

Антенные переключатели

Часть 4

В. Кочемасов, к. т. н.¹, А. Сафин, к. т. н.³, С. Дингес, к. т. н.³

УДК 621.389 | ВАК 2.2.2

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

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩИЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ, ВЫПОЛНЕННЫЕ ПО КМОП-ТЕХНОЛОГИЯМ

К настоящему времени КМОП-переключатели в значительной степени вытеснили с рынка мобильной связи изделия, выполненные по другим технологиям. Среди используемых КМОП-технологий можно назвать BiCMOS, стандартную (bulk) КМОП, КМОП-технологии кремний

на изоляторе (КНИ) и кремний на сапфире (КНС), а также другие КМОП-процессы, запатентованные рядом производителей. Компании NXP Semiconductors, pSemi, Infineon, IDT, Mini-Circuits, Skyworks Solutions, Qorvo, Analog Devices (табл. 13, 14) закрыли все потребности рынка мобильной телефонии, включая стандарт 4G, а компании Analog Devices, pSemi, Custom MMIC (табл. 15) эффективно продвигают мобильные изделия, выполненные по стандартам 5G и 6G.

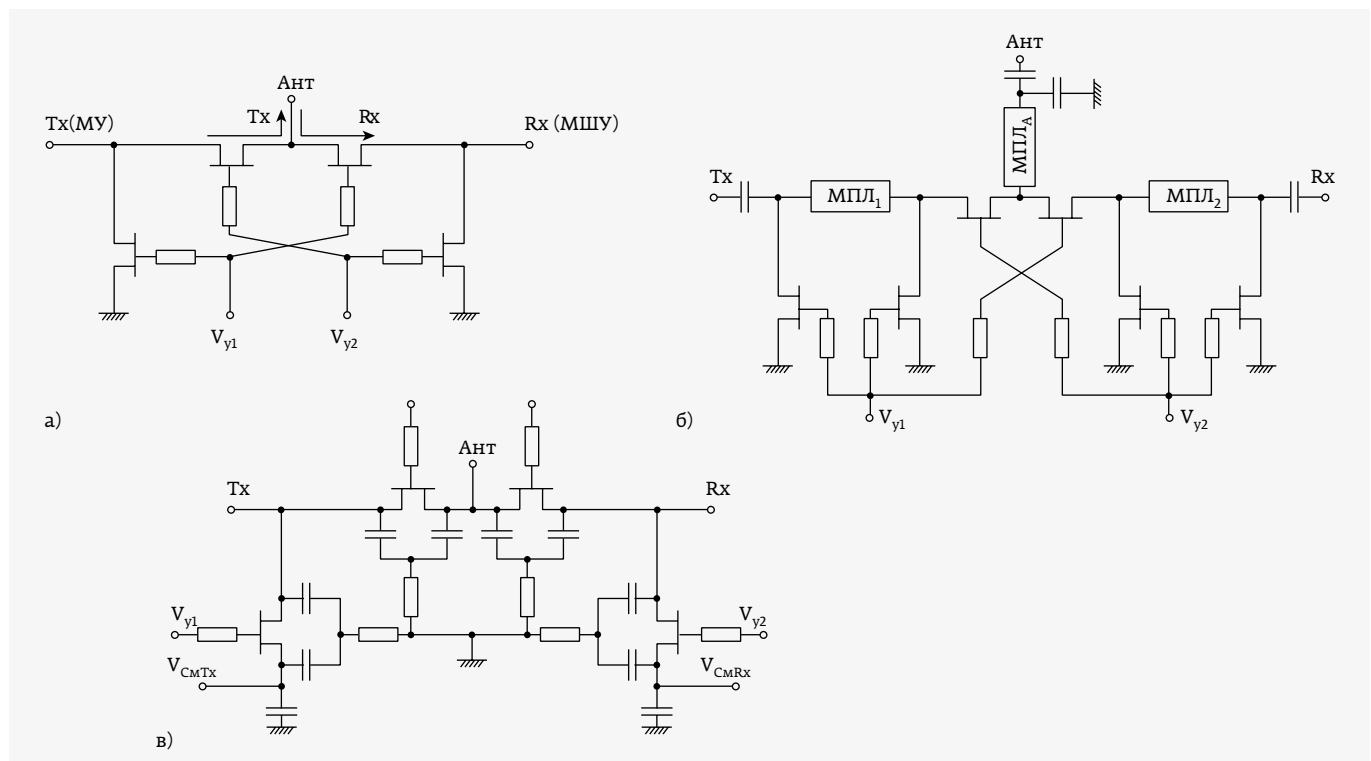


Рис. 39. Упрощенные схемы последовательно-параллельных SPDT-переключателей в КМОП-исполнении: а - [19]; б - [20]; в - [21]

¹ ООО «Радиокомп», генеральный директор, vkochemasov@radiocomp.ru

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

³ МТУСИ, доцент кафедры радиооборудования и схемотехники.

Таблица 13. SPDT-переключатели по технологии КМОП КНС, выпускаемые компанией pSemi

Модель	Диапазон частот, ГГц	$P_{вх}$, дБм	ИПЗ, дБм	ИЛ, дБ		Iso, дБ			$T_{он}$, мкс	T_{off} , мкс	T_{set} , мкс
				$RF_1 - RF_c$	$RF_2 - RF_c$	$RF_1 - RF_c$	$RF_2 - RF_c$	$RF_1 - RF_2$			
PE42510A	0,03-2,0	45,4 ($P_{1дБ}$)	-	0,45-1,70	0,7-1,8	29	29	-	40	40	-
PE42742	0,005-2,2	32-26,5 ($P_{1дБ}$)	53	0,45-1,70	0,7-1,8	74-57	73-55	94-53	3	3	-
PE42820	0,03-2,7	45,5-44,5 ($P_{0,1дБ}$)	85-81	0,3-0,7	0,3-0,7	-	-	35-24	15	15	30
PE42823	0,7-6,0	46-43 ($P_{1дБ}$)	70	0,25-0,53	0,39-1,28	48-23	59-31	-	0,62	0,62	0,58
PE42423	0,1-6,0	39,5 ($P_{0,1дБ}$)	65	0,80-0,95	0,80-0,95	47-43	47-43	51-41	0,5	0,5	-
PE42426	0,005-6,0	40 ($P_{0,1дБ}$)	83	0,30-0,75	0,30-0,75	33-20	33-20	33-20	35	35	-
PE95420	0,001-8,5	33 ($P_{1дБ}$)	60	0,77-1,38	0,78-1,38	75,6-38	75,4-38	86,5-27,8	0,7	0,3	-

Таблица 14. SPDT-переключатели, выполненные по технологии КМОП КНИ

Компания	Модель	Диапазон частот, ГГц	$P_{вх}$, дБм	ИПЗ, дБм	ИЛ, дБ	Iso, дБ	T_r , нс	T_f , нс	$T_{он}$, нс	T_{off} , нс	T_{set} , нс	V_{FT}^* , мВ
Skyworks Solutions	SKY13472-460LF	0,1-3,0	39 ($P_{0,1дБ}$)	68	0,3-0,4	40-30	-	-	1600	1600	-	-
Qorvo	QPC3024	0,005-3,0	36 ($P_{1дБ}$)	61	0,38-1,4	75-45	-	-	1500	1500	3800	-
Analog Devices	ADRF5130	0,7-3,5	46 ($P_{0,1дБ}$)	68-65	0,6-0,7	50-41	155	155	750	750	1800	-
Qorvo	QPC3025	0,03-4,2	45,5-44,0 ($P_{0,1дБ}$)	74	0,35-0,41	46-29	-	-	5800	4700	8580	-
Analog Devices	HMC8038	0,1-6,0	36 ($P_{1дБ}$)	60	0,7-0,9	70-51	60	60	150	150	170	-
IDT	F2977	0,03-6,0	40 ($P_{0,1дБ}$)	77	0,33-0,45	48-26	-	-	<600	-	-	12
Mini-Circuits	JSW2-63DR+	0,005-6,0	35 ($P_{0,1дБ}$)	56-62	0,33-0,57	46-21	500	700	1900	1700	-	3
Qorvo	RFSW6224	0,005-6,0	36 ($P_{1дБ}$)	65	0,55-1,10	80-48	-	-	250	250	1500	-
IDT	F2932	0,05-8,0	33,2-35,3 ($P_{1дБ}$)	<64	0,68-1,60	86-37	-	-	210	115	225	12
IDT	F2923	0,0003-8,0	32 ($P_{1дБ}$)	66-52	0,43-1,12	77-29	-	-	600	500	675	-

* V_{FT} – напряжение видеопросачивания

Таблица 15. SPDT-переключатели, выполненные по технологиям КМОП КНИ и КНС, работающие в широком диапазоне рабочих частот

Компания	Модель	Диапазон частот, ГГц	$P_{вх}$, дБм	ИПЗ, дБм	IL, дБ	Iso, дБ		T_r , нс	T_f , нс	$T_{он}$, нс	T_{off} , нс	T_{set}^* , нс
						$RF_c - RF_1 / RF_2$	$RF_1 - RF_2$					
pSemi	PE42521	9 кГц – 13,0	39,5–37,5 ($P_{0,1дБ}$)	65	0,60–1,85	90–17	90–17	-	-	500	500	2000
pSemi	PE42522	9 кГц – 26,5	33–30 ($P_{0,1дБ}$)	59	0,7–5,3	73–22	80–20	-	-	3000	3000	7000
Custom MMIC	CMD196	0–28,0	23 ($P_{1дБ}$)	37–38	1,75	50–35	50–35	1,8	1,8	11	4	-
Analog Devices	ADRF5020	0,1–30,0	28 ($P_{1дБ}$)	52	1,2–2,0	65–60	70–65	2	2	10	10	20
Analog Devices	ADRF5021	9 кГц – 30,0	28 ($P_{1дБ}$)	52	1,1–2,0	65–60	70–65	1000	1000	1100	1100	10000
pSemi	PE42524	0,01–40,0	32,5–26 ($P_{1дБ}$)	48–52	0,6–5,5	84–33	84–33	55	55	225	225	840
Analog Devices	ADRF5301	35,0–44,0	37 ($P_{0,1дБ}$)	52	1,8	28	-	15	15	35	35	50
Analog Devices	ADRF5024	0,1–44,0	27,5 ($P_{1дБ}$)	50	1,0–1,7	42–35	47–38	2	2	10	10	22
Analog Devices	ADRF5025	9 кГц – 44,0	27,5 ($P_{1дБ}$)	50	0,9–1,6	42–35	48–40	600	600	1700	1700	4200
pSemi	PE42525	9 кГц – 60,0	23–35 ($P_{1дБ}$)	49–46	0,9–2,7	80–36	80–36	3	3	8	8	48

* Время установления T_{set} , измеренное по достижении установившегося значения с точностью 0,05 дБ.

