

# Твердотельные СВЧ-переключатели средней и большой мощности

## Часть 2

В. Кочемасов, к. т. н.<sup>1</sup>, С. Дингес, к. т. н.<sup>2</sup>, В. Шадский, к. т. н.<sup>3</sup>

УДК 621.389 | ВАК 05.27.01

В первой части статьи, опубликованной в восьмом номере журнала «ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес» за 2019 год, было рассказано об особенностях проектирования различных твердотельных СВЧ-переключателей средней и большой мощности. В данном номере рассматриваются рpн-диодные переключатели нескольких типов, выпускаемые рядом производителей.

### МОЩНЫЕ РPН-ДИОДНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ Интегральные переключатели

Исторически первыми появились модульные переключатели на дискретных рpн-диодах, выполненных по кремниевой технологии. Далее получили развитие монолитные переключатели на кремниевой (табл. 1–3), а затем и на арсенид-галлиевой подложках. Особенно высокие требования по мощности стали предъявляться к переключателям, обеспечивающим подключение передатчика и приемника к одной или нескольким антеннам. Среди кремниевых рpн-диодных переключателей наибольшее применение нашли переключатели «прием-передача» (Rx/Tx) (см. табл. 3), работающие на одну антенну. Для этих применений вполне подходят симметричные SPDT-переключатели (рис. 5а). Однако существенно различные требования к трактам прохождения сигнала от передатчика к антенне и от антенны к приемнику привели к появлению асимметричных SPDT-переключателей с различной схмотехникой каналов (рис. 5б).

Когда передатчик подключается к антенне, сопротивление диода Д1 и вносимые в этом канале потери становятся минимальными, а сопротивление диода Д2 в приемном канале становится максимальным, чем обеспечивается защита приемника от большой мощности на выходе передатчика. Дополнительная развязка входа приемника и выхода передатчика достигается переводом диода Д3 в открытое состояние. При этом часть просочившейся через диод Д2 мощности замыкается на землю. При переходе в приемный режим Д1 и Д3 закрываются, а диод Д2 переходит в открытое состояние.

Мощный (125 Вт) асимметричный переключатель MASW-000936 (рис. б), выпускаемый в безвыводном

пластиковом PQFN-корпусе, обладает в широкой полосе частот (0,05–6,0 ГГц) высокой (ИПЗ = 72 дБм) линейностью, и предназначен в первую очередь для WiMAX- и WiFi-применений. Переключатель может использоваться как при двухполярном (–15/15 В), так и при однополярном (0/28 В) напряжениях. Необходимые в каждом из этих случаев управляющие напряжения и токи обеспечиваются внешними драйверами.

Серия SPDT-переключателей MSW200х-200 включает три изделия: MSW2000-200 (0,05–1 ГГц), MSW2001-200 (0,4–4 ГГц) и MSW2002-200 (2–6 ГГц). Асимметричная структура этих гибридных переключателей (см. рис. 5б) обеспечивает минимум вносимых потерь в канале передатчика и максимальную развязку в канале приемника (рис. 7). Для обеспечения высокой коммутуруемой мощности (125 Вт) в переключателях используются высоковольтные рpн-диоды, а все вспомогательные пассивные элементы, обеспечивающие управление переключателями, размещаются на керамической подложке. Чрезвычайно малое тепловое сопротивление рpн-диодов (менее 10 °С/Вт) делает их весьма надежными при холодной (Т = 85 °С) коммутации сигналов с непрерывной мощностью до 50 дБм и пиковой мощностью до 53 дБм.

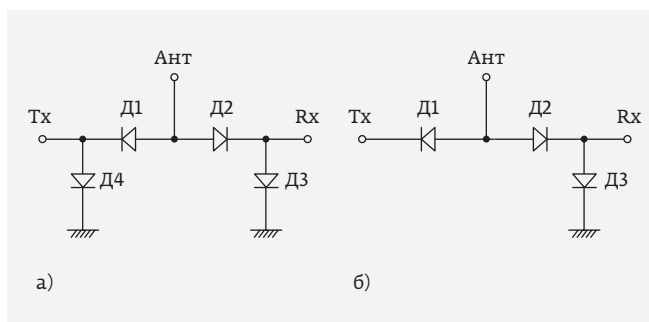


Рис. 5. Типы рpн-диодных SPDT-переключателей: а – симметричный; б – асимметричный

<sup>1</sup> ООО «Радиокомп», генеральный директор.

<sup>2</sup> МТУСИ, доцент.

<sup>3</sup> АО «Микро-Вис», заместитель генерального директора по науке.

Таблица 1. Интегральные переключатели средней мощности на кремниевых рpn-диодах

Компания	Модель	Тип	Диапазон частот, ГГц	$P_{доп}$ , Вт	IL, дБ	Iso, дБ	$T_{п}$ , нс
Skyworks Solutions	SKY13525-646LF	SP6T	0,4-2,7	<4	0,45-0,60	30-20	2000
MACOM	MASW-011052	SPDT	2-18	2	0,55-1,20	70-48	50
MACOM	MASW-002102-13580	SPDT	2-18	2	0,7-1,5	60-40	50
MACOM	MASW-003102-13590	SP3T	2-18	2	0,8-1,6	59-40	50
MACOM	MASW-002103-1363	SPDT	0,05-20,0	6,2-2	0,55-1,05	52-27	20
MACOM	MASW-003100-1192	SP3T	0,05-20,0	2	0,5-0,9	57-42	20
MACOM	MASW-004103-1365	SP4T	0,05-20,0	6,2-2	0,5-1,2	51-32	20

Примечание: IL – вносимые потери, Iso – развязка,  $T_{п}$  – время переключения

Таблица 2. Интегральные переключатели на кремниевых рpn-диодах большой (более 10 Вт) мощности

Компания	Модель	Тип	Диапазон частот, ГГц	$P_{доп}$ , Вт	$P_{и}/T_{и}/Q$ , Вт/мкс/%	IL, дБ	Iso, дБ	$T_{п}$ , мкс
Microsemi	MPS2R10-606	SPDT	0,05-1,0	100	-	0,1-0,5	60-47	-
Microsemi	MPS4103-607	SPST	0,1-3,0	40	-	0,1-0,5	70-44	0,5
MACOM	MASW-011040	SP4T	0,05-1,0	200-80	-	0,25-0,45	51-45	3,5
MACOM	MSW2060-206	SPDT	0,02-1,0	100	500/10/1	0,25	53	2
MACOM	MSW2061-206	SPDT	0,4-4,0	100	500/10/1	0,5	35	1
MACOM	MSW3201-320	SP3T	0,4-4,0	100	500/10/1	0,6	35	1,0
MACOM	MSW2032-203	SPDT	2,0-6,0	100	500/10/1	0,6	35	1,0
MACOM	MSW2062-206	SPDT	2,0-6,0	100	500/10/1	0,7	34	1
MACOM	MASW-011060	SPDT	0,5-6,0	158	-	0,15-0,80	47-28	1,5
MACOM	MASW-011071	SPDT	8,0-10,5	20	-	0,9-1,2	36-39	0,13
KCB Solutions	KS113-52	SPDT	0,02-2,0	50	-	0,03-0,75	45	-
KCB Solutions	KS03R2-22	SPDT	0,02-3,0	200	-	0,4-0,7	30-22	-
KCB Solutions	KS03R3-22	SP3T	0,02-3,0	200	-	0,4-0,7	30-22	-
KCB Solutions	KS102-55	SPDT	0,225-3,5	100	-	0,25-1,20	45-23	0,05
Skyworks Solutions	SKY12211-478LF	SPDT	0,05-2,7	60	240/10/4	0,22-0,53	50-32	0,032
Skyworks Solutions	SKY12213-478LF	SPST	0,5-6,0	190	760/10/4	0,27-1,30	34-20	0,19
Wei Bo Associates	MSW2T-2040X-194	SPDT	0,1-1,0	320	1000/10/1	0,15	45	40
Wei Bo Associates	MSW2T-2041-193	SPDT	0,4-4,0	160	500/10/1	0,5	33	2,0
Wei Bo Associates	MSW2T-2060-195	SPDT	0,02-1,2	100	500/10/1	0,25	53	0,75
Wei Bo Associates	MSW2T-2061-195	SPDT	0,2-4,5	100	500/10/1	0,5	35	0,75
Wei Bo Associates	MSW2T-2062-195	SPDT	1,5-6,5	100	500/10/1	0,7	34	0,75
Wei Bo Associates	MSW2T-8512-740	SPDT	8,5-12,0	100	400/10/1	0,7	35	1,1

Таблица 3. Интегральные переключатели «прием-передача» на кремниевых рpn-диодах

Компания	Модель	Диапазон частот, ГГц	$P_{\text{доп}}$ (Tx/Rx), Вт	$P_{\text{и}}/T_{\text{и}}/Q$ , Вт/мкс/%	IL (Tx/Rx), дБ	Iso (Tx/Rx), дБ	$T_{\text{п}}$ , мкс
MACOM	MSW2022-202	0,05-1,0	160/10	500/10/1	0,2/0,3	45/23	1,5
Wei Bo Associates	MSW2T-2050-194	0,05-1,0	160/20	640/10/1	0,15/0,25	50/26	1,0
Wei Bo Associates	MSW2T-0025-195	1,0-2,0	100/10	500/10/1	0,3/0,3	20/15	1,5
Skyworks Solutions	SKY12212-478LF	0,05-2,7	120/60	480/10/4	(0,29-0,55)/ (0,24-0,44)	(59-28)/ (47-29)	0,6
MACOM	MSW-2002-200	2,0-6,0	100/20	500/10/1	0,6/0,9	34/13	1,0
Skyworks Solutions	SKY12210-478LF	0,9-4,0	120/60	480/10/4	(0,33-0,52)/ (0,26-0,56)	(35-25)/ (44-33)	0,157
MACOM	MSW2011-201	0,4-4,0	100/20	500/10/1	0,3/0,4	36/14	1,5
Wei Bo Associates	MSW2T-2051-194	0,4-4,0	160/120	640/10/1	0,3/0,8	34/13	1,0
MACOM	MASW-000936	0,05-6,0	(120-80)/ 14	1000/10/-	(0,07-0,25)/ (0,20-0,70)	(16-11)/ (50-40)	0,2
MACOM	MASW-000825-12770T	0,05-6,0	20/8	200/5/1	(0,29-0,59)/ (0,42-0,95)	(24,2-18,5)/ (28,6-22,4)	0,2
MACOM	MASW-000932	0,01-6,0	80/14	2000/5/1	(0,25-0,45)/ (0,60-0,80)	(14-10)/ (43-35)	0,2

Малое сопротивление диодов в открытом состоянии обеспечивает высокую линейность ( $IIP3 > 65$  дБм) этих переключателей. Предназначенные для поверхностного монтажа, эти высоконадежные изделия используются в коммерческих, промышленных и военных применениях.

