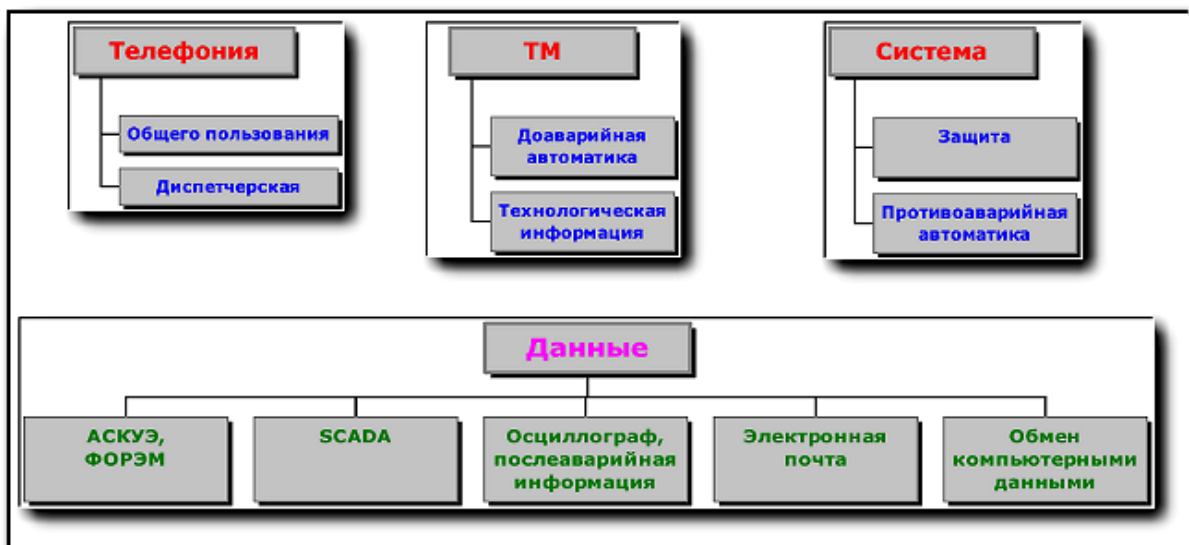


## Комплексные каналы ВЧ связи - иллюзия или все-таки реальность?

Традиционно в энергетике каналы ВЧ связи делятся на «связные» и «релейные» в зависимости от типа передаваемой по ним информации, и, соответственно, принадлежности к той или иной службе.

Связные каналы предназначены для передачи

- сигналов телефонии: как общего пользования, так и диспетчерской (оперативного управления). Причем, безусловный приоритет отдается диспетчерским переговорам
- сигналов телемеханики, реализованных на FSK модемах, и служащих для обмена до- и после аварийными данными и различной технологической информацией



Релейные каналы предназначены для передачи сигналов, обеспечивающих функциональную стабильность энергосети

- предотвращения и ликвидации аварийных ситуаций в сети
- обеспечения оптимальных режимов генерации и энергопередачи

Для этого используются либо системы релейной защиты (как правило, системы дифференциально-фазной защиты и телеускорения), либо системы противоаварийной автоматики.

Технологические новшества, вносимые в процесс управления энергосистемами в последнее время, предъявляют свои требования и к служебным каналам связи. В дополнение к традиционным сигналам современные ВЧ системы должны передавать высокоскоростные потоки данных АСКУЭ и ФОРЭМ, систем SCADA и осциллографирования, электронной почты и межмашинного обмена и т.д.

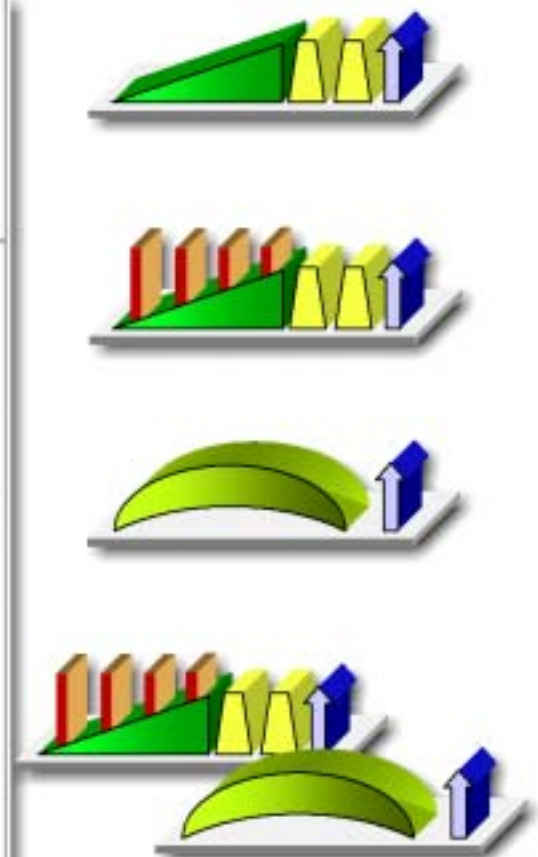
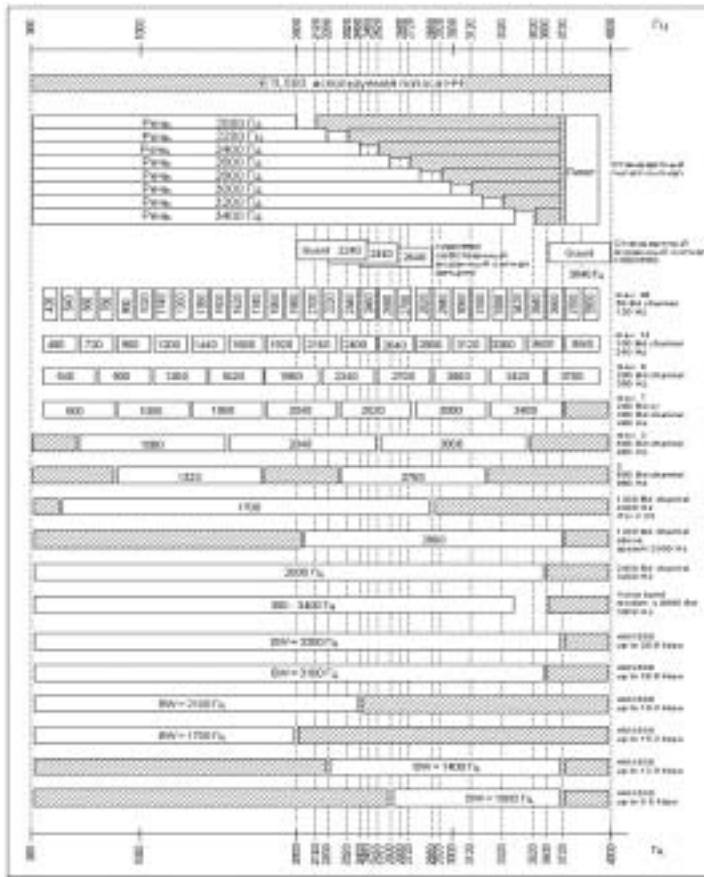
Все это накладывается на существующую структуру сети с огромным парком устаревшего оборудования ВЧ связи, с нерациональным использованием частотного ресурса и многолетними традициями организации служб.

При этом, как объективный, рассматривается следующий критерий функциональности нового оборудования - будет ли оно работать, если им просто заменить старые устройства? Такой подход тащит в будущее весь груз пороков, недоработок и старых технологий, что накопились в сетях за 60 лет.

Как в этих условиях реализовать новые потребности в услугах связи – непонятно!

