

# Антенные переключатели

## Часть 6

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, четвертой и пятой частях статьи, опубликованных в седьмом, восьмом, девятом и десятом за 2022 год и первом за 2023 год номерах журнала «ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес», было рассказано о различных антенных приемопередающих переключателях. В данном номере рассматривается еще несколько типов таких переключателей.

### Нитрид-галлиевые многопозиционные переключатели

Коммутация высоких мощностей в приемопередающих модулях возможна также с использованием многопозиционных GaN-переключателей (табл. 21). Интегральный нитрид-галлиевый SP3T-переключатель QPC1006 выпускается компанией Qorvo. В отличие от переключателей, выполненных по другим технологиям, вносимое ослабление в нем весьма сильно зависит от частоты и заметно от температуры окружающей среды (рис. 82а) и управляющего напряжения (рис. 82б). Развязка меняется по диапазону также весьма сильно (рис. 82в, г), заметно зависит от температуры (рис. 82в) и в меньшей степени от управляющего напряжения (рис. 82г). Представляют также интерес зависимости вносимого ослабления  $IL$  от уровня входной мощности  $P_{вх}$  в непрерывном (рис. 83а) и импульсном (рис. 83б, в, г) режимах при вариациях температуры окружающей среды (рис. 83а, б), частоты (рис. 83в) и управляющего напряжения (рис. 83г).

Большинство нитрид-галлиевых переключателей выпускается в модульном исполнении. В табл. 21 они представлены моделями компании RF-Lambda. Эти изделия отличаются от мощных переключателей на pиn-диодах малым временем коммутации (менее 100 нс), а некоторые из них (RFSP4TR5MO6G, RFSP8TRDC12G, RFSP8TRDC18G) и исключительно высокой развязкой (80–90 дБ). Эти обстоятельства делают нитрид-галлиевые переключатели вполне конкурентными с электромеханическими изделиями [4].

### Многопозиционные КМОП-переключатели

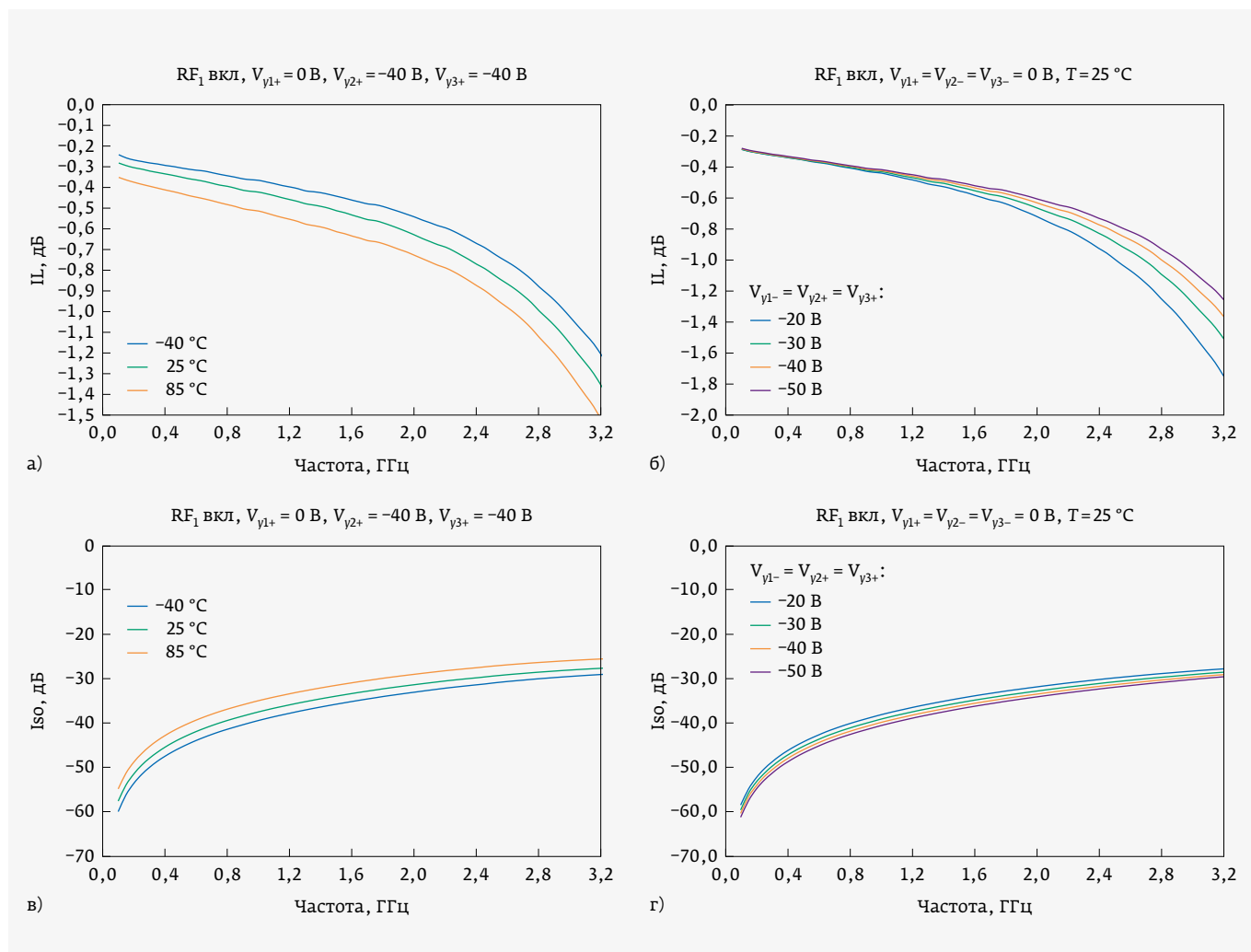
Наиболее востребованными на сегодняшний день в системах мобильной связи стали многопозиционные КМОП-переключатели (табл. 22, 23). Развитие стандартной КМОП-технологии (bulk CMOS technology) и созданных на ее основе технологий «кремний на изоляторе» (КНИ) и «кремний на сапфире» (КНС) позволило не только снизить еще на порядок токи потребления и управления, в сравнении с арсенид-галлиевыми изделиями, повысить устойчивость к электростатическим воздействиям, но и, что самое главное, решить задачу создания изделий с чрезвычайно высокой степенью интеграции. В настоящее время количество каналов в таких антенных переключателях достигает 16 (рис. 84) и к каждому из них могут быть подключены передатчики Tx, приемники Rx и трансиверы TRx. Во многих таких антенных переключателях могут быть реализованы функции не только коммутации, но и фильтрации. Например, в передающих GSM-каналах подавление внеполосных излучений осуществляется с помощью фильтров нижних частот (рис. 84). По мере расширения технологических возможностей в составе антенных переключателей начали появляться полосовые фильтры на ПАВ и дуплексеры (рис. 85). Вносимые потери в различных передающих каналах могут существенно различаться (рис. 86а–в) и, кроме того, зависят от температуры окружающей среды (рис. 86г). Развязка между передающими каналами в антенном переключателе также не остается постоянной (рис. 87) и зависит не только от частоты, но и от расстояния в кристалле между включенными и выключенными каналами.

Драйверы, обеспечивающие коммутацию каналов, как правило, расположены на том же кристалле, что и антенный переключатель. Управление их работой может быть обеспечено по различным интерфейсам (табл. 23), в том числе MIPI (Mobile Industry Processor Interface) и GPIO (General Purpose Input/Output Interface).