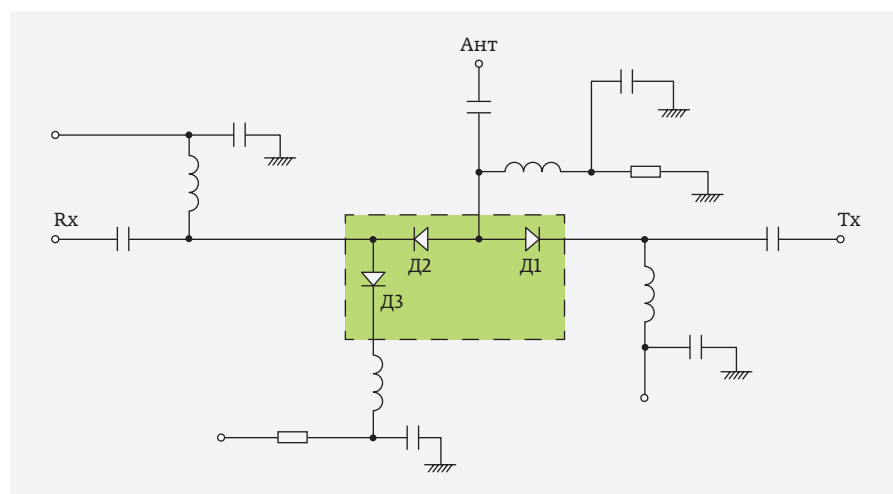


Рис. 6. Принципиальная схема асимметричного рpn-диодного переключателя MASW-000936 (выделен цветом) компании MACOM

Многие недостатки, свойственные кремниевым рpn-диодным переключателям, преодолены в переключателях, изготовленных по НМІС-технологии, выпускаемых компанией MACOM. В рамках этой технологии кремниевые вставки с диодами размещены на поверхности стеклянной подложки, используемой для формирования на ней пассивных элементов, обеспечивающих управление рpn-диодами (рис. 8а). Найденное техническое решение позволило сформировать на стекле топологию (рис. 8б) с очень высоким разрешением, обеспечивающим высокую повторяемость характеристик в том числе и на высоких частотах.

Асимметричный SPDT-переключатель (см. рис. 5б) был реализован в монолитном исполнении [15] с использованием НМІС-технологии. В этом техническом решении применяются только положительные источники питания, что достигается развязкой по постоянному току катода шунтирующего диода в приемном канале. Этот асимметричный

Таблица 4. Арсенид-галлиевые рpn-диодные переключатели средней мощности в интегральном исполнении

Компания	Модель	Тип	Диапазон частот, ГГц	$P_{дон}$ , дБм	IL, дБ	Iso, дБ	$T_{п}$ , нс
Qorvo	TGS2304-SCC	SP4T	0,2-20	33	0,4-1,3	32-44	-
Analog Devices	HMC970	SPDT	8-21	34	0,9-1,4	40	-
Bowei	BW142	SPST	4-26	30	0,4	22	-
Bowei	BW143	SPST	0,1-30	30	0,5	18	-
Qorvo	TGS4304	SPDT	32-40	35	0,9-1,3	-	4
MACOM	MASW-011036	SPDT	26-40	43	0,7-1,5	38-40	<30
Alpha	AP640R5-00	SPDT	24-40	40	0,8-1,8	34	2
Alpha	AP640R1-00	SPST	18-40	40	1,0-1,3	42-36	4
Analog Devices	HMC971	SPDT	18-40	35	1,0-1,5	40	-
Qorvo	TGS4302	SPDT	27-46	37	0,9-1,3	-	4
Analog Devices	HMC975	SPDT	2-50	23-30	0,5-1,7	50-45	-
Qorvo	TGS4306-FC	SP4T	70-90	27	2,5	20	<5
Qorvo	TGS4305-FC	SP3T	60-90	27	1,6	20	<5

переключатель, разработанный компанией MACOM, обеспечивает достаточно большую коммутируемую мощность ( $P_{н}=40$  Вт,  $P_{н}=1000$  Вт), а также низкие вносимые потери и хорошую развязку. Полученные результаты достигнуты благодаря эффективным решениям, разработанным на основе электромагнитных и тепловых

расчетов, включая выбор прямоугольной формы диода Д1 в передающем канале (рис. 9).

Наряду с традиционными зависимостями  $IL(f)$ ,  $Iso(f)$  и др., имеющимися в технических описаниях (data sheets), для мощных переключателей приводятся и другие данные, позволяющие определиться с выбором самого

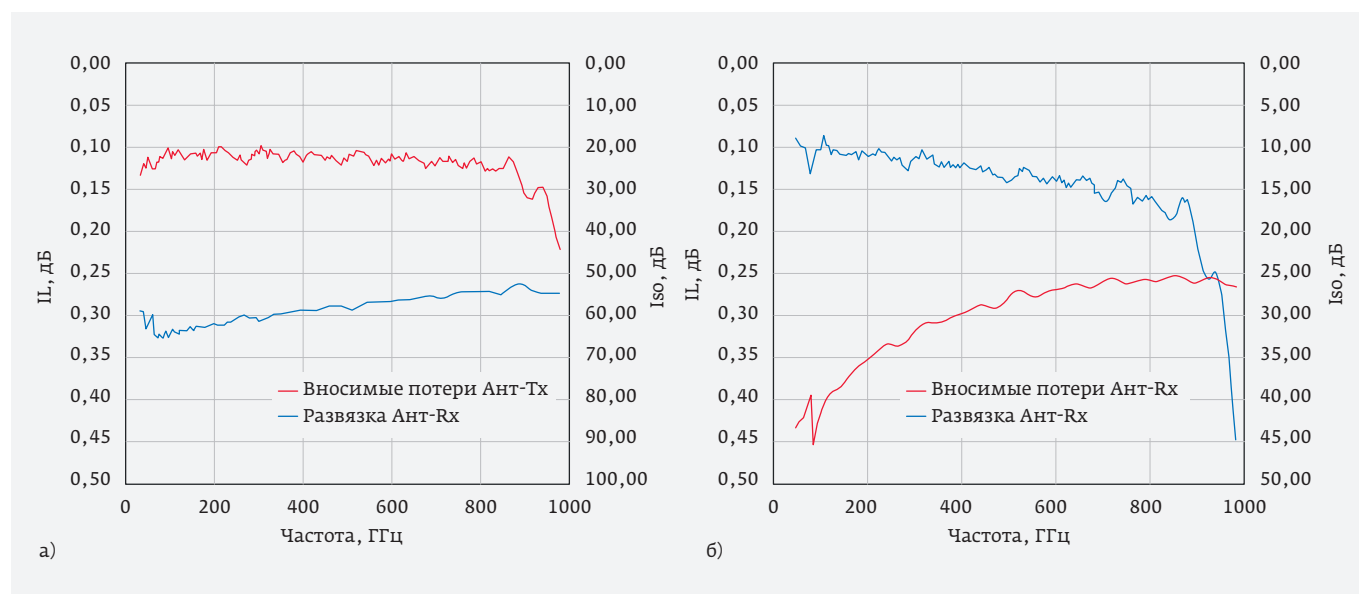


Рис. 7. Зависимости вносимых потерь IL и развязки Iso от частоты в асимметричном рpn-диодном переключателе MSW2000-200 в передающем (а) и приемном (б) каналах

Таблица 5. Мощные SPST-, SPDT-, DPDT-переключатели на кремниевых рpn-диодах в модульном исполнении