Тем не менее, рассмотрим, как используются стандартные 4 кГц ВЧ канала и что здесь можно сделать для расширения функциональности ВЧ систем. Обычно:

- контрольный сигнал фиксированной частоты необходим для обеспечения устойчивой работы ВЧ линии, и служит для синхронизации частот приемника / передатчика и функционирования системы АРУ
- сигнал телефонии (ТЛФ) с частотами среза 2400 или 3400 Гц имеет четырехпроводный интерфейс с внутрочастотной сигнализацией АДАСЭ
- сигнал телемеханики (ТМ) со скоростями 50 и 100, максимум 200 Бод удовлетворяет стандартам R.35, R.37 и R.38 (по крайней мере, в последнее время)



Расширение функций контрольного сигнала никак не влияет на совместимость старого и нового ВЧ оборудования, поскольку это внутренний сигнал данной конкретной ВЧ линии. Среди новых возможностей «контрольной» можно выделить следующие:

- контроль абсолютного значения уровня входного сигнала
- измерение текущего отношения сигнал / шум
- организация на «контрольной» служебного канала связи, позволяющего терминалам ВЧ связи обмениваться информацией, и осуществлять удаленный мониторинг или управление (переконфигурацию) ВЧ канала
- передача на «контрольной» различных сигналов телефонной сигнализации, например, E&M-сигнализации
- «произвольная» установка частоты «контрольной»

Основные задачи, которые при этом решаются - это

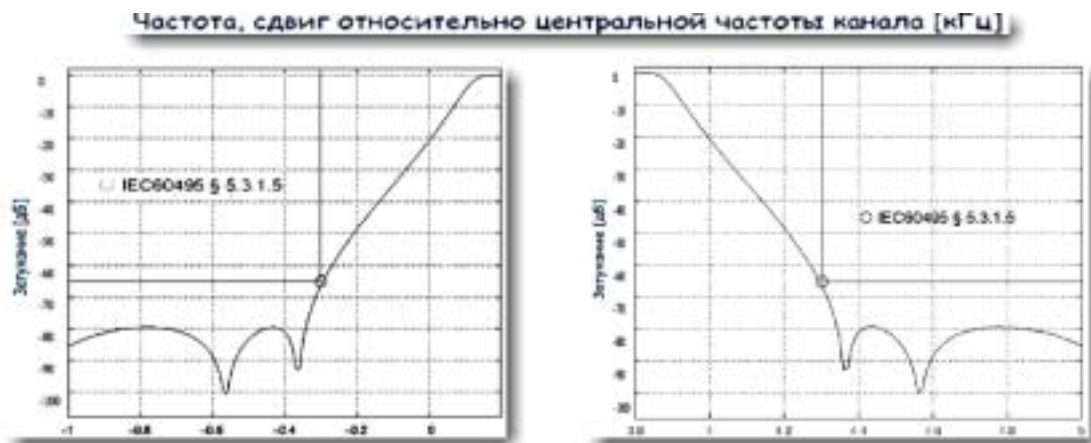
- увеличение надежности работы ВЧ линии и
- адаптация режимов работы ВЧ аппаратуры под текущие параметры ВЧ тракта

Установка частот среза речевого канала в диапазоне частот 2000 ... 3400 Гц шагами по 200 Гц позволяет разместить в надтональной части ВЧ сигнала до 14 каналов ТМ 50 Бод, до 7 каналов 100 Бод, до 4 каналов 200 Бод, до 3 по 300 Бод, каналы ТМ 600 и 1200 Бод.

Еще больше цифровых потоков можно реализовать при использовании современных методов передачи информации. Так, введение в аппаратуру простейших устройств доступа (мультиплексоров) позволяет вместо одного канала ТМ 1200 Бод реализовать несколько каналов данных 1200 Бод, количество которых зависит только от временных параметров передаваемых сигналов и стоимостных показателей. А использование вместо FSK-модемов современных устройств модуляции, позволяет организовать в надтональной части спектра цифровой канал общей емкостью до 4 ... 12 кБит.

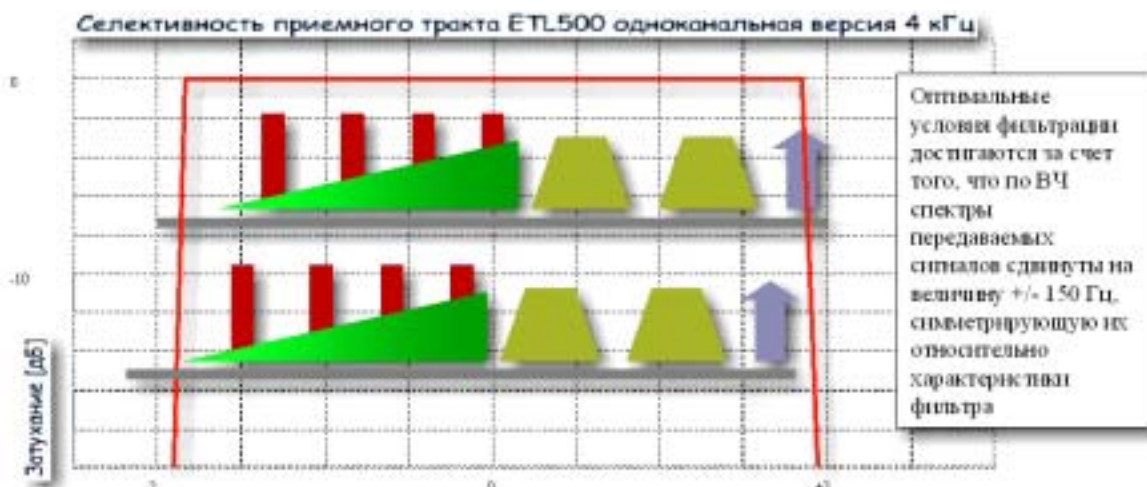
Поскольку большинство таких каналов ТМ / передачи данных не стандартизовано, возникает необходимость использовать по концам ВЧ линии (или транзитного участка) оборудование ВЧ связи одного производителя.

Другим полезным свойством современной ВЧ аппаратуры оказывается реализация всех функций обработки сигналов в цифровом виде. Помимо того, что это значительно повышает стабильность всех параметров ВЧ линии, становится возможным перераспределять спектры сигналов внутри стандартных 4 ... 8 кГц достаточно произвольным образом.



Решающим фактором здесь становится механизм цифровой фильтрации сигналов. Селективность спектров становится столь велика (более 65 дБ), что позволяет

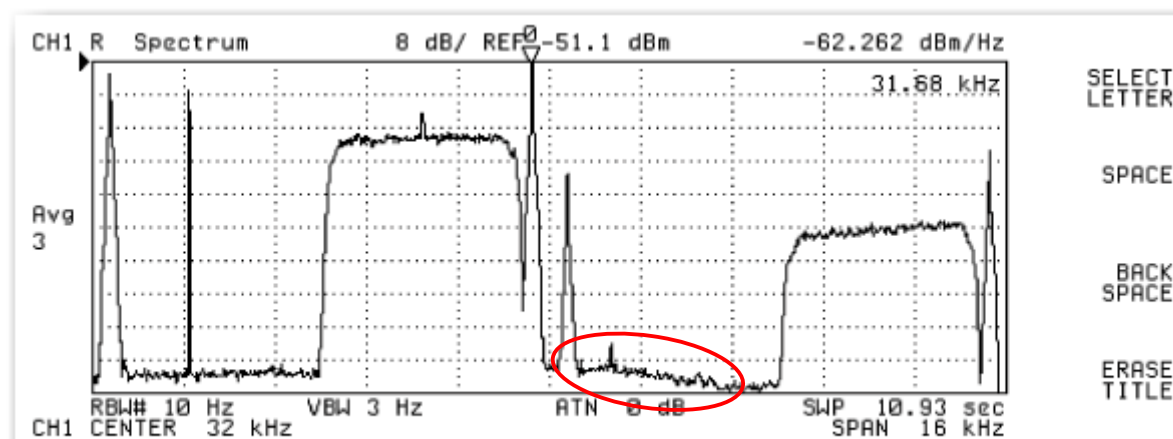
- располагать разнотипные сигналы, передаваемые по ВЧ тракту, вплотную друг к другу
- располагать ВЧ каналы приема / передачи без защитных зазоров



Этому способствует и тот факт, что спектр сигналов ТЛФ начинается с частоты 300 Гц. Поэтому, для получения симметричных характеристик ВЧ фильтрации и уменьшения ВЧ защитных интервалов возможно «сдвинуть» спектр сигнала в линии на 150 Гц, а потом «вернуть» обратно.

