



## **ВЧ каналы по ЛЭП 35 кВ и выше в российской электроэнергетике**

**В.А. Харламов, к.т.н., начальник отдела оборудования**

ЗАО «Юнител Инжиниринг»

[www.uni-eng.ru](http://www.uni-eng.ru)

## **КАНАЛЫ СВЯЗИ В СИСТЕМАХ РОССИЙСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

**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 пакетного трафика (в основном IP) в корпоративных и технологических системах электроэнергетики**

В российской электроэнергетике большинство каналов построено на базе технологий **ВЧ связи** по ЛЭП 35 кВ и выше и **SDH/PDH** в **ЦСПИ** по волоконно-оптическим кабелям (**ВОК**)

## ВЧ каналы

- Каналы ВЧ защит (приемо-передатчики ДФЗ)
- ВЧ УПАСК для передачи команд РЗ и ПА
- Телефония
- Низкоскоростные данные



## Сети SDH/PDH

- Цифровые каналы для ДЗЛ
- Цифровые УПАСК для передачи команд РЗ и ПА
- Телефония
- Высокоскоростные данные



Как правило, **ВЧ** каналы и каналы по **ЦСПИ** рассматриваются практически независимо друг от друга

# СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВЧ СВЯЗИ ПО ЛЭП И SDH/PDH ПО ВОК

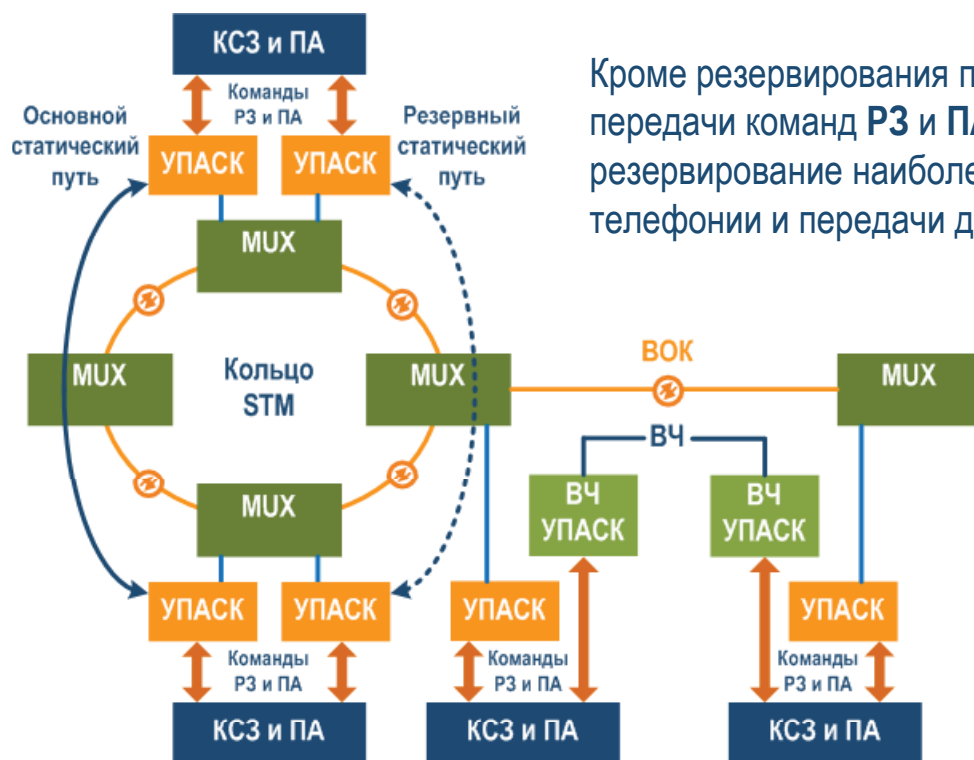
## ВЧ каналы по ЛЭП

- + Использование крайне надежной среды распространения сигналов
- + Наиболее приемлемы для РЗА (ДФЗ, ТУ и ТО в КСЗ, команды ПА)
- + Большая протяженность без ретрансляторов
- + Быстрое устранение неисправностей ЛЭП
- Влияние электромагнитных помех на прием сигналов (удары молнии и т.д.)
- Большая задержка в каналах
- Небольшое число каналов и ограниченная пропускная способность

## Сети SDH/PDH по ВОК

- + Большое число каналов и высокая скорость передачи данных
- + Небольшое время передачи команд РЗ и ПА
- + Устойчивость к электромагнитным помехам
- + Малая задержка в каналах
- Ограниченная протяженность без ретрансляции
- Потребность в дополнительных инвестициях (прокладка ВОК)
- Иногда неопределенно большое время устранения неисправностей ВОК

