



Проблемы при организации цифровых ВЧ каналов по ЛЭП 35 кВ и выше

ООО «Юнител Инжиниринг»

www.uni-eng.ru

ВЧ КАНАЛЫ ТЕЛЕФОНИИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ



Традиционные ВЧ каналы связи и телемеханики с частотным разделением каналов (ЧРК/FDM)

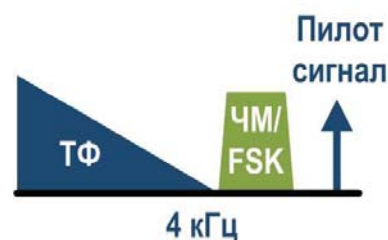
- диспетчерские и технологические телефонные каналы
- низкоскоростные каналы ТМ (100...1200 бит/с)

ВЧ каналы с временным разделением каналов (ВРК/TDM)

- телефонные каналы с использованием вокодеров со скоростью до 16 кбит/с
- относительно высокоскоростные каналы передачи данных (9.6 кбит/с и выше в полосе 4 кГц)

Аналоговые телефонные и НЧ каналы

- + Небольшая задержка (достижимо порядка 10 мс)
- + Позволяют использовать внешние модемы
- + Поддерживают все виды внутрисполосной ТФ сигнализации
- + Переприемы без существенных нелинейных искажений (отсутствие вокодеров)
- Неэффективное использование доступной полосы



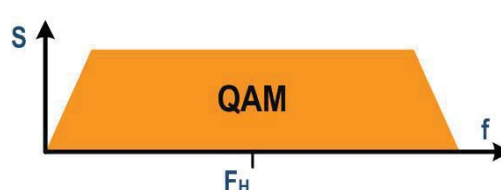
Модемы ТМ с частотной манипуляцией (ЧМ/FSK)

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

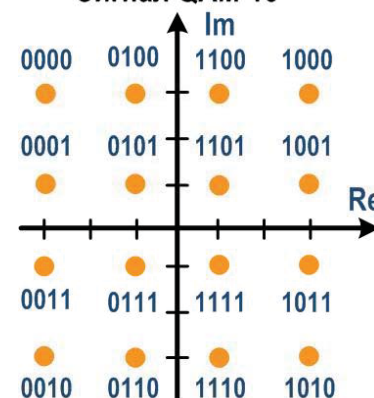
МОДУЛЯЦИИ В ЦИФРОВЫХ ВЧ КАНАЛАХ (ЦВЧ/DPLC): КАМ/QAM И OFDM/MCM

КАМ/QAM

Передача данных – изменение амплитуды и фазы сигнала на одной несущей частоте F_H

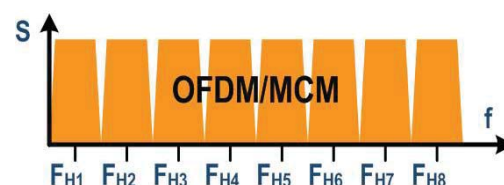


Сигнал QAM-16



OFDM/MCM

Модулированные сигналы на нескольких несущих частотах (несущих подканалов) $F_{H1} \dots F_{HN}$



