

# МЭМС-переключатели ВЧ/СВЧ-сигналов

## Часть 2

В. Кочемасов, к.т.н.<sup>1</sup>, Е. Торина, к.т.н.<sup>2</sup>, А. Сафин, д.ф.-м-н.<sup>3</sup>

УДК 621.389 | ВАК 2.2.2

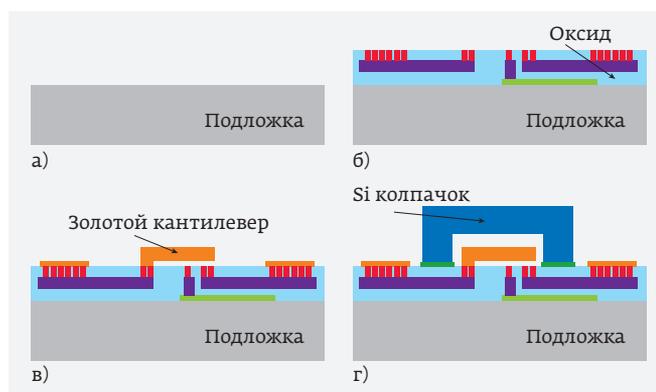
В первой части статьи, опубликованной в четвертом номере журнала «ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес» за 2024 год, было рассмотрено устройство МЭМС-переключателей ВЧ/СВЧ-сигналов и рассказано о различных типах таких устройств, выпускаемых рядом производителей. В данном номере приводится информация об особенностях и характеристиках МЭМС-переключателей компании Analog Devices.

### ЛИДЕРЫ СОВРЕМЕННОГО РЫНКА МЭМС ПК

Преодоление свойственного МЭМС-переключателям недостатка – ограниченного числа допустимых переключений (с достижением в современных изделиях миллиардов переключений) – не только существенно (на два порядка) увеличило число МЭМС-переключателей по сравнению с электромеханическими изделиями, но и сделало данный недостаток второстепенным фактором при сравнении с полупроводниковыми переключателями во многих применениях. Возможность же работы от постоянного напряжения на частотах до десятков гигагерц, малые вносимые потери, высочайшая линейность в сочетании с непревзойденной стойкостью к радиации и механическим воздействиям сделали МЭМС-переключатели достойным конкурентом их полупроводниковых аналогов. Несмотря на свои преимущества, в гражданском секторе рынка МЭМС-переключатели представлены довольно скудно. Это связано как с рассмотренными выше недостатками МЭМС, так и со сложностями запуска крупносерийного массового производства, при отсутствии которого стоимость изделий заметно возрастает [16, 17]. Тем не менее двум компаниям удалось наладить серийное производство и стать лидерами рынка в этом секторе.

**Analog Devices.** По показателю  $FOM = R_{on} \cdot C_{off} < 8 \text{ фс}$  [18] МЭМС-переключатели компании Analog Devices обошли полупроводниковые изделия на рpn-диодах и полевых транзисторах, выполненных по технологиям GaAs, GaN и Si КМОП.

Компания Analog Devices начала заниматься исследованием МЭМС-переключателей с 1990 года. К 1998 го-



**Рис. 12.** Основные этапы изготовления МЭМС-переключателя Analog Devices: а – подложка из кремния с высоким сопротивлением; б – формирование диэлектрического слоя и соединений; в – формирования кантилевера с помощью микрообработки; г – корпусирование

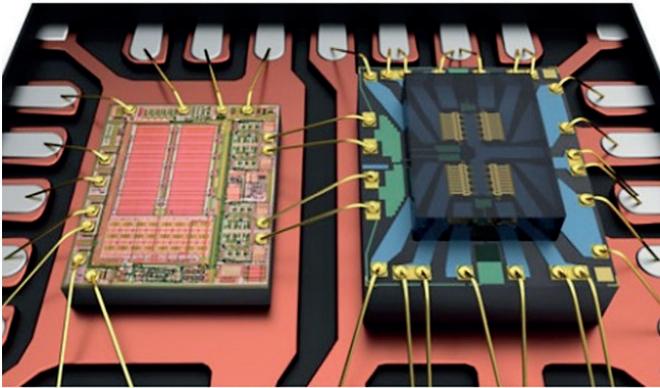
ду были разработаны первые лабораторные образцы, а с 2011 года значительное финансирование позволило создать производственные мощности для массового изготовления МЭМС-переключателей. К настоящему времени в Analog Devices начался коммерческий выпуск изделий для замены электромеханических и полупроводниковых аналогов в задачах автоматического тестирования, в приемо-передающих модулях АФАР, в системах связи нового поколения, включая технологии 4G и 5G, а также непосредственно, в качестве переключателей в ВЧ/СВЧ-изделиях различного назначения.

Производство МЭМС-переключателей в компании Analog Devices включает несколько стадий. На первой из них формируется высокоомная кремниевая подложка с нанесением на ее верхнюю поверхность толстого слоя диэлектрика, обеспечивающего наивысшую

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

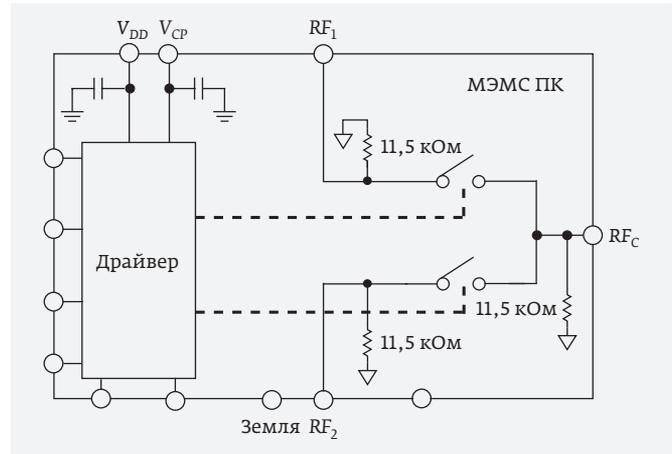
<sup>2</sup> НИУ «МЭИ», доцент, drozdovaym@mpei.ru.

<sup>3</sup> ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, в.н.с., asafin@gmail.com.



**Рис. 13.** Микросхема привода (слева) и матрица МЭМС-переключателя (справа), соединенные проводами с металлической выводной рамой

степень развязки от основной подложки (рис. 12а). Далее на эту поверхность наносятся низкоомный металлический слой и поликремний для обеспечения внутренних связей внутри микросхемы (рис. 12б). Обозначенные на этом рисунке красным цветом металлизированные отверстия обеспечивают соединение входа, выхода и затвора переключателя. Консольная структура и проволочные перемычки формируются из золота (рис. 12в), а контакты переключателя, включая электроды затвора, выполняются из низкоомного тонкого слоя металла, нанесенного на поверхность диэлектрика. Золотые проволочные перемычки соединяют кристалл переключателя с контактными площадками используемого корпуса. Герметичность переключателя и его защита от внешних