**ВЧ** каналы и каналы по **ЦСПИ** могут эффективно дополнять друг друга



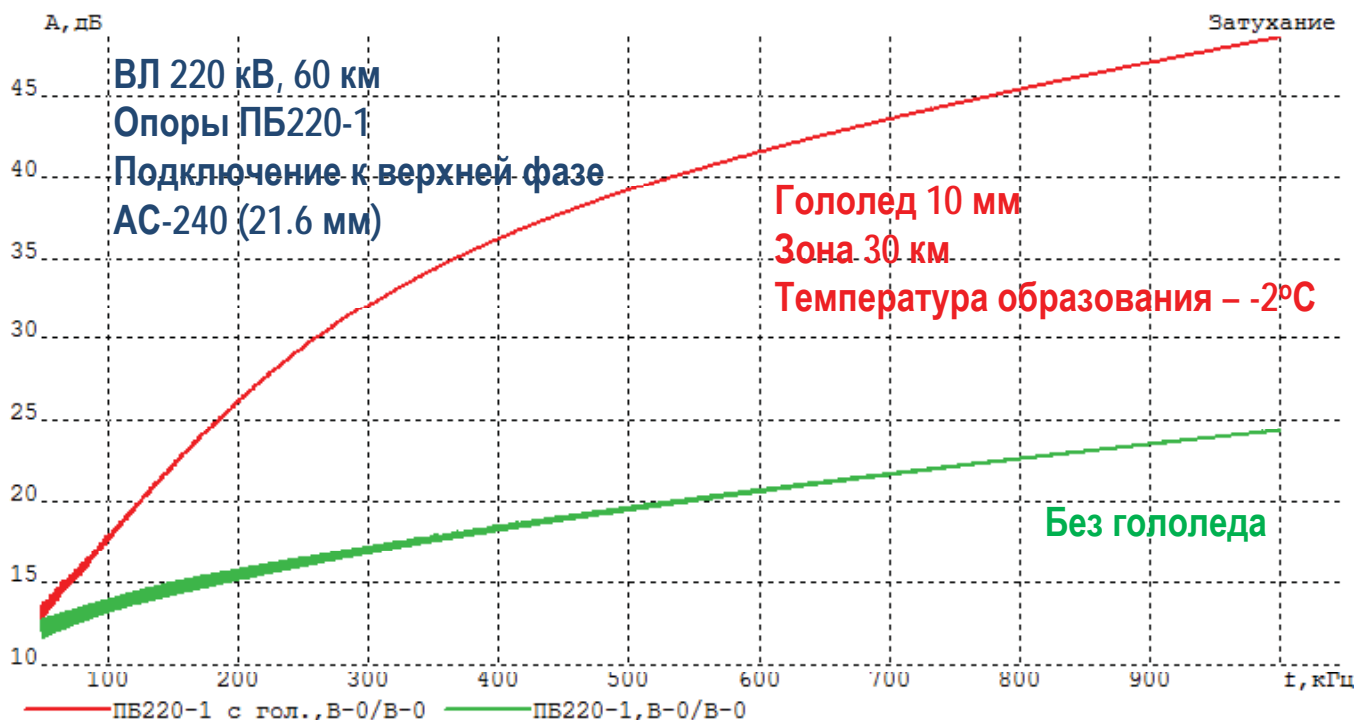
Кроме резервирования по ВОК и ВЧ тракту передачи команд РЗ и ПА по ним еще возможно резервирование наиболее важных каналов телефонии и передачи данных

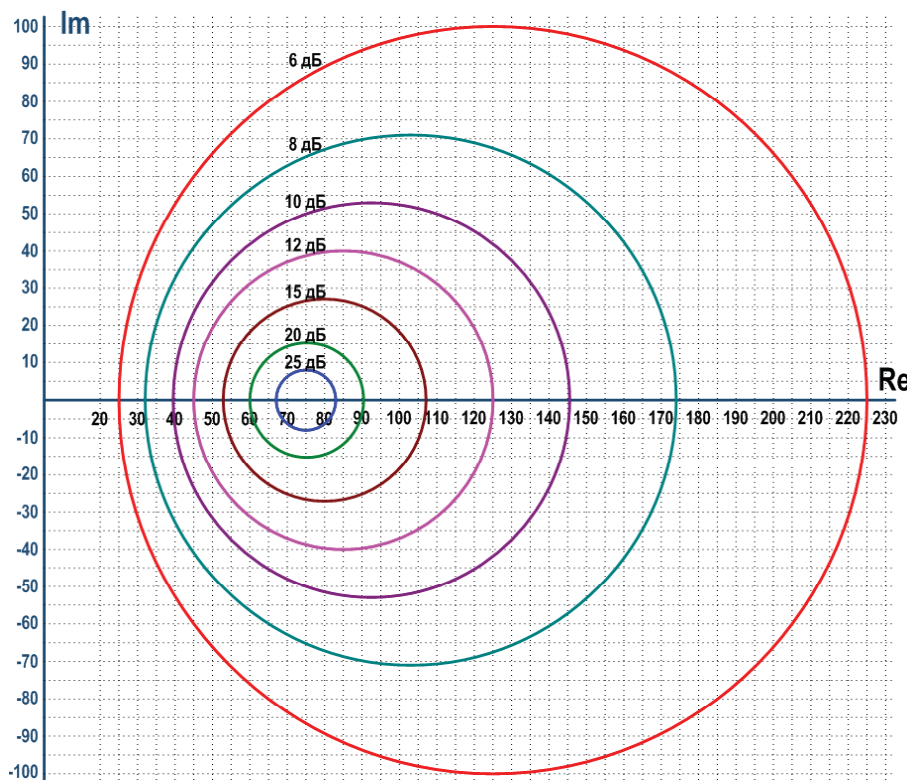
**ВЧ тракт:** среда распространения сигналов так же надежна, как и сама ЛЭП

Надежность каналов при резервировании ЦСПИ + ВЧ выше, чем резервирование по статическим (фиксированным) путям (маршрутам) в ЦСПИ

## ПАРАМЕТРЫ ВЧ ТРАКТА: РАБОЧЕЕ ЗАТУХАНИЕ

Рабочее затухание ВЧ тракта зависит от ряда факторов: длина линии, тип провода, тип опор, подключение и т.д., и его величина, так же как и ГВП, меняется во времени, например, при изменении коммутационного состояния ЛЭП





**Затухание несогласованности**  
окончания ВЧ тракта

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

$Z$  – реальное сопротивление окончания ВЧ тракта (комплексная величина),

**75 Ом** – номинальное сопротивление окончания ВЧ тракта

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

**Тип помехи**

**Уровень**

**Длительность**

**Непрерывная**

*может быть рассчитана*

Шум от коронирования  
(ВЛ 150 кВ и выше)

низкий

непрерывно

Шум от частичных  
разрядов изоляторов  
(ВЛ 110 кВ и ниже)

низкий

непрерывно

ВЧ и радио каналы

-

зависит от мешающего канала

**Кратковременная / импульсная**

*трудно предсказуемая*

Разряд молнии

высокий

10 ... 1000 мс

Короткое замыкание

начало:

высокий

2 ... 20 мс

горение дуги:

средний

100 мс

Выключатель

высокий

5 ... 20 мс

Разъединитель

высокий

500 ... 10000 мс



Иногда контрольный/охранный сигнал встроенных УПАСК и пилот сигнал объединены в один, и, кроме того, по данному сигналу передается E&M сигнализация и производится обмен служебными данными между терминалами ВЧ связи

