



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФОРУМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ РОССИИ 2015



КРУГЛЫЙ СТОЛ

**ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА СЕТЕЙ СВЯЗИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ В
ЭНЕРГЕТИКЕ (ПОД ЭГИДОЙ РНК СИГРЭ)**

ВЧ каналы по ЛЭП 35 кВ и выше в технологических системах российской электроэнергетики

3 декабря 2015 г., Москва, ВВЦ, павильон №75



ВЧ каналы в системах релейной защиты и автоматики (РЗА)

- **ДФЗ** и **НЗ** с **ВЧБ** – каналы **ВЧ** защит
- **КСЗ** и системы **ПА** – каналы передачи аварийных сигналов и команд

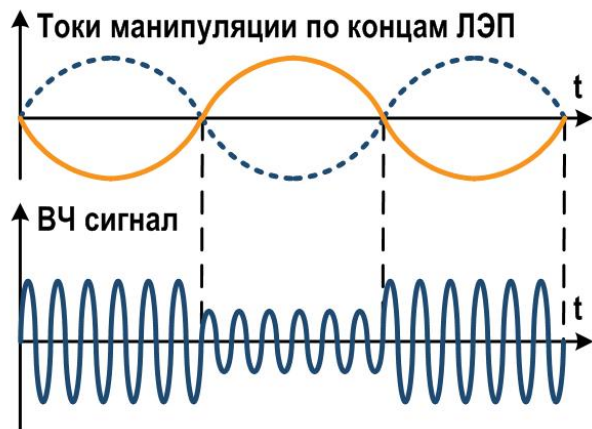
Традиционные аналоговые **ВЧ (АВЧ)** каналы связи и телемеханики с частотным разделением каналов (**ЧРК/FDM**)

- Диспетчерские и технологические телефонные каналы
- Низкоскоростные каналы телемеханики (**ТМ**) (100...1200 бит/с)

Цифровые **ВЧ (ЦВЧ)** каналы с временным разделением каналов (**ВРК/TDM**)

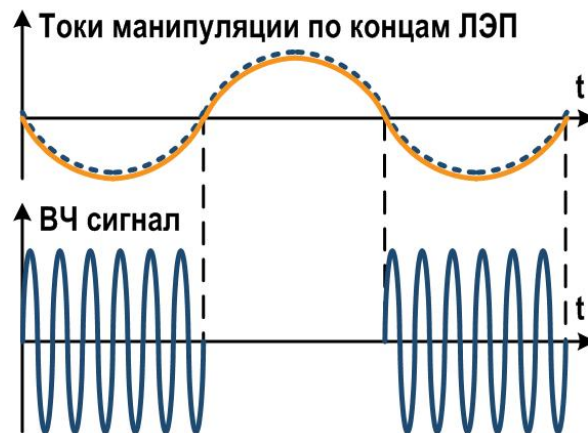
- Телефонные каналы с использованием вокодеров со скоростью до 16 кбит/с
- Относительно высокоскоростные каналы передачи данных (9.6 кбит/с и выше)

КЗ вне защищаемой ЛЭП



— Ток манипуляции на локальном окончании ЛЭП

КЗ на защищаемой ЛЭП



---- Ток манипуляции на противоположном окончании ЛЭП

В каналах **ДФЗ** наиболее распространена амплитудная манипуляция (**АМ**) током промышленной частоты **ВЧ** сигнала

- При **КЗ** вне **ЛЭП** – постоянное наличие **ВЧ** сигнала на входе приемника
- При **КЗ** на **ЛЭП** – отсутствие **ВЧ** сигнала на входе приемника → действие **ДФЗ**

НЗ с **ВЧБ** – при внешнем **КЗ** передача немодулированного **ВЧ** сигнала на противоположное окончание **ЛЭП** для блокировки действия защиты

Отказ канала из-за увеличения затухания **ВЧ** тракта при **КЗ** на **ЛЭП** не приводит к отказу **ДФЗ** и **НЗ** с **ВЧБ** в действии

Отказ канала из-за гололеда и т.д. → возможна ложная работа защит при **КЗ** вне **ЛЭП**

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** и **ЦВЧ** каналах это довольно редко может вызвать

- Кратковременные помехи в **ТФ** канале
- Возникновение ошибок в каналах передачи данных



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 спроектированной расчетной скорости передачи данных (в худшем случае и самого **ЦВЧ** канала)

Требуется коррекция существующей НТД

Номинальная базисная полоса канала **ВЧ** защит (как **ДФЗ**, так и **НЗ** с **ВЧБ**) – 2 кГц

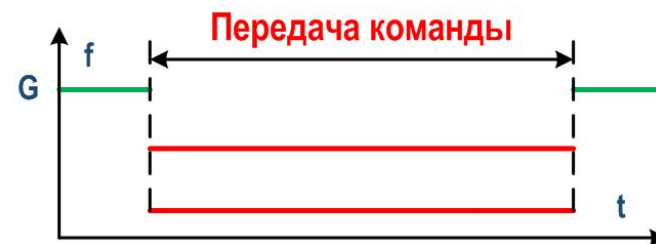
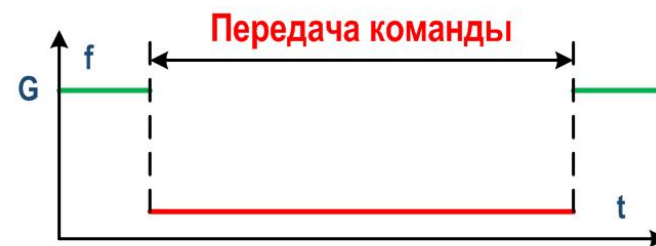
Причины наличия внеполосных излучений большого уровня у аппаратуры **ВЧ** защит