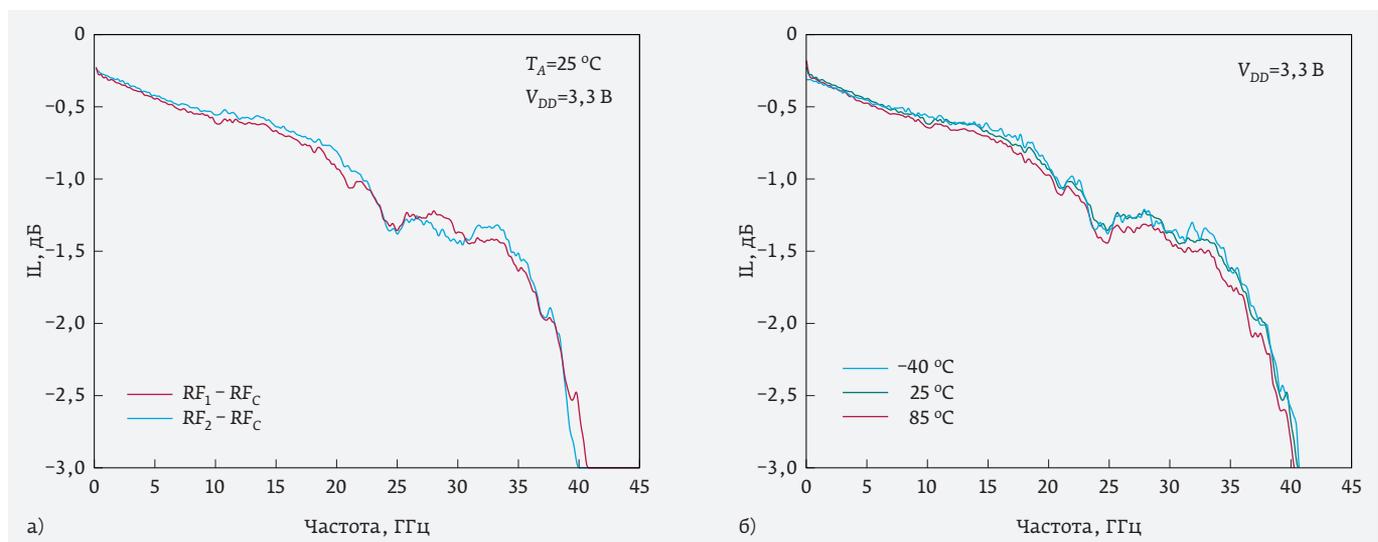


**Рис. 14.** Функциональная схема переключателей ADGM1001/ADGM1002/ADGM1003

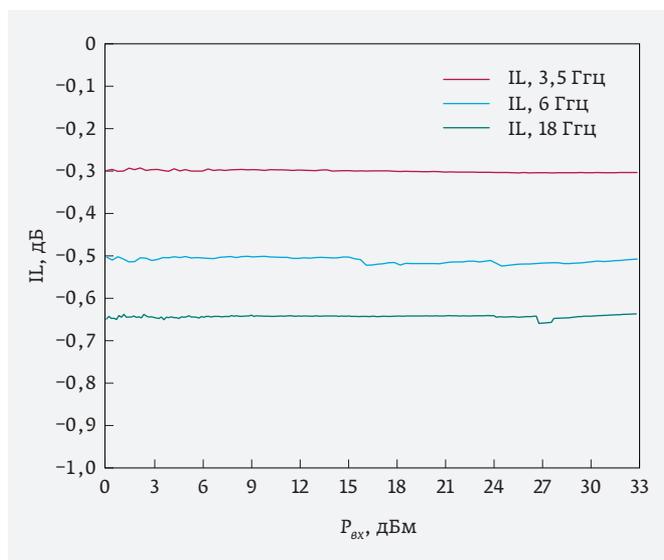
воздействий обеспечиваются высокоомной кремниевой крышкой (рис. 12г).

Изготовленный по такой технологии кристалл и интегральная микросхема драйвера, управляющего его работой, устанавливаются в QFN-корпус (рис. 13). Используемый в данном случае драйвер запитывается от низковольтного источника питания. Необходимое для управления консольной балкой высоковольтное напряжение формируется либо непосредственно в драйвере [18–22] либо поступает извне. Общая потребляемая мощность в таком изделии не превосходит 10–20 мВт [18].

После корпусирования МЭМС-переключатели подвергаются многочисленным испытаниям (табл. 3). Работа



**Рис. 15.** Зависимости вносимых потерь изделий ADGM1001/ADGM1002/ADGM1003 от частоты при напряжении питания 3,3 В: а – для двух каналов при температуре окружающей среды 25 °С; б – для разных значений температуры



**Рис. 16.** Зависимости вносимых потерь от входной мощности в изделиях ADGM1001/ADGM1002/ADGM1003 для разных значений частоты

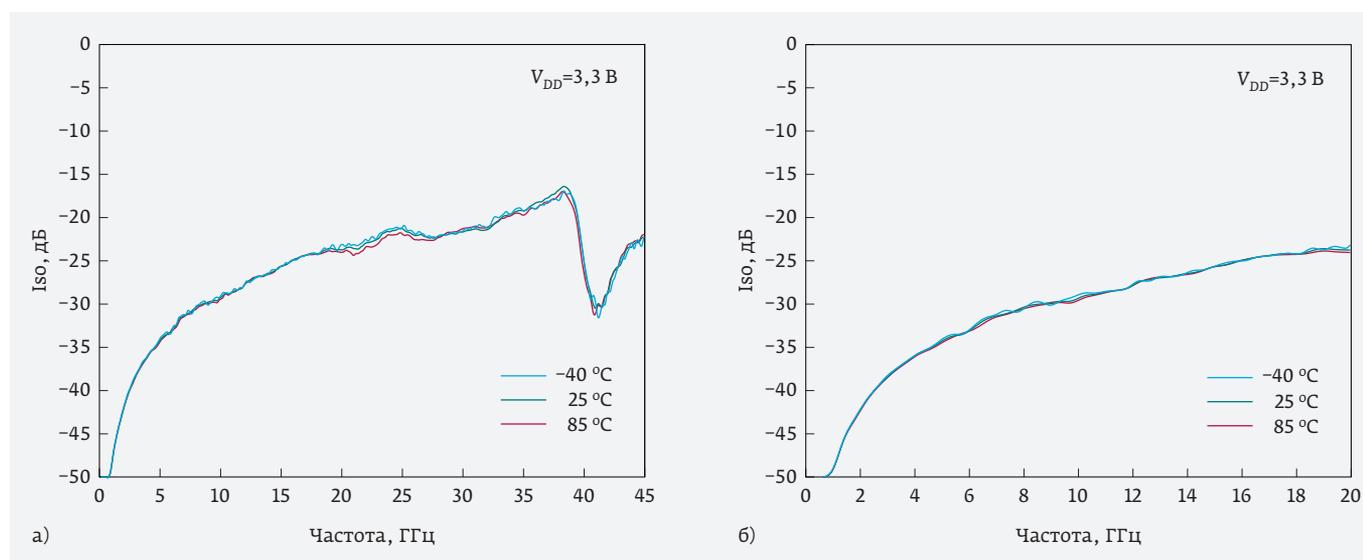
по этой технологии, компания Analog Devices выпустила к настоящему времени три SPDT (ADGM1001/1002/1003) [19] и три SP4T (ADGM1004/1304/1144) [20–22] переключателя (табл. 4).

SPDT-переключатели этой компании доступны в диапазонах частот 0–34 ГГц (ADGM1001), 0–20 ГГц (ADGM1002) и 0–16 ГГц (ADGM1003). Эти микросхемы (рис. 14) включают в себя SPDT-переключатель

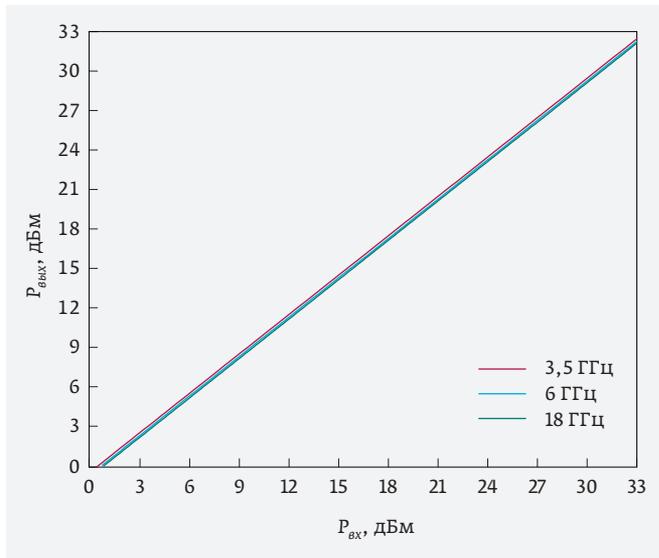
с электростатическим управлением и драйвер, на который, помимо сигналов управления  $V_{y1}$ ,  $V_{y2}$ , поступают напряжения питания  $V_{DD}$ , равные  $\pm 6$  В (ADGM1001),  $\pm 5$  В (ADGM1002),  $\pm 3$  В (ADGM1003) и высоковольтное питание  $V_{CP} = 80$  В [19].