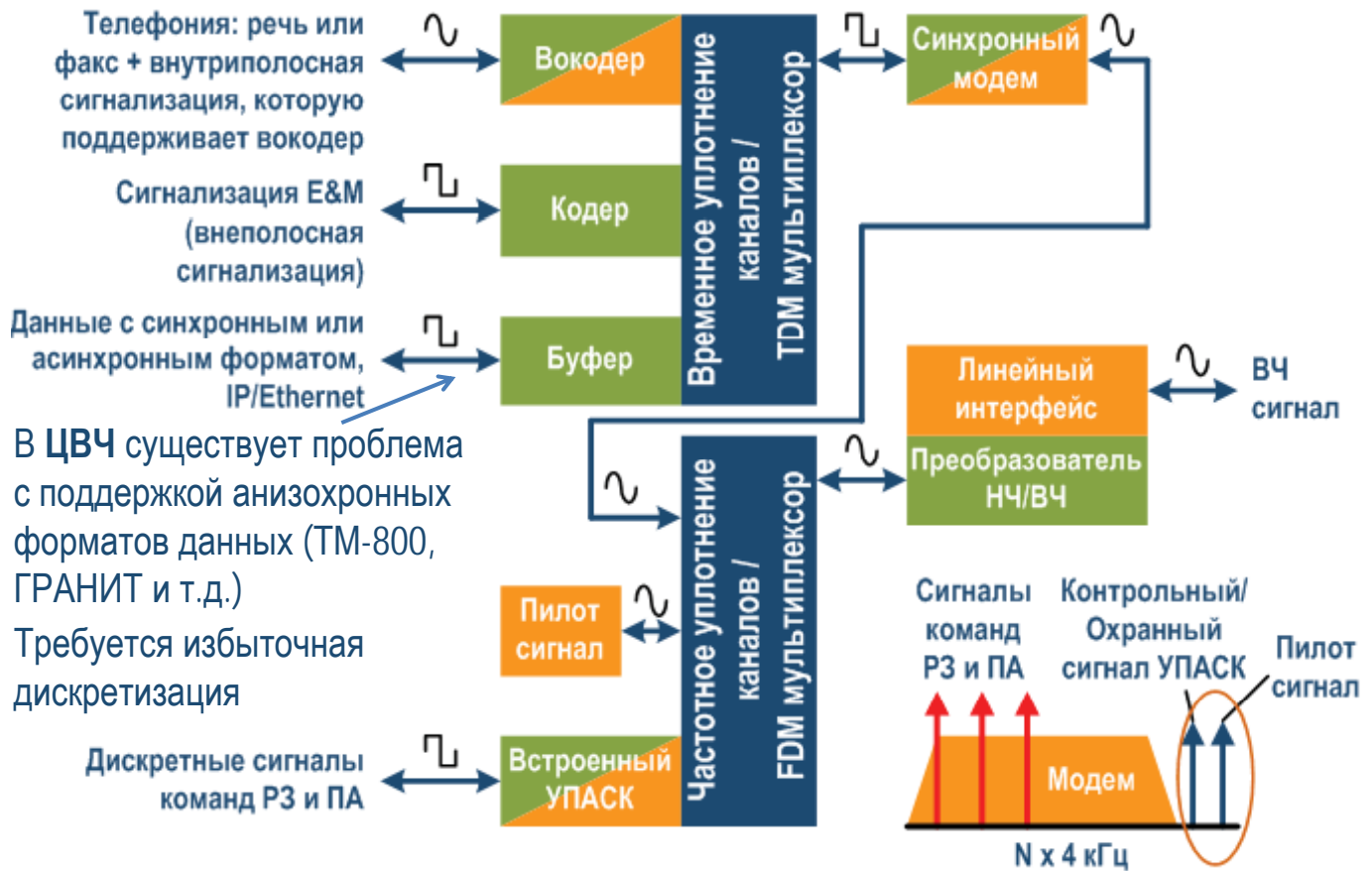
## АНАЛОГОВЫЕ ВЧ КАНАЛЫ (АВЧ/APLC)

### Телефонные каналы

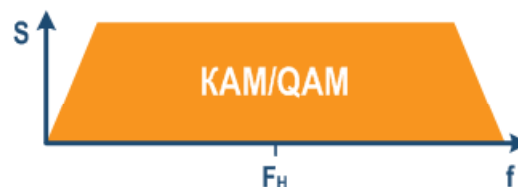
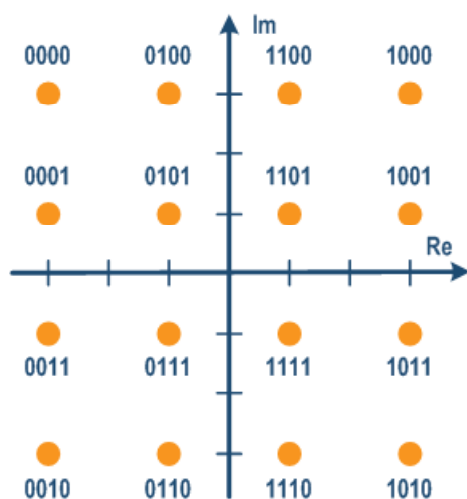
- + Небольшая задержка (достижимо порядка 10 мс)
- + Быстрое восстановление после импульсных помех
- + Поддерживают все виды внутриполосной сигнализации, в том числе АДАСЭ
- + Отсутствие нелинейных искажений при аналоговых пере приемах
- Неэффективное использование доступной полосы

### 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)
- + Поддерживают как асинхронные форматы данных (например, согласно ГОСТ Р МЭК 60870-5-101), так и анизохронных 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



## МОДУЛЯЦИЯ В МОДЕМАХ ЦВЧ/DPLC: 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.) → Требуется сложный эквалайзер
- Чувствительна к узкополосным помехам, импульсному шуму и «короне» → Требуется специальная сложная обработка для уменьшения их влияния

