



**Отличительные особенности, характеристики,
вопросы проектирования каналов и применения
широкополосных цифровых систем ВЧ связи с
коммутацией пакетов**

к.т.н. Меркулов Антон Геннадьевич

anton.merkulov@siemens.com

Руководитель направления «Системы связи»

ТОО «Сименс»,

г. Алматы, пр. Достык 117/6



Введение

Широкополосные системы ВЧ связи с коммутацией пакетов - WDPLC-оборудование. Этот вид оборудования является перспективным для применения при передаче информации от цифровых подстанций. Оборудование изначально предназначено для использования в IP-сетях, для передачи речевого трафика VoIP, данных систем АСУ ТП и АИИСКУЭ на основе протокола МЭК 60870-5-104, передачи сигналов технологического видеонаблюдения.

В настоящей работе рассматриваются отличия WDPLC-систем от классических цифровых систем ВЧ связи, характеристики модемов, обсуждаются вопросы проектирования и применения широкополосных каналов, приводятся результаты испытаний оборудования PowerLink IP на сложной ВЛ 110.



Постановка задачи

1. Показать отличия между классическим ЦВЧ (DPLC) оборудованием и W-DPLC системами
2. Рассмотреть некоторые вопросы проектирования ЦВЧ каналов с использованием W-DPLC систем
3. Рассмотреть результаты пилотного проекта по организации широкополосного ЦВЧ канала на сложной ВЛ 110 кВ

Сравнение классических ЦВЧ систем и W-DPLC

Классификация ВЧ оборудования согласно стандарту МЭК 62488-1

АВЧ

- Частотное разделение сигналов
- Аналоговые методы модуляции
- Передача речи и низкоскоростных данных
- ЧМ модем (скорость ≤ 2400 бит/с)
- PSK or QPSK Modem (Rates > 600 bps)

ЦВЧ

Классические

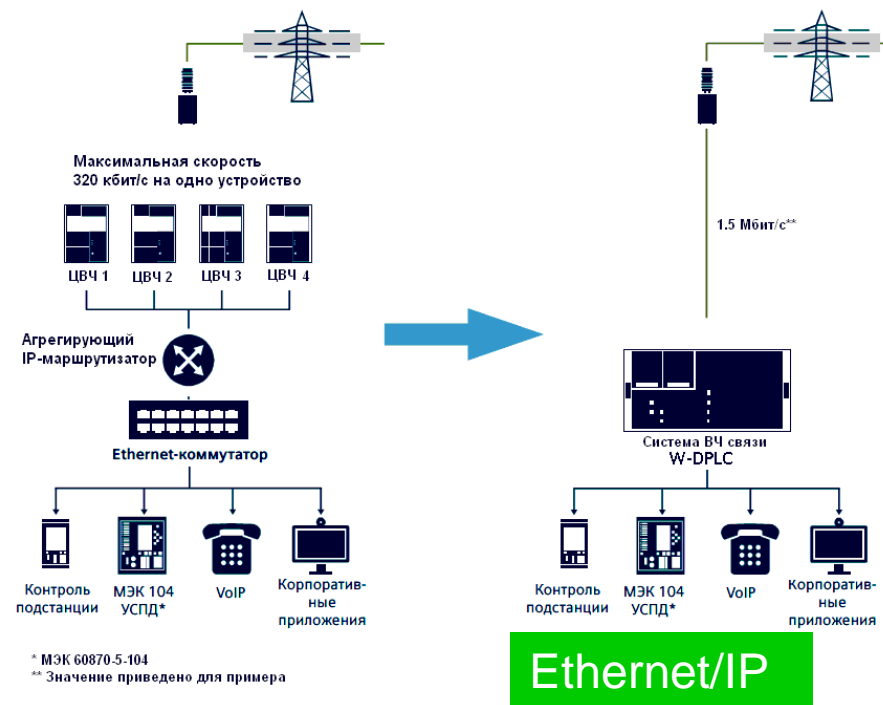
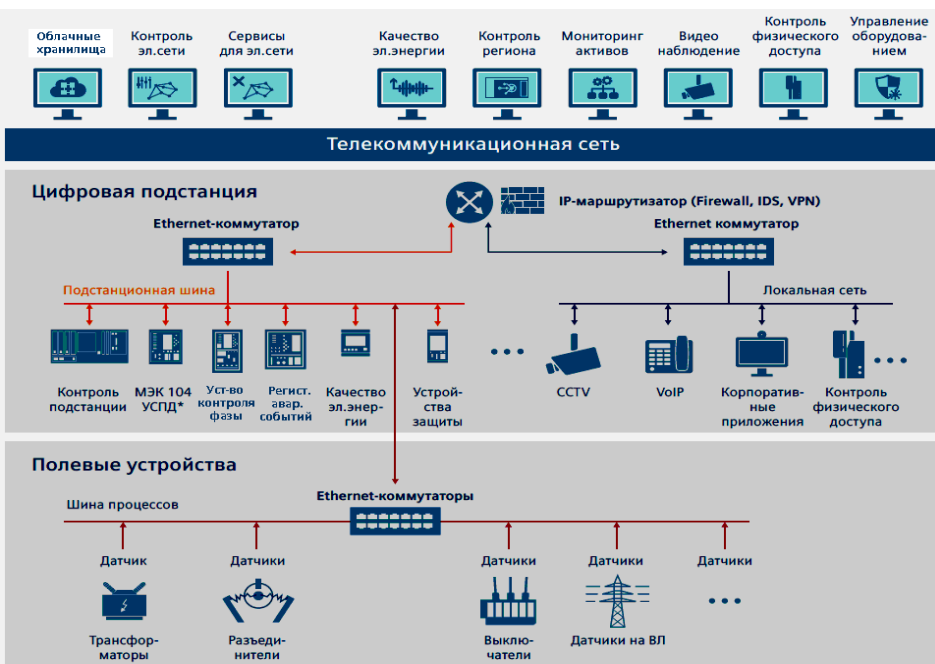
- Рабочая полоса частот: до 32 кГц
- Максимальная скорость: до 320 кбит/с
- Временное разделение сигналов
- Одночастотные (QAM), многочастотные (OFDM) методы модуляции
- Помехоустойчивое кодирование
- Встроенный мультимплексор (Речь FXS/FXO/E&M), данные (V.24/V.28, V11, G.703, и т.д.), встроенный Ethernet-мост
- Компрессия речи

