ПОДКОМИТЕТ РНК СИГРЭ ПО ТЕМАТИЧЕСКОМУ НАПРАВЛЕНИЮ D2

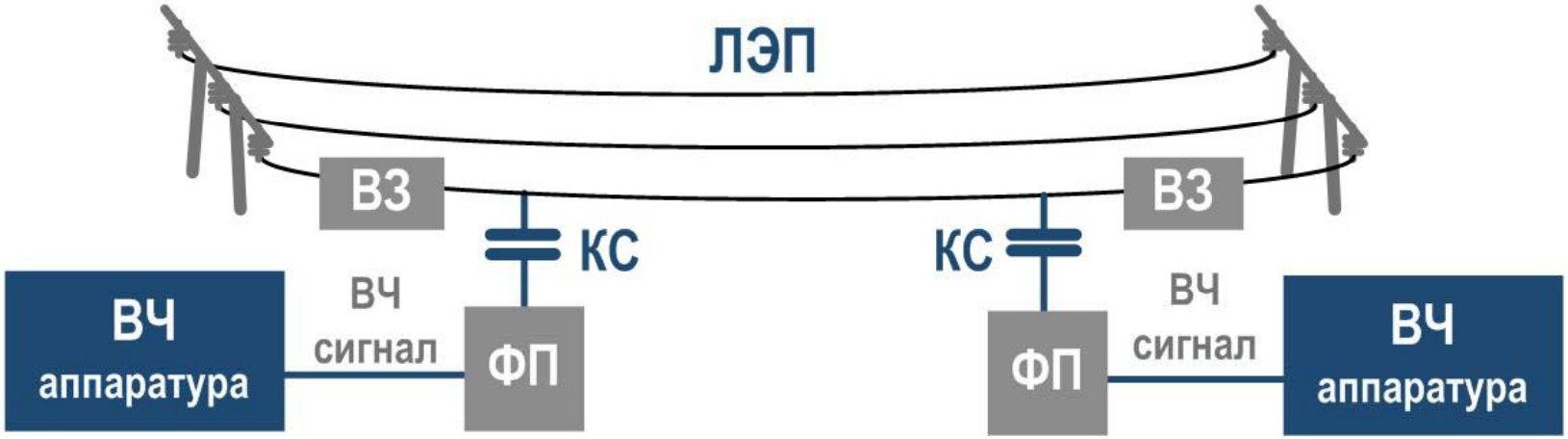
«ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ»

СЕМИНАР «АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ РОССИИ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ С УЧЕТОМ МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА СИГРЭ»

Современные цифровые системы ВЧ связи по ЛЭП 35 кВ и выше: состояние и направления развития

25 ИЮНЯ 2015 г., МОСКВА

ВЧ КАНАЛЫ ПО ЛЭП 35 КВ И ВЫШЕ В РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ



Традиционные **ВЧ** каналы в диапазоне частот 20…1000 кГц по **ЛЭП** 35 кВ и выше

- каналы для систем **РЗА**
- диспетчерские и технологические телефонные каналы
- низкоскоростные каналы **ТМ** (100…1200 бит/с)

Для **ВЧ** каналов характерны

- высокая надежность и безопасность
- дешевизна, полная собственность энергопредприятий
- быстрота развертывания
- минимальное время устранения неисправностей **ЛЭП**

КАНАЛЫ СВЯЗИ В СИСТЕМАХ РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ СЕГОДНЯ

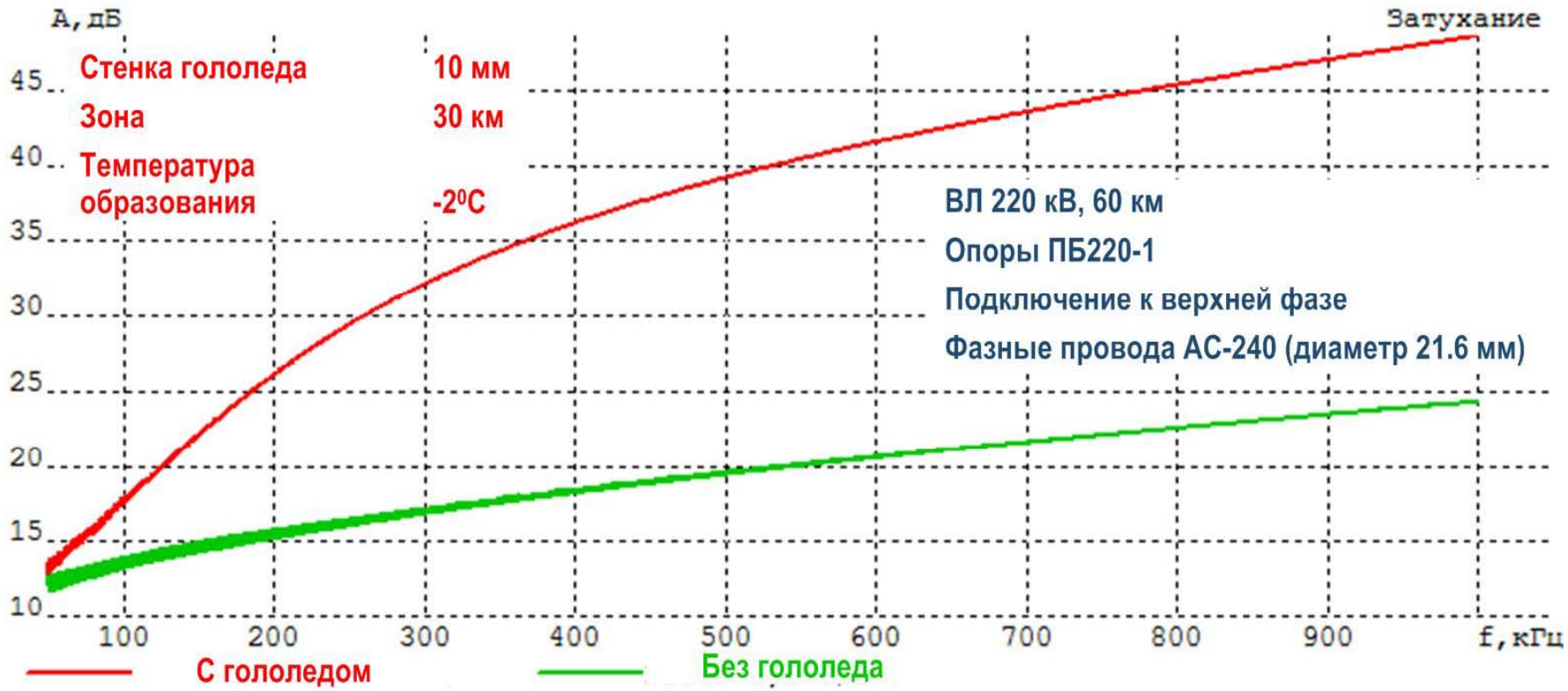
ИНЖИНИРИНГ ЮНИТЕЛ

- Диспетчерская и технологическая телефонная связь
- Системы РЗА (РЗ, РА, ПА и т.д.)
- Автоматизированные технологические системы (АСТУ, АСДУ, АСДТУ, АСУ ТП, АИИС КУЭ, ССПТИ и т.д.)
- Корпоративные информационные системы управления (КИСУ)
- Комплексные автоматизированные системы управления безопасностью (КАСУБ)
- и другие

Общая тенденция – увеличение доли **IP** трафика в корпоративных и технологических системах электроэнергетики

