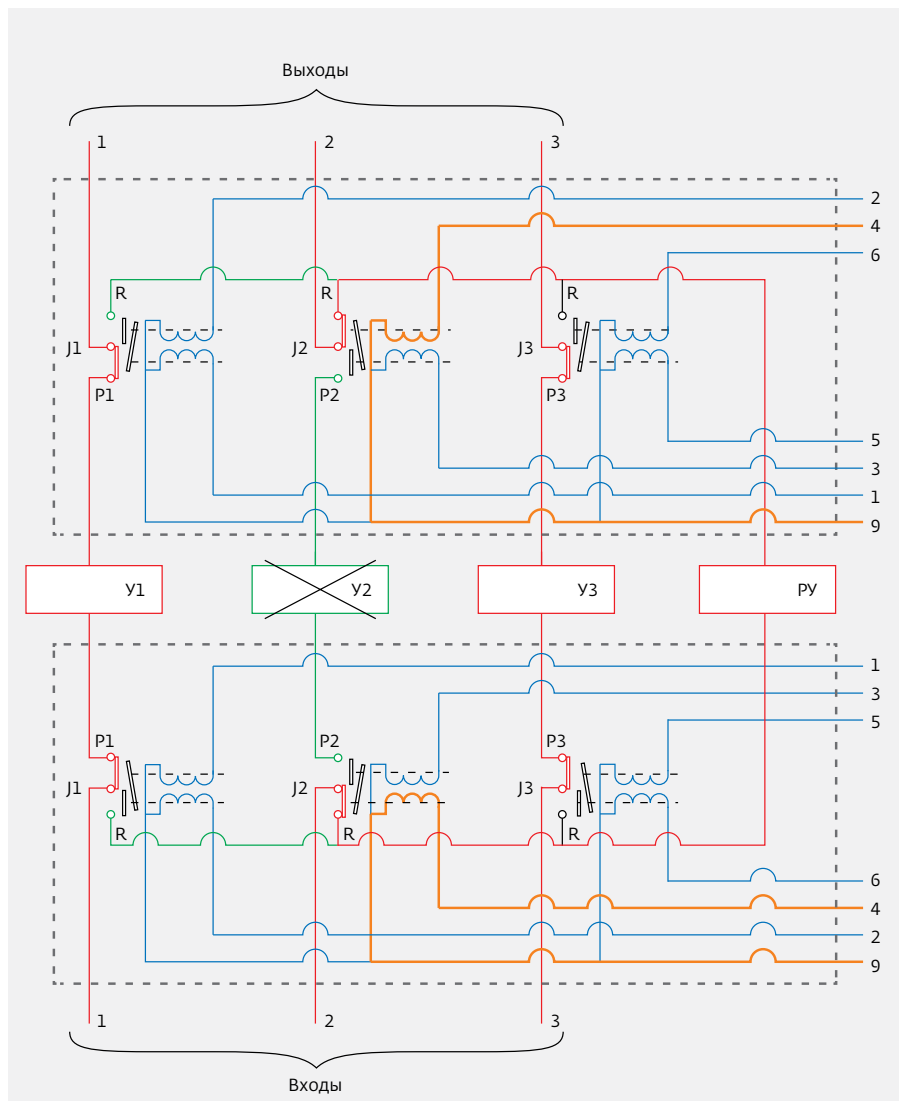


Рис.19. Пример использования многопозиционного ЭМПК типа SP6T для замены вышедшего из строя усилителя резервным

* A Multiposition Backup Switch // Microwave Journal. July 1998. P. 170–172.

Таблица 5. Характеристики многопозиционных коаксиальных переключателей

Фирма	Модель, серия	Тип переключателя	Диапазон частот, ГГц	IL, дБ	Iso, дБ	КСВН	Срок службы, млн. циклов
Pasternack Enterprises	PE71S6086	SP6T	0-6,0	< 0,3	> 70	-	10,0
RelComm Technologies	RMT-10S6A8	1P10T	0-8,0	0,15-0,25	70-65	1,2-1,3	1,0
Dow-Key Microwave	5C1JW-4X0852-ROHS	SP12T	0-8,0	0,2-0,8	70-60	1,2-1,8	1,0
Ducommun Technologies	N9-449C49FRV	SP9T	0,4-8,0	< 0,25	> 80	< 1,4	-
Старт	ПСЧ-10	SP4T	0-10,0	0,1	55	1,5	1,0
Dow-Key Microwave	Серия 5E1	SP14T	0-18,0	0,3-1,0	75-55	1,3-2,0	1,0
Magvention	MC36-S18	SP6T	0-18,0	0,3-0,5	70-60	1,3-1,5	1,0
Charter Engineering	Серия J8	SP8T	0-20,0	0,2-0,5	90-60	1,2-1,5	1,0
Teledyne Relays	CT-58	SP6T	0-26,5	0,2-0,8	70-50	1,25-1,80	5,0
Ducommun Technologies	Серия QK	SP3T-SP6T	0-40,0	0,2-1,0	70-50	1,30-2,00	1,0