Широкополосные W-DPLC

- Рабочая полоса частот: от десятков до сотен кГц
- Максимальная скорость: до нескольких Мбит/с
- Дискретная многоканальная модуляция (DMT)
- Помехоустойчивое кодирование
- Архитектура сетевых устройства
- Коммутация пакетов
- Технологии обработки IP-трафика

Сравнение классических ЦВЧ систем и W-DPLC

Переход к цифровым подстанциям является одним из приоритетных направлений развития современной электроэнергетики. Но с увеличением количества сервисов и приложений неминуемо возникает вопрос организации каналов связи, достаточных по скоростным характеристикам для передачи всего многообразия информационных сигналов.



Ethernet/IP

Сравнение классических ЦВЧ систем и W-DPLC

Системная архитектура в виде сетевого элемента с ВЧ модемом для WAN интерфейса и подключением клиентского оборудования через интерфейсы Ethernet.

1. Увеличенная полоса пропускания (теоретически полностью диапазон ВЧ связи)
2. Ассиметричная настройка полос передачи (ПС→ДЦ и ДЦ→ПС)
3. Отключение части несущих частот для отстройки от мешающих сигналов
4. Функция перераспределения полос между двумя устройствами W-DPLC
5. Динамическая адаптация скорости передачи, низкая задержка модемов
6. Использование сжатия заголовков IP-пакетов и заголовка протокола Ethernet