- Использование в выходном каскаде передатчика усилителей мощности (**УМ**), работающих в ключевом режиме (класс D) → наличие 3-й, 5-й и т.д. гармоник несущей частоты большого уровня
- Использование одноконтурного линейного фильтра (**ЛФ**) → недостаточное подавление 3-ей гармоники **УМ** в ключевом режиме
- **АМ** током промышленной частоты в **ДФЗ** → боковые спектральные составляющие **ВЧ** сигнала, уровень которых ограничен только **ЛФ** и крайне медленно спадает → превышение норм на внеполосные излучения

Отрицательное влияние каналов **ВЧ** защит на другие каналы **ВЧ** защит, каналы устройств передачи аварийных сигналов и команд (**УПАСК**) в комплектах ступенчатых защит (**КСЗ**) и системах противоаварийной автоматики (**ПА**), **АВЧ** и **ЦВЧ** каналы

- В случае наложения на них гармоник каналов **ВЧ** защит
- При небольшом разносе частот

Проблема в стадии обсуждения

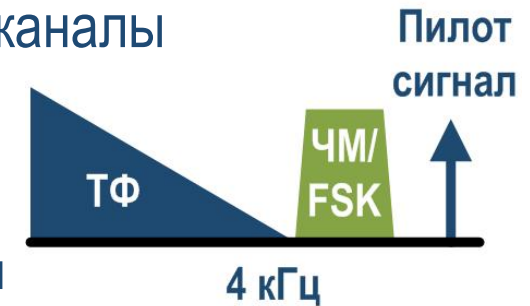


Кодирование сигналов команд и обработка ВЧ сигналов в узкой полосе уменьшает влияние помех и обеспечивает прием команд при отношении сигнал/шум 6 дБ в полосе 4 кГц (обеспечивается передача команд РЗ и ПА при КЗ на ЛЭП)

Функции УПАСК и АВЧ/ЦВЧ каналов могут быть реализованы в одной ВЧ аппаратуре (при передаче команд РЗ и ПА часть или все сигналы АВЧ/ЦВЧ каналов отключаются)

Аналоговые телефонные (ТФ) и низкочастотные (НЧ) каналы

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

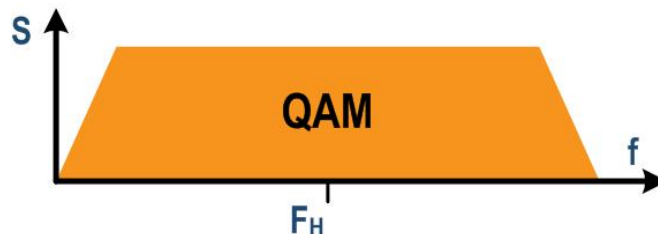


Модемы ТМ с частотной манипуляцией (ЧМ/FSK)

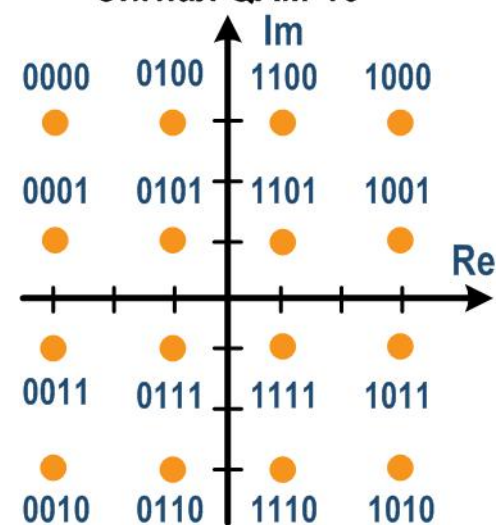
- + Высокая помехозащищенность ($BER=10^{-6}$ при SNR около 15 дБ в полосе сигнала)
- + Небольшая задержка (достижимо 10-20 мс)
- + Быстрое восстановление каналов после прерываний
- + Поддерживают как асинхронные форматы данных (например, согласно ГОСТ Р МЭК 60870-5-101), так и анизохронные форматы протоколов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

