

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

ЧАСТЬ 3

В.Кочемасов, к.т.н.¹

УДК 621.389
ВАК 05.27.00

В первых частях статьи, опубликованных в предыдущих номерах журнала, рассматривались основные характеристики и режимы работы электромеханических переключателей (ЭМПК) ВЧ/СВЧ-сигналов, была приведена информация о различных типах коаксиальных ЭМПК. Сегодня речь пойдет о волноводных переключателях.

ВОЛНОВОДНЫЕ СВЧ-ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ

Волноводные переключатели широко используются в радиолокационных системах для резервирования мощных узлов передающего тракта, для подключения передающего устройства к эквивалентной антенной нагрузке, при тестировании передатчиков, а также в системах связи для резервирования и изменения пути прохождения мощного сигнала через различные узлы при тестовых измерениях.

Большинство волноводных переключателей имеют роторную конструкцию, включающую в себя квадратный статор с четырьмя портами и плотно входящий в него ротор, который может быть двух- или трехканальным. Электрическая развязка между каналами обеспечивается с помощью четвертьволновых дросселей. Отсутствие в конструкции скользящих контактов существенно улучшает электрические характеристики переключателя и поддерживает их на высоком уровне в течение всего срока службы.

Статор и ротор выполняются из алюминиевых сплавов с последующим хромированием. Все детали переключателя изготавливаются из материалов, не подверженных коррозии. Ротор в статоре устанавливается с помощью подшипника из нержавеющей стали.

Количество роторных каналов определяет число возможных положений переключателя. При двухканаль-

ном роторе возможно лишь два положения (рис.25а), при трехканальном – четыре (рис.25б). В первом случае ротор дискретно перемещается с шагом 90°, во втором – 45°. При двухканальном роторе в положении I обеспечивается связь между портами 1–2 и 3–4, а в положении II между портами 2–3 и 1–4. В случае трехканального ротора в положении I обеспечивается связь между первым и третьим портами, в положении II

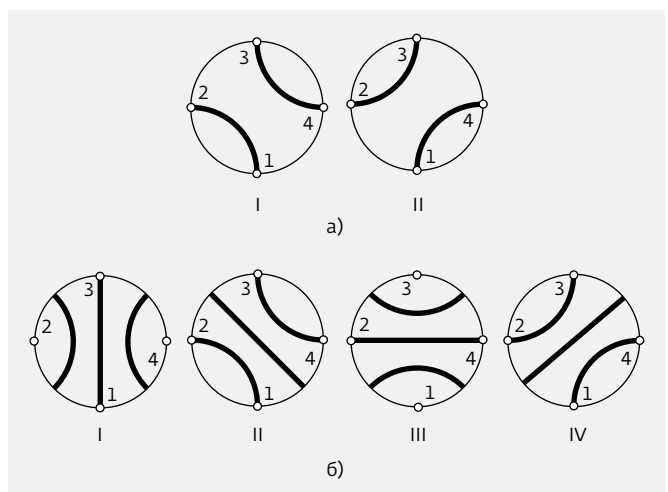


Рис.25. Схематичное изображение возможных положений в волноводных переключателях с двухканальным (а) и трехканальным (б) ротором (I, II, III, IV – номера положений)

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

Таблица 8. Характеристики волноводных переключателей с электронным управлением

Фирма	Модель	Диапазон частот, ГГц	IL, дБ	Iso, дБ	КСВН	T _п , мс	P _{вх.} (пик.), кВт
MDL	284SR16	2,60–3,95	<0,1	>60	<1,10	150	2 200
SIVERS	WS8286G/00	3,95–5,85	0,1	80	1,05	500	500
Dow-Key Microwave	WR112T14321	7,05–10,00	<0,1	>60	<1,10	200	–
MDL	28SR16	26,5–36,0	<0,1	>50	<1,10	100	22
MDL	D180SR16	18,0–39,0	<0,7	>40	<1,60	100	5,8
Dow-Key Microwave	WR28T14321	26,5–40,0	<0,2	>60	<1,12	100	–
Mi-Wave	535B	33,0–50,0	<0,3	>50	<1,15	500	–
SIVERS	WS8089Q/00	26,5–40,0	<0,1	>60	<1,10	150	20
WAKA	WSW-15-1	50,0–65,0	0,6	–	<1,20	1	–
Mi-Wave	535F	90,0–140,0	<0,8	>35	<1,20	500	–

между портами 1–2 и 3–4, в положении III между портами 2–4 и в положении IV между портами 2–3 и 1–4. Таким образом, в случае двухканального ротора могут быть реализованы только DPDT-переключатели, а при трехканальном роторе – SPST-, SPDT-, SP3T- и DPDT-переключатели.