Вопрос – возможность использования **ВЧ** каналов в современных системах

ПАРАМЕТРЫ ВЧ ТРАКТОВ: РАБОЧЕЕ ЗАТУХАНИЕ



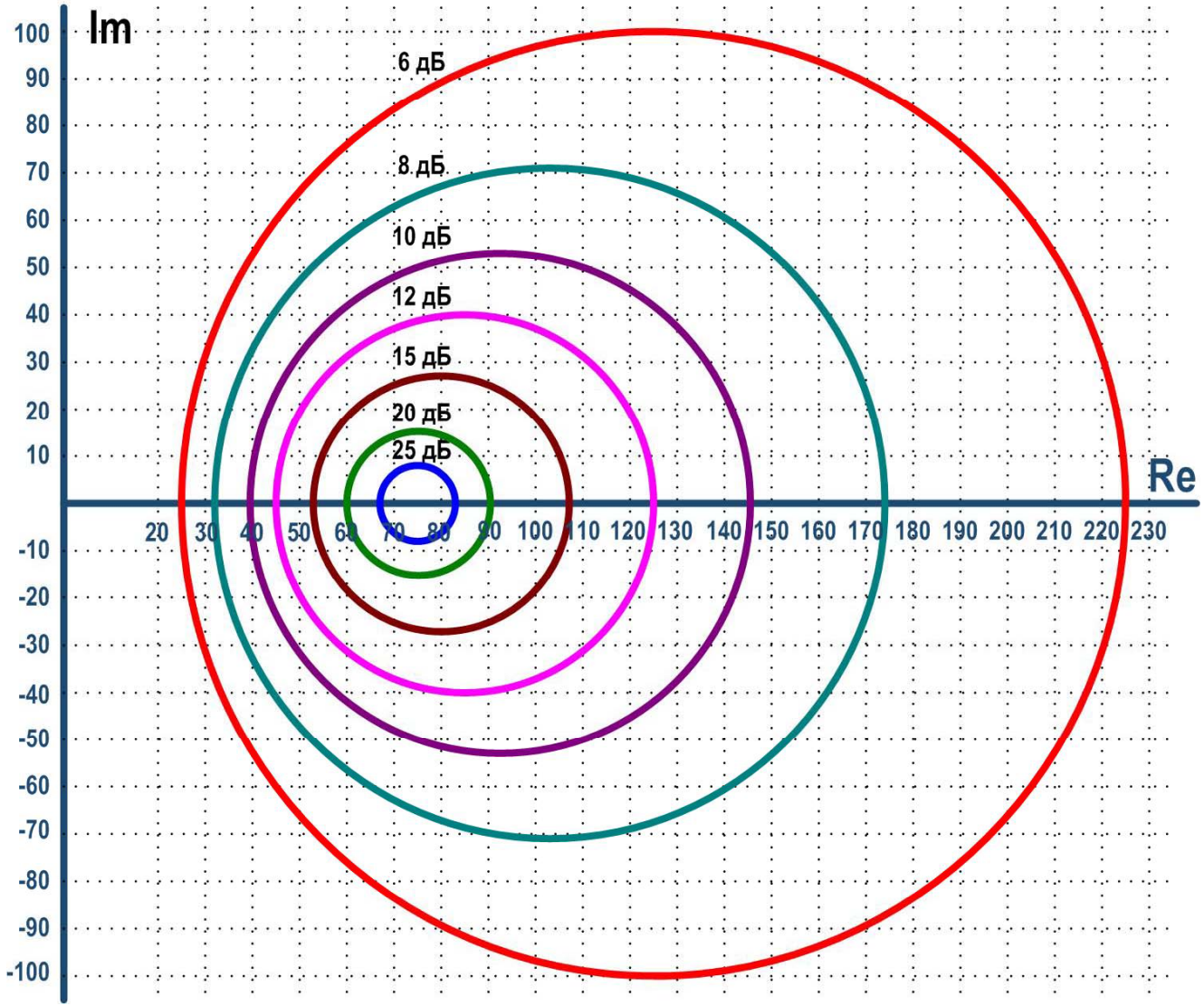
Рабочее затухание **ВЧ** тракта может быть рассчитано

- по приближенным методикам (**СТО 56947007-33.060.40.052-2010**. Методические указания по расчету параметров и выбору схем высокочастотных трактов по линиям электропередачи 35-750 кВ переменного тока, **СТО 56947007-33.060.40.045-2010**. Руководящие указания по выбору частот высокочастотных каналов по линиям электропередачи 35, 110, 220, 330, 500 и 750 кВ)
- по точным методикам (например, программа **WinTrakt**)

ПАРАМЕТРЫ ВЧ ТРАКТОВ: ПОМЕХИ

Тип помехи	Уровень относительно принимаемого ВЧ сигнала	Длительность
Непрерывные	***Могут быть рассчитаны***	
Шум от частичных разрядов исправных изоляторов	Низкий, меняется во времени	Постоянно
Шум от коронирования фазных проводов на **ВЛ** 110 кВ и выше	Низкий, меняется во времени	Постоянно
Сторонние **ВЧ** и радио каналы	Зависит от мощности стороннего передатчика и механизма влияния	Зависит от мешающего канала
Импульсные	***Трудно предсказуемые***	
Разряд молнии	Высокий	10 ... 1000 мс
Короткое замыкание начало горение дуги	 Высокий Средний	 2 ... 20 мс 100 мс
Коммутация выключателя	Высокий	5 ... 20 мс
Коммутация разъединителя	Высокий	500 ... 10000 мс

ПАРАМЕТРЫ ВЧ ТРАКТОВ: ЗАТУХАНИЕ НЕСОГЛАСОВАННОСТИ



Затухание несогласованности окончания **ВЧ тракта**

$$A_{НС} = 20 \cdot \lg\left(\left|\frac{Z+75}{Z-75}\right|\right)$$

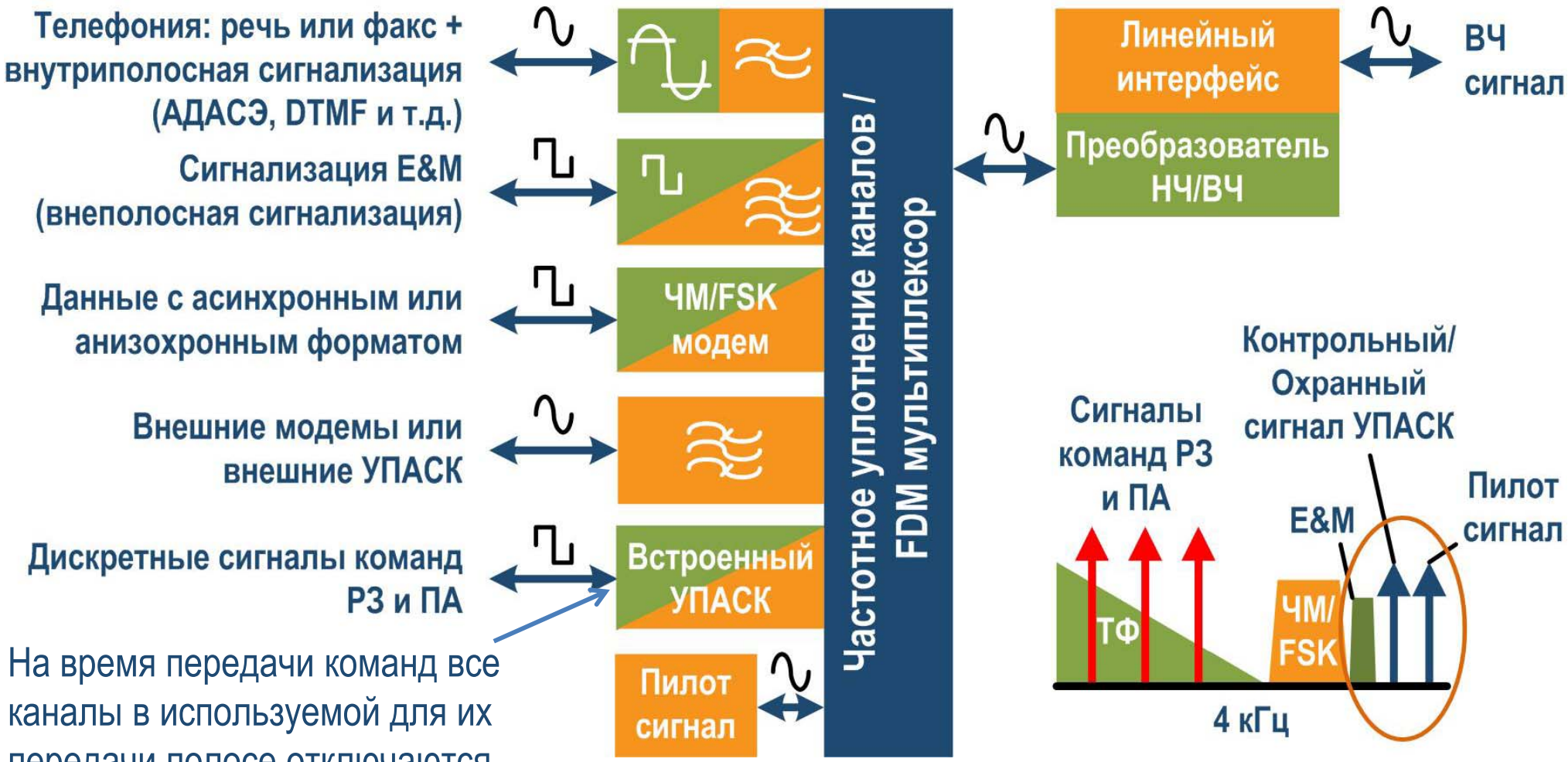
Z – сопротивление окончания **ВЧ тракта** (комплексная величина),

