

# Антенные переключатели

## Часть 5

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

УДК 621.389 | ВАК 2.2.2

В первой, второй, третьей и четвертой частях статьи, опубликованных в седьмом, восьмом, девятом и десятом номерах журнала «ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес» за 2022 год, было рассказано о различных антенных приемопередающих переключателях. В данном номере рассматривается еще несколько типов таких переключателей.

### ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ ТИПА DIVERSITY

Одна из проблем, которую приходится решать при разработке средств мобильной связи – это замирания принимаемых сигналов. В мобильных системах связи в условиях городской застройки, лесистой или гористой местности на вход приемника поступают сигналы, различающиеся задержкой, а значит и фазой. В приемнике эти сигналы складываются как в фазе, так и в противофазе, что может приводить к значительному уменьшению уровня входных сигналов приемника. Создавая тем или иным способом отличия в поступающих на вход приемника сигналах, можно выделить из них наиболее сильный, который в дальнейшем можно использовать для обработки.

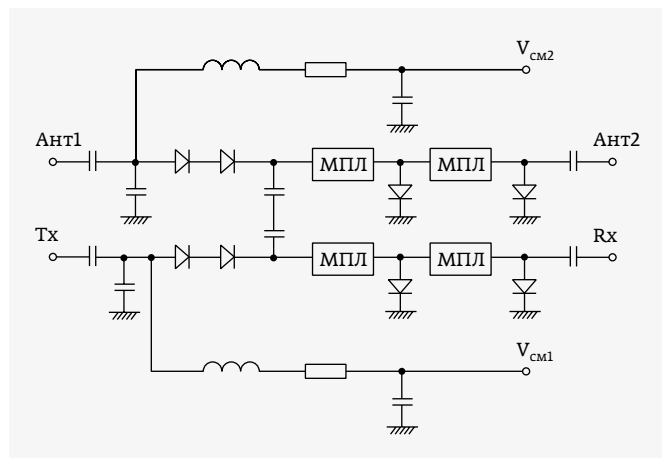


Рис. 60. Принципиальная схема 4-портового переключателя с функцией diversity

<sup>1</sup> ООО «Радиокомп», генеральный директор, vkochemasov@radiocomp.ru.

<sup>2</sup> НИУ «МЭИ», заведующий кафедрой формирования и обработки радиосигналов, arsaфин@gmail.com.

<sup>3</sup> МТУСИ, доцент кафедры радиооборудования и схемотехники.

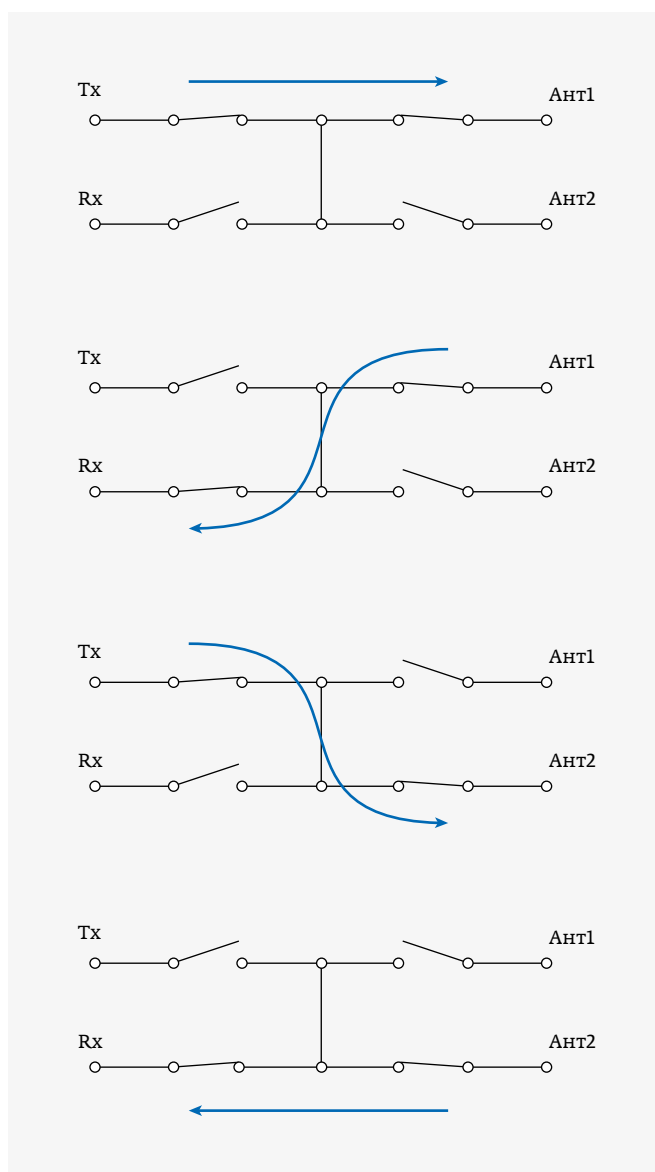
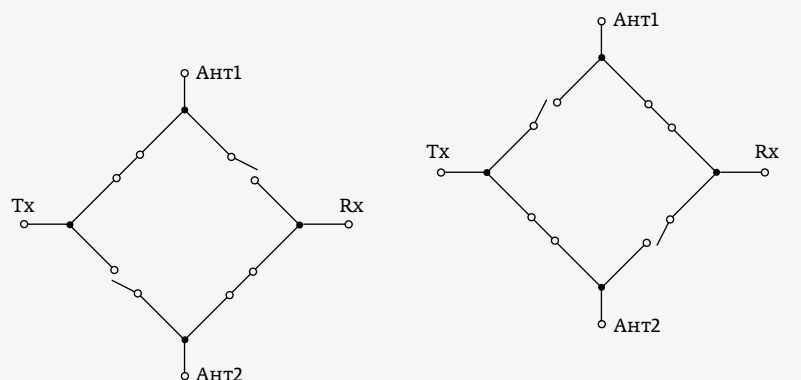
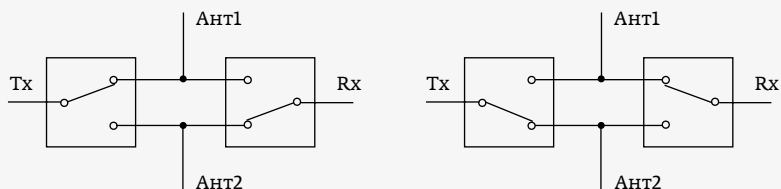


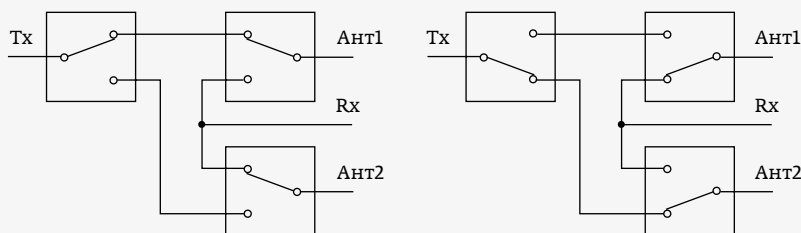
Рис. 61. Прохождение сигнала между четырьмя портами DPDT-переключателя НМС393МС8С со свойством diversity



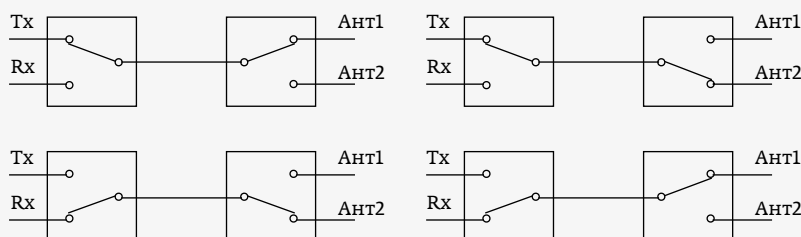
а)



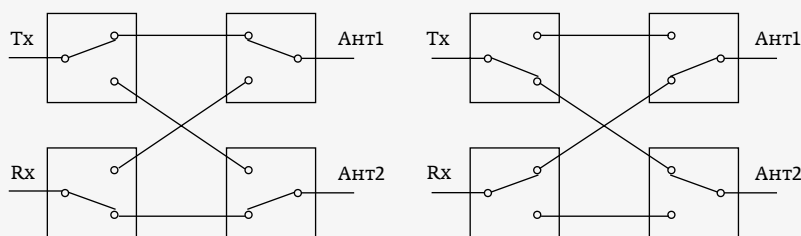
б)



в)



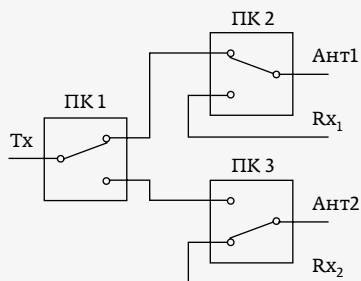
г)



д)