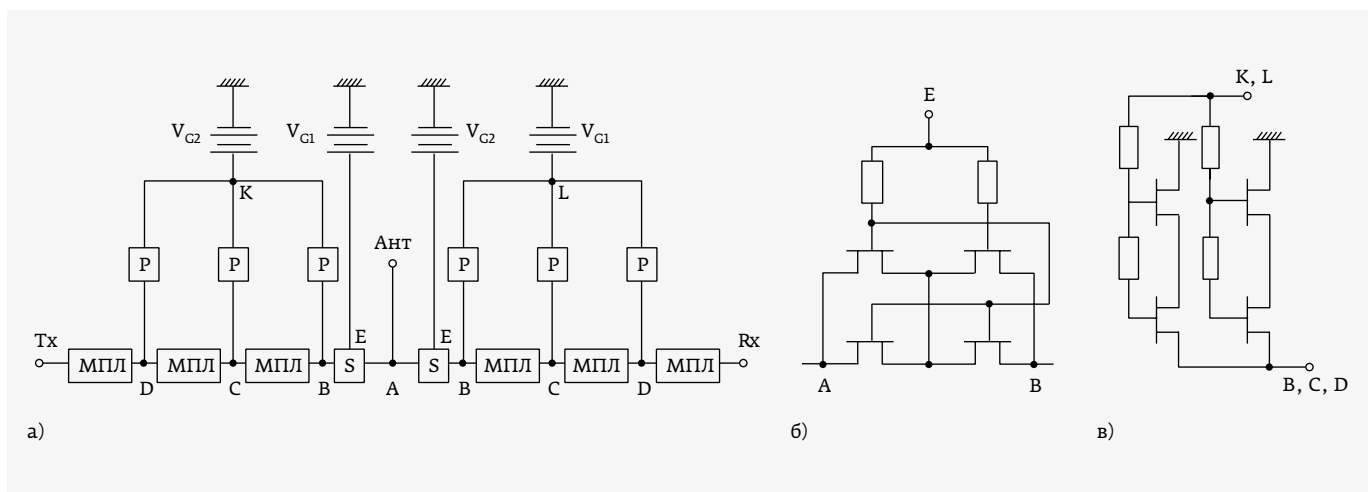


Рис. 40. Упрощенная схема SPDT-переключателя последовательно-параллельного типа, работающего по принципу «бегущей волны» [25], на базе переключательных структур S (б) и P (в), каждая на четырех полевых транзисторах

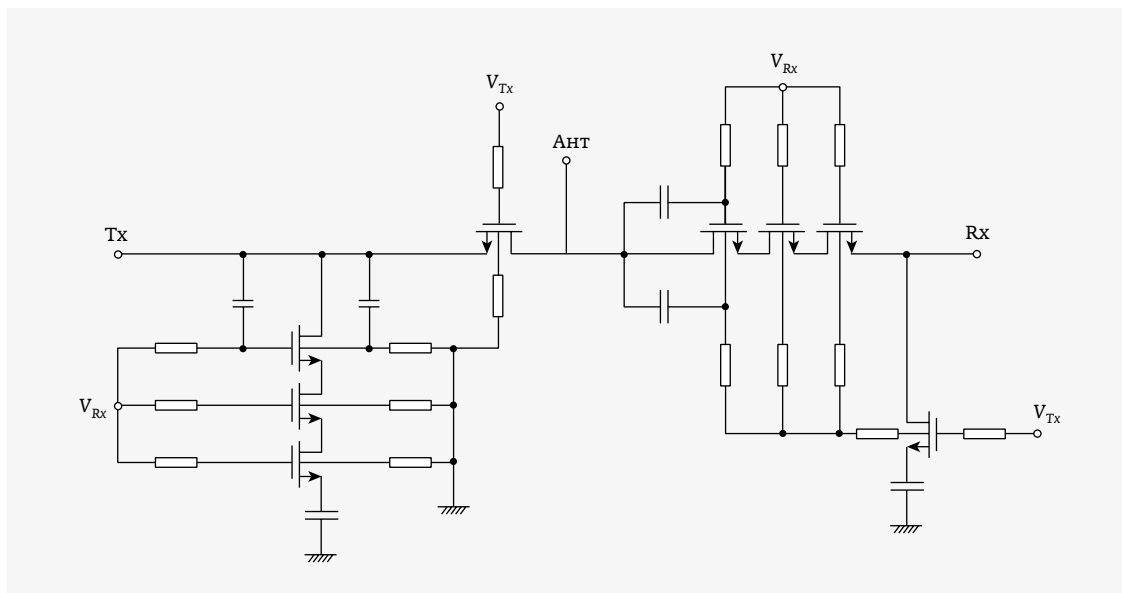


Рис. 41. Упрощенная схема симметричного SPDT-переключателя с различным выполнением передающего и приемного каналов [26]. V_{Tx} , V_{Rx} – управляющие напряжения

КМОП-изделия в основном выполняются по симметричным (рис. 39 [19–21]) схемам, чаще всего на основе последовательно-параллельных структур и отличаются лишь сложностью реализации. Промышленно выпускаемые переключатели в основном реализуются по симметричным схемам (см., например, data sheets на изделия QPC3024, QPC3025, BGS12PL6). Несмотря на симметричность используемых схмотехнических решений, вносимые ослабления между каналами Tx – Ант и Ант – Rx, а также развязки между каналами Tx – Ант, Ант – Tx, Ант – Rx, Rx – Ант, Tx – Rx и Rx – Tx могут существенно различаться.

Частотный диапазон изделий, выполненных по КМОП-технологиям, постоянно расширяется [22, 23, 24]. Например, SPDT-переключатель [23] в диапазоне частот 75–110 ГГц обеспечил следующие параметры: $IL < 6,3$ дБ (4,5 дБ на частоте 94 ГГц), $Iso > 20$ дБ (48 дБ на частоте 94 ГГц), $P_{дБм} = 11,2$ дБм (на частоте 77 ГГц) и 11,0 дБм (на частоте 94 ГГц).

Весьма сложная схема симметричного переключателя (рис. 40а) реализована с использованием принципа «бегущей волны», причем последовательно и параллельно включенные транзисторы заменены наборами S (рис. 40б) и P (рис. 40в), каждый из четырех транзисторов [25].

Требуемая во многих случаях неидентичность характеристик передающего и приемного каналов в симметричном последовательно-параллельном переключателе (рис. 41) обеспечивается заменой последовательного транзистора в передающем канале и параллельного транзистора в приемном канале наборами из трех транзисторов [26].

Неидентичность каналов может быть также достигнута применением асимметричных переключателей. Так, в [27] приведена схема переключателя (рис. 42), в передающем

канале которого используется последовательное включение транзистора, а в приемном – параллельное.

КМОП-переключатели, работающие в диапазоне частот до 10 ГГц, используются в мобильной телефонии, базовых станциях и ретрансляторах стандартов 2G, 3G, 4G различного назначения (ISM, GSM, WiMAX, WCDMA, LTE, TDD, 802.11a/b/g/n WLANs), в кабельных (CATV) и спутниковых (SATV) системах, а также в качестве экономически эффективной замены мощных рpn-диодных переключателей. Допустимые коммутируемые мощности в КМОП-изделиях прежде всего зависят от частоты. Значение этой мощности в диапазоне частот до 6 ГГц достигает 40 Вт (табл. 13, 14), а на частотах 40–60 ГГц не превышает 10 Вт (табл. 15).

Одной из первых на рынок КМОП-переключателей вышла компания NXP Semiconductors с BiCMOS-изделиями SA630 и SA58643. Вносимые ослабления в этих

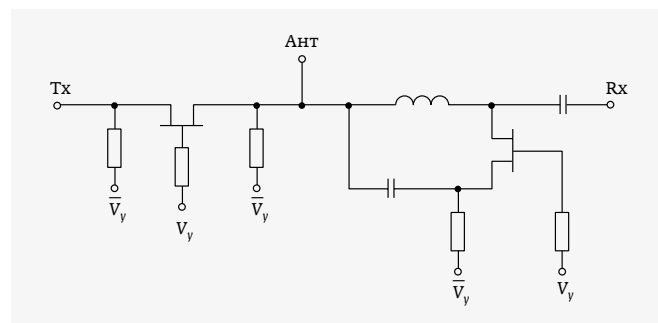


Рис. 42. Упрощенная схема несимметричного SPDT-переключателя с последовательным включением полевого транзистора в передающем канале и параллельным включением полевого транзистора в приемном канале