На приведенной спектрограмме сигнала в ВЧ линии видно, что

- легко реализуется двухканальный режим работы в совмещенной полосе частот (на спектрограмме слева - каналы передачи, справа – приема)
- спектры сигналов приема / передачи расположены симметрично относительно центральных частот
- селективность внутриканальных сигналов превышает 60 дБ



При этом особое внимание следует обратить на тот факт, что такой режим работы накладывает определенные ограничения на качество тракта передачи:

- уровень гармоник и интермодуляционных искажений всего тракта передачи (включая линейные цепи) не должен превышать -80 дБ
- уровень собственных шумов тракта передачи (включая линейные цепи) не должен быть выше -100 ... -105 дБ

Связано это с тем, что искажения и шумы линейного тракта передачи (усилитель, фильтр и т.д.) практически не фильтруются, а прямоком попадают в тракт приема (на спектрограмме выделено красным). Собственные шумы приемника достаточно низки, и может возникнуть ситуация (для ВЧ трактов с большим затуханием), когда чувствительность приемного тракта будет определяться не приемником, а передатчиком!

Соблюдение всех указанных требований позволяет радикально изменить представление о структуре ВЧ канала.

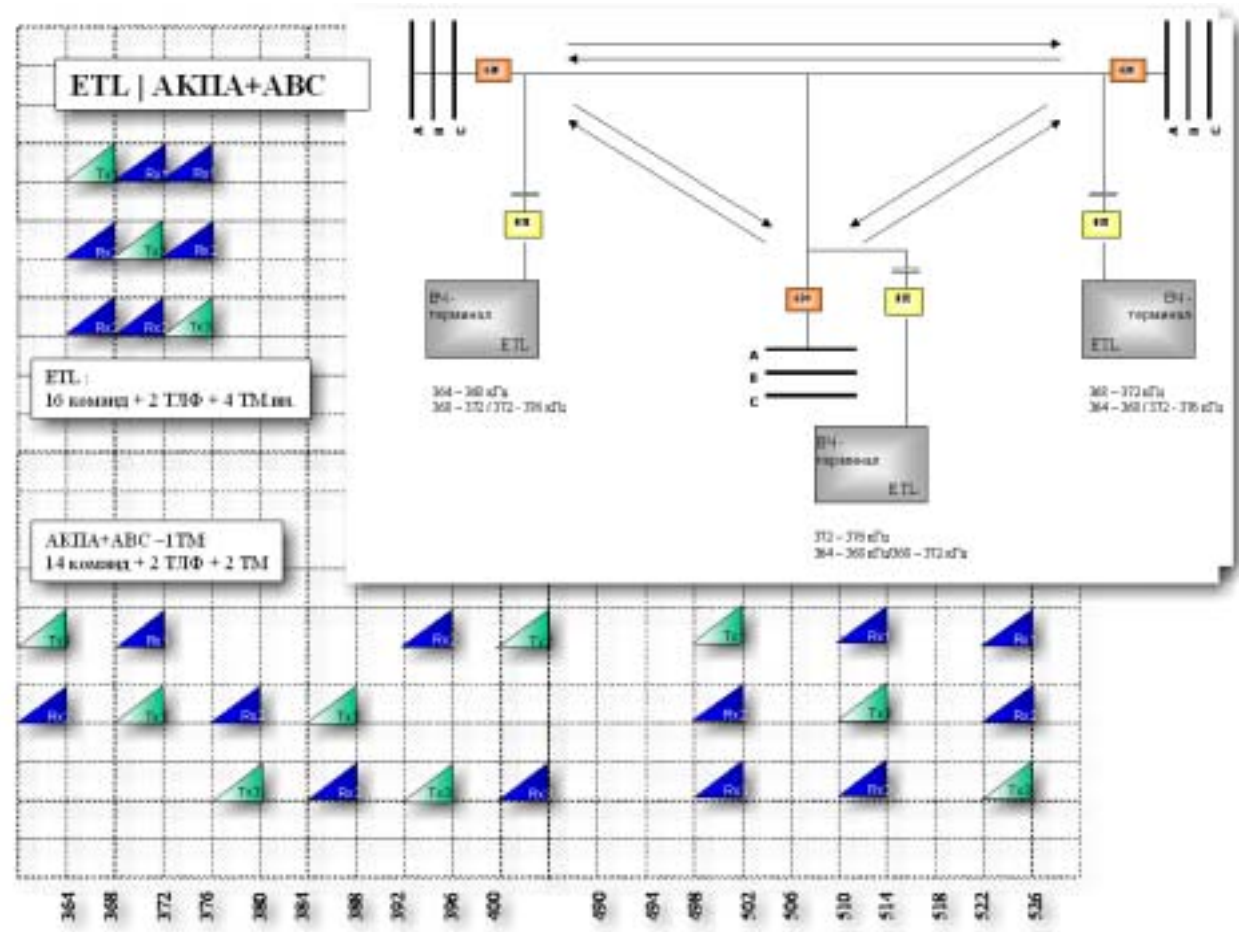
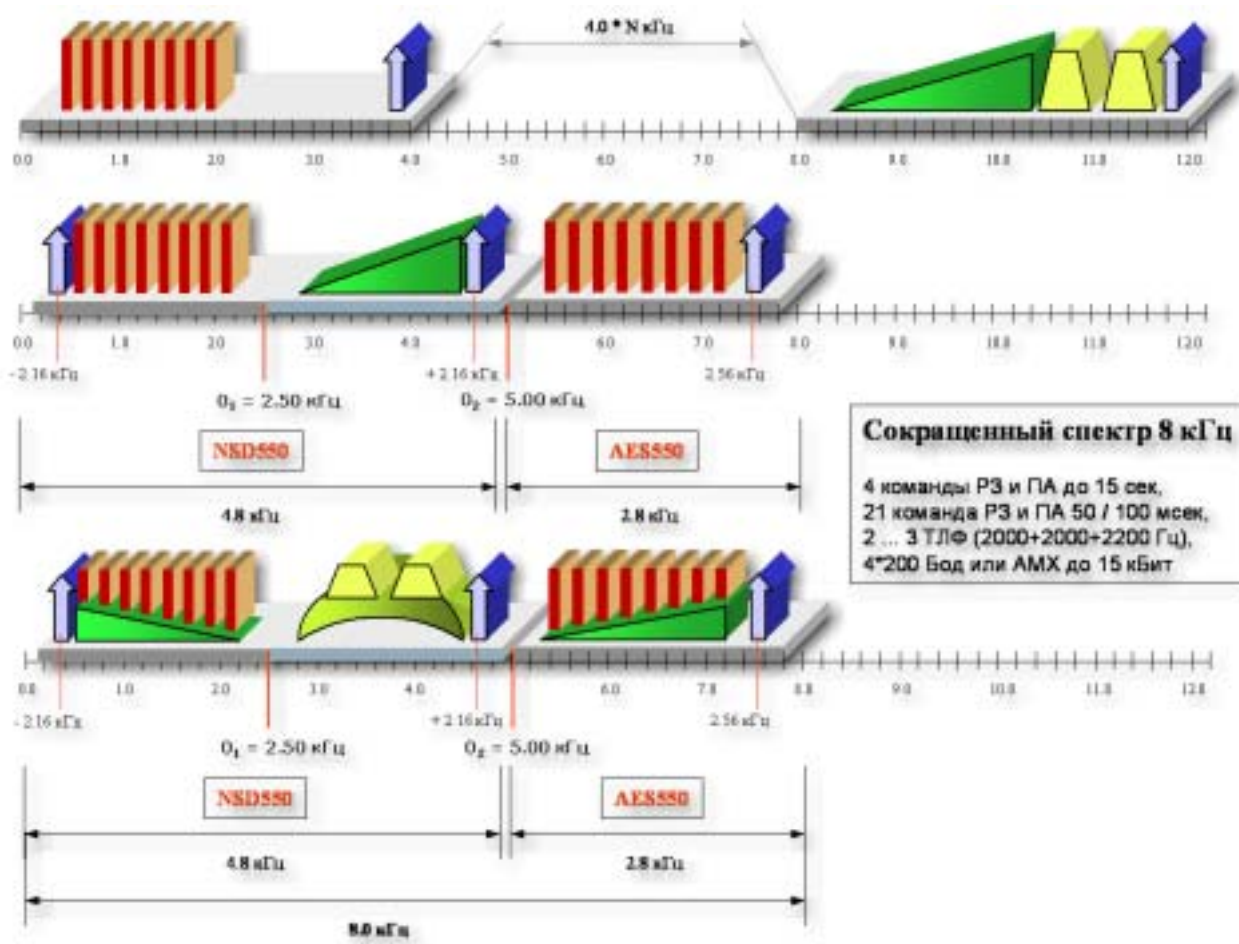
### Экономия частот

Стандартный зазор между полосами приема / передачи или ВЧ каналами составляет  $4 * N$  кГц (обычно 8 кГц) На рисунке ниже показаны два таких канала с защитным интервалом 4 кГц. Общая ширина занятых частот составляет минимум 12 кГц (или 20 кГц с учетом защитных интервалов справа – слева, или минимум 10 ... 12 кГц на направление).