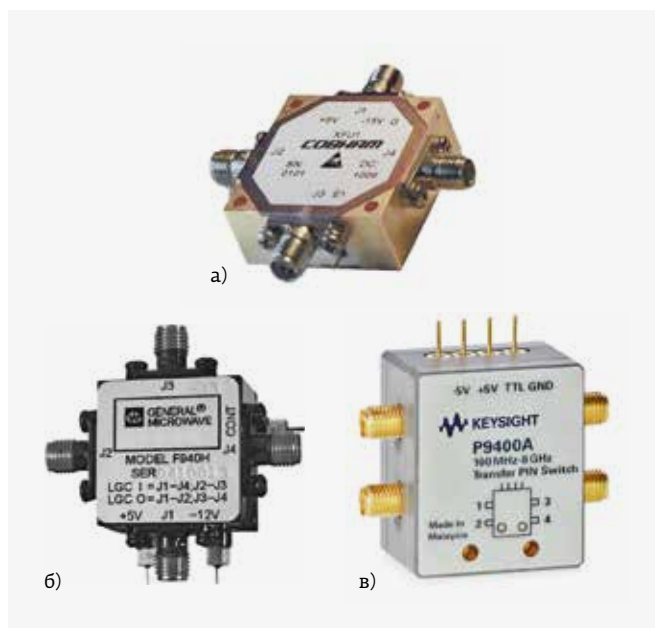
Отличия в сигналах можно обеспечить за счет пространственного разнесения двух или более антенн, изменения поляризации и других характеристик сигналов, зависящих в том числе и от используемых стандартов связи. Первый из названных способов является наиболее экономичным и применяется чаще всего. Простейшая реализация предполагает использование двух антенн, разнесенных на расстояние не менее  $\lambda/2$ . В этом случае к трем портам Tx, Rx, Ant1 добавляется еще один антенный порт Ant2 и переключатель становится 4-портовым. На английском языке такие переключатели называются antenna diversity switches. Свойством diversity обладает, например, переключатель (рис. 60), составленный из двух асимметричных SPST-структур, реализованных по последовательно-параллельной схеме [12]. Передатчик Tx и приемник Rx в этом случае могут быть подключены к одной из двух антенн, причем в каждый момент времени может быть задействован только один из каналов: Tx – Ant1, Tx – Ant2, Rx – Ant1, Rx – Ant2. Аналогичный режим работы реализован и в переключателе HMC393MS8G, сделанном в интегральном исполнении на четырех SPST-структурах (рис. 61). В практической деятельности при создании мобильных телефонов первых поколений широкое применение нашли DPDT-переключатели (рис. 62), позволяющие одновременно обеспечивать работу двух каналов Tx – Ant1 и Rx – Ant2, а после коммутации переключателя поддерживать связь между Tx и Ant2 и Rx и Ant1.

**Рис. 62.** Схематичное изображение DPDT-переключателей, выполненных на SPST (а) и SPDT (б, в, г, д) структурах в двух положениях: слева – Tx подключен к Ant1, Rx подключен к Ant2; справа – Tx подключен к Ant2, Rx подключен к Ant1



**Рис. 63.** Rx/Tx переключатель, реализованный на трех SPDT-структурах (модель PSM-1G1R1G-TRSW-2500W, компания PMI, модель CMTRSW-1G1R1G-2K5, компания Corry Micronics)

Таким образом, DPDT-изделия обеспечивают свойство diversity и именно на них реализуются многие антенные переключатели. Эти переключатели могут быть выполнены как на SPST (рис. 62а), так и на SPDT (рис. 62б–д) структурах. Обычно число таких структур равно 8 или 4.



**Рис. 64.** Конструктивное исполнение модульных DPDT-переключателей: а – XFL1, Cobham; б – F940H, Kratos; в – P9400A, Keysight Technologies

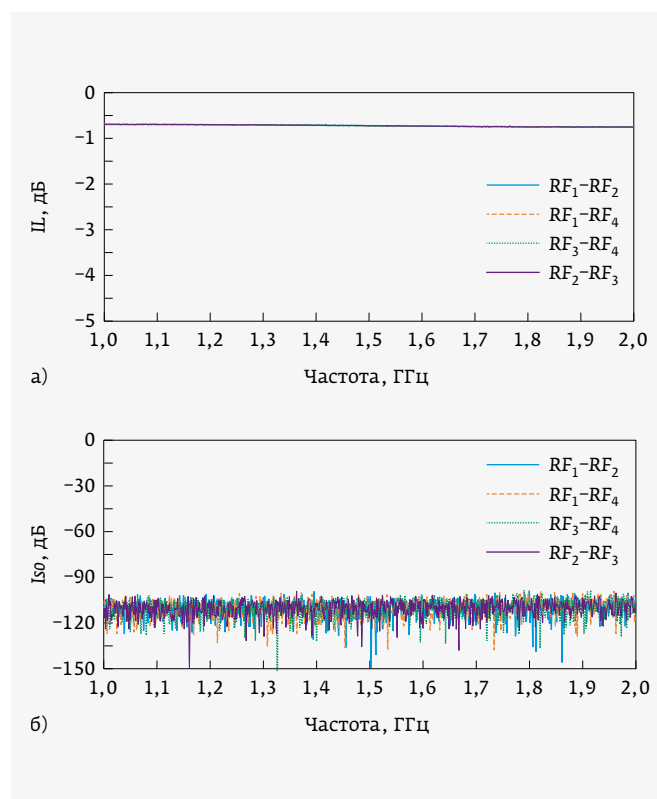
**Таблица 16.** Характеристики модульных DPDT-переключателей, реализованных на кремниевых диодах

Компания	Модель	Диапазон частот, ГГц	$P_{н'}$ , Вт	$P_{н'}$ , Вт	$T_{н'}$ , мкс	$Q$ , %	$IL$ , дБ	$Iso$ , дБ	$T_{п'}$ , мкс
Pasternack	PE7132	0,01–1,0	<2,0	–	–	–	<1,3	>80	0,1
Pasternack	PE71S6287	1,0–2,0	1,0	10	1	1	<1,0	>80	0,1
Comtech PST	AB-032	2,7–2,9	100	2000	100	–	0,8	27	1,0
Pasternack	PE71S6288	2,0–4,0	1,0	10	1	1	<1,2	>75	0,1
Cobham	XFC1	2,0–4,0	<1,0	–	–	–	<1,9	>75	0,1
AMC	SWN-TRA-MP	5,2–5,9	5,0	50	–	10	<1,5	>60	0,1
Pasternack	PE71S6289	4,0–8,0	10	10	1	1	<1,9	>75	0,1
AMC	SWN-2181-TRA	9,0–10,0	<0,5	10	1	–	<2,5	50	0,1
Pasternack	PE71S6290	8,0–12,0	0,5	–	–	–	<2,2	>70	0,1
Pasternack	PE71S6291	12,0–18,0	<0,5	–	–	–	<3,0	>65	0,1
PMI	SWN-2181-TRA-T	7,0–18,0	–	–	–	–	<5,0	>60	0,5
Narda-Miteq	XFER	2,0–18,0	0,2	–	–	–	1,8–2,6	70–55	0,05
Pasternack	PE7134	1,0–18,0	<0,5	–	–	–	<3,1	>65	0,1
Cobham	XFL1	0,5–18,0	<1,0	–	–	–	<1,0	>80	0,1
PMI	PXS-500M18G-60-SFF	0,5–18,0	<0,1	–	–	–	<3,0	>60	1,0
Kratos	F940H	0,5–18,0	0,5	75	1	–	<2,0	>60	0,03

Однако, имеются примеры реализации DPDT-переключателей и на трех SPDT-структурах (рис. 62в). Подобная схема используется, например, в мощных DPDT-переключателях (рис. 63), продвигаемых на рынок компаниями PMI и Corry Micronics.

DPDT-переключатели, имеющие два входа и два выхода, относятся к матричным переключателям (blocking type switch matrix) и именно они стали основными при создании diversity antenna switches. В DPDT-переключателях возможны лишь два положения (режима). В первом из них выход передатчика Tx соединен с антенным портом Ант1, а вход приемника Rx – с портом Ант2. Во втором режиме выход Tx соединен с антенным портом Ант2, а вход приемника Rx – с антенным портом Ант1.