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

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

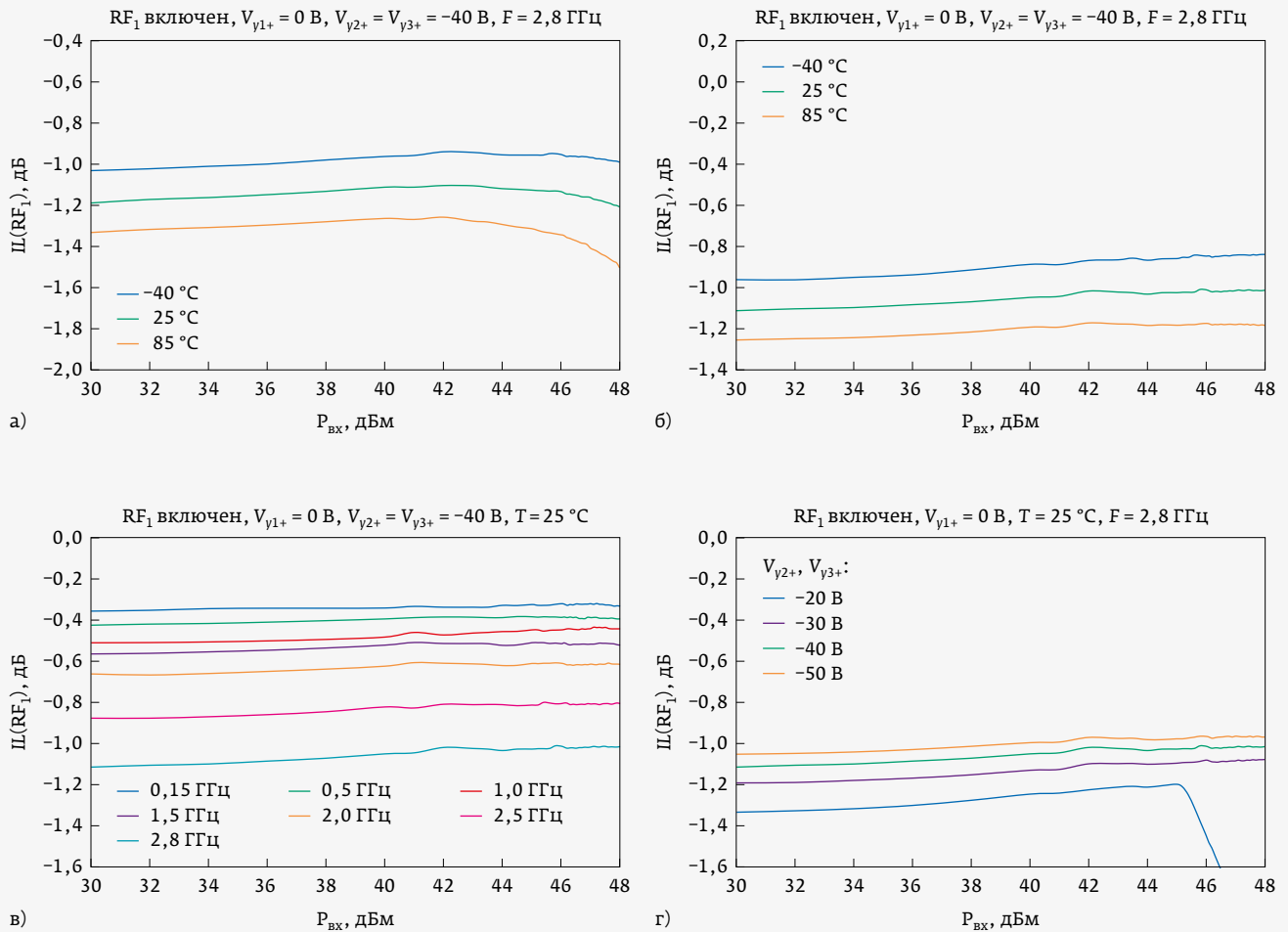
<sup>3</sup> МТУСИ, доцент кафедры радиооборудования и схемотехники.



**Рис. 82.** Характеристики интегрального нитрид-галлиевого SP3T-переключателя QPC1006 при включенном первом канале: а -  $IL(f)$  при различных температурах; б -  $IL(f)$  при различных управляющих напряжениях; в -  $Iso(f)$  при различных температурах; г -  $Iso(f)$  при различных управляющих напряжениях

**Таблица 21.** Характеристики многопозиционных GaN-переключателей

Компания	Модель	Конфигурация	Диапазон частот, ГГц	$P_{вх}$ , Вт	ПРЗ, дБм	$IL$ , дБ	$Iso$ , дБ	$T_p$ , нс	Форм-фактор
Qorvo	QPC1006	SP3T	0,15–2,80	<60	-	0,3–7,0	57–30	50	МИС
RF-Lambda	RFSP4TR5MO6G	SP4T	0,5–6,0	100 ( $P_{1дБ}$ )	-	2,0	80	50	Модуль
RF-Lambda	RFSP4TRDC12G	SP4T	0–12,0	20 ( $P_{1дБ}$ )	-	1,8	70	18	Модуль
RF-Lambda	RFSP4TRDC18G	SP4T	0–18,0	10 ( $P_{0,1дБ}$ )	55	2,0–4,0	40–25	100	Модуль
RF-Lambda	RFSP8TR5MO6G	SP8T	0–6,0	100 ( $P_{имп}$ )	50	2,2–2,8	45–38	100	Модуль
RF-Lambda	RFSP8TRDC12G	SP8T	0–12,0	20 ( $P_{1дБ}$ )	-	3	>90	18	Модуль
RF-Lambda	RFSP8TRDC18G	SP8T	0–18,0	10 ( $P_{1дБ}$ )	-	4,0	90	18	Модуль



**Рис. 83.** Вносимые ослабления  $IL(P_{вх})$  в первом канале нитрид-галлиевого SP3Т-переклю­чателя QPC1006: а - непрерывный режим; б, в, г - импульсный режим ( $T_{и} = 100 \text{ мкс}$ ,  $Q = 10\%$ )

Многопозиционные антенные переключатели от SP3Т до SPI2Т (рис. 88а) по технологии КНС производит компания рSemі (ныне – Murata). Все каналные переключатели (КПК) этой фирмы выполняются по параллельной схеме в двух исполнениях (рис. 88б, в). Наличие во всех каналах схем защиты от электростатических воздействий (ESD) обеспечивает устойчивость к ним от 1 до 4 кВ НВМ (Human Body Model). Созданные по технологии КНС переключатели оказываются эффективными и в условиях повышенной радиации.

**Рис. 84.** Упрощенная схема 16-канального КМОП-переклю­чателя SKY13492-21, к портам которого подключаются 14 трансиверов и два GSM-передатчика