В тоже время, объективно, полоса требуемых частот для передачи сигнала ТЛФ составляет  $300 \dots 2000 = 1700$  Гц + «контрольная» 120 Гц = 1820 Гц. Таким образом, в **стандартной** сетке ВЧ канала  $4 * 2 = 8$  кГц можно разместить 4 ТЛФ канала с урезанным спектром, или 3 ТЛФ канала с частотой среза 2400 Гц. При использовании полосы ВЧ сигнала 16 кГц это могут быть 8 урезанных ТЛФ каналов или 6 каналов с частотой среза 2400 Гц.

Здесь специально считалась комбинация ТЛФ сигнала и «контрольной», поскольку она позволяет реализовать полностью независимые ВЧ каналы, и работать в режиме «точка – многоточка» или «звезда».

Это следующая особенность современных систем ВЧ связи - каждый ВЧ подканал абсолютно не зависим, и имеет собственные энергетические, шумовые, частотные и коммутационные характеристики. Точкой сопряжения ВЧ подканалов является линейная часть ВЧ аппаратуры, поскольку без нее подключиться к линии просто невозможно.



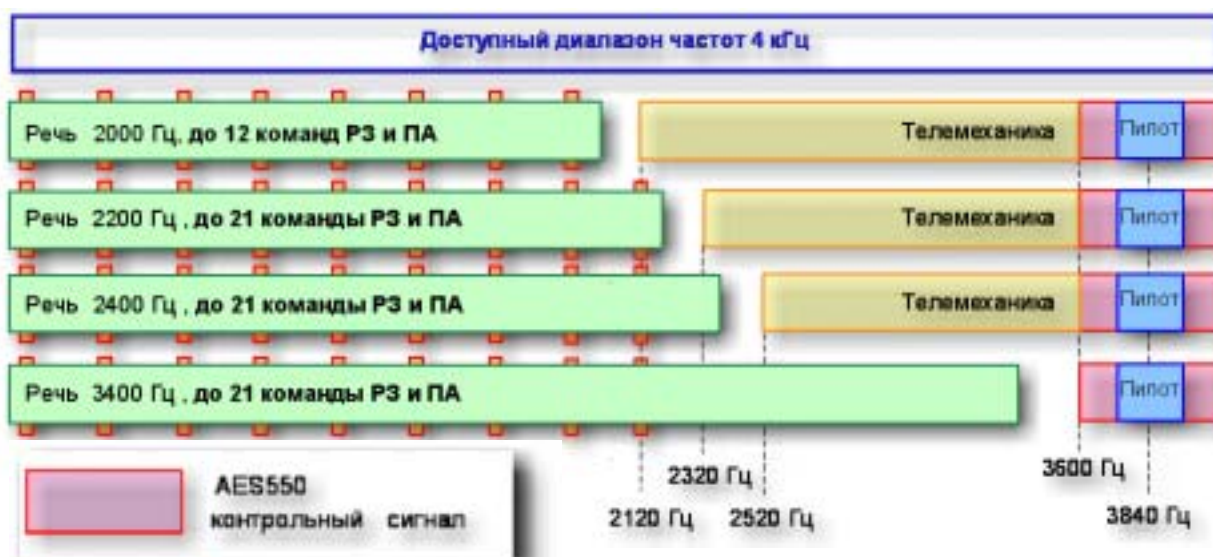
Кстати сказать, телефонный канал здесь рассмотрен чисто условно. Вместо него могут передаваться сигналы ТМ и данных, или сигналы команд релейной защиты и противоаварийной автоматики (РЗ и ПА).

Такая аппаратура ВЧ связи абсолютно несовместима с существующими системами на уровне ВЧ сигналов, но экономия частотного плана в 2 ... 3 раза (с учетом защитных интервалов) и возможность одновременной работы по нескольким направлениям говорит сама за себя.

### Объединение функций - комплексный ВЧ канал

Для крупных энергосистем, или крупных сетевых узлов характерна ситуация, когда частотный план забит настолько, что организовать новые каналы связи не представляется возможным или это связано с большими трудностями. В имеющиеся «дырки» либо вообще ничего не влазит, либо они могут использоваться для передачи только одного вида информации.

Для цифровых систем передачи этот вопрос давно решен - в них используются те или иные виды уплотнения сигналов: временные, кодовые, статистические и т.д. Здесь, прежде всего, необходимо решить, какие сигналы требуется уплотнить, а затем уже выбирать способ его реализации.



Функционально ВЧ каналы делятся на «связные» и «релейные», следовательно, и объединять надо именно эти сигналы.

Сигналы команд РЗ и ПА характеризуются большой периодичностью и кратковременностью, однако, должны обладать значительной помехоустойчивостью и достоверностью.

Речевые сигналы – долговременны, сопровождаются большим шлейфом шумов, помех, пауз и прочих дефектов, присущих аналоговых каналам.

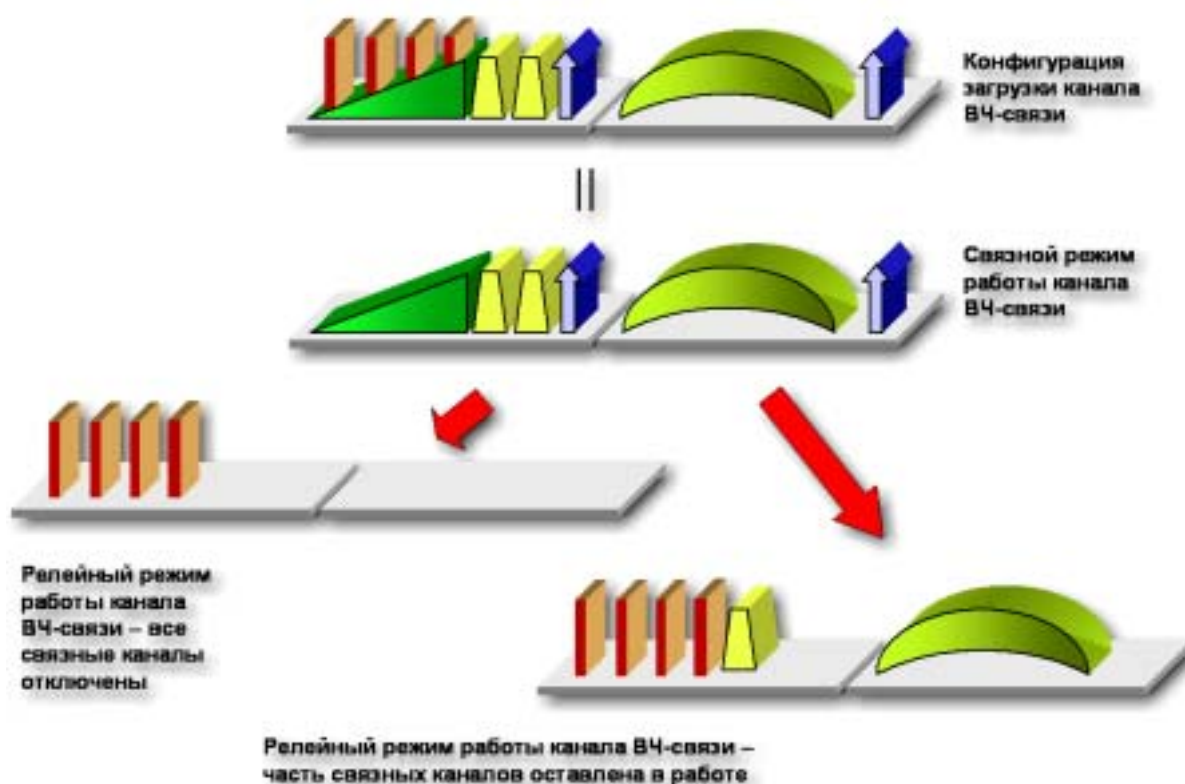
Сигналы ТМ и данных могут быть как кратковременными, так и достаточно продолжительными, имеют ярко выраженные «однотональные» свойства и часто не допускают перерывов передачи.