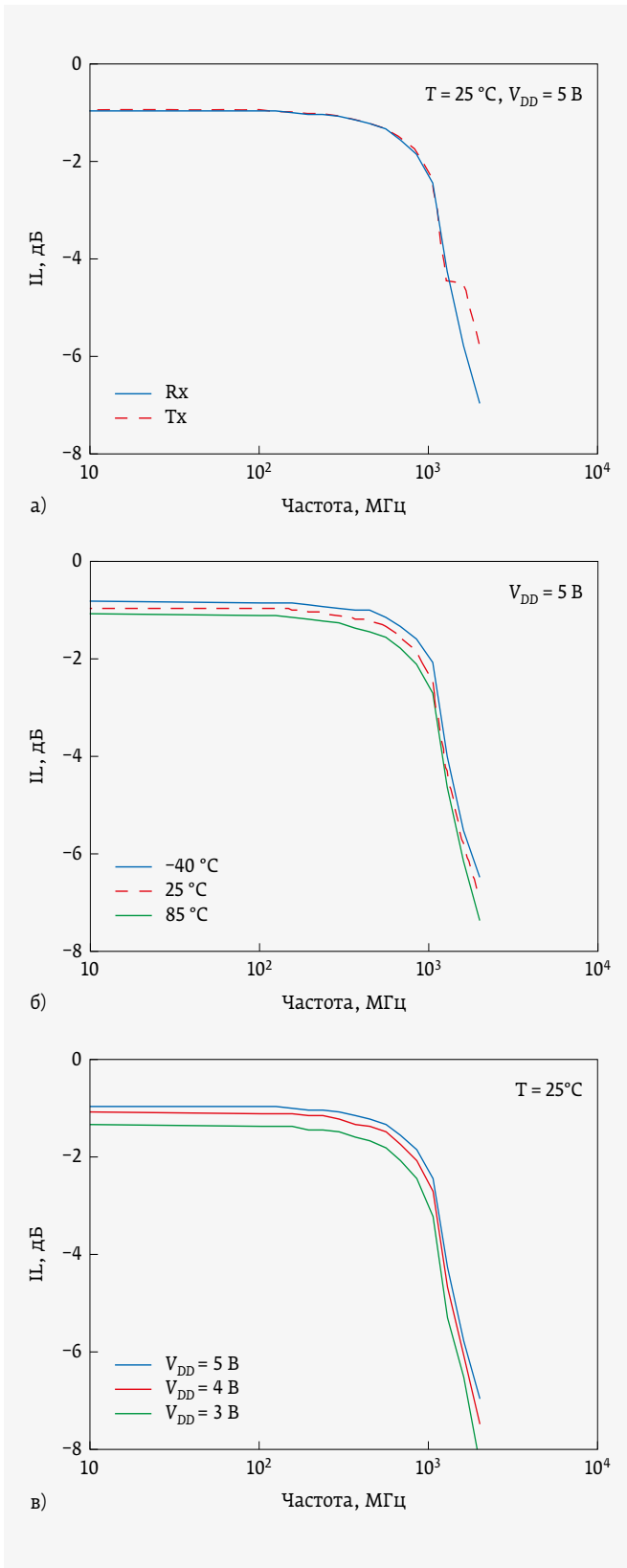


Рис. 43. Зависимости $IL(f)$ в переключателях SA630, SA58643: а – в каналах Tx и Rx; б – при вариациях температуры; в – при изменении напряжения питания

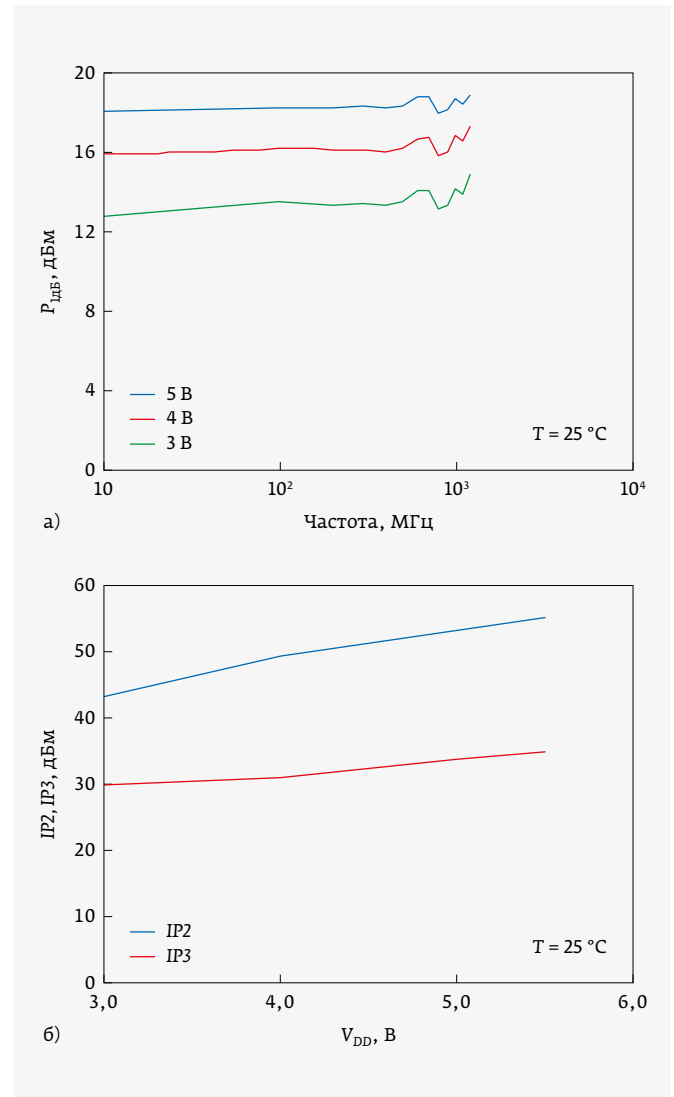


Рис. 44. Компрессионная мощность $P_{дБМ}$ в зависимости от частоты и напряжения питания (а) и характеристики $IP2$, $IP3$ в зависимости от напряжения питания (б) в переключателях SA630 и SA58643

переключателях в передающем Tx и приемном Rx каналах практически одинаковы (рис. 43а), но подвержены некоторым изменениям при вариациях температуры окружающей среды и напряжения питания (рис. 43б, в). Весьма существенно в таких изделиях зависят от напряжения питания компрессионная мощность $P_{дБМ}$ и характеристики $IP2$, $IP3$ (рис. 44а, б). Время включения T_{on} в этих переключателях практически вдвое превышает время выключения T_{off} , а время нарастания T_r почти втрое больше времени спада T_f (рис. 45).

Линейку переключателей (BGS12PN10, BGS12LP6, BGS12S3N6 и др.), выполненных по запатентованной МОП-технологии и стандартной КМОП-технологии продвигает компания Infineon. Разработанная ею микросхема

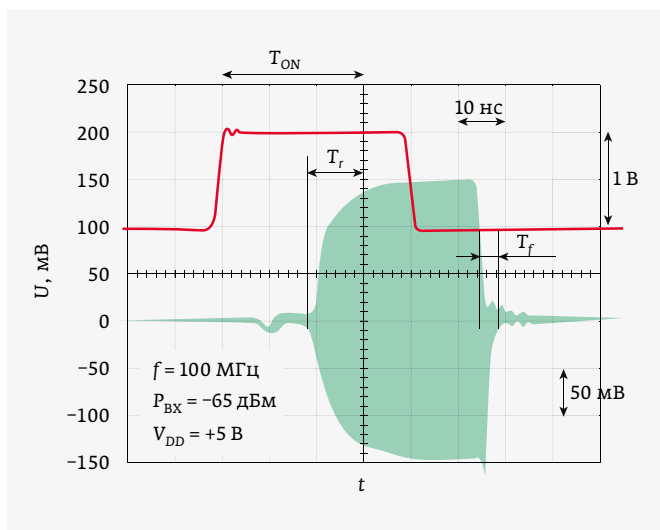


Рис. 45. Формирование радиоимпульсов из непрерывного колебания в переключателях SA630 и SA58643

BGS12PN10 может использоваться в EDGE/C2K/LTE/WCDMA/SVLTE применениях в качестве приемопередающего переключателя. Вносимое ослабление $IL(f)$ в диапазоне частот 0,5–6,0 ГГц меняется от 0,13 до 0,88 дБ (рис. 46а), как в передающем (Tx – Ант), так и в приемном (Ант – Rx) каналах. Развязки Iso (Tx – Ант) и Iso (Rx – Ант), показанные красным цветом, практически одинаковы и с ростом частоты уменьшаются от 40 до 10 дБ (рис. 46б). При этом развязки между передающим и приемным каналами Iso (Tx – Rx) и Iso (Rx – Tx), показанные синим цветом, также одинаковы, но отличаются от развязок Iso (Tx – Ант) и Iso (Rx – Ант) весьма существенно (рис. 46б).