Управление в волноводных переключателях может быть электронным, ручным и комбинированным (режим manual override). В моделях с электронным управлением возможны два вида актуаторов: Failsafe и Latching. При использовании первого из них под действием управляющего напряжения происходит переключение из одного положения в другое, которое поддерживается до тех пор, пока действует управляющее напряжение. После его снятия переключатель возвращается в исходное состояние. В переключателях с Latching-актуаторами новое положение сохраняется даже при снятии управляющего напряжения. С точки зрения минимизации потребляемой мощности предпочтительны переключатели с Latching-актуаторами.

При электронном управлении в волноводных переключателях используются соленоиды, а также двигатели переменного или постоянного тока, в том числе шаговые, применение которых обеспечивает более высокую точность, повторяемость и надежность.

Волноводные переключатели выпускаются многими производителями (табл.8). Линейку из семи четырехпортовых электромеханических переключателей серии QWZ с электронным управлением в диапазоне частот 18–110 ГГц производит компания QuinStar Technology. Трансферные переключатели этой серии предназначены для проведения тестовых испытаний.

Серия 535 из восьми переключателей (волноводы WR-42, ..., WR-10), предлагаемых компанией Mi-Wave, отличается использованием шагового двигателя, обеспечивающего перестройку за 500 мс. Патентованные двигатели компании Logus Microwave обеспечивают время перестройки 80–200 мс при средней мощности до нескольких десятков киловатт. Широкую номенклатуру волноводных переключателей выпускают также компании AST, Sector Microwave, SIVERS.

Облегченные волноводные переключатели, имеющие малые массу, размеры и энергопотребление, производятся компанией Dow-Key Microwave. Устройства выпускаются на основе волноводов WR-62, WR-75, WR-90 и WR-112 в частотных диапазонах 12,4–18,0; 10,0–15,0; 8,20–12,4 и 7,05–10,0 ГГц соответственно. Эти волноводные переключатели используют тип переключения Latching Self-Cutoff (при снятии управляющего воздействия переключатель возвращается в исходное положение). Гарантированная износостойкость состав-



Рис.26. Волноводные трансферные (DPDT) переключатели компании Dow-Key Microwave в космическом исполнении

ляет 200 тыс. циклов, время переключения – 100 мс. Рабочий диапазон температур находится в пределах от –54 до 85 °С, что позволяет использовать переключатель для наземных и авиационных применений. Волноводные переключатели имеют индикаторы, подавляющие переходные процессы диоды и удовлетворяют современным требованиям военных и коммерческих применений.

Большой опыт, приобретенный за долгие годы компанией Dow-Key Microwave, позволяет ей производить широкую линейку волноводных переключателей космического назначения с размерами волновода от WR15 до WR112 (рис.26).

К числу уникальных можно отнести волноводный переключатель WSW-15-1 японской компании WAKA, обеспечивающий в диапазоне частот 50–65 ГГц время переключения 1 мс и срок службы более 1 млн. переключений.



Рис.27. Волноводные переключатели с ручным управлением: а – серия 333, Flann Microwave; б – серия 530, Mi-Wave; в – серия QWM, Quin Star Technology; г – серия CWS, Cernex; д – модель RFWSW 112 M4E, RF-Lambda; е – серия MWT, XI'AN Microwave Telecom Technology

Волноводные переключатели с ручным управлением (рис.27) производятся многими компаниями (табл.9). В радиолокационных применениях эти устройства используются для подключения одного из двух передатчиков к общей антенне при одновременном присоединении второго передатчика к подходящей нагрузке. 530-я серия переключателей с ручным управлением компании Mi-Wave доступна в диапазоне частот 12,4–220 ГГц. Каждая модель этих волноводных переключателей обеспечивает в рабочем диапазоне частот, определяемом