Компания	Модель	Тип	Диапазон частот, ГГц	$P_{\text{доп}}$ , Вт	$P_{\text{и}}/T_{\text{и}}/Q$ , Вт/мкс/%	IL, дБ	Iso, дБ	$T_{\text{п}}$ , мкс
Temex	SH90207	SPDT	0,0015-0,05	1000	-	<0,15	>37	-
Aethercomm	SSHPS 0.225-0.450-400	SPDT	0,225-0,450	400	2000/-/-	0,7	40	5
Seekon Microwave	XK29655054	SPDT	0,1-0,5	150	-	<0,8	>30	0,9
Cobham	SH91107	SPDT	0,02-0,50	1000	-	<0,2	>33	-
Elisra	MWP-41211-CEL	SPST	0,824-0,960	200	2000/-/-	0,4-0,6	35-30	-
Mercury Systems	ES0232	SPDT	0,5-1,0	1000	-	<0,5	>45	40
CPI	MA8305-2L18SD	SPDT	1,02-1,10	-	500/-/-	<0,7	>40	<120
LabTech	LMS902	SPDT	1,0-1,1	-	<500/-/-	<0,8	>45	1
Aethercomm	SSHPS 1.2-1.4-4000	SPDT	1,2-1,4	<400 ( $P_{\text{cp}}$ )	4000/80/10	0,23-0,30	53,7	1,8
PMI	P2T-1200M1400M-35-R-SFF	SPDT	1,2-1,4	-	500/10/1	<0,4	>35	5
Kratos	SW-2367-01	SPDT	1,4-1,8	<60	-	<1,0	>35	10
RF-Lambda	RFSP2TR0003GK	SPDT	0,02-2,55	150	1000/1/5	1,2-2,0	50	5
KORTCOM	KWM05080A	DPDT	2,5-2,7	200,50 ( $P_{\text{cp}}$ )	600/-/-	<1,0	>100	3
Aethercomm	SSHPS 2.7-3.5-1000	SPDT	2,7-3,5	50	1000/-/-	0,9	40	4
CPI	VLS1522A	SPDT	3,05-3,55	50	1000/100/5	<1,0	>25	5
Радиокомп	PKK-4-500	SPDT	0,5-4,0	160	500/-/-	1,0	70	5
Linwave	LW24-793219	SPDT	4,1-4,7	25	200/250/10	1,7	-	6
CPI	VLC1599	SPST	5,25-5,75	-	2000/640/20	<1,2	>30	10
Aeroflex	ACSW-5734	SPDT (Tx/Rx)	2,0-6,0	100	-	<1,5 (Rx), <0,5 (Tx)	<70-50 (Rx), <15 (Tx)	75
Mercury Systems	ES0008	SPDT	4,0-8,0	80 ( $P_{\text{cp}}$ )	2000/10/4	-	-	2
Exodus Advanced Communications	PIN1013	SPDT	2,0-8,0	-	2000/10/5	<1,5	>40	0,15
RH Laboratories	120-F213	SPDT	8,0-12,4	210 ( $P_{\text{cp}}$ )	3500/10/-	1,6	>40	1,8
Weinschel	8501	SPDT	0-13,0	100 (при горячем переключении)	-	0,25-0,65	70-50	-

Таблица 5. Продолжение

Компания	Модель	Тип	Диапазон частот, ГГц	$P_{доп}$ , Вт	$P_n/T_n/Q$ , Вт/мкс/%	$IL$ , дБ	$Iso$ , дБ	$T_p$ , мкс
RN Laboratories	120-F219	SPDT	12,4-18,0	120 ( $P_{cp}$ )	2000/10/-	<1,8	>40	1,8
Comtech	H26-206	SPDT	6,0-18,0	80	2000/5/4	2,5	>40	1,5
A-INFO	KG-1R-60180-120	SPST	6,0-18,0	120	-	<1,4	>20	0,8
Seekon Microwave	XK296530029	SPST	6,0-18,0	120	-	<1,4	>20	0,5
HXI	HSWM22801-309	SPDT	26,5-40,0	10	-	1,3	38	0,03

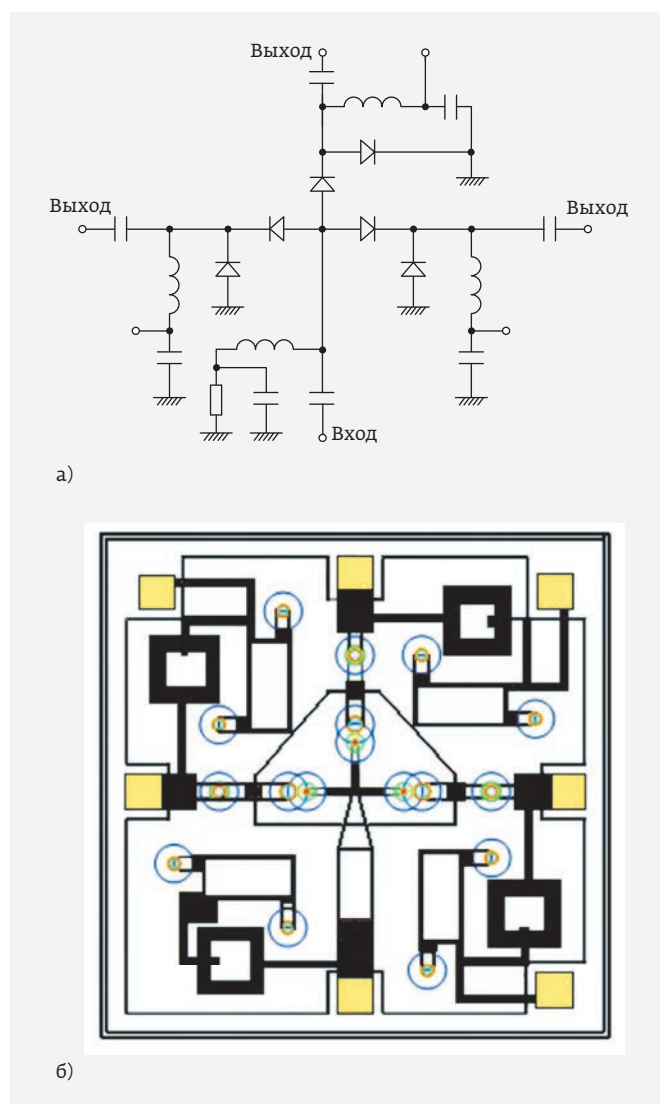


Рис. 8. Принципиальная схема (а) и топология (б) рiн-диодного SP3T-переключателя MASW-003102-13590 (компания MACOM)

переключателя, с пропускаемой через него мощностью, управляемыми напряжениями и токами, исходя из существующих ограничений.

Использование компанией MACOM технологии HMIC позволило разработать ей достаточно широкую линейку переключателей SPDT-, SP3T- и SP4T-типов. При этом в каждом из каналов использовались все три переключающих структуры: последовательная, параллельная и последовательно-параллельная, а также асимметричная структура, включающая последовательный тип переключателя в передающем канале и последовательно-параллельный тип в приемном канале.

Максимальная коммутируемая мощность 200 Вт была достигнута компанией MACOM в SP4T-переключателе MASW-011040 в диапазоне частот 0,05–1,0 ГГц. Коммутируемые мощности 100–120 Вт удалось получить на частотах до 6 ГГц (MSWSH-100-30, MASW000936),

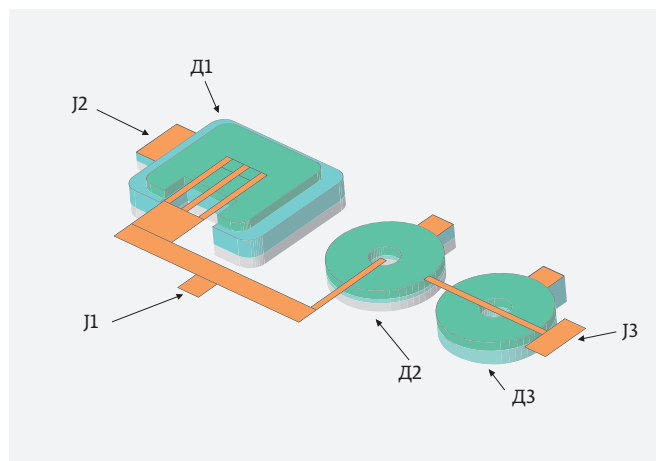


Рис. 9. Упрощенная конструкция рiн-диодного переключателя большой (1000 Вт) мощности, реализованного по технологии HMIC (компания MACOM). J1 – вход, J2, J3 – выходы

Таблица 6. Многопозиционные (SP3T, SP4T, ..., SP160T) переключатели на рpn-диодах в модульном исполнении