место автоматически подключается резервный усилитель (РУ). При этом контакты J2 и P2 размыкаются и СВЧ-сигнал со входа 2 на выход 2 проходит через контакты J2 и R. Цветом на рис.19 показано, как проходят высокочастотные (красные линии) и управляющие (синие, зеленые, оранжевые линии) сигналы после замены вышедшего из строя усилителя резервным.

Палитра выпускаемых зарубежными, в первую очередь американскими, компаниями многопозиционных ЭМПК

чрезвычайно разнообразна (табл. 5). Так, компания Dow-Key Microwave предлагает широкую линейку ЭМПК, которые различаются числом выходов (до 14), видами актуаторов (Normally Open, Latching и др.), как с внутренними нагрузками, расположенными за заглушками (рис.20а), так и без них (рис.20б). Наличие внутренних согласованных нагрузок приводит к увеличению габаритов этих ЭМПК. Действительно, фронтальные размеры переключателей SP12T и SP14T на рис.20 составляют соответственно 76,2×76,2 мм и 63,5×63,5 мм, несмотря на разницу в количестве соединителей. Характеристики многопозиционных ЭМПК типа 5E1 с нормально разомкнутыми контак-

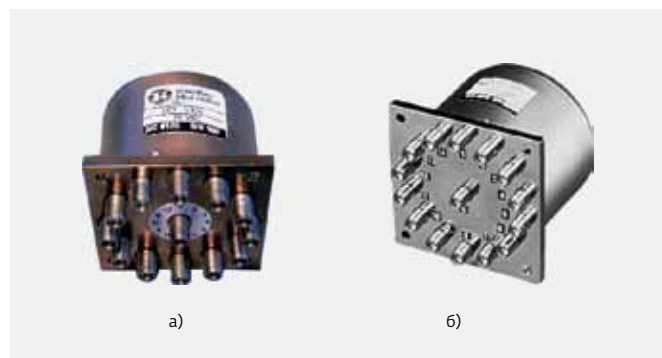


Рис.20. Многопозиционные ЭМПК компании Dow-Key Microwave: а) 12-позиционный с внутренними нагрузками (модель 5C1-5300); б) 14-позиционный без внутренних нагрузок (модель 5E1J-520802A-ROHS)

тами следующие: диапазон частот 0–18 ГГц, КСВН=1,3–2,0, $IL=0,3-1,0$ дБ, $I_{50}=70-55$ дБ, $T_n < 20$ мс, срок службы 1 млн. циклов переключения. Все характеристики обеспечиваются в условиях вибраций (10 g (СКЗ), 20–20 000 Гц). В нерабочем состоянии эти ЭМПК переносят механические удары (50 g, длительностью 11 мс).

Компания Dow-Key Microwave выпускает также стандартные многопозиционные ЭМПК типа Latching с N-и SMA-соединителями (для работы на частотах до 18,0 и 12,4 ГГц соответственно), отличающиеся низким уровнем ПИМ < -160 дБн. Максимальное число выходов при использовании соединителей типа N равно 12 (серия 5C1JW), а для SMA-соединителей – 6 (серия 561JW).

Многопозиционные ЭМПК типа SP3T, SP4T, SP5T, SP6T выпускает компания MCLI. В частности, модели А3–А6 (Momentary) (рис.21), Е3–Е6 (Failsafe, Latching), О3–О6 (Latching, Failsafe), V3–V6 (Failsafe, Latching, внутренние согласованные нагрузки), W3–W6 (Latching, внутренние согласованные нагрузки), D3–D6 (Failsafe, Latching). Все изделия оснащены помехоподавляющими диодами и индикацией. Рабочий диапазон частот этих ЭМПК простирается до 12,4; 18,0 и 26,5 ГГц.