75 Ом – номинальное сопротивление окончания ВЧ тракта

Низкое $A_{НС}$ – нагрев усилителя мощности и интермодуляция

Затухание несогласованности неравномерно в полосе **ВЧ канала** (идеальное согласование с **ЛЭП** невозможно) и изменяется с течением времени

АРХИТЕКТУРА АППАРАТУРЫ АНАЛОГОВЫХ ВЧ КАНАЛОВ (АВЧ/APLC) СОГЛАСНО МЭК 62488-1



На время передачи команд все каналы в используемой для их передачи полосе отключаются

В **ВЧ** аппаратуре пилот-сигнал может быть

- объединен с контрольным/охранным сигналом встроенных **УПАСК**
- модулирован для передачи **E&M** сигнализации и/или служебных данных

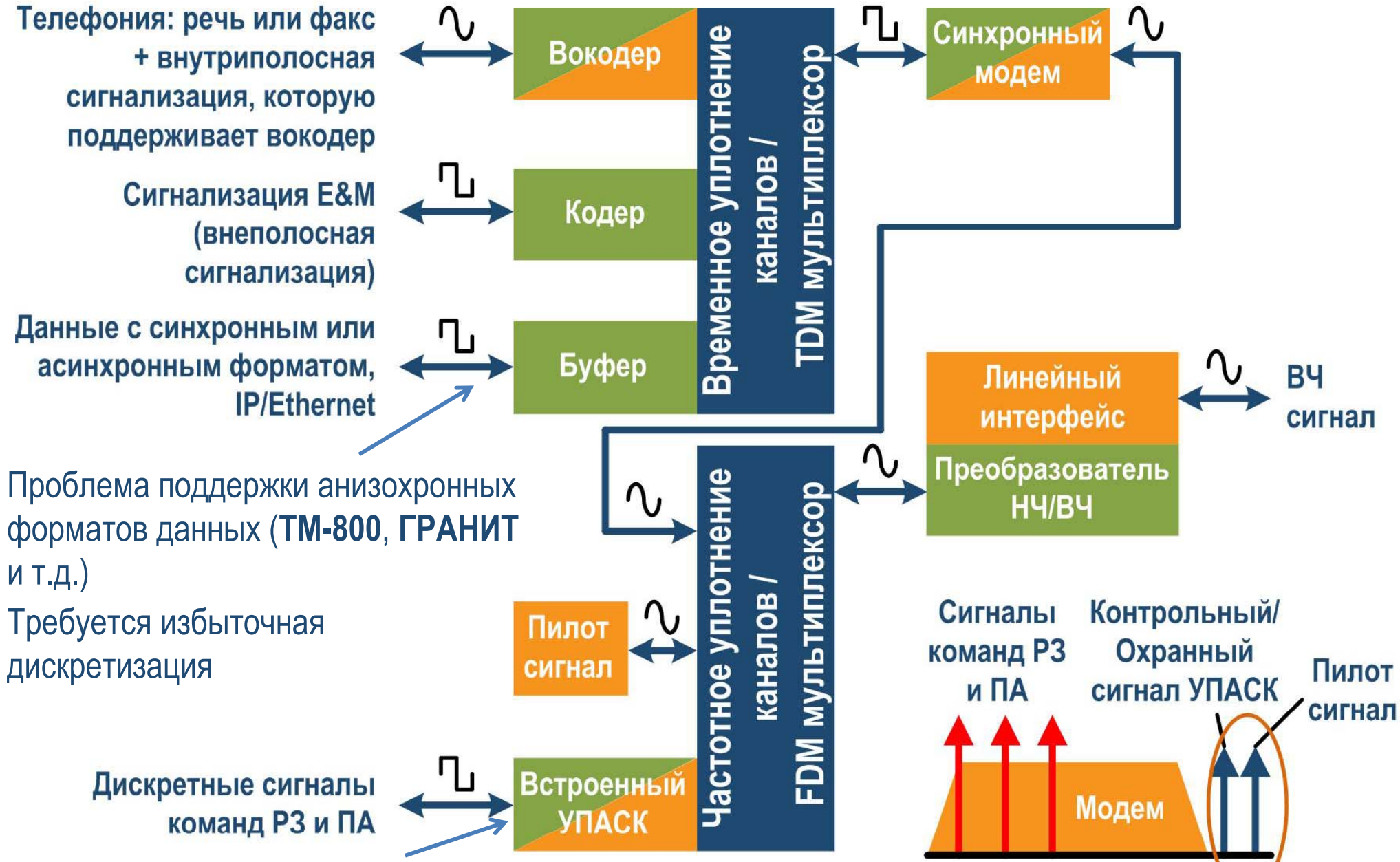
Аналоговые телефонные и НЧ каналы

+ Небольшая задержка (достижимо порядка 10 мс)
+ Позволяют использовать внешние модемы
+ Поддерживают все виды внутриполосной сигнализации, в том числе **АДАСЭ**
+ Большое число переприемов без существенных нелинейных искажений
- Неэффективное использование доступной полосы

Модемы ТМ с частотной манипуляцией (ЧМ/FSK)

+ Высокая помехозащищенность (**BER**=10^{-6} при **SNR** около 15 дБ в полосе сигнала)
+ Небольшая задержка (достижимо 10-20 мс)
+ Быстрое восстановление после прерываний канала
+ Поддерживают как асинхронные форматы данных (например, согласно **ГОСТ Р МЭК 60870-5-101**), так и анизохронные форматы в протоколах **ТМ-800**, **ГРАНИТ** и им подобных)
- Малая скорость передачи данных (100…1200 бит/с), что делает практически невозможным их использование для передачи **IP** трафика

АРХИТЕКТУРА АППАРАТУРЫ ЦИФРОВЫХ ВЧ КАНАЛОВ (ЦВЧ/DPLC) СОГЛАСНО МЭК 62488-1

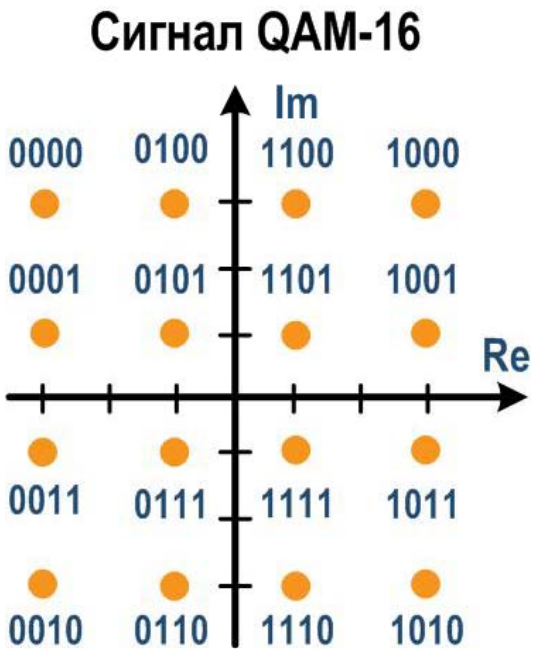


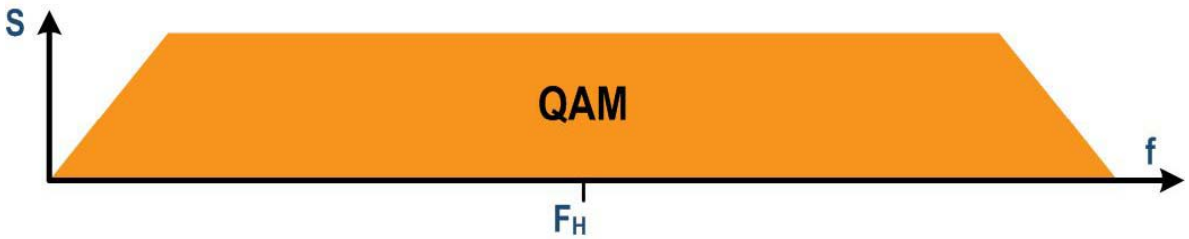
Проблема поддержки анизохронных форматов данных (**ТМ-800**, **ГРАНИТ** и т.д.)