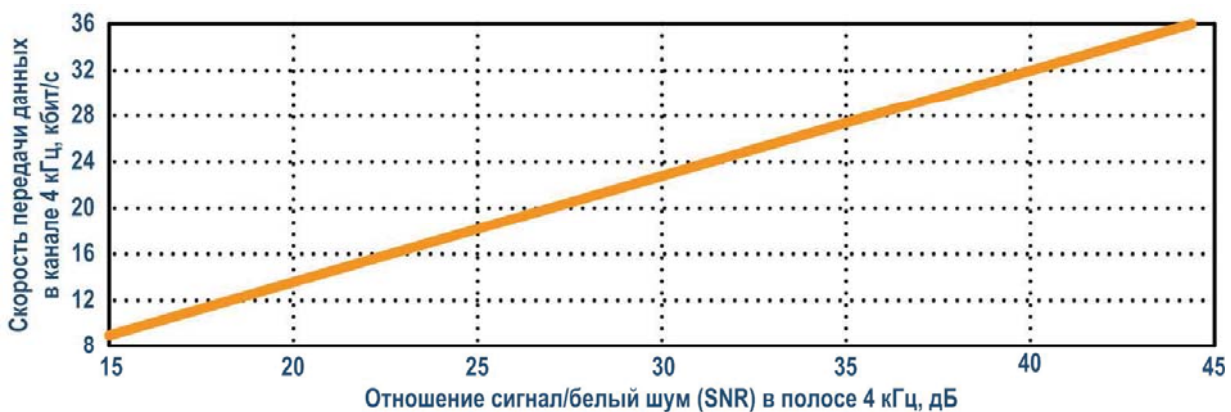
По сравнению с ЧМ/FSK в АВЧ каналах

- Высокая спектральная эффективность
- Большая задержка в каналах
- Большое время восстановления (синхронизации) каналов после прерываний
- Меньшая помехозащищенность
- Проблема поддержки анизохронных форматов данных (ТМ-800, ГРАНИТ и т.д.); требуется избыточная дискретизация, не всегда реализованная в ВЧ аппаратуре

| Параметр | | КАМ/QAM | | OFDM/MCM |
|--|---|---|---|---|
| Реализация | + | Относительно простая | - | Довольно сложная |
| Отношение пиковой мощности сигнала к действующей | + | Достижимо 3...4 дБ | - | Порядка 10 дБ |
| Задержка | + | Десятки мс | - | В полосе 4 и 8 кГц может достигать сотен мс |
| Искажения у ВЧ трактов частотных характеристик затухания и ГВП | - | Не устойчива → Требуется сложный эквалайзер | + | Устойчива → Не требуется сложный эквалайзер |
| Влияние узкополосных помех | - | Большое | + | Малое при отключении подканалов с помехой |
| Влияние импульсных помех и «короны» | - | Большое | + | Меньшее, чем у КАМ/QAM |

К сожалению, ВЧ аппаратура разных производителей поддерживает либо только КАМ/QAM, либо только OFDM/MCM

ЦВЧ КАНАЛЫ: СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ



Сложность обеспечения высокой скорости в ЦВЧ канале 4 кГц (19.2 кбит/с при SNR около 26 дБ для белого шума), увеличение скорости требует более широкой рабочей полосы, что не всегда осуществимо на практике

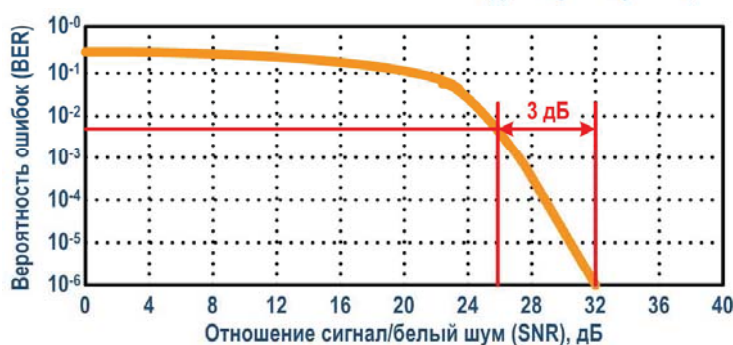
Помехи от «короны» увеличивают требуемое SNR по сравнению с белым шумом на 5...7 дБ в зависимости от реализации ЦВЧ модема и напряжения ЛЭП

Производители приводят данные только для белого шума и действующей мощности сигнала ЦВЧ модема при $BER=10^{-6}$ → **необходим учет при проектировании**

Прямая коррекция ошибок (FEC) в ВЧ аппаратуре может повысить помехозащищенность от «короны» (зависит от реализации ЦВЧ модема)