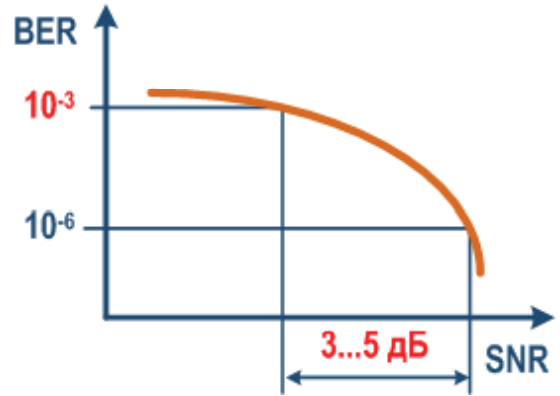
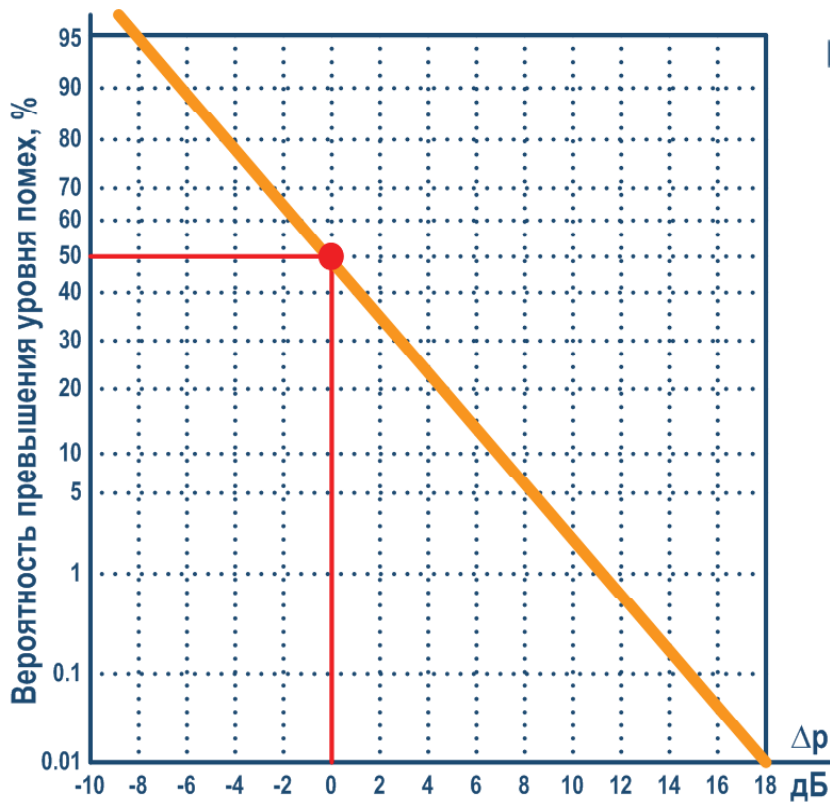


## OFDM/MCM

- Сложность реализации
- + Высокая спектральная эффективность
- 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 → Не требуется сложный эквалайзер
- + Устойчива к узкополосным помехам за счет возможности отключения поднесущих пораженных помехой каналов
- + Устойчива к импульсным помехам и «короне» при большой длительности сигналов
- Чувствительна к сдвигу частоты
- Чувствительна к фазовому шуму

## СРАВНЕНИЕ КАМ/QAM И OFDM/MCM

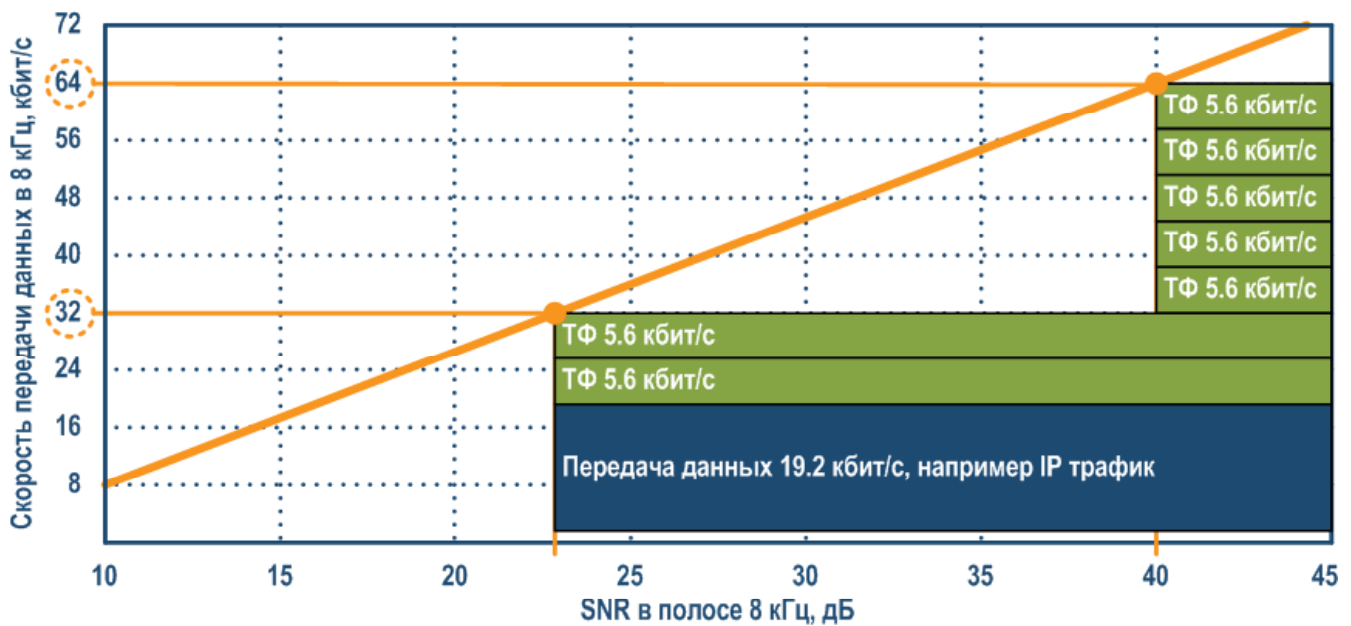
Параметр	Модуляция	
	КАМ/QAM	OFDM/MCM
Простота реализации	+	-
Отношение пиковой мощности сигнала к действующей	+	-
Задержка	+	-
Спектральная эффективность	-	+
Сложность эквалайзера	-	+
Адаптация по скорости с малым шагом	-	+
Влияние сдвига частоты	+	-
Влияние фазового шума	+	-
Влияние отраженных сигналов	-	+
Влияние узкополосных помех	-	+
Влияние импульсных помех и «короны»	-	+