Частотные окна и ассиметричные полосы передачи

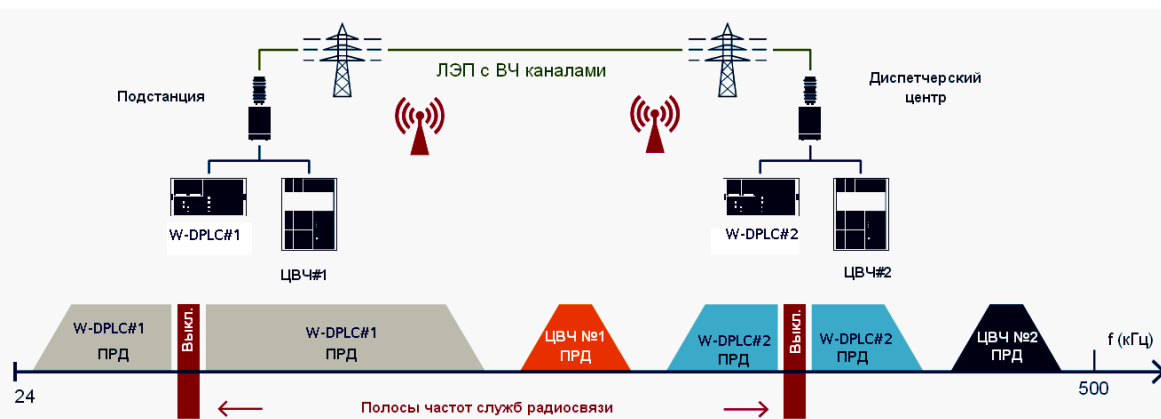


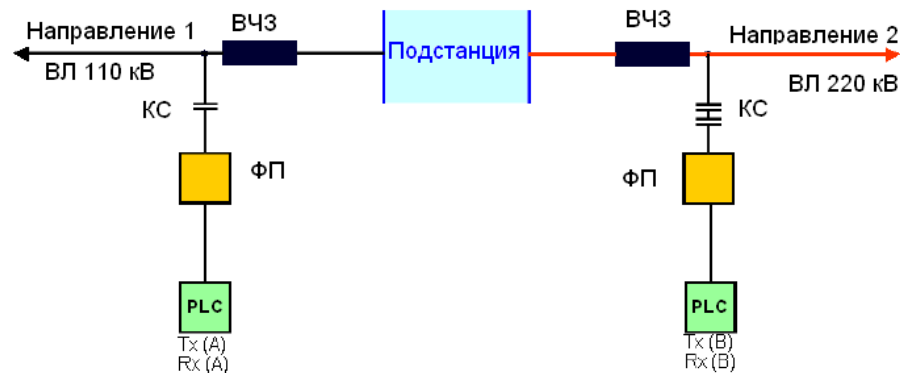
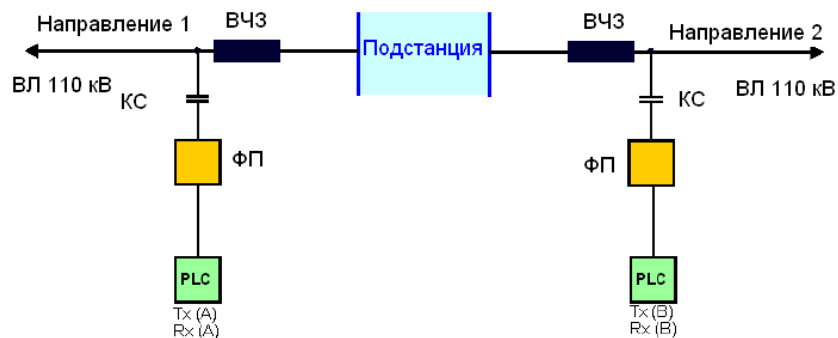
Схема DMT-модема