КАМ/QAM

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

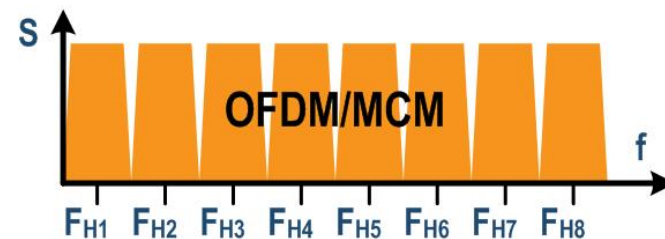


Сигнал QAM-16



OFDM/MCM

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

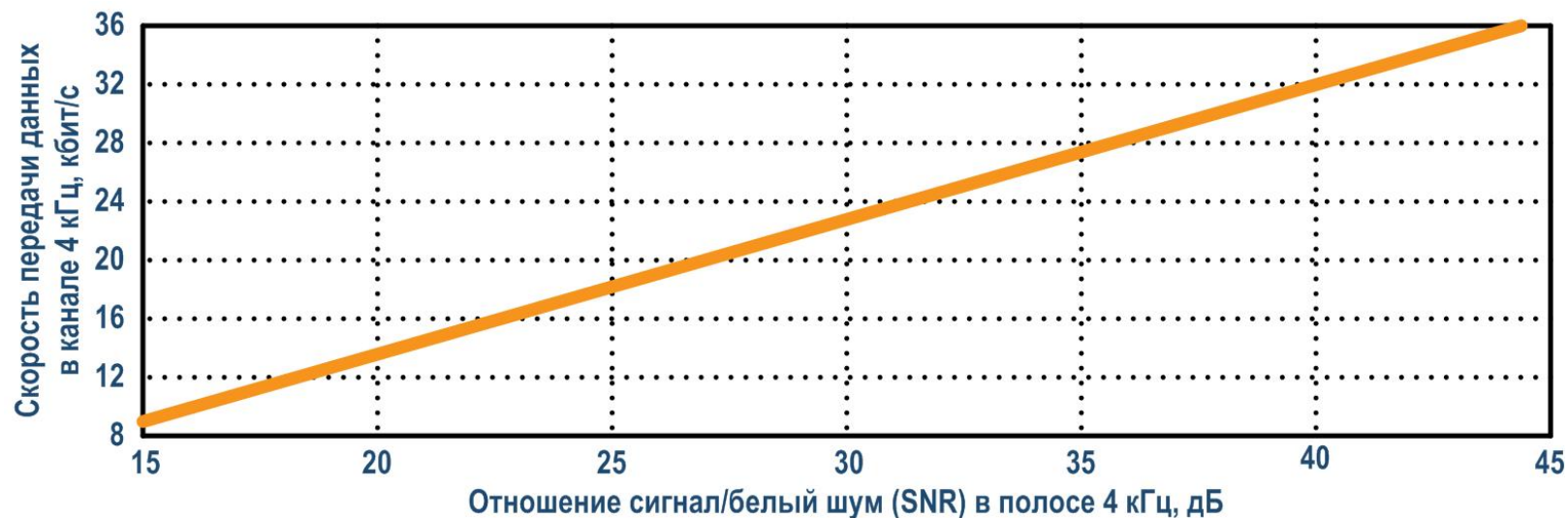


По сравнению с ЧМ/FSK в АВЧ каналах

- 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/MCSM
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 частотных характеристик затухания и ГВП ВЧ трактов	-	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

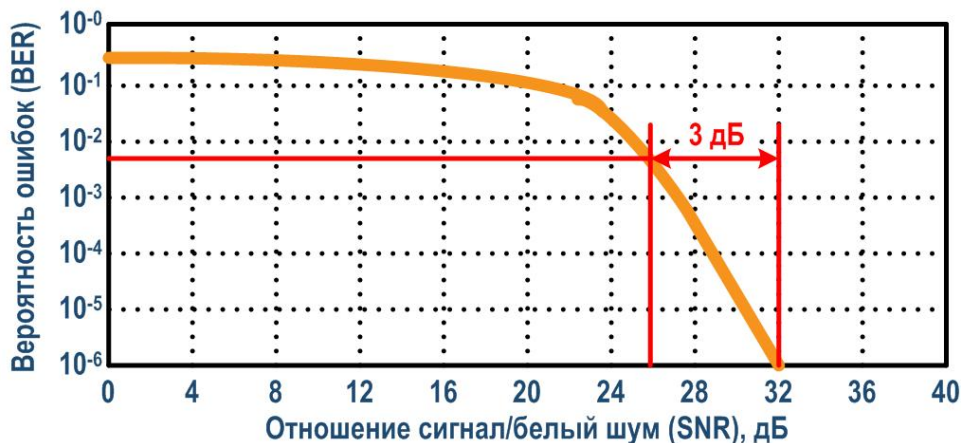
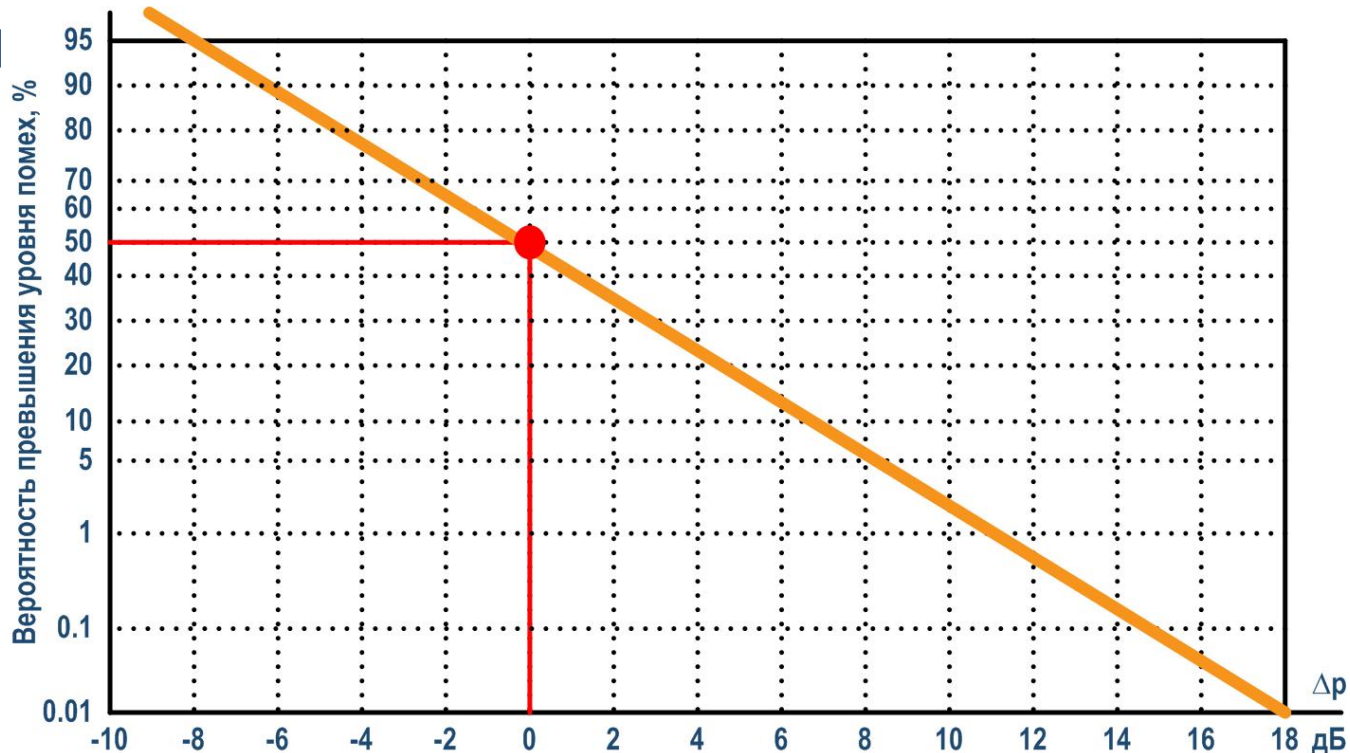
К сожалению, **ВЧ** аппаратура разных производителей поддерживает либо только **КАМ/QAM**, либо только **OFDM/MCSM**