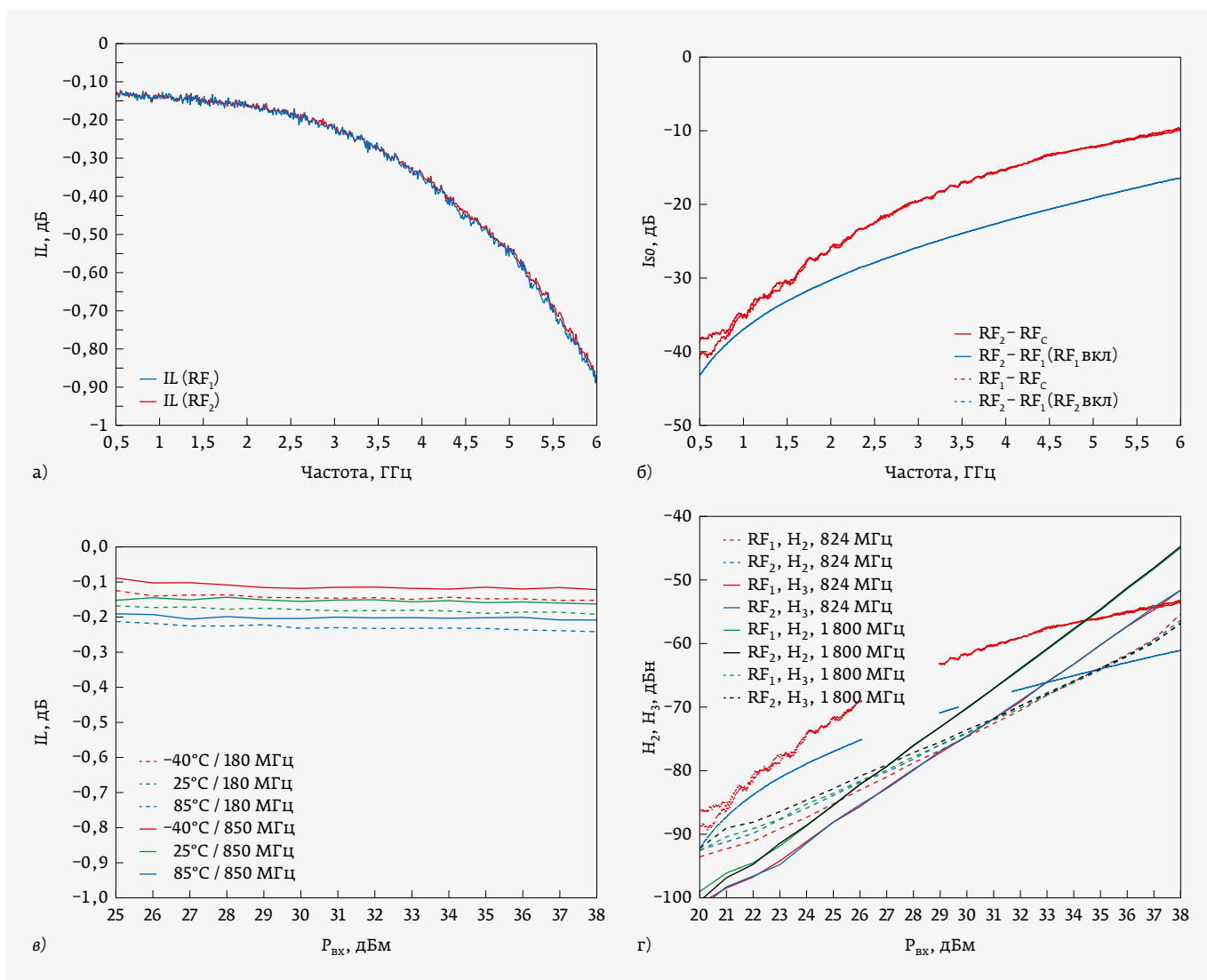


Рис. 46. Характеристики переключателя BGS12PN10: а – $IL(f)$; б – $Iso(f)$; в – $IL(P_{вх})$; г – уровни второй (H_2) и третьей (H_3) гармоник в зависимости от входного уровня мощности $P_{вх}$

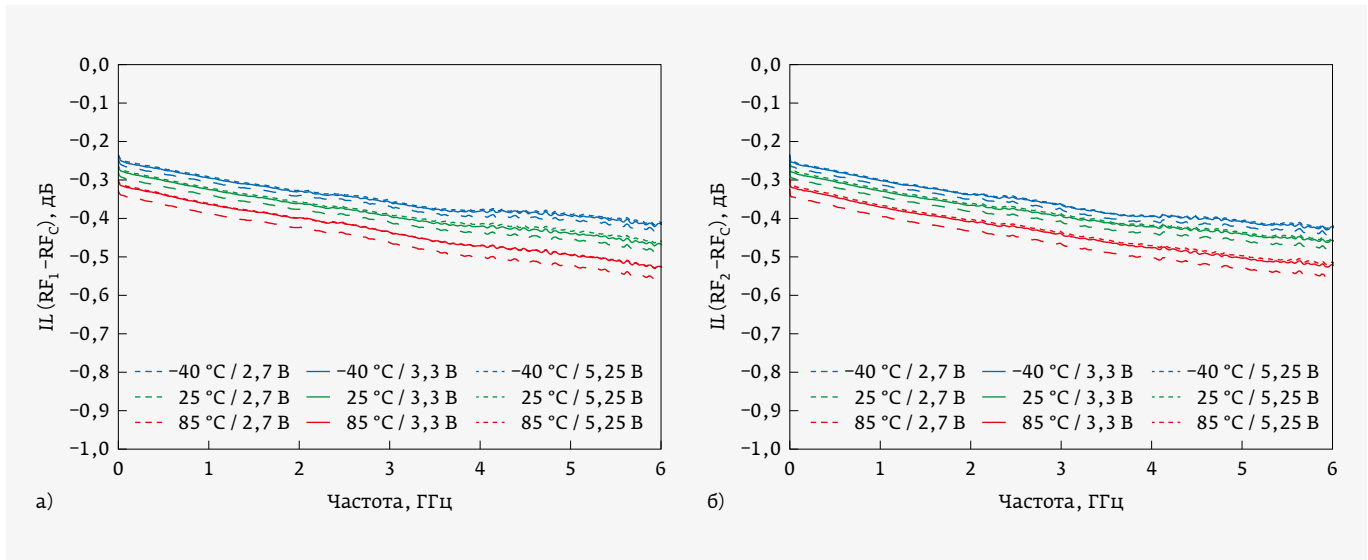


Рис. 47. Зависимость вносимых потерь от частоты в микросхеме F2977 при различных температурах и напряжениях питания в передающем (а) и приемном (б) каналах

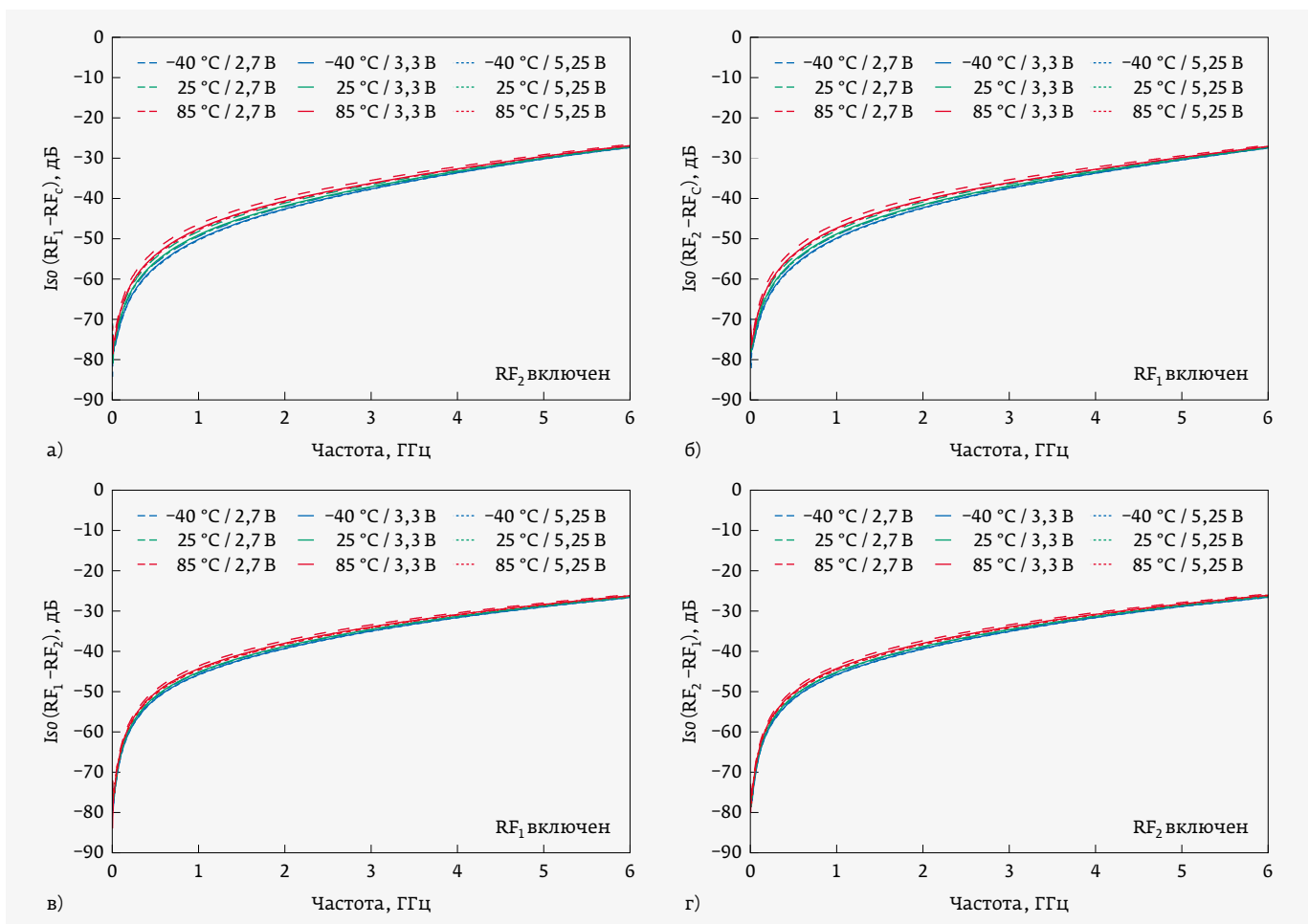


Рис. 48. Развязка Iso(f) между каналами: а - $RF_1 - RF_c$ (RF_2 включен); б - $RF_2 - RF_c$ (RF_1 включен); в - $RF_1 - RF_2$ (RF_1 включен); г - $RF_2 - RF_1$ (RF_2 включен)

