

# Проведение испытаний на устойчивость к электростатическим разрядам СВЧ фазовращателей

А.Е. Шестериков, Д.А. Шестерикова

ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»

**Аннотация:** в данной работе представлены результаты проведения испытаний на устойчивость к электростатическим разрядам 6-битных СВЧ фазовращателей для диапазона частот от 8 ГГц до 11 ГГц. В результате экспериментов выявлено увеличение токов потребления каналов фазовращателя при последовательном воздействии сериями электростатических импульсов со стабилизацией после 2-х серий испытаний. При этом СВЧ характеристики остались неизменны.

**Ключевые слова:** электростатические разряды, СВЧ фазовращатель, сдвиг фазы, вносимые потери, ток потребления

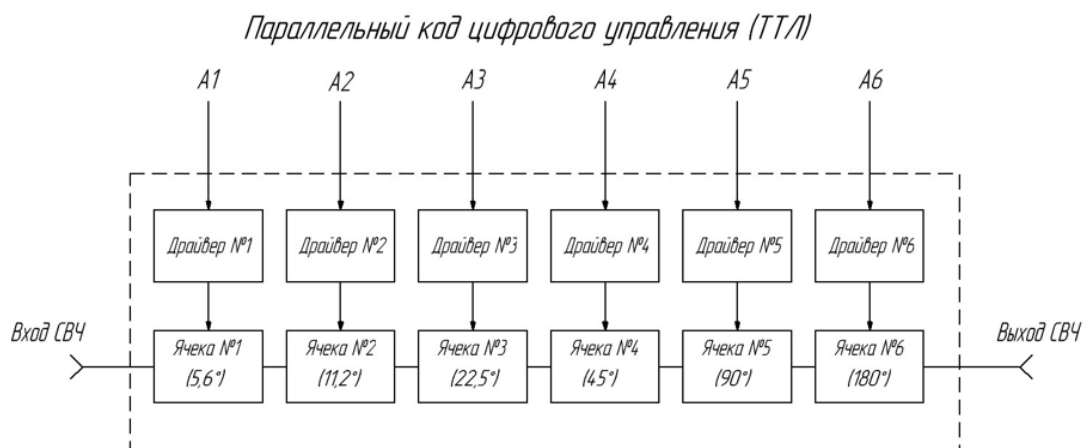
## 1. Введение

Современные электронные системы становятся все более восприимчивыми к электростатическим разрядам. Тенденция увеличения степени интеграции монолитных интегральных схем приводит к уменьшению топологической нормы и размеров транзисторов [1]. Уменьшение толщины подзатворного диэлектрика сильно снижает его электрическую прочность и увеличивает вероятность его пробоя. Наиболее чувствительными к электростатическому разряду являются интегральные схемы на основе полевых транзисторов, так как напряжение статического разряда во много раз превышает напряжение пробоя подзатворного диэлектрика, которое составляет несколько десятков вольт [2]. Также чувствительным к электростатике являются барьерные контакты полупроводника с металлом (барьер Шоттки) и полупроводника с полупроводником различных типов проводимости. В связи с этим необходимо тщательно исследовать на устойчивость к электростатическому электричеству приборы на их основе.

Целью данной статьи является исследование влияния воздействия электростатических разрядов (ЭР) по модели человеческого тела (МЧТ) для выявления чувствительности к ним МИС СВЧ фазовращателей. Также стоит задача проверки наличия накопительного эффекта деградации при последовательном воздействии ЭР с фиксированной амплитудой входного напряжения.