Широкая линейка продукции многопозиционных ЭМПК поддерживается компанией Narda Microwave East. Переключатели серий 110 и 130 (SP11T, SP12T) работают в диапазоне частот 0–12,4 ГГц, обеспечивая $IL=0,2-0,7$ дБ, $I_{50}=80-60$ дБ, КСВН=1,2–1,8, $T_n=15$ мс. Устройства могут поставляться в различных опциях (Latching, Latching Reset, Normally Open и др.) и работать при различных управляющих напряжениях (12, 15, 18, 24, 28, 48 В). В нормальных условиях эти переключатели обеспечивают до 1 млн.

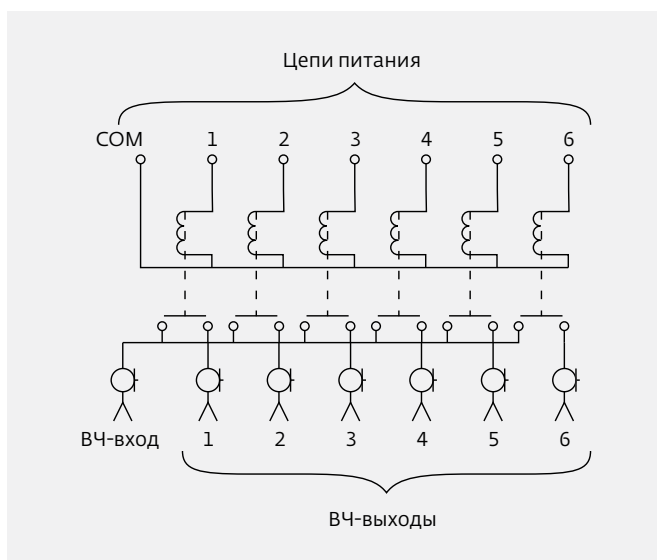


Рис.21. Принципиальная схема многопозиционного (SP6T) ЭМПК (модель А6, актуатор Momentary, компания MCLI)

переключений. Однако срок службы зависит от наличия в ЭМПК индикаторов. Так, в переключателе СТ-58 (компании Teledyne Relays) без индикаторов срок службы равен двум годам или более 5 млн. циклов переключений, а с индикаторами уменьшается до 1 млн. циклов.

Особые требования по надежности предъявляются к ЭМПК, предназначенным для работы в космосе. Пример такого четырехпозиционного изделия – модель MS4-446E004 компании Ducommun Technologies. Устройство применяется в диапазоне частот 300–2500 МГц при выходной мощности 5 Вт. Основные характеристики этого изделия: $IL < 0,2$ дБ, $I_{50} > 80$ дБ, КСВН < 1,2, $T_n < 40$ мс. Переключатель предназначен для спутниковых систем связи и тестовых испытаний в условиях вакуума. Для этих же целей компания создала 9-позиционный ЭМПК (модель N9-449C49FRV), рассчитанный на диапазон частот 400–8 000 МГц и входную мощность 10 Вт (рис.22). Значительно более высокие переключаемые мощности обеспечивают ЭМПК компании Dow-Key Microwave.

Широкий набор ЭМПК выпускает и компания Pasternack. Эти переключатели различаются конфигурацией, конструктивом, сроком службы от одного до 10 млн. рабочих циклов и верхней границей рабочего диапазона частот от 6 до 40 ГГц.

Многопозиционные ЭМПК (SP4T, SP6T) выпускаются также в PXI-исполнении. Они работают на частотах до 26,5 ГГц и используются в различных приложениях, прежде всего в автоматизированных контрольно-измерительных комплексах и системах связи. Шестипозиционные ЭМПК компании Keysight Technologies (модель M9157C) обеспечивают исключительно высокую стабильность (повторяемость) величины вносимых потерь (0,03 дБ), надежную развязку (90–60 дБ), низкое значение КСВН (1,2–1,7) и длительный (до 5 млн. переключений) срок службы.

