

Электрически управляемый аттенюатор Ku-диапазона

Р. С. Гуляев, Э. Ю. Седышев

СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Аннотация: сегодня Ku-диапазон активно применяется для обеспечения работы спутникового телевидения и навигации, радиолокации и радиосвязи. Множество стран ведут вещание в данном частотном диапазоне. Из-за короткой длины волны прием сигналов Ku-диапазона возможен параболической антенной небольших размеров, диаметр которой может быть менее 1 метра. В данной работе рассматривается управляемое устройство аттенюации в виде интегральной вставки в волновод.

Ключевые слова: Ku-диапазон, волновод, электрически управляемый аттенюатор, объемная интегральная схема

1. Введение

В настоящее время широко применяются системы, работающие в Ku – диапазоне. Ku – диапазоном называется диапазон сантиметровых волн с длиной волны от 1,67 см до 3 см. На данный момент практически все частоты в диапазоне 10 – 18 ГГц заняты малыми спутниковыми станциями и телевещанием. Спутниковое вещание в Ku-диапазоне осуществляется главными российскими спутниковыми операторами, такими как ФГУП «Космическая связь» и АО «Газпром космические системы».

К способам управления усилением, получившим широкое распространение, относится введение в состав усилительных трактов сложных пассивных цепей, коэффициент передачи которых изменяется в заданных пределах в зависимости от условий приема информационного сигнала и особенностей его прохождения через усилительный тракт. Такие цепи, называемые управляемыми аттенюаторами, выполняют в виде комбинации линейных резисторов и нелинейных элементов, сопротивление которых меняется под действием управляемого электрического, ручного или электромеханического воздействия. Аттенюатор, будучи включенным, в приёмно-усилительный тракт дает возможность обеспечить требуемый характер управления коэффициентом усиления и уровнем выходного сигнала. Управляемый аттенюатор может быть отнесен к классу систем управления усилением. В зависимости от назначения аппаратуры, в состав которой входит приемно-усилительный тракт, и от условий ее работы управление параметрами элементов аттенюатора может быть механическим либо электрическим.

2. Подготовка образцов и экспериментальные результаты

В работе рассматривается устройство управления мощностью Ku-диапазона. На входе и выходе схемы используются волноводы, так как система рассчитана на частоты более 10 ГГц. В качестве элемента управления предлагается pin-диод, управляемый электрическим сигналом.

В первой серии экспериментов было исследовано влияние штыревой конструкции на ослабление поля в прямоугольном волноводе. Перекрытие волновода (установка управляющего элемента) может быть либо поперечным, либо продольным. Исследовалось поперечное перекрытие волновода.

Полосок с smd резистором (эквивалент pin диода (габариты совпадают)) устанавливался в волновод для исследования эффекта ослабления. Были взяты

резисторы номиналами 10 Ом, 1,8 кОм и 3,2 кОм. В первых экспериментах волновод перекрывался резисторами как показано на рисунке 1.

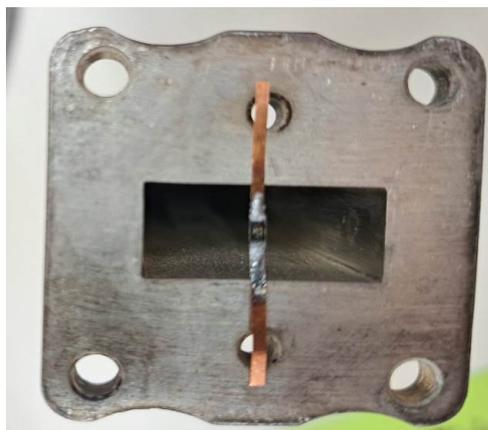


Рисунок 1. Сечение волновода

Измерения проводились в диапазоне 12 – 18 ГГц. Для сопротивления 3.2 кОм ослабление -6 дБ, для 1.8 кОм -2.3 дБ, для 10 Ом -3.8 дБ.

Штыревая структура не дала удовлетворительных результатов, поэтому было предложено следующее техническое решение (аналог продольной пластины поглотителя фиксированного аттенюатора) – погрузить продольно пластину в волновод. На данной пластине будет создана интегральная схема для электрического управления сигналом. На пластину будут установлены диоды, на которые подадим сигнал управления (будет регулироваться эквивалентная степень погружения поглотителя в волновод).

Вторая серия экспериментов позволила определить характеристики подложки погружаемой пластины (геометрия, толщина), чтобы при погружении в волновод наблюдалось наибольшее ослабление. От генератора подается бегущая волна H_{10} частотой около 12 ГГц на вход прямоугольного волновода, в котором была сделана продольная щель, не влияющая на структуру поля и ослабление. В данном эксперименте проводились измерения для трех различных толщин пластин: 1 мм, 2 мм, 4 мм. Ожидаемое ослабление для схемы планируется 15 дБ и ниже. Также важным условием (стало очевидно при проведении эксперимента) является, чтобы пластина касалась стен щели в волноводе.

Таблица 1. Значения ослаблений сигнала для пластины различной толщины

Толщина, мм	Глубина погружения,		Ослабление сигнала, дБ
	мм		
1	5		-15,81
2	5		-9,09
4	5		-7,91

Анализ таблицы 1 подтверждает, что самое большое ослабления уровня выходного сигнала наблюдается у пластины толщиной 1 мм.