Таким образом, из «связных» сигналов больше всего для уплотнения подходят именно сигналы ТЛФ.

Имея в виду временные характеристики передачи сигналов команд РЗ и ПА, очевидным представляется использовать временное уплотнение сигналов, а точнее - разделение ВЧ канала по времени: обычно канал используется, как телефонный, и только в короткие моменты времени передачи сигналов команд РЗ и ПА, его функция изменяется.

Такое переключение на речевом сигнале практически не скажется - мало кто заметит паузу длиной 100 ... 150 мсек, а полная смена выполняемых функций гарантирует надежную передачу сигналов команд.

### Режимы работы комплексного канала ВЧ-связи



При этом может происходить как полная подмена функций, так и частичная, то есть, во время передачи сигналов команд отдельные «связные» каналы могут оставаться в работе. Это может быть важным, например, для каналов ТМ оперативного управления процессами энергогенерации, передачи и энергопотребления.

Основополагающим вопросом здесь является следующий: «Как обеспечить полную независимость процессов и функций, как исключить их взаимное влияние?!»

#### Принципы разделения функций - комплексный ВЧ канал

1. «Связные» сигналы всегда передаются при наличии «контрольной» частоты.
2. Стандартные телефонные окончания при отсутствии «контрольной» всегда выключаются (разрываются)
3. Каналы ТМ и нестандартные 4-х проводные окончания при отсутствии «контрольной» могут как выключаться, так и оставаться в работе (для каждого окончания индивидуально конфигурируется пользователем)
4. Сигналы команд всегда передаются в отсутствие «контрольной»
5. Сигналы команд передаются с использованием частотного и временного кодирования

Все промежуточные состояния / ситуации рассматриваются системой передачи команд как ошибочные, и об этом выдается соответствующая сигнализация. Например:

- Абсолютный уровень «контрольной» на входе приемника меньше установленного значения - генерируется сигнал Авария линии системы защиты

- Отношение сигнал / шум на входе приемника меньше установленного значения - система подходит к порогу, где не гарантируется заданная надежность приема команд - сигнал Авария линии системы защиты
- В ВЧ канале присутствуют сигналы «контрольной» и частоты сигналов команд - генерируется сообщение о данной Аварии
- Тип сигнала команды не соответствует установленному - Авария и др.

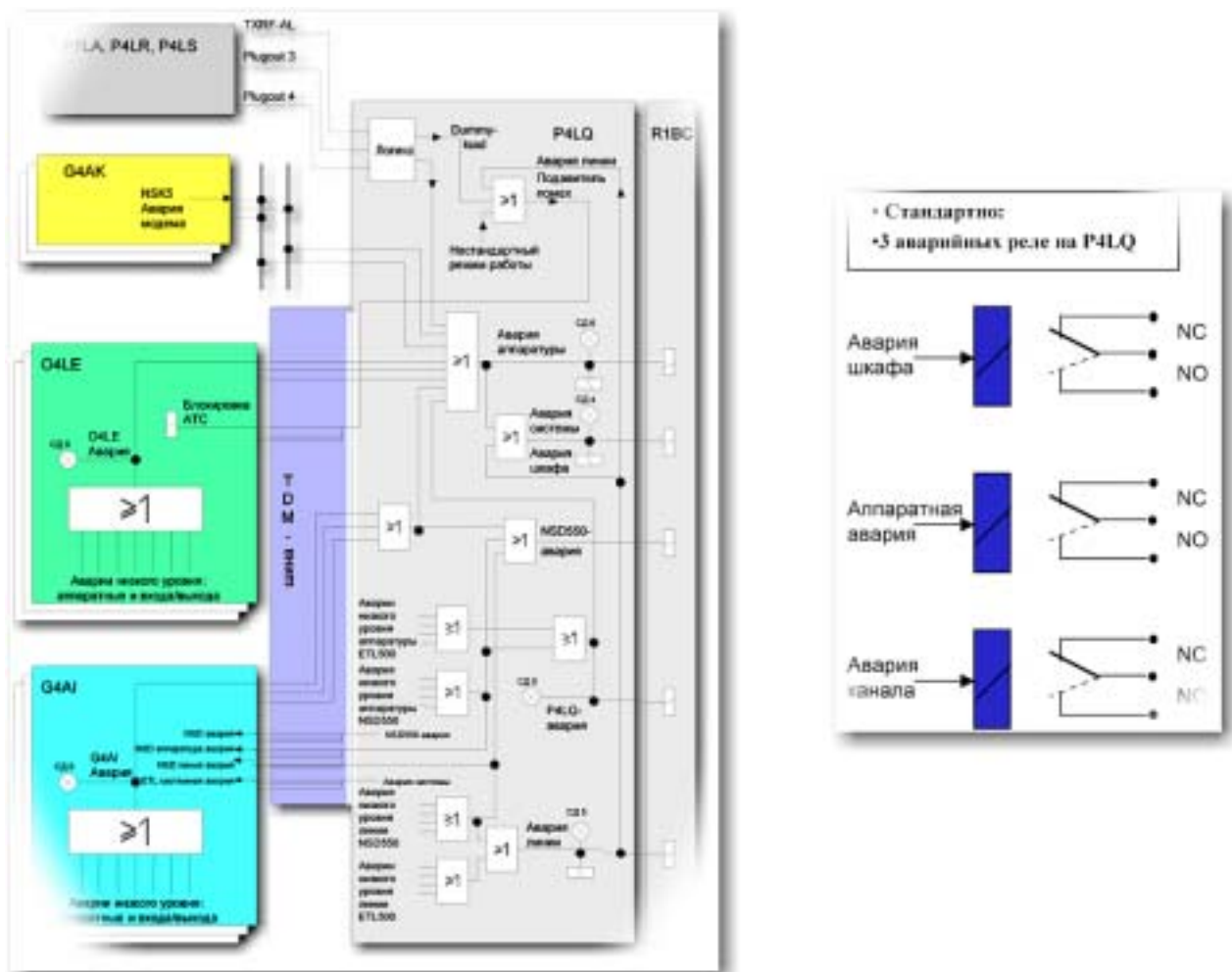
К сожалению, здесь введение новых систем опять упирается в стену сложившихся представлений и организационных проблем.

### Принципы сигнализации - комплексный ВЧ канал

Комплексный канал, по сути, состоит из двух независимых подсистем, использующих одни и те же узлы аппаратуры. Но критерии оценки их работоспособности различны!

Рассмотрим линейный тракт. Допустим, система постоянно измеряет затухание в линии и отношение сигнал/шум. Для канала связи аварийной станет ситуация, когда, предположим, затухание в линии увеличится до 29 дБ или отношение сигнал/шум понизится до 20 ... 26 дБ. В тоже время для подсистемы защиты и автоматики эти значения могут составлять 49 и 6 дБ!

Вводить различные системы сигнализации – дорого... Выключать канал, как регламентируется для систем РЗ и ПА, при каждой аварийной ситуации в общем ВЧ тракте - то же дорого...



Хотя при существующей нормативной базе и неизбежно - по всем аварийным цепям стоят блинкера и диспетчер просто обязан вывести канал из работы, не смотря на то, что сама причина Аварии автоматически давно устранена!