Вопросы проектирования широкополосных каналов

Вопрос1. Частотные окна и защитные интервалы

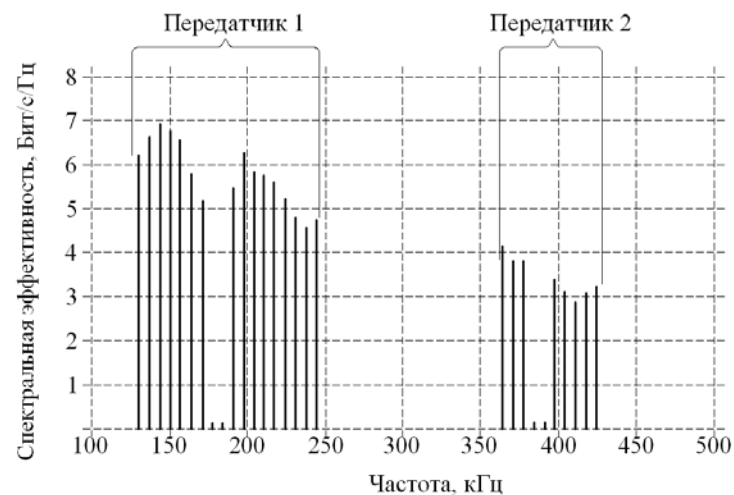
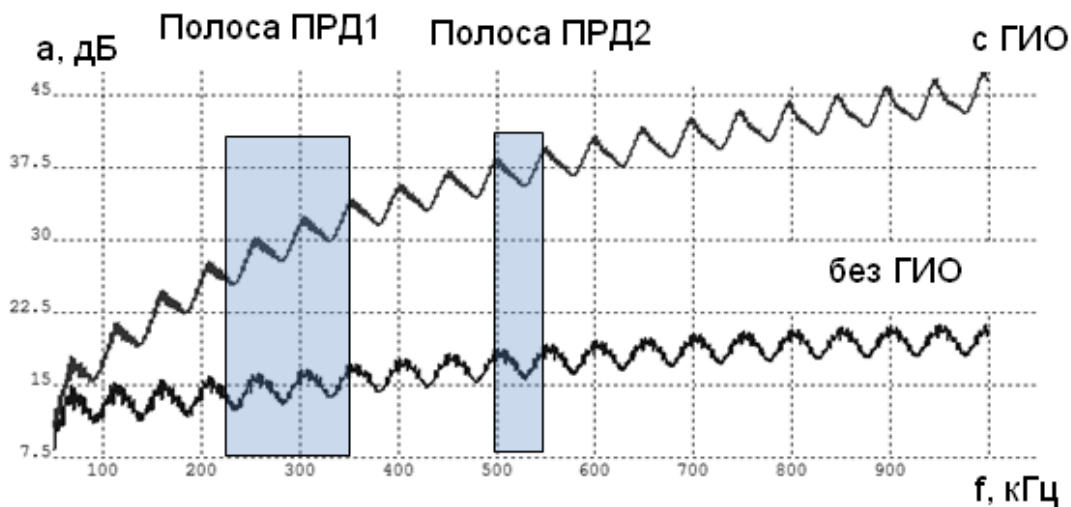
- Общие соображения по выбору $\Delta f_{\text{защ}}$ можно сформулировать следующим образом:
- - $\Delta f_{\text{защ}} = 8$ кГц для АВЧ/ЦВЧ каналов, работающих на этой же линии на соседних фазах.
- - $\Delta f_{\text{защ}} = 4$ кГц для АВЧ/ЦВЧ каналов, работающих на разных линиях одного класса напряжения;
- - $\Delta f_{\text{защ}} = 0$ кГц для АВЧ/ЦВЧ каналов, работающих на разных линиях разного класса напряжения.



Вопросы проектирования широкополосных каналов

Вопрос 2. Формирование ассиметричных полос

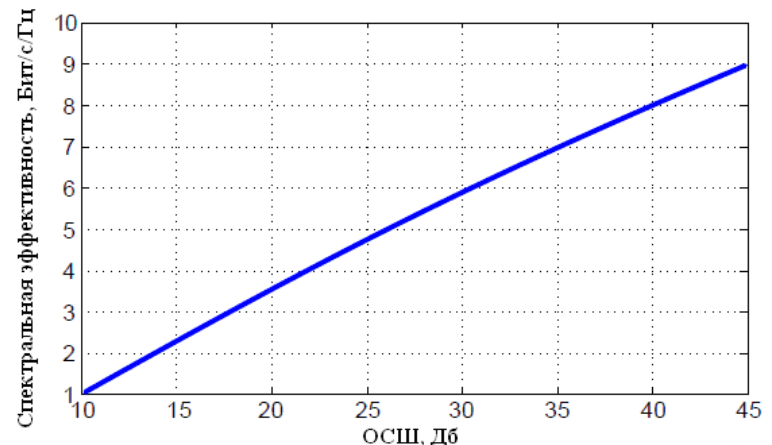
- Рабочая полоса частот $W1$ (кГц) и $W2$ (кГц)
- Выходная мощность ЦП $p1$ (дБм) и $p2$ (дБм)
- Если $W1 > W2$, то $p1 < p2$
- Более широкая полоса ($W1$) должна располагаться в спектре частот с меньшим затуханием (если есть возможность выбора)