Требуется избыточная дискретизация

На время передачи команд сигналы **ЦВЧ** модема прерываются

МОДУЛЯЦИЯ В ЦВЧ МОДЕМАХ: КАМ/QAM С ОДНОЙ НЕСУЩЕЙ ЧАСТОТОЙ



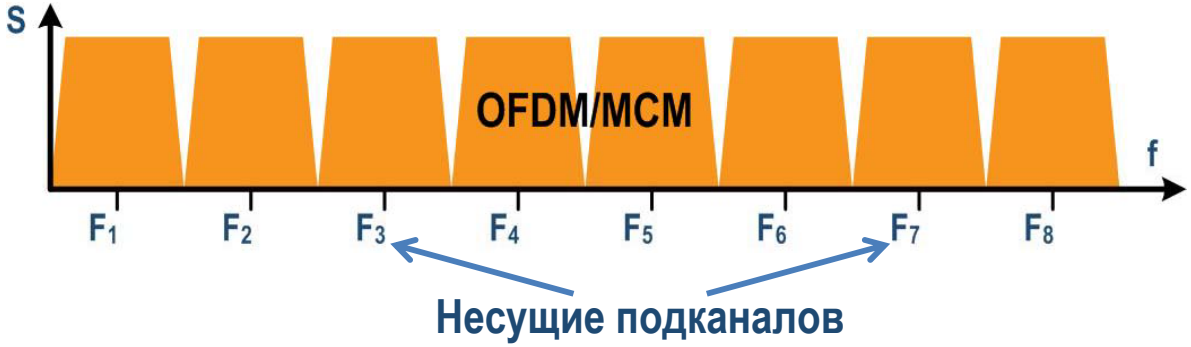


КАМ/QAM

+ Простота реализации
+ Высокая спектральная эффективность (бит/с/Гц)
+ Низкое отношение пиковой мощности сигнала к действующей (достижимо 3…4 дБ)

+ Небольшая задержка (десятки мс), но больше, чем в **ЧМ/FSK** модемах
- Меньшая помехозащищенность по сравнению с **ЧМ/FSK**
- Большое время восстановления после прерывания канала
- Чувствительна к отраженным сигналам, возникающим на **ЛЭП** (ответвления и т.д.) и искажающим частотную характеристику тракта → Требуется сложный эквалайзер
- Чувствительна к узкополосным помехам, импульсному шуму и «короне» → Требуется специальная сложная обработка для уменьшения их влияния

МОДУЛЯЦИЯ В ЦВЧ МОДЕМАХ: OFDM/MCM С НЕСКОЛЬКИМИ НЕСУЩИМИ ЧАСТОТАМИ

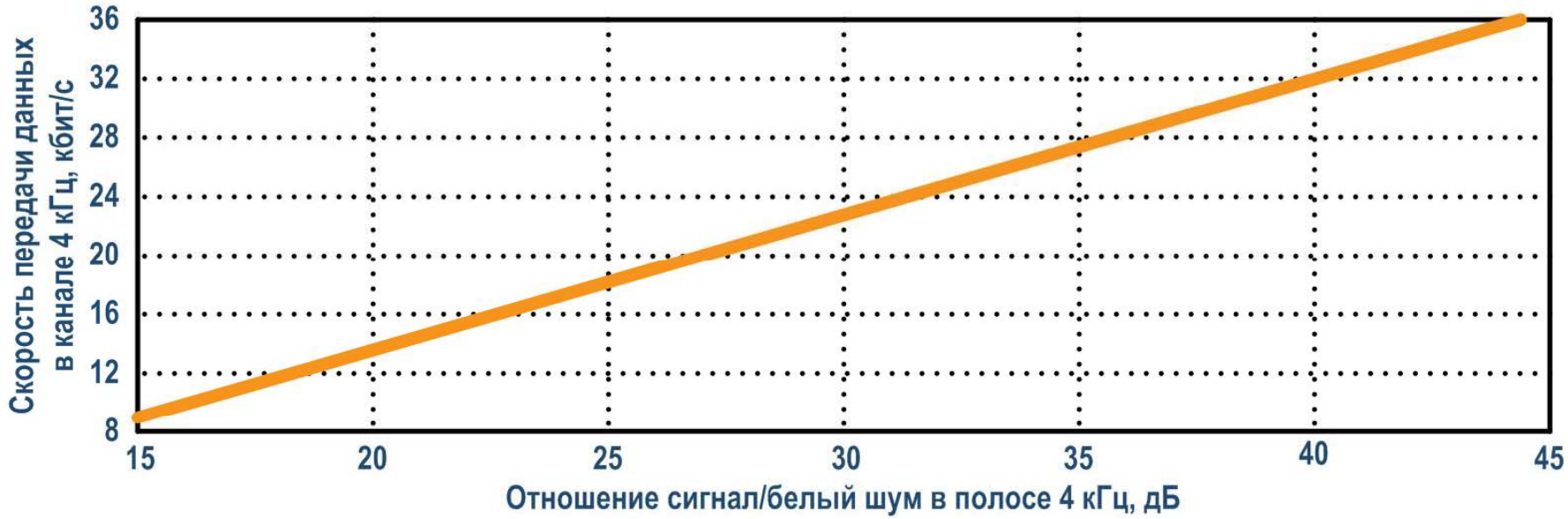


OFDM/MCM

- Сложность реализации
+ Высокая спектральная эффективность (бит/с/Гц)

- Высокое отношение пиковой мощности сигнала к действующей (порядка 10 дБ)
- Меньшая помехозащищенность по сравнению с **ЧМ/FSK**
- Большое время восстановления после прерывания канала
- Большая задержка (при полосе канала 4 и 8 кГц может достигать сотен мс)
+ Устойчива к отраженным сигналам, возникающим на **ЛЭП** и искажающим частотную характеристику тракта → Не требуется сложный эквалайзер
+ Устойчива к узкополосным помехам за счет возможности отключения пораженных помехой подканалов
+ Устойчива к импульсным помехам и «короне»
- Чувствительна к сдвигу частоты
- Чувствительна к фазовому шуму

ЦВЧ КАНАЛЫ: СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ



Сложность обеспечения высокой скорости в **ЦВЧ** канале с полосой 4 кГц (24 кбит/с при отношении сигнал/белый шум 32 дБ), для увеличения скорости требуется более широкая полоса **ЦВЧ** канала, что не всегда осуществимо на практике

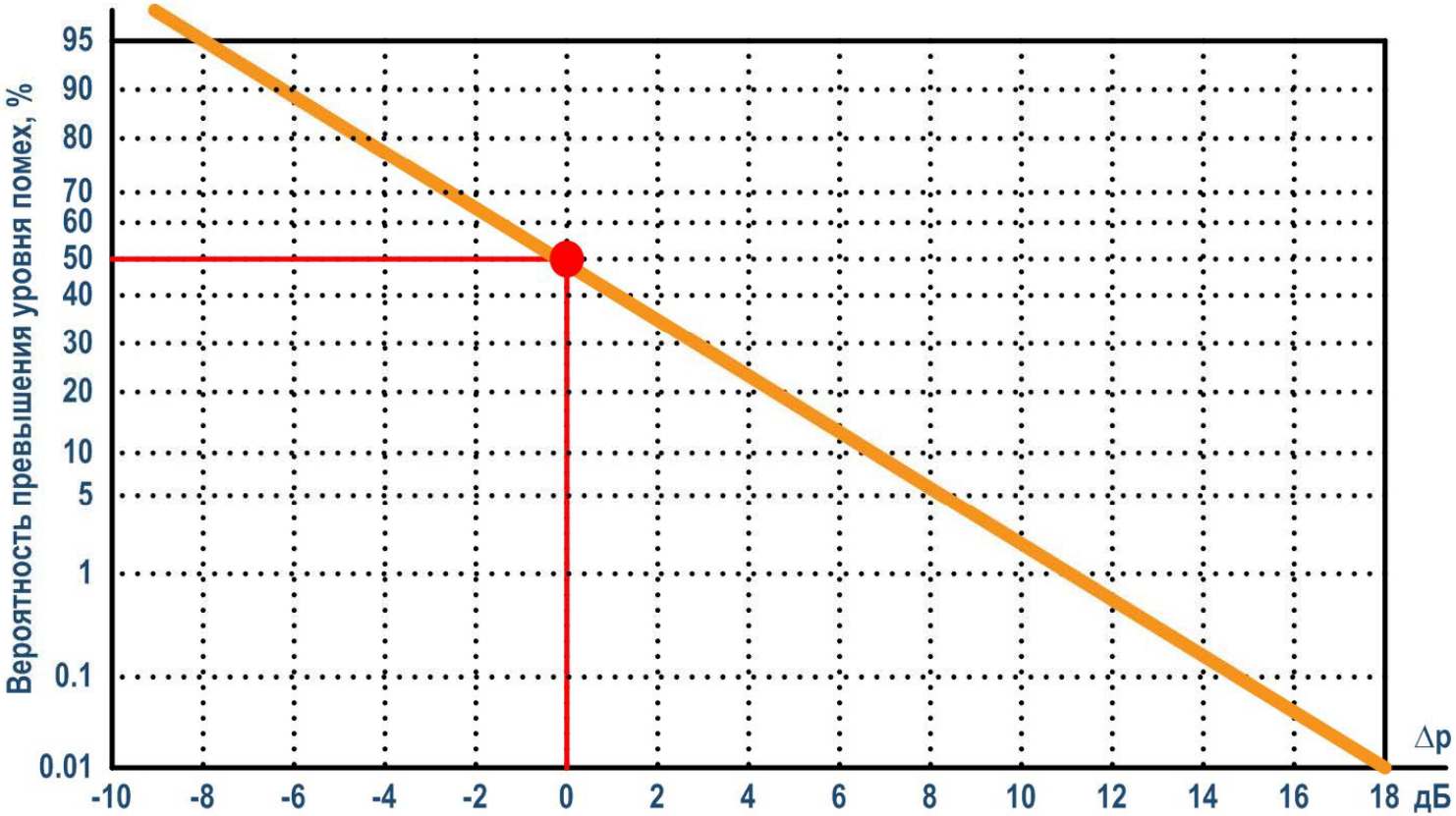
Нестационарная природа помех от «короны» увеличивает требуемое отношение сигнал/шум по сравнению с белым шумом на 5…7 дБ в зависимости от реализации **ЦВЧ** аппаратуры и напряжения **ЛЭП**