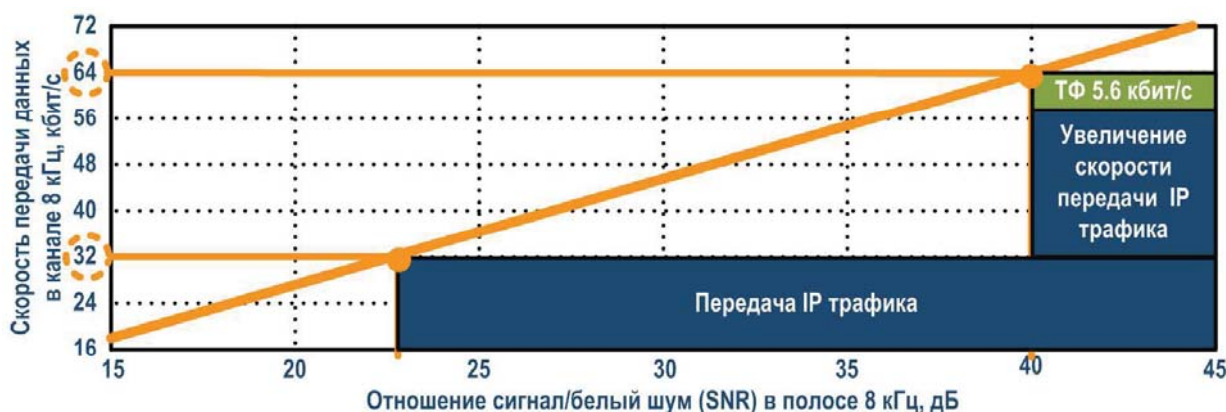
При проектировании ЦВЧ каналов используется уровень помех с 50% вероятностью его превышения (**слабый дождь**)

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 существующей НТД для проектирования ВЧ каналов

ЦВЧ КАНАЛЫ: АДАПТАЦИЯ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ



Фиксированная скорость – риск потери всех мультиплексируемых каналов при неблагоприятной погоде или гололеде

Адаптация скорости ЦВЧ каналов

- Включение/Отключение низкоприоритетных каналов (ТФ и передача данных)
- Увеличение/Уменьшение скорости в каналах передачи данных, например, в Ethernet каналах

Отсутствие в существующей НТД каких-либо норм на коэффициенты готовности включаемых/отключаемых при адаптации каналов

| Параметр | ТФ в АВЧ | ТФ в ЦВЧ | Комментарии |
|---|--|--|---|
| Задержка | Небольшая, достижимо 10 мс | Большая, иногда сотни мс | Большая задержка затрудняет разговор, особенно при возникновении эхо-сигналов в местах переходов 2/4-х проводное окончание (необходимы эхо-компенсаторы) |
| Поддержка внутриканальной ТФ сигнализации и внешних модемов | Поддерживает все типы внутриканальной сигнализации и внешних модемов, сигналы которых лежат в полосе ТФ канала | Поддерживает только те типы сигнализаций и внешних модемов, которые предусмотрены в алгоритмах работы вокодера | При использовании ЦВЧ необходимо обращать внимание на используемую в АТС внутриканальную сигнализацию (возможны проблемы с поддержкой АДАСЭ в ЦВЧ оборудовании зарубежных производителей) |

| Параметр | ТФ в АВЧ | ТФ в ЦВЧ | Комментарии |
|---|--|--|--|
| Влияние помех на качество ТФ канала | SNR выше 35 дБ – шум не ощутим; SNR 26...35 дБ – слышен шум; без «короны» при включенном компандере речь разборчива до SNR около 12 дБ | BER менее 10^{-6} – шум не ощутим; BER 10^{-6} ... 10^{-3} – пропадание слов и фраз, «бульканье» (зависит от типа вокодера); BER выше 10^{-3} – отказ канала | ТФ каналы по АВЧ более устойчивы к SNR менее нормируемого 26 дБ при проектировании; ТФ каналы по ЦВЧ при SNR немного меньше проектной нормы для BER 10^{-6} – существенная потеря качества или отказ |
| Число переприемов по аналоговым интерфейсам | Отсутствие вокодеров → нет нелинейных искажений из-за многократной обработки в них | После 2...3-х переприемов практически полностью теряется разборчивость речи (зависит от типа вокодера) | В ТФ сети с аналоговыми переприемами следует избегать большого числа ТФ каналов по ЦВЧ; запись ТФ по ЦВЧ в регистраторах переговоров → искажения из-за наличия в них вокодеров |