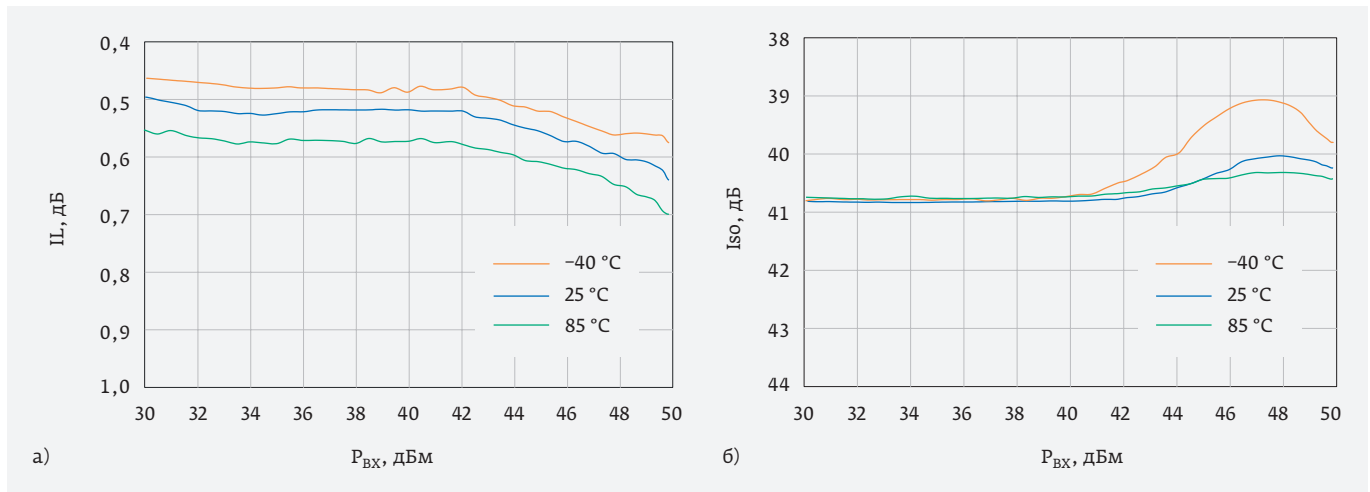
Компания	Модель	Тип	Диапазон частот, ГГц	$P_{доп}$ , Вт	$IL$ , дБ	$Iso$ , дБ	$T_{п}$ , мкс
Temex	SH92103	SP3T	0,02–1,0	100	<0,15	>37	–
AA-MCS	AAMCS-SWT-SP3T-400M-4000M-50dBm	SP3T	0,4–4,0	100	1,0	30	5
Mercury Systems	SA5NA4	SP4T	0,5–18,0	<0,5	<3,4	>60	0,1
Omicron	JXSP4TA0020G	SP4T	0,8–20,0	2	3	70	0,05
SAGE Millimeter	SK4-1835035030-2F2F-R1	SP4T	18,0–50,0	0,25	5	30	0,1
ETL	SW-SP7T-C1-1605	SP7T	3,0–5,0	1	2,8	>80	0,1
CMC	SR70-313	SP7T	0,1–20,0	2	1,1–4,6	75–60	1
Elisra	MWP-41218-PCS	SP8T	1,85–2,15	200 $P_{и} = 2000$	1,0–1,2	30–25	–
UMCC	SR-C00H-8S	SP8T	0,5–2,7	<2	<1,3	>40	0,1
Corry Micronics	CMIK8-214-111	SP8T	2,0–18,0	<1	3,7	>80	0,05
Omicron	JXSP8TA0118G	SP8T	1,0–18,0	2	4	80	0,05
RF-Lambda	RFSP8T0220G	SP8T	2,0–20,0	0,5–5,0 ( $P_{ср}$ )	2,5	>80	0,1
Cernex	C10TA08185070	SP10T	8,0–18,0	0,2	5,0	>70	0,05
AMC	MSN-10DR/DT-05-STD	SP10T	0,5–18	0,1	<5,0	>60	0,1
Kratos	1744	SP16T	2,0–18,0	1	<6,0	60–50	0,5
RF-Lambda	RFSP16TA5M43G	SP16T	0,5–43,5	1	14	60	0,07
G.T.Microwave	S9L-51-0BX	SP17T	4,5–5,0	3	3,0	30	1
RF-Lambda	RFSP32TA5M43G	SP32T	0,5–43,5	<1	28	60	0,07
AMC	MSN-48DT-05-DEC-MP	SP48T	18,0–21,5	0,1	<11,5	>80	0,25
AMC	MSN-65DT-051-DEC-MP	SP65T	0,1–4,0	0,1	<15	>40	0,15
RF-Lambda	RFSP160TA0020G	SP160T	0,05–20,0	<1	28	60	0,07

20 Вт – в диапазоне 8,0–10,5 ГГц (MASW-011071) и 2 Вт – на частоте 20 ГГц (MASW-001100-1191, MASW-001100-192, MASW-003103-1364, MASW-004103-1365).

Ряд новых изделий компании MACOM был скопирован гонконгской компанией Wei Bo Associates и выпускается в настоящее время под теми же названиями. Несколько моделей гонконгских переключателей представлено в табл. 2 и 3. По данным технических описаний их характеристики в некоторых моделях превосходят характеристики оригинальных изделий, разработанных MACOM.

Значительный вклад в разработку мощных СВЧ-переключателей на кремниевых рpn-диодах внесла компания Skyworks Solutions (см. табл. 2, 3), выпустившая на рынок 120-Вт изделия SKY12210-478LF, рассчитанные на диапазон частот 0,9–4,0 ГГц, и 190-Вт переключатели SKY12213-478LF, работающие в диапазоне 0,5–6,0 ГГц.

Много полезных сведений, помогающих разработчику определить с возможностью применения переключателей в различных условиях, содержится в технических описаниях. Наглядным примером здесь могут служить зависимости  $IL(P_{вх})$  и  $Iso(P_{вх})$  при различных



**Рис. 10.** Зависимости вносимых потерь (а) и развязки (б) от уровня входной мощности для нескольких значений температуры (модель SKY12210-478L8 компании Skyworks Solutions)

температурах окружающей среды (рис. 10) и различных напряжениях смещения (рис. 11), а также зависимости максимальной входной мощности  $P_{\text{вх макс}}$  от температуры печатной платы (рис. 12), с установленным на ней переключателем MASW-000825-12770T.

В начале статьи было отмечено, что температура р-п-перехода последовательно включенного в передающий тракт переключателя не должна превышать 150 °С. Зависимость этой температуры от уровня входной мощности и пропускаемого через диод тока иллюстрируется графиками на рис. 13. Практический интерес представляют также зависимости, показывающие снижение максимально допустимой входной мощности от ее номинального значения (при температуре 25 °С) с увеличением температуры на нижней поверхности корпуса переключателя (рис. 14а) и на нижней поверхности печатной платы, на которую установлен переключатель (рис. 14б).

Из новых разработок мощных интегральных рп-диодных переключателей стоит отметить продукцию компании KCB Solutions, предлагающей широкую линейку

SPST...SP7T стандартных и заказных переключателей. Изделия компании с коммутируемой мощностью 50–200 Вт на частотах до 3 ГГц выпускаются как в стандартных QFN-корпусах (рис. 15а) при коммутируемых мощностях менее 100 Вт, так и во фланцевом исполнении (рис. 15б) при  $P_{\text{доп}}=200$  Вт. Эти переключатели идеально подходят для портативных средств военной связи, проходят 100%-ное тестирование и эффективно отводят выделяемое тепло. Коммутация 200-Вт мощностей обеспечивается при больших управляющих напряжениях –500...0,7 В (KS03R2-22, KS03R3-22). Мощности до 50 Вт в переключателе KS113-52 коммутируются управляющими напряжениями  $\pm 250$  В.

В состав переключателей, производимых компанией KCB Solutions, входят блокировочные емкости. Полная схема SPDT-переключателя KS113-52 включает также и внешние элементы (рис. 16). Номер подключаемого канала в этой схеме определяется значениями управляющих напряжений. О высоких характеристиках СВЧ-переключателей, производимых компанией KCB Solutions, свидетельствуют табличные данные (см. табл. 2).

РАЗРАБОТКА  
ПРОИЗВОДСТВО  
ИСПЫТАНИЯ  
ПОСТАВКА

**РАДИОКОМП**

**Измерительное оборудование AnaPico**

[www.radiocomp.ru](http://www.radiocomp.ru)



**Анализаторы фазовых шумов  
PNA7 / PNA20 / PNA40**

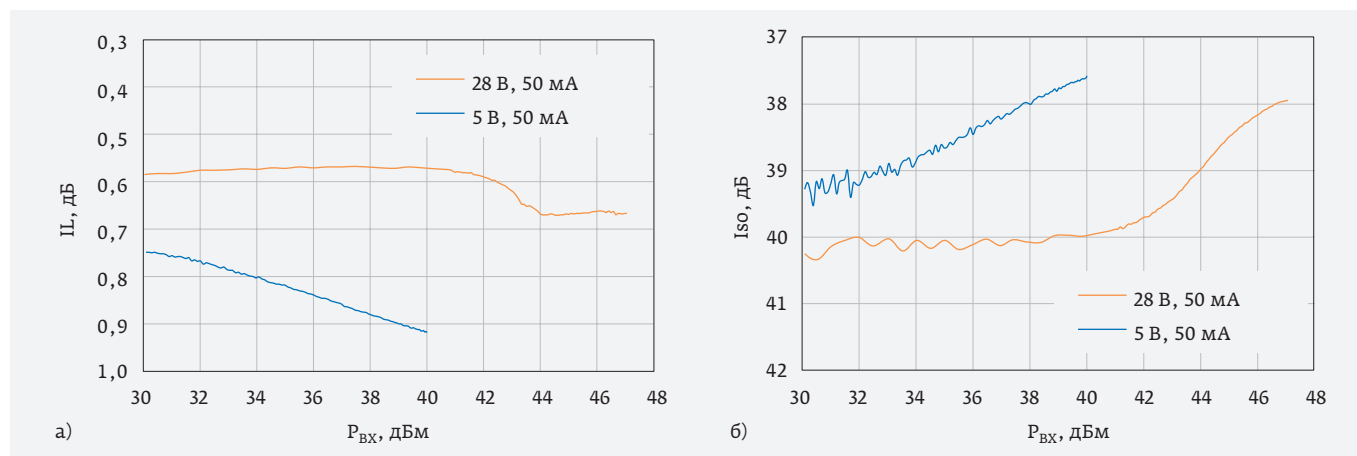
• Измерение уровня фазового шума

• Непосредственный доступ к двухканальному БПФ-анализатору 100 МГц

• Измерение переходных процессов

• Стендовое испытание генераторов: контроль перестройки, смещения частоты, измерение ФШ





**Рис. 11.** Зависимости вносимых потерь (а) и развязки (б) от уровня входной мощности при различных напряжениях смещения (модель SKY12211-478LF, компания Skyworks Solutions)

Недавно появившийся на рынке переключатель KSI02-55 в QFN-корпусе работоспособен при входных мощностях до 100 Вт. В отличие от переключателя KSI13-52 в этом изделии управляющее напряжение меняется в пределах от 0 до 250 В. Рабочий диапазон переключателя лежит в пределах 0,25–3,5 ГГц. Принципиальная схема переключателя незначительно отличается от представленной на рис. 16.