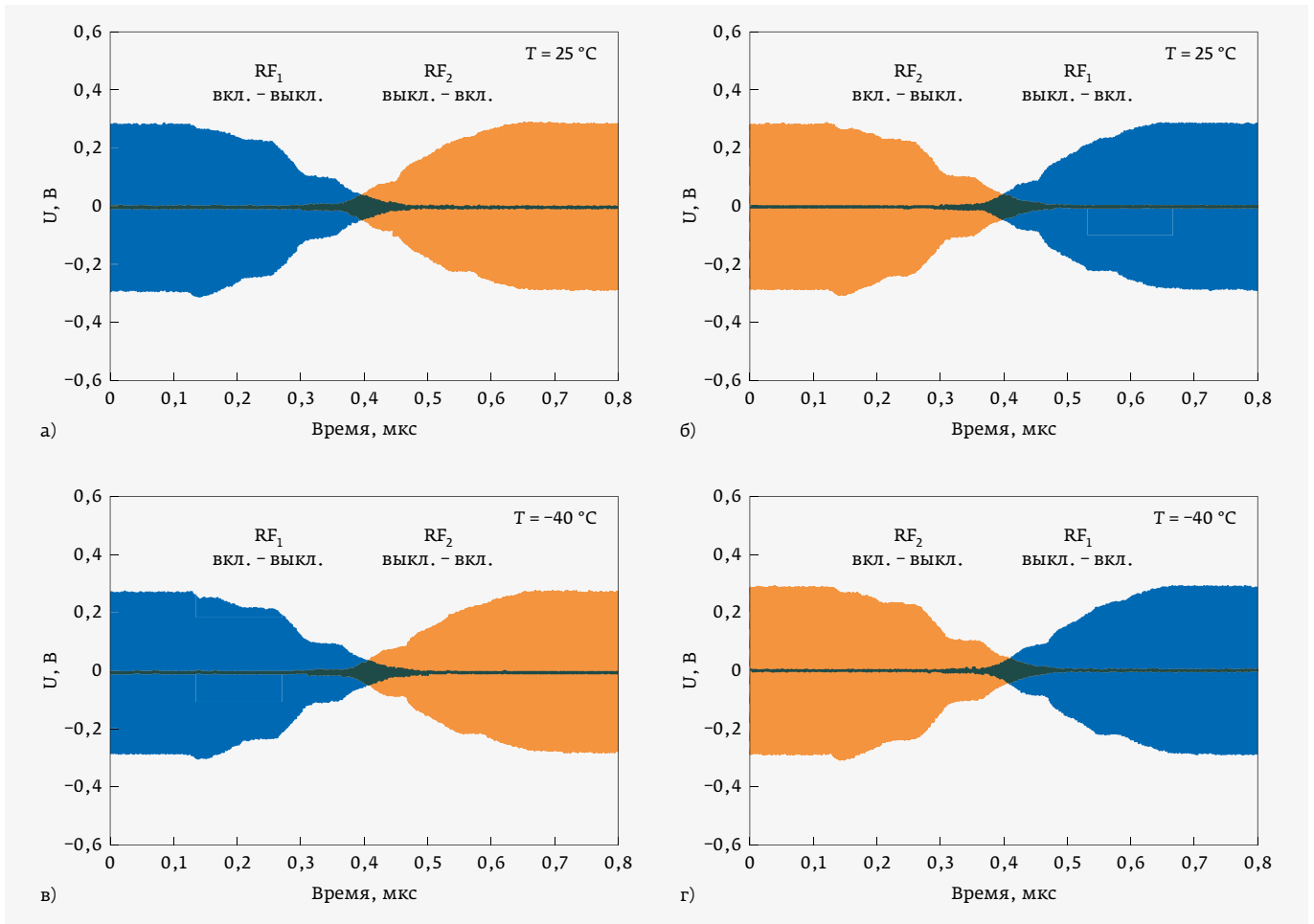


Рис. 49. Формирование частотно-манипулированных сигналов на выходе RF_c переключателя F2923 при подаче на его входы RF_1 и RF_2 различающихся по частоте колебаний: а, б - $T = 25\text{ }^\circ\text{C}$; в, г - $T = -40\text{ }^\circ\text{C}$

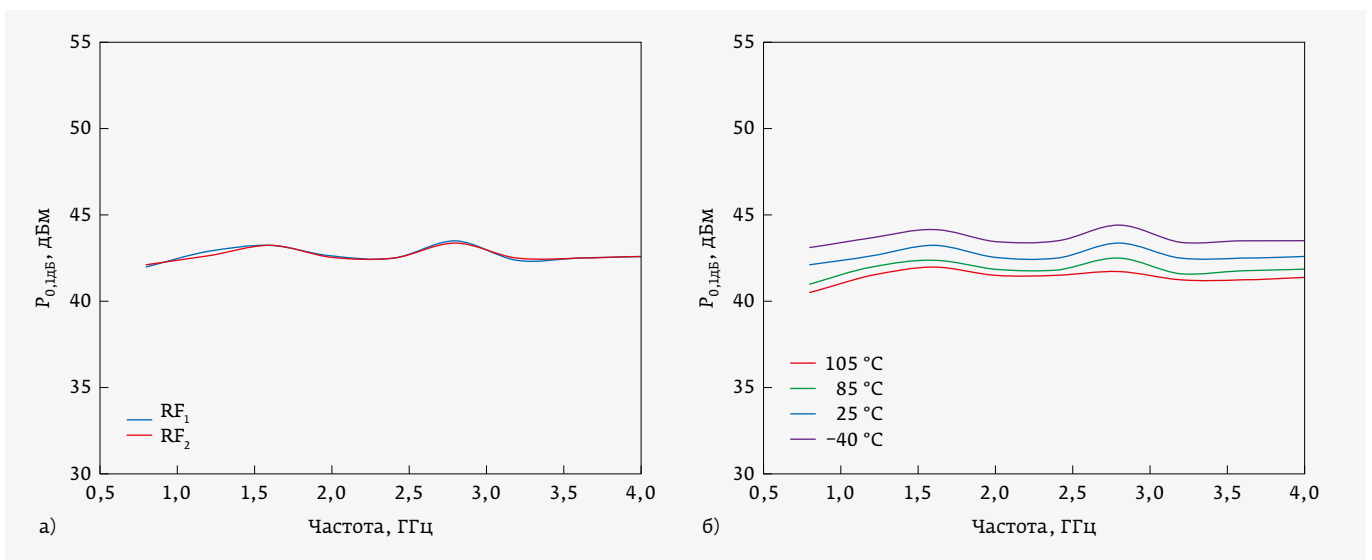


Рис. 50. Зависимости компрессионной мощности $P_{0,дБМ}$ от частоты в переключателе ADRF5132: а - в различных каналах; б - при различных температурах

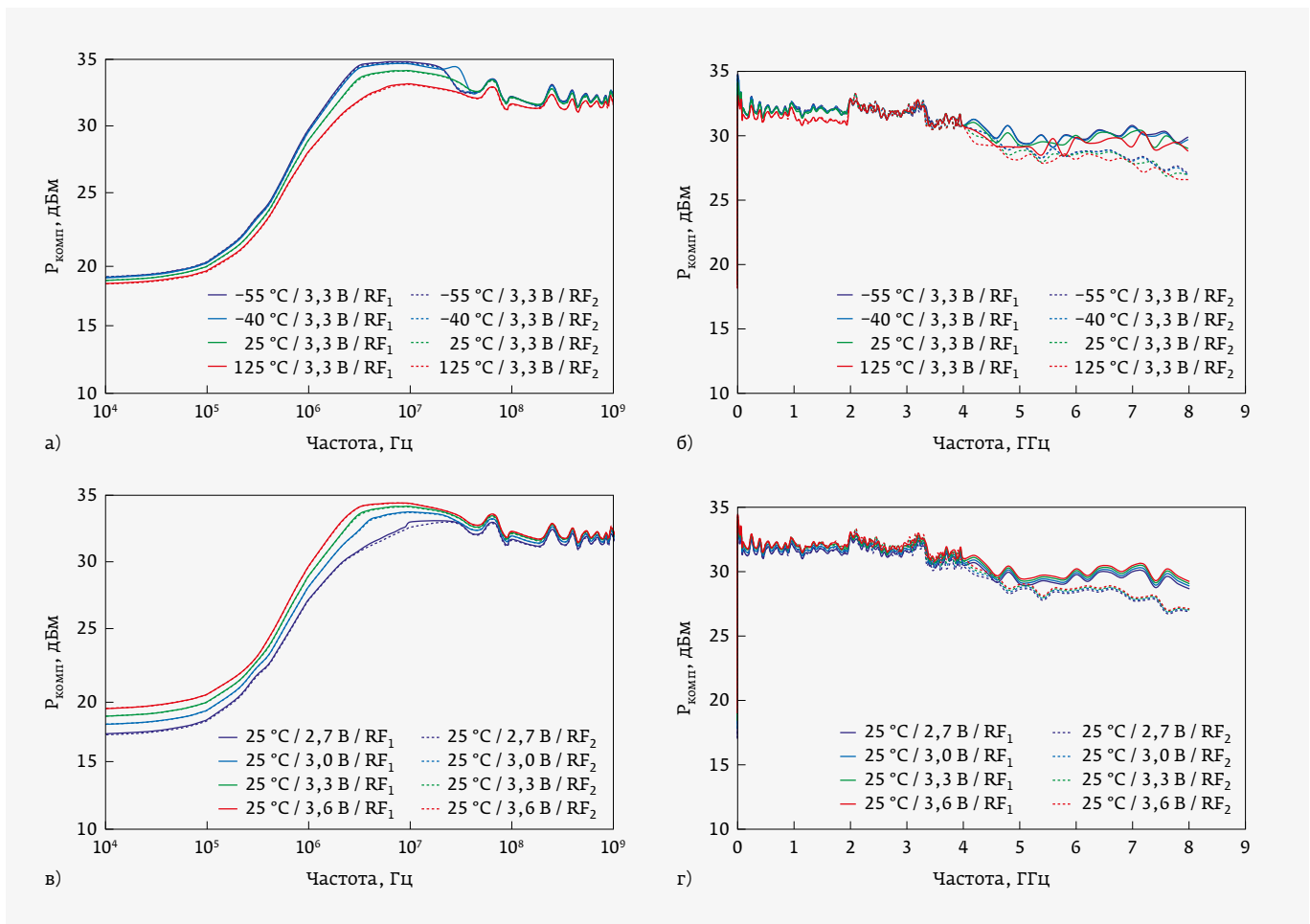


Рис. 51. Зависимости компрессионной мощности $P_{\text{комп}}$ от частоты в переключателе F2912 в нижней (а, в) и верхней (б, г) частях рабочего диапазона частот при вариациях температуры и напряжений питания

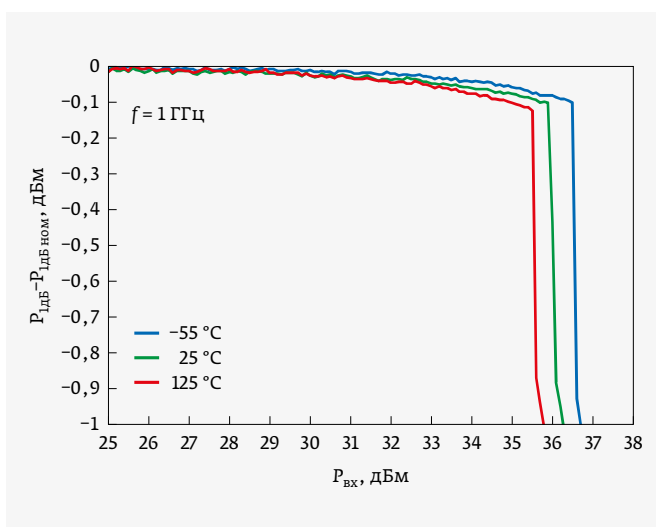


Рис. 52. Зависимость компрессионной мощности $P_{\text{комп}}$ от входной $P_{\text{вх}}$ в переключателе F2933 (компания IDT) при различных температурах

Их уровень в диапазоне частот 0,5–6,0 ГГц снижается с 43 до 17 дБ. Зависимости вносимых потерь от входной мощности $IL(P_{\text{вх}})$ при значениях $P_{\text{вх}}$ меньше допустимых практически неизменны, но зависят от температуры и частоты сигнала (рис. 46в). Весьма существенно от входной мощности и частоты зависят уровни 2-й и 3-й гармоник (рис. 46г), которые при изменении входной мощности от 20 до 38 дБм меняются от $-100 \dots -90$ дБ до $-56 \dots -45$ дБ.