Коаксиальные переключатели с ручным и комбинированным управлением

Помимо электромеханических переключателей с электронным управлением на практике используются пере-

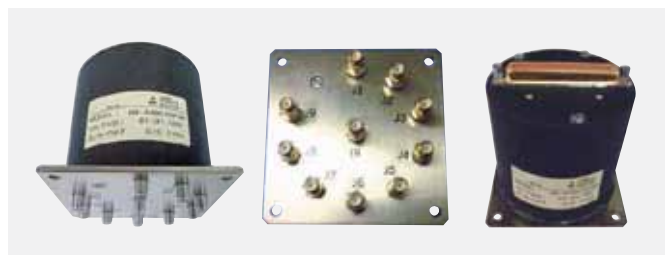


Рис.22. 9-позиционный переключатель (модель N9-449C49FRV, Ducommun Technologies)



Рис.23. Коаксиальные СВЧ-переключатели с ручным управлением: а) модель SOC12EMT, компания Logus Microwave; б) модель BN 754074, компания Spinner; в) модель BN 754645, компания Spinner; г) модель MFJ1701, компания MFJ Enterprises

ключатели с ручным управлением. Такие устройства бывают трех разновидностей:

- переключатели, в которых управление может выполняться только ручным способом;
- с электронным управлением, в которых одна из опций предполагает только ручное управление;
- с комбинированным управлением, одна из опций обеспечивает и электронное, и ручное управление.

По конструктивным и другим особенностям переключатели первой и второй группы не различаются. В комбинированных переключателях оба вида управления сочетаются в одном изделии. Электронное управление обеспечивается при переводе рукоятки ручного управления в нейтральное положение. При других положениях рукоятки режим электронного управления блокируется. В англоязычной литературе для такого режима ручного управления вводится термин manual override.

Модели переключателей с ручным управлением отличаются большим разнообразием (рис.23, табл.6). В SPDT-переключателях часто применяются тумблеры (Ducommun Technologies, Filtronic Sage Labs, Logus Microwave). В других видах переключателей используются рукоятки, обеспечивающие дискретное переключение на два и более положений. Срок службы переключателей этого типа также определяется количеством циклов переключения. Например, для многих переключателей, выпускаемых компанией Spinner, количество допустимых переключений превышает 500 тыс.

Переключатели с ручным управлением являются пассивными СВЧ-устройствами, позволяющими пропускать

Таблица 6. Характеристики коаксиальных СВЧ-переключателей с ручным управлением

Фирма	Модель	Тип переключателя	Диапазон частот, ГГц	IL, дБ	Iso, дБ	КСВН	$P_{вх}$, кВт
Pasternack Enterprises	PE7140	SP4T	0-1,0	0,10-0,60	> 50	1,10-1,40	< 0,5
Pasternack Enterprises	PE7139	SP2T	0-1,3	0,10-0,50	-	1,10-1,40	< 0,5
Alpha Delta	31004.N	SP4T	0-1,5	0,10-0,30	60-50	1,15-1,25	0,25-0,15
Ducommun Technologies	D1-400P10	SPDT	0-3,0	< 0,20	> 80	< 1,20	0,05
Spinner	BN 75 46 45	DPDT	0-5,0	0,04-0,06	75-50	1,03-1,22	0,93-0,17
Spinner	BN 75 95 24	DPDT	0-5,0	0,05-0,10	80-50	1,04-1,12	2,00-0,90
Spinner	BN 75 40 70	DPDT	0-5,0	0,04-0,06	75-50	1,03-1,22	0,79-0,35
Bird	72R	DPDT	0-10,0	0,02-0,22	-	1,06-1,30	0,85-0,075
Ducommun Technologies	T2-400P20	DPDT	0-12,4	< 0,40	> 60	< 1,40	0,05
Ducommun Technologies	M6-400P30	SP6T	0-18,0	< 0,50	> 60	< 1,50	0,05

Таблица 7. Характеристики коаксиальных СВЧ-переключателей, обеспечивающих в рамках одного изделия электронное и ручное управление (manual override)

Фирма	Модель, серия	Тип переключателя	Диапазон частот, ГГц	IL, дБ	Iso, дБ	КСВН	Актуатор	$P_{вх}$, кВт
Spinner	BN 94 19 18	DPDT	0–0,86	< 0,05	> 75	1,03–1,05	Двигатель	73–25
Spinner	BN 94 19 89	DPDT	0–0,86	< 0,03	80–75	1,06–1,08	Двигатель	70–60
Jampro Antennas	Серия RCSF	DPDT	0–1,00	–	> 60	1,25–1,40	Двигатель	15,0–1,8
Spinner	BN 74 37 41	DPDT	0–2,00	0,06–0,07	70–65	1,12–1,15	Соленоид	0,30–0,20
Spinner	BN 75 40 98	DPDT	0–5,00	0,04–0,06	75–50	1,03–1,22	Соленоид	0,79–0,35
Spinner	BN 51 27 16	3xSPDT	0–5,00	0,04–0,06	75–50	1,03–1,22	Соленоид	0,79–0,35
Jampro Antennas	Серия RCSF	DPDT	0–8,00	–	> 60	1,05–1,30	Двигатель	1000–200