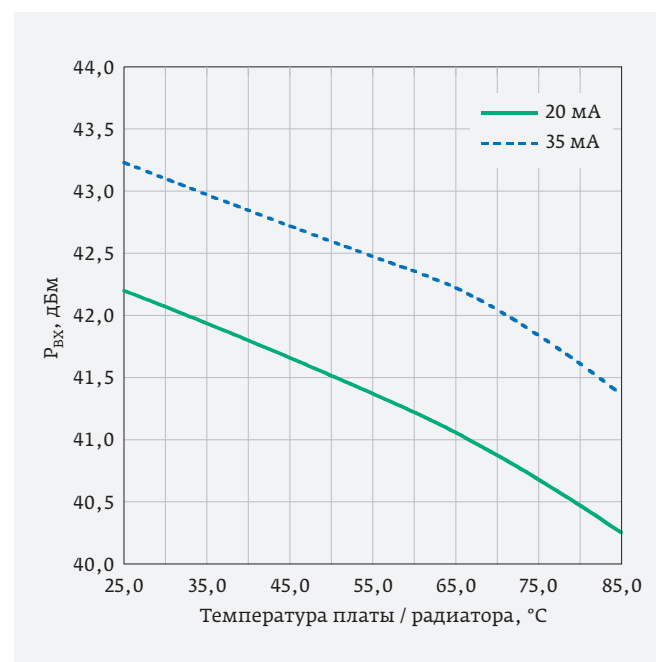
При создании своих SPST...SP7T переключателей компания KCB Solutions применяет последовательный и последовательно-параллельный типы переключателей, используя при создании приемо-передающих переключателей асимметричные решения. Например, в SP3T Tx/Rx переключателе асимметричное решение используется для подключения антенны к передатчику Tx и двум приемникам Rx1 и Rx2 (рис. 17).

Кремниевые pin-диодные переключатели отличаются высокой коммутируемой мощностью, но весьма сложны в изготовлении, требуют внешних драйверов и плохо совместимы с другими технологиями. По некоторым характеристикам от кремниевых pin-диодных переключателей выгодно отличаются интегральные переключатели на арсенид-галлиевой подложке, позволяющие размещать на ней не только pin-диоды, но и другие компоненты: резисторы, конденсаторы, индуктивности. Эти переключатели (TGS4305-FC, TGS4306-FC), выполненные по технологии GaAs VPIN (vertical PIN), позволяют коммутировать мощности до 0,5 Вт, обладают высокими (до 90 ГГц) рабочими частотами и чрезвычайно малыми временами переключения, которые не превосходят нескольких наносекунд (табл. 4), а также приемлемыми значениями тока управления (примерно 10 мА на канал). Компания MACOM, в которой получила развитие AlGaAs HMIC технология, обеспечила в изделии MASW-011036

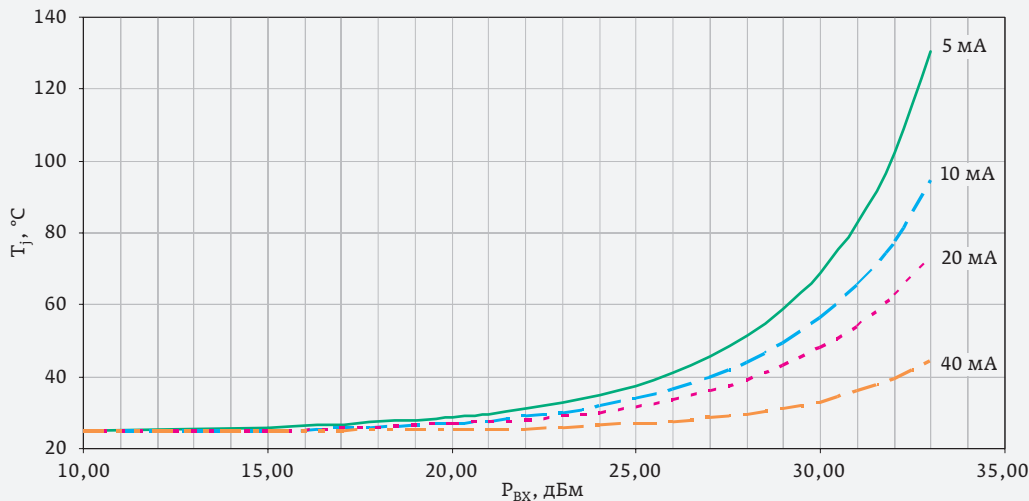
переключение 20-Вт входной мощности в диапазоне 26–40 ГГц.

Принципиальная схема одного из GaAs VPIN переключателей с интегрированными драйверами, производимого компанией Qorvo, и топология интегральной схемы приведены на рис. 18а, б соответственно.

В научной литературе приводятся также сведения о pin-диодных переключателях, реализованных по нитрид-галлиевой технологии [16].



**Рис. 12.** Зависимость максимальной допустимой входной мощности от температуры печатной платы / радиатора при двух значениях тока смещения (модель MASW-000825-12770T, компания MACOM)



**Рис. 13.** Зависимость температуры р-п-перехода от уровня входной мощности при различных токах, протекающих через диод (модель MASW-002102-13580, компания MACOM)

### Мощные рп-диодные переключатели в модульном исполнении

Количество компаний, производящих интегральные рп-диодные переключатели, относительно невелико (MACOM, Analog Devices, Skyworks Solutions, Qorvo, Microsemi, KCB Solutions). Производителей модульных рп-диодных переключателей существенно больше (JFW, PMI, AMC, Kratos, G. T. Microwave, UMCC, RF-Lambda, Mercury Systems, ETL, Comtech, CPI, CMC, A-INFO, Corry Micronics, KORTCOM, LabTech, Narda, Linwave и др.). Многие из этих компаний производят модульные переключатели уже несколько десятилетий. И, если в прошлые годы при их производстве применялись только дискретные рп-диоды, то сейчас модульные переключатели могут быть реализованы и с использованием интегральных разработок. Большое число компаний-производителей и еще большее количество выпускаемых ими моделей (табл. 5, 6) связаны с многообразием решаемых длительное время конкретных технических задач и значительным спросом на такого рода переключатели с постоянно улучшаемыми характеристиками. Разнообразие технических характеристик свидетельствует о востребованности мощных рп-диодных переключателей на современном рынке.

Анализ табличных данных позволяет сделать вывод о том, что наибольшие допустимые значения мощности реализуются в переключателях, предназначенных для работы на низких частотах. Так, допустимая входная мощность 1000 Вт реализована в изделиях SH90207 и SH91207, предназначенных для работы на частотах 1,5–50 МГц. Столь высокий уровень допустимой мощности обеспечен при токах порядка 1 А и обратном напряжении 700 В. Вносимые потери и развязка в этих переключателях равны 0,15 и 37 дБ соответственно.


Здесь также стоит упомянуть разработанный для радиолокационного диапазона частот 150–600 МГц

SPDT Tx/Rx переключатель [17] с импульсной мощностью более 1000 Вт ( $P_{cp} = 150$  Вт), который наряду с относительно низкими вносимыми потерями (1,6 дБ) обеспечивает уровень развязки более 85 дБ.

По мере повышения рабочего диапазона частот уровень входной допустимой мощности снижается и на частотах порядка 20 ГГц не превосходит единиц ватт (см. табл. 6). Есть, однако, и исключения. Так, в SPDT-переключателе H26-206 компании Comtech коммутируемая мощность достигает 80 Вт в диапазоне частот 6–18 ГГц.

Применяемые при конструировании мощных переключателей технические решения в силу разницы допустимых значений мощности, рабочих частот, отличий, определяемых областью применения, и др. весьма разнообразны (рис. 19–21). Возможности конструкторских решений здесь чрезвычайно широки. Например, производимые компанией RF-Lambda переключатели типа SP7T (модели RFSP7Txxxxx), могут быть реализованы как минимум тремя различными способами (рис. 22). В соответствии с требованиями заказчика характеристики поставляемых изделий могут существенно отличаться от характеристик

ООО  
СМП




ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН  
**www.SMD.ru**

электронные КОМПОНЕНТЫ  
**для поверхностного  
монтажа**

**НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК**

- Низкоомные резисторы типоразмеров 0402 и 0603
- Керамические конденсаторы большой емкости



Москва, Ленинградский пр., 80 к. 32; e-mail: sale@smd.ru  
Тел.: (499) 158-7396, (495) 940-6244, (499) 943-8780

