**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

**Исследование комбинационных помех в анализаторе спектра миллиметрового диапазона длин волн.**

**Содержание**

**1.Введение**

**2.Теоретический анализ комбинационных помех ,**

**обусловленных побочными колебаниями гетеродина**

**в КВЧ смесителе анализатора спектра.**

 **2.1Метод аппроксимации вольт амперной**

**характеристики диода экспоненциальной функцией.**

 **2.2Метод аппроксимации вольт амперной характеристики диода степенным рядом.**

**3. Расчет и экспериментальное измерение относи**

**тельных уровней комбинационных помех.**

 **3.1 Исследование уровней побочных колебаний в сигнале гетеродина.**

**3.2 Расчет и исследование уровней комбина**

**ционных помех в смесителях.**

 **3.3 Измерение относительных уровней комбинационных помех в анализаторе спектра.**

**4. Заключение.**

**5. Список литературы.**

**6. Техника безопасности.**

**1. Введение**

В радиотехнике, электронике, технике связи и других отраслях промышленности анализ формы электрических сигналов позволяет получить информацию о качестве радиоустройств, линий связи, технологических процессов и т.д. Сложная периодическая функция времени полностью описывается амплитудами и фазами ее спектральных составляющих. В большинстве случаев достаточно иметь информацию об амплитуде и частоте составляющих спектра сигнала, то есть об амплитудном спектре. Загруженность освоенных ВЧ и СВЧ диапазонов, потребность использования радиоэлектронных средств (РЭС) для решения широкого круга новых задач вызвали необходимость дальнейшего расширения частотного диапазона в область мм длин волн. При этом важное значение имеют вопросы исследования неосновных колебаний в ВЧ трактах и радио излучений различных РЭС, а также контроль за рациональным использованием

РЭС, исключающим взаимные радиопомехи.

С целью контроля неосновных радио излучений и колебаний побочных излучений радиопередающих устройств, загружающие общий частотный диапазон, а также возможности установления источника помех и их характера используются панорамные приёмные устройства измерительные панорамные приёмники и анализаторы спектра последовательного действия ( АС ПД).

При конструировании анализаторов спектра с помощью различных мер предусматривается максимально возможное ослабление комбинационных помех в гарантируемой полосе обзора, однако устранить их полностью невозможно. Свободный от комбинационных составляющих интервал амплитудной характеристики анализатора по входу, ограниченный снизу уровнем комбинационных сигналов, а сверху максимально допустимым уровнем измеряемого сигнала, поступающего на смеситель (при котором комбинационные отклики незначительно превышают шумы анализатора), называют динамическим диапазоном по комбинационным помехам.

 Динамический диапазон по комбинационным помехам в анализаторах спектра миллиметрового диапазона волн в основном определяются КВЧ преобразователями входных сигналов. Исторически на начальных этапах освоения мм диапазона длин волн предпочтение отдавалось гармониковым преобразователям частоты и анализаторам спектра с их использованием, так как это направление обеспечивает наиболее быстрое решение первоочередных измерительных задач с наименьшими затратами.

 Достоинством гармониковых АС ПД является относительная простота, однако они имеют плохую чувствительность и малый динамический диапазон, свободный от комбинационных помех. Эти проблемы снимаются при использовании АС ПД с преобразованием спектра КВЧ сигналов на 1ой гармонике гетеродина. При этом возможны следующие варианты построения преобразователей:

 с гетеродином на фиксированную частоту КВЧ диапазона ,

 с перестраиваемым гетеродином КВЧ диапазона ,

формируемым путем умножения сигнала гетеродина СВЧ базового анализатора.

Фиксированные гетеродины применяются в случаях,

когда требуется выполнить спектральный анализ сигналов в относительно небольшом участке диапазона частот (не более 1012 ГГц).

 В случае необходимости исследований сигналов в полном частотном диапазоне волновода используются перестраиваемые гетеродины, перекрывающие по частоте этот диапазон.

Формирование сигнала такого КВЧ гетеродина осуществляется умножением частоты задающего СВЧ генератора. В спектре сигнала гетеродина на выходе умножителей кроме основного, используемого в преобразователях колебания, содержатся побочные составляющие, кратные частоте задающего генератора. Исследованию комбинационных помех в КВЧ преобразователях, возникающих при немонохроматическом сигнале гетеродина и посвящена дипломная работа.

 Целью работы по исследованию комбинационных помех в преобразователях частоты, работающих на первой гармонике гетеродина умножителя является:

 расчет относительных уровней комбинационных помех,

 экспериментальная проверка полученных теоретических результатов.