Основными производителями модульных DPDT-переключателей по pin-диодной технологии являются компании Pasternack, PMI, AMC, Kratos, Cobham, Narda-Miteq, Comtech PST (табл. 16). Конструктивно эти переключатели между собой практически не различаются (рис. 64). Нижняя граница рабочего диапазона частот этих pin-диодных DPDT-переключателей не опускается ниже 500 МГц, а верхняя не превышает 18 ГГц. Допустимая входная мощность обычно находится в пределах 0,2–5,0 Вт, но может достигать и больших значений. Так, в переключателе AB-032, выпускаемом компанией Comtech PST, она достигает 100 Вт. При этом импульсная мощность в случае использования 100-мкс импульсов, проходящих через DPDT-переключатель, может достигать 2000 Вт. Развязка между портами в этих переключателях находится в пределах 60–80 дБ, а время коммутации не превосходит 0,03–1,0 мкс. Вносимые потери в изделии PE71S6287 компании Pasternack между четырьмя портами переключателей практически не различаются (рис. 65а), а уровни

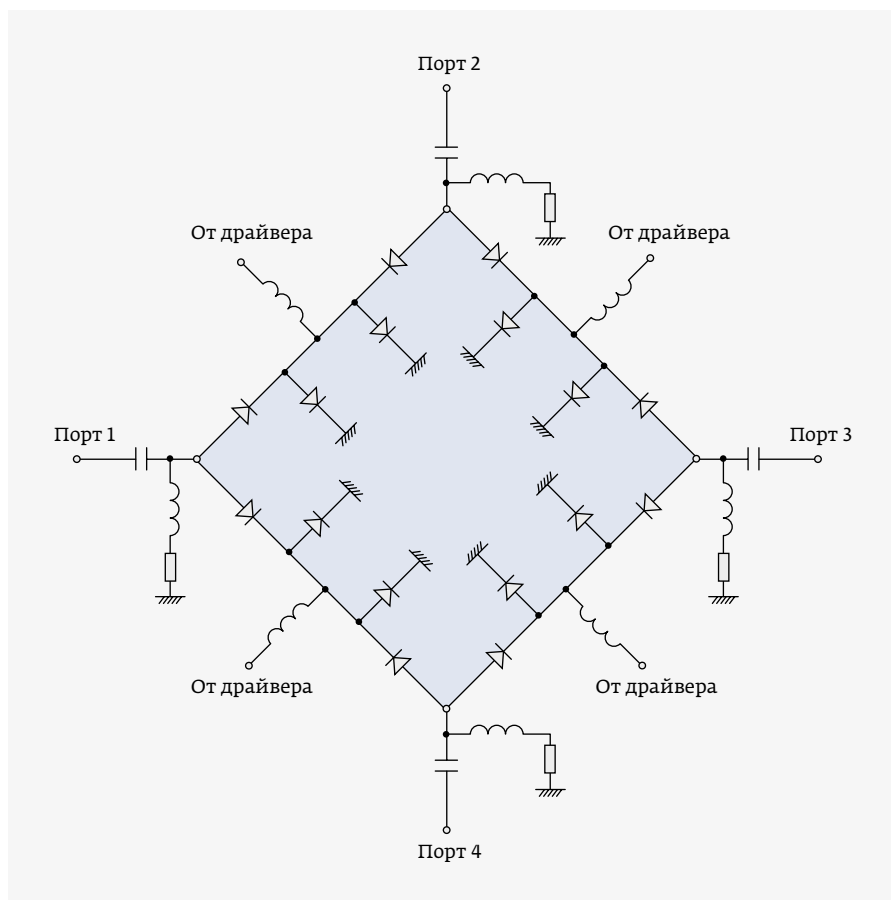


**Рис. 65.** Характеристики модульного DPDT-переключателя PE71S6287: а –  $IL(f)$ ; б –  $Iso(f)$

межпортовых развязок достигают 100 дБ (рис. 65б). Эти DPDT-переключатели реализуются по схемам, представленным на рис. 62. Принципиальная схема кольцевого DPDT-переключателя на четырех SPDT-структурах

**Таблица 17.** Характеристики интегральных DPDT-переключателей, выполненных по технологии GaAs PHEMT

Компания	Модель	Диапазон частот, ГГц	$P_{\text{макс}}$ , Вт	ПРЗ, дБм	IL, дБ	Iso, дБ	$T_{\text{п}}$ , нс
Filtronic	FMS2017QFN	0,5–3,0	6,4	–	0,6	23	20
Analog Devices	HMC393MS8G	5,0–6,0	1,0 ( $P_{0,1\text{дБ}}$ )	49	1,2	20	–
Skyworks Solutions	SKY13438-374LF	0,1–6,0	1,6	54–52	0,5–1,2	>24	160 ( $T_r$ )
Skyworks Solutions	SKY13411-274LF	0,1–6,0	1,6	50	0,5–0,9	–	70 ( $T_r$ )
Qorvo	TQS5202	0,1–6,0	3,2	50	0,80–0,95	–	–
Eudyna Devices	ES/EMM5322ZU	0,1–6,0	1,6	–	0,8–1,0	>20	–
Filtronic	FMS2007QFN	0–6,0	4,0	–	0,90–1,15	>25	30
Analog Devices	HMC427ALP3E	0–8,0	0,4 ( $P_{1\text{дБ}}$ )	43	1,5–1,8	50–43	–
MACOM	MASWGM0001-DIE	2,0–14,0	0,3 ( $P_{1\text{дБ}}$ )	33	3,0	40	–



**Рис. 66.** Принципиальная схема кольцевого модульного DPDT-переключателя F940H, выполненного на четырех последовательно-параллельных pin-диодных SPDT-структурах (голубым фоном показаны интегральные компоненты)

в основном не превышали 6 ГГц, а допустимая входная мощность находилась в пределах 1,6–6,4 Вт (табл. 17). Развязка между портами в этих переключателях (14–25 дБ) оставляет желать лучшего. Весьма полезными для разработчиков представляются зависимости (рис. 68), характеризующие работу арсенид-галлиевого переключателя FMS2017 при вариациях частоты (рис. 68а), входной мощности (рис. 68б) и управляющего напряжения (рис. 68в).

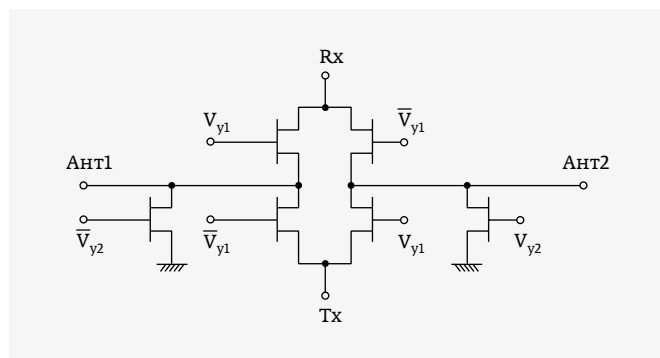
DPDT-переключатели в КМОП-исполнении производят компании Infineon, Qorvo, Skyworks Solutions, Custom MMIC (табл. 18). Максимальная рабочая частота этих переключателей

(рис. 66) содержит все необходимые цепи смещения и разделительные конденсаторы.

В мобильных телефонах первого поколения были успешно применены интегральные DPDT-переключатели, обладающие свойством diversity. Время создания этих мобильных телефонов совпало с появлением интегральных DPDT-переключателей по перспективной в то время GaAs-технологии на полевых транзисторах (рис. 67) [28]. Верхние значения рабочего диапазона частот в этих переключателях

не превышает 12 ГГц, а максимально допустимая входная мощность – 8 Вт. Вносимое ослабление в диапазоне частот мало зависит от канала, по которому проходит радиосигнал (рис. 69а), но существенно меняется в диапазоне температур (рис. 69б). Развязка между портами DPDT-переключателя QPC6222 (рис. 70а, б) практически не зависит от пути прохождения сигнала. Не влияя на ее величину и вариации температуры (рис. 70в, г).

Зависимости компрессионных мощностей  $P_{1дБ}$  и  $P_{0,1дБ}$  от частоты в DPDT-переключателях отличаются друг от друга, но влияние температуры невелико (рис. 71а, б). Характеристики  $IP3(f)$  существенно зависят от частоты и модели переключателя, но весьма слабо реагируют на изменения температуры (рис. 72а, б).