| Параметр | ТФ в АВЧ | ТФ в ЦВЧ | Комментарии |
|---|------------------------------|---|--|
| Возможное прерывание канала длительными импульсными помехами и/или при изменениях коммутационного состояния ЛЭП | Быстрое восстановление связи | Требуется время для синхронизации ЦВЧ модемов, мультиплексоров и вокодеров (может составить десятки секунд) | Нежелательно использовать ТФ по ЦВЧ в качестве каналов диспетчерской связи, т.к. они могут отказать во время коммутаций основного оборудования, т.е. когда данная связь необходима |

- ТФ каналы по АВЧ обладают целым рядом преимуществ по сравнению с ЦВЧ и их использование более предпочтительно (современная ВЧ аппаратура поддерживает параллельную организацию АВЧ и ЦВЧ)



- ТФ каналы по ЦВЧ могут быть использованы при сложностях организации АВЧ каналов, но при этом необходимо учитывать их особенности

ЦВЧ КАНАЛЫ: ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ IP ТРАФИКА

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

Реализация алгоритмов сжатия IP заголовков может существенно повысить пропускную способность ЦВЧ каналов

- Метод сжатия заголовков TCP/IP Ван Якобсона (RFC 1144) позволяет уменьшить 40 байтный заголовок до 3-4 байт → повышение эффективности передачи данных по ГОСТ Р МЭК 60870-5-104
- Метод Robust Header Compression (ROHC) позволяет уменьшить заголовки UDP/IP и RTP/UDP/IP до 1...3 байт → повышение эффективности передачи речи (IP телефонии) и видео

Реализация функций маршрутизации позволяет

- Исключить передачу по ЦВЧ каналу нежелательного стороннего IP трафика
- Обеспечить приоритизацию данных в IP трафике при адаптации скорости

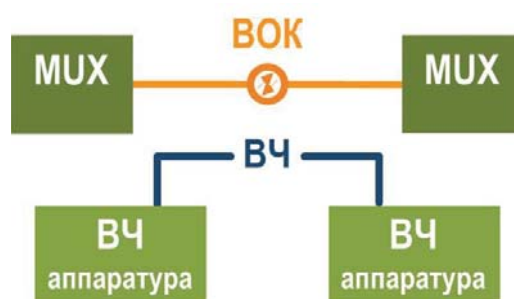
Указанная функциональность может быть реализована как в самой ВЧ аппаратуре, так и во внешнем маршрутизаторе, подключаемом, например, по интерфейсу X.21

В системах с ЦВЧ каналами кроме расчетной скорости передачи данных необходимо учитывать

- Задержку, которая уменьшается с увеличением рабочей полосы (в АКСТ Линия-Ц и ЦВК-16 это не всегда так, т.к. в некоторых конфигурациях в широкой полосе параллельно работают несколько ЦВЧ модемов, что увеличивает общую скорость передачи данных, но не уменьшает задержку в канале)
- Прерывание передачи данных в следствие воздействия больших импульсных помех (грозовые разряды и коммутация основного оборудования) или изменения коммутационного состояния ЛЭП
- Специфику ТФ каналов по ЦВЧ

Сегодня использование ЦВЧ актуально

- При отсутствии ВОЛС
- При необходимости резервирования каналов и невозможности его обеспечения по ВОЛС или другими способами



ЦВЧ КАНАЛЫ: ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ УГРОЗА – СУЩЕСТВУЮЩАЯ МЕТОДИКА ВЫБОРА ЧАСТОТ (1)

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

- 1.3.6 При определении необходимого разнесения частот между каналами **допускается не учитывать влияние передатчиков специализированных каналов ВЧ защиты (в которых сигнал в канале существует только на время блокировки)** на приемники каналов, по которым передаются сигналы речи, данных и телемеханики. Если в специализированном канале ВЧ защиты постоянно передается сигнал контрольной частоты, то влияние передатчиков таких каналов на приемники каналов, по которым передаются сигналы речи, данных и телемеханики должно учитываться