Запатентованную КМОП-технологию использует и компания IDT, выпускающая широкую линейку переключателей (F2912, F2923, F2977 и др.). Зависимости $IL(f)$ в передающем (рис. 47а) и приемном (рис. 47б) каналах переключателя F2977 при различных температурах окружающей среды и напряжениях питания отличаются не очень сильно. При этих же условиях практически не отличаются и зависимости Iso (Tx – Ант), Iso (Rx – Ант), Iso (Tx – Rx) и Iso (Rx – Tx) (рис. 48а–г). Приведенные в data sheets на микросхему F2923 осциллограммы иллюстрируют процесс формирования частотно-манипулированного сигнала на выходе



ИНТЕЛЛЕКТ. КАЧЕСТВО.

АО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»
Москва, Щелковское шоссе, д.5, стр.1
Тел. (499) 644-21-03, (499) 644-25-62
(многоканальный)
Факс +7(499) 644-19-70
E-mail: mwsystems@mwsystems.ru
www.mwsystems.ru

- СОВРЕМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ТЕХНОЛОГИИ
- ОПТИМАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ ЦЕНА/КАЧЕСТВО
- ПОЛНЫЙ СПЕКТР УСЛУГ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРОИЗВОДСТВУ МОНОЛИТНЫХ И ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ, ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ, МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЧ-УСТРОЙСТВ И БЛОКОВ РЭА (0,3 - 22 ГГц)

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»



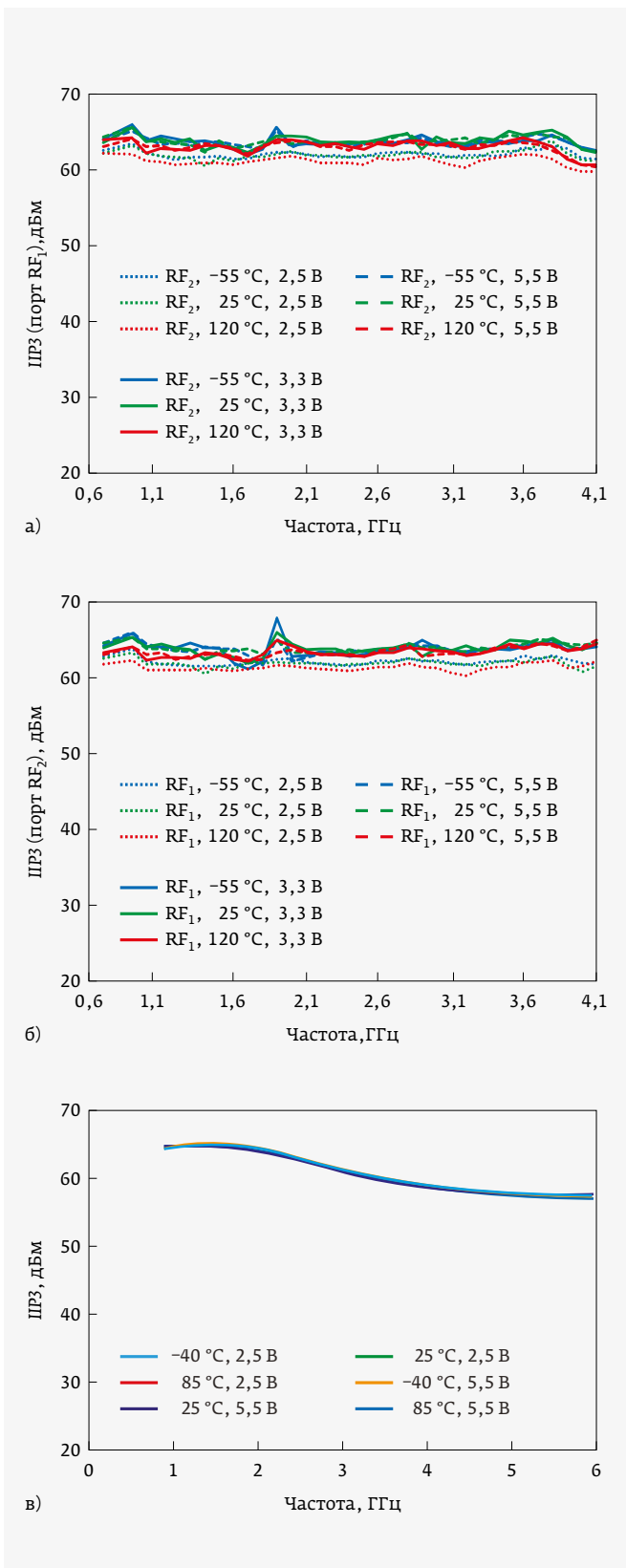


Рис. 53. Показатели линейности ИРЗ: а – микросхема F2933, передающий канал; б – микросхема F2933, приемный канал; в – микросхема RFSW6224

RF_c при подаче на входы RF_1 и RF_2 непрерывных колебаний постоянной частоты. Эти осциллограммы (рис. 49) свидетельствуют об идентичности обоих каналов и об отсутствии заметного влияния температуры окружающей среды на вид частотно-манипулированного сигнала.

Компрессионная мощность $P_{0,1дБ}$ в обоих каналах переключателя ADRF5132 компании Analog Devices практически одинакова и мало меняется по диапазону (рис. 50а). При этом изменение температуры заметно влияет на ее уровень (рис. 50б). В низкочастотной области компрессионная мощность существенно (рис. 51а, в) зависит от частоты. В этой области частот ее уровень снижается на 15–20 дБ относительно значений на высоких частотах (рис. 51б, г).

У переключателя F2933 (компания IDT) в зоне рабочих входных мощностей компрессионная мощность $P_{1дБ}$ в широком диапазоне температур (–40...105 °С) меняется не более чем на 0,05 дБ (рис. 52). Величина температуры в данном случае определяет предельно допустимое значение входной и компрессионной мощностей. Слабо зависит от температуры и напряжения питания характеризующий линейность переключателя показатель ИРЗ (рис. 53а, б). Его значение в обоих каналах в широком диапазоне частот меняется в пределах 5–6 дБ. Подтверждают сказанное о характеристиках ИРЗ в микросхеме F2933 и данные,

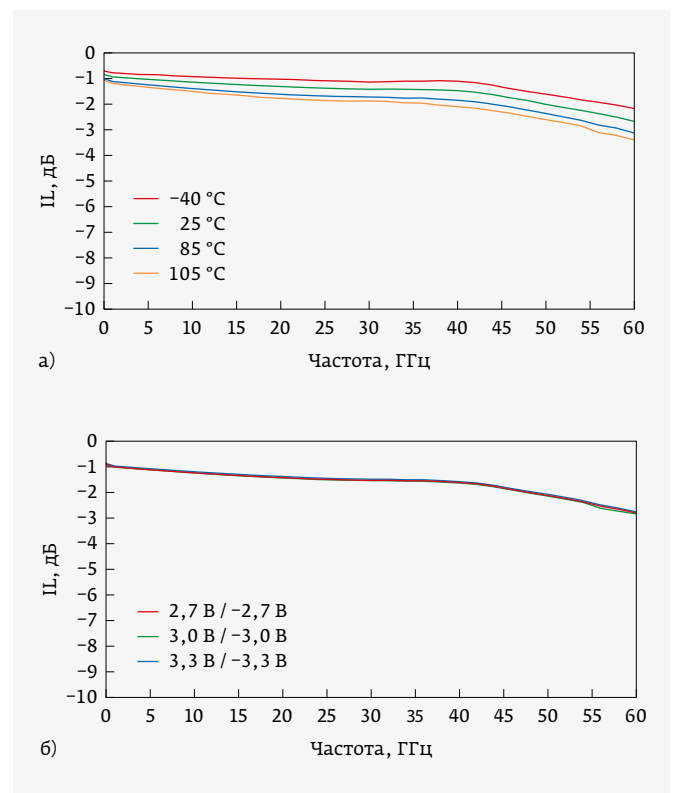


Рис. 54. Зависимости ИЛ(f) в переключателе PE42525 при вариациях температуры (а) и напряжения (б)