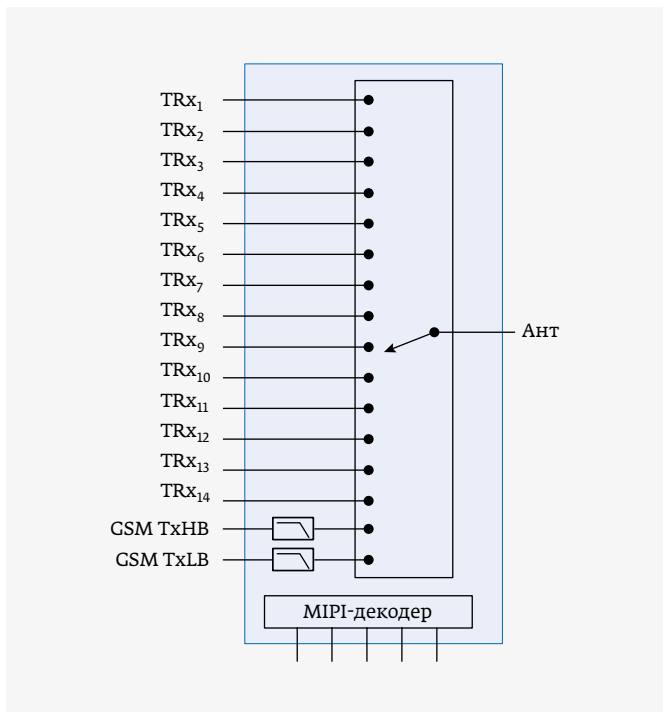


Таблица 22. Характеристики многопозиционных КМОП-переключателей

Компания	Модель	Тип ПК	Диапазон частот, ГГц	$P_{вх}$ , дБм	ППЗ, дБм	IL, дБ	Iso, дБ	$T_r$ , мкс	$T_f$ , мкс	$T_{on}$ , мкс	$T_{off}$ , мкс	$T_{set}$ , мкс
pSemi	PE42650A	SP3T	0,03-1,0	45,4 ( $P_{0,1дБ}$ )	30	0,3 (Tx) 0,5 (Rx)	33 (Tx-Tx) 38 (Tx-Rx)	-	-	100	100	-
Skyworks Solutions	SKY13588-460LF	SP3T	0,1-6,0	39 ( $P_{0,1дБ}$ )	70	0,35-0,80	40-22	0,25	0,25	1,5	1,5	-
Qorvo	QPC6044	SP4T	0,005-6,0	37 ( $P_{1дБ}$ )	61	0,87-1,2	66-45,5 ( $RF_c-RF_x$ ) 62-42 ( $RF_x-RF_x$ )	-	-	0,15	0,15	1
Analog Devices	ADRF5047	SP4T	9 кГц - 44,0	26,5 ( $P_{0,1дБ}$ )	50	1,5-2,7 ( $RF_c-RF_x$ )	47-31 ( $RF_c-RF_x$ )	1,4	1,4	3,4	3,4	5,2 (0,1 дБ)
Analog Devices	ADRF5250	SP5T	0,1-6,0	34 ( $P_{0,1дБ}$ )	57	1,3-1,8 ( $RF_c-RF_x$ )	55-46 ( $RF_c-RF_x$ )	0,04	0,08	0,15	0,15	0,4 (0,1 дБ)
IDT	F2915	SP5T	0,05-8,0	36,5 ( $P_{1дБ}$ )	60,5	0,93-2,30 ( $RF_c-RF_x$ )	62-36,5 ( $RF_c-RF_x$ ) 61,5-36,5 ( $RF_x-RF_x$ )	-	-	0,256	0,256	0,285 (0,1 дБ)
Mini-Circuits	JSW6-33DR+	SP6T	0,005-2,7	37 (макс)	55-59	0,6	37-27	0,42	0,84	1,9	1,4	-
Qorvo	QPC6064	SP6T	0,05-6,0	36 ( $P_{1дБ}$ )	59	1,02-2,02	72-48 ( $RF_c-RF_x$ ) 62-40 ( $RF_x-RF_x$ )	-	-	0,15	0,15	1,0
pSemi	PE42672	SP7T	0,1-3,0	38-36 (Tx) 23 (Rx)	-	0,6-0,75 (Tx) 0,9 (Rx)	44-38 (Tx-Rx) 29-23 (Tx-Tx) 39 (Tx <sub>1</sub> -Rx)	-	-	2,0	2,0	-
Infineon	BGS17GA14	SP8T	0,1-3,8	<32 (макс.)	-	0,27-0,56 (все Rx-порты)	50-32 (все Rx-порты)	<2,0	-	2,0	-	-
pSemi	PE42582	SP8T	9 кГц - 8,0	34-36 (Tx)	53-60	0,7-1,6 ( $RF_c-RF_x$ )	85-30 ( $RF_c-RF_x$ )	0,1	0,1	0,227	0,227	0,87 (0,05 дБ)
Skyworks Solutions	SKY8108-11	SP9T	0,4-2,7	<36 (Tx) <13 (Rx)	-	0,51-1,17	63-22	2,5	2,5	-	-	-
Skyworks Solutions	SKY13406-389LF	SP10T	0,4-2,7	33 (макс.)	40-39 ( $P_{1дБ}$ )	0,6-1,25 (АНТ-Tx)	44-23	-	-	3,0	-	-
Infineon	BGS110MN20	SP10T	0,1-2,7	32 (макс.)	-	0,3-0,6 (Rx)	40-30 (Rx)	-	-	-	-	10
pSemi	PE42512	SP12T	9 кГц - 8,0	33 (макс.)	53-60	0,7-2,4 ( $RF_c-RF_x$ )	69-22 ( $RF_c-RF_x$ )	0,1	0,1	0,232	0,232	0,87

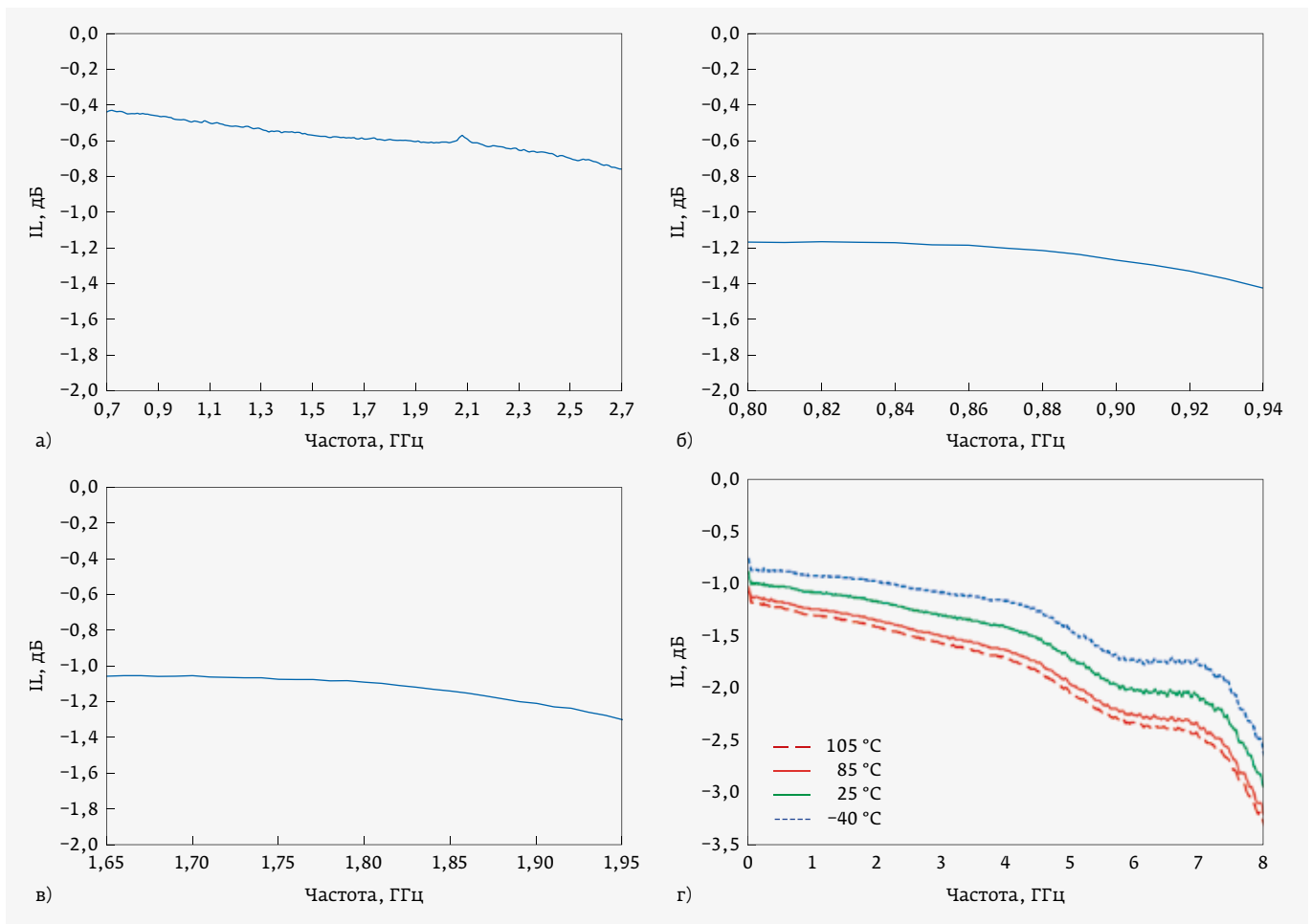
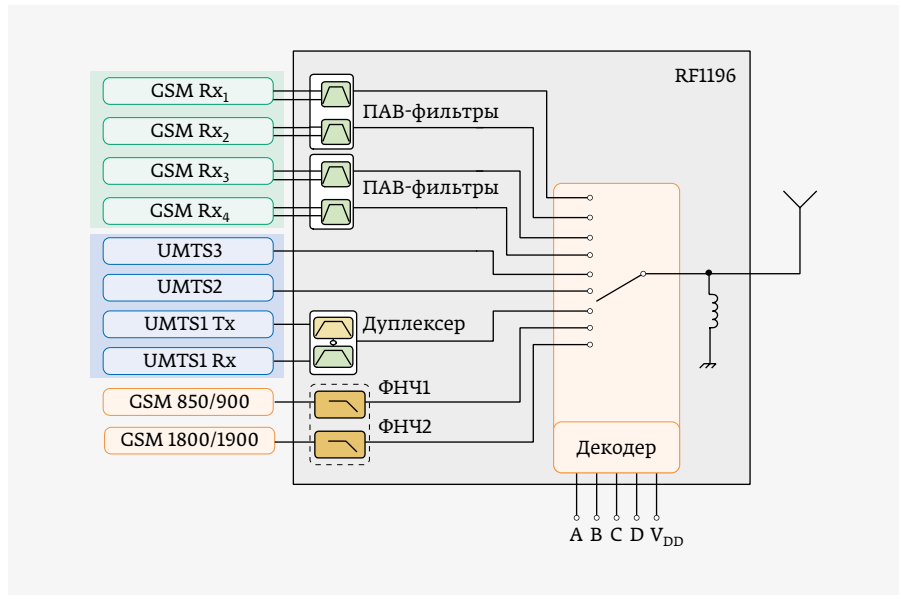
Таблица 23. Области применения многопозиционных КМОП-переключателей

