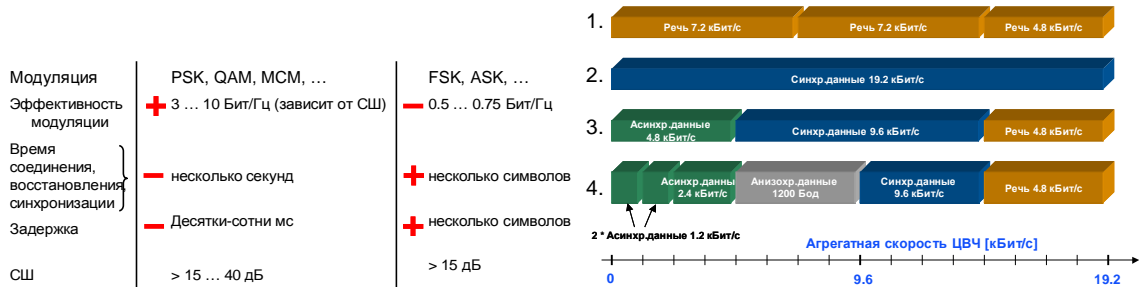


«Заблуждения» или место цифровой ВЧ аппаратуры в сетях связи энергетиков

Цифровые каналы ВЧ связи по ЛЭП в отличие от традиционных аналоговых, строятся на аппаратуре с временным разделением между сигналами (TDM) с использованием различных схем формирования агрегатного ВЧ сигнала. Чаще всего при занятии узкой или широкой полос ВЧ спектра применяются QAM и OFDM виды модуляции, реже - широкополосные методы (шумоподобные или с кодовым разделением сигналы). Узкополосные системы (ширина спектра модуляции не более 20 кГц), как правило, используются на обычных ВЛ, широкополосные - в распределенных. Связано это с эффективностью использования частотных ресурсов системы и требованиями ЭМС.

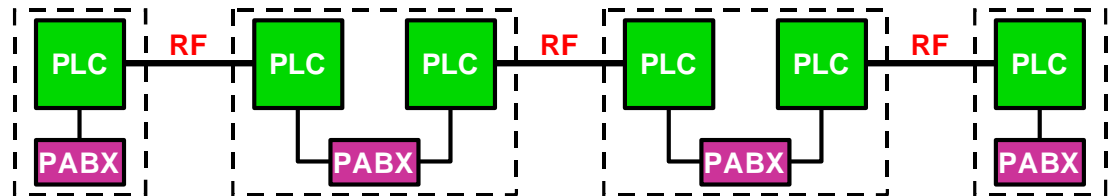
Цифровые ВЧ каналы имеют следующие преимущества перед аналоговыми каналами:

1. при равной ширине полосы частот, занимаемой в линии, увеличивается пропускная способность, как в части передачи речи, так и в части передачи данных



Как показывают практика установок на ВЛ более 110 кВ, а при больших длинах и на 110 кВ, средние скорости агрегатных потоков составляют 15-16 кБит/с при 4 кГц полосе ВЧ канала и 30-40 кБит/с при полосе 8 кГц (если говорить о долговременной стабильной связи. Из нашей практики: больших скоростей можно достичь на тупиковых ВЛ). Для стандартного G729A это всего один/два ТЛФ канала + какие-то данные.

О некотором увеличении можно говорить только при использовании нового поколения G723 кодеков (например, MP-MLQR или NetCoder). С их помощью при фиксированных агрегатных скоростях можно организовать 2-3/4-6 ТЛФ каналов + данные.



А: Аналоговый канал		В: ЦВЧ с АМХР		
Частота среза речевого канала, кГц	2 ... 3.4	Полоса модуляции, кГц	4	(Bandwidth can be either 1, 2, 4 or 8)
Время передачи [мс]	8	Число мультиплексоров	1	(Number of multiplexers per AMX)
Число переключений	0	Скорость передачи, Бит/с	>= 8	4.8
Время транзита 5 мс	1	Время передачи [мс]	178	188
	2	Число переключений	178	188
	3	120 мс - ВЧ модем	361	381
	4	20 мс - MUX	544	574
	5	3 мс - ВЧ пере прием	727	767
		5 мс - АТС	910	960
		30 ... 80 мс - вокодер	1093	1163
			1163	1393

Однако если рассмотреть времена передачи речевых сообщений через аналоговые и цифровые (ЦВЧ) ВЧ каналы, окажется, что для аналоговых каналов практически нет ограничений по длительности канала, а для ЦВЧ - передача речи с нормальным качеством возможна только на одном пролете, а с удовлетворительным - на двух (при наличии эхо-компенсаторов).

То есть ЦВЧ передачи речи могут использоваться только для организации служебной связи между двумя ПС (или тремя, если позволяет энергетика ВЧ канала), или для тупиковых ВЛ. А эти случаи не требуют большого числа речевых каналов, которые применительно к ЦВЧ должны рассматриваться лишь как дополнение к высокоскоростным цифровым каналам передачи данных.

Частично проблему можно решить организацией многоканальных ЦВЧ или ЦВЧ, использующих широкую полосу модуляции.