Задачи, решаемые при проектировании W-DPLC канала

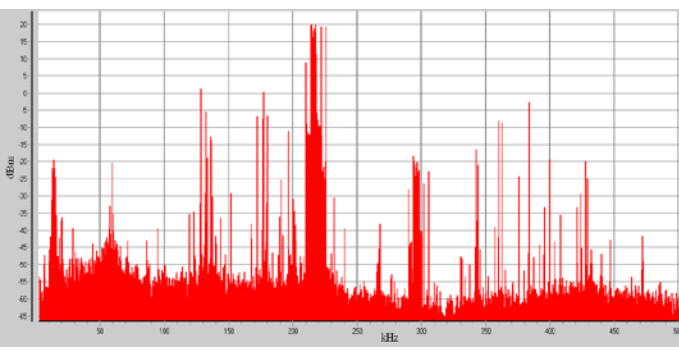
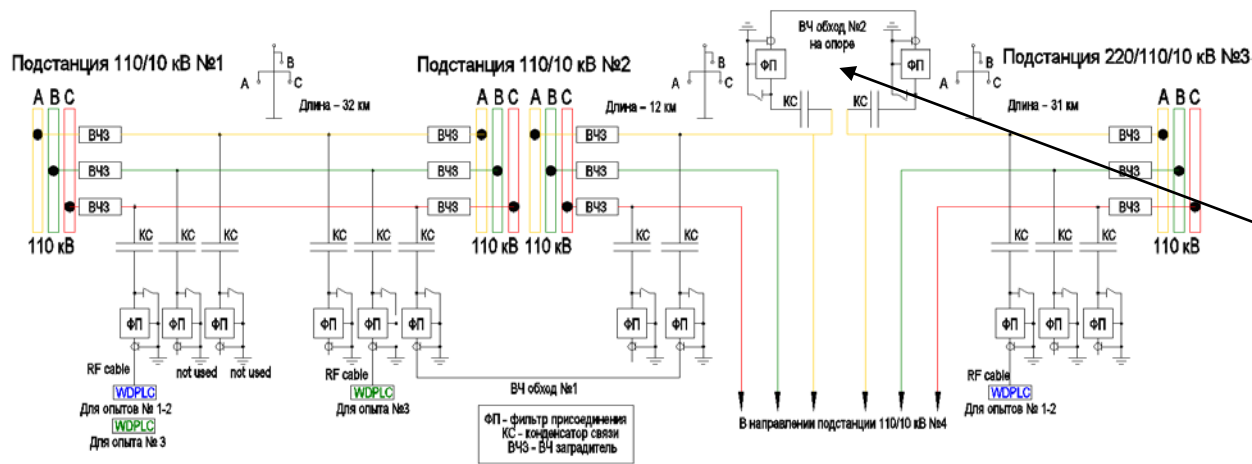
- Задать исходные данные по для расчета АЧХ ВЧ тракта по ЛЭП, предполагаемой для организации W-DPLC канала
- Определить частоты ВЧ систем, подверженных влиянию
- Определить полосы частотных окон и защитных интервалов
- Рассчитать затухание ВЧ тракта и определить возможное расположение ассиметричных частот передачи
- Рассчитать достижимую скорость передачи ЦП, используя график спектральной эффективности модема.