С другой стороны, если система РЗ и ПА практически не допускает возникновения ложных команд, то разумнее

- проранжировать все аварийные ситуации по степени их важности для работы подсистемы автоматики
- исключить автоматическую блокировку работы системы РЗ и ПА, и ввести ручной экспертный режим отключения

Это допустимо потому, что ситуаций, при которых безусловно исключается прохождение сигналов команд, не так много:

- выполнение профилактических работ с аппаратурой
- полный выход из строя линейного тракта
- аппаратные и программные дефекты
- снижение отношения сигнал/шум ниже определенной наперед заданной величины
- увеличение затухания выше критического значения и некоторые другие

Во всех остальных случаях вероятность правильного прохождения сигналов команд известна, и определяется либо производителем, либо по результатам статистических испытаний во время проведения сертификационных или межведомственных экспертиз.

#### Время передачи

Номинальное время передачи, включая время обработки в ETL500 и время срабатывания входных/выходных контактов в G4AI:

Тип выходного контакта G4AI:		<u>твердотельный</u>	<u>обычный</u>
Номинальное время передачи TO	TO1	16 мс <sup>1</sup>	24 мс <sup>5</sup>
	TO2	26 мс	34 мс
<b>Безопасность</b>		<u>«надежность»</u>	<u>«безопасность»</u>
(P <sub>uc</sub> в соответствии с IEC 60834-1 при 200 мс шумовой вспышке/200 мс паузе)	TO1	P <sub>uc</sub> < 10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-12</sup>
	TO2	P <sub>uc</sub> < 10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-20</sup>
<b>Надежность</b>		<u>«надежность»</u>	<u>«безопасность»</u>
(требуемое отношение сигнал / шум в полосе 4 кГц для P <sub>мс</sub> < 1% в течение времени 1.3 TO)	TO1	6 дБ	9 дБ
	TO2	3 дБ	6 дБ

<sup>1</sup> для сигналов команд группы В cmd13 ... cmd20 время передачи TO1 равно 18/26 мс

При этом производитель ОБЯЗАН указывать в техническом паспорте на систему

- величину наиболее критичного параметра комплексного канала с точки зрения неготовности системы к передаче сигналов команд РЗ и ПА (например, q = 0.01 при отношении сигнал/шум 3 дБ; при этом предполагается, что собственная неготовность подсистемы РЗ и ПА значительно ниже)
- величину потока ложных срабатываний при наихудших условиях передачи (например, w = 0.00000001 при отношении сигнал/шум -12 дБ в шумовых вспышках длительностью 200 мсек )

Реально только эти события могут вызвать необходимость в отключении канала для отыскания причин неисправностей.

Все остальные аварийные ситуации для подсистемы автоматики могут рассматриваться как информационные, предупредительные, рекомендуемые или свидетельствующие о неправильной организации комплексного канала.

Такая многоступенчатая система сигнализации может показаться излишней, но это правильно только для выделенных каналов. Для комплексных возможны ситуации, когда подобная сигнализация необходима.

Предположим пользователю необходимо передать по комплексному телефонному каналу какие-то данные (хотя делать это по комплексным каналам не рекомендуется). Традиционно для этого используются модемы: FSK – Аналитик, ТФМ и другие; офисные – IDC, US Robotics и другие; специальные - семейства PEP Telebit, и т.д. Особую опасность представляют FSK и PEP модемы. Их сигналы имеют ярко выраженные тональные свойства, при скоростях передачи 100 ... 200 Бод их временные параметры приближаются к кодовым последовательностям, используемым при передаче сигналов команд. Короче, при достаточной настойчивости ими можно смоделировать сигнал команды.

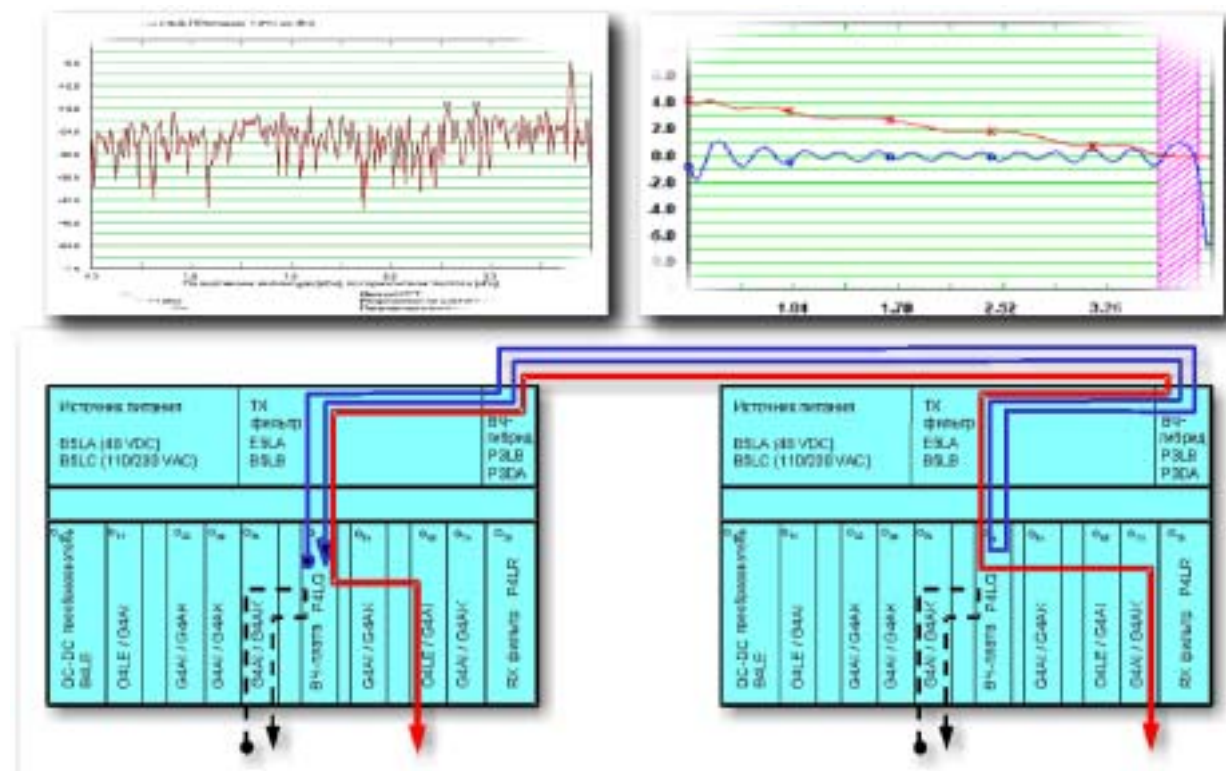
Именно для этого случая и предназначена сигнализация «Одновременный прием сигнала команды и «контрольной». Сам по себе этот сигнал значит только одно - система передачи команд лишилась одной из степеней защиты. И не значит, что пошли ложные команды.

Это частный случай, но сложившаяся система установки блинкеров, вынуждает диспетчера дергаться каждый раз при возникновении подобных ситуаций. И теперь, вместо того, чтобы повышать надежность и безопасность системы передачи команд, производитель вынужден, по требованию пользователей, понижать ее! Следующим логичным шагом, отдающим дань традициям, станет запрещение комплексных каналов... Прогрессивно...

Таким образом «независимость процессов и функций» становится не технической задачей, а организационной!