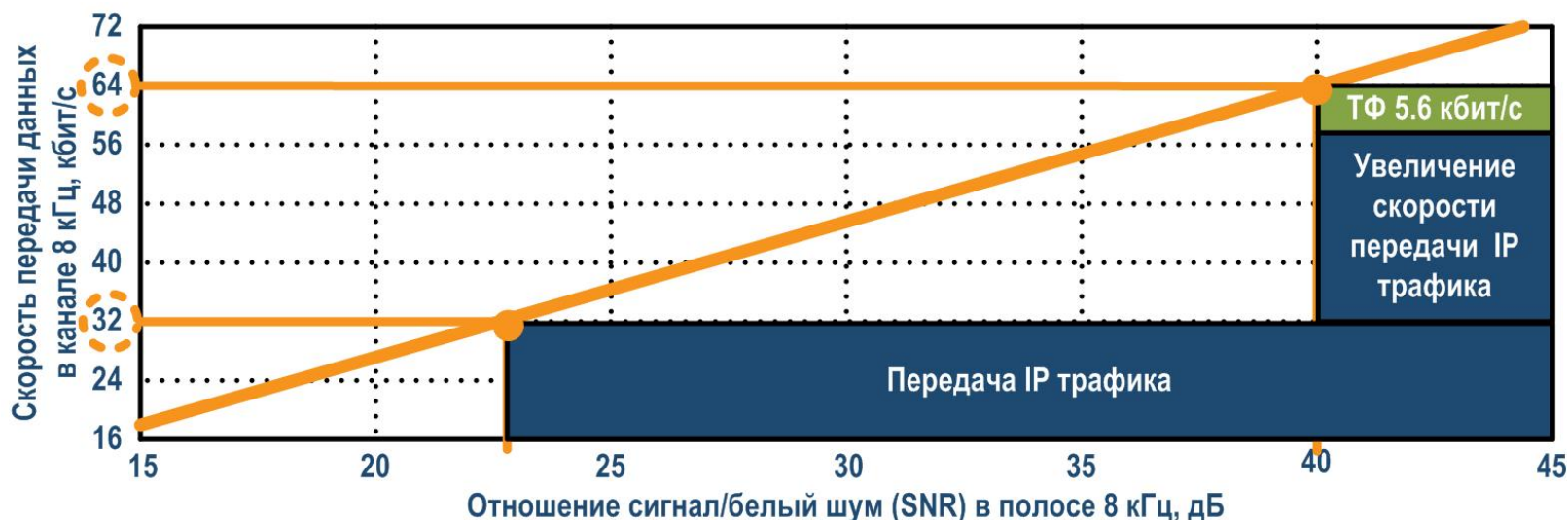
- Сложность обеспечения высокой скорости в **ЦВЧ** канале 4 кГц (19.2 кбит/с при SNR около 26 дБ для белого шума), увеличение скорости требует более широкой рабочей полосы, что не всегда осуществимо на практике
- Помехи от «короны» увеличивают требуемое SNR по сравнению с белым шумом на **5...7 дБ** в зависимости от реализации **ЦВЧ** модема и напряжения ЛЭП → **требуется обязательный учет влияния «короны» на ЦВЧ каналы при проектировании**
- Производители приводят данные только для белого шума и **действующей** мощности сигнала **ЦВЧ** модема при $BER=10^{-6}$ → **при проектировании ЦВЧ канала необходим обязательный учет отношения действующей мощности к пиковой**

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



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

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 каналы в АВЧ	ТФ каналы 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 каналы в АВЧ	ТФ каналы 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 при проектировании 26 дБ ; ТФ каналы по ЦВЧ при SNR немного меньше проектной нормы для BER 10^{-6} – существенная потеря качества или отказ
Число переключений по аналоговым интерфейсам	Отсутствие вокодеров → нет нелинейных искажений из-за многократной обработки в них	После 2...3-х переключений практически полностью теряется разборчивость речи (зависит от типа вокодера)	В ТФ сети с аналоговыми переключениями следует избегать большого числа ТФ каналов по ЦВЧ ; запись ТФ по ЦВЧ в регистраторах переговоров → искажения из-за наличия в них вокодеров