2. Теоретический анализ комбинационных помех,

обусловленных побочными колебаниями гетеродина

КВЧ в смесителе анализаторов спектра.

 Вопросы расчета относительного ослабления амплитуд

комбинационных составляющих (продуктов преобразования)

нашли отражение в ряде работ [ 1 ], [ 4 ], [ 7 ].

 Для расчета комбинационных искажений необходимо математическое задание вольт амперной характеристики диода, которая может быть представлена с помощью различных методов аппроксимации:

 рядами Вольтерра;

 экспоненциальном представлением;

 в виде степенного ряда.

 Первый метод для нашей задачи представляется неприемлемым ввиду громоздкости вычислений.

 В нашей работе расчет комбинационных искажений проводился для двух видов аппроксимации вольт амперной характеристики смесительных диодов:

 представлением вольт амперной характеристики диода степенным рядом;

 экспоненциальным представлением вольт амперной характеристики.

2.1 Метод аппроксимации В.А.Х. диода экспоненциальной функцией.

 Для расчета комбинационных помех, возникающих на выходе полупроводникового преобразователя частоты, обусловленных наличием побочного колебания в сигнале гетеродина, воспользуемся методикой, предложенной в работе [ 8 ].

 В литературе [1 4] характеристику полупроводникового диода принято отображать экспонентой вида:
 (2.1.1)

где ток через диод и приложенное к нему напряжение;

 коэффициенты аппроксимации.

 Пусть на вход преобразователя поступает напряжение:

 (2.1.2)

где амплитуды и частоты составляющих входного

 напряжения соответственно.

 Подставляя в выражение (2.1.1) значение напряжения (2.1.2), получим:

 (2.1.3)

Величину можно разложить в ряд по модифицированным функциям Бесселя [ 5 ]:

 (2.1.4)

С учетом разложения (2.1.4) ток равен:

 (2.1.5)

 После перемножения из формулы (2.1.5) можно извлечь выражения всех спектральных составляющих тока на выходе полупроводникового преобразователя частоты. Комбинационные составляющие, образующиеся в результате взаимодействия всех компонент спектра входного сигнала, имеют амплитуды:

 (2.1.6)

и частоты

Воспользуемся приведенными выше формулами для расчета относительного ослабления комбинационных помех.

Считаем, что на вход преобразователя поступают напряжения:

 гетеродина

 измеряемого сигнала

где амплитуда и частота основного колебания гетеродина;

 амплитуда и частота побочного колебания в сигнале гетеродина;

 амплитуда и частота входного сигнала.

В результате основного преобразования (K1=1, K3=1) на промежуточной частоте образуется составляющая тока с амплитудой:

 (2.1.7)

В процессе взаимодействия побочного колебания гетеродина и входного сигнала (K2=1, K3=1), на промежуточной частоте образуется составляющая тока с амплитудой:

 (2.1.8)

Рассчитаем относительное ослабление комбинационной помехи:

 (2.1.9)

Для упрощения дальнейших вычислений будем

предполагать, что . В таком предположении можно считать[ 8 ]:

 (2.1.10)

 (2.1.11)

 (2.1.12)

Таким образом окончательная формула для расчета относительного ослабления комбинационной помехи имеет следующий вид:

 (2.1.13)

2.2 Метод аппроксимации ВАХ диода степенным рядом.

Для исследования продуктов комбинационных преобразований в смесителе в случае малой амплитуды гетеродина воспользуемся аппроксимацией степенным рядом [1].

Рассчитаем уровень комбинационных помех для этого случая. Ток, протекающий через диод, запишем в виде:

 (2.2.1)

где коэффициенты ряда;

 входное напряжение.

 Входное напряжение, как и в пункте 2.1.2, представляет собой сумму напряжений:

 (2.2.2)

где напряжение и частота основного колебания гетеродина;

 напряжение и частота побочного колебания гетеродина;

 напряжение и частота входного сигнала.