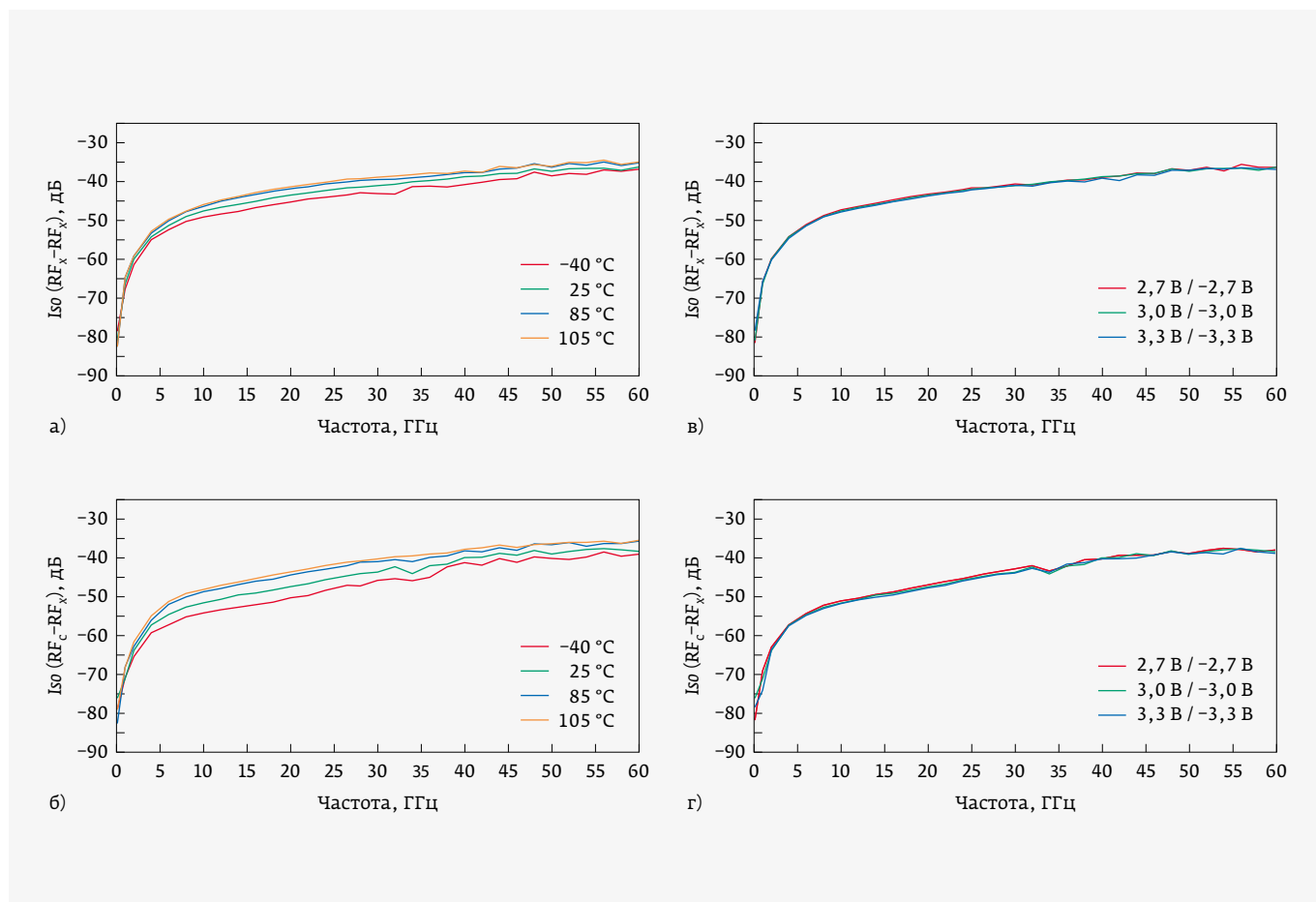


Рис. 55. Развязки между входами $RF_x - RF_x$ (а, в) и $RF_c - RF_x$ (б, г) при вариации температуры (а, б) и напряжения (в, г) в переключателе PE42525

приведенные в data sheets на микросхему RFSW6224. Зависимости ПРЗ от частоты при различных температурах окружающей среды и напряжениях питания (рис. 53в) позволяют сделать вывод о том, что это значение ПРЗ

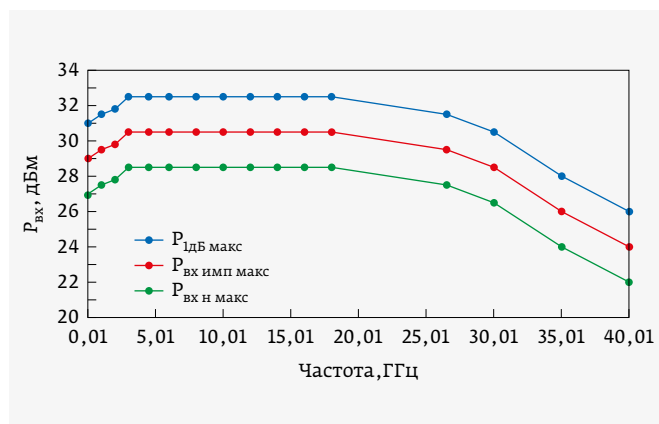


Рис. 56. Характер изменения предельных мощностей $P_{\text{н}}$, $P_{\text{имп}}$, $P_{\text{дб}}$ в зависимости от частоты в микросхеме PE42524

в первую очередь зависит от частоты, а другие факторы на этом показателе практически не сказываются.

Характер зависимостей $IL(f)$ и $Iso(f)$ в переключателях, выполненных по технологии кремний на сапфире, мало отличается от тех, что выполнены по стандартным (bulk) или КНИ технологиям. Зависимости $IL(f)$ в переключателе PE42525 в широком диапазоне температур меняются весьма слабо (рис. 54а), а от управляющего напряжения вообще не зависят (рис. 54б). В еще меньшей степени от этих факторов зависит развязка $Iso(f)$ между каналами (рис. 55а–г).

В целом же отметим, что рис. 47 и 48 очень мало отличаются от рис. 54 и 55, несмотря на то, что рабочий диапазон переключателя PE42525 ровно на порядок превосходит рабочий диапазон частот переключателя F2977.

Рассмотренные в этом разделе SPDT Rx/Tx переключатели в КМОП-исполнении обеспечивают в диапазоне частот до 6 ГГц значительные уровни коммутируемых мощностей, закрывая тем самым потребности систем связи, включая стандарты 4G, а кроме этого, позволяют реализовать большие коммутируемые мощности

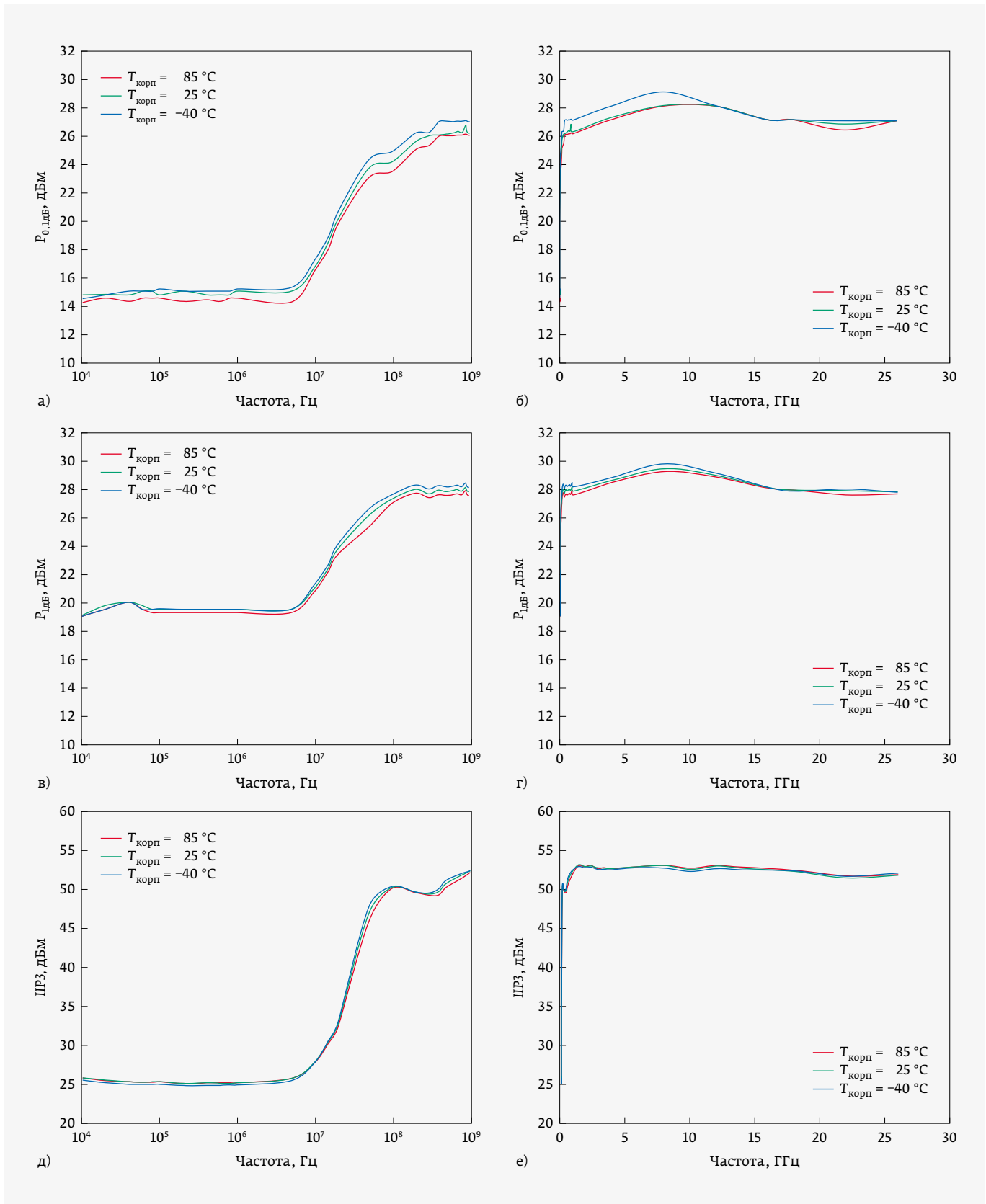


Рис. 57. Характер изменения $P_{0, \text{дБм}}$, $P_{1, \text{дБм}}$, $IP3$ в зависимости от частоты в низкочастотной (до 1 ГГц) области (а, в, д) и в рабочем (до 30 ГГц) диапазоне частот (б, г, е). $T_{\text{корп}}$ - температура корпуса микросхемы

РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО
КЕРАМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ
И ПРОХОДНЫХ ФИЛЬТРОВ

К

У

Л

О

Н

НОВЕЙШИЕ РАЗРАБОТКИ:

- варисторы ВР-18, ВР-19;
- фильтры Б36;
- конденсаторы К10-89, К10-90.

СЕРИЙНАЯ ПРОДУКЦИЯ:

- многослойные конденсаторы: К10-17, К10-42, К10-47, К10-50, К10-54, К10-57, К10-79, КМК;
- трубчатые конденсаторы: ТК, К10-51К, КТП, КТ-1Е;
- фильтры: Б14, Б23А, Б23Б, Б28, Б29, Б7-2, Б24.