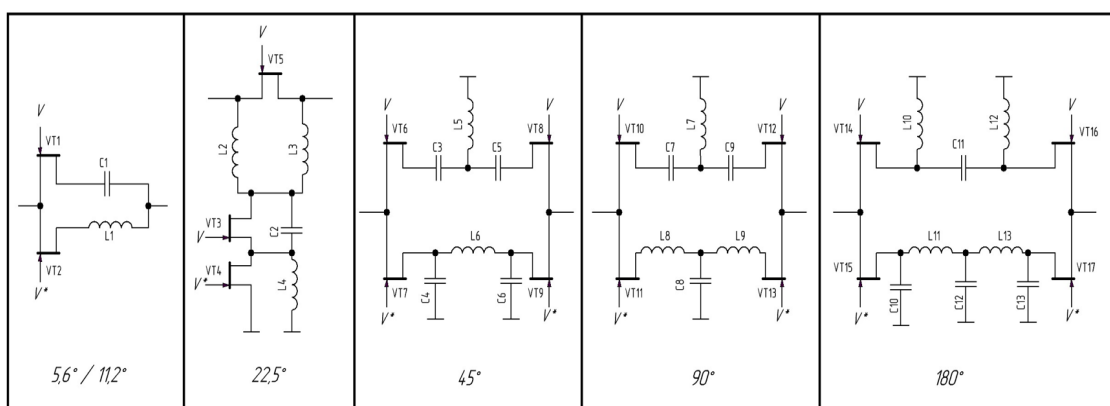
## 2. Описание конструкции СВЧ фазовращателя (6 бит)

Цифровые фазовращатели это важнейший элемент приемо-передающих модулей фазированных антенных решеток (ФАР). Они включают в себя секции, которые обеспечивают сдвиг фазы в  $180^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $22,5^\circ$  ...  $180^\circ/2n-1$ , где  $n$  – битность фазовращателя. Для сопряжения управления фазовращателем с цифровыми сигналами ТТЛ логики на кристалле МИС размещаются драйвера управления на каждую ячейку фазовращателя. Драйвер выполнен на однотипных транзисторах и содержит в своем составе преобразователь уровня и два инвертора собранных по схеме «буферной логики». На рисунке 1 представлена структурная схема фазовращателя [3].



**Рисунок 1.** Структурная схема цифрового 6-битного фазовращателя

МИС фазовращателя включает шесть ячеек с номинальным вносимым фазовым сдвигом:  $5,6^\circ$ ,  $11,2^\circ$ ,  $22,5^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $180^\circ$ . В качестве коммутационных элементов в схеме выступают нормально открытые полевые транзисторы с затвором Шоттки (ПТШ), работающие в режиме управляемого сопротивления канала. Эквивалентные схемы всех секций приведены на рисунке 2 [4].

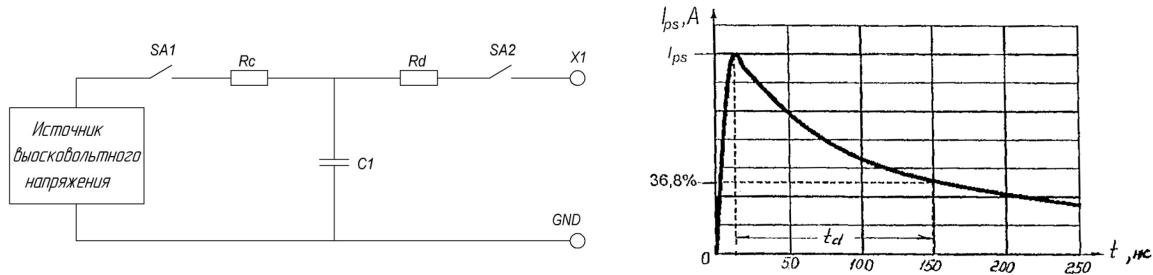


**Рисунок 2.** Эквивалентные схемы секций цифрового 6-битного фазовращателя

Драйвер управления фазовращателя необходим для сопряжения логики ТТЛ с фазосдвигающими ячейками, но при этом повышает риски выхода прибора из строя посредством воздействия электростатического электричества. В связи с этим при использовании прибора в комплексных системах высокого уровня сложности крайне важно проводить предварительные испытания на определение степени устойчивости к электростатическим разрядам.

### 3. Методика испытаний на устойчивость к электростатическим разрядам

В данной статье будет рассматриваться методика испытаний, основанная на модели человеческого тела (МЧТ). В Российской Федерации требования к проведению испытаний на устойчивость к электростатическим разрядам регламентируется ГОСТ 30804.4.2-2013. В рамках данного документа человеческое тело моделируется конденсатором и разрядным резистором. Упрощенная схема испытательного генератора представлена на рисунке 3а.