Для исследования комбинационных помех в смесителе не выше третьего порядка воспользуемся аппроксимацией вольт амперной характеристики диода полиномом пятой степени [1]. Найдем выражение для тока диода. При расчете учтем только члены, дающие вклад в выходной ток преобразователя на промежуточной частоте. В случае когда напряжение смещения постоянного тока равно нулю, вклад в выходной сигнал на промежуточной частоте дадут только члены полинома с четными степенями. Тогда после подстановки (2.2.2) в (2.2.1) получим :

(2.2.3)

Найдем амплитуды откликов в выходном сигнале смесителя при преобразованиях на основном и побочном колебаниях гетеродина: (2.2.4)(2.2.5)

Рассчитаем относительный уровень комбинационных

помех:

 (2.2.6)

В предположении U1 >> U2, U1 >> U3 получим:

 (2.2.7)

или:

 (2.2.8)

Из разложения экспоненциальной функции в ряд Маклорена следует, что коэффициенты К2, К4 при членах разложения с четными степенями могут принимать только положительные значения. Тогда видно, что отношение

W2/W1 лежит в пределах:

 (2.2.9)

или:

 (2.2.10)

На основании полученных результатов с учетом выражений (2.1.13) и (2.2.10) могут быть сделаны следующие выводы:

 при "большой" мощности основного колебания гетеродина комбинационная помеха на выходе преобразователя ослаблена больше, чем побочное колебание в гетеродине;

 при "малой" мощности основного колебания гетеродина дополнительного ослабления комбинационной помехи на выходе преобразователя не происходит.

3. Расчет и экспериментальное измерение относительных уровней комбинационных помех.

Основной целью эксперимента было определение динамического диапазона в АС мм диапазона по комбинационным искажениям с преобразованием на 1ой гармонике гетеродина с умножением частоты.

3.1 Исследование уровней побочных колебаний

в сигнале гетеродина.

В этом эксперименте исследовалась работа волноводных

умножителей частоты на 2 и на 3 в диапазоне

25,9537.5 ГГц.

1 задающий генератор Г480 (Г481);

2 умножитель на 3 коаксиальный;

3 измеритель мощности P1;

4 измеритель мощности P9 ( P6 );

5 умножитель на 3 ( на 2 ) волноводный;

6 направленный ответвитель 10 дБ;

7 усилитель мощности;

8 переключатель 1:2 волноводный;

9 аттенюатор Д336;

10 аттенюатор 10 дБ;

11 измеритель мощности P3;

12 перестраиваемый фильтр;

13 смеситель;

14 фильтр низкой частоты;

15 генератор Г456;

16 анализатор спектра СК487.

 С генератора 1 напряжение сигнала поступает на умножитель частоты 2, где происходит умножение частоты задающего генератора. Уровень мощности контролируется измерителем мощности 3. С умножителя сигнал поступает на усилитель мощности 7, усиливается и через направленный ответвитель 6 приходит на второй умножитель 5, где происходит окончательное формирование сигнала КВЧ гетеродина. Далее через аттенюатор 9, переключатель 8 этот сигнал через преселектор 12 подается на сигнальный вход смесителя 13 для анализа.

На гетеродинный вход смесителя через ФНЧ 14 приходит сигнал с генератора 15. Преобразованный сигнал исследуемого КВЧ гетеродина поступает на анализатор спектра 16, где происходит его дальнейший анализ.

 Рассчитаем частоту задающего генератора Г480 для приема начальной частоты Fc рассматриваемого диапазона.

 Fзг=(FcFпч)/n, (4.1.1)

где Fпч промежуточная частота, Fпч=1 ГГц,

 Fc частота сигнала,

 n общий коэффициент умножения.

 Таким образом Fзг= (261)/6 = 4,16 ГГц при использова нии умножителя на 2.Наибольший уровень на выходе умножителя на 2 имеет побочное колебание, получающееся умножением на 3, то есть

9ая гармоника задающего генератора.

Таким образом частота побочного колебания Fп = 4,16\*9 =36,44 ГГц.

Уровень основной гармоники Р6=12 мВт,а показание СК487 4 дБм при частоте настройки Г456 27 ГГц.Перестройкой Г456 на часто ту 37,44 ГГц получаем отклик на СК487, равный 26 дБм, что соответствует уровню побочного колебания Р9=0,08 мВт.

При использовании волноводного умножителя на 3 частота задающего генератора устанавливается Fзг= (261)/9 = 2,78 ГГц. Наибольший уровень имеет побочное колебание, получающееся на 12ой гармонике задающего генератора. Частота этого колебания Fп=Fзг\*12 и будет соответственно Fп=34,33 ГГц. Уровень основной гармоники Р9=2,4мВт, а уровень побочного колебания Р12=0,8 мВт определены по описанной выше методике.

 Уровни мощности основного колебания гетеродина Р6 и Р9 определяются максимальнодопустимой мощностью на входе волновод ного умножителя равной 100 мВт.