Компания	Модель	Тип ПК	Диапазон частот, ГГц	Интерфейс	Область применения
pSemi	PE42650A	SP3T	0,03-1,0	КМОП	Сотовые и другие беспроводные телекоммуникационные устройства
Skyworks Solutions	SKY13588-460LF	SP3T	0,1-6,0	$V_1, V_2, V_{dd}$	Мобильные WCDMA-устройства и антенные переключатели для обеспечения многомодового режима, 802.11 a/b/g/n WLAN в промышленном Интернете вещей. Высокая линейность и малые вносимые потери делают переключатель идеальным выбором для передачи данных в мобильных WCDMA-устройствах
IDT	F2914	SP4T	0,05-8,0	$V_1, V_2, V_3, V_{dd}$	Базовые станции, портативные устройства связи, ретрансляторы и системы экстренной связи, системы с цифровым предсказанием, инфраструктура общественной безопасности, военные системы, JTRS-системы, автоматизированное испытательное оборудование
Analog devices	ADRF5040	SP4T	9 кГц - 12,0	—	СВЧ-радиостанции и терминалы спутниковой связи с антеннами небольшого размера (VSAT). Военные радиостанции и системы радиоэлектронной борьбы (РЭБ)
Analog devices	ADRF5046	SP4T	0,1-44,0	—	Сотовая инфраструктура для миллиметрового диапазона 5G, военные радиостанции, радары и РЭБ
Skyworks Solutions	SKY13567-666LF	SP5T	0,7-2,7	MIPI	Разнесенные системы приема/передачи сигналов, переключение диапазонов сотовых устройств между 2G/3G/4G (LTE, UMTS, CDMA2000, EDGE, GSM)
Skyworks Solutions	SKY13415-458LF	SP5T	0,1-3,8	$V_1, V_2, V_3, V_4, V_{dd}$	Любые 2G/3G/4G разнесенные антенны или LTE (TDD/FDD) приемопередающие системы
Analog devices	ADRF5250	SP5T	0,1-6,0	—	Сотовая 4G-инфраструктура, инфраструктура для беспроводной связи, мобильные радиостанции
Skyworks Solutions	SKY13525-646LF	SP6T	0,4-2,7	MIPI	Переключение диапазонов сотовых устройств между 2G/3G/4G (LTE, UMTS, CDMA2000, EDGE, GSM)
Qorvo	QPC6064	SP6T	0,005-6,0	$V_1, V_2, V_3, V_{dd}$	Сотовая связь, 3G, WiBro, WiMax, высокопроизводительные LTE-системы связи
pSemi	PE42672	SP7T	0,1-3,0	—	Четырехдиапазонные мобильные GSM-устройства для переключения между GSM/EDGE/PCS/DCS / WCDMA. Переключатель имеет три приемных и четыре передающих порта