**Рисунок 3.** Эквивалентные схемы секций цифрового 6-битного фазовращателя

Емкость конденсатора  $C1$  должна быть равна  $(100 \pm 5)$  пФ, значение  $Rd$  порядка  $1,5$  кОм,  $Rc$  в пределах от  $100$  кОм до  $200$  МОм. В ходе испытаний конденсатор заряжается до испытательного напряжения, а затем разряжается через резистор  $Rd$ . Процедура проведения испытаний включает в себя подачу  $5$  импульсов положительной полярности и пяти импульсов отрицательной полярности. Форма испытательного импульса представлена на рисунке 3б. К испытательному импульсу предъявляются следующие требования: длительность фронта импульса  $t_n < 15$  нс; длительность среза импульса  $t_d = 150 \pm 20$  нс.

#### 4. План эксперимента

В рамках испытаний СВЧ фазовращателей на устойчивость к электростатическим разрядам производилось воздействие серией из пяти импульсов положительной и пяти импульсов отрицательной полярности между выводами земли (GND) и каждого из управляющих выводов (A1 – A6), СВЧ входа и выхода микросхемы (таблица 1).

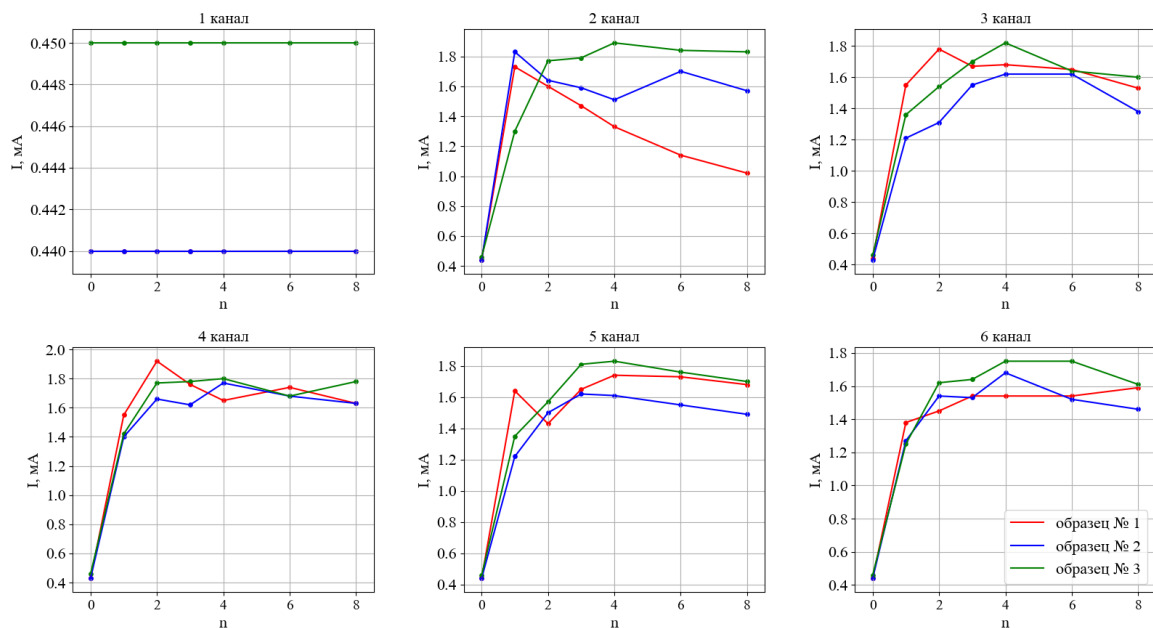
**Таблица 1.** Последовательность подачи импульсов

Комбинация выводов МИС		Комбинация выводов МИС	
GND	СВЧ вход	GND	A3
GND	СВЧ выход	GND	A4
GND	A1	GND	A5
GND	A2	GND	A6

Испытания производились с использованием стенда СИСЭ-2,5 с напряжением заряда конденсатора  $30$  В. Всего было выполнено  $8$  последовательных серий воздействия электростатическими разрядами для выявления чувствительности к ним МИС фазовращателя.