 4.2 Расчет и исследование уровней комбинационных помех

 смесителя.

 \_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_

| | | | | | | |

| 1 |>| 2 |>| 3 |>| 4 |>

|\_\_\_\_\_\_\_\_| |\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_| |\_\_\_\_\_\_\_\_\_| |\_\_\_\_\_\_\_\_\_| |

 | |

 \_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ |

| | | | | | | | | | |

| 5 |>| 6 |>| 7 |>| 8 |>| 9 |<

|\_\_\_\_\_\_\_\_| |\_\_\_\_\_\_\_| |\_\_\_\_\_\_\_\_| |\_\_\_\_\_\_\_\_| |\_\_\_\_\_\_\_\_\_|

 | |

 \_\_\_|\_\_\_\_ \_\_\_\_|\_\_\_\_

 | | | |

 | 10 | | 11 |

 |\_\_\_\_\_\_\_\_| |\_\_\_\_\_\_\_\_\_|

Рис.2 Блок схема установки для исследований комбинационных

 помех смесителя.

1 генератор Г480 (Г481)

2 умножитель на 3

3 усилитель мощности

4 умножитель на 2 ( на 3 )

5 генератор Г456

6 ФНЧ

7 переключатель

8 аттенюатор

 17

9 смеситель

10 измеритель мощности

11 анализатор спектра СК487

 С задающего генератора 1 поступает сигнал на умножитель

частоты 2затем на усилитель мощности 3, усиливается и поступает на умножитель частоты 4, где сигнал переносится на нужную нам частоту, а именно на частоту 6ой или 9ой гармоники ( в зависимости от того, какой у нас умножитель, на 2 или на 3 ),

далее сигнал поступает на гетеродинный вход смесителя 9.Сигнал

с генератора 5 через ФНЧ 6, переключатель 7, аттенюатор 8 пос

тупает на сигнальный вход смесителя. Продукты преобразования с

выхода смесителя измеряются анализатором спектра 11.

 Измерения проводились по следующей методике.

Частота Г480 устанавливалась 4,16 ГГц при работе с умножением

на 6 основного преобразования и 2,78 ГГц при работе с умножением

на 9. Уровень сигнала Г456 поддерживался постонным и равным

30 мкВт. Значения частоты Г456 устанавливались такими же как

указано в разделе 4.1. Фиксировалось ослабление аттенюатора

Д336 при превышении отклика анализатора СК487 от входных

сигналов над собственными шумами на 3 дБ.

 Результаты исследований сведены в таблицу, в ней же

приведены относительные уровни побочных колебаний гетеродина,

измеренных в пункте 4.1:

 таблица 1

 \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

 |Умножи|Частота,ГГц|Ослабление|Уровень ||Уровень побочного |

 | тель | |Д336,дБ |помехи,дБ||колебания гетеродина|

 |\_\_\_\_\_\_\_|\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_|\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_|\_\_\_\_\_\_\_\_\_||\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_|

 | x2 | 27 | 76 | || |

 | x2 | 37,44 | 49 | 27 || 22 |

 | x3 | 27 | 66 | || |

 | x3 | 34,33 | 63 | 3 || 5 |

 |\_\_\_\_\_\_\_|\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_|\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_|\_\_\_\_\_\_\_\_\_||\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_|

 Таким образом из исследований видно, что при использовании

умножителя на 2 ослабление комбинационной помехи превышает

относительный уровень побочного колебания гетеродина.

Для оценки ослабления можно воспользоваться выражением (2.1.13).

При использовании умножителя на 3 относительный уровень

комбинационной помехи не ниже уровня побочного колебания гетеро дина. Для оценки уровня помехи в этом случае можно воспользоваться выражением (2.2.8).

 Из полученных результатов следует, что коэффициент ум

ножения задающего генератора целесообразно выбирать таким образом, чтобы использовать волноводный умножитель на 2.

 4.3 Измерение относительных уровней комбинационных помех

 в анализаторе спектра.

 \_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_ | \_\_\_\_ \_\_\_\_ \_\_\_\_ \_\_\_\_ |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | \_\_\_

| 1 || 2 || 3 || 4 ||| 7 || 8 || 9 || 10 ||| |

|\_\_\_\_\_| |\_\_\_\_\_| |\_\_\_\_\_| |\_\_\_\_\_| | |\_\_\_\_| |\_\_\_\_| |\_\_\_\_| |\_\_\_\_| | | |

 | | | | | |

 | | | | |

 \_\_|\_\_ \_\_\_\_\_ | \_\_|\_ \_\_\_\_ \_\_\_\_ | |14 |

| | | | | | | | | | | | | |

| 5 | | 6 ||| 11 || 12 || 13 ||| |

|\_\_\_\_\_| |\_\_\_\_\_| | |\_\_\_\_| |\_\_\_\_| |\_\_\_\_| | |\_\_\_|

 | Преобразователь частоты |

Рис.3 Структурная схема для проверки комбинационных помех в АС.