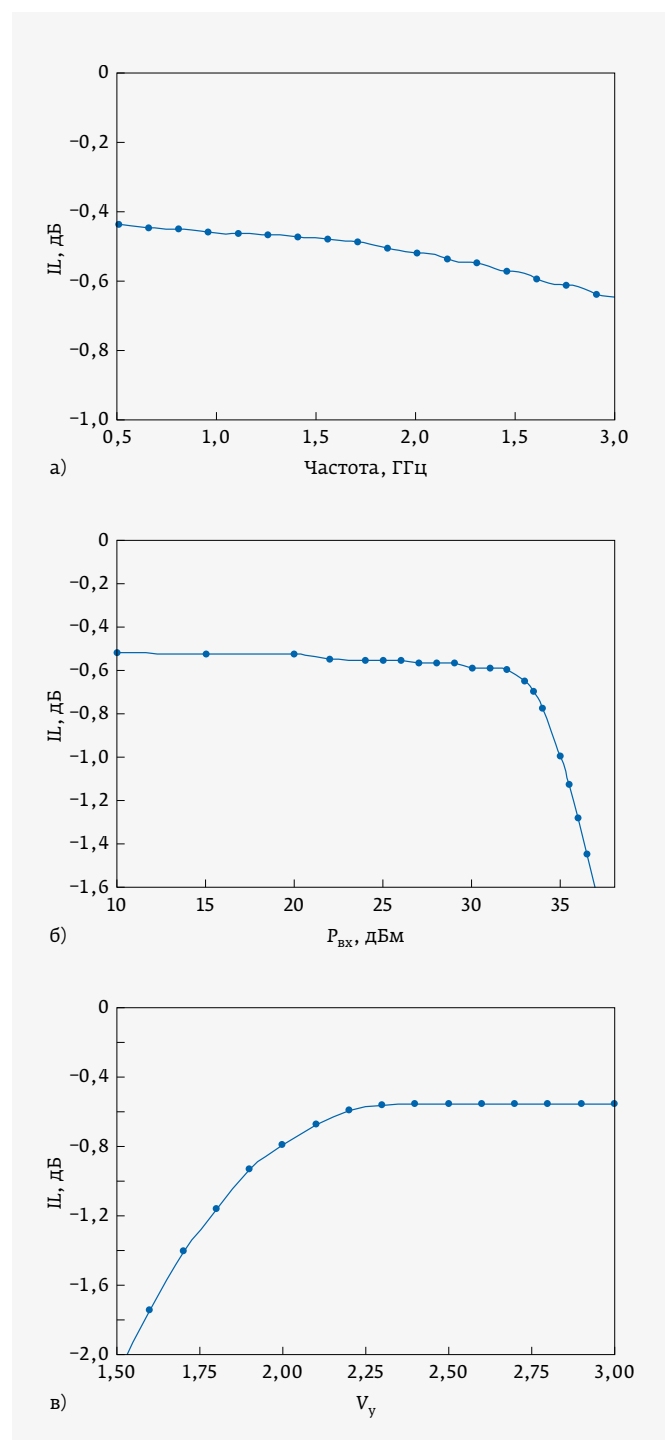


**Рис. 67.** Упрощенная схема DPDT-переключателя на арсенид-галлиевых полевых транзисторах

## МНОГОПОЗИЦИОННЫЕ АНТЕННЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ

С появлением новых стандартов сотовой связи требования к антенным переключателям становились все сложнее и сложнее вследствие использования новых диапазонов частот, увеличения количества портов с подключенными к ним передатчиками Tx, приемниками Rx и трансиверами TRx, а также роста числа задействованных антенных излучателей. Для базовых станций мобильной связи и носимых радиосредств в этот период были разработаны

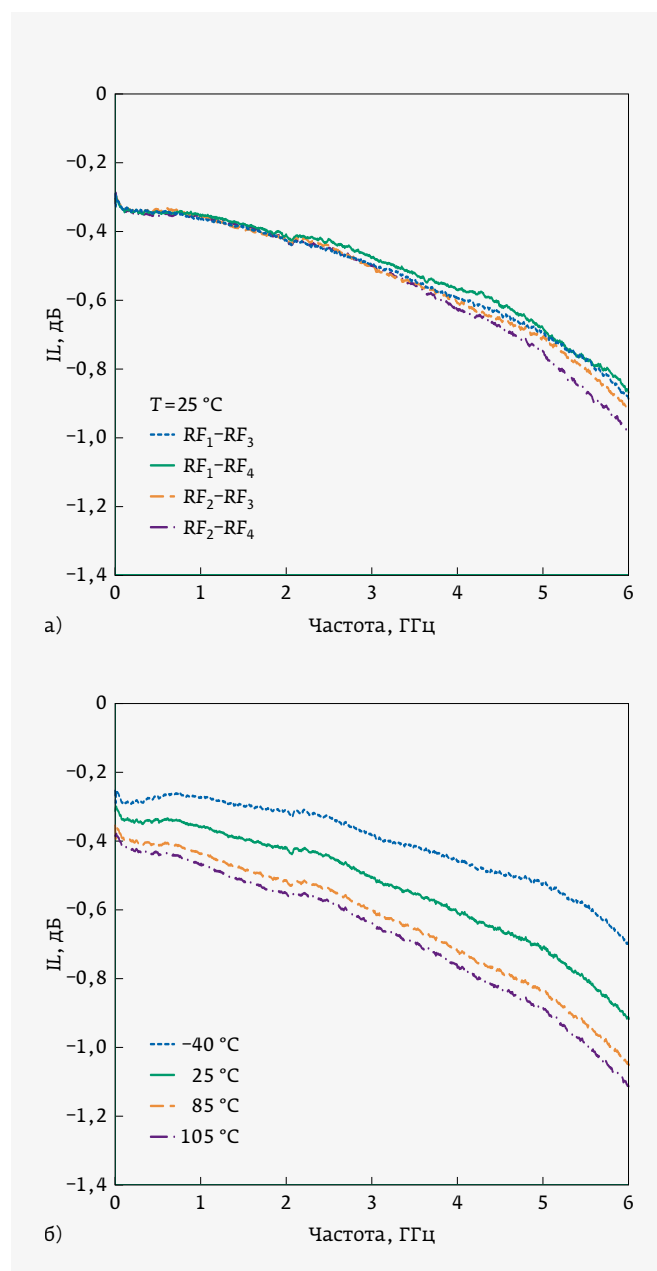
интегральные антенные переключатели на рpn-диодах и GaN-транзисторах с весьма высокими коммутируемыми мощностями, а для мобильных телефонов – антенные переключатели по технологиям GaAs и КМОП.



**Рис. 68.** Характеристики интегрального DPDT-переключателя FMS2017, выполненного по технологии GaAs PHEMT: а –  $IL(f)$ ; б –  $IL(P_{вх})$ ; в –  $IL(V_g)$

## Переключатели на рpn-диодах

Количество мощных SPMT-переключателей на кремниевых рpn-диодах, выпускаемых промышленностью, невелико. Их производят компании MACOM и Wei Bo Associates (табл. 19). Технические характеристики у них близки к характеристикам SPDT-изделий, которые выпускаются названными компаниями (табл. 4, 5). В некоторых изделиях этого типа (MSW3201-320, MSW3200-320) переключение может осуществляться в горячем режиме.



**Рис. 69.** Вносимое ослабление  $IL(f)$  в КМОП-переключателе QPC6222: а – в зависимости от пути прохождения сигнала; б – при различных температурах

Таблица 18. Характеристики интегральных КМОП DPDT-переключателей

Компания	Модель	Диапазон частот, ГГц	$P_{вк},$ дБм	ИПЗ, дБм	IL, дБ	Iso, дБ	$T_{п},$ мкс	$T_{г},$ мкс	$T_{г},$ мкс	$T_{on},$ мкс	$T_{off},$ мкс
Infineon	BCS22W2L10	0,1–2,0	<26,0	65	0,22–0,39	35–27	–	0,35	–	0,6	–
Qorvo	QPC6222	0–2,7	<38,5	72	0,35–0,34	32–31	–	5	–	–	–
Skyworks Solutions	SKY13396-397LF	0,7–3,0	<39,0	63	0,4–0,6	25–17	–	3	3	–	3
Qorvo	QM11022	0–6,0	<39,0	77	0,26–0,28	34–35	–	1,8	–	–	–
Qorvo	QPC1217Q	0–6,0	<36,0	74,5	0,32–0,34	33,6–30,0	–	–	–	2,28	–
Custom MMIC	CMD272P3	0–10,0	<27,0	38	1,2–1,6	44–35	0,01	–	–	–	–
Custom MMIC	CMD273P3	0–12,0	<27,0	46–40	1,2–1,9	42–35	0,012	–	–	–	–