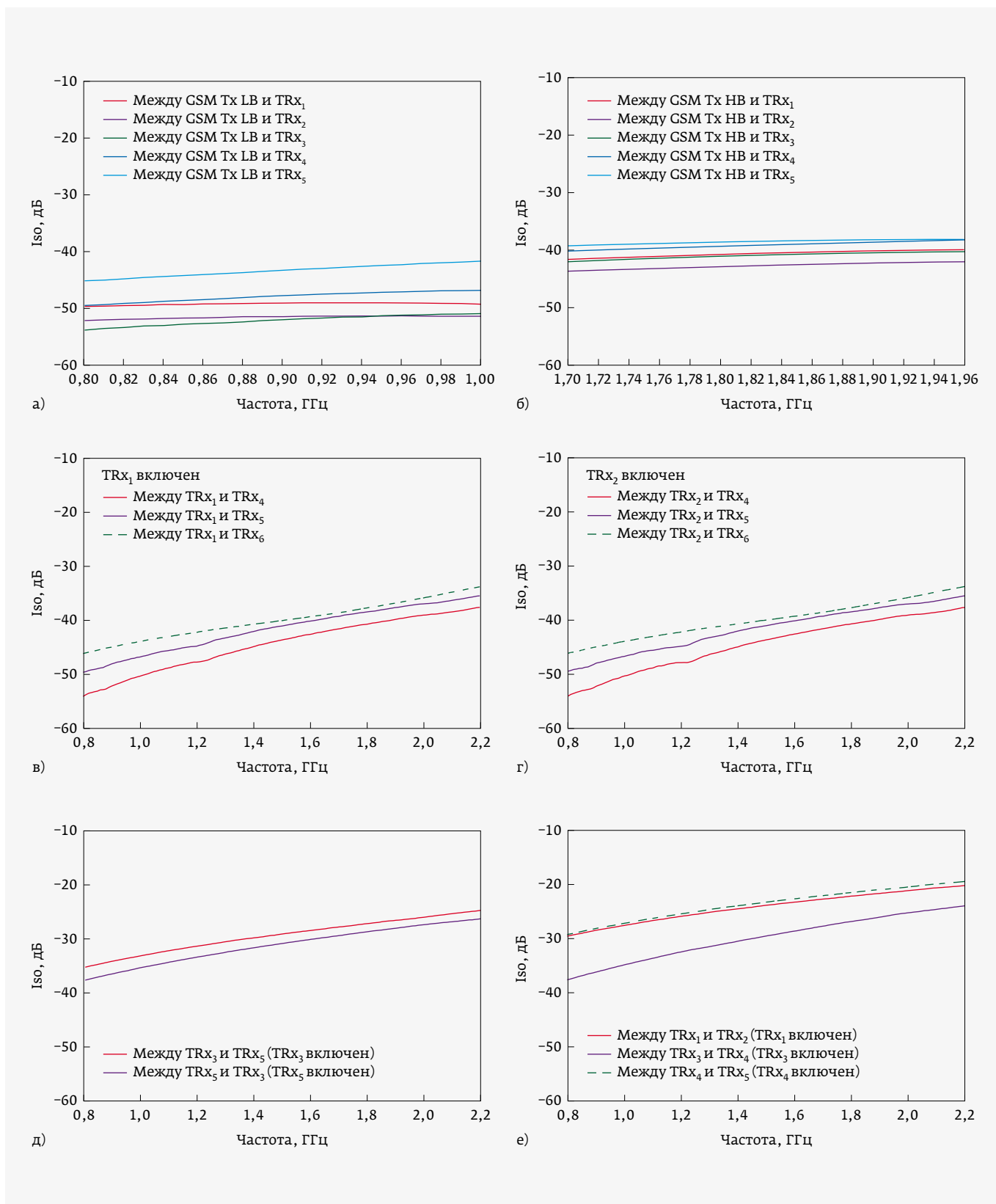
Таблица 23. Продолжение

Компания	Модель	Тип ПК	Диапазон частот, ГГц	Интерфейс	Область применения
Skyworks Solutions	SKY13417-485LF	SP7T	0,1-3,0	$V_1, V_2, V_3, V_{dd}$	Любые 2G/3G/4G разнесенные антенны или LTE (TDD/FDD) приемопередающие системы, где не требуется GSM-передача данных
Qorvo	QPC6082	SP8T	0,7-2,7	GPIO	Сотовые модемы и USB-устройства, стандарты WCDMA и LTE
Infineon	BCS17GA14	SP8T	0,1-3,8	GPIO	Сотовая связь для приема-передачи данных с использованием стандартов EDGE/C2K/LTE/WCDMA/SV-LTE
Skyworks Solutions	SKY18108-11	SP9T	0,4-2,7	$V_1, V_2, V_3, V_4, V_{dd}$	Двухдиапазонные мобильные устройства (GSM/EDGE, quad/TD-SCDMA или двойной WCDMA), два ФНЧ для подавления гармоник передатчиков GSM 850/EGSM 900 и DCS 1800/PCS 1900
Infineon	BCS110MN20	SP10T	0,1-2,7	MIPI RFFE	WCDMA/LTE-стандарты, обеспечивающие свойство diversity, десять линейных Rx-портов
Qorvo	RF8889A	SP10T	до 2,7	GPIO	Сотовые мобильные устройства, сотовые модемы и USB-устройства, переключение между GSM, EDGE, CDMA, WCDMA, LTE и TD-SCDMA
Skyworks Solutions	SKYA21052	SP12T	0,7-2,7	MIPI	2G/3G/4G/4G LTE, 4G LTE-A, имеет встроенные ФНЧ и ФВЧ для фильтрации GSM-гармоник
Qorvo	TQC9112	SP12T	0,4-2,7	GPIO, $V_1, V_2, V_3, V_4, V_{dd}$	Мобильные устройства и платы беспроводной связи стандартов GSM/EDGE/WEDGE/LTE, имеет встроенные фильтры GSM-гармоник
pSemi	PE426412	SP12T	0,01-8,0	КМОП	Промышленное применение до 8 ГГц в широком температурном диапазоне от -55 до 125 °С, переключение между фильтрами, маршрутизация радиосигнала
Qorvo	RF1498A	SP14T	0,7-2,7	RFFE, стандартное управляющее напряжение	Переключение между GSM, EDGE, UMTS и LTE стандартами в мобильных устройствах, 12 Tx-портов с высокой линейностью каналов
Skyworks Solutions	SKY13492-21	SP16T	0,7-2,7	MIPI	Переключение между 2G/3G/4G сотовыми устройствами (LTE, UMTS, CDMA2000, EDGE, GSM, TDD-LTE, TD-CDMA), 14 линейных TRx-портов, встроенные ФНЧ и ФВЧ для фильтрации GSM-гармоник

**Рис. 85.** Структурная схема многопозиционного КМОП-переключателя RF1196 (компания Qorvo)



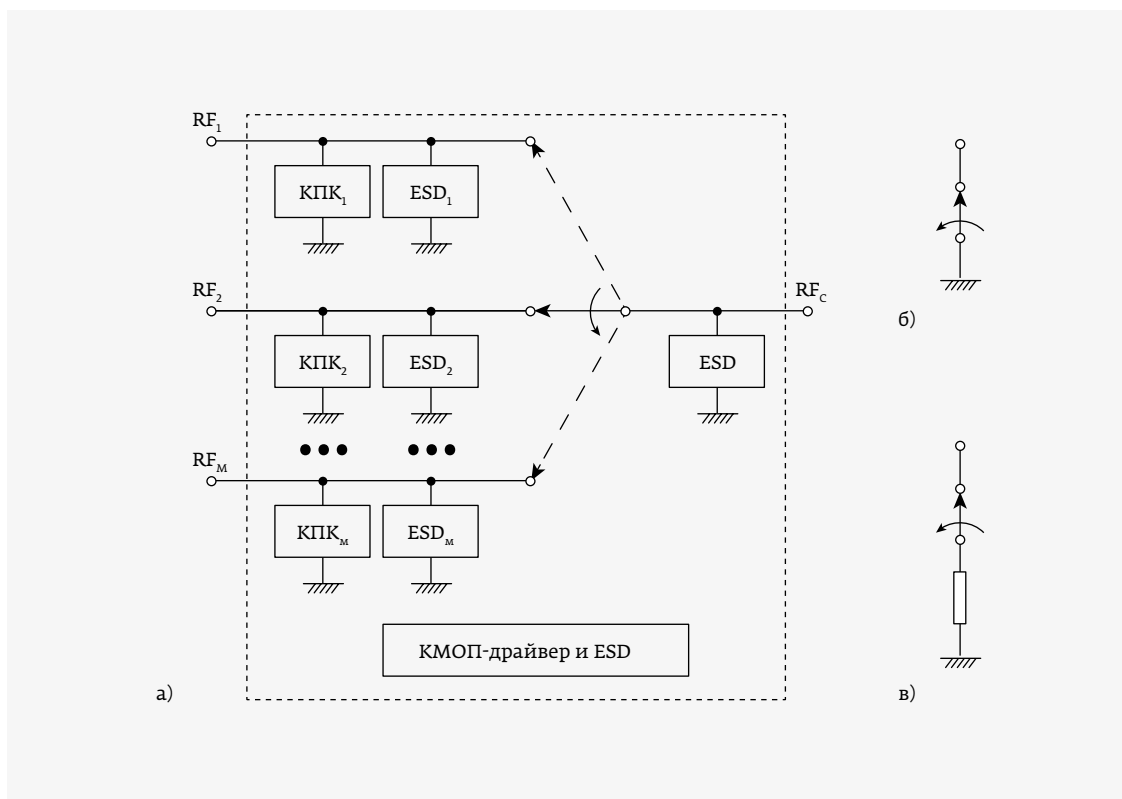
**Рис. 86.** Вносимые ослабления  $IL(f)$ : а-в - в различных каналах 10-позиционного КМОП-переключателя SKY13406-389LF (компания Skyworks Solutions): а - от антенны до всех передающих каналов; б - от антенны до GSM Tx НЧ-порта; в - от антенны до GSM Tx ВЧ-порта; г - в переключателе QPC6064 (компания Qorvo) при различных температурах окружающей среды



**Рис. 87.** Развязка Iso( $f$ ) между каналами в КМОП SP10T-переключателе SKY13406-389LF: а - между GSM Tx LB и всеми TRx-портами; б - между GSM Tx NB и всеми TRx-портами; в - между портами TRx<sub>1</sub> и TRx<sub>4/5/6</sub>; г - между портами TRx<sub>2</sub> и TRx<sub>4/5/6</sub>; д - между портами TRx<sub>3</sub> и TRx<sub>5</sub>; е - между соседними портами TRx



**Рис. 88.**  
Классическая структура многопозиционных переключателей компании pSemi (а) и два исполнения канальных переключателей (б, в)



**Таблица 24.** Многопозиционные переключатели DP(M+N)T = SPMT+SPNT, размещенные на одном кристалле

Компания	Модель	Тип ПК	Диапазон частот, ГГц	$P_{вх}$ , дБм	Интерфейс
Skyworks Solutions	SKYA13397-388LF	DP5T (SPDT+SP3T)	0,1-3,0	+40	Две контрольные линии
Skyworks Solutions	SKY13399-468LF	DP6T (SP3T+SP3T)	0,1-2,7	+30	-
Infineon	BGS1414MN20	DP8T (SP4T+SP4T)	0,1-2,7	+27	MIPI RFFE
Skyworks Solutions	SKY13550-667LF	DP8T (SP4T+SP4T)	0,4-3,8	+31	MIPI
Qorvo	RF1255	DP9T (SP4T+SP5T)	-	-	Четыре контрольные линии
Skyworks Solutions	SKY13551-668LF	DP10T (SP5T+SP5T)	0,4-3,8	+31	MIPI
Infineon	BGSX210MA18	DP10T (SP5T+SP5T)	0,1-3,8	+32	MIPI RFFE USID
Infineon	BGSX212MA18	DP12T (SP6T+SP6T)	0,1-3,8	+32	MIPI RFFE USID

Таблица 25. Количество интегральных переключателей, выпускаемых различными компаниями

Компания	Тип переключателя												
	SPST	SPDT	SP3T	SP4T	SP5T	SP6T	SP7T	SP8T	SP10T	SP12T	SP14T	SP16T	DPDT
MACOM	12	103	26	16	6	2	-	1	-	-	-	-	6
Qorvo	4	39	13	12	3	5	1	3	1	1	2	-	6
Analog Devices	4	52	1	19	1	1	-	4	-	-	-	-	1
Murata (pSemi)	2	36	1	9	4	4	-	4	-	3	-	-	-
Skyworks Solutions	2	49	17	14	-	-	-	-	2	-	2	1	-
Infineon	-	5	2	4	1	3	-	-	-	-	-	-	-
IDT	2	13	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-