При формировании данной нормы подразумевалось, что пуск передатчиков ДФЗ или НЗ с ВЧБ (АВЗК-80, ПВЗ-90, ПВЗУ-Е и т.д.) происходит в случае КЗ или при контроле канала с периодом около 8 часов

В АВЧ каналах это довольно редко может вызвать

- Кратковременные помехи в ТФ канале
- Возникновение ошибок в каналах ТМ



СТО 56947007-33.060.40.177-2014. Технологическая связь. Типовые технические требования к аппаратуре высокочастотной связи по линиям электропередачи

8 Требования к аппаратуре каналов ВЧ защит

8.11 Должна быть предусмотрена возможность программной установки периодичности контроля на **0,5; 2; 5 часов** с допустимыми отклонениями 5 мин. Возможно также осуществление **непрерывного автоконтроля** канала.

Новая аппаратура каналов **ВЧ** защит поддерживает период автоконтроля 1 мин. (небольшой период автоконтроля → быстрое обнаружение отказа **ВЧ** канала → уменьшение вероятности ложной работы защиты при внешнем **КЗ**)

Возможные последствия из-за частого автоконтроля в **АВЧ** каналах

- Частые кратковременные помехи в **ТФ** канале или ошибки в каналах **ТМ**

в **ЦВЧ** каналах

- Частое возникновение блоков ошибок → невозможность реализации запроектированной расчетной скорости передачи данных (в худшем случае и самого **ЦВЧ** канала)

Требуется коррекция существующей НТД

На канальном уровне

- Съём информации затруднителен, т.к. производители **ЦВЧ** аппаратуры используют собственные нестандартные методы модуляции
- Сложность вывода из строя **ЦВЧ** каналов методами радиоэлектронной борьбы, т.к. для этого требуются довольно большие мощности передатчиков или большое число передатчиков, настроенных на частоты **ЦВЧ** каналов



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
- Практика реализации **ЦВЧ** аппаратуры без использования операционных систем
- Используемые нестандартные схемы организации служебных и управляющих каналов в **ЦВЧ** аппаратуре → усложнение несанкционированного доступа

Характеристическое сопротивление **КЛ** 35 кВ и выше ($Z_{\text{КЛ}}$) составляет 20...50 Ом → требуются специальные нестандартные **ФП** (их изготовление возможно по заказу)

$Z_{\text{КЛ}}$ может быть оценено исходя

- диаметра проводника $D_{\text{ПР}}$
- внутреннего диаметра экрана $D_{\text{ЭКР}}$
- диэлектрической проницаемости внутренней изоляции ϵ_r

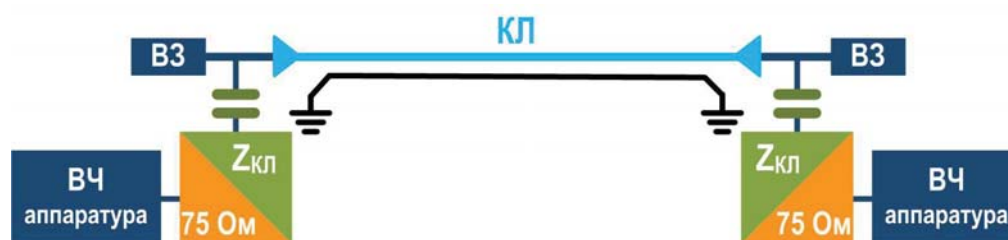
$$Z_{\text{КЛ}} = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \lg \left(\frac{D_{\text{ЭКР}}}{D_{\text{ПР}}} \right)$$