Во всех SPDT-переключателях этой серии вносимые потери IL растут с увеличением частоты и практически идентичны в первом и втором каналах (рис. 15а), а также при изменении температуры окружающей среды  $T_A$  (рис. 15б) в диапазоне  $-40 \dots 85$  °С. При этом в широком диапазоне входных мощностей их уровень остается практически постоянным и зависит лишь от рабочей частоты (рис. 16). Развязка между портами (Iso) в этих переключателях падает с ростом частоты, но совершенно не зависит от температуры окружающей среды в диапазоне  $-40 \dots 85$  °С (рис. 17а, б). Кроме того, эти переключатели обладают высокой линейностью (до 76 дБм), что обеспечивает полное совпадение входной и выходной мощностей (рис. 18) во всем диапазоне частот.

Отметим также, что сопротивление включения  $R_{on}$ , которое влияет на вносимое ослабление, мало зависит от напряжений смещения и питания, но существенно меняется в диапазоне температур окружающей среды (рис. 19а, б). Помимо этого, надо также иметь в виду, что в партии испытываемых переключателей сопротивление включения  $R_{on}$  меняется от образца к образцу в некоторых пределах и, кроме того, зависит от частоты переключений, имея тенденцию к увеличению значений  $R_{on}$  с ростом частоты коммутации (рис. 20а, б). Вероятность отказа образцов в тестируемой партии переключателей существенно зависит от мощности входного



**Рис. 17.** Зависимости развязки между портами от частоты для обоих каналов при разных значениях температуры окружающей среды при напряжении питания 3,3 В: а – ADGM1001; б – ADGM1002



**Рис. 18.** Зависимости уровня выходной мощности от уровня входной в изделиях ADGM1001/ADGM1002/ADGM1003 для разных значений частоты

сигнала и числа выполненных срабатываний переключателей (рис. 21).

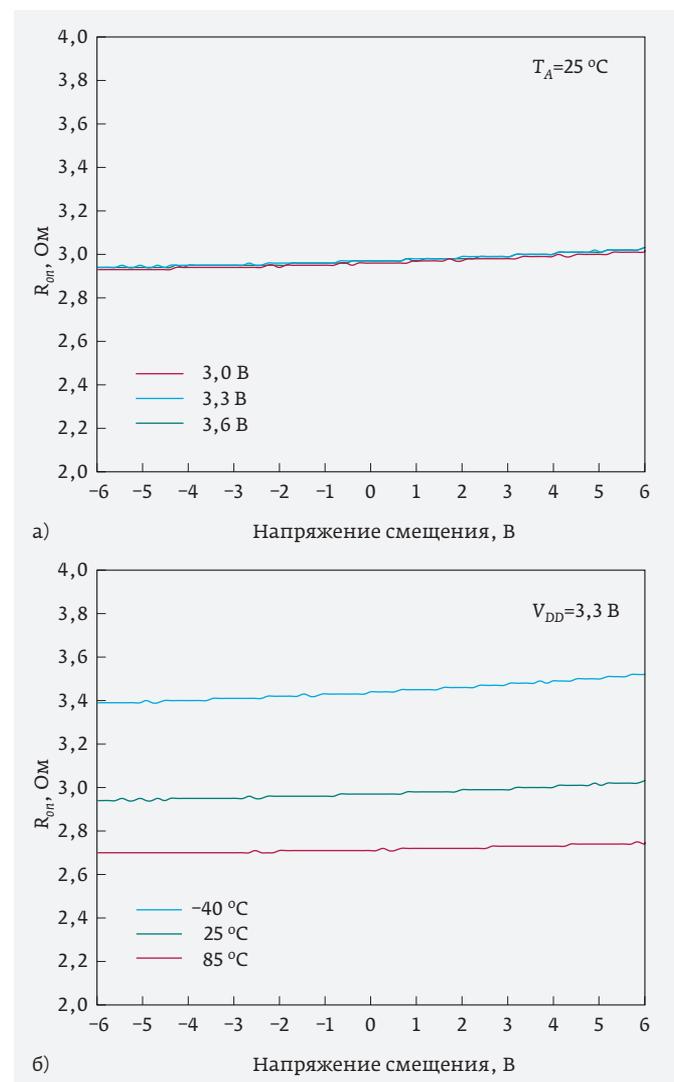
При габаритах  $5,00 \times 4,00 \times 0,90$  мм (24-выводной LGA-корпус) все три микросхемы имеют максимально допустимую входную мощность 33 дБм, сопротивление включения  $R_{\text{он}} = 3,4$  Ом и время жизни, превышающее 100 млн переключений, что более чем на порядок выше, чем у электромеханических переключателей. Управление этими переключателями осуществляется 2-разрядным кодом (табл. 5). Отметим, что в этих переключателях, в отличие от полупроводниковых, может быть обеспечено одновременное подключение портов  $RF_1$  и  $RF_2$  к порту  $RF_C$ .

Основные сферы применения этих переключателей: замена электромеханических изделий, приемопередающие модули в СВЧ-изделиях военного и космического назначения, сотовая, включая 5G, инфраструктура, системы автоматического тестирования оборудования, переключаемые фильтры и аттенюаторы. Микросхемы ADGM1001/1002/1003 обеспечивают малый форм-фактор, широкую полосу рабочих частот, высокую линейность и малое вносимое ослабление, что делает во многих случаях их применение идеальным решением. Электростатическая защита (Human body model, HBM) обеспечивается на уровне 150 В для портов  $RF_1$ ,  $RF_2$ ,  $RF_C$  и 2 кВ для остальных портов.

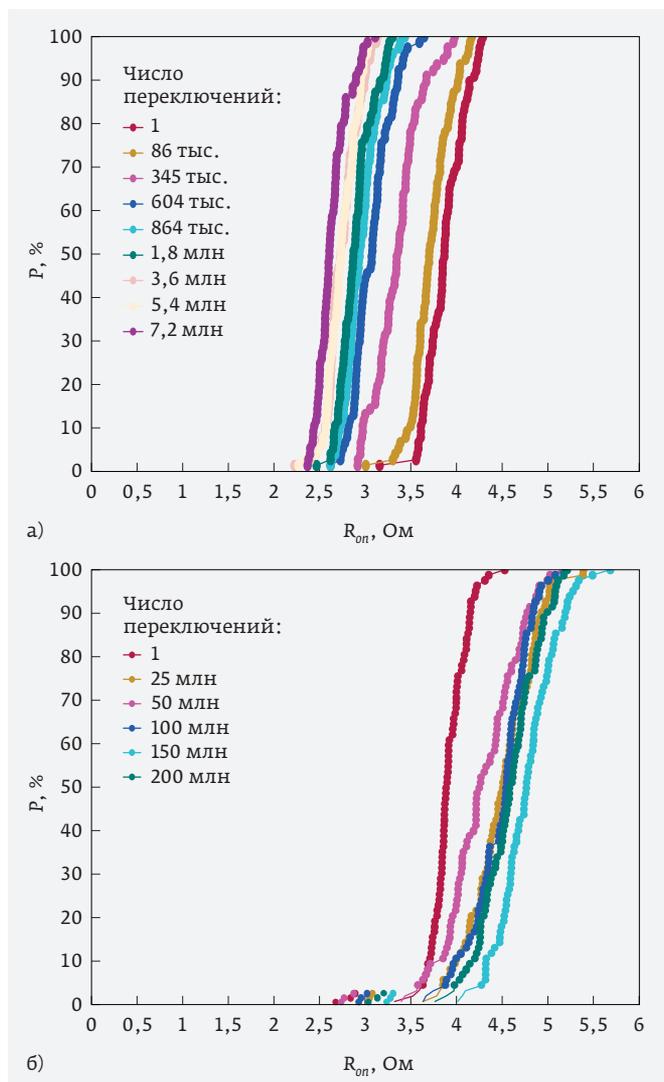
Три модели SP4T-переключателей (ADGM1004/1304/1144) [20–22], выполненных по технологии МЭМС, предназначены для работы в диапазонах частот 0–13 ГГц, 0–14 ГГц и 0–18 ГГц соответственно (табл. 4).