Даже при стабильном затухании ВЧ тракта отношение сигнал/шум (SNR) может существенно изменяться при изменении погодных условий

Разность между работающем ЦВЧ и неработающем – 3...5 дБ

**Требуется точный расчет !!!**



При адаптации скорости ЦВЧ

- Отключение телефонных каналов и каналов передачи данных
- Уменьшение скорости в каналах передачи данных, например, в Ethernet каналах

**Требуется/желателен резерв отключаемых каналов !!!**



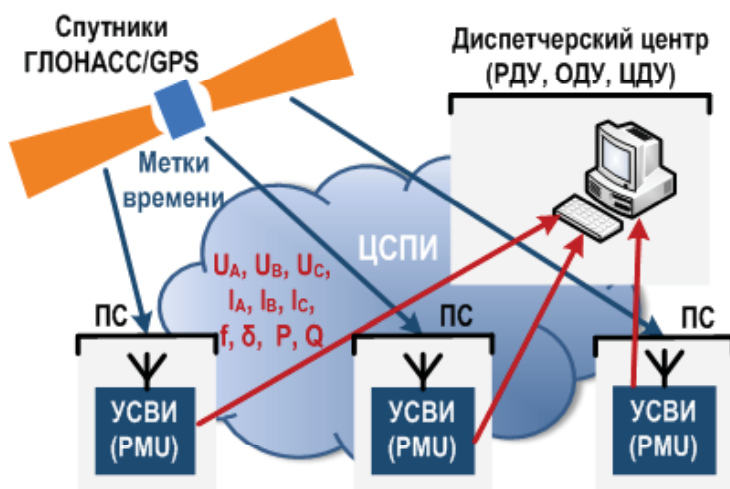
Параметр	ТФ в АВЧ	ТФ в ЦВЧ	Комментарии
Задержка	Небольшая, достижимо 10 мс	Большая, иногда сотни мс	Большая задержка затрудняет разговор, особенно при возникновении эхо-сигнала в местах перехода от 4-х к 2-х пров. окончанию
Поддержка внутриканальной сигнализации	Поддерживает все типы внутриканальной сигнализации, частоты сигналов которой лежат в полосе ТФ канала	Поддерживает только те типы сигнализаций, которые предусмотрены в алгоритмах вокодера	При использовании <b>ЦВЧ</b> необходимо обращать внимание на тип используемой в АТС внутриканальной сигнализации Возможны проблемы с поддержкой <b>АДАСЭ</b> в оборудовании зарубежных производителей

Параметр	ТФ в АВЧ	ТФ в ЦВЧ	Комментарии
Разборчивость речи при помехах меньше нормируемых	Слышен шум ЛЭП, речь разборчива	Отсутствие помех	С точки зрения шума в ТФ канале <b>ЦВЧ</b> лучше
Разборчивость речи при помехах чуть больше нормируемых	Разборчивость речи на фоне шума сохраняется	Пропадание слов и фраз, «бульканье» или полный отказ ТФ канала	<b>АВЧ</b> обеспечивает телефонную связь с пониженным качеством
Число переприемов по <b>аналоговым</b> интерфейсам	Отсутствие нелинейных искажений при переприемах	При числе переприемов более 2-3-х полностью теряется разборчивость речи	При построении телефонной сети с аналоговыми переприемами следует избегать широкое использование ТФ по <b>ЦВЧ</b>

Параметр	ТФ в АВЧ	ТФ в ЦВЧ	Комментарии
Время восстановления канала после его прерывания из-за импульсных помех при коммутации основного оборудования и других факторов	Быстрое восстановление качественной связи после пропадания помех	Требуется время для синхронизации модемов, TDM мультиплексоров и вокодеров, которое может составлять десятки секунд	Нежелательно использовать ТФ по ЦВЧ в качестве каналов диспетчерской связи, т.к. они могут отказать во время коммутаций, т.е. когда данная связь необходима

- ТФ каналы по АВЧ обладают целым рядом преимуществ по сравнению с ЦВЧ и их использование более предпочтительно
- ТФ каналы по ЦВЧ могут быть использованы при сложностях организации каналов по АВЧ, но при этом необходимо обращать внимание на их недостатки

## ЦВЧ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМАХ: СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ (1)



Устройства синхронизированных векторных измерений (УСВИ) или Phasor Measurement Unit (PMU) устанавливаются на наиболее важных для наблюдения объектах энергосистемы

Все УСВИ синхронизированы от систем ГЛОНАСС/GPS или по сети с использованием стандарта IEEE 1588, он же PTP (Precision Time Protocol)

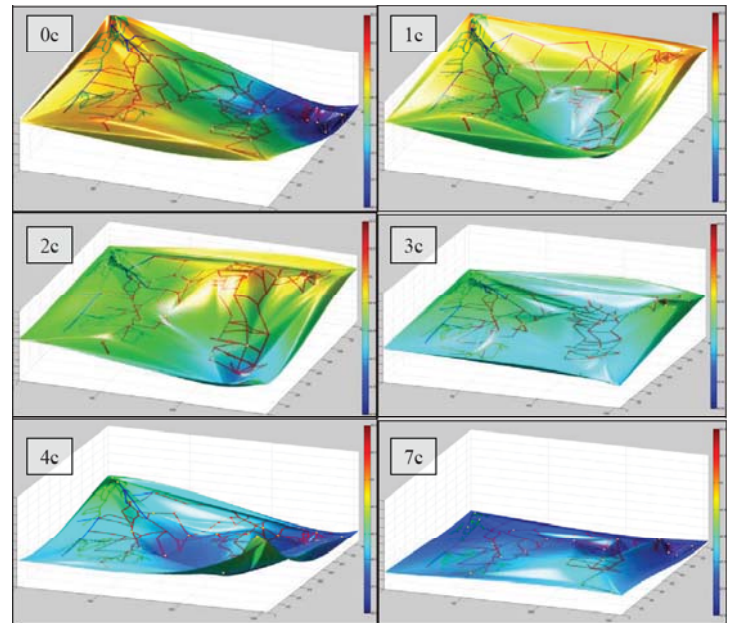
В УСВИ вычисляются вектора напряжений и токов (а не действующие значения), частота сети и т.д., которые передаются в диспетчерские центры по ЦСПИ

