Бла бла название работы

**Слайд 2 - Введение**

Целью данной работы является

1. Исследование влияния нелинейности УМ на различные типы сигнала, используемые в стандарте 5G NR
2. Разработка модели УМ для миллиметрового диапазона 100-200 ГГц
3. Разработка метода компенсации нелинейных искажений усилителя мощности на приемнике, в частности для сигнала DFT-s-OFDM.

**Слайд 3 - Актуальность**

Стандарт мобильной связи пятого поколения 5G New Radio тесно связан с технологией Интернета Вещей. В частности, высокая скорость, надежность сети и возможность массового подключения «умных» устройств являются ключевыми требованиями для создания связной инфраструктуры.

По данным на 2018 год, количество iot-устройств составляло 8 млрд, в 2021 году их уже 12 млрд.

При этом одни из последних релизов стандарта 5G – релиз 15 и 16, обеспечивают поддержку несущих частот до 52.6 ГГц, однако уже ведутся исследования с целью расширить диапазон FR2 до 114 ГГц, т.е. миллиметровый диапазон.

Соответственно направление стремительно развивается, количество устройств увеличивается, технология позволит использовать более высокие частоты для увеличения потока данных.

Проблема заключается в высокой частоте – на данный момент электроника пока не очень хорошо справляется с высокими частотами. В частности, это касается усилителей мощности, один из ключевых элементов передающей цепи, который и рассматривается в данной работе.

**Слайд 4 – Нелинейность УМ**

Усилитель мощности является ключевым компонентом передатчика, отвечающий за повышение мощности сигнала, передаваемого устройством или базовой станцией. На схеме он находится между антенной и блоком повышения частоты. За счет внешнего источника питания, усилитель увеличивает амплитуду, соответственно и мощность передаваемого сигнала. Усилитель характеризуется при помощи амплитудной характеристики – зависимость выходной амплитуды от входной. В случае идеального усилителя, характеристика представляет прямую – коэффициент усиления постоянен. Но ни что не идеально и в реальности эта характеристика больше похожа на график справа. Присутствует уровень насыщения.

**Слайд 5 – Искажение сигнала**

Рассмотрим как именно искажается сигнал. Приведена характеристика нелинейного усилителя, на оси х – входная амплитуда усиливаемого сигнала. В случае линейной характеристики, сигнал усиливается и не искажается, в соответствии с пунктирной линией. При использовании нелинейной характеристики, сигнал искажается – в частности, при подаче высокой мощности\амплитуды, выходная мощность меньше, чем в случае линейной характеристики, происходит сжатие пиков. Чем больше средняя подаваемая мощность, тем больше искажается сигнал, и тем ближе выходная мощность к уровню насыщения.

**Слайд – Отступы**

Для уменьшения степени искажения среднюю входную мощность уменьшают. Называют по разному в зависимости от того, от чего делают отступ - OBO и IBO. …

**Слайд 6 – Модель Раппа**

Для описания и моделирования искажения сигналов при использовании усилителя существует множество моделей. Мы остановились на модели Раппа, включенной в спецификацию 3GPP.

Функция Famam описывает амплитудное искажение, х – входная амплитуда, famam – выходная амплитуда. G – коэффициент усиления слабого сигнала, V\_sat – напряжение насыщения

Fampm описывает фазовые искажения, а именно сдвиг фазы выходного сигнала относительно входного в зависимости от амплитуды.

Для примера здесь показан график амплитудной характеристики в зависимости от параметра р. Чем больше значение р, тем ближе усилитель к линейному.

В качестве базовых параметров модели были выбраны предложенные Нокиа в одном из исследований для диапазона 30-70 ГГц. Соответствующие значения параметров приведены в углу.

**Слайд 7 – модель 100-200**

В связи с расширением диапазона FR2 в миллиметровые волны, модель Нокиа не покрывает все интересующие нас частоты. Необходима модель для 100-200 ГГц. Нами были исследованы последние работы в области создания твердотельных усилителей мощности.