Переключатели этого типа имеют малый форм-фактор, высокую линейность (ИПЗ до 73 дБм) и малые вносимые потери: до 0,45 дБ на частоте 2,5 ГГц в ADGM1004 [20], 0,26 дБ на частоте 2,5 ГГц в ADGM1304 [21] и 1,7 дБ на частоте 16 ГГц в ADGM1144 [22].

Электростатическая защита при использовании HBM-модели обеспечивается: на уровне 5 кВ для портов  $RF_1$ ,  $RF_2$ ,  $RF_3$ ,  $RF_4$ ,  $RF_C$  и 2,5 кВ для всех остальных портов в переключателе ADGM1004; на уровне 100 В для портов  $RF_1$ ,  $RF_2$ ,  $RF_3$ ,  $RF_4$ ,  $RF_C$  и 2,5 кВ для всех других портов в микросхеме ADGM1304 и на уровне 150 В для портов  $RF_1$ ,  $RF_2$ ,  $RF_3$ ,  $RF_4$ ,  $RF_C$  и 2 кВ для всех остальных портов в микросхеме ADGM1144.

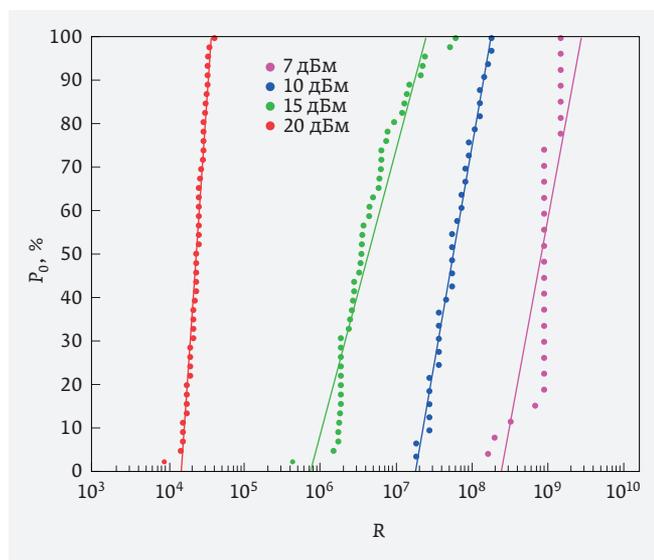


**Рис. 19.** Зависимости сопротивления включения от напряжения смещения в изделии ADGM1001: а - при разных значениях напряжения питания и температуре  $25^\circ\text{C}$ ; б - при разных значениях температуры и напряжении питания 3,3 В



**Рис. 20.** Вероятность  $P$  появления изделий с одинаковым значением сопротивления включения для всей исследуемой партии изделий ADGM1001 при разном количестве циклов переключений: а – на частоте 1 Гц; б – на частоте 289 Гц (температура срабатывания ПК 85 °С, температура измерения сопротивления 25 °С)

В состав микросхемы ADGM1004 входит диодная защита от электростатических воздействий (рис. 22а). В микросхемах ADGM1304, а также ADGM1001/1002/1003 эта защита исключена, вследствие чего обеспечивается меньшая толщина корпуса и более широкий диапазон рабочих частот. В микросхемах ADGM1004/1304 интегрированный в схему переключателя управляющий чип (рис. 22а) генерирует необходимое для электростатического привода высокое (80 В) напряжение  $V_{CP}$ . В микросхеме ADGM1144 это напряжение подается от внешнего источника (рис. 22б).



**Рис. 21.** Зависимость вероятности отказа образцов  $P_0$  в тестируемой партии изделий ADGM1001 от количества циклов переключений  $R$  при разных значениях мощности входного сигнала (температура 25 °С, напряжение питания 3,3 В)

Во всех трех микросхемах управляющие напряжения могут меняться от  $-6$  до  $+6$  В, а напряжения питания несколько отличаются:  $3,1-3,3$  В в ADGM1004,  $3,1-3,4$  В в ADGM1304 и  $3,0-3,6$  В в ADGM1144.

Управление каналами в микросхемах ADGM1004/1144 осуществляется 4-разрядным кодом. В микросхеме ADGM1304 имеется еще одна шина, которая обеспечивает спящий режим (табл. 6). Анализ этой таблицы показывает, что входы  $RF_1, RF_2, RF_3, RF_4$  могут подключаться к выходному порту  $RF_C$  как независимо, так и одновременно. Так при подаче кода «1111» к порту  $RF_C$  подключаются все четыре входных порта. Подаваемое в микросхеме ADGM1304 по шине Sleep напряжение в сочетании с отключением от выходного порта  $RF_C$  всех входных портов  $RF_1, RF_2, RF_3, RF_4$  обеспечивает спящий режим с током потребления менее 1 мкА.

Время жизни и срок хранения микросхем ADGM1004/1304 составляют 1 млрд циклов и 7,2 года, а микросхемы ADGM1144 – 200 млн циклов и 10 лет соответственно. Все изделия выдерживают механические удары до 1500 г (длительность импульса 0,5 мс), вибрации до 50 г в диапазоне частот 20–2000 Гц и ускорения до 30 000 г.

Рабочая температура в микросхемах ADGM1004/1304 равна 0–85 °С, в микросхеме ADGM1144 составляет  $-40...85$  °С. Размеры корпусов этих микросхем соответственно равны  $5,00 \times 4,00 \times 1,45$  мм,  $5,00 \times 4,00 \times 0,95$  мм и  $5,0 \times 4,0 \times 1,0$  мм.

Времена включения/выключения в микросхемах ADGM1004/1304 равны 30 и 5 мкс соответственно, а в микросхеме ADGM1144 они не превышают 200 мкс. Во всех трех SP4T-переключателях электростатический привод в виде балки (кантилевера) соединяет три порта: исток, сток и затвор. Когда высокое напряжение на затвор не поступает, между контактами балки и стока имеется зазор. При подаче высокого напряжения 80 В балка притягивается к нижнему контакту и исток соединяется со стоком. В SP4T-переключателях имеются четыре такие контактные группы (рис. 22а, б). На входы каждой из них подаются входные сигналы с портов  $RF_1$ ,  $RF_2$ ,  $RF_3$ ,  $RF_4$  и коды управления  $V_{y1}$ ,  $V_{y2}$ ,  $V_{y3}$ ,  $V_{y4}$  с соответствующих портов.

Сопротивление  $R_{on}$  в каждом из каналов мало зависит от напряжения низковольтного источника питания (рис. 23а) и несколько сильнее от температуры окружающей среды (рис. 23б) и тока управления (рис. 23в).

Испытания по определению срока службы, то есть зависимости вероятности выхода из строя изделий от времени, для переключателей ADGM1004 и ADGM1304 (в днях) показали их полную идентичность по данному параметру (рис. 24). В обоих случаях испытывались партии, включающие 31 образец.

МЭМС-переключатели (ADGM 1004/1304) в сравнении с электро-механическими изделиями на 95% меньше по размеру, в десятки раз надежнее и потребляют в десятки раз меньше энергии. ADGM 1004/1304 имеют среднюю наработку на отказ (Mean time between failures, MTBF) до 3,4 млрд циклов при уровне входного сигнала 10 дБм.