Параметр	ТФ каналы в АВЧ	ТФ каналы 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, мультиплексов 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



IP для передачи данных в технологических системах электроэнергетики часто обладает большой избыточностью (часто размер IP заголовка сопоставим с объемом передаваемых данных пользователя)

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

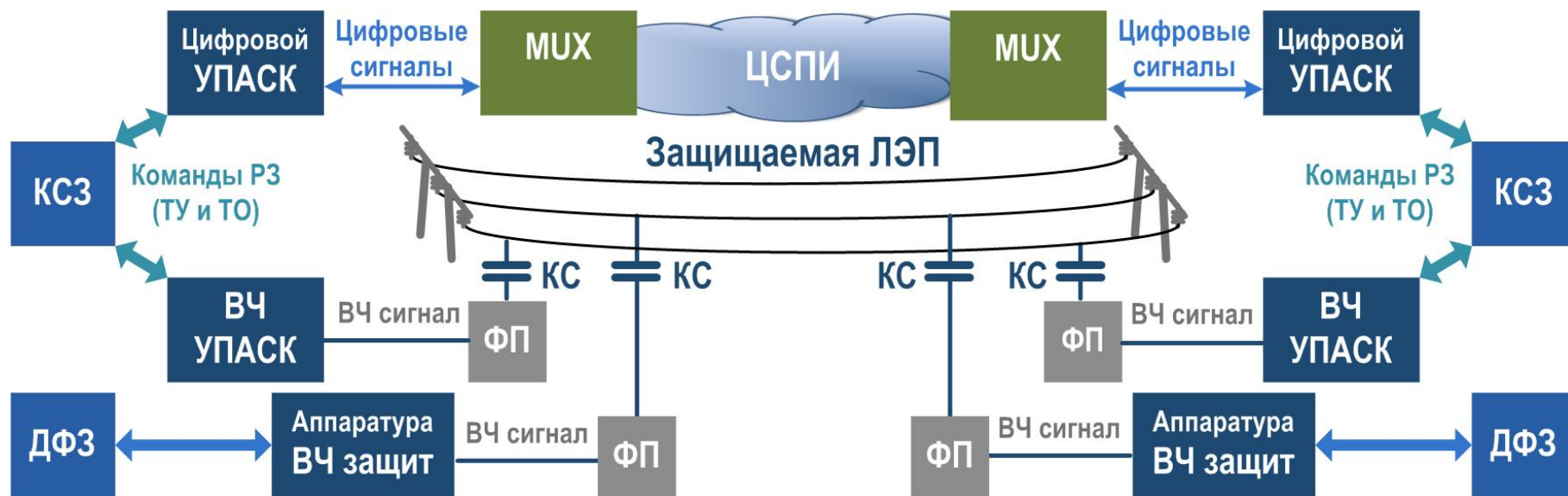
Реализация функций маршрутизации позволяет

- 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

ВЧ каналы по ЛЭП		ЦСПИ по ВОК	
+	Область использования: ДФЗ, НЗ с ВЧБ, УПАСК для КСЗ с ТУ и ТО и систем ПА, ТФ, ТМ , передача данных	+	Область использования: ДЗЛ, НЗ с передачей блокирующих сигналов, УПАСК для КСЗ с ТУ и ТО и систем ПА, ТФ, ТМ , передача данных
+	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 на уровне оборудования и системы	-	Низкая информационная безопасность, как на уровне каналов, так и оборудования, системы и систем управления

Совместное использование ВЧ каналов и каналов по ЦСПИ для РЗА позволяет нивелировать их минусы



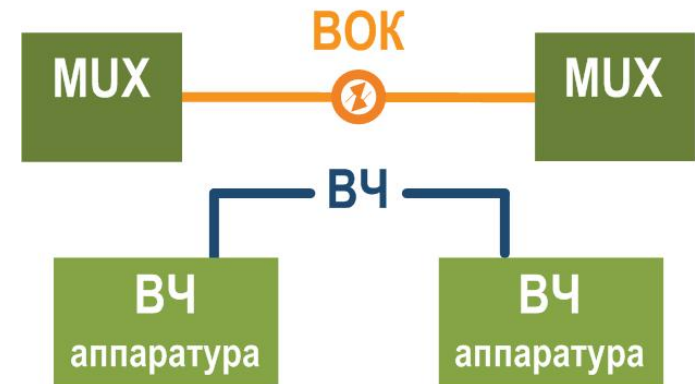
Крайне высокая надежность системы защит ЛЭП за счет

- Функционального резервирования защит ЛЭП
- Резервирования каналообразующего оборудования РЗА
- Разных сред распространения сигналов

Использование только ЦСПИ в каналах для РЗА – в большинстве случаев снижение экономической и технической эффективности системы защит ЛЭП

Сегодня использование **АВЧ** и **ЦВЧ** актуально

- При отсутствии **ВОК** для организации каналов по **ЦСПИ** (как правило **ЛЭП 35 и 110 кВ**)
- При необходимости резервирования каналов и невозможности его обеспечения по **ЦСПИ** или другими способами