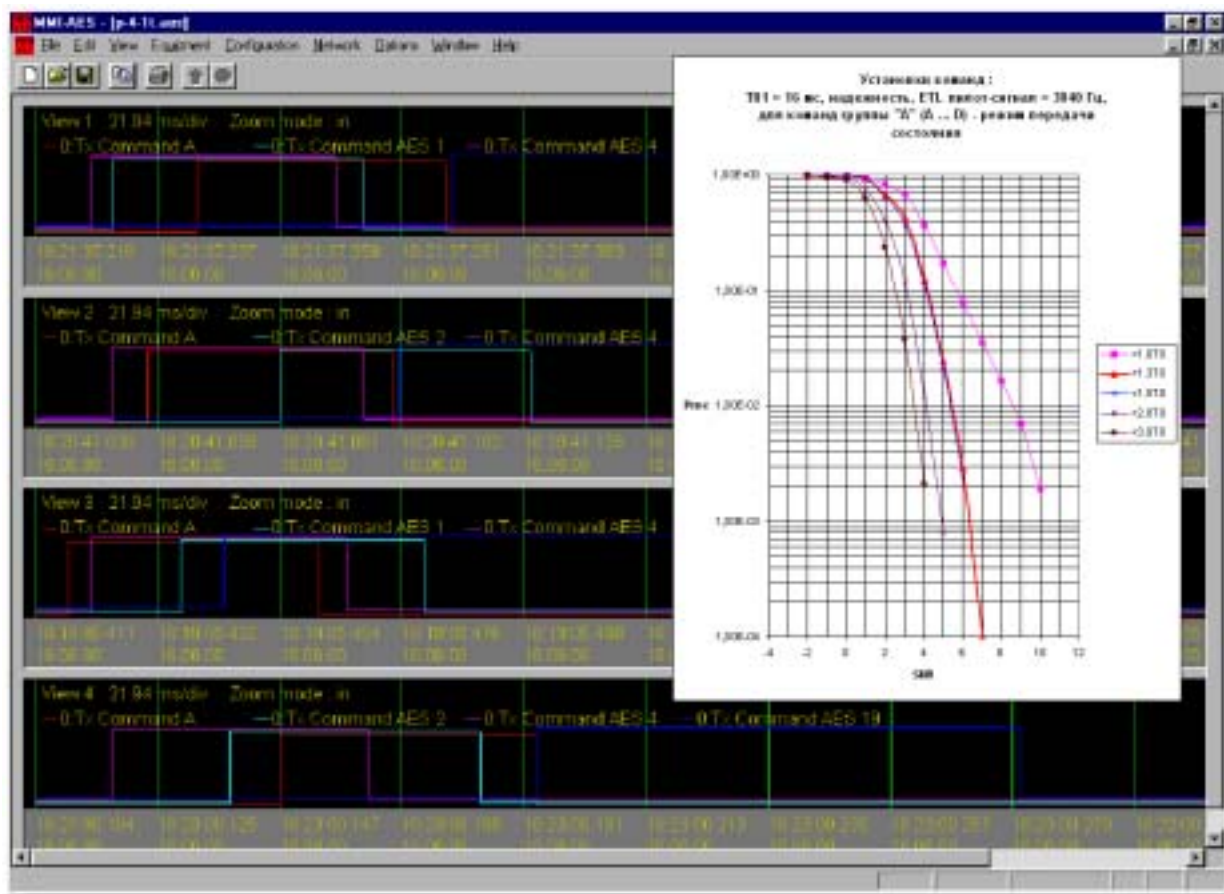
### Свойства и характеристики - комплексный ВЧ канал

Первым и неотъемлемым свойством комплексного ВЧ канала является его надежность. Надежность не только аппаратная, но и функциональная. Существует множество способов получения заданных свойств, главными из которых можно назвать: использование современных схмотехнических, конструкторских, технологических и программных решений, а также постоянная самодиагностика аппаратуры и канала.

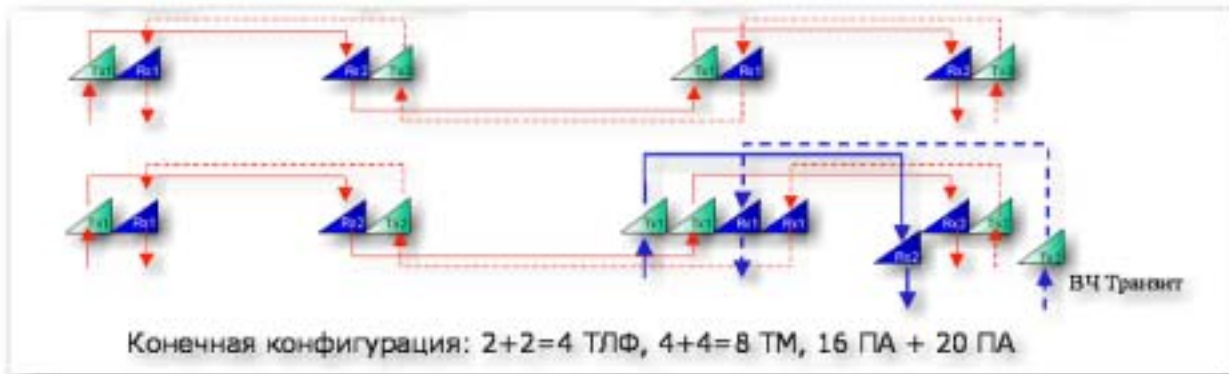


Причем по результатам самодиагностики система должна уметь корректировать свои параметры так, чтобы обеспечить наилучшие условия передачи в данный конкретный момент времени.

Применительно к системе передачи сигналов команд это значит, что система автоматически изменяет алгоритмы обработки сигналов в зависимости от реального состояния линии. Наиболее значимым параметром здесь является отношение сигнал/шум. Правильность своих установок и пригодность ВЧ канала к передаче сигналов команд такая система должна периодически проверять посылкой в линию тестовых комбинаций и оценкой их прохождения. Поскольку периодической проверке подвергаются не только внутренние цепи аппаратуры, но и сам ВЧ тракт Готовность системы многократно возрастает.



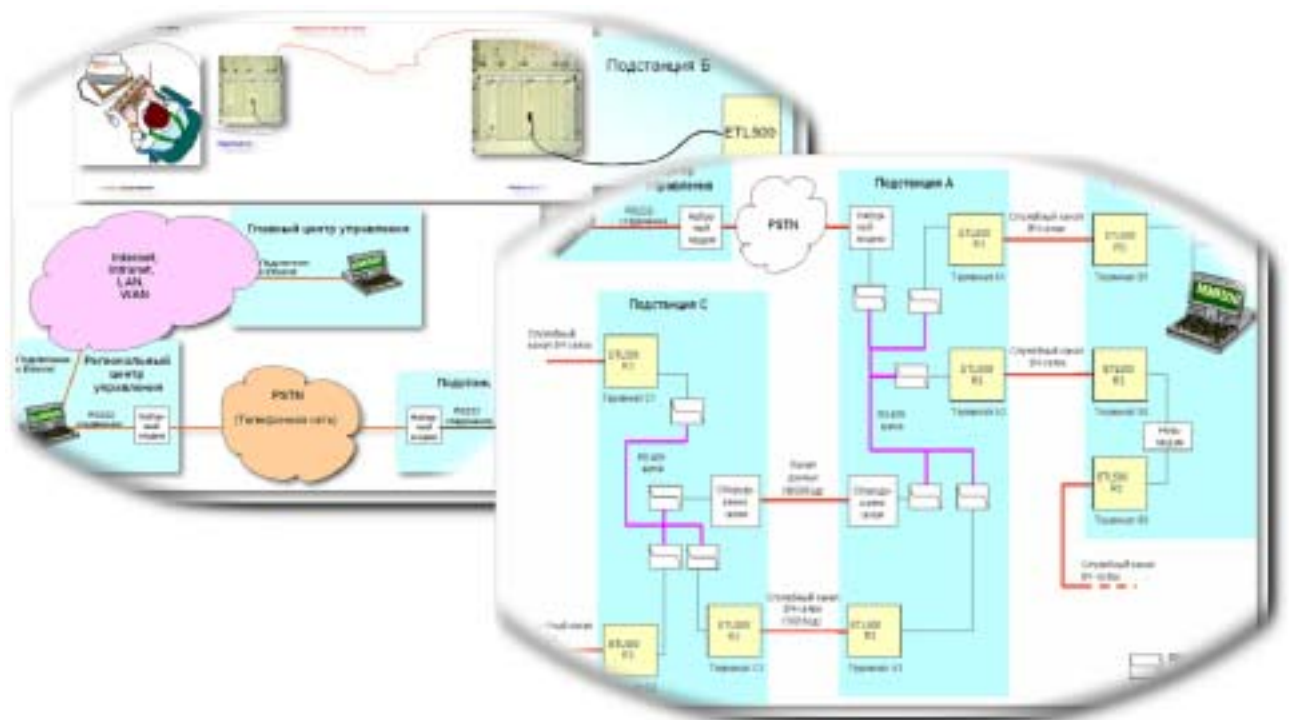
Другим полезным свойством комплексного канала является возможность организации сложных транзитных соединений.