Вносимые потери в этих антенных переключателях мало зависят от номера подключаемого канала (рис. 89а), изменений температуры (рис. 89б) и напряжения питания (рис. 89в). В еще меньшей степени от влияния последних двух факторов зависит развязка между каналами

(рис. 90а, б). При этом значительной оказывается зависимость допустимой входной мощности от напряжения питания в нижней (до 20 МГц) части рабочего диапазона частот (рис. 91). В состав всех антенных переключателей, производимых компанией pSemi, входят КМОП-драйверы,



**Качество высокое  
Цены низкие**



**EXPO ELECTRONICA**  
Наш стенд А1001

www.filin-rf.ru



**ФИЛИН**  
Filter Innovations

www.radiocomp.ru

filin-rf@radiocomp.ru

Фильтры на сосредоточенных элементах

Диапазон частот, МГц	Полоса пропускания, %	КСВН в полосе пропускания	Гарантированное затухание, дБ	Вносимые потери в полосе пропускания, дБ
1 – 3 000	1 – 150	1,5 – 2,0	Определяется отстройкой от номинальной частоты и порядком фильтра	Зависят от порядка фильтра



**ZNNK-P1400-B/B**

- ФНЧ 3 порядка
- Частота среза 1400 МГц
- Сверхмалые потери в полосе пропускания (до 0,3 дБ)
- Допустимая мощность 125 Вт



**SCH7-525H250-4/4**

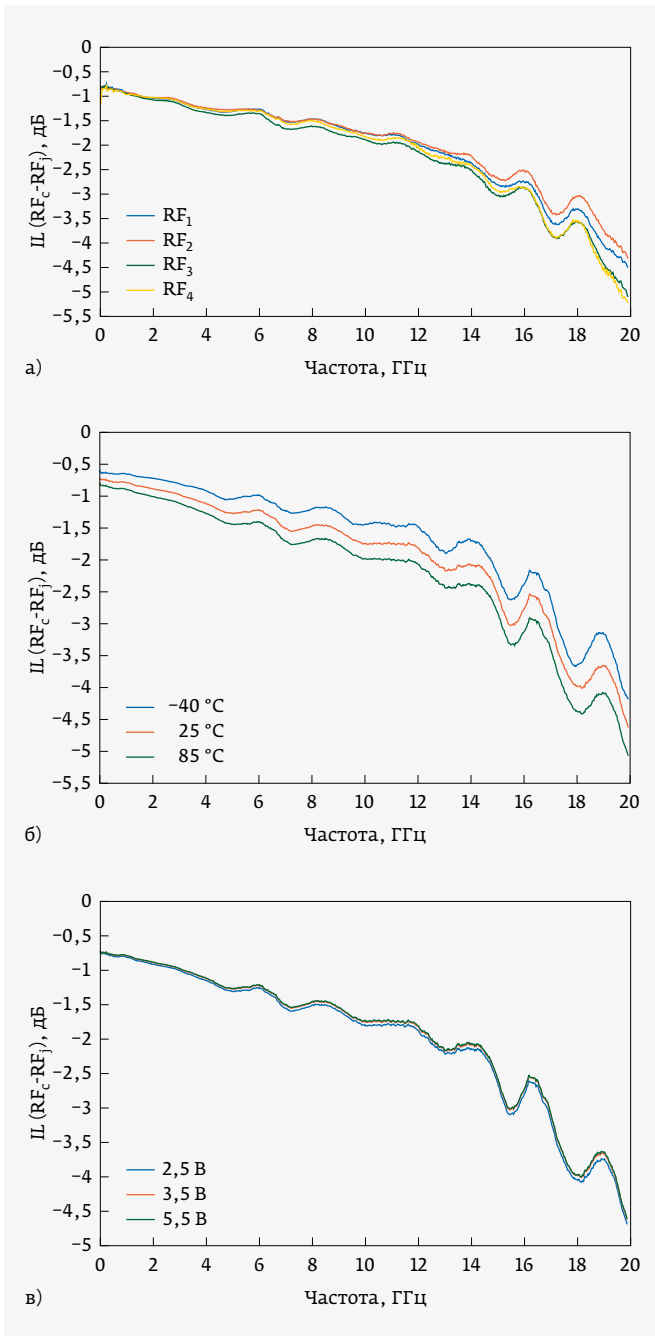
- ПФ 5 порядка
- Номинальная частота 525 МГц
- Негерметичный корпус
- Под поверхностный монтаж
- Масса изделия менее 5 г



**17HCG7-T530.5-8/8**

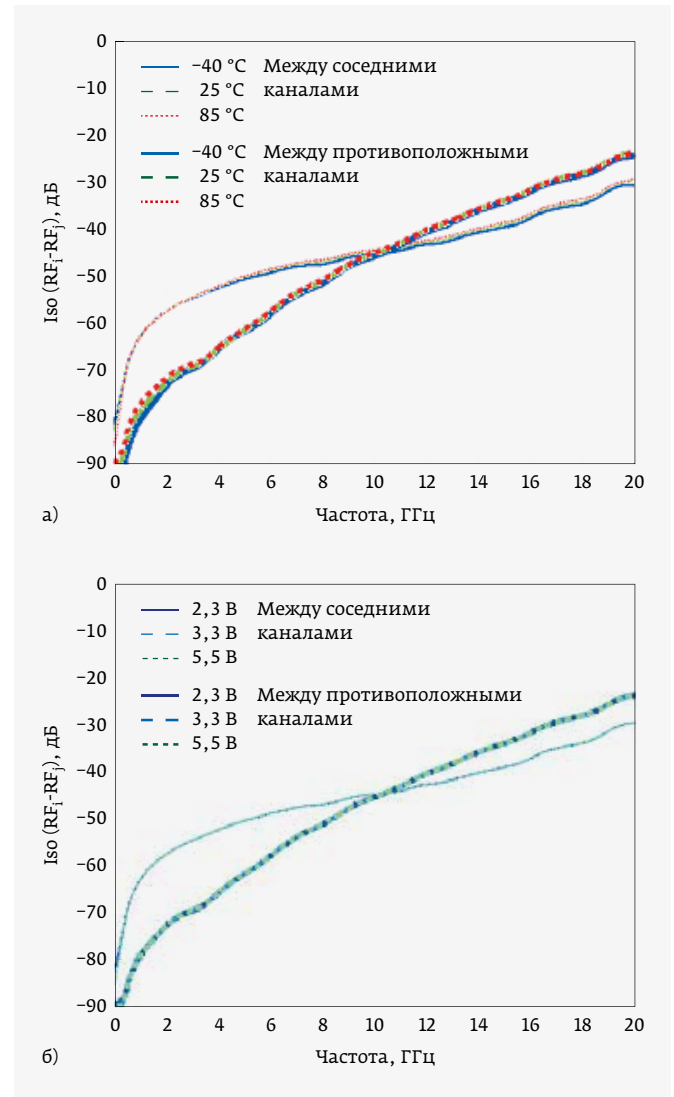
- ФНЧ 17 порядка
- Частота среза 530,5 МГц
- Герметичный корпус
- Под поверхностный монтаж
- Срок службы изделия – 20 лет

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



**Рис. 89.** Зависимости  $IL(f)$  в микросхеме PE42542, выполненной по технологии КНС: а - между каналами  $RF_c$  и  $RF_j$  ( $j=1, 2, 3, 4$ ); б - при различных температурах; в - при различных напряжениях питания

**Рис. 91.** Зависимость максимальной входной мощности от частоты в 4-позиционном переключателе (PE42440) при различных напряжениях питания



**Рис. 90.** Зависимости  $Iso(f)$  между каналами в переключателе PE42542: а - при различных температурах; б - при различных напряжениях питания