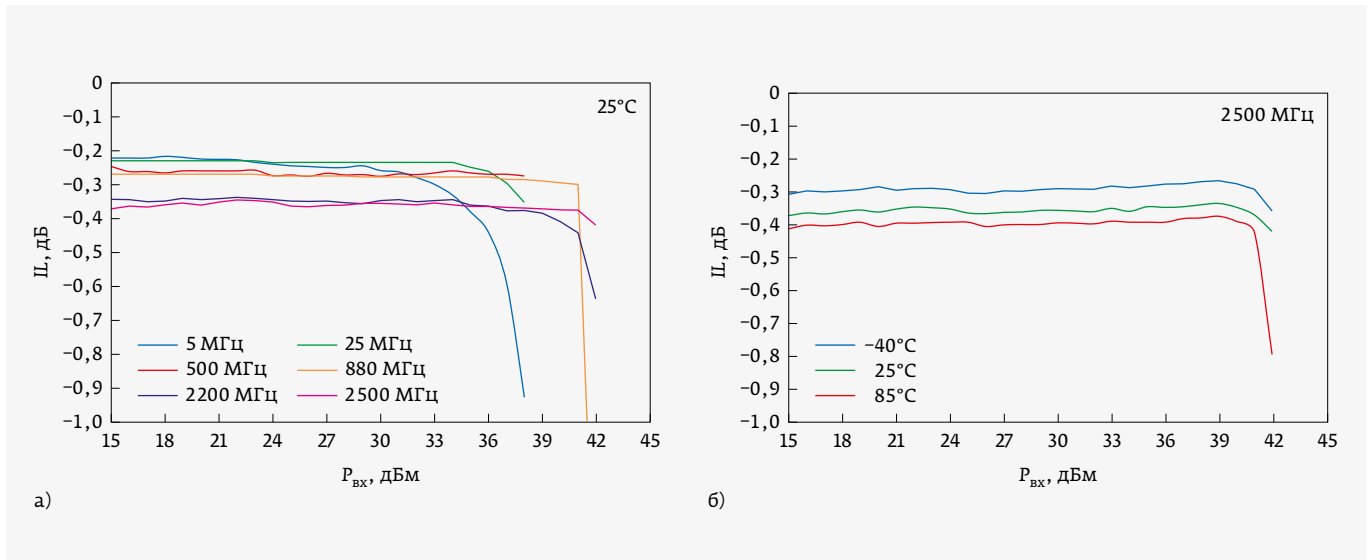


Рис. 58. Зависимость вносимых потерь от уровня входной мощности в переключателе RFSW1012: а – на различных частотах, б – при различных температурах

на более высоких частотах, включая стандарты 5G и 6G. Ведущие позиции в этой области занимают компании Analog Devices (микросхема ADRF5301, 35–44 ГГц, $P_{\text{макс}} = 5$ Вт) и pSemi (микросхема PE42525, 9 ГГц – 60 ГГц, $P_{\text{макс}} = 3$ Вт). Изделия со столь высокими рабочими частотами (табл. 15) могут быть использованы, помимо широкополосных систем связи, в радиолокаторах, системах радиоэлектронной борьбы, в тестовых и измерительных комплексах.

Работу Rx/Tx SPDT-переключателей оценивают в том числе и по уровню допустимых входных мощностей, среди которых чаще всего используют непрерывные, импульсные и компрессионные мощности (рис. 56). Мощностные характеристики переключателей $P_{0,1\text{дБ}}$, $P_{1\text{дБ}}$ и показатель $ИПЗ$, характеризующий их линейность, весьма сильно меняются в диапазоне частот 5–100 МГц (рис. 57а, в, д), а в диапазоне частот до 30 ГГц практически не меняются (рис. 57б, г, е).

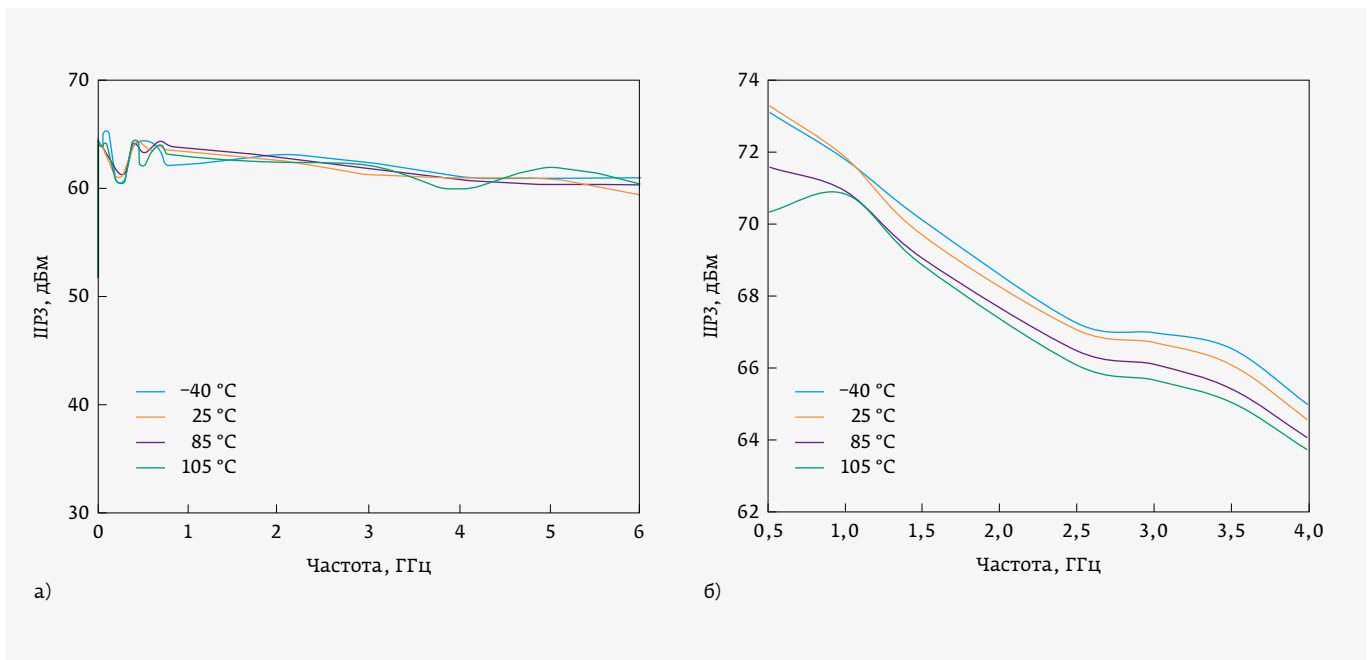


Рис. 59. Зависимость ИПЗ от частоты: а – микросхема QPC1022 (Qorvo); б – микросхема ADRF5130 (Analog Devices)

Иногда работу переключателей оценивают по характеристикам $IL(P_{вх})$. Резкое возрастание вносимых потерь соответствует предельно допустимым значениям входных мощностей (рис. 58). Эти предельные значения входных мощностей зависят как от входной частоты (рис. 58а), так и от температуры окружающей среды (рис. 58б). В разных моделях переключателей характер зависимости $ILPЗ$ от частоты и температуры может существенно отличаться (рис. 59). Так, в изделии QPC1022 компании Qorvo $ILPЗ$ действительно очень мало зависит от частоты и температуры (рис. 59а), а в переключателе ADRF5130 влияние частоты и температуры более чем заметно (рис. 59б).

ЛИТЕРАТУРА

19. **Emam M., Kaamouchi M. E., Moussa M. S. et al.** High Temperature Antenna Switches in 130 nm SOI Technology. 2007 IEEE International SOI Conference Proceedings. 2007. PP. 121–122.
20. **Ta C. M., Skafidas E., Evans R. J.** A 60-GHz CMOS Transmit / Receive Switch. 2007 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium. PP. 725–728.
21. **Li Z., Yoon H., Huang F.-J. et al.** 5.8-GHz CMOS T/R Switches With High and Low Substrate Resistances in a 0.18- μ m CMOS Process // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. 2003. V. 13. No. 1. PP. 1–3.
22. **Chao S.-F., Wang H., Su C.-Y. et al.** A 50 to 94-GHz CMOS SPDT Switch Using Travelling-Wave Concept // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. 2007. V. 17. No. 2. PP. 130–132.
23. **Chou C. C., Huang S. C., Lai W. C. et al.** Design of W-Band High-Isolation T/R Switch. – Proceedings of the 45th European Microwave Conference. 2015, September. Paris, France. PP. 1084–1087.
24. **Lai R.-B., Kuo J.-J., Wang H.** A 60–110 GHz Transmission-Line Integrated SPDT Switch in 90 nm CMOS Technology // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. 2010. V. 20. No. 2. PP. 85–87.
25. **Yeh M.-C., Tsai Z.-M., Wang H.** A Miniature DC-to-50 GHz CMOS SPDT Distributed Switch. National Taiwan University, Taipei, 106, Taiwan.
26. **Xu H., Kenneth K. O.** A 31.3-dBm Bulk CMOS T/R Switch Using Stacked Transistors with Sub-Design-Rule Channel Length in Floated p-Wells // IEEE Journal of Solid-State Circuits. 2007. V. 42. No. 11. PP. 2528–2534.
27. **Park P., Shin D. H., Pekarik J. J. et al.** A High-Linearity, LC-tuned, 24-GHz T/R Switch in 90-nm CMOS. – 2008 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium. PP. 369–372.

Качество высокое Цены низкие

Любые виды заказов:
• СЧОКР • срочные заказы
• единичные/крупносерийные заказы

www.filin-rf.ru
ФИЛИН
Filter Innovations
www.radiocomp.ru
filin-rf@radiocomp.ru

Фильтры на коаксиально-керамических резонаторах

Диапазон частот, МГц	Полоса пропускания, %	КСВН в полосе пропускания	Гарантированное затухание, дБ	Вносимые потери в полосе пропускания, дБ
300 – 4000	0,5...25	1,5 – 2,0	Определяется отстройкой от номинальной частоты и порядком фильтра	Зависят от порядка фильтра



3КН7-3350Н100-3/3

- ПФ 3 порядка
- Номинальная частота 3350 МГц
- Сверхмалые габариты
- Под поверхностный монтаж



5КГИ-1049П10-Б/Б

- ПФ 5 порядка
- Номинальная частота 1049 МГц
- Герметичный корпус
- SMA-соединители



10КГЕ-420Т10-8/8

- ПФ 10 порядка
- Номинальная частота 420 МГц
- Герметичный корпус
- Под поверхностный монтаж

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