#### 5. Результаты испытаний и их анализ

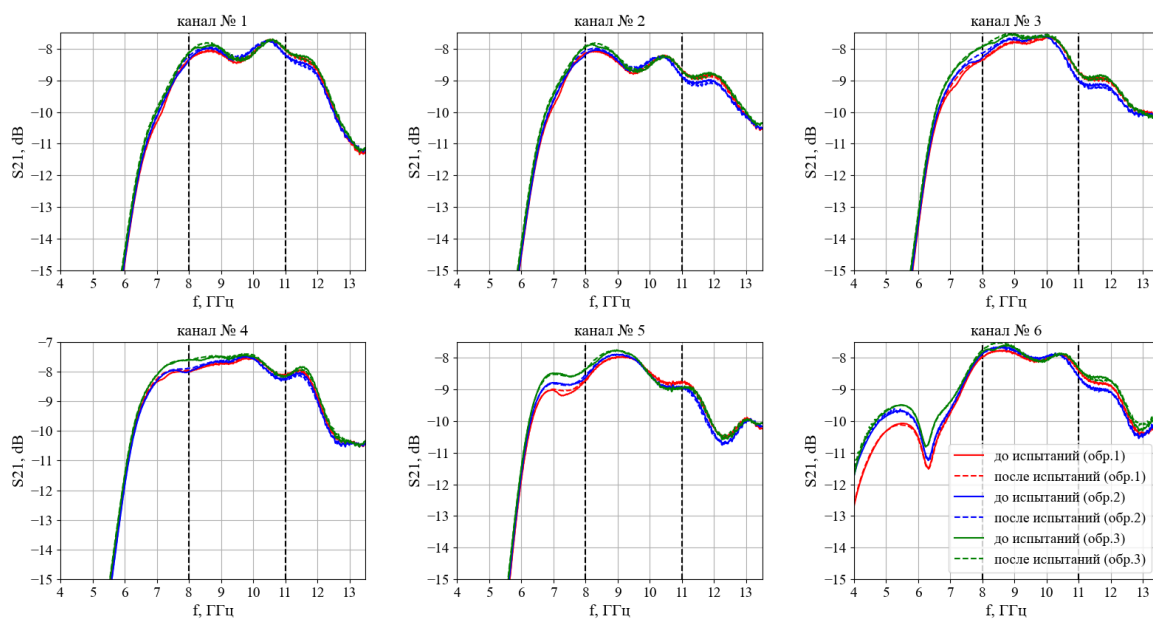
На рисунке 4 представлены зависимости токов потребления каналов фазовращателя от числа испытаний на устойчивость к электростатическим импульсам.



**Рисунок 4.** Зависимости токов потребления каналов фазовращателя в зависимости от числа испытаний на устойчивость к электростатическим импульсам