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**

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

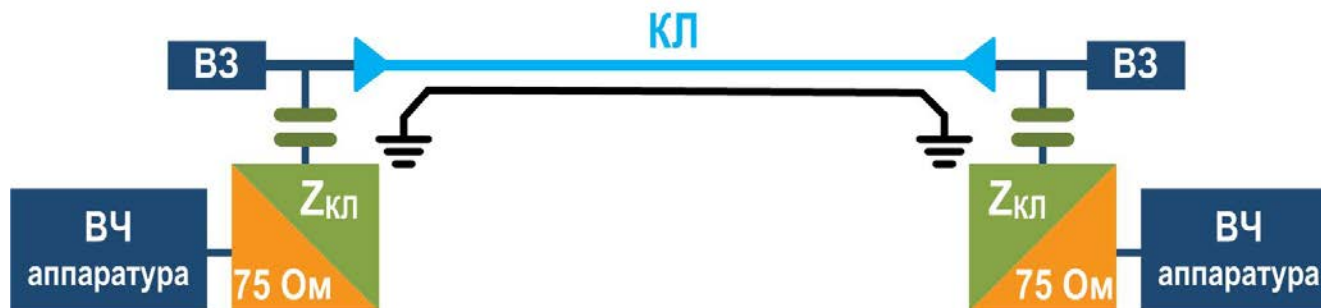
- Диаметра проводника $D_{\text{ПР}}$
- Внутреннего диаметра экрана $D_{\text{ЭКР}}$
- Диэлектрической проницаемости внутренней изоляции ϵ_r

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

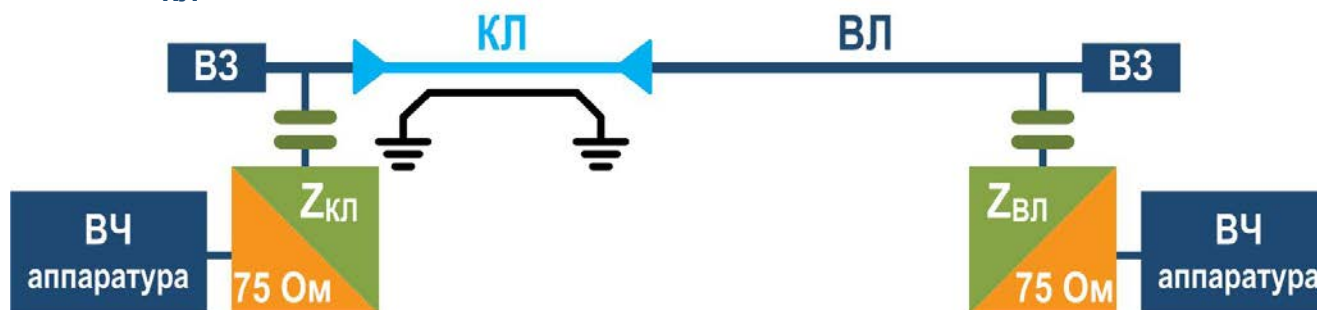


При подключении к **КЛ** с использованием стандартных **ФП** для воздушных линий (**ВЛ**) с сопротивлением $Z_{\text{ВЛ}}$ **240...450 Ом** со стороны **ЛЭП**

- 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)



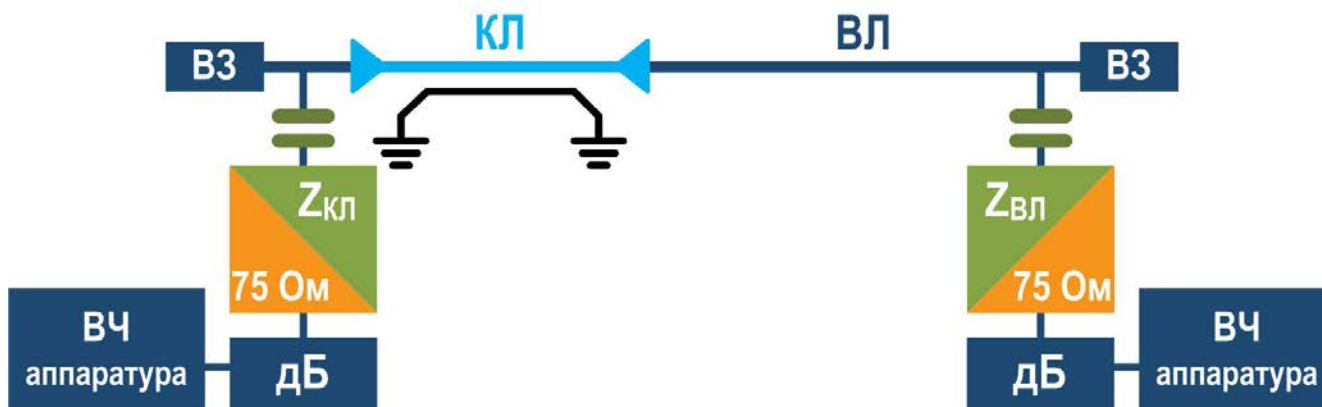
Согласование с **КЛ** обеспечивается использованием нестандартных **ФП** с сопротивлением $Z_{кЛ}$ со стороны **ЛЭП**