Таблица 7. Волноводные переключатели

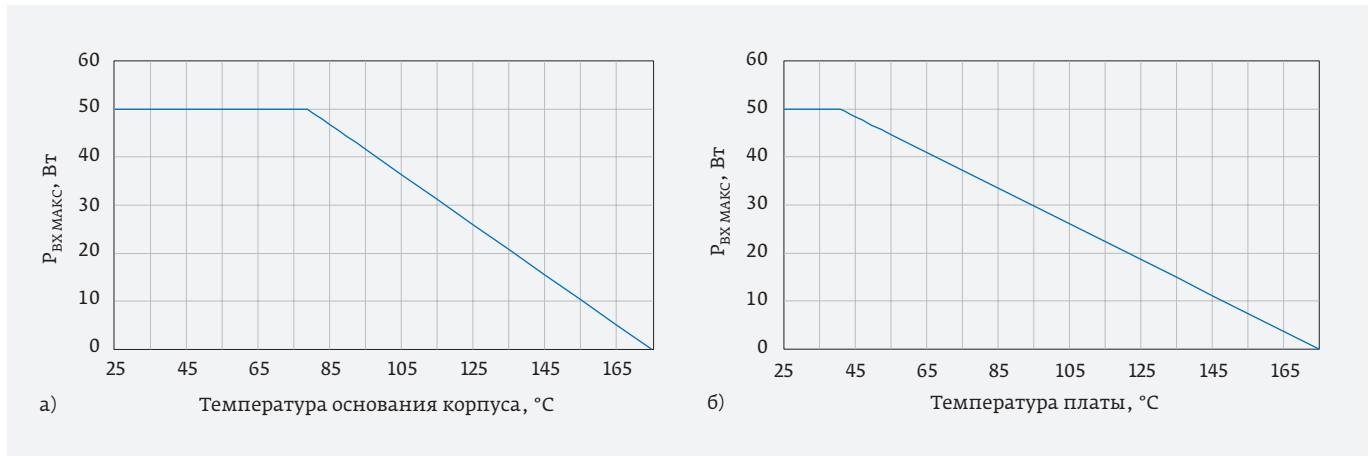
Компания	Серия, модель	Тип	Диапазон частот, ГГц	$P_{доп},$ Вт	$P_{и},$ Вт	$IL,$ дБ	$Iso,$ дБ	$T_{п},$ нс
CPI	BLP2084	SPDT	9,2–9,8	–	3 000	<1	>40	<30 000
CPI	VLU2038	SPST	15,7–17,7	20,0	20	<0,8	>35	<200
SAGE Millimeter	SKS-5037533030-1515-R1	SPST	50,0–75,0	<0,2	–	2	30	100
SAGE Millimeter	SKS-9031042825-1010-R1	SPST	90,0–100,0	<0,25	–	2,8	25	100
SAGE Millimeter	SKS-5536536535-1515-R1	SP4T	55,0–65,0	<0,2	–	6,5	35	100
ELVA-1	SPST-42	SPST	18,0–26,5	–	1,0	0,7	>30	<6
ELVA-1	SPST-15	SPST	50,0–75,0	–	1,0	0,8	>30	<6
ELVA-1	SPST-06	SPST	110,0–150,0	–	0,8	1,5	>30	<6
HXI	HSWM4201	SPST	18,0–26,5	1	–	1,5	30	3
HXI	HSWM22801	SPDT	26,5–40,0	1	–	2,0	28	3
HXI	HSWM22201	SPDT	33,0–45,0	1	–	2,4	27	3
HXI	HBSW94	SPST/SPDT	93,0–95,0	10	1 000	1,0	35	–
Millitech	PSP-42	SPST	18,0–26,5	0,5	10	<2,0	>40	150
Millitech	PSP-19	SPST	40,0–60,0	0,5	10	<2,5	>25	150
Millitech	PSP-10	SPDT	75,0–110,0	0,5	10	<3,7	>25	150
Millitech	PSH-28	SPST	26,5–40,0	0,25	5	<2,0	>30	2
Millitech	PSH-15	SPST	50,0–75,0	0,25	5	2,5	>20	2
Millitech	PSH-10	SPST	75,0–95,0	0,25	5	<3,5	>18	2
Millitech	PDT-28	SPDT	26,5–40,0	0,5	10	<2,0	>22	300
Millitech	PDT-19	SPDT	40,0–60,0	0,5	10	<2,5	>22	300
Millitech	PDT-12	SPDT	60,0–90,0	0,5	10	<3,0	>19	300

стандартных моделей. Возможные значения допустимых мощностей лежат в пределах 0,2–200 Вт. Следует, однако, иметь в виду, что повышение требований к уровню допустимой входной мощности приводит к снижению уровня развязки, увеличению необходимого тока смещения и времени переключения, а за уменьшение вносимых потерь и увеличение развязок приходится платить сужением рабочего диапазона частот.

Зависимости  $IL$  и  $Iso$  от частоты, полученные для различных значений температуры окружающей среды (рис. 23), свидетельствуют о том, что изменение температуры в большей степени сказывается на величине

вносимых потерь и в меньшей степени – на величине развязки.

Большинство переключателей изготавливаются в промышленном исполнении. Однако, некоторые компании специализируются на выпуске изделий для жестких условий эксплуатации. Так, например, многие переключатели компании RF-Lambda производятся в герметичном исполнении, а вся линейка изделий компании UMCC удовлетворяет требованиям военного стандарта MIL-STD-202F в диапазоне температур –55...95 °С. При проведении испытаний данных переключателей по этому стандарту подтверждается их влагостойкость (96 ч при 95%-ной

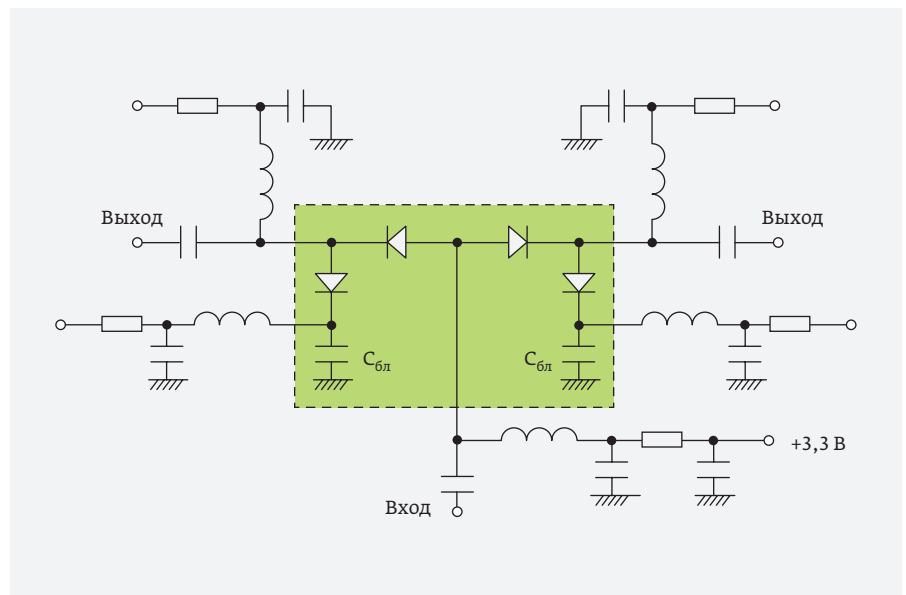


**Рис. 14.** Зависимости максимально допустимой мощности от температуры основания корпуса (а) и температуры печатной платы (б) (модель SKY12208-306LF, компания Skyworks Solutions)

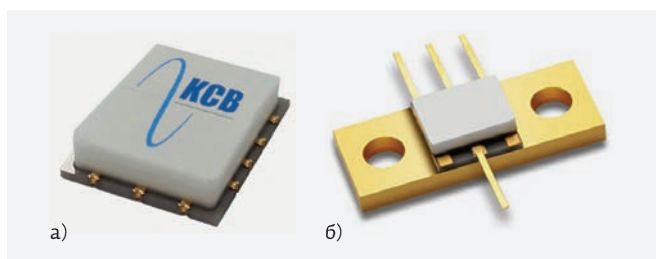
относительной влажности), устойчивость к ударам (75 г, 6 мс), виброустойчивость (15 г), стойкость к температурным шокам (пять циклов) и работоспособность на больших высотах (50 000 футов). Отметим также, что многие переключатели компании Miteq (ныне L3 Narda-Miteq), также удовлетворяют требованиям военных стандартов.

### Волноводные СВЧ-переключатели

Волноводные переключатели используются для изменения пути прохождения СВЧ-сигналов в целях обеспечения импульсной модуляции, защиты входных цепей приемников, коммутации антенных лучей и каналов, в переключаемых фильтрах и дуплексорах. Область использования этих переключателей чрезвычайно



**Рис. 16.** Принципиальная схема SPDT-переключателя (модель KS113-52 компании KCB Solutions). Зеленым фоном выделена интегральная часть изделия



**Рис. 15.** СВЧ-переключатели компании KCB Solutions: а – в QFN-корпусе (модель KS102-55, 100 Вт), б – во фланцевом корпусе (модель KS03R3-22, 200 Вт)

**ООО "Руднев-Шляев"**

Разработка и производство:

- платы сбора данных
- измерительные приборы
- виброакустические системы
- инструментальные решения задач заказчика

Москва (495) 787-63-67  
(495) 787-63-68

www.rudshel.ru  
adc@rudshel.ru

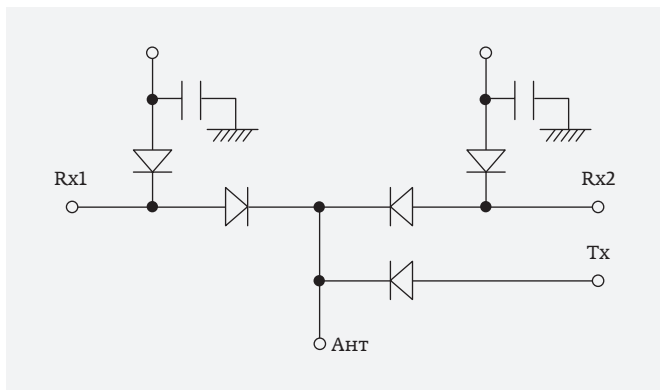


Рис. 17. Упрощенная принципиальная схема асимметричного SP3T-переключателя компании KCB Solutions

широка. Это РЛС наземного, морского, авиационного и космического базирования, военные и коммерческие системы связи, средства радиоэлектронной борьбы, комплексы для тестирования и измерения параметров различных радиокомпонентов.