Таблица 9. Характеристики волноводных переключателей с ручным управлением

Фирма	Модель	Диапазон частот, ГГц	IL, дБ	Iso, дБ	КСВН	Р _{вх.} (пик.), кВт
Waveline	4378-E	1,7–2,6	0,03	–	–	20
RF-Lambda	RFWSW112M4E	7,0–9,0	0,2	60	1,15	0,15
Flann Microwave	16333	8,2–12,5	0,15	75	1,10	–
Nihon Koshuha	WGS-246	18,0–26,5	0,3	50	1,20	–
Waveline	1078-E	26,5–40,0	0,20	–	–	0,40
Cernex	CWS33500350	33,0–50,0	0,3	50	1,15	–
XI'AN Microwave Telecom Technology	MWT-WS740E/H	60,5–91,9	0,3	40	1,15	–
QuinStar Technology	QWM-W	75,0–110,0	0,8	60	1,15	–
Flann Microwave	28333	93,2–140,0	1,20	75	1,15	–
Mi-Wave	530G	140,0–220,0	1,0	30	1,25	–

Таблица 10. Волноводные переключатели с моторизованным управлением компании Flann Microwave

Модель, серия	Диапазон частот, ГГц	IL, дБ	Iso, дБ	КСВН
17333-2E	9,84–15,00	0,2	>75	<1,10
WRD180334	18,0–40,0	0,2	75	<1,15
28333-2E, 28333-3E	92,3–140	1,2	>75	<1,15

выбранным сечением волновода, минимально возможное затухание и КСВН, а также максимальную развязку между портами переключателя.

Волноводные переключатели с ручным управлением компании Waveline выпускаются в DPDT- и SPDT-конфигурациях и рассчитаны на диапазон частот от 1,7 до 50 ГГц. Средняя мощность, пропускаемая через переключатели, меняется по мере увеличения частоты от 20 кВт до 350 Вт.

Восемнадцать моделей ручных волноводных переключателей предлагает компания XI'AN Microwave Telecom Technology. Устройства доступны в диапазоне частот 2,6–112 ГГц.

Четырехпортовые волноводные переключатели с ручным управлением 333-й серии компании Flann Microwave выпускаются как с двух-, так и с трехканальным ротором.



Рис.29. Комбинированные волноводные переключатели различных компаний: а – Logus Microwave; б – Flann Microwave; в, г – AST; д, е – Logus Microwave



Рис.28. Моторизованные волноводные СВЧ-переключатели компании Flann Microwave: а – модель 27333-3E; б – модель 16334-2E; в – модель WRD180334-2E

Точное совпадение канала с портом статора и отличная повторяемость достигаются посредством специальной роторной конструкции. 13 моделей выпускаемых волноводных переключателей доступны на частотах от 8,2 до 140 ГГц.

Некоторые производители дают пользователям возможность управлять работой волноводных переключателей от двигателей переменного или постоянного тока, в том числе шаговых (табл.10). Так, компания Flann Microwave выпускает волноводные переключатели с моторизованным управлением (серии 333-2E, 333-3E, 334-2E). Моторизованные волноводные устройства с шаговым двигателем (рис.28а) обеспечивают наивысшую надежность и повторяемость по сравнению с соленоидными актуаторами. Более дешевые изделия серии 334-2E с двухканальным ротором, управляемые двигателем постоянного тока (рис.28б), доступны в диапазоне частот 8,2–140 ГГц. По заказу производитель может изготовить и переключатели с H-образными волноводами (рис.28в).