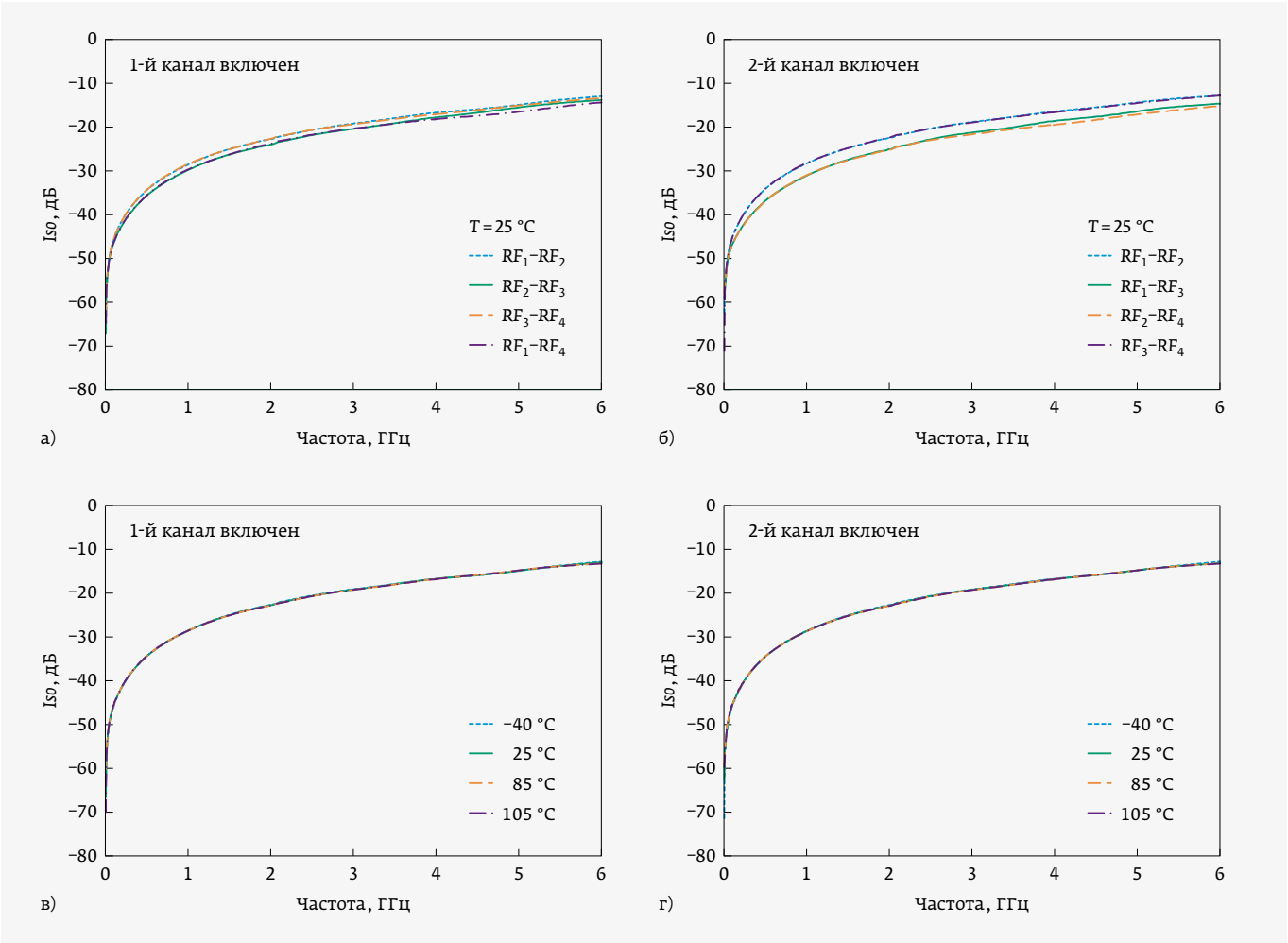


Рис. 70. Развязка Iso(f) в КМОП-переключателе QPC6222: а, б – между каналами RF<sub>1</sub>, RF<sub>2</sub>, RF<sub>3</sub> и RF<sub>4</sub>; в, г – при различных температурах

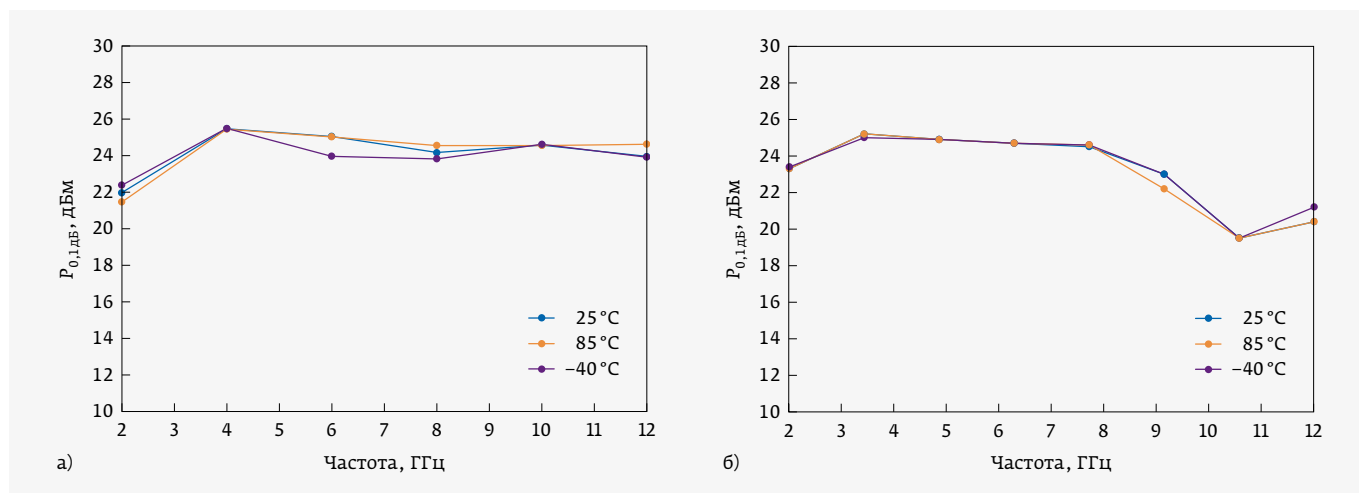


Рис. 71. Компрессионные мощности  $P_{0,1dB}$  в переключателях CMD272P3 (а) и CMD273P3 (б) компании Custom MMIC

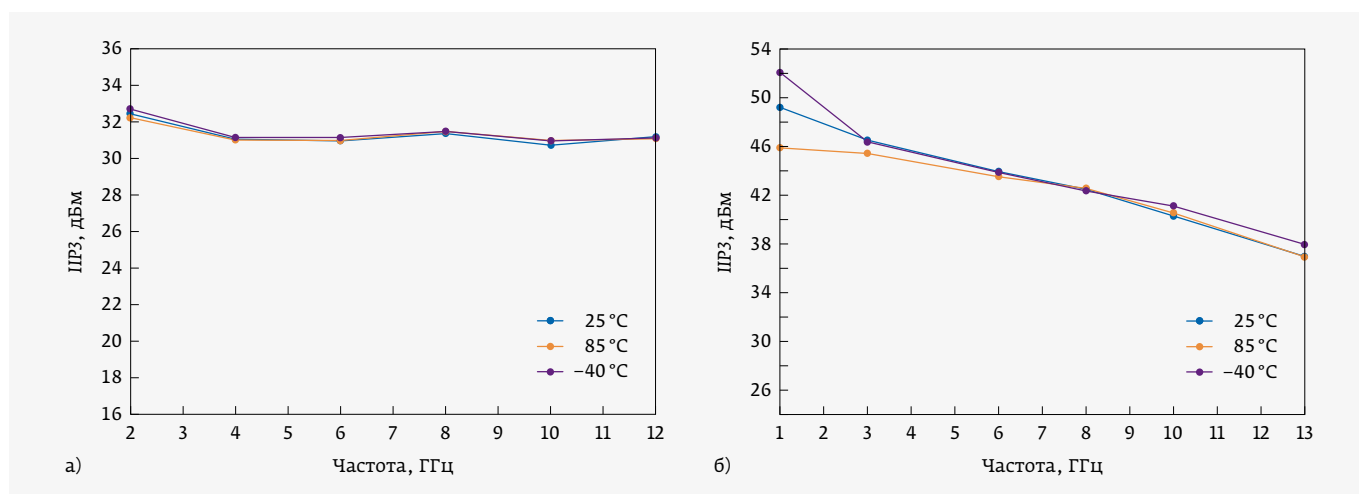


Рис. 72. Показатели линейности  $IP3$  в переключателях CMD272P3 (а) и CMD273P3 (б) компании Custom MMIC

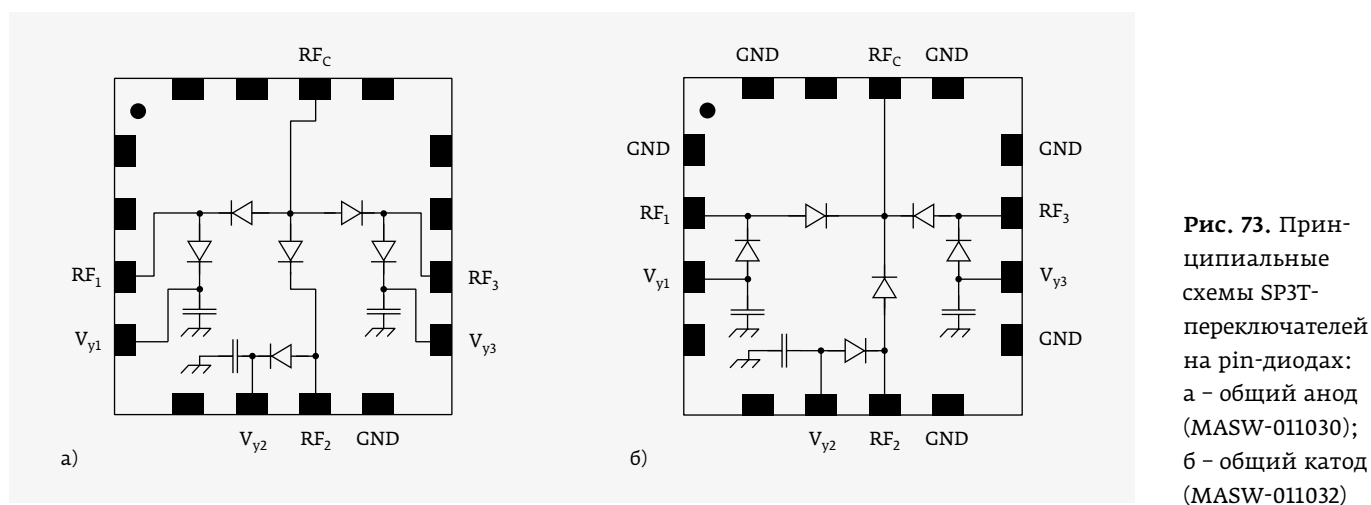


Рис. 73. Принципиальные схемы SP3T-переключателей на pin-диодах: а - общий анод (MASW-011030); б - общий катод (MASW-011032)