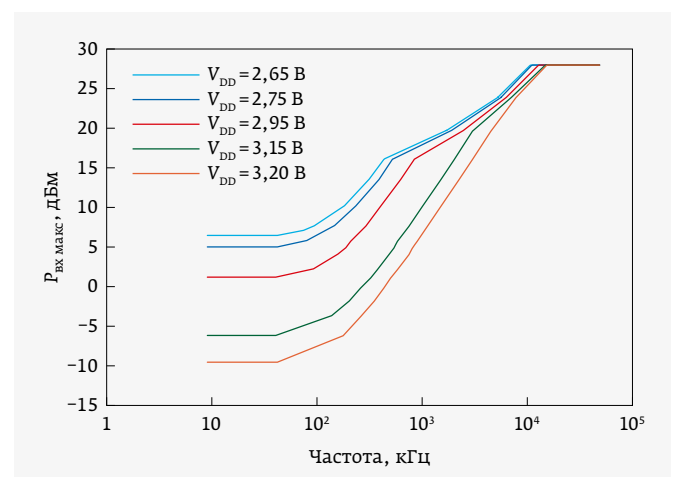


Таблица 26. Количество модульных SPMT-переключателей, выпускаемых различными компаниями

Компания	М																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	16	18	20	22	24	32	36	40	48	64	128	160
АМС	178	224	103	132	190	75	52	81	-	15	19	-	22	1	18	-	10	12	-	1	8	1	-	-
PMI	93	210	62	112	13	17	9	64	3	4	6	-	19	-	4	1	4	8	1	-	-	-	1	-
Qotana	52	126	44	70	33	37	26	51	-	4	10	-	4	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
RF-Lambda	43	94	40	58	33	31	24	45	-	1	2	-	2	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
Kratos	12	24	23	24	16	16	14	3	-	3	1	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

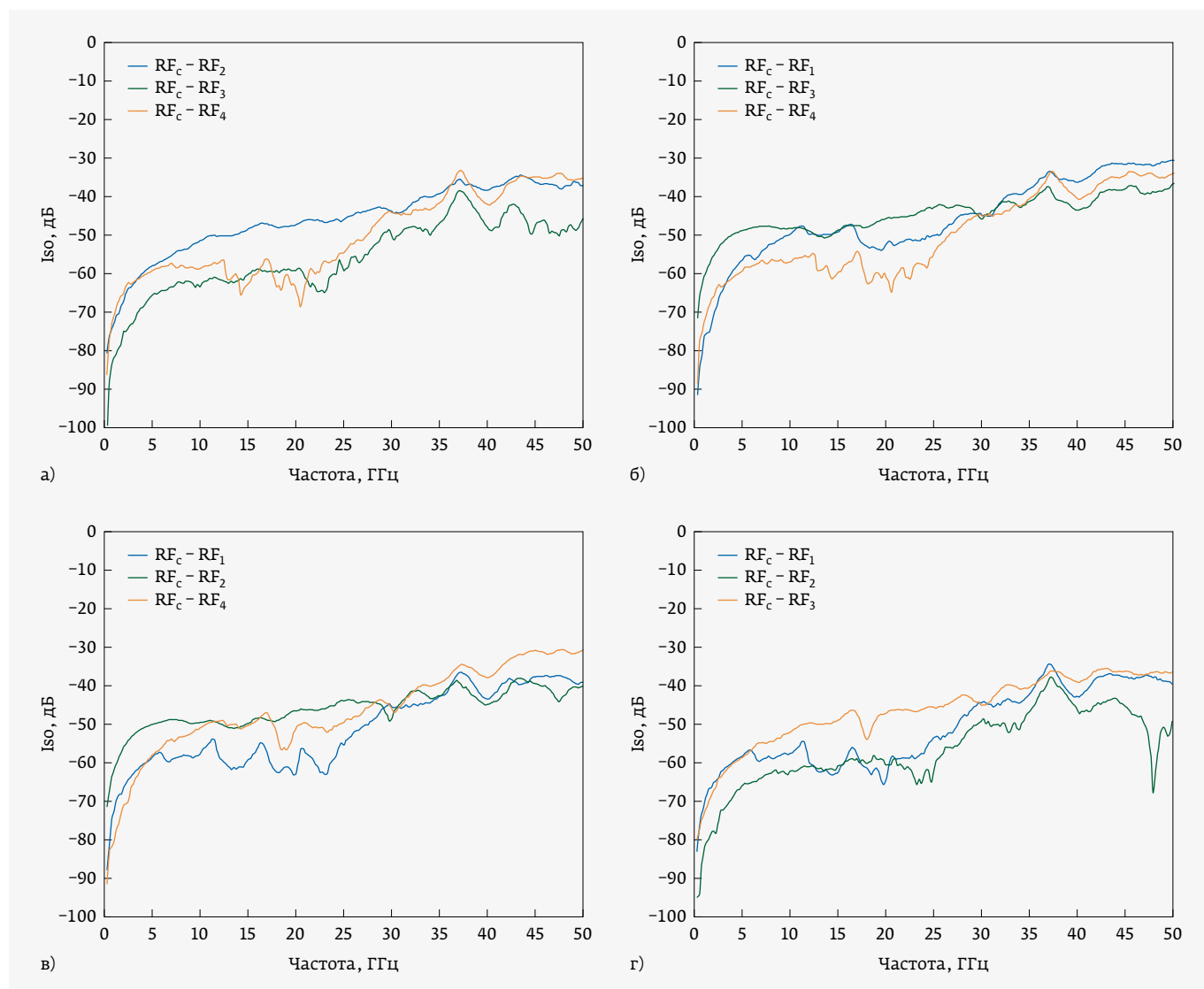
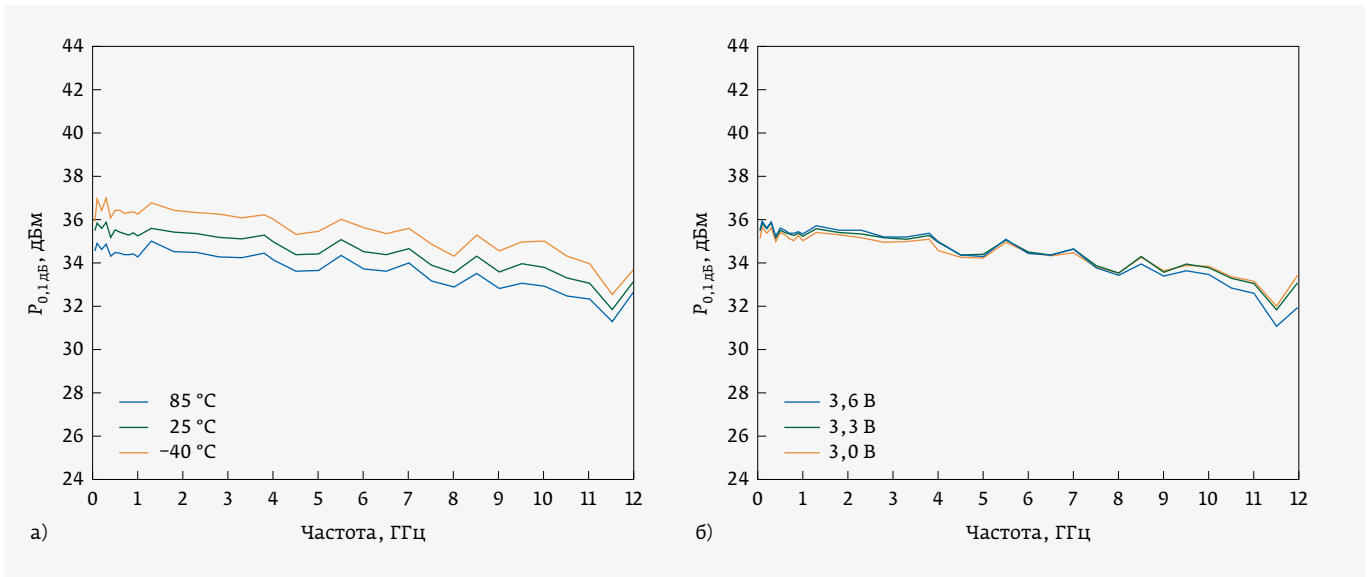