Наибольшее распространение среди волноводных получили комбинированные переключатели, в которых в рамках одного изделия может быть обеспечено и электронное, и ручное управление, при переходе к кото-

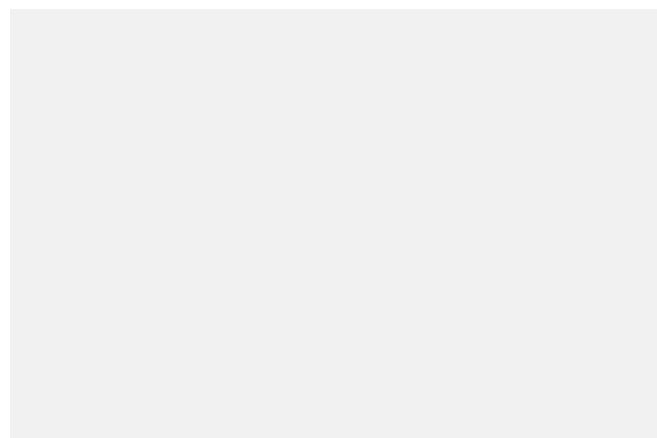


Таблица 11. Характеристики волноводных переключателей с электронным и ручным (manual override) управлением

Фирма	Модель, серия	Диапазон частот, ГГц	IL, дБ	Iso, дБ	КСВН	T _п , мс	P _{вх.} (пик.) / P _{вх. avg.} , кВт	Срок службы, млн. переключений
ERI	WS801-224	0,470-0,625	<0,06	70	1,03	-	-/240	-
Micro Communications	Серия 65000	0,470-0,608 0,566-0,780 0,698-0,860	<0,10	>60	1,08	2000	-/280	-
COM DEV Intl.	8-42/EDS/P/O/C	1,70-2,60	<0,01	>100	<1,04	260	6000/8	-
SIVERS	WS8286A/01	3,3-4,9	<0,10	80	1,05	200	500/4	25000
AST	AST 159	4,90-7,05	<0,05	70	-	100	-/5	-
Nihon Koshuba	WGSA-077	6,4-7,2	0,10	>70	1,05	-	-	-
Logus Microwave	WR137	5,85-8,20	<0,02	>70	<1,05	100	320/12	1 000 000
Flann Microwave	Серия 336	5,85-8,20	<0,02	>75	-	70	350/12	-
Sector Microwave	Серия 75-xx	10,0-15,0	<0,05	>60	<1,08	50	-	100 000
Logus Microwave	WR75	10,0-15,0	<0,05	>75	<1,10	80	100/3,5	1 000 000
M2 Global	390-700100-120	18,0-26,5	0,15	>55	-	70	-/0,5	-
SIVERS	WS 81889K/00	18,0-26,5	0,10	70	1,10	100	30/0,5	250 000
Logus Microwave	WRD180	18,0-40,0	<0,40	>50	<1,30	100	2,75/0/05	-
Flann Microwave	Серия 336	26,5-40,0	<0,13	>65	-	50	15/0,6	-
COM DEV Intl.	-	60,0-90,0	<0,02	>85	<1,10	45	15/0,2	-

рому электронное управление автоматически блокируется (табл.11).

Традиционно орган ручного управления и соединитель, по которому выполняется электронное управление, находятся сверху (рис.29а). Однако в некоторых моделях соединители размещены на одной из боковых поверхностей переключателя (рис.29б). В ряде слу-



Рис.30. Мощные волноводные переключатели для передатчиков: а – радиовещательных (компания ERI), б – телевизионных (компания Micro Communications)

чаев на переключателях устанавливаются блокираторы, исключающие несанкционированный доступ к ручным органам управления (рис.29в), а переключатели, работающие в тяжелых условиях эксплуатации, снабжаются защитными колпачками (рис.29г). Встречаются также модели блочных переключателей, в которых органы ручного и автоматического управления контролируют работу сразу нескольких волноводных переключателей (рис.29д). При большой входной мощности в переключателе может быть предусмотрено водяное охлаждение (рис.29е). Входной и выходной штуцеры для подачи и слива воды встроены в переключатель снизу. Ротор в этом случае выполняется коаксиальным. Для исключения протечек в переключателе предусмотрена герметизация*.

Ряд производителей выпускает мощные волноводные переключатели для использования в радиовещательных и телевизионных передатчиках. Переключатели серии WS компании ERI, предназначенные для радиовещатель-

* Hartop R.W. X-band Waveguide Switches. – JPL Technical Report 32-1526, vol. XV, p.48–50.