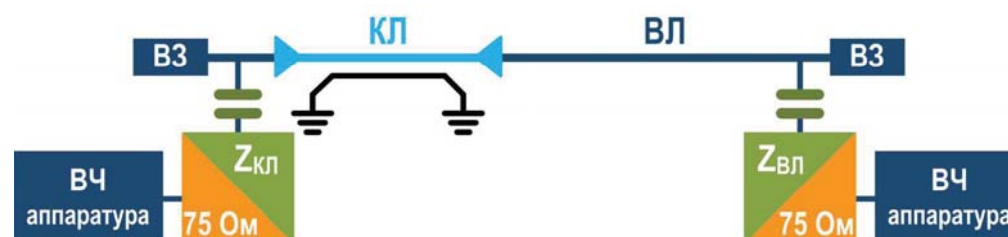
При подключении к **КЛ** с использованием стандартных **ФП** для **ВЛ** с сопротивлением 240...450 Ом со стороны **ЛЭП**

- Увеличение затухания **ВЧ** тракта
- Стоячие волны **ВЧ** сигнала в **КЛ** → большая неравномерность частотных характеристик затухания и **ГВП**
- Сопротивление окончания **ВЧ** тракта, существенно отличное от номинального 75 Ом (рассогласование / низкое затухание несогласованности) → внештатный режим работы усилителей мощности **ВЧ** аппаратуры (нагрев усилителей, превышение норм на уровни внутри и внеполосных интермодуляционных помех)

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЧ ТРАКТОВ ПО КЛ И КВЛ (1)

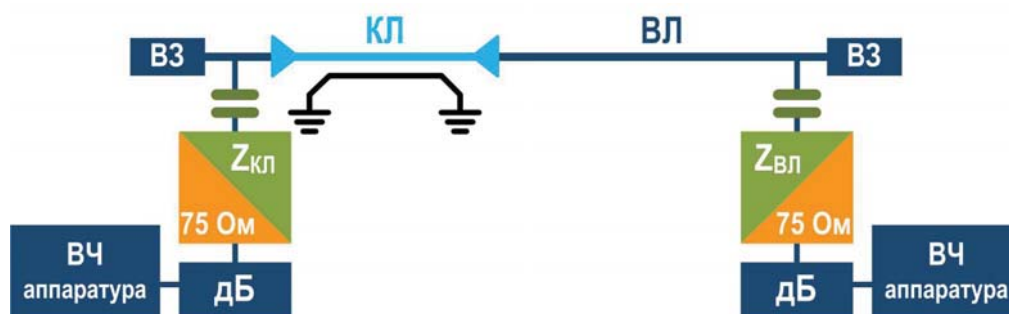


Согласование с **КЛ** обеспечивается использованием нестандартных **ФП** с сопротивлением $Z_{\text{КЛ}}$ со стороны **ЛЭП**

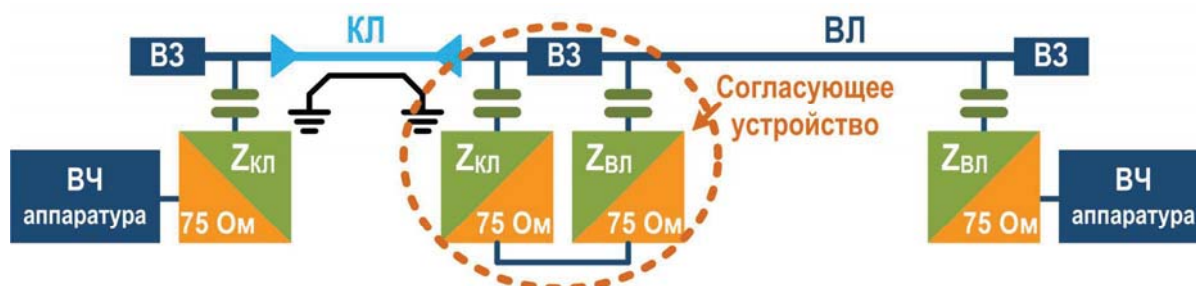


Работоспособное решение, стоячих волн нет, т.к. только одна точка перехода **КЛ/ВЛ**