В третьей серии экспериментов было исследовано, как угол погружения влияет на ослабление сигнала и линейную характеристику сигнала. От генератора подается бегущая волна H_{10} частотой 13 ГГц на вход прямоугольного волновода, где проделана

продольная щель, в которую пластины сначала погружались перпендикулярно. Были исследованы одна пластина полистирола толщиной 1 мм и две соединенные вместе пластины той же толщины.

Таблица 2. Значение ослабления сигнала для 1 пластины толщиной 1 мм

Глубина погружения, мм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ослабление, дБ	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,8	-0,9	-1,0	-1,4	-1,7	-2,4

Таблица 3. Значение ослабления сигнала для 2 пластин толщиной 1 мм

Глубина погружения, мм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ослабление, дБ	-0,6	-0,8	-1,0	-1,0	-1,2	-1,4	-1,7	-1,9	-2,1	-2,2



Рисунок 2. Максимальное ослабления сигнала для 1 пластины толщиной 1 мм



Рисунок 3. Максимальное ослабления сигнала для 1 пластины толщиной 1 мм

Как видно из рисунка 2 и рисунка 3, характеристика выходного сигнала остается линейной. Однако, анализируя данные из таблиц 2 и 3, можно увидеть небольшое ослабление, которое равно только до -2,4 дБ, что очень мало для реализации задуманного аттенюатора.

Следующие структуры, которые были исследованы пластина с полистиролом и пластина, обклеенная медью (рисунок 5.); пластина с полистиролом и 2 пластины, обклеенные медной пленкой (рисунок 6.).



Рисунок 4. макет 1

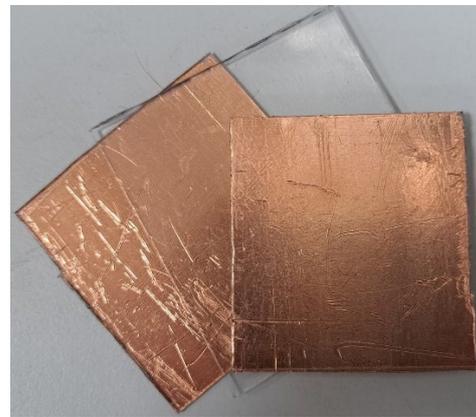


Рисунок 5. макет 2

Далее исследовалось возможность погружения в волновод под углом, определяя на какой глубине погружения достигается максимально возможное ослабление, сохраняя максимально линейную характеристику сигнала.

Таблица 4. Значение ослабления сигнала для макета 1

Глубина погружения, мм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ослабление, дБ	-1,6	-2,4	-5,6	-8,3	-9,9	-9,0	-8,9	-8,7	-8	-7,7

Таблица 5. Значение ослабления сигнала для макета 2

Глубина погружения, мм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ослабление, дБ	-0,07	-1,2	-1,7	-2,4	-3,5	-4,7	-6,7	-8,0	-7,9	-7,8

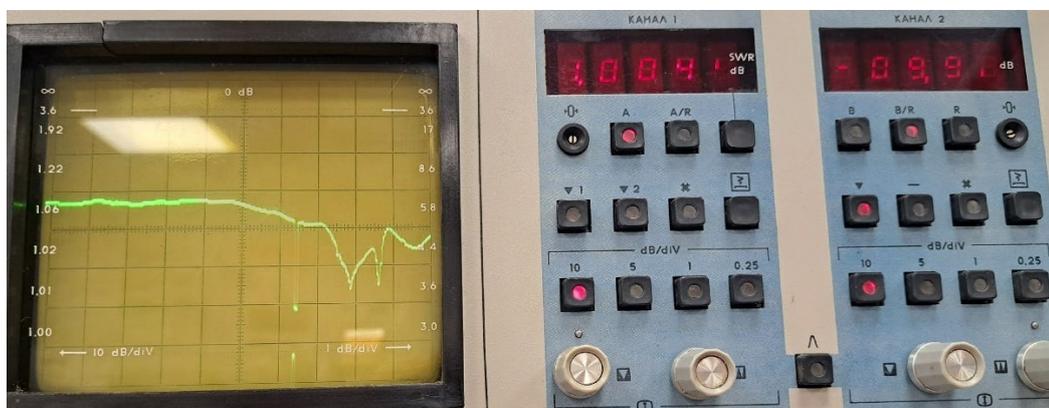


Рисунок 6. Максимальное ослабление для макета 1



Рисунок 7. Максимальное ослабление для макета 2

3. Заключение

Проанализировав данные из таблицы 4 и 5, можно сделать вывод, что наилучшая конструкция для будущей интегральной схемы это макет 1, так как наблюдается наибольшее ослабление сигнала, как показано на рисунке 6, при меньшей глубине погружения, не нарушая линейность сигнала, по сравнению с макетом 2, что видно из рисунка 7. Была измерена и предложена модель фиксированного аттенюатора для КУ диапазона.

Список литературы

1. Крылов Г.М., Хоняк Е.И., Тыныныка А.Н. и др. М.: Радио и связь Управляемые аттенюаторы 1985, 120 с.
2. Богомолов П.Г, Рубанович М.Г., Хрусталеv В.А., Разинкин В.П. Широкополосный пленочный СВЧ аттенюатор [Электронный ресурс] URL: https://mwelectronics.etu.ru/assets/files/2014/oral/o03_06_bogomolovpg_shirokopolosnyi_plenochnyi.pdf (дата обращения: 29.10.2023).
3. Вабищевич Д.А. Влияние параметров рin-диода на излучение щели в волноводе: материалы конференции ПКМ 5 – 7 декабря 2020 г. с. 46