Эти изделия содержат два кристалла, собственно МЭМС-переключатель и низковольтный, малопотребляющий драйвер (рис. 22). Механизм переключения электростатический, где изготовленная из золота консольная балка с металлическими контактами управляется высоковольтным напряжением. Связь между сопротивлением включения  $R_{on}$ , вносимым

ослаблением IL и частотой сигнала отслеживается на гистограммах (рис. 25а, б), показывающих количество  $N$  тестовых образцов в партии с одинаковой величиной вносимого ослабления.

Вероятность отказа испытуемых изделий с ростом числа переключений весьма сильно зависит от уровня подаваемой на вход мощности (рис. 26а, б) и, кроме того, характер этих зависимостей  $P_o(R)$  практически повторяет результаты на рис. 24, где

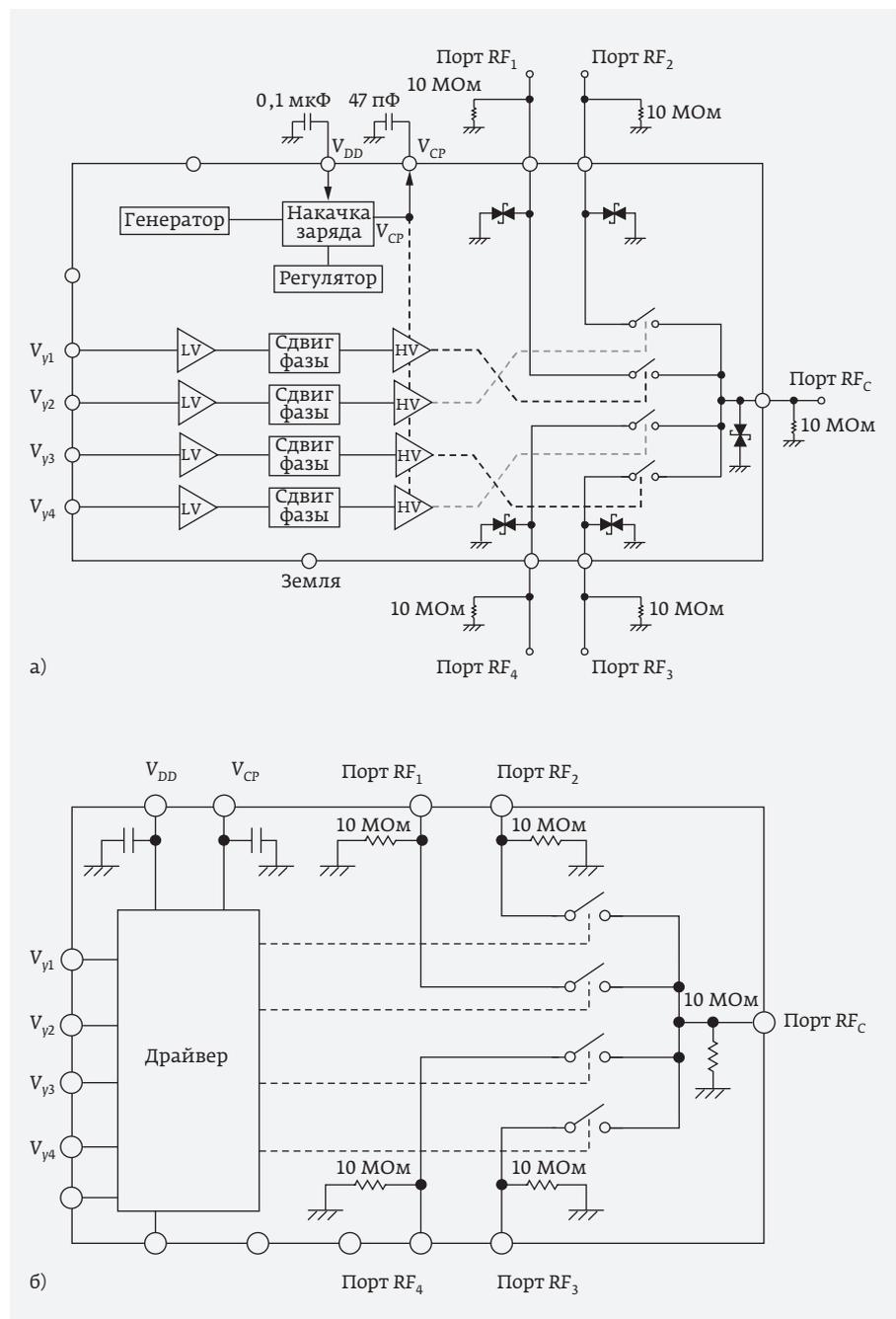
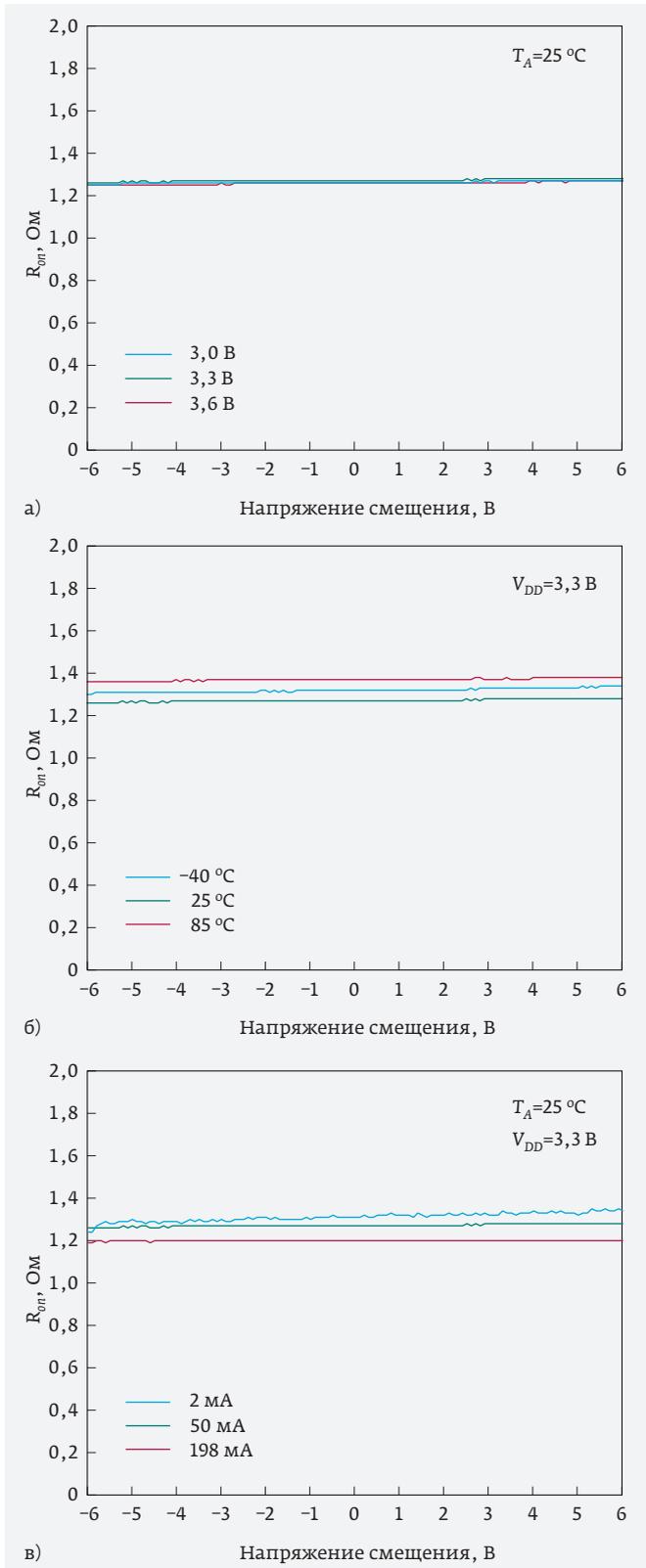
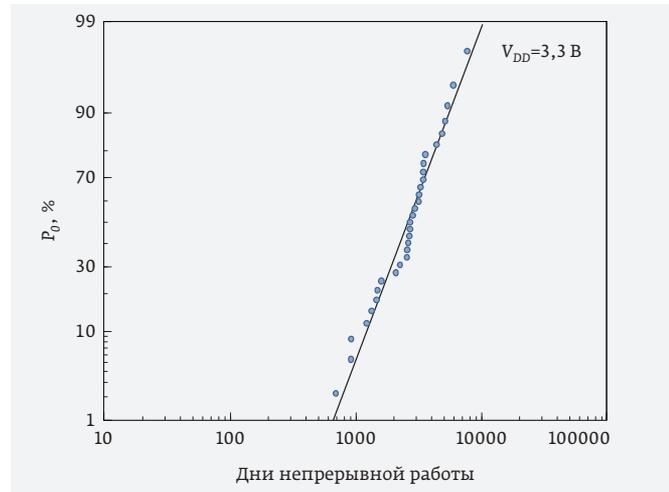