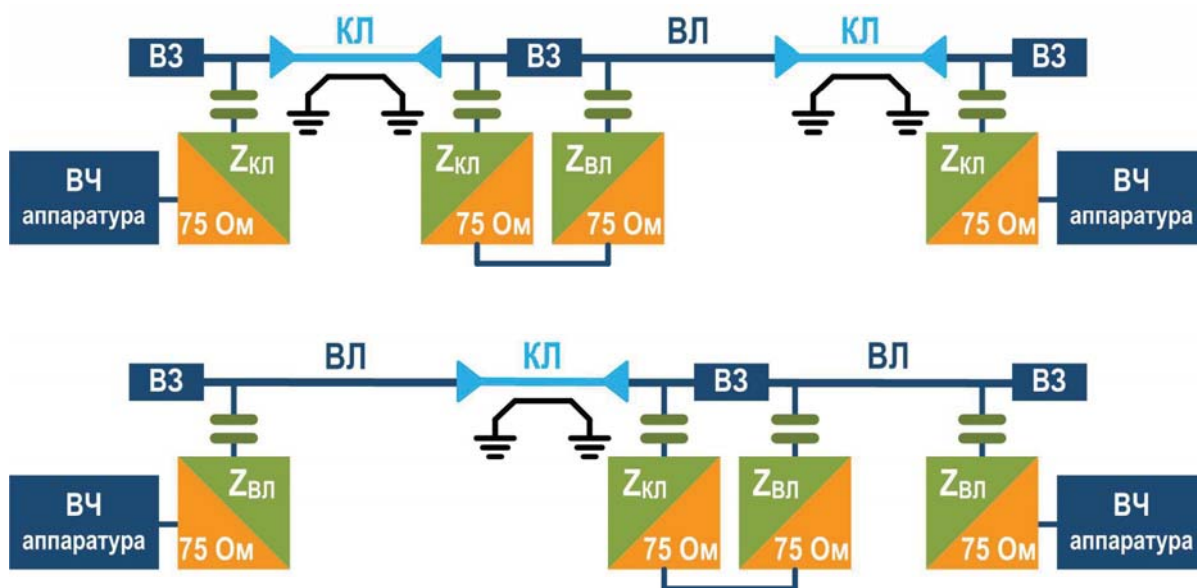
Недостатки: при коротких длинах **КЛ** и **ВЛ** затухание несогласованности **ВЧ** тракта может быть очень низким; неравномерность частотных характеристик из-за наличия отраженных сигналов



Установка аттенюаторов увеличивает затухание несогласованности (уменьшает рассогласование) вместе с увеличением рабочего затухания ВЧ тракта



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



Наличие двух точек перехода КЛ/ВЛ → необходима установка как минимум одного согласующего устройства для устранения стоячих волн

Установка только одного согласующего устройства → с одной из сторон ВЧ тракта может потребоваться установка аттенюатора

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

Существующая НТД применима только для заземления экранов с двух сторон



Заземление экранов КЛ с двух сторон – идеальный случай для организации ЦВЧ каналов (и не только ЦВЧ)

Токи в экранах КЛ → потери электроэнергии

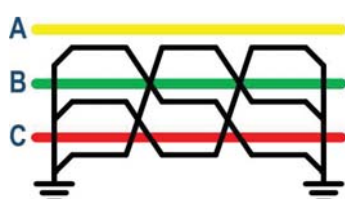
В существующей НТД не рассмотрены



Заземление экранов КЛ с одной стороны → нет токов в экранах

Пики в частотных характеристиках ВЧ трактов и низкое затухание несогласованности

Потенциал на экранах КЛ на стороне без заземления



Транспозиция экранов КЛ → отсутствие токов в экранах КЛ

По сравнению с заземлением экранов КЛ с одной стороны

увеличение числа пиков в частотных характеристиках ВЧ тракта и низкое затухание несогласованности