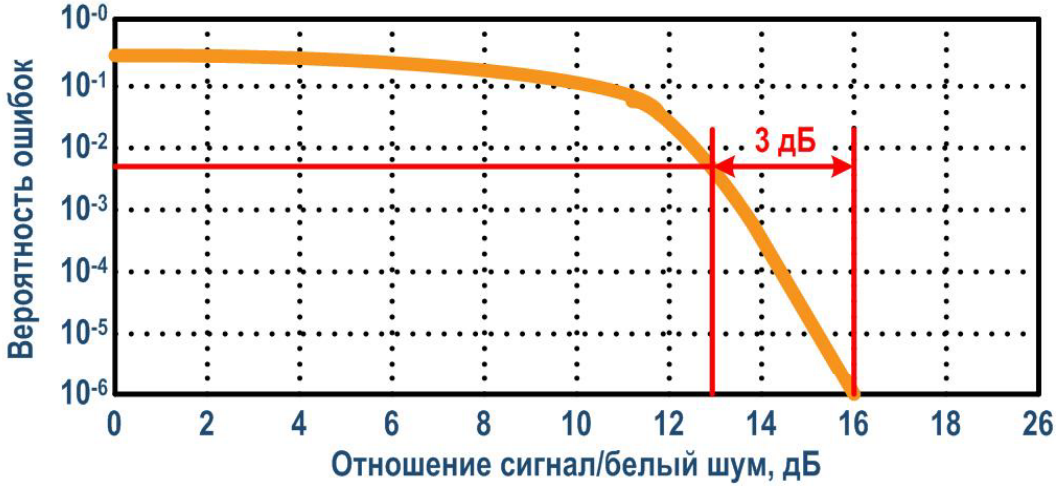
Отказ **ЦВЧ** каналов при приращении затухания при **КЗ** на **ЛЭП** (при схеме подключения «фаза-земля» нормируемое приращение затухания при однофазном **КЗ** – 22 дБ)

ЦВЧ КАНАЛЫ: КОЭФФИЦИЕНТ ГОТОВНОСТИ

При проектировании **ЦВЧ** каналов используется уровень помех с 50% вероятностью его превышения (слабый дождь)

Нормируемый запас в 9 дБ обеспечивает коэффициент готовности около 0.97 (сильный дождь)

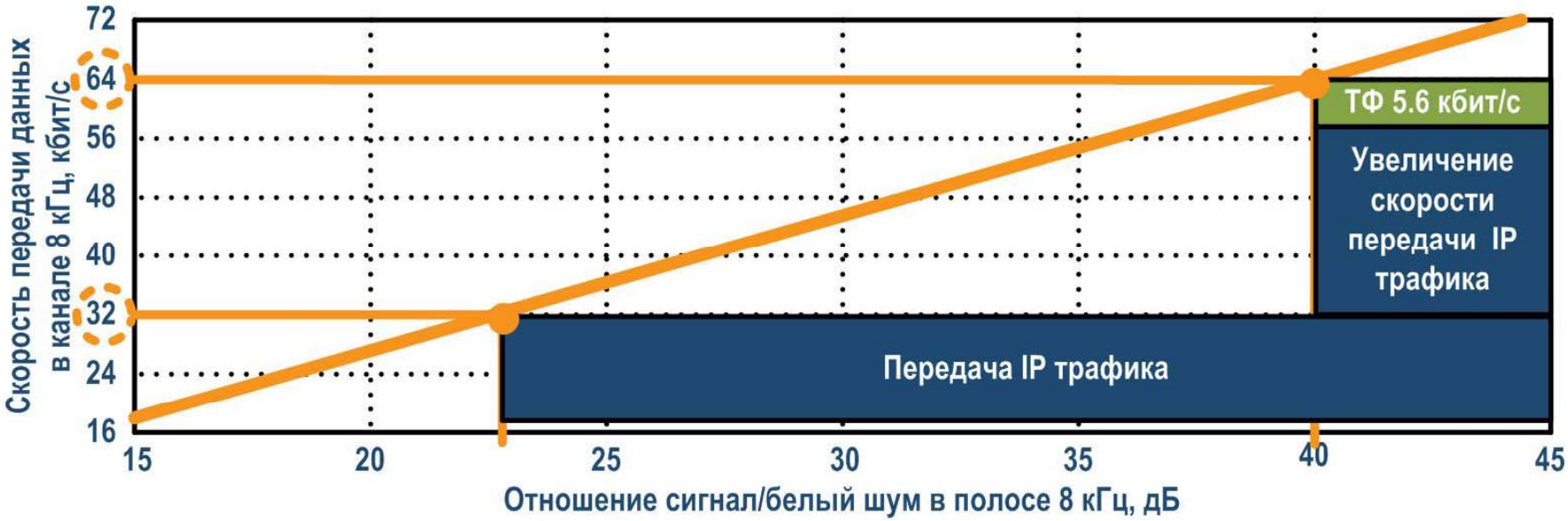




Для обеспечения коэффициента готовности **ЦВЧ** канала 0.99-0.995 необходим запас порядка 11-12 дБ

Требуется изменение существующих методик проектирования **ВЧ** каналов

ЦВЧ КАНАЛЫ: АДАПТАЦИЯ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ



При фиксированной скорости в **ЦВЧ** канале существует риск потери всех каналов из-за неблагоприятных погодных условий или гололедно-изморозевых отложений

Адаптация скорости **ЦВЧ** каналов

- Включение/Отключение низкоприоритетных телефонных каналов и каналов передачи данных
- Увеличение/Уменьшение скорости в каналах передачи данных, например, в **Ethernet** каналах

ЦВЧ КАНАЛЫ: ОБЛАСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

При построении систем с использованием **ЦВЧ** каналов необходимо учитывать

- ограничения по скорости передачи данных и задержку
- отказ каналов из-за увеличения затухания **ВЧ** трактов при **КЗ** на **ЛЭП** и прерывание передачи данных в следствие воздействия больших импульсных помех или изменения коммутационного состояния **ЛЭП**

Увеличение полосы **ЦВЧ** каналов позволяет увеличить скорость передачи данных и уменьшить задержку

Прерывания **ЦВЧ** каналов при импульсных помехах и отказ при **КЗ** на **ЛЭП** делают крайне затруднительным их использование в быстродействующих **on-line** системах при необходимости обеспечения высокого коэффициента готовности, например, в системах **РЗА**

Не существует неустранимых ограничений для использования **ЦВЧ** каналов в системах, где не требуется высокое быстродействие, и в **off-line** системах, например, для скачивания архивов из регистраторов событий

ЦВЧ КАНАЛЫ: ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ IP ТРАФИКА

IP для передачи данных в технологических системах электроэнергетики часто обладает большой избыточностью

Реализация в аппаратуре **ЦВЧ** каналов алгоритмов сжатия **IP** заголовков может существенно повысить их пропускную способность, что крайне важно, учитывая сложность обеспечения высокой скорости передачи данных

- Метод сжатия заголовков **TCP/IP** Ван Якобсона (**RFC 1144**) позволяет уменьшить 40 байтный заголовок до 3-4 байт в общем случае (существенное повышение эффективности передачи данных по протоколу **ГОСТ Р МЭК 60870-5-104**)
- Метод **Robust Header Compression** (**ROHC**) позволяет уменьшить заголовки **UDP/IP** и **RPT/UDP/IP** до 1…3 байт (повышение эффективности передачи речи и видео)