$$\tilde{N}_{plc} = \sum_{i=1}^N \left(\Delta f_{car} \cdot R_{car(i)} \right)$$

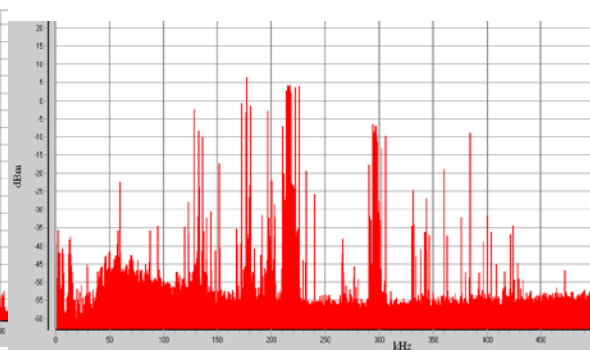


Практика. Испытания W-DPLC канала

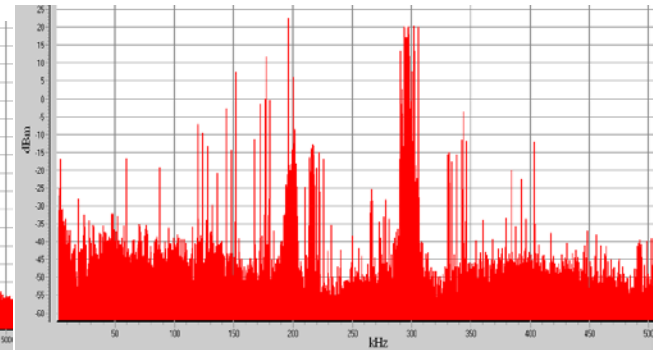
- Схема ВЧ каналов. ЛЭП 110 кВ, 75 км, 2 ВЧ обхода, 1 отпаечная линия



Панорама спектра ПС1



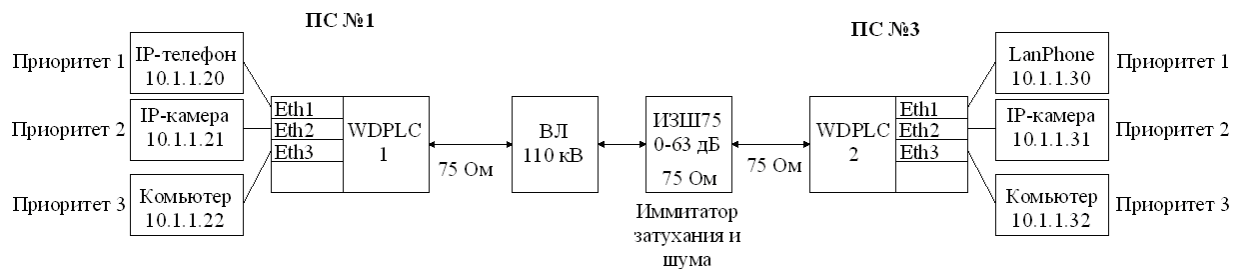
Панорама спектра ПС2



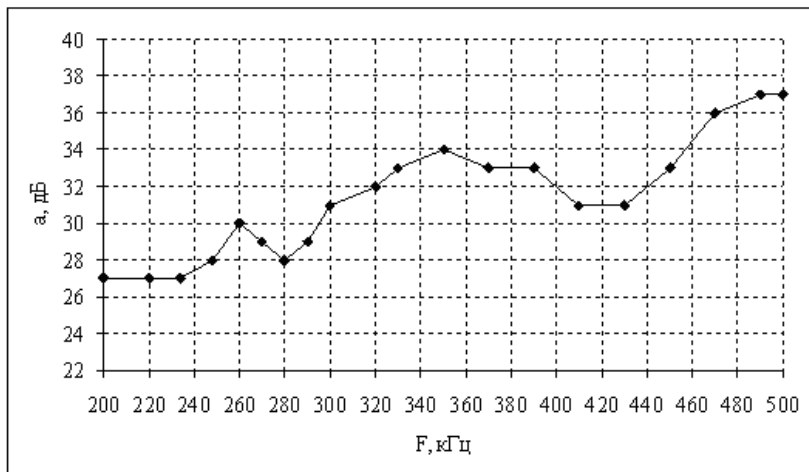
Панорама спектра ПС3

Практика. Испытания W-DPLC канала.