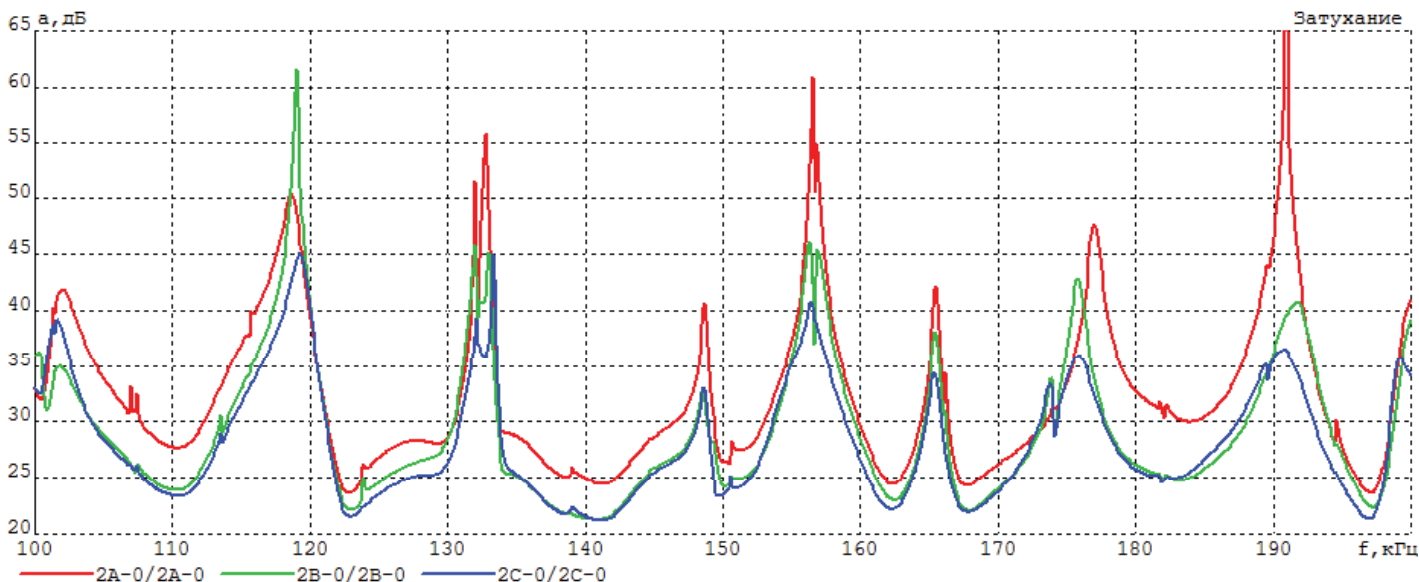
Сложность организации ЦВЧ каналов из-за больших искажений частотных характеристик, необходимы точные методики расчета (программа WinTrakt)

ПРИМЕР РАСЧЕТА РАБОЧЕГО ЗАТУХАНИЯ КВЛ В ПРОГРАММЕ WINTRAKT

КЛ: 4.2 км, треугольная прокладка кабелей, два цикла транспозиций экранов (четыре транспозиции с заземлением экрана примерно посередине КЛ)

ВЛ: 19.9 км, двухцепные опоры

Переход КЛ/ВЛ: согласующее устройство



ВЧ обход КЛ → существенное уменьшение неравномерности затухания

- Проектирование как систем с ЦВЧ каналами, так и самих ЦВЧ каналов, требует учета их специфических особенностей, которые в том числе зависят от типа ВЧ аппаратуры
- Адаптация скорости передачи данных в ЦВЧ каналах позволяет повысить коэффициент готовности высокоприоритетных каналов
- Эффективность передачи IP трафика по ЦВЧ каналам может быть достигнута использованием методов сжатия IP заголовков и маршрутизации
- Обеспечение ИБ в ЦВЧ каналах достигается довольно простыми методами
- При выборе частот необходим учет влияния каналов ВЧ защит на ЦВЧ каналы
- При заземлении экранов КЛ с двух сторон и отсутствии их транспозиций нет неустранимых препятствий для организации ЦВЧ каналов по КЛ и КВЛ
- При заземлении экранов КЛ с одной стороны или их транспозициях организация ЦВЧ каналов затруднительна, при возможности предпочтительнее организовывать ВЧ обход КЛ
- Требуются изменения в НТД для проектирования ЦВЧ каналов

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