Таблица 19. Характеристики мощных многопозиционных pin-диодных переключателей

Компания	Модель	Тип ПК	Диапазон частот, ГГц	$P_{вх}$ , Вт	ПРЗ, дБм	IL, дБ	Iso, дБ	$T_n$ , мкс
Wei Bo Associates	MSW3T-3100-150	SP3T	0,05–1,0	100 200 (имп.)	65	0,4	53	–
MACOM	MSW3200-320	SP3T	0,02–1,0	100 500 (имп.)	65	0,4	47	3
MACOM	MSW-011032	SP3T	0,05–2,5	158	77	0,20–0,45	32–27	0,25
MACOM	MSW-011030	SP3T	0,03–3,0	158	62	0,15–0,35	50–40	0,8
Wei Bo Associates	MSW3T-3101-150	SP3T	0,4–4,0	100 200 (имп.)	65	0,6	34	–
MACOM	MSW3201-320	SP3T	0,4–4,5	100 500 (имп.)	65	0,6	35	1
MACOM	MASW-011040	SP4T	0,05–1,0	200–158	–	0,25–0,45	51–45	<3,5
Wei Bo Associates	MSW5T-0310-505	SP5T	0,03–1,0	100 200 (имп.)	80	0,8	40	–
Wei Bo Associates	MSW6T-6100-600	SP6T	0,002–0,03	200 320 (имп.)	65	0,25	25	–

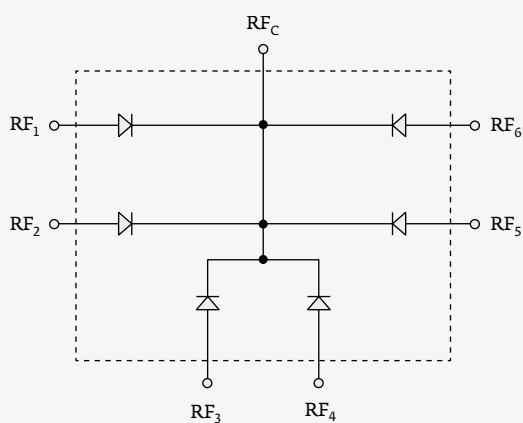


Рис. 74. Принципиальная схема мощного SP6T-переключателя MSW6T-6040-600 с общим катодом

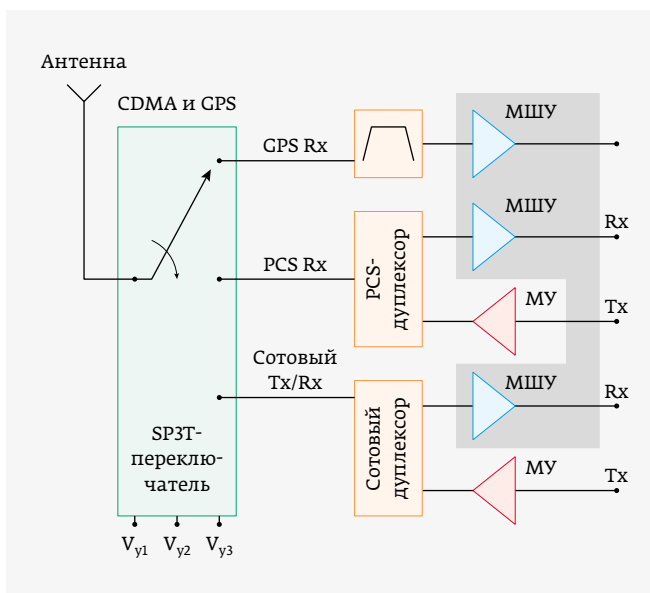
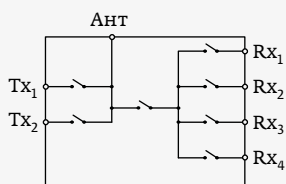
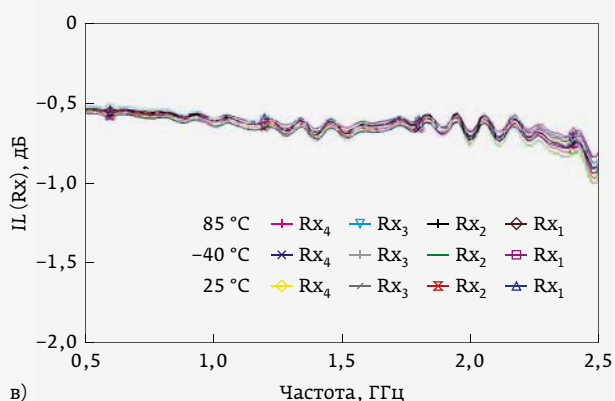
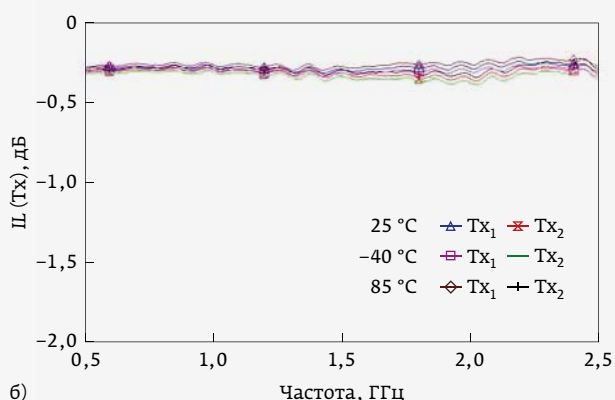
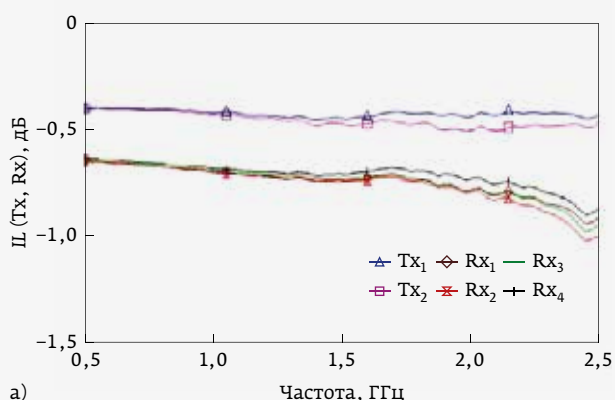


Рис. 75. Структура интегрального арсенид-галлиевого SP3T-переключателя TQP4M3007, обеспечивающего прием/передачу CDMA-сигналов мобильной связи совместно с приемом GPS-сигналов. МУ – мощный усилитель, МШУ – малошумящий усилитель



**Рис. 76.**  
Упрощенная  
структура  
интегрального  
арсенид-  
галлиевого SP6T-  
переключателя  
FMS2028  
компании  
Filtronic



SP3T- и SP4T-переключатели обычно выполняются по последовательно-параллельной схеме и отличаются лишь направлением включения pin-диодов (рис. 73а, б). SP6T-переключатели MSW6T-6040-600 реализованы по последовательной схеме на шести pin-диодах с общим катодом (рис. 74). Во всех переключателях используются высоковольтные (до 180 В) pin-диоды, причем ряд изделий (MASW-011030, MASW-011032, MASW-011040) выполнены в 16- или 20-выводных HQFN-корпусах. Два переключателя – MSW320x-320 и MSWT6T-6040-600, – использующие керамическую и стеклянную подложки, соответственно, выпускаются в пластиковых корпусах с размерами 8,0×5,0×2,5 и 8,0×8,0×2,5 мм. Максимальная импульсная мощность 1000 Вт достигается в SP6T-переключателе MSW6T-6040-600. Все pin-диодные переключатели отличаются высокой линейностью (табл. 19), которая, например, в переключателе MSW5T-0310-505 достигает 80 дБм. Pin-диодные переключатели применяются не только в связных, но и в радиолокационных системах коммерческого, промышленного и космического назначения.

### Арсенид-галлиевые многопозиционные переключатели

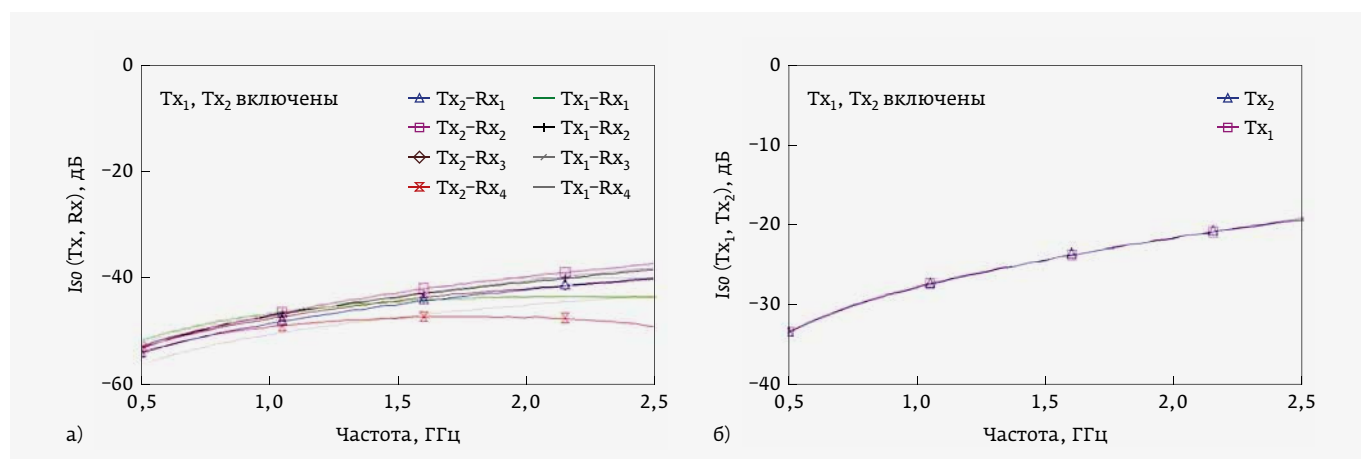
В средствах мобильной связи, за исключением базовых станций, pin-диодные изделия в силу присущих им недостатков применения не нашли. Однако, по времени развитие систем мобильной телефонии совпало со становлением GaAs-технологии на полевых транзисторах. Именно по этой причине наряду с SPDT-переключателями на арсенид-галлиевых полевых транзисторах появились и многопозиционные изделия, обеспечивающие работу мобильных телефонов, базирующихся на различных стандартах связи (табл. 20). В числе производителей этой продукции были компании Skyworks Solutions, Filtronic, SuperApex, Qorvo, Anadigics, CEL, Atlanta Micro, UMS, Custom MMIC и др. Некоторые из этих изделий наряду с обеспечением связи позволяют принимать GPS-сигналы (рис. 75).