На графике приведены характеристики усилителей для различных значений несущей частоты из разных работ.

Характеристики из разных работ были аппроксимированы моделью раппа, после чего полученные параметры были усреднены. Полученные средние параметры были использованы в качестве модели для 100-200 ГГц

Про модель 100-200 ГГц…..

**Слайд 8 – LLS**

Для моделирования системы использовался симулятор канального уровня LLS на Matlab. Обобщенная схема симулятора приведена на слайде.

Симулятор состоит из блоков предварительной подготовки, в точ числе прекодинг, формирование сигналов и обратное фурье преобразование для офдм сигнала. Далее сигнал пропускается через канал, принимается на приемнике и декодируется. Симулятор соответствует требованиям стандарта 5жи 3гпп и соответственно откалиброван.

Описанная ранее модель усилителя была имплементирована в симулятор (2).

**Слайд 9 - Сигналы**

Для симуляций были выбраны два основных сигнала – OFDM и DFT-s-OFDM. Принципиальная схема генерации этих сигналов приведена на слайде. Дфтс отличается от офдм сигнала наличием предварительного кодирования при помощи фурье преобразования на ограниченном количестве поднесущих. Благодаря этому у дфтс сигнала меньший пик фактор, что важно при использовании нелинейного усилителя.

**Слайд 10 - Искажения**

В результате реализации усилителя в LLS были получены следующие результаты.

Приведены созвездия полученного сигнала на приемнике. Первый график – сингл карриер сигнал, искажения носят прямолинейный характер, сигнал искажается в зависимости от амплитуды.

ОФДМ сигнал искажается по другому, наблюдается увеличение разброса по сравнению со случаем идеального усилителя.

ДФТС имеет совмещенные искажения, присутствует как общий сдвиг в зависимости от амплитуды, так и увеличение разброса точек.

Необходимо компенсировать возникшие искажения

**Слайд 11 – обзор методов компенсации**

**Слайд**

Разработанный метод компенсации предназначен для обработки на приемнике, таким образом уменьшается нагрузка на передатчик. В основе метода лежит использование ограниченной обратной характеристики усилителя. Параметры усилителя и рабочая точка считаются известными. Сигнал в соответствии с его типом приводится к состоянию, в котором он пропускался через усилитель, потом применяется обратная функция, и затем сигнал возвращается в частотную область, уже компенсированный.

**Слайд**

Приведены блок схемы разработанного метода компенсации в зависимости от типа используемого сигнала. В основе метода как сказано раньше лежит обратная характеристика.

**Слайд**

Разработанный метод был протестирован на полноценных симуляциях канального уровня в ллс. Параметры симуляций приведены в таблице. Моделирование проводилось для двух моделей усилителя и для двух типов сигнала -офдм, дфтс. В качестве результатов были получены кривые зависимости блоковых ошибок от отношения сигнал шум.

**Слайд**

Приведены результаты моделирования для сигнала дфтс модели усилителя 30-70 ггц эссиэси 120 кгц. Бла бла бла

Использование компенсации демонстрирует улучшение результата по сравнению со случаем отсутствия компенсации – кривая сдвигается вниз или влево, количество ошибок для выбранного снр ниже.

**Слайд**

Для офдм сигнала были получены похожие результаты, однако стоит отметить что изз-за выского пик-фактора офдм сигнала, нелиненйость сильнее искажает сигнал, и в некоторых случаях которые будут показаны дальше, информация практически не восстановима.

**Заключение**

В результате данной работы были исследованы влияние нелинейности усилителя на сигналы офдм и дфтс

Были подобраны параметры модели раппа для диапазона 100-200 ггц

Также был разработан и реалтизован метод компенсации нелинейных искажений на приемнике. Компенсация на приемнике позволяет уменьшит объем предварительной обработки на передатчике, что экономит потребляемую энергию.

Разработанный метод продемонстрировал возможность улушить результат работы системы при определенных параметрах системы,