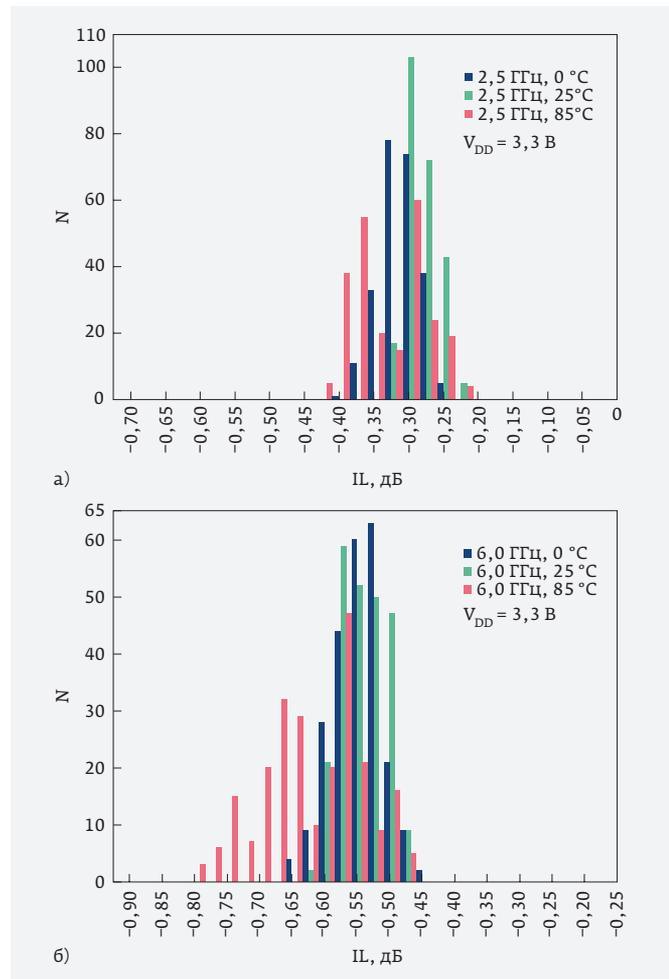
Рис. 22. Функциональные схемы SP4T-переключателей: а – ADGM1004; б – ADGM1144



**Рис. 23.** Зависимости сопротивления включения от напряжения смещения в изделии ADGM1144: а – при разных напряжениях питания; б – при разных значениях температуры; в – при разных токах управления



**Рис. 24.** Зависимость вероятности отказа образцов  $P_0$  от времени (дней непрерывной работы) для изделий ADGM1004 и ADGM1304



**Рис. 25.** Число  $N$  переключателей ADGM1304, имеющих одинаковое вносимое ослабление при температурах окружающей среды 0 °С, 25 °С и 85 °С, на частотах: а – 2,5 ГГц; б – 6 ГГц

Таблица 3. Методы испытаний МЭМС-переключателей, проводимых в компании Analog Devices

Вид испытания	Стандарт
Испытания на безотказность: >1 млрд переключений с частотой 1 кГц, 1000 ч	JESD22-A108
Испытания на безотказность при температуре 85 °С, 1000 ч	JESD22-A108
Испытания при температуре 130 °С и влажности 85%, 96 ч	JESD22-A110
Испытания при температуре 121 °С и влажности 100%, 96 ч	JESD22-A102
Термоциклирование, от -40 до 125 °С, 100 циклов	JESD22-A104
Воздействие повышенной температуры 150 °С, 1000 ч	JESD22-A103
Синусоидальная вибрация от 20 до 2000 Гц с ускорением 50 g	MIL-STD-883, M2007.3
Однократный механический удар с ускорением 1500 g	Group D Sub 4 MIL-STD-883, M5005

Таблица 4. Характеристики МЭМС-переключателей, выпускаемых компанией Analog Devices

Модель	Тип ПК	Диапазон частот, ГГц	IL, дБ	Iso, дБ	IP3, дБм	IP2, дБм	Напряжение питания, В	P <sub>вх</sub> , макс, дБм	T <sub>он</sub> /T <sub>офф</sub> , мкс	Долговечность, годы	Минимальное количество переключений	
											Холодный режим	Горячий режим
ADGM1001	SPDT	0-34	0,5-1,5	32-19	65,5	127	±6	33	<200	10	10 <sup>8</sup>	10 <sup>9</sup> (P <sub>вх</sub> = 7 дБм) 6·10 <sup>7</sup> (P <sub>вх</sub> = 10 дБм) 4·10 <sup>6</sup> (P <sub>вх</sub> = 15 дБм) 2,3·10 <sup>4</sup> (P <sub>вх</sub> = 20 дБм)
ADGM1002	SPDT	0-20	0,5-0,9	32-23	65,5	127	±5	30	<200	10	10 <sup>8</sup>	10 <sup>9</sup> (P <sub>вх</sub> = 7 дБм) 6·10 <sup>7</sup> (P <sub>вх</sub> = 10 дБм) 4·10 <sup>6</sup> (P <sub>вх</sub> = 15 дБм) 2,3·10 <sup>4</sup> (P <sub>вх</sub> = 20 дБм)
ADGM1003	SPDT	0-16	0,5-0,7	32-24	-	-	±3	27	<200	10	10 <sup>8</sup>	-
ADGM1004	SP4T	0-10,8 (RF <sub>1</sub> -RF <sub>c</sub> , RF <sub>4</sub> -RF <sub>c</sub> ) 0-13 (RF <sub>2</sub> -RF <sub>c</sub> , RF <sub>3</sub> -RF <sub>c</sub> )	0,45-0,63	24-19	67	95	±6	32	30/5	7,2	10 <sup>9</sup>	-
ADGM1304	SP4T	0-14	0,26-0,40	24-19	69	111	±6	36	75	7,2	10 <sup>9</sup>	5,16·10 <sup>9</sup> (P <sub>вх</sub> = 10 дБм) 3,21·10 <sup>6</sup> (P <sub>вх</sub> = 15 дБм) 3,9·10 <sup>5</sup> (P <sub>вх</sub> = 20 дБм)
ADGM1144	SP4T	0-18	0,34-1,70	26-13	73	-	±6	33	<200	10	5·10 <sup>8</sup>	5·10 <sup>11</sup> (P <sub>вх</sub> = 7 дБм) 1,5·10 <sup>8</sup> (P <sub>вх</sub> = 10 дБм) 3·10 <sup>7</sup> (P <sub>вх</sub> = 13 дБм) 2·10 <sup>4</sup> (P <sub>вх</sub> = 20 дБм)