Off-line УСВИ – передача архивов данных с серверов с использованием FTP

On-line УСВИ – передача данных согласно С37.118.2-2011 осуществляется с использованием не гарантирующего их доставки UDP/IP, а управление, например, изменение уставок, – TCP/IP

В настоящее время получаемые с **УСВИ (PMU)** векторные измерения с частотой до 50 Гц (иногда 200 Гц, планы – 300...600 Гц) используются в системах мониторинга переходных режимов **СМПР** или Wide Area Monitoring Systems (**WAMS**) для

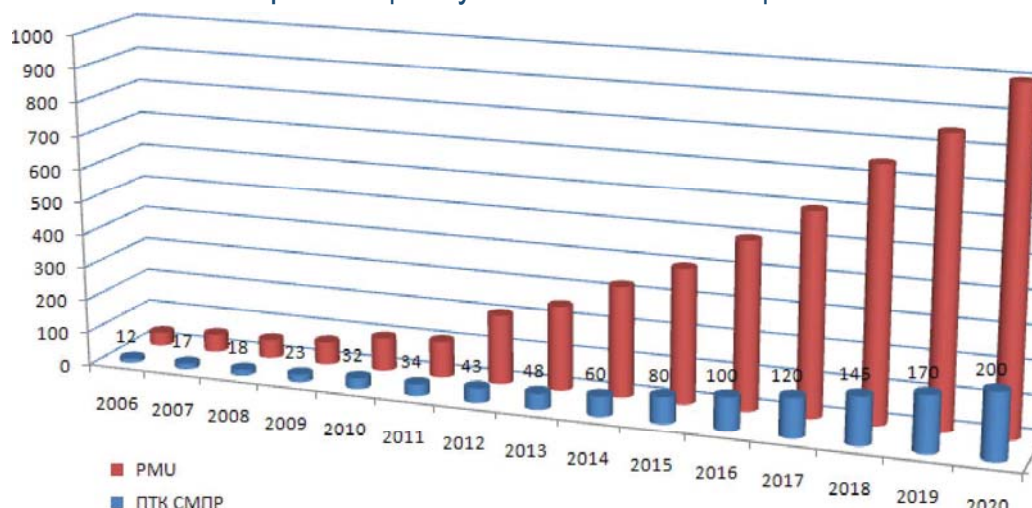
- аналитических и расчетных приложений с использованием архивной информации (верификация расчетных моделей, расследование аварий, уточнение характеристик энергосистемы и т.д.)
- мониторинга и контроля режимов работы энергосистем в режиме реального времени (визуализация динамики изменения режимных параметров, оценивание состояния и т.д.)



Распространение волны частоты по ЕЭС при отключении энергоблока Нижневартовской ГРЭС (данные ОАО «СО ЕЭС»)

**ГОСТ Р 55105-2012** «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем» и **Приказ Минэнерго России №309 от 19 июня 2013 г.** «Об утверждении схемы и программы развития Единой энергетической системы России на 2014-2019 годы» предусматривают установку **УСВИ СМПР**

- на всех подстанциях напряжением 500 кВ и выше
- на всех электростанциях установленной мощностью 500 МВт и более



**Сегодня в России 53 комплекса СМПР (WAMS), число УСВИ (PMU) – 272, более 50 из них on-line**  
**Конец 2015 г. – более 80 СМПР (WAMS), более 400 УСВИ (PMU)**

В настоящее время разрабатываются системы **ПА** или Wide Area Protection Systems (**WAPS**) на основе использования данных **УСВИ** с передачей **управляющих воздействий** (команд **ПА**) на исполнительные устройства

Требования к быстродействию функционирования систем (по данным ОАО «СО ЕЭС»)

Режим работы УСВИ	Система	Приложение	Быстродействие
Off-line	АСДУ	Расчетные задачи	Не регламентируется
		Советчик технолога	< 5 с
On-line	САУ	Режимная автоматика	≤ 1 с
		Противоаварийная автоматика	<< 1 с ( <b>20...100 мс</b> )

Время доставки сообщений в WAPS по данным зарубежных источников для WAPS

Направление	Время
УСВИ → региональный диспетчерский центр	<b>20 мс</b>
региональный диспетчерский центр → национальный диспетчерский центр	<b>40 мс</b>
национальный диспетчерский центр → исполнительное устройство на ПС	<b>50 мс</b>

Ограничения по использованию IP/Ethernet каналов в ЦВЧ в on-line приложениях

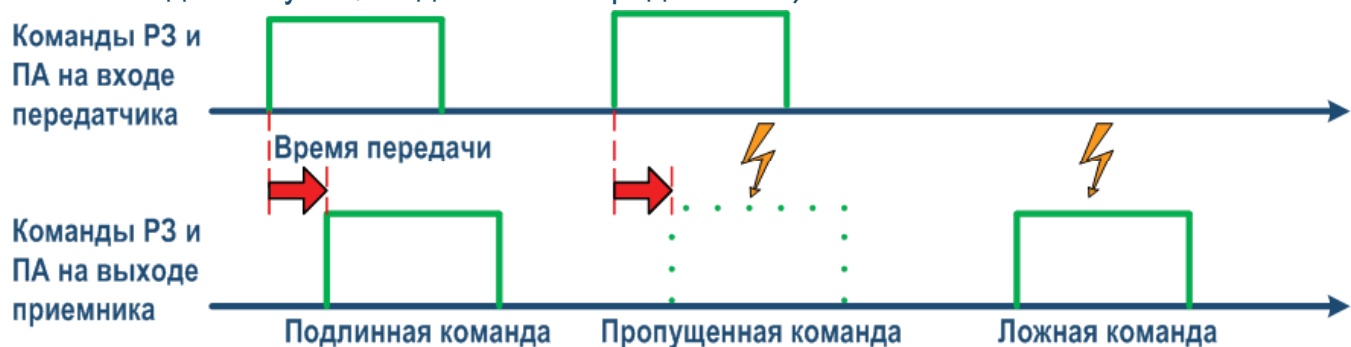
- Ограниченная скорость передачи данных, увеличение которой требует большой полосы рабочих частот, что на практике осуществить крайне затруднительно (свободных частот практически не осталось)
- Недопустимо большая задержка для **ПА**
- Отказ каналов из-за увеличения затухания **ВЧ трактов** при коротких замыканиях на ЛЭП (нормируемая величина 22 дБ для **ВЛ**) и прерывание передачи данных при больших импульсных помехах (работа коммутационного оборудования, грозовые разряды и т.д.), что делает невозможным их использование в АСДУ для мониторинга и контроля режимов работы энергосистем в реальном времени
- **Принципиально:** для передачи данных с **УСВИ (PMU)** используется не гарантирующий их доставки протокол **UDP/IP**, что при одиночной ошибке приведет к потере всего пакета данных