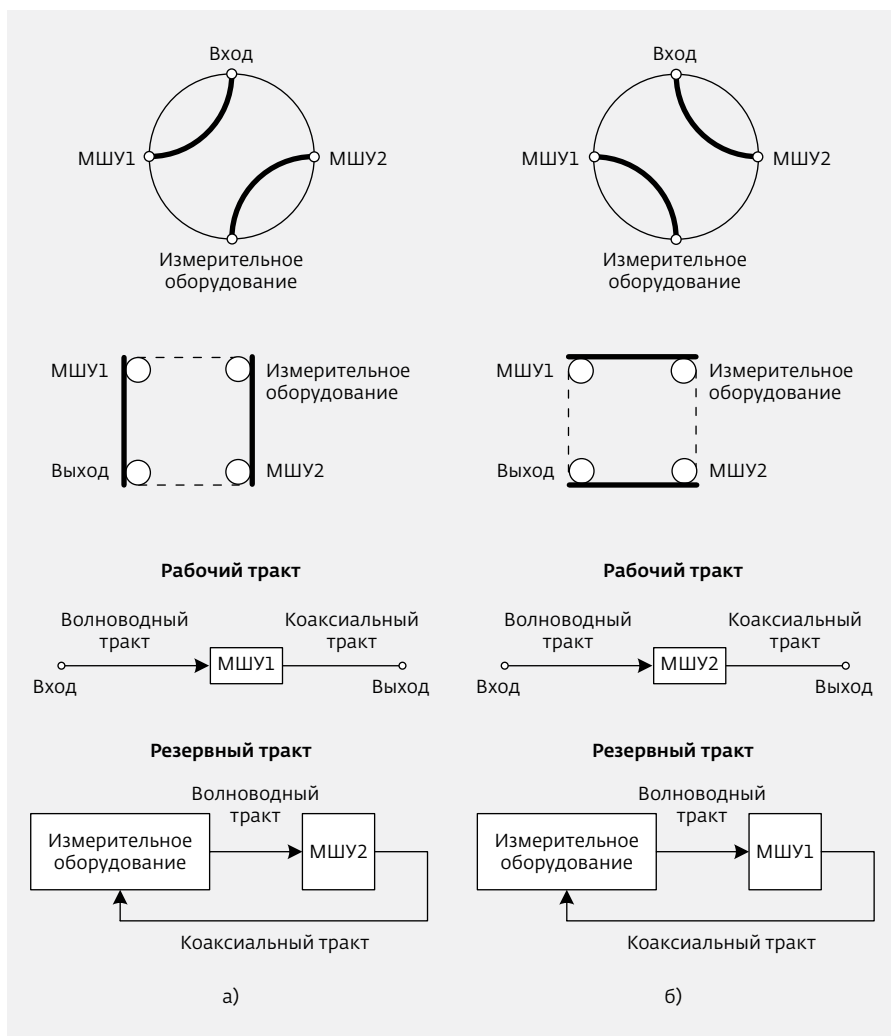


Рис.31. Условные обозначения волноводного и коаксиального переключателей и упрощенные схемы включения МШУ1 и МШУ2 в рабочий и резервный тракты в двух положениях: а - положение I; б - положение II

ных передатчиков (рис.30а), имеют роторную конструкцию и обеспечивают коммутацию сигналов мощностью до 240 кВт. Переключатели для телевизионных пере-

трех типоразмеров волноводов WR1800, WR1500, WR1150 (табл.12), обеспечивающих коммутацию сигналов мощностью до 280 кВт. При этом переключатели имеют низ-

Таблица 12. Характеристики мощных ($P_{avg.} = 280$ кВт) волноводных переключателей с ручным и моторизованным управлением, выпускаемых компанией Micro Communications

Модель	Управление	Диапазон частот, МГц	Размер волновода	Габариты, мм	Масса, кг
65319	Ручное	470-608	WR18000	914×914×406	68
65329	Моторизованное + ручное	470-608	WR18000	914×914×610	91
65318	Ручное	566-728	WR1500	813×813×356	54
65328	Моторизованное + ручное	566-728	WR1500	813×813×559	79
65317	Ручное	698-860	WR1150	711×711×305	45
65327	Моторизованное + ручное	698-860	WR1150	711×711×508	68