Волноводные СВЧ-переключатели в основном реализуются на кремниевых и арсенид-галлиевых pin-диодах. Такие переключатели предлагаются на рынке многими зарубежными производителями, они рассчитаны на использование на частотах до 110 ГГц и предлагаются в различных конфигурациях, например SPST (CPI,

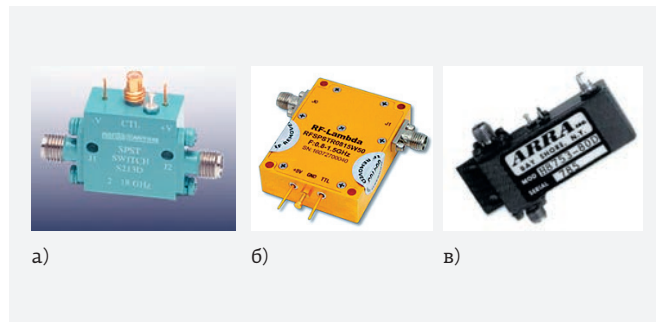


Рис. 19. pin-диодные SPST-переключатели в модульном исполнении: а – модель S213D, компания Narda; б – модель RFPSTR0815W50, компания RF-Lambda; в – модель H8753-80D, компания ARRA

Millitech, ELVA-1, QuinStar Technology, HXI, Fairview Microwave, Mi-Wave, SAGE Millimeter), SPDT (CPI, Millitech, HXI, Fairview Microwave, Mi-Wave, SAGE Millimeter), SP4T (SAGE Millimeter, Ducommun), SPI0T (Ducommun). Значения допустимых мощностей в этих переключателях снижаются по мере увеличения полосы рабочих частот (табл. 7), причем различия в допустимых значениях непрерывной и импульсной мощности зависят от длительности импульсов и скважности. Конструктивно эти переключатели могут также различаться и весьма существенно (рис. 24).

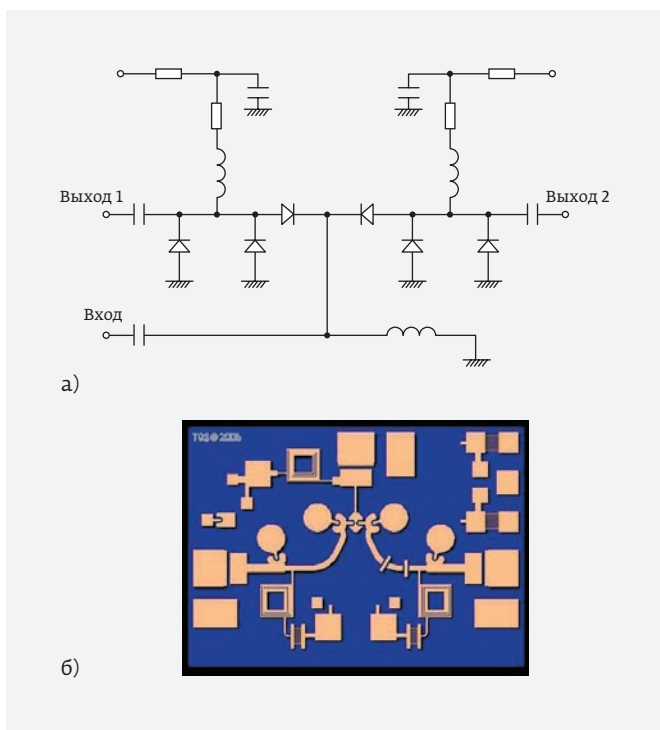


Рис. 18. Принципиальная схема (а) и топология (б) SPDT-переключателя TGS2302 компании Qorvo

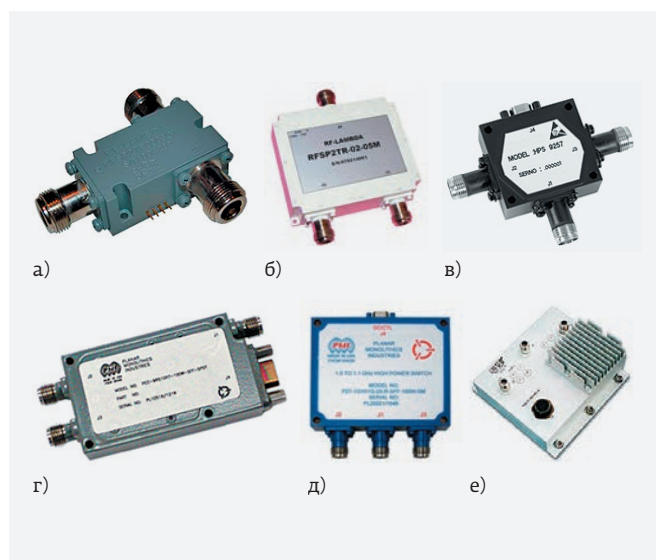
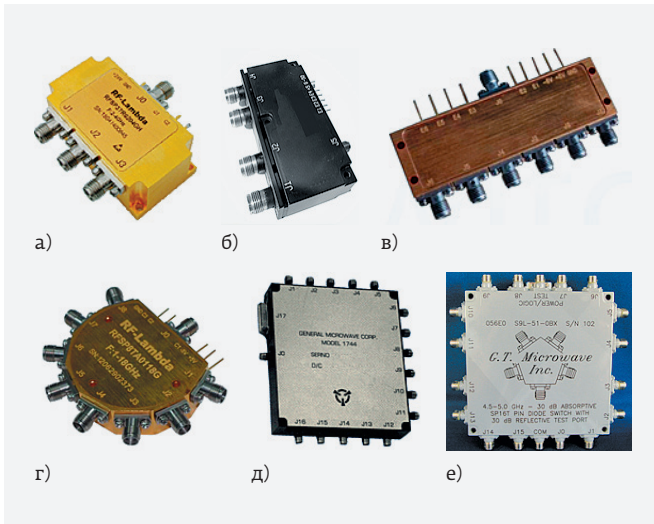
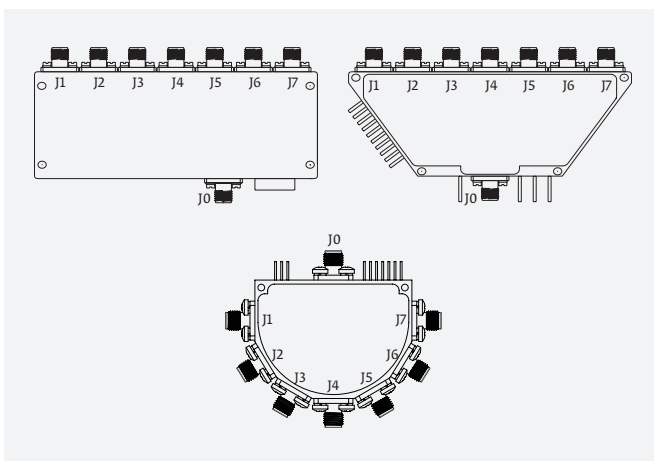


Рис. 20. pin-диодные SPDT-переключатели в модульном исполнении: а – модель RFP2TR0005M, компания RF-Lambda; б – модель RFP2TR-02-05M, компания RF-Lambda; в – модель HPS-9257, компания Kratos; г – модель PEC-9R510R7-100W-SFF-SPDT, компания PMI; д – модель P2T-1G1R1G-25-R-SFF-100W, компания PMI; е – модель VLC1599, компания CPI

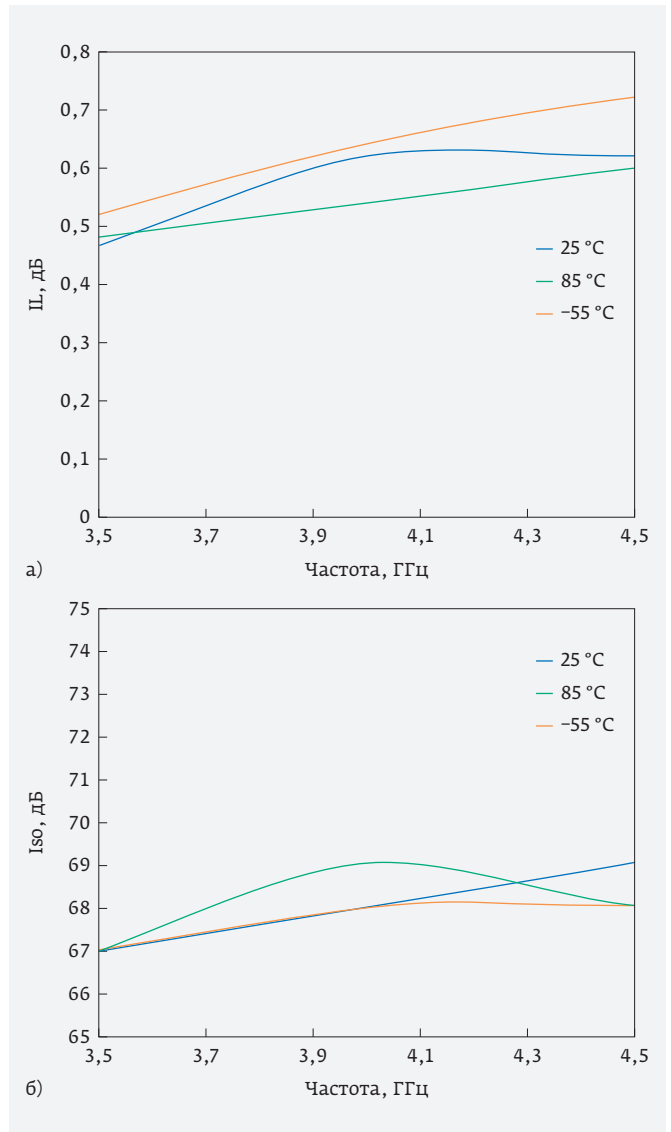


**Рис. 21.** Многопозиционные pin-диодные переключатели в модульном исполнении: а - модель RFSP3TR0204GH (SP3Т, компания RF-Lambda); б - модель SW-1000-00 (SP4Т, компания Kratos); в - модель SW-SP6T-C1-1604 (SP6Т, компания ETL); г - модель RFSP8TA0118G (SP8Т, компания RF-Lambda); д - модель 1744 (SP16Т, компания Kratos); е - модель S9L-51-0BX (SP17Т, компания G. T. Microwave)