Возможность использования IP/Ethernet каналов в ЦВЧ в off-line приложениях

- передача архивов данных с серверов с использованием **FTP** для аналитических и расчетных приложений

К передаче команд **РЗ** и **ПА** как по **АВЧ**, так и **ЦВЧ**, предъявляются требования по следующим параметрам

- **Время передачи** – время, прошедшее между моментом подачи команды **РЗ** и **ПА** на вход передатчика и замыканием соответствующей цепи на выходе приемника
- **Надежность** – способность аппаратуры правильно выполнять свои функции при наличии помех (определяется вероятностью пропуска команды, в том числе и вероятностью задержки приема команды сверх допустимого времени)
- **Безопасность** – способность аппаратуры предотвращать неправильное действие при воздействии помех (определяется вероятностью приема ложной команды в случае, когда она не передавалась)



Требуемое время передачи команд **РЗ** и **ПА**, их надежность и безопасность обеспечиваются использованием в **УПАСК** кодирования и обработки сигналов

Передача команд **РЗ** и **ПА** организуется с помощью контрольного/охранного сигнала и закодированных сигналов команд

При передаче команд контрольный/охранный сигнал снимается и передаются сигналы команд

В комплексной аппаратуре как в **АВЧ**, так и в **ЦВЧ**, те сигналы, полоса которых совпадает с частотами сигналов команд **РЗ** и **ПА**, отключаются

## Одночастотное кодирование



**Недостаток одночастотного кодирования** – малая безопасность (большая вероятность приема ложной команды) при отсутствии контрольного сигнала

### Двухчастотное последовательное кодирование



Недостаток двухчастотного последовательного кодирования – увеличение времени передачи по сравнению с одночастотным

### Двухчастотное параллельное кодирование



Недостаток двухчастотного параллельного кодирования – уменьшение надежности по сравнению с одночастотным из-за уменьшения действующей мощности двухчастотного сигнала по сравнению с одночастотным сигналом на 3 дБ

## ОРГАНИЗАЦИЯ ВЧ КАНАЛОВ ПО КЛ И ВЛ СО ВСТАВКАМИ КЛ

- ❑ Характеристическое сопротивление **КЛ** составляет 20...100 Ом → Требуются специальные **ФП**

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

$R$  – диаметр проводника,

$D$  – внутренний диаметр экрана,

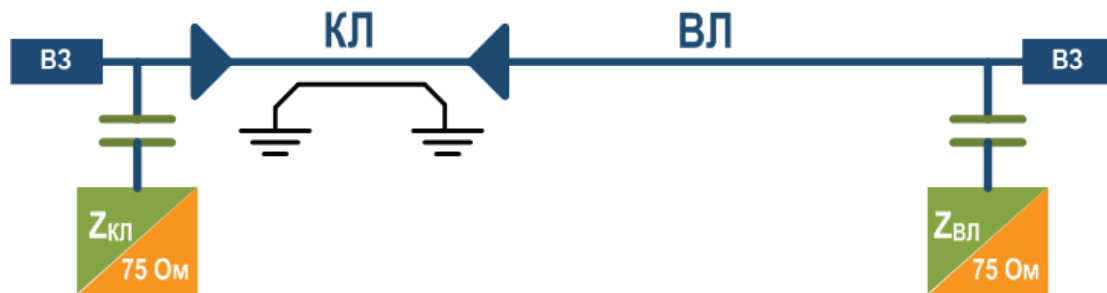
$\epsilon_r = 2.2$  для полиэтилена



- ❑ При подключении к **КЛ** с использованием **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 возникновения стоячих волн **ВЧ** сигнала в **КЛ**
  - Входное 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 внеполосных интермодуляционных помех)