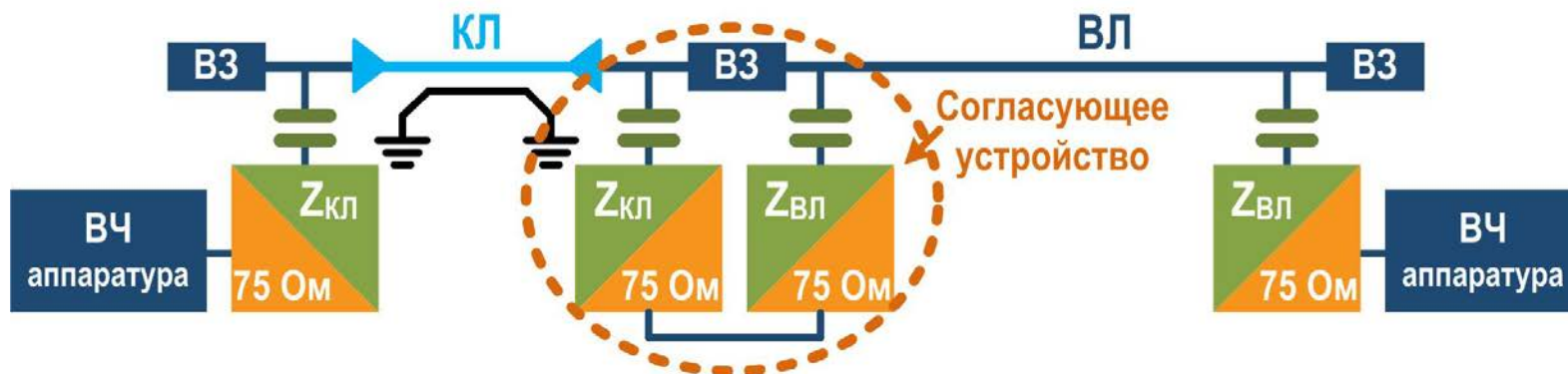
Подключение к **КЛ** – нестандартный **ФП** с сопротивлением $Z_{кЛ}$, к **ВЛ** – стандартный **ФП** с сопротивлением $Z_{вл}$

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

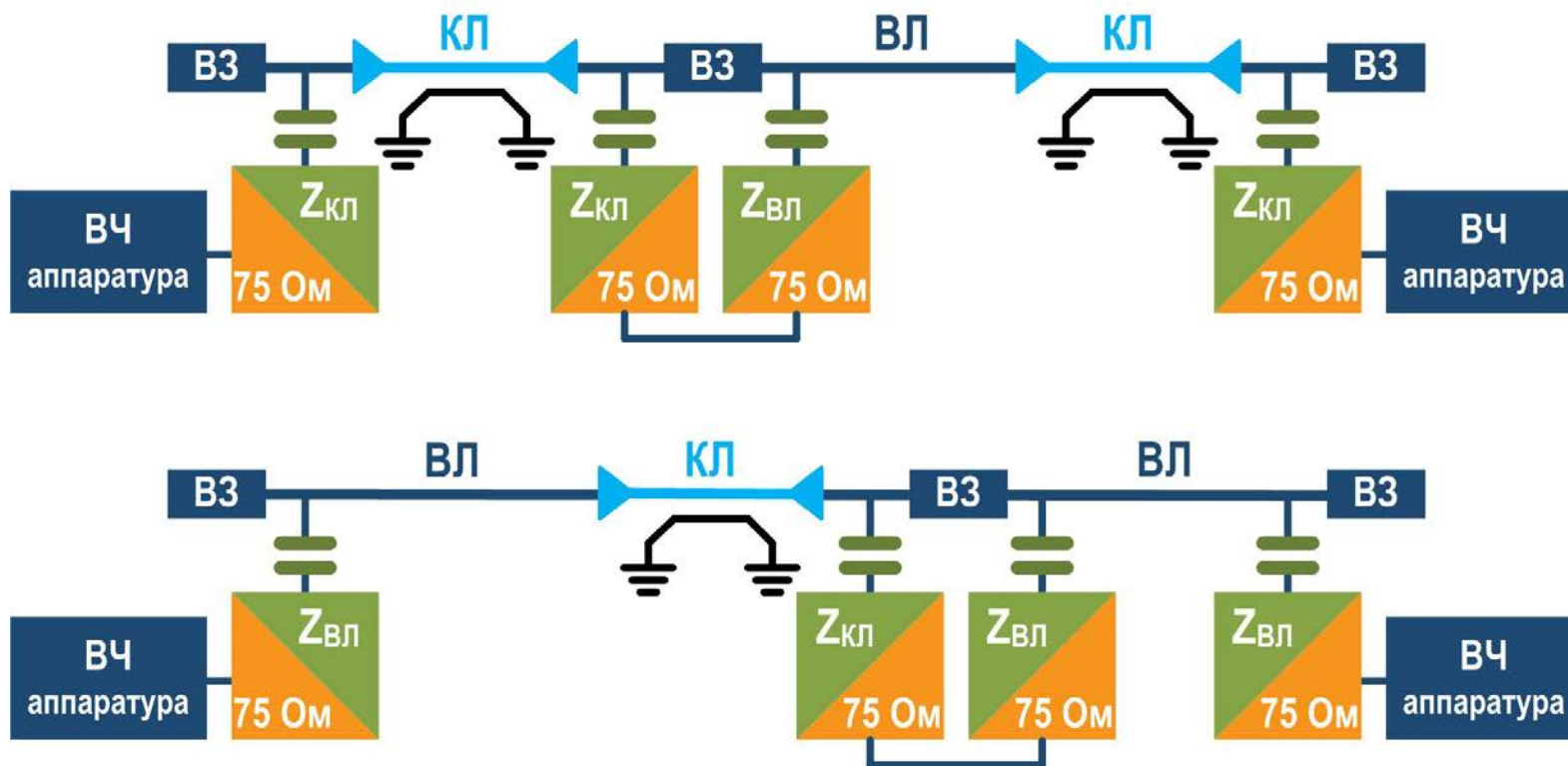
Недостатки: при коротких длинах **КЛ** и **ВЛ** затухание несогласованности **ВЧ** тракта может быть очень низким; неравномерность частотных характеристик из-за наличия отраженных сигналов