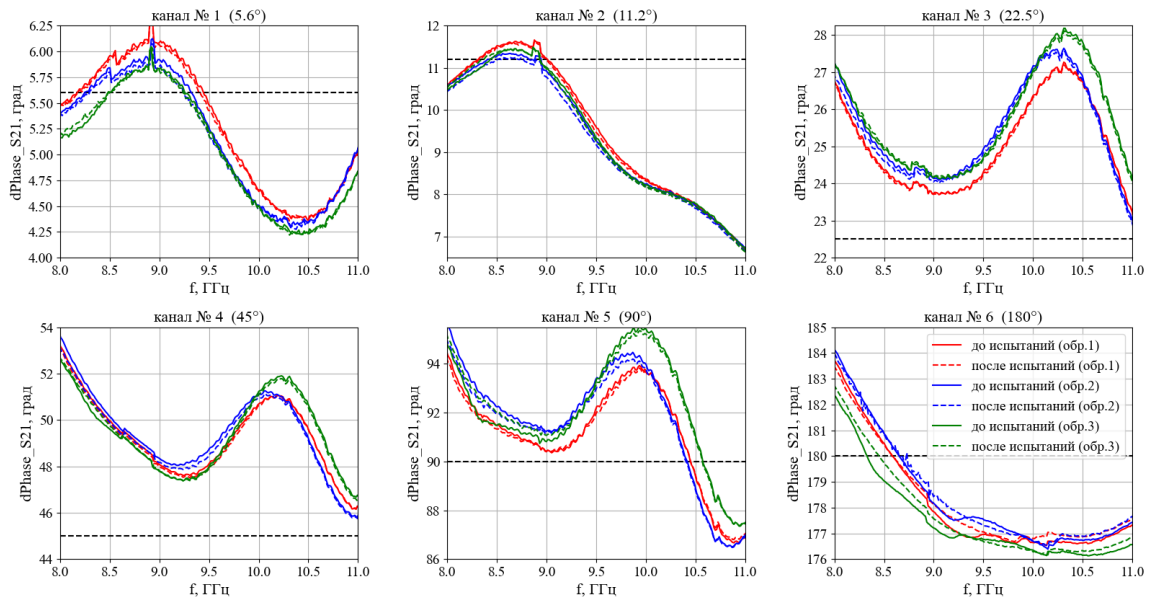
Из рисунка 4 видно, что ток потребления всех каналов фазовращателя, кроме первого, возрос примерно в 4 раза от его номинально значения. При этом можно заключить, что основная деградация происходит при первых двух воздействиях ЭР, после чего происходит стабилизация электрических характеристик фазовращателя.

С помощью векторного анализатора цепей (ВАЦ) были исследованы СВЧ параметры фазовращателей (частотная панорама вносимых потерь – амплитуда  $S_{21}$  и фазового сдвига  $dPhase$ , вносимого каждым каналом) до и после проведения испытаний. На рисунке 5 представлена частотная панорама амплитуды  $S_{21}$ .



**Рисунок 5.** Частотная панорама амплитуды  $S_{21}$  для всех каналов фазовращателя

Как видно из рисунка 5 диапазон рабочих частот, где вносимые потери минимальны, находится в пределах от 8 ГГц до 11 ГГц. На рисунке 6 представлены результаты измерения вносимого фазового сдвига для всех каналов фазовращателя в диапазоне рабочих частот до испытаний и после проведения 8 серий испытаний.



**Рисунок 6.** Результаты измерения вносимого фазового сдвига для всех каналов фазовращателя

Из зависимости на рисунке 6 видно, что результаты измерений вносимого фазового сдвига до и после проведения испытаний не имеют значительных расхождений и находятся в пределах погрешности измерений и калибровки ВАЦ.

## 6. Заключение

Из полученных частотных панорам вносимого фазового сдвига ячеек и амплитуды S21 видно, что электростатические испытания не изменили СВЧ характеристик фазовращателя. При этом изменение электрических характеристик (токов потребления каналов) можно объяснить деградацией транзисторов в драйвере управления. Для выявления критичности изменений характеристик необходимы дополнительные испытания на отказоустойчивость МИС СВЧ фазовращателя.

### Список литературы

1. Ёшиюки К. Знакомство с устройствами защиты от электростатических разрядов //Компоненты и Технологии. – 2012. – №. 1 (126). – С. 74-76.
2. Денисов Д. Оборудование и методы проверки РЭА на устойчивость к электростатическим разрядам и элементы для ее защиты от их воздействия компоненты //Компоненты и технологии. – 2021. – №. 3. – С. 22-29.
3. Аржанов С. Н. и др. СВЧ GaAs МИС дискретных фазовращателей С диапазона со встроенным драйвером управления //Сб. трудов. – 2008. – С. 65-66.
4. Баров А. А., Кондратенко А. В., Хохол Д. С. GaAs МИС дискретного фазовращателя L-диапазона частот //Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2012. – №. 2-2 (26). – С. 32-35.