Таблица 5. Таблица истинности переключателей ADGM 1001/1002/1003

Вход 1	Вход 2	RF <sub>1</sub> с RF <sub>c</sub>	RF <sub>2</sub> с RF <sub>c</sub>
0	0	Разомкнуты	Разомкнуты
0	1	Разомкнуты	Замкнуты
1	0	Замкнуты	Разомкнуты
1	1	Замкнуты	Замкнуты

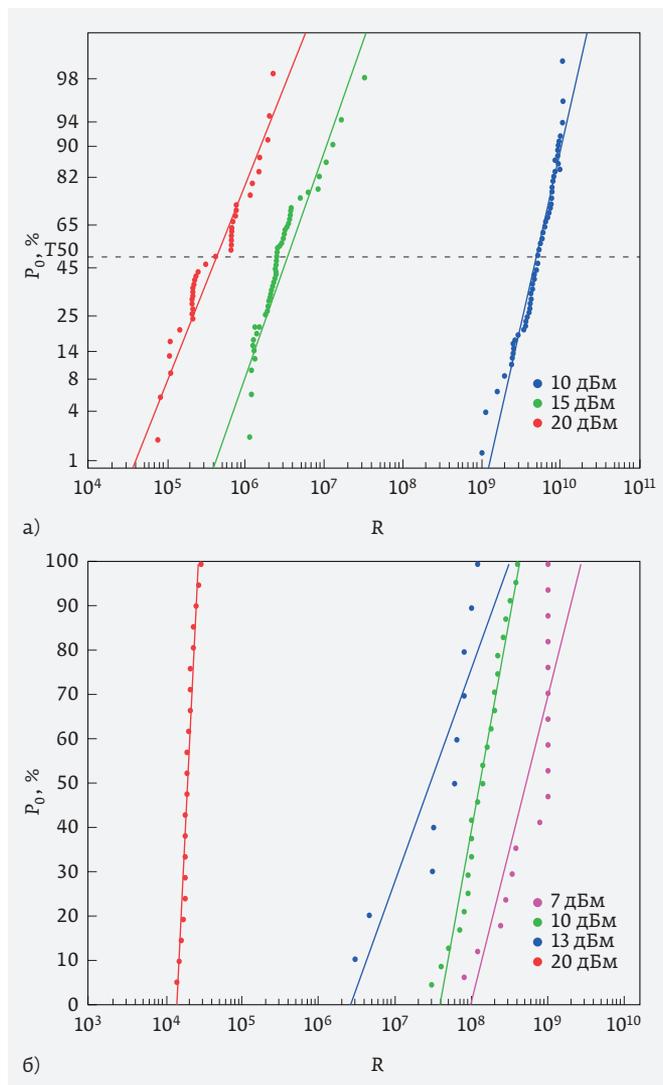


Рис. 26. Зависимость вероятности отказа образцов P<sub>0</sub> от количества циклов переключений R при разных значениях мощности входного сигнала в тестируемой партии изделий: а - ADGM1004; б - ADGM1144 (температура окружающей среды 25°C, напряжение питания 3,3 В)

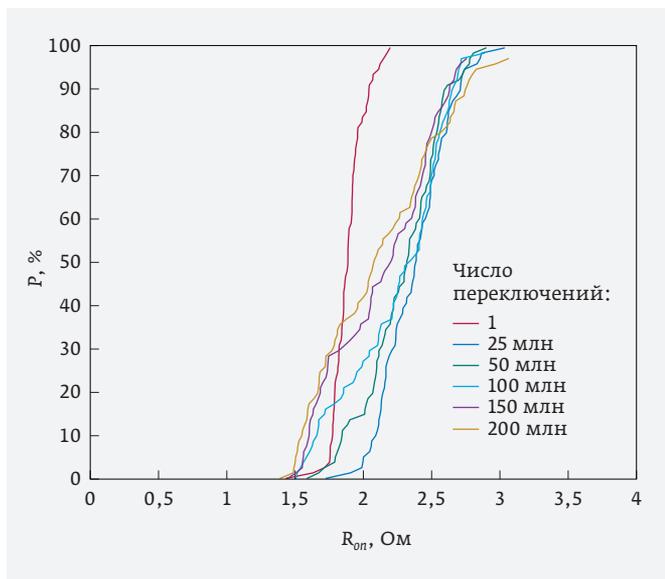
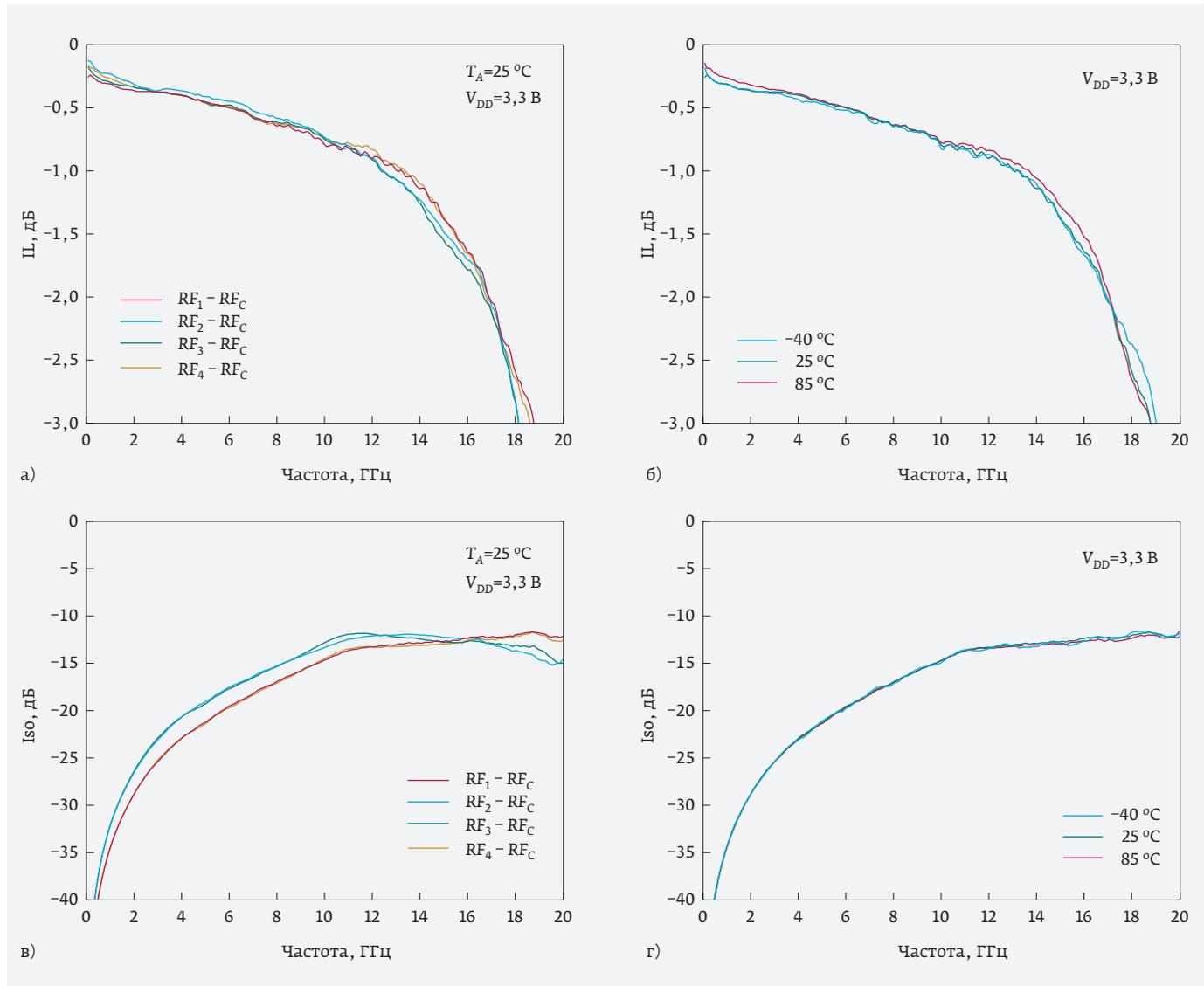


Рис. 27. Вероятность появления в партии изделий ADGM1144, имеющих одинаковое значение сопротивления включения, для разного количества циклов переключений (частота переключения 289 Гц, напряжение питания 3,3 В)

представлены зависимости вероятности отказа от числа дней проводимых испытаний. Зависимости вероятности появления изделий с одинаковым значением сопротивления включения R<sub>он</sub> при различных числах выполненных переключений для микросхемы ADGM 1144 близки к линейным (рис. 27). Слабо зависят от канала прохождения сигнала и температуры окружающей среды вносимые ослабления и развязки (рис. 28а–г).