1 генератор Г4156

2 направленный ответвитель

3 фильтр полосовой

4 аттенюатор Д336

5 частотомер Ч366

6 измеритель мощности М353

7 вентиль волноводный ФВВН116

8 смеситель волноводный 7,2\*3,4 мм

9 усилитель малошумящий ЕЭ2.031.242

10 преобразователь частоты 317/17 МГц

11 умножитель частоты на 2 ЯНТИ 434.841.067

12 усилитель средней мощности 10,717,7 ГГц

13 умножитель частоты (26,6)/(226) ГГц

14 анализатор спектра С485

 Измерения проводились с использованием методики, изложенной в разделе 4.2. В качестве задающего генератора применялся гетеродин синтезатор прибора С485.

 Ослабление комбинационной помехи на 12ой гармонике задающего генератора составило порядка 30 дБ.

 4.Заключение

 Полученные результаты теоретического анализа относительных уровней комбинационных помех первого порядка в анализаторах спектра КВЧ с преобразованием на первой гармонике в случае немонохроматического сигнала используемого гетеродина могут быть применены для расчета схем анализаторов с умножителями частоты в гетеродинном

тракте.

 Рассмотрены два случая формирования гетеродинного сигнала:

 с использованием волноводного умножителя на 3,

 с использованием волноводного умножителя на 2.

 Для первого случая мощность основного колебания гетеродина недостаточна для обеспечения оптимальных параметров смесителя. Наиболее близкие к эксперименту результаты дает метод аппроксимации ВАХ диода степенным рядом. Оценка по формуле (2.2.10)совпадает с результатами таблицы 1.

 Для второго случая лучшее совпадение результатов расчета относительных уровней комбинационных помех дает метод аппроксимации ВАХ диода экспонентой. Оценка по формуле (2.1.13) уровня комбинационной помехи дает результат на 2 дБ ниже по сравнению с относительным

уровнем побочного колебания для описанного в работе эксперимента без учета рассогласования на гетеродинном

входе смесителя. Измеренный уровень комбинационной помехи по данным таблицы 1 ниже относительного уровня побочного колебания на 5 дБ.

 Результаты теоретических и экспериментальных исследований относительных уровней помех в АС мм диапазона, обусловленных наличием побочных колебаний в сигнале гетеродина, показывают, что динамический диапазон АС может быть обеспечен не менее, чем величина ослабления побочного колебания только в случае достаточно большого уровня мощности основного колебания гетеродина. Для исследованного смесителя на волновод сечением 7,2x3,4 мм этот уровень не должен быть ниже 10 мВт.

 5. Список литературы

1. H.W.Pollack, M.E.Engelson. The Microwave Jornal. 1962, Dec.

2. А.М.Щерба "Труды учебных институтов связи",серия "Радиоиз

мерительная техника", 1969г.,вып.2.

3. Л.С.Гуткин "Преобразование СВЧ и детектирование",Госэнерго

издат, 1953г.

4. Л.Р.Деречинский "Вопросы радиоэлектроники",серия "Радиоиз

мерительная техника", 1969г.,вып.2.

5. Е.Янке, Ф.Леш, Ф.Эмде "Специальные функции",

Изд."Наука", 1968г.

6. Научнотехнический отчет о НИР "АнализаторММ"(предварительный),

ННИПИ " Кварц ", 1997г.

7. Б.М. Богданович "Нелинейные искажения в приемноусилительных

устройствах " /M, " Связь ", 1980г.

8. А.А. Залевский " Вопросы расчета и проектирования

панорамных измерительных приемников " /Вопросы Радиоэлект

роники. Вып. 3, серия Р.Т., 1971г.

 3. Техника безопасности

 Настоящая работа проводилась в лаборатории без повышенной опасности. При работе соблюдались следующие правила техники безопасности:

 все приборы были заземлены;

 перед включением проверялась правильность соединения приборов, а также отсутствие на рабочем месте посторонних предметов;

 работы проводились под руководством научного руководителя и консультанта;

 после окончания работы все приборы были отключены от сети питания.