Реализация в аппаратуре **ЦВЧ** каналов функций маршрутизации позволяет исключить передачу по **ЦВЧ** каналу с ограниченной полосой нежелательного стороннего **IP** трафика и обеспечить приоритизацию данных в **IP** трафике при адаптации скорости **ЦВЧ** канала

Указанная функциональность может быть реализована как в самой **ВЧ** аппаратуре, так и во внешнем маршрутизаторе, подключаемом к ней, например, по интерфейсу **X.21**

ЦВЧ КАНАЛЫ: ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

На канальном уровне

- Съем информации затруднителен, т.к. производители аппаратуры **ЦВЧ** каналов используют собственные нестандартные методы модуляции и схемы мультиплексирования в **ЦВЧ** модемах
- Сложность вывода из строя **ЦВЧ** каналов методами радиоэлектронной борьбы, т.к. для этого требуются большие мощности передатчиков

Упростить обеспечение **ИБ** на уровне оборудования и систем позволяет

- Исключение удаленного доступа с правами управления (для эксплуатации и технического обслуживания **ЦВЧ** каналов он не обязателен)
- Физическое разнесение в **ЦВЧ** аппаратуре портов управления, мониторинга и передачи данных
- Как правило, реализация **ЦВЧ** аппаратуры без использования операционных систем
- Как правило, нестандартные схемы организации служебных и управляющих каналов в **ЦВЧ** аппаратуре, что усложняет несанкционированный доступ

ПОДКЛЮЧЕНИЕ К КЛ 35 КВ И ВЫШЕ

Характеристическое сопротивление **КЛ** 35 кВ и выше составляет 20…50 Ом →
Требуются специальные нестандартные **ФП**

Оценка $$Z_{КЛ} = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon_r}} \cdot \lg\left(\frac{D}{R}\right)$$

R – диаметр проводника,

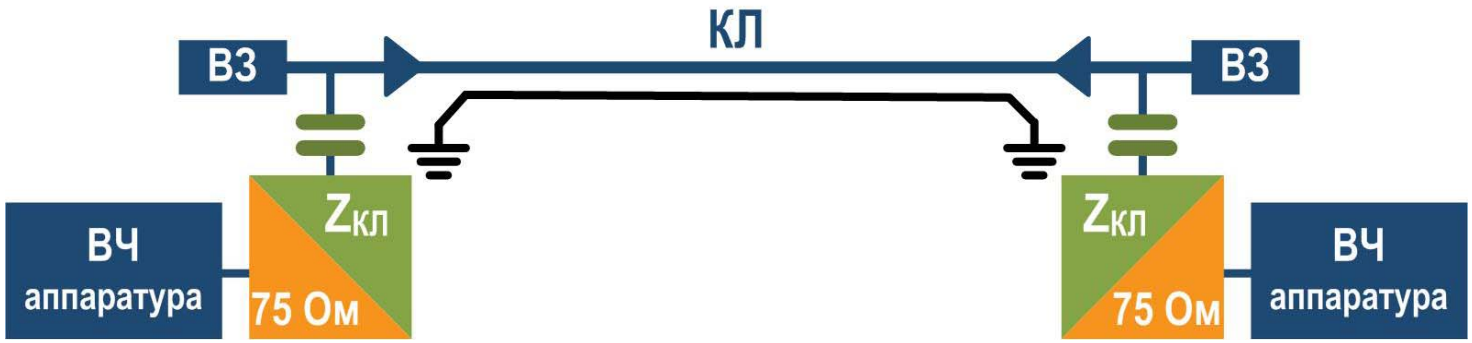
D – внутренний диаметр экрана,

ε_r – диэлектрическая проницаемость внутренней изоляции

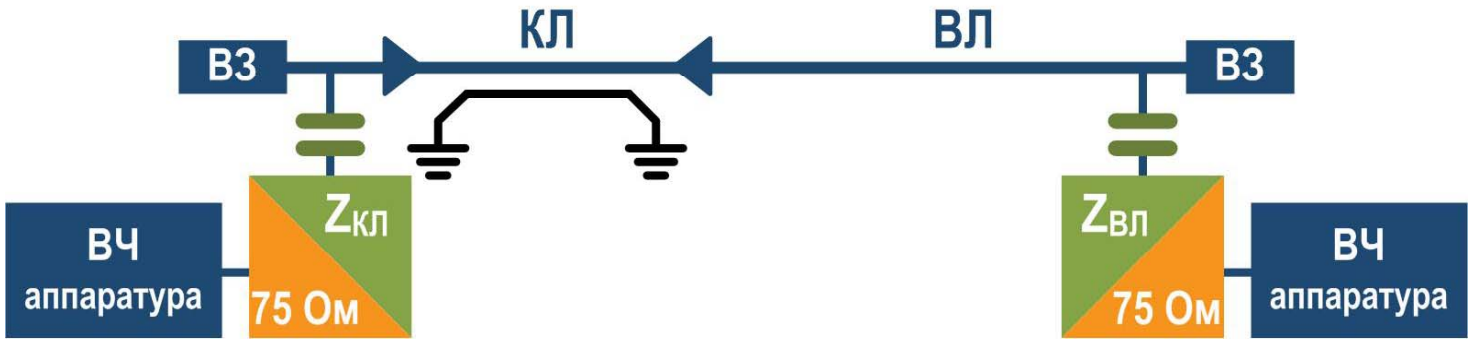
При подключении к **КЛ** с использованием стандартных **ФП** для **ВЛ** с сопротивлением 240…450 Ом со стороны **ЛЭП**

- Увеличение затухания **ВЧ тракта**
- Большая неравномерность частотных характеристик как затухания, так и **ГВП** из-за наличия стоячих волн **ВЧ** сигнала в **КЛ**
- Сопротивление **ВЧ** тракта будет существенно отличаться от 75 Ом (низкое затухание несогласованности), что приведет к работе усилителей мощности **ВЧ** аппаратуры во внештатном режиме (недопустимо большой нагрев усилителя, возникновение внутри и внеполосных интермодуляционных помех)

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЧ ТРАКТОВ ПО КЛ И ВЛ СО ВСТАВКАМИ КЛ (1)



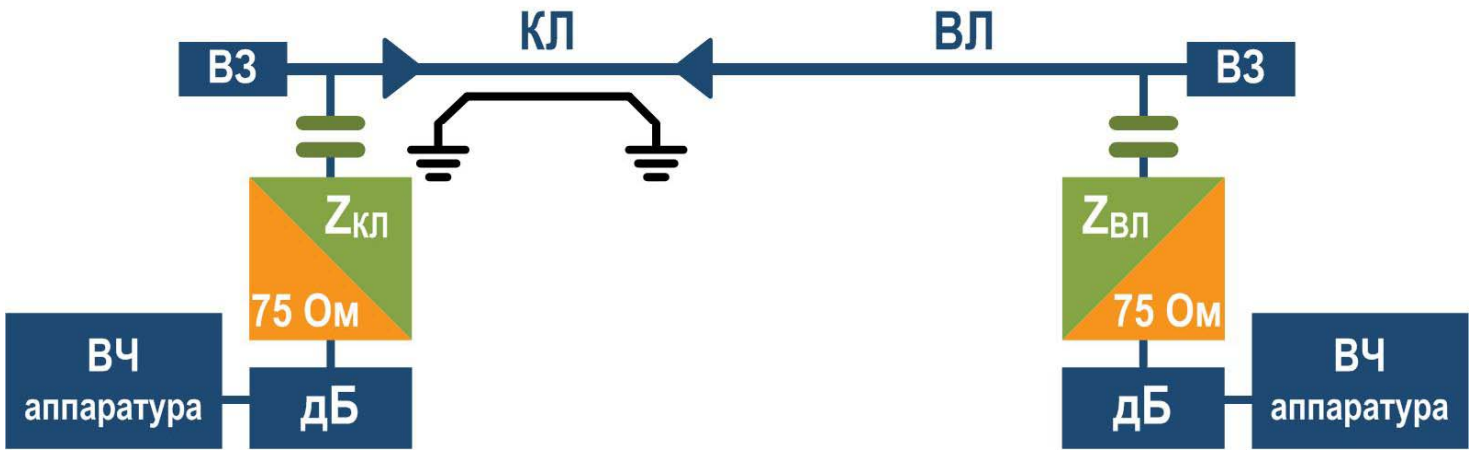
Согласование с **КЛ** обеспечивается использованием нестандартных **ФП** с сопротивлением $Z_{КЛ}$