Рис.32. Коаксиально-волноводные DPDT-переключатели компаний Logus Microwave (а, б) и SIVERS (в)

датчиков, выпускаемые компанией Micro Communications, могут быть как трех-, так и четырехпортовыми. Конструктивно они выполняются на волноводах большого сечения (рис.30б). В UHF-диапазоне передатчики реализуются с использованием

Таблица 13. Характеристики гибридных коаксиально-волноводных СВЧ-переключателей

Фирма	Модель, серия	Диапазон частот, ГГц	IL (волноводный/коаксиальный тракты), дБ	Iso (волноводный/коаксиальный тракты), дБ	КСВН (волноводный/коаксиальный тракты)	T _п , мс	Тип волновода/соединителя
AST	AST229D	3,5–4,2	0,05/0,15	70/60	–	120	WR229/SMA, N
Logus Microwave	Серия WR229	3,3–4,9	0,02/0,30	80/60	1,05/1,30	200	WR229/SMA
Logus Microwave	Серия WR137	5,85–8,20	0,02/0,30	70/60	1,05/1,30	100	WR137/SMA
AST	AST137D	5,85–8,20	0,05/0,20	70/60	–	100	WR137/SMA, N
Logus Microwave	Серия WR75	10,0–15,0	0,05/0,50	75/60	1,10/1,35	80	WR75/SMA
SIVERS	WS8189P/70	12,4–18,0	0,10/0,50	60/40	1,05/1,50	100	WR62/SMA
Sector Microwave	Серия US	12,4–18,0	0,10/0,50	60/50	1,10/1,50	75	WR62/SMA
Sector Microwave	Серия USxx	12,4–18,0	0,10/0,50	60/50	1,10/1,50	–	WR62/SMA
AST	AST62D	17,0–18,4	0,05/0,50	70/50	–	90	WR62/SMA

кий КСВН и малые вносимые потери, зависящие от длины используемых волноводов.

Моторизированные версии переключателей предназначены для использования в необслуживаемых телевизионных передатчиках, для управления которыми могут применяться как переменное (115 и 230 В), так и постоянное (12 и 24 В) напряжения. Использование волноводных, а не коаксиальных устройств на столь низких частотах объясняется более высоким (на 10%) КПД передатчиков волноводного исполнения при меньших значениях КСВН.

Ряд компаний (Logus Microwave, AST, Sector Microwave, SIVERS) выпускает гибридные волноводно/коаксиальные роторные переключатели (dual switches), которые позволяют одновременно коммутировать и волноводные, и коаксиальные тракты (табл.13). Используемый в них двухканальный ротор определяет DPDT-конфигурацию и волноводного, и коаксиаль-

ного переключателей. Подобные гибридные устройства могут применяться, например, совместно с малошумящими усилителями (МШУ), в которых вход является волноводным, а выход – коаксиальным. В качестве примера можно привести схему (рис.31), в которой коаксиально-волноводный переключатель позволяет использовать МШУ1 в рабочем режиме усиления входного сигнала, а МШУ2 – в режиме горячего резерва с обеспечением мониторинга его основных характеристик (рис.31а). Переводом переключателя из положения I в положение II МШУ2 переходит в рабочий режим, а МШУ1 – в резервный (рис.31б).

Коаксиальные соединители могут находиться как в верхней (рис.32а), так и в нижней (рис.32б, в) частях переключателя.

Помимо электронного возможен также ручной режим управления (manual override) этими устройствами.

В связке с коаксиальными волноводными переключателями коммутируют очень большие мощности (сотни киловатт и больше в импульсном режиме) при низких потерях и высокой (на уровне 120 дБ и более) развязке между волноводным и коаксиальным трактами. Время переключения в таких изделиях составляет 75–200 мс.

Таким образом, многие десятки зарубежных, прежде всего американских и европейских, компаний занимаются производством электромеханических переключателей. Количество моделей устройств, производимых этими компаниями, исчисляется тысячами. Приведенная в статье информация поможет сделать правильный выбор переключателя, оптимального для решения той или иной задачи. ●