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



Установка согласующего устройства по схеме ВЧ обхода – решение с минимальным затуханием ВЧ тракта, небольшой неравномерностью частотных характеристик и высоким затуханием несогласованности (малым рассогласованием)



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 ВЧ каналов

Токи в экранах КЛ → потери электроэнергии

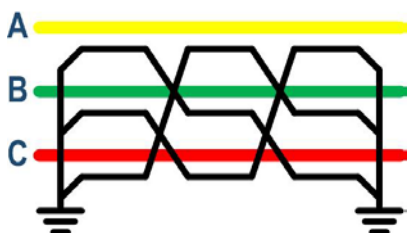
В существующей НТД не рассмотрены



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



Транспозиции 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

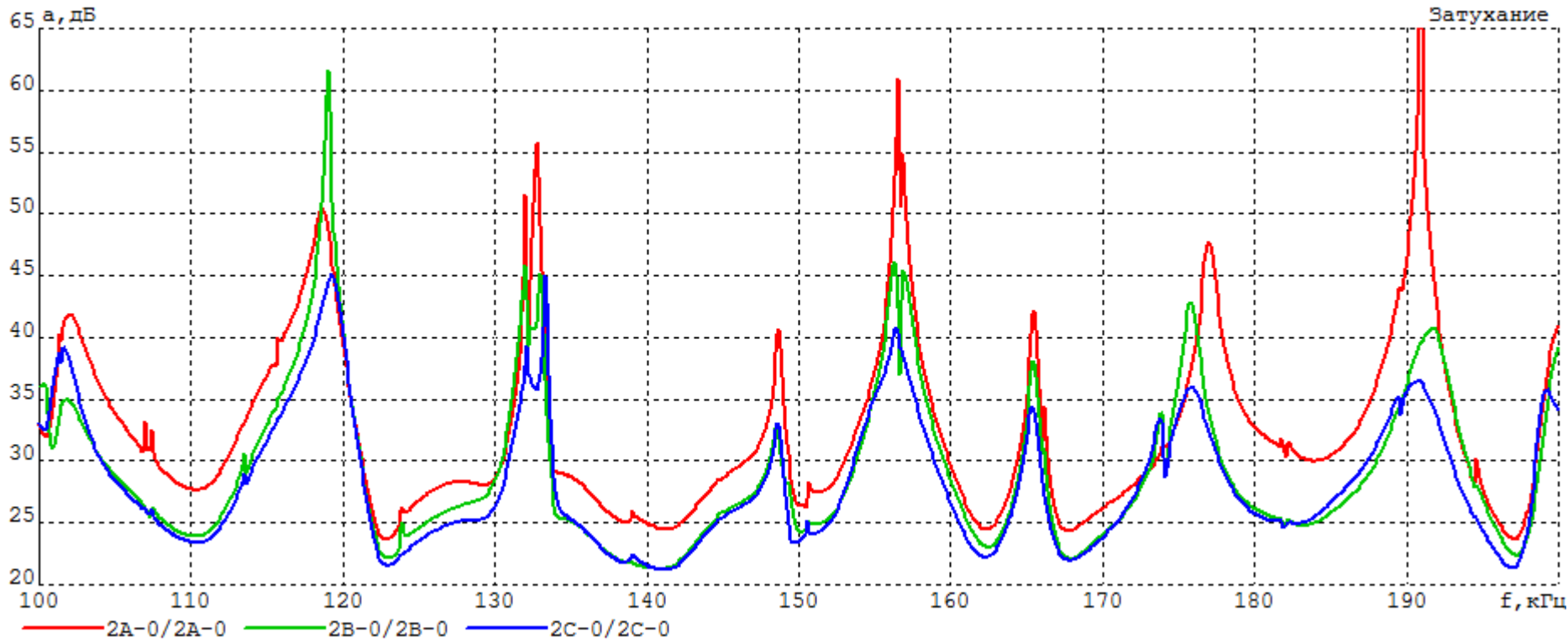
Сложность организации ВЧ каналов из-за больших искажений частотных характеристик, необходимы точные методики расчета (например, программа WinTrakt)

Нет нормы на приращение затухания при КЗ на КЛ (необходима для каналов УПАСК)

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

- Организация **ВЧ** каналов для **РЗА** останется актуальной на **ЛЭП 35 кВ** и выше в долгосрочной перспективе
- С развитием инфраструктуры **ВОК** на **ЛЭП 220 кВ** и выше число **АВЧ** и **ЦВЧ** каналов на них будет уменьшаться
- На **ЛЭП 35** и **110 кВ АВЧ** и **ЦВЧ** каналы останутся экономически и техническими эффективным решением в течении долгого периода времени
- Пока открыт вопрос о влиянии каналов **ВЧ** защит на другие каналы
- 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
- При заземлении экранов **КЛ** с двух сторон и отсутствии их транспозиций нет неустранимых препятствий для организации **ВЧ** каналов по **КЛ** и **КВЛ**; при заземлении экранов **КЛ** с одной стороны или их транспозициях организация **ВЧ** каналов затруднительна
- Требуются изменения в **НТД** для проектирования **ВЧ** каналов

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