Схема соединения оборудования



Затухание ВЧ тракта



W-DPLC оборудование PowerLink IP



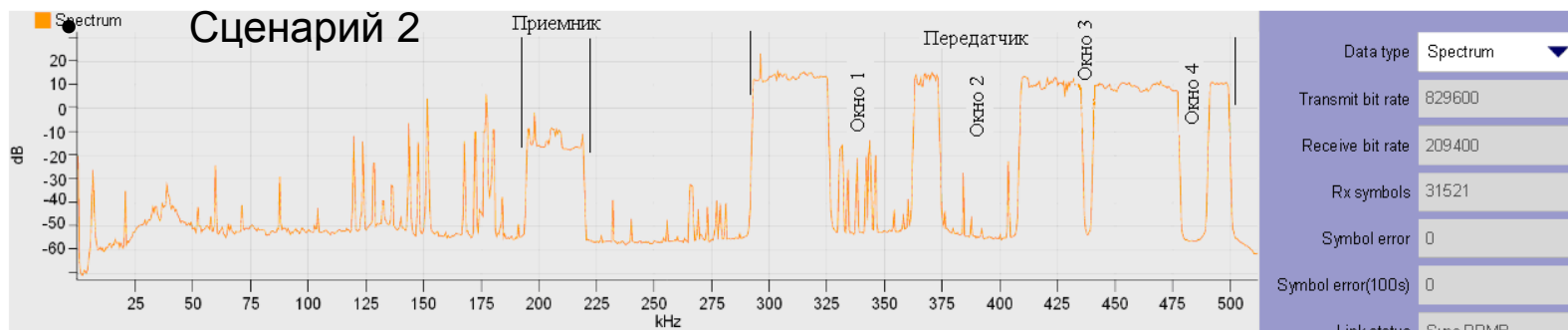
Практика. Испытания W-DPLC канала.

Сценарий 1



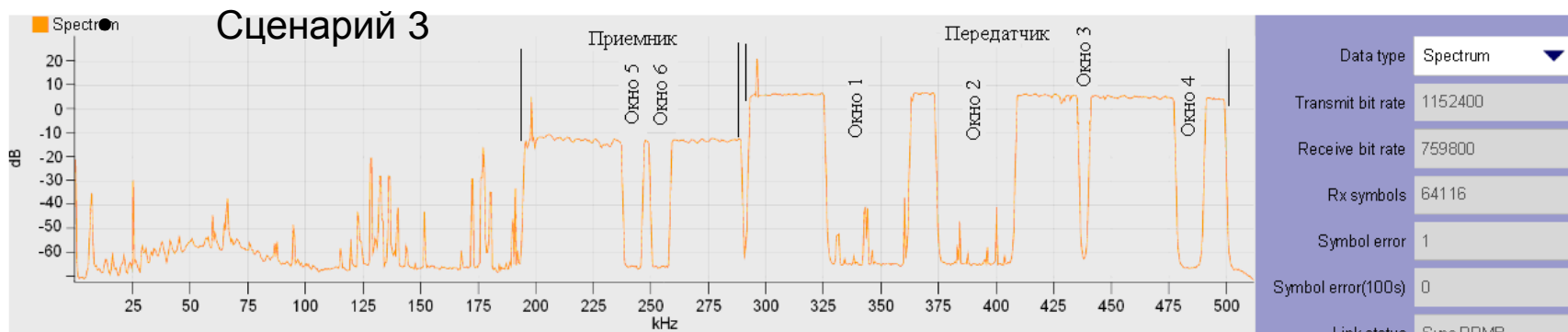
Рабочие полосы передачи устройств настроены на частоты 210-220 кГц (передатчик на ПС №1) и 290-306 (передатчик на ПС №3) кГц. Панорама частот на стороне ПС 3 показана текущем на слайде. Без дополнительного затухания в сторону ПС №1 скорость передачи составила 116 кбит/с (ОСШ на ПС №1 – 40 дБ), в сторону ПС 3 – 108 кбит/с. При внесении дополнительного затухания 10 дБ скорость передачи в сторону ПС №1 составила 80 кбит/с (ОСШ на ПС №1 – 26 дБ), 20 дБ – 48 кбит/с (ОСШ на ПС №1 – 19,0 дБ), 30 дБ – 16 кбит/с (ОСШ на ПС №1 – 5 дБ). Перекрываемое затухание составило более 60 дБ.

Практика. Испытания W-DPLC канала.



- Полосы рабочих частот расширены до значений 26 кГц в сторону ПС 3: 194–220 кГц и до 208 кГц в сторону ПС 1: 292–500 кГц. Причём в полосе 292–500 кГц были настроены четыре частотных окна 326–364 кГц, 374–408 кГц, 436–440 кГц, 478–490 кГц. ВЧ оборудование, работающее в полосе частот 180–228 кГц на соседней подстанции, на время проведения испытаний было отключено. Строго говоря, в полосе 456-472 кГц требовалось ещё одно окно, в этих частотах работают 4 канала, 12-канальной системы Z-12, пилотные сигналы которых видны на панораме частот на текущем слайде. Данных о влиянии WDPLC-системы на работу системы Z-12 нет.
- Без дополнительного затухания в сторону ПС 1 скорость передачи информации составила почти 830 кбит/с (ОСШ на ПС 1 – 21 дБ), в сторону ПС 3 – более 209 кбит/с. При увеличении затухания наблюдалось следующее: при дополнительном затухании 10 дБ скорость передачи в сторону ПС 1 составила 400 кбит/с (ОСШ на ПС 1 – 12 дБ), 15 дБ – 300 кбит/с (ОСШ на ПС 1 – 5,0 дБ), 20 дБ – 140 кбит/с (ОСШ на ПС 1 <3 дБ), 25 дБ – 60 кбит/с (ОСШ на ПС 1 <3 дБ). Оборудование вычисляет среднее значение ОСШ для всех несущих частот, при большом затухании при ОСШ меньше 3 дБ отображается значение <3 дБ.

Практика. Испытания W-DPLC канала.



Третий опыт проведён на ВЛ между ПС 2 и 1 при подключении ЦВЧ оборудования в параллельном пролёте фаза «А» – Земля, фаза «В» – Земля. Затухание ВЧ тракта на этой линии составило всего 8-10 дБ. Полоса частот передачи от ПС 2 в сторону ПС 1 была неизменной, как в опыте 2. Полоса передачи от ПС 1 к ПС 2 была увеличена до 96 кГц – 192–290 кГц, при двух частотных окнах 238–246 кГц и 250–258 кГц. В итоге скорость передачи ЦП от ПС 2 составила 1,15 Мбит/с (ОСШ на ПС 1 – 38 дБ), а в противоположном направлении 759 кбит/с (ОСШ на ПС 2 – 42 дБ).

Практика. Испытания W-DPLC канала.

- Во всех опытах оценивалось качество речи голосовой связи VoIP. Для передачи речи использовались IP-телефоны LAN 201, которые могут работать в режиме Peer-to-Peer, то есть звонить друг другу без регистрации в АТС. Качество речи можно назвать отличным, за счёт того, что аппаратная задержка WDPLC-оборудования менее 20 мс, общая задержка передачи при 3-х речевых кадрах вокодера G.729 в одном VoIP-пакете составила около 70 мс, прерываний или искажений речи при разговоре не было. Тест по передаче файлов между двумя компьютерами также был успешно выполнен.
- Также были проведены опыты по передаче видеосигнала IP-видеокамер с использованием WDPLC-оборудования. Следует отметить, что передача видеосигналов через ЦВЧ каналы перспективна для использования на удалённых необслуживаемых подстанциях, например, для визуального контроля состояния высоковольтного оборудования. В наших опытах при определённых настройках камеры – сжатие CIF, при частоте кадров 3 кадра в секунду, видеосигнал успешно передавался при скорости ЦП 80 кбит/с при параллельной сессии VoIP с использованием внутри WDPLC-оборудования сжатия заголовков IP-пакетов ROHC.
- Также проводились опыты по передаче видео с большей скоростью. В направлении ПС 1 – ПС 3 (опыт 2) видео передавалось с IP-видеокамеры со скоростью 600 кбит/с, сжатие H.264 с разрешением D1 (720×480 пикселей), 20 кадров в секунду. Качество цветного видео было хорошим с чётким изображением картинки. При проведении опыта 3 видеосигнал от IP-видеокамер передавался в обоих направлениях между ПС 2 и ПС 3.



Заключение

- Появление WDPLC-систем является новой ступенью в развитии техники ВЧ связи и такие системы имеют хорошие перспективы для использования в сетях связи электроэнергетических компаний.
- Дальнейшим развитием тематики предполагается решение задач по организации разветвленных ЦВЧ сетей, по высвобождению частотного ресурса диапазона частот ВЧ связи, построению систем связи на основе DMT-модемов также для сетей среднего напряжения 6–10 кВ.

Книга «Цифровые каналы высокочастотной связи»

- Авторы: А.Г. Меркулов, Ю.П. Шкарин, С.Е. Романов, В.А. Харламов, Ю.В. Назаров. Издательство «Горячая линия-Телеком» - 2019, 240с