сигнал по одному из нескольких возможных направлений. Эти изделия широко используются при измерениях, а также в качестве антенных селекторов (см. рис.23г), в которых не задействованные антенные цепи автоматически заземляются, уменьшая тем самым уровень вносимых помех и обеспечивая дополнительную грозозащиту. Мощность, пропускаемая через такие переключатели, в значительной степени зависит от типа используемых соединителей. Например, переключатель типа SP2T

(модель Delta-2В, производимая компанией Alpha Delta) с соединителями типа SO-239 позволяет пропускать сигналы мощностью до 1500 Вт в диапазоне частот до 30 МГц и 1000 Вт в диапазоне частот 30–450 МГц.

В случаях, когда наряду с ручным необходимо обеспечить автоматическое управление в переключателе, применяются комбинированные решения (рис.24). Электронный режим управления в СВЧ-переключателях комбинированного типа обеспечивается при использовании соленоидных актуаторов, а также посредством двигателей.

Компания Spinner предлагает нетрадиционное техническое решение с соленоидным управлением, позволяющее одновременно переключать три СВЧ-сигнала в рамках одного блочного переключателя (см. рис.24б). В диапазоне частот 0–5 ГГц это изделие предоставляет возможность переключать сигналы мощностью 0,79–0,35 кВт, обеспечивая при этом $IL < 0,04–0,06$ дБ, $Iso > 75–50$ дБ, $КСВН < 1,03–1,22$ и время переключения в режиме электронного управления < 100 мс.

При использовании в СВЧ-переключателях соленоидов среднее значение пропускаемой через них мощности обычно не превышает 1 кВт. Применение двигателей увеличивает это значение до 1 МВт (табл.7). Несколько моделей таких переключателей, которые различаются видом используемых соединителей (7/8", 1-5/8", 3-1/8", 4-1/2", 6-1/8" EIA), разработала компания Jampro Antennas. Первые четыре модели обеспечивают переключение сигналов в диапазоне частот 1–1000 МГц, последняя работает на частотах 0–8000 МГц. Средняя переключаемая мощность на частоте 2 МГц составляет для этих моделей 15, 90, 200, 400 и 1000 кВт соответственно.

Окончание следует

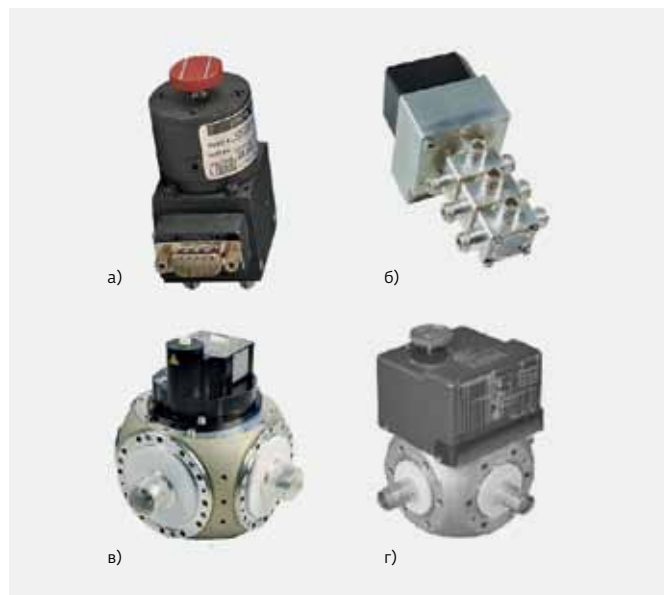


Рис.24. Комбинированные коаксиальные СВЧ-переключатели (manual override): а) модель LMC224FML, компания Logus Microwave, б) модель BN 512716, компания Spinner; в) модель BN 941989, компания Spinner; г) серия RCSF, компания Jampro Antennas