Некоторые многопозиционные переключатели, например модель FMS2028, имеющая антенный, два передающих и четыре приемных порта (рис. 76), обеспечивают в передающих каналах меньшие вносимые потери по сравнению с приемными каналами (рис. 77а). От вариаций температуры окружающей среды вносимые

**Рис. 77.** Вносимые ослабления в передающих (Tx<sub>1</sub>, Tx<sub>2</sub>) и приемных (Rx<sub>1</sub>, Rx<sub>2</sub>, Rx<sub>3</sub>, Rx<sub>4</sub>) каналах 6-позиционного арсенид-галлиевого переключателя FMS2028 компании Filtronic: а – в передающих и приемных каналах; б – в передающих каналах при различных температурах; в – в приемных каналах при различных температурах

**Таблица 20.** Характеристики многопозиционных (SP3T...SP10T) арсенид-галлиевых переключателей на полевых транзисторах

Компания	Модель	Тип ПК	Диапазон частот, ГГц	$P_{вх}$ , дБм ( $P_{1дБ}$ )	$IP3$ , дБм	$IL$ , дБ (от $RF_c$ до $RF_1, RF_2, RF_3$ )	$Iso$ , дБ (от $RF_c$ до $RF_1, RF_2, RF_3$ )	$T_r$ , нс	$T_f$ , нс	$T_{on}$ , нс	$T_{off}$ , нс	$T_{п}$ , нс
Skyworks Solutions	SKY13309-370LF	SP3T	0,1–3,0	29 ( $P_{1дБ}$ )	<45	0,6–0,5 (от $RF_c$ до $RF_1, RF_2, RF_3$ )	25 (от $RF_c$ до $RF_1, RF_2, RF_3$ )	50	18	55	20	–
CEL	CG2430X1	SP3T	0,1–6,0	31 ( $P_{1дБ}$ )	55	0,4–0,6 (от $RF_c$ до $RF_1, RF_2, RF_3$ )	33–25 (от $RF_c$ до $RF_1, RF_2, RF_3$ )	–	–	–	–	80
Qorvo	RFSW6131	SP3T	0–6,0	27 ( $P_{0,1дБ}$ )	56	0,45–0,65	31–24 (от $RF_c$ до $RF_1, RF_2, RF_3$ )	20	20	25	25	–
SuperApex	SAC3215	SP3T	0–8,0	27 ( $P_{1дБ}$ )	–	1,5	50	–	–	–	–	30
Filtronics	FMS2016 QFN-1	SP4T	0,5–2,5	<38	–	0,55–0,65	34–32	300	300	<1000	<1000	–
KCB Solutions	KCB826	SP4T	0,02–4,0	30 ( $P_{1дБ}$ )	47	0,9–1,5	55–38	21	21	125	125	–
Microsemi	MMS008PP3	SP4T	0–8,0	29 ( $P_{1дБ}$ )	45	1,2–1,7	55–43	10	10	85	35	–
SuperApex	SAC3223	SP4T	0–12,0	20 ( $P_{1дБ}$ )	38	2,1	35	–	–	–	–	43
Custom MMIC	CMD203C4	SP4T	0–20,0	21 ( $P_{1дБ}$ )	–	2,4	39	66	66	81	8	–
UMS	CHS2412-QDG	SP4T	23,0–26,0	23,5 ( $P_{1дБ}$ )	–	2,9	35	–	–	–	–	30
Custom MMIC	CMD235C4	SP5T	0–18,0	0,1 ( $P_{0,1дБ}$ )	–	2,5	44	–	–	–	–	60
Filtronics	FMS2028	SP6T	0,5–2,5	37 ( $P_{0,1дБ}$ )	–	4,0–0,4 (Tx) 0,73–1,0 (Rx)	28,5–21 (Tx-Tx) 47–42 (Tx-Rx) 28–22 (Rx-Rx)	<300	<300	<1000	<1000	–
Analog Devices	HMC252QS24	SP6T	0–3,0	24 ( $P_{1дБ}$ )	46	0,8–1,3	41–29	35	35	120	120	–
Custom MMIC	CMD236C4	SP6T	0–18,0	0,18 ( $P_{0,1дБ}$ )	–	2,5	42	–	–	–	–	60
Filtronics	FMS2018	SP7T	0,5–2,5	<40 ( $P_{1дБ}$ )	–	0,5–0,6 (Tx) 0,6–0,8 (Rx)	40–35 (Tx-Rx) 33–30 (Tx-Tx)	300	300	1000	1000	–
Atlanta Micro	AM6011	SP8T	0–10,0	+27 ( $P_{1дБ}$ )	40	1,0	>20	–	–	–	–	–
Skyworks Solutions	SKY13362-389LF	SP10T	0,4–2,7	<40 ( $P_{1дБ}$ )	95,5 ( $IP2$ )	0,50–1,35	21–35	–	–	–	–	3000



**Рис. 78.** Развязка между каналами в арсенид-галлиевом SP6T-переключателе FMS2028: а – между передающими и приемными каналами при включенных передающих каналах; б – между передающими каналами при включенных каналах Tx<sub>1</sub>, Tx<sub>2</sub>

ослабления в передающих и приемных каналах зависят мало (рис. 77б, в). При этом развязки между передающими и приемными каналами достигают достаточно высоких значений (рис. 78). Типовой уровень второй и третьей гармоник в изделии FMS2018 составляет -70...-80 дБн.

В микросхеме RFSW6131 (компания Qorvo) зависимости вносимых ослаблений от частоты для различных каналов различаются между собой незначительно (рис. 79а). В большей степени на вносимое ослабление влияет окружающая температура (рис. 79б). Развязки между

## Качество высокое Цены низкие

**Любые виды заказов:**

- СЧОКР • срочные заказы
- единичные/крупносерийные заказы

[www.filin-rf.ru](http://www.filin-rf.ru)

**ФИЛИН**  
filter innovations

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

[filin-rf@radiocomp.ru](mailto:filin-rf@radiocomp.ru)

Фильтры на объемных резонаторах

Диапазон частот, ГГц	Полоса пропускания, %	КСВН в полосе пропускания	Гарантированное затухание, дБ	Вносимые потери в полосе пропускания, дБ
1 – 10	до 20	1,2 – 1,8	Определяется отстройкой от номинальной частоты и порядком фильтра	Зависят от порядка фильтра