Компания Millitech предлагает две серии SPST-переключателей (PSH, PSP) и одну серию SPDT-переключателей (PDT) с временами переключения 2, 150 и 300 нс для перечисленных серий соответственно. В каждой из названных серий стандартные модели переключателей могут быть изготовлены для диапазонов частот 18–26,5; 26,5–40; 33–50; 40–60; 50–75; 60–90; 75–95 ГГц, а в сериях PSP и PDT также для диапазонов 75–110 ГГц и 75–100 ГГц



**Рис. 22.** Варианты конструктивного исполнения многопозиционных SP7Т-переключателей компанией RF-Lambda (модели RFSP7Txxxxx)



**Рис. 23.** Зависимости IL и Iso от частоты при различных температурах окружающей среды (модель RFSPSTR0304C, компания RF-Lambda)

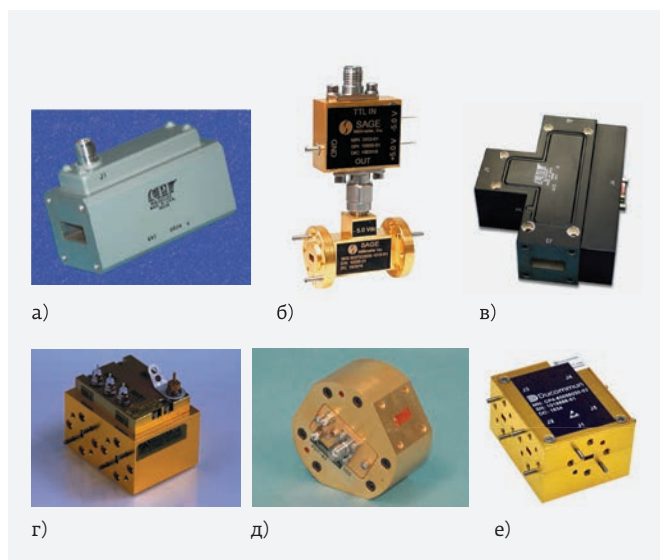
Санкт-Петербург, Россия  
ул Матроса Железняка,  
д. 57, лит. А, пом. 126-Н  
Телефон: 7-812-3259792

Москва, Россия  
Лужнецкая набережная, 2/4,  
строение 19, офис 119  
Телефон: 7-095-7477590

**VITAL-IC**

Поставки электронных компонентов  
широкой номенклатуры  
Системы RFID: поставка и консультации

**XILINX** **Mini-Circuits**  
**ALTERA**

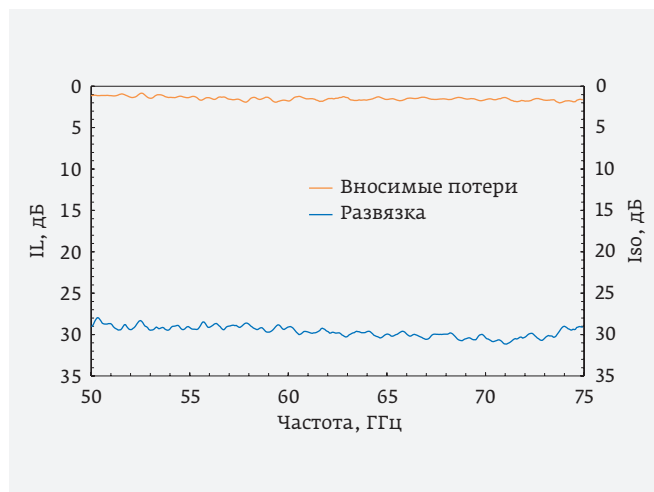


**Рис. 24.** Волноводные рpн-диодные переключатели: а – модель MA32032 (SPST, компания CPI); б – SKS-5037533030-1515-R1 (SPST, компания SAGE Millimeter); в – BLP2084 (SPDT, компания CPI); г, д – PDT-серия (SPDT, компания Millitech); е – CP4-60086030-02 (SP4T, компания Ducommun)

соответственно. Развязка между входом и выходом может быть увеличена до 60 дБ при последовательном включении через вентиль двух переключателей. Допустимые мощности в непрерывном и импульсном режимах достигают значений 0,25/5 Вт (серия PSH) и 0,5/10 Вт (серии PSP и PDT).

Компания HXI выпускает две серии SPST/SPDT-переключателей. SPST/SPDT-переключатели серии HSWM поставляются для трех диапазонов частот: 18–26,5; 26,5–40 и 33–45 ГГц. SPST-изделия серии HSW доступны для восьми диапазонов частот: 18–26,5; 22–33; 26,5–40; 33–50; 40–60; 50–75; 60–90 и 75–110 ГГц, причем в последних трех диапазонах максимально возможная полоса входных сигналов не превосходит 10 ГГц. SPDT-переключатели серии HSW выпускаются для семи диапазонов частот: 18–26,5; 26,5–40; 33–50; 40–60; 50–75; 60–90 и 75–110 ГГц. В этом случае максимально возможная полоса не превосходит 10 ГГц во всех перечисленных диапазонах. В рамках этой серии возможна поставка переключателей и с другими диапазонами рабочих частот, например: 33–37 ГГц (HSW2803-xxx), 55–65 ГГц (HSW1501-xxx), 90–98 ГГц (HSW1001-xxx), 93–95 ГГц (HBSW94-xxx). В последнем из этих переключателей допустимая непрерывная мощность равна 10 Вт, а импульсная достигает 1000 Вт.

SPST-переключатели с импульсной мощностью до 1 Вт для девяти диапазонов частот: 18–26,5; 26–40, 33–50, 40–60, 50–75, 60–90, 75–110, 90–140, 110–150 ГГц производит



**Рис. 25.** Зависимости  $IL$  и  $I_{so}$  от частоты в волноводном рpн-диодном SPST-переключателе (модель SKS-5037533030-1515-R1, компания SAGE Millimeter)

компания ELVA-1. Возможная полоса рабочих частот в этих диапазонах превышает 10% от центральной частоты диапазона.

Отражательные SPST-переключатели в стандартном исполнении выпускаются компанией SAGE Millimeter для диапазонов частот 45–55, 55–65, 75–85 и 90–100 ГГц. Кроме того, SPST-переключатели доступны для диапазонов частот 34–37; 26,5–40; 35–45; 50–75; 60–90; 75–90; 75–110 ГГц, SPDT-изделия – для диапазонов частот 55–71, 75–85, 60–90, 90–100, 75–110 ГГц, а SP4T-переключатели – для диапазонов частот 55–65, 50–75 и 60–90 ГГц. Надо отметить, что производителем обеспечиваются практически постоянные значения вносимого ослабления и развязки во всем диапазоне рабочих частот (рис. 25).

Несколько моделей волноводных переключателей выпускает компания CPI (см. табл. 7). В одном из них (модель BLP2084), рассчитанном на работу в X-диапазоне, импульсная мощность при длительности импульса  $T_{и}=40$  мкс и скважности  $Q=10\%$  при холодном режиме переключения может достигать 3000 Вт.

## ЛИТЕРАТУРА

- Boles T., Brogle J., Rozbicki A. A Monolithic, 1000 Watt SPDT Switch // 2008 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest. 2008. PP. 1285–1288.
- Yang J. G., Yang K. High-Linearity K-Band Absorptive-Type MMIC Switch Using GaN PIN-Diodes // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. 2013. V. 23, № 1, P. 37–39.
- Rodriguez-Morales F., Gogineni S., Ahmed F., et al. T/R Switches and Modules for Ice Sounding / Imaging Radar // Microwave Journal. Aerospace & Defense Electronics Supplement. May 2016. P. 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18.

28-30 ЯНВАРЯ 2020 | МОСКВА, КРОКУС ЭКСПО

# TELECOM & MEDIA CSTB 2020

НОВЫЙ ФОРМАТ  
НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

## В ПРОГРАММЕ

- Форум «Технологии и сервисы»
- Форум «Content Summit Russia»
- 11-я Национальная Премия «Большая Цифра-2020»
- Тематические экспозиции OTT.MARKET и CONTENT.MARKET

CSTB.RU

18+

Организатор



Генеральная поддержка



При поддержке



Титульный партнер



Стратегический партнер



Генеральный отраслевой интернет-партнер