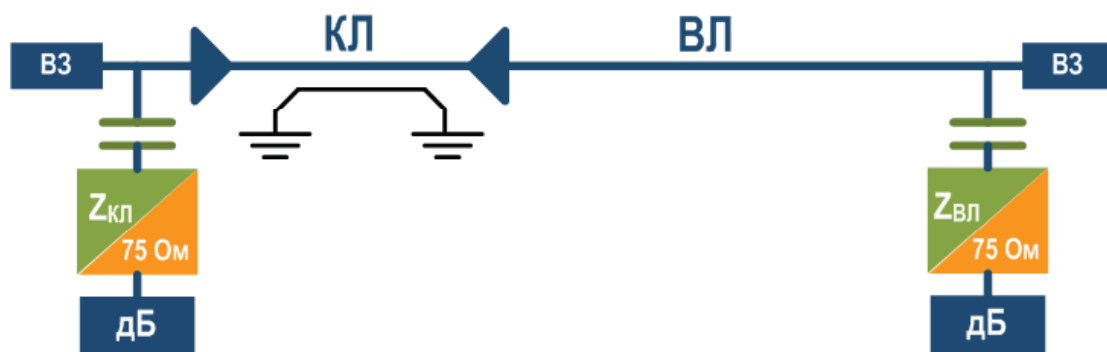


При подключении к КЛ обеспечивается согласование

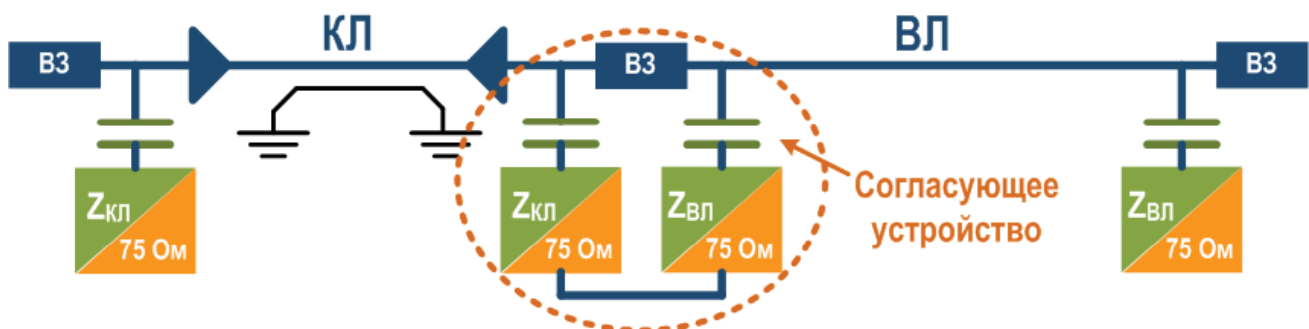


Работоспособное решение, стоячих волн нет, т.к. только одна точка перехода КЛ/ВЛ

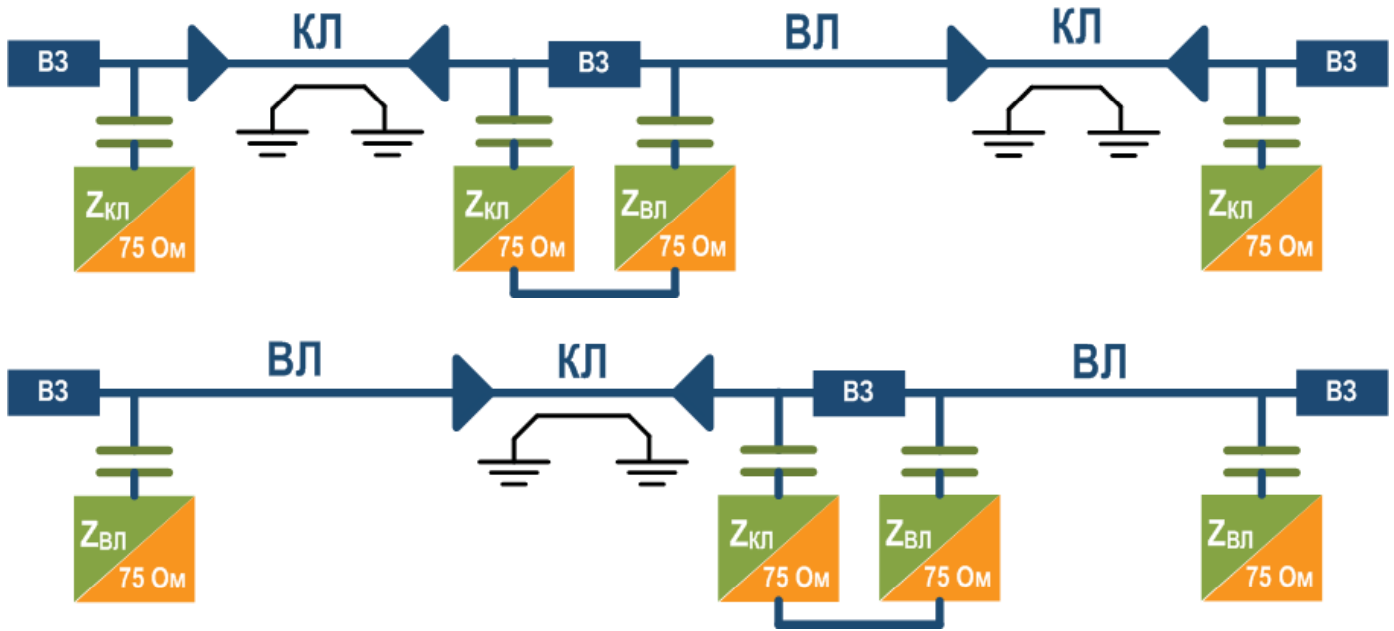
**Недостатки:** при коротких длинах КЛ и ВЛ затухание несогласованности ВЧ тракта может быть очень низким; неравномерность частотных характеристик



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



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



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**

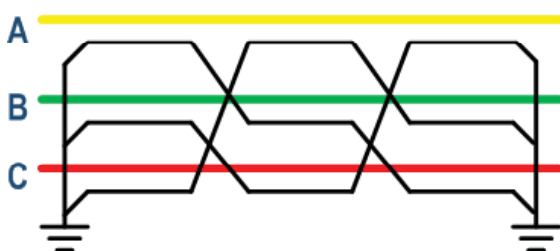
## ЗАЗЕМЛЕНИЕ ЭКРАНОВ КЛ



Заземление экранов **КЛ** с двух сторон – наилучшее решение с точки зрения распространения **ВЧ** сигналов  
Токи в экранах **КЛ** → потери электроэнергии



Заземление экранов **КЛ** с одной стороны → отсутствие токов в экранах **КЛ**  
Пики в частотных характеристиках **ВЧ** тракта  
Потенциал на экранах **КЛ** на стороне без заземления



Транспозиция экранов **КЛ** → отсутствие токов в экранах **КЛ**  
Увеличение числа пиков в частотных характеристиках **ВЧ** тракта по сравнению с заземлением экранов **КЛ** с одной стороны

**Необходим расчет ВЧ каналов по точной методике !!!**



- ❑ **ВЧ каналы** практически незаменимы
  - При организации каналов **ДФЗ** (основная защита ЛЭП)
  - При организации основного и/или резервного каналов передачи команд **РЗ** и **ПА**
  - Для резервирования телефонных каналов (предпочтительней использовать **АВЧ**)
  - Для резервирования каналов передачи данных, в том числе и **IP/Ethernet**, с относительно небольшой скоростью при некритичных требованиях к задержке, например, **АИИС КУЭ**
- ❑ **ЦВЧ** каналы не подходят для реализации высоконадежных высокоскоростных **IP/Ethernet** каналов с малыми задержками (организация таких каналов затруднительна даже в **ЦСПИ** и требует использования специальных протоколов бесшовного резервирования)
- ❑ Организация **ВЧ каналов** по **КЛ** или **ВЛ** со вставками **КЛ** требует использования точных методик расчетов



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