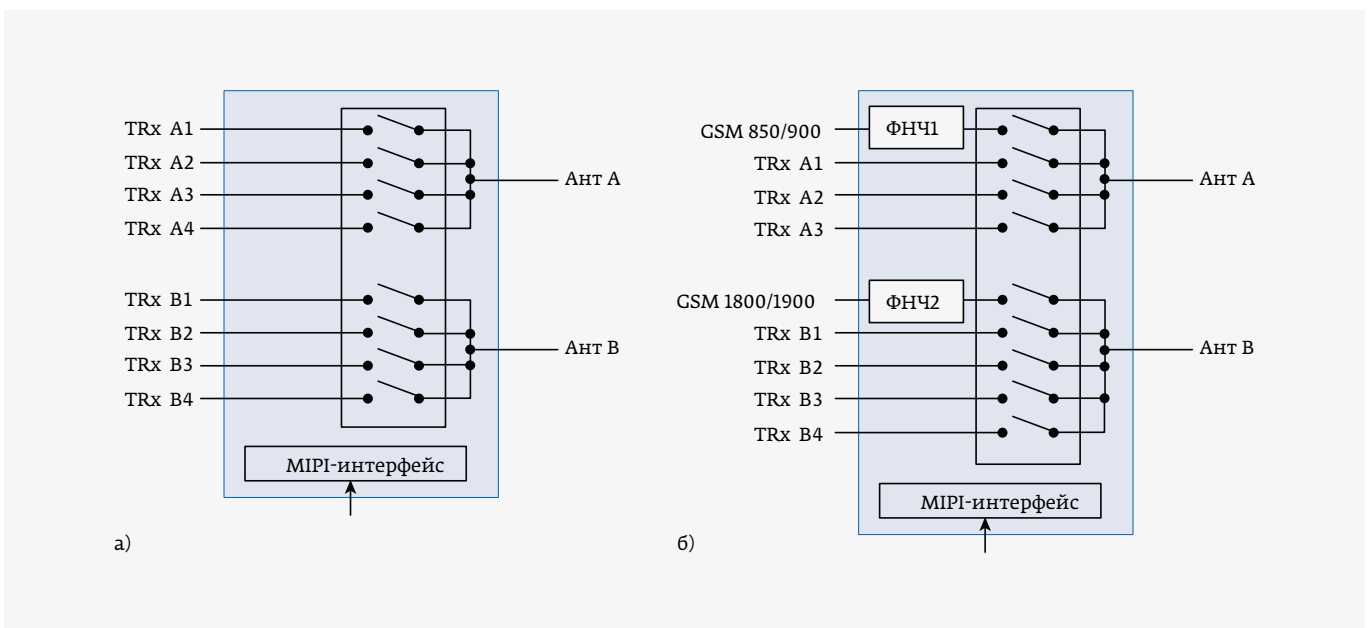
Рис. 92. Зависимости  $Iso(f)$  в переключателе ADRF5046 в различных каналах: а - между  $RF_c$  и портами  $RF_2$ ,  $RF_3$ ,  $RF_4$ , включен канал  $RF_c - RF_1$ ; б - между  $RF_c$  и портами  $RF_1$ ,  $RF_3$ ,  $RF_4$ , включен канал  $RF_c - RF_2$ ; в - между  $RF_c$  и портами  $RF_1$ ,  $RF_2$ ,  $RF_4$ , включен канал  $RF_c - RF_3$ ; г - между  $RF_c$  и портами  $RF_1$ ,  $RF_2$ ,  $RF_3$ , включен канал  $RF_c - RF_4$



**Рис. 93.** Зависимость компрессионной мощности  $P_{0,1\text{дБ}}(f)$ : а - для различных температур окружающей среды; б - для различных напряжений питания.  $T_{\text{корп.}} = 25\text{ }^\circ\text{C}$  (ADRF5040, компания Analog Devices)

сложность которых возрастает с увеличением числа переключаемых каналов. В отличие от многопозиционных переключателей, предназначенных для мобильной телефонии, ряд изделий компании Analog Devices, реализованных по технологии КНИ, используется в спутниковых системах связи, СВЧ-радиостанциях, РЛС, системах

РЭБ и др. Рабочий диапазон этих переключателей достигает нескольких десятков мегагерц (модели ADRF5046, ADRF5047 с верхней рабочей частотой 44 ГГц). В пределах этого диапазона частот поддерживается достаточно высокий уровень развязки между каналами (рис. 92) и значительные компрессионные мощности, которые на краях



**Рис. 94.** Реализация на одном кристалле двух многопозиционных переключателей, обеспечивающих свойство diversity: а - DP8T = SP4T + SP4T (SKY13550-667LF, компания Skyworks Solutions); б - DP9T = SP4T + SP5T (RF1255, компания Qorvo)

рабочего диапазона температур отличаются друг от друга не более чем на 2 дБ (рис. 93а). 10%-ное изменение напряжения питания от номинального значения 3,3 В на выходной мощности практически не сказывается (рис. 93б).

Наряду с многопозиционными переключателями типа SPMT ряд производителей выпускает изделия с двумя входами при большом количестве выходных портов ( $M > 2$ ). Среди подобного рода изделий широко представлены и такие (табл. 24), в которых имеются два входа (обычно это антенные порты) и много выходных портов (рис. 94). Для этих изделий используются обозначения DP6T (SP3T+SP3T), DP8T (SP4T+SP4T), DP10T (SP5T+SP5T) и DP12T (SP6T+SP6T). Наличие двух антенных портов означает, что антенны с такими переключателями обладают свойством diversity. По сути дела, в составе таких микросхем имеются два многопозиционных переключателя типа SP3T, SP4T, SP5T, SP6T (рис. 94а). К этому же классу относятся изделия DP5T (SP2T+SP3T) и DP9T (SP4T+SP5T) (рис. 94б), в которых каждый из входящих в них переключателей управляется независимо от интегрированного в них MIPI-интерфейса.

В некоторых изделиях, выпускаемых компанией Infineon, внутренняя структура переключателей может устанавливаться программным способом. Так в BGSX210MA18 (DP10T) возможны следующие комбинации переключателей SP5T + SP5T, SP4T + SP6T, SP6T + SP4T, в микросхеме BGSX212MA18 (DP12) наряду с SP6T + SP6T могут быть реализованы и другие комбинации переключателей: SP5T + SP7T и SP7T + SP5T.

\*\*\*

Заклячая серию статей по твердотельным переключателям [4–7], приведем сведения о номенклатуре и количествах производимых интегральных (табл. 25) и модульных (табл. 26) твердотельных переключателей. Компаний, выпускающих модульные переключатели, гораздо больше, чем компаний, производящих интегральные модели. В представленных таблицах приведены сведения о семи компаниях, выпускающих интегральные переключатели, и пяти компаниях, реализующих модульные изделия. Наиболее широко в таблицах представлены SPDT-переключатели. По мере увеличения числа каналов количество выпускаемых изделий и в интегральном, и в модульном исполнениях снижается. Максимальное число каналов (16) в интегральных изделиях реализовано компанией Skyworks Solutions в модели SKYA13492-21. В модульных переключателях компанией RF-Lambda создан переключатель RFSP160TA0020G-S со 160-ю каналами, предназначенный для использования в переключаемых фильтрах. Лидером по количеству выпускаемых интегральных переключателей является компания MACOM (172 модели). Среди производителей модульных переключателей лидирующие позиции занимают компании AMC (1142 модели) и PMI (630 моделей).

Анализируя эти таблицы, нужно иметь в виду, что количество выпускаемых за рубежом переключателей и в модульном, и в интегральном исполнениях уже сейчас значительно больше приведенных в таблицах цифр и постоянно увеличивается. ●

## КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена за два тома  
2 420 руб.

### СВЧ-ЭЛЕКТРОНИКА В СИСТЕМАХ РАДИОЛОКАЦИИ И СВЯЗИ. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

Издание 3-е, исправленное. В 2-х книгах  
Белоус А. И., Мерданов М. К., Шведов С. В.

Впервые в отечественной научно-технической литературе в объеме одной книги детально рассмотрены теоретические основы, физические механизмы и принципы работы всех известных СВЧ-приборов и типовых устройств на их основе, методы расчета и конструирования, базовые технологические, схемотехнические и конструктивные особенности каждого класса СВЧ-приборов, а также наиболее распространенных технических решений радиоэлектронных систем на их основе – от РЛС и телекоммуникационных устройств различного назначения до СВЧ-оружия наземного и космического применения. Энциклопедия оформлена в двух книгах и содержит 18 глав.

Книга 1. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2021. — 782 с.,  
ISBN 978-5-94836-605-0  
Цена 1210 руб.

Книга 2. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2021. — 702 с.,  
ISBN 978-5-94836-606-7  
Цена 1210 руб.

#### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

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