Производитель этих микросхем отмечает [17], что их время жизни существенно сокращается с увеличением температуры окружающей среды и возрастает по мере снижения скважности (Q<50%).



**Рис. 28.** Зависимости основных параметров от частоты в изделии ADGM1144 при напряжении питания 3,3 В: а - ослабления для разных входов при температуре 25 °С; б - ослабления для разных значений температуры; в - развязки для разных входов при температуре 25 °С; г - развязки для разных значений температуры

**Таблица 6.** Таблица истинности МЭМС-переключателей ADGM 1304

$V_{y1}$	$V_{y2}$	$V_{y3}$	$V_{y4}$	Sleep*	$RF_1$ с $RF_c$	$RF_2$ с $RF_c$	$RF_3$ с $RF_c$	$RF_4$ с $RF_c$
0	0	0	0	0	Выкл.	Выкл.	Выкл.	Выкл.
0	0	0	1	0	Выкл.	Выкл.	Выкл.	Вкл.
0	0	1	0	0	Выкл.	Выкл.	Вкл.	Выкл.
0	0	1	1	0	Выкл.	Выкл.	Вкл.	Вкл.
0	1	0	0	0	Выкл.	Вкл.	Выкл.	Выкл.
0	1	0	1	0	Выкл.	Вкл.	Выкл.	Вкл.
0	1	1	0	0	Выкл.	Вкл.	Вкл.	Выкл.

Таблица 6. Продолжение

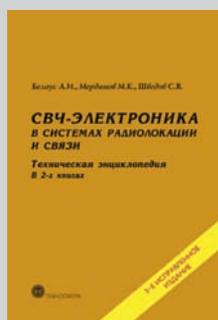
$V_{y1}$	$V_{y2}$	$V_{y3}$	$V_{y4}$	Sleep*	RF <sub>1</sub> с RF <sub>c</sub>	RF <sub>2</sub> с RF <sub>c</sub>	RF <sub>3</sub> с RF <sub>c</sub>	RF <sub>4</sub> с RF <sub>c</sub>
0	1	1	1	0	Выкл.	Вкл.	Вкл.	Вкл.
1	0	0	0	0	Вкл.	Выкл.	Выкл.	Выкл.
1	0	0	1	0	Вкл.	Выкл.	Выкл.	Вкл.
1	0	1	0	0	Вкл.	Выкл.	Вкл.	Выкл.
1	0	1	1	0	Вкл.	Выкл.	Вкл.	Вкл.
1	1	0	0	0	Вкл.	Вкл.	Выкл.	Выкл.
1	1	0	1	0	Вкл.	Вкл.	Выкл.	Вкл.
1	1	1	0	0	Вкл.	Вкл.	Вкл.	Выкл.
1	1	1	1	0	Вкл.	Вкл.	Вкл.	Вкл.
-	-	-	-	1	Выкл.	Выкл.	Выкл.	Выкл.

\* Sleep – спящий режим.

## ЛИТЕРАТУРА

- Uvarov I.V. Migration of adhesive material in electrostatically actuated MEMS switch // Microelectronics Reliability. 2021. V. 125. <https://www.analog.com/en/technical-articles/fundamentals-adi-revolutionary-mems-switch-technology.html>
- Carty E., Fitzgerald P., Mc Daid P. The Fundamentals of Analog Devices Revolutionary MEMS Switch Technology. Technical article. / analog.com. 4 p.
- Data sheet на переключатели ADGM1001/ADGM1002/ADGM1003 [<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adgm1001-1002-1003.pdf>].
- Data sheet на переключатели ADGM1004 [<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adgm1004.pdf>].
- Data sheet на переключатели ADGM1304 [<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adgm1304.pdf>].
- Data sheet на переключатели ADGM1144 [<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adgm1144.pdf>].

## КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена за два тома  
2420 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@technosphera.ru](mailto:knigi@technosphera.ru), [sales@technosphera.ru](mailto:sales@technosphera.ru)



# Акционерное общество ЭРКОН

Научно-производственное объединение

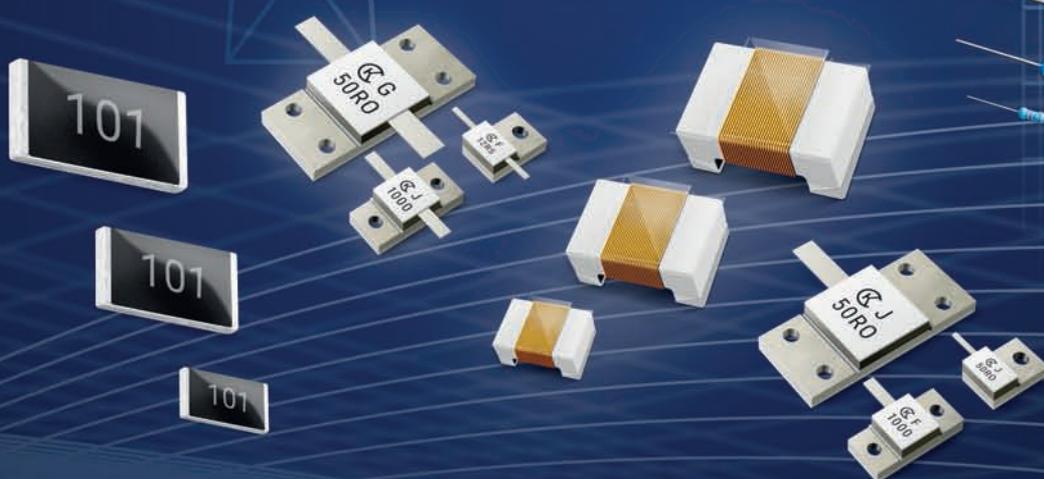
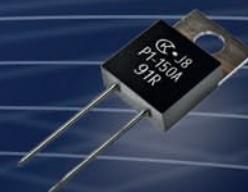
ПРОИЗВОДСТВО, РАЗРАБОТКА  
И ПОСТАВКА ПОСТОЯННЫХ  
РЕЗИСТОРОВ, АТТЕНУАТОРОВ  
И ЧИП-ИНДУКТИВНОСТЕЙ

Изделия по вашему ТЗ

- *Современная производственная база*
- *Высокое качество*
- *Индивидуальный подход к потребителю*

## НОВИНКИ

Эквиваленты нагрузок ПР1-24 (от 50 Вт – 2000 Вт)  
Аттенюаторы ПР1-25 (от 50 Вт – 2000 Вт)  
ТПИ – тепловые чип-перемычки  
СВЧ-резисторы Р1-160 (до 40 ГГц)  
Мощные СВЧ-резисторы Р1-170 (до 1000 Вт)  
Силовые резисторы Р1-150М (до 1500 В)



603104, г. Нижний Новгород, ул. Нартова, д.6.  
тел.: 8 (831) 202 - 25 - 52, доб. 2-61 (группа развития)  
8 (831) 202 - 25 - 52 (отдел продаж)

E-mail: [gr@erkon-nn.ru](mailto:gr@erkon-nn.ru)  
[www.erkon-nn.ru](http://www.erkon-nn.ru)