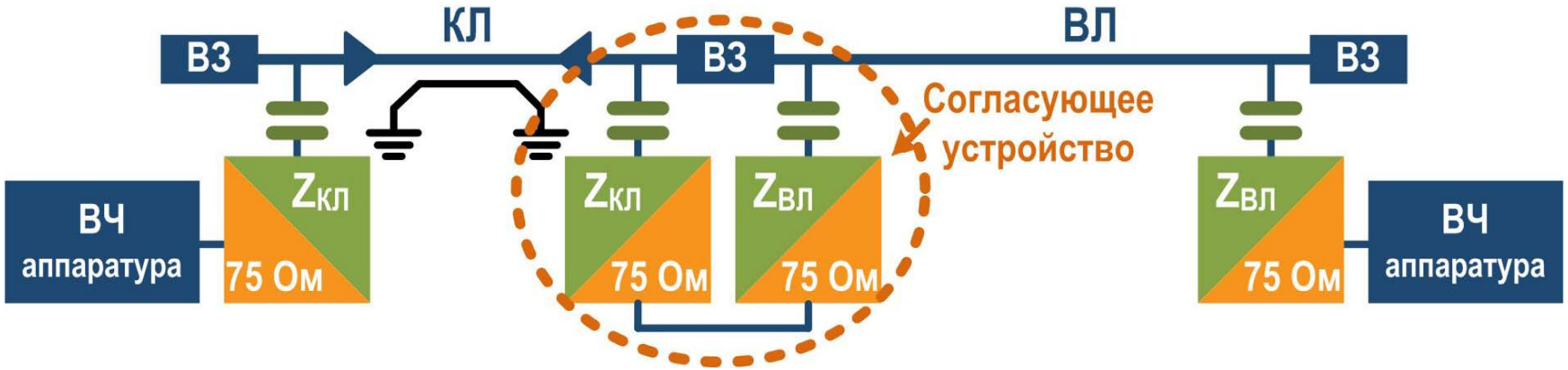
Работоспособное решение, стоячих волн нет, т.к. только одна точка перехода **КЛ/ВЛ**

Недостатки: при коротких длинах **КЛ** и **ВЛ** затухание несогласованности **ВЧ тракта** может быть очень низким; неравномерность частотных характеристик из-за наличия отраженных сигналов

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЧ ТРАКТОВ ПО КЛ И ВЛ СО ВСТАВКАМИ КЛ (2)

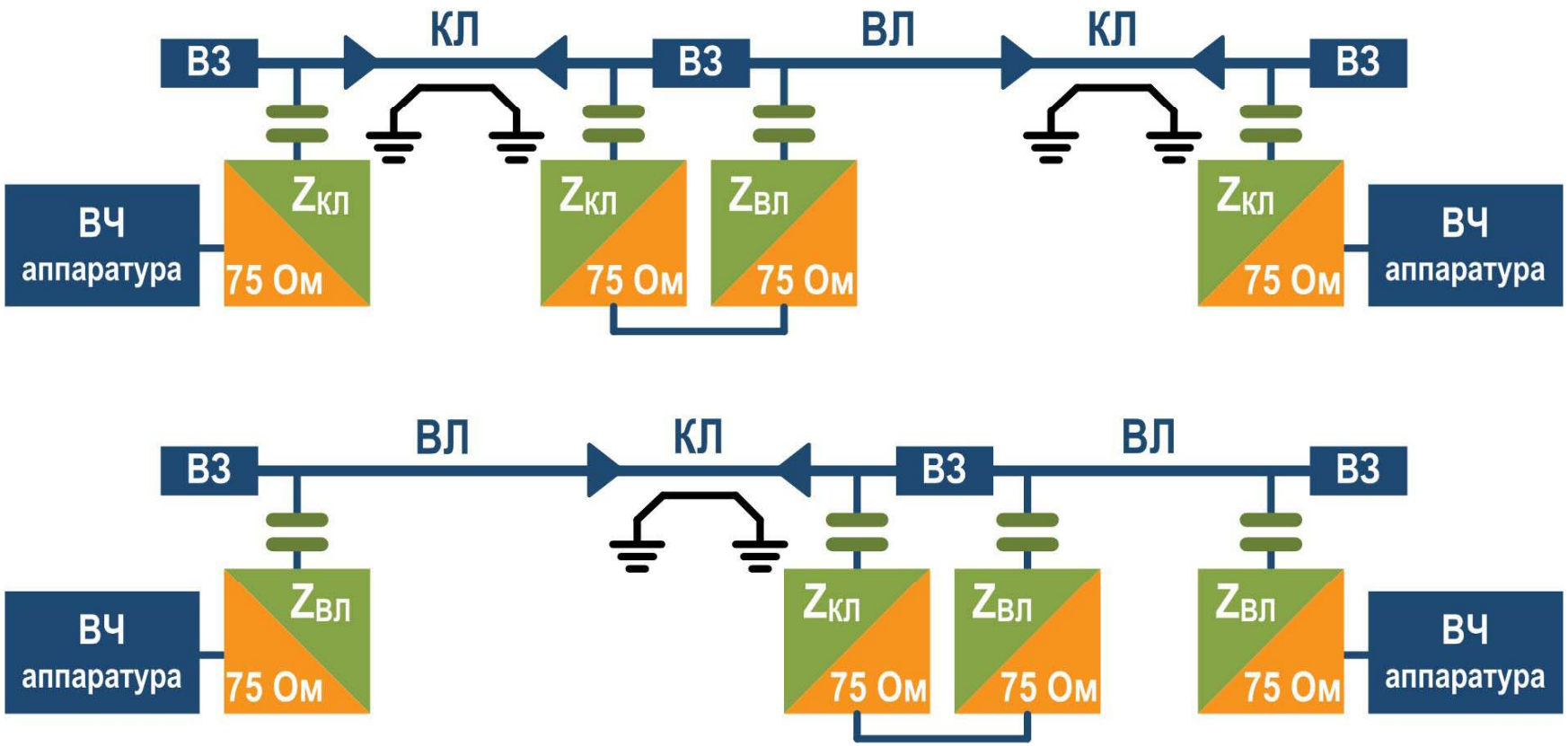


Установка аттенюаторов увеличивает затухание несогласованности вместе с увеличением рабочего затухания **ВЧ тракта**



Решение с минимальным затуханием **ВЧ тракта**, небольшой неравномерностью частотных характеристик и высоким затуханием несогласованности

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЧ ТРАКТОВ ПО КЛ И ВЛ СО ВСТАВКАМИ КЛ (3)

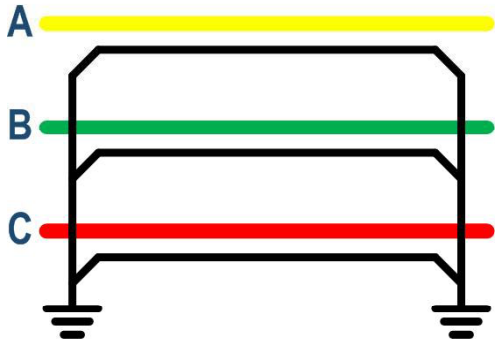


При наличии двух точек перехода **КЛ/ВЛ** необходима установка как минимум одного согласующего устройства для устранения стоячих волн

При установке только одного согласующего устройства может с одной из сторон **ВЧ** тракта может потребоваться установка аттенюатора

Идеальный вариант: установка согласующих устройств на всех переходах **КЛ/ВЛ**

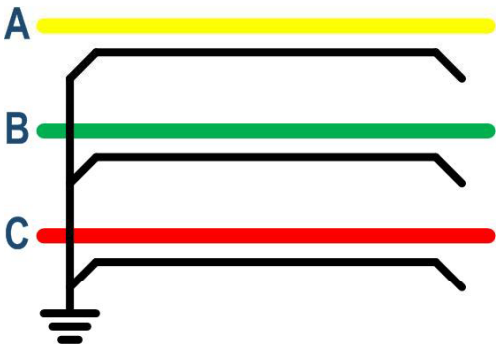
ЗАЗЕМЛЕНИЕ ЭКРАНОВ КЛ



Заземление экранов **КЛ** с двух сторон – наилучшее решение с точки зрения распространения **ВЧ** сигналов