• Дополнительные полюса затухания для улучшения избирательности

• Малые потери в полосе пропускания

**8PNX-3770P460-M/M**

- ПФ 8 порядка
- Номинальная частота 3770 МГц
- Соединители N-типа

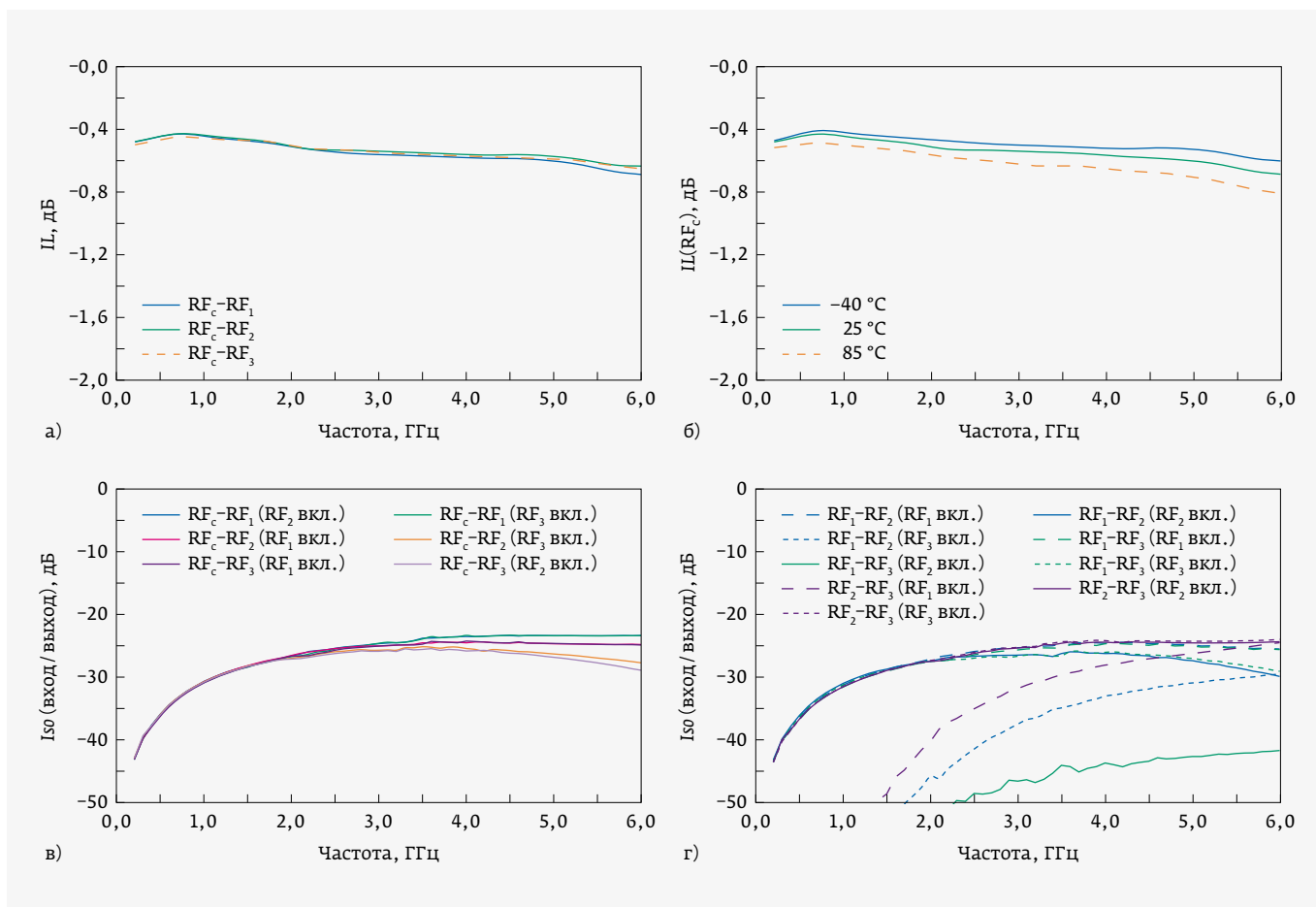
**2PNI-7680H200-7/7**

- ПФ 2 порядка
- Номинальная частота 7680 МГц
- Для монтажа на печатную плату

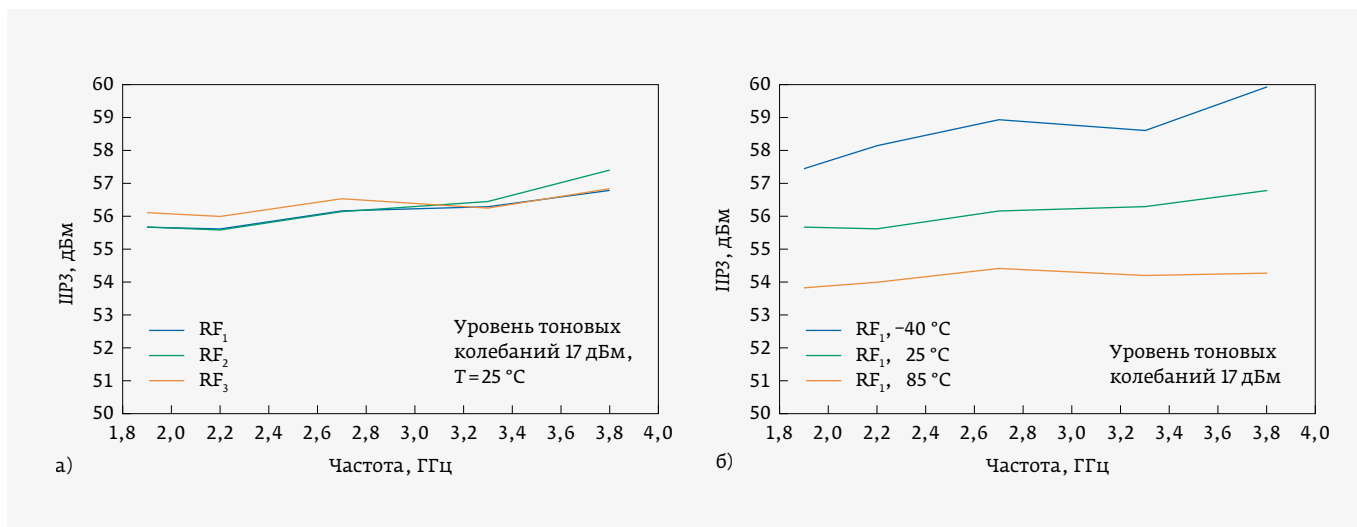
**4END-7440T140-B/B**

- ПФ 4 порядка
- Номинальная частота 7440 МГц
- Соединители SMA

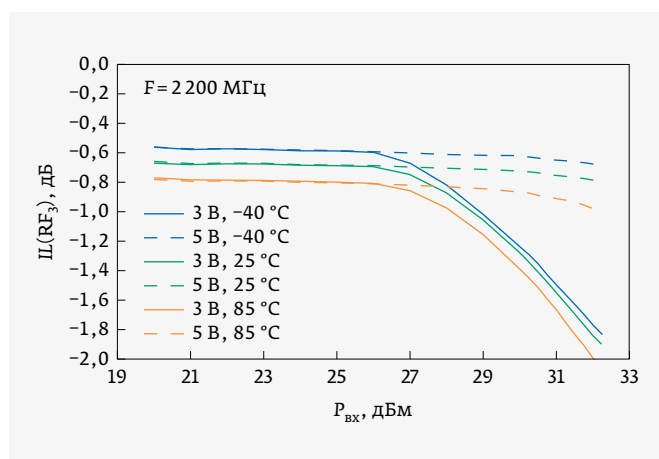
109316, Москва, Волгоградский проспект, 42 +7 495 020 4000 / +7 495 95 777 45



**Рис. 79.** Характеристики арсенид-галлиевого SP3Т-переключателя RFSW6131 (компания Qorvo): а –  $IL(f)$  между различными каналами; б –  $IL(f)$  между  $RF_c$  и  $RF_1$  при различных температурах; в, г –  $Iso(f)$  между различными каналами



**Рис. 80.** Характеристики  $IP3(f)$  в арсенид-галлиевом SP3Т-переключателе RFSW6131: а – при подключении второго и третьего каналов; б – при подключении первого канала и различных температурах



**Рис. 81.** Зависимости  $IL(P_{вх})$  в арсенид-галлиевом SP3T-переключателе RFSW6131 при различных температурах и управляющих напряжениях (включен третий канал)

входом  $RF_c$  и выходами каналов  $RF_1$ ,  $RF_2$ ,  $RF_3$  3-позиционного переключателя отличаются между собой лишь в верхней части частотного диапазона (рис. 79в). При этом существенно большим разнообразием отличаются развязки между выходами  $RF_1$ ,  $RF_2$ ,  $RF_3$  (рис. 79г). Мало

зависит от частоты и номера канала показатель линейности  $IP3$  (рис. 80а). Однако, температура окружающей среды оказывает на него весьма сильное влияние (рис. 80б). В значительной степени вносимое ослабление зависит от уровня входной мощности, температуры и управляющего напряжения (рис. 81). Так, изменение этого напряжения с 3 до 5 В практически вдвое увеличивает значение допустимой входной мощности.

Встречаются среди арсенид-галлиевых переключателей и модульные изделия. Примером могут служить 4-позиционные переключатели компании Pascall Electronics (1-10533) и Analog Devices (HMC-C071). Первый из них выполнен по технологии GaAs FET, а второй – по технологии GaAs PHEMT.

В целом применение GaAs-технологии для создания многопозиционных переключателей, используемых для передачи и приема сигналов, позволило создать значительное число изделий для мобильных средств связи с токами потребления и управления на два порядка меньшими, чем в изделиях на pin-диодах.

## ЛИТЕРАТУРА

28. Lee C.-H., Banerjee B., Laskar J. Novel T/R Switch Architectures for MIMO Applications. – 2004 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest. PP. 1137–1140.

## КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 1090 руб.

## СИСТЕМЫ НА КРИСТАЛЛЕ СО ВСТРОЕННЫМИ АНТЕННАМИ НА НАНОГЕТЕРОСТРУКТУРАХ $A^3B^5$

М.: ТЕХНОСФЕРА,  
2018. – 528 с.  
ISBN 978-5-94836-526-8

Под редакцией д. т. н., профессора П. П. Мальцева

В сборник вошли статьи сотрудников Федерального государственного автономного научного учреждения «Институт сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники имени В. Г. Мокерова» Российской академии наук (ИСВЧПЭ РАН), опубликованные в период 2010–2017 гг. по новым направлениям исследований наногетероструктур  $A^3B^5$  (арсенид галлия и нитрид галлия): расчет и моделирование систем на кристалле с интегрированными антеннами и усилителями для крайне высоких частот; создание фотопроводящих антенн для терагерцевых устройств.

Статьи использованы при выполнении работ по заказу Минобрнауки России в рамках: ФЦП «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники» на 2008–2015 годы, ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России» на 2007–2013 годы и на 2014–2020 годы.

### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; [knigi@technosphera.ru](mailto:knigi@technosphera.ru), [sales@technosphera.ru](mailto:sales@technosphera.ru)