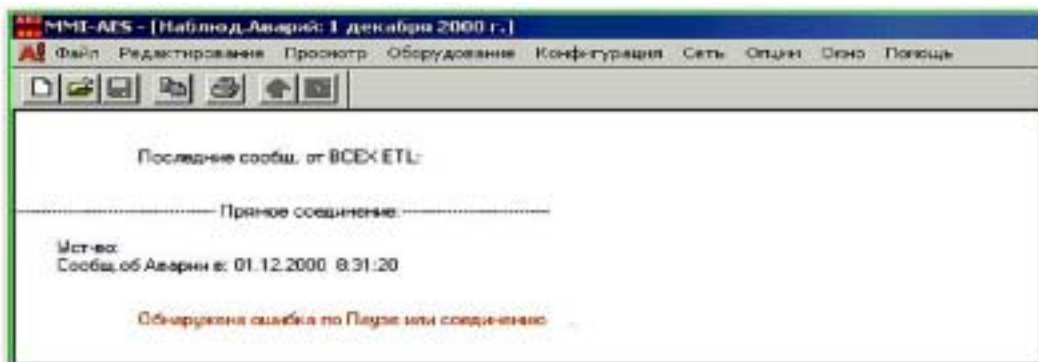
Поскольку 4-х проводные окончания при обработке сигналов команд могут быть как отключаемыми, так и не отключаемыми, то в точке переприема возможно:

- в ВЧ спектре 4 кГц беспрепятственно передавать транзитные команды при отсутствии местных команд, и прерывать транзит при необходимости передать собственные сигналы
- в полном ВЧ спектре 8 кГц беспрепятственно передавать транзитные команды (4 кГц), и одновременно осуществлять независимую передачу местных или пришедших с другого направления ВЛ сигналов команд. Так как канал комплексный, то в обычном связном режиме такая система может передавать сигналы телефонии и данных. Прямая экономия частот составит не менее 20 ... 24 кГц. Если позволяет энергетика линии, то наращивать емкость системы подобным образом можно вплоть до занятия ВЧ спектра 16 кГц, когда экономия частотного плана составит не менее 40 ... 48 кГц, а общая информационная емкость - 4 канала телефонии, 4 ... 16 каналов ТМ и до 84 сигналов команд РЗ и ПА в каждом направлении.

Обязательным требованием к комплексному каналу, да и вообще к современным системам ВЧ связи, является наличие у них функций удаленной диагностики и мониторинга. Под удаленной диагностикой понимается возможность дистанционно изменять конфигурацию и параметры аппаратуры, считывать ее состояние и состояние канала связи. Под мониторингом подразумевается возможность в автоматическом режиме собирать аварийную информацию со всех терминалов ВЧ связи, объединенных в некоторую сеть.



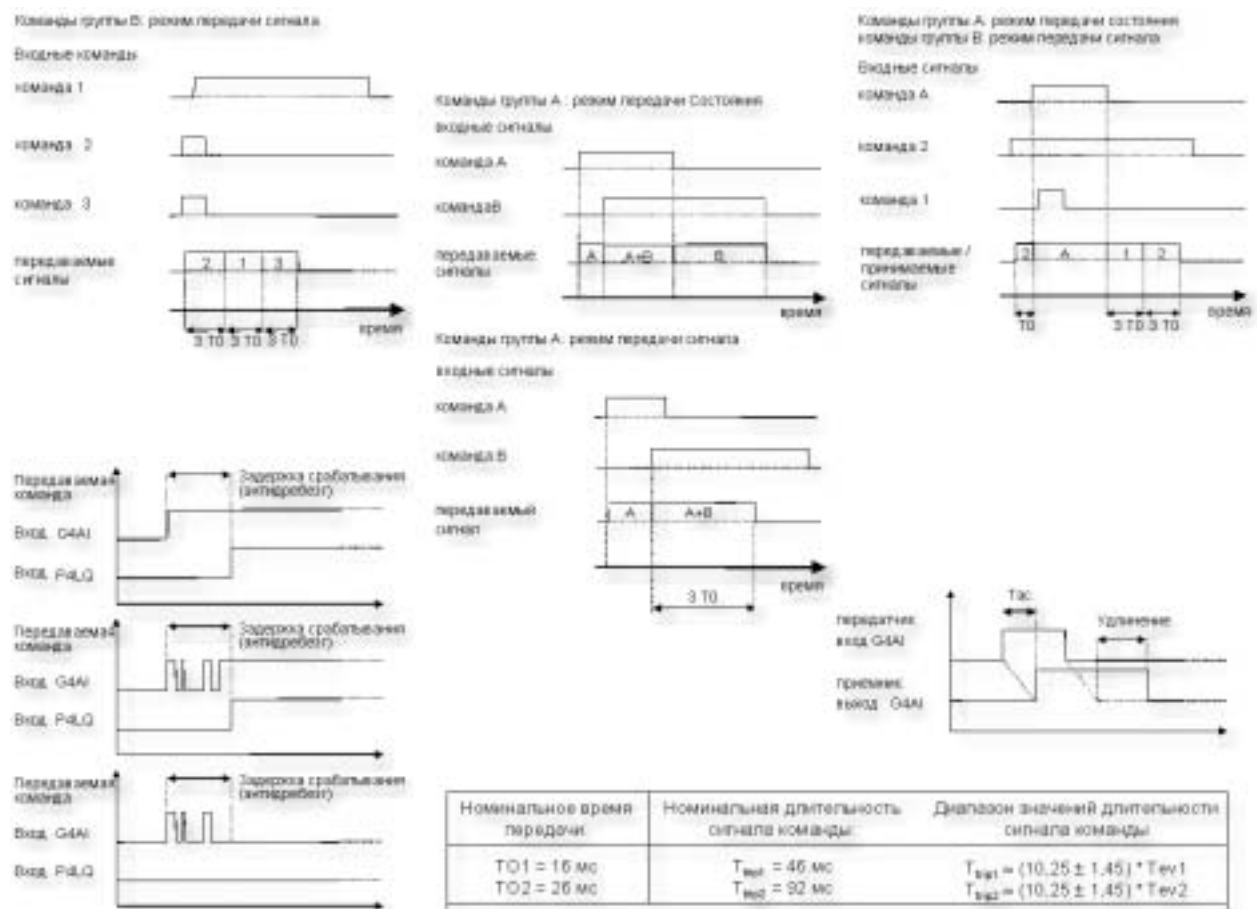
При этом оператор, находящийся в некотором центре управления и сбора информации, на экране компьютера в реальном масштабе времени может отслеживать состояние всей сети, и непосредственно из центра принимать решение о выводе тех или иных каналов из работы!



Список наблюдаемых терминалов составляется один раз. После этого функция мониторинга может быть включена или выключена нажатием одной клавиши. Когда функция активирована, все устройства, занесенные в список, начинают периодически с заданным интервалом (ежедневно, ежечасно, каждые XX минут) опрашиваться.

Любые обнаруженные Аварии в любом устройстве заносятся в файл (один файл в день). При этом обязательно указываются дата и время возникновения события и проведения записи. Если какое либо из указанных устройств не может быть опрошено, в журнал записывается сообщение об ошибке связи с ним. Для терминалов, соединенных через офисный (наборный) модем, при опросе соединение устанавливается автоматически.

Входящая в комплексный канал система передачи сигналов команд РЗ и ПА должна характеризоваться простотой и надежностью, легким программированием параметров и не зависимостью от человеческого фактора. Для этого из нее должны быть выведены все аналоговые элементы и настройки. При этом система должна быть достаточно «умной», чтобы реально оценивать состояние ВЧ тракта и его способность к передаче команд.



Одной из особенностей комплексного ВЧ канала является то, что в нем не рекомендуется использовать шумоподавитель. Связано это с тем, что коэффициент компрессии речевого сигнала на передающей стороне может достигать 20 дБ, и тогда, если входной сигнал «не чистый» - заполнен шумами или импульсными помехами - его компрессированное - увеличенное на 20 дБ значение - может вызвать появление сигналов Аварии (но не нарушить работу) подсистемы РЗ и ПА.

### И все-таки реальность?

Решение всего комплекса организационных проблем позволит сказать, что комплексный ВЧ канал реален. Но чем больше времени будет потрачено на «взаимоувязки», тем больше новой «старой» техники будет установлено в сетях...