Идеальный случай для организации ЦВЧ каналов

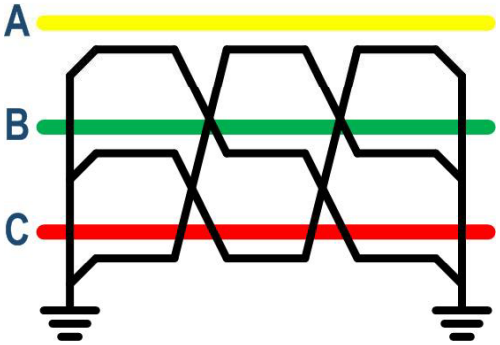
Токи в экранах **КЛ** → потери электроэнергии



Заземление экранов **КЛ** с одной стороны → отсутствие токов в экранах **КЛ**

Пики в частотных характеристиках **ВЧ** трактов и низкое затухание несогласованности

Потенциал на экранах **КЛ** на стороне без заземления



Транспозиция экранов **КЛ** → в идеале отсутствие токов в экранах **КЛ**

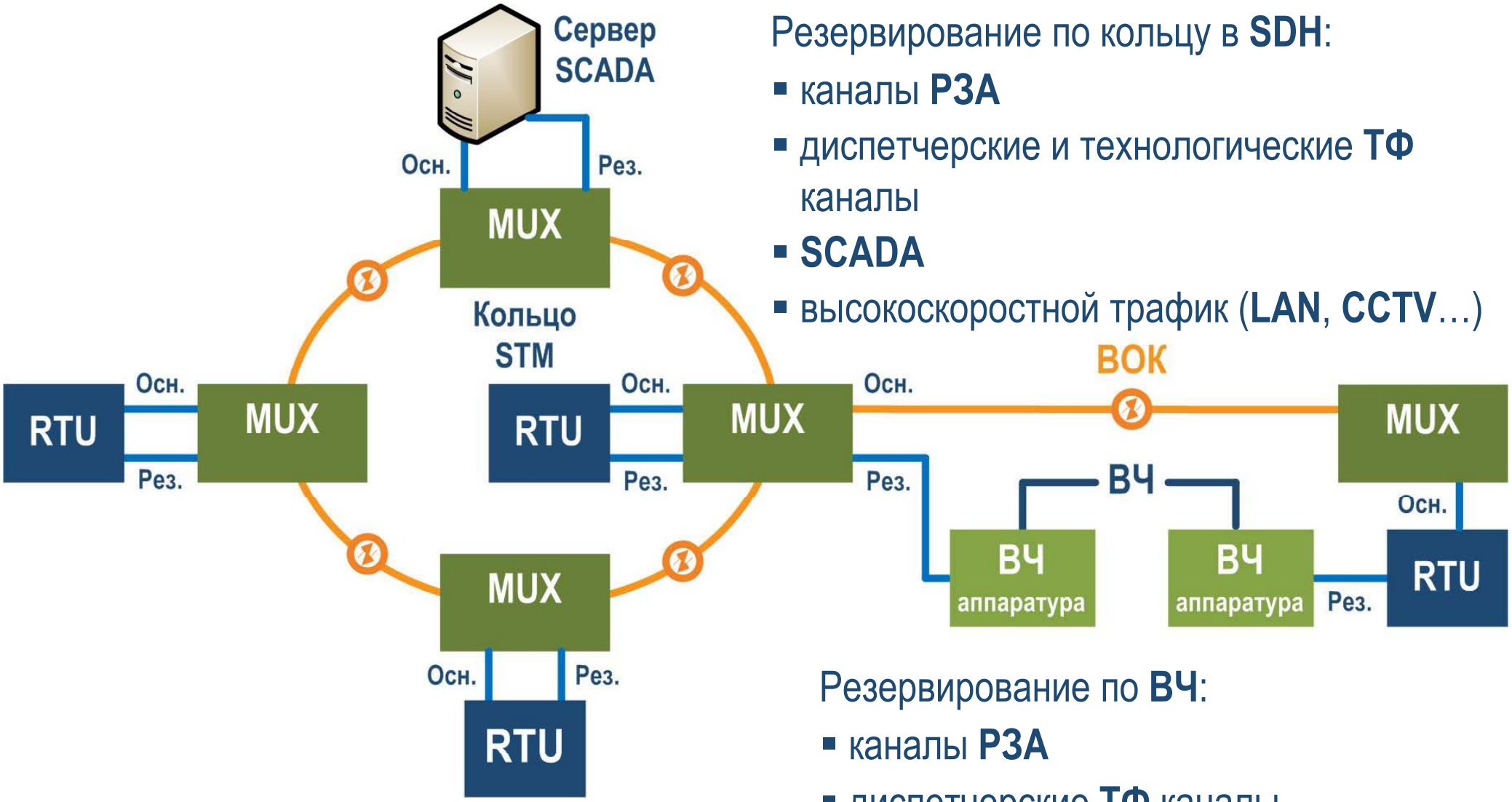
Увеличение числа пиков в частотных характеристиках **ВЧ** тракта по сравнению с заземлением экранов **КЛ** с одной стороны и низкое затухание несогласованности

Сложность организации ЦВЧ каналов из-за больших искажений частотных характеристик, необходимо использовать точные методики расчета ВЧ трактов

ЦВЧ КАНАЛЫ И ЦСПИ ПО ВОК: СРАВНЕНИЕ

	ЦВЧ каналы по ЛЭП		ЦСПИ по ВОК
+	Большая протяженность без ретрансляторов	-	Ограниченная протяженность без ретрансляции (за разумную стоимость)
+	Быстрое устранение неисправностей **ЛЭП**	-	Иногда неопределенно большое время устранения неисправностей **ВОК**
-	Влияние электромагнитных помех на среду передачи сигналов (удары молнии и т.д.)	+	Устойчивость среды передачи сигналов к электромагнитным помехам
+	Использование существующей крайне надежной среды передачи сигналов	-	Потребность в дополнительных инвестициях для прокладки **ВОК**
-	Небольшое число каналов и ограниченная пропускная способность	+	Большое число каналов и высокая скорость передачи данных
-	Большая задержка в каналах	+	Небольшая задержка в каналах
+	Высокая информационная безопасность на уровне каналов и при отсутствии удаленного доступа с правами управления на уровне оборудования и системы	-	Низкая информационная безопасность, как на уровне каналов, так и оборудования, системы и систем управления

ПРИМЕР ОБЪЕДИНЕНИЯ ПРЕИМУЩЕСТВ ТЕХНОЛОГИЙ: РЕЗЕРВИРОВАНИЕ НА ОТВЕТВЛЕНИИ ОТ КОЛЬЦА SDH



Резервирование по кольцу в **SDH**:

- каналы **РЗА**
- диспетчерские и технологические **ТФ** каналы
- **SCADA**
- высокоскоростной трафик (**LAN**, **CCTV**…)

Резервирование по **ВЧ**:

- каналы **РЗА**
- диспетчерские **ТФ** каналы
- **SCADA**
- относительно низкоскоростной трафик

Надежность каналов при резервировании **ЦСПИ** + **ВЧ** выше, чем резервирование по кольцу **STM** в **ЦСПИ**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- При принятии решения о возможности использования **ЦВЧ** каналов в какой-либо системе необходимо учитывать их специфические особенности, которые в том числе зависят от типа **ВЧ** аппаратуры (модуляции в **ЦВЧ** модеме и т.д.)
- Адаптация скорости передачи данных позволяет более эффективно использовать **ЦВЧ** каналы
- Эффективность передачи **IP** трафика по **ЦВЧ** каналам может быть достигнута использованием в них методов сжатия **IP** заголовков и маршрутизации
- Проблемы обеспечения **ИБ** в **ЦВЧ** каналах решаемы простыми методами
- При заземлении **КЛ** с двух сторон нет неустранимых препятствий для организации **ЦВЧ** каналов
- При заземлении **КЛ** с одной стороны или транспозициях их экранов организация **ЦВЧ** каналов затруднительна из-за искажений частотных характеристик (предпочтительней использовать **ЦВЧ** модемы с **OFDM/MCM**)
- Совместное использование **ЦВЧ** каналов и **ЦСПИ** по **ВОК** позволяет нивелировать их недостатки

ЮНИТЕЛ ИНЖИНИРИНГ

В НАШЕМ ЛИЦЕ ВЫ НАЙДЕТЕ НАДЕЖНОГО ПАРТНЕРА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ВАШИХ ЗАДАЧ

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Офис:

111024, Москва, ул. 2-ая Кабельная д.2 стр.1,
Территория завода МКМ
Телефон: +7 (495) 651-99-98
E-mail: info@uni-eng.ru

Производство:

111024, Москва, ул. 2-ая Кабельная д.2 стр.1,
Территория завода МКМ
Телефон: +7 (495) 651-99-98
E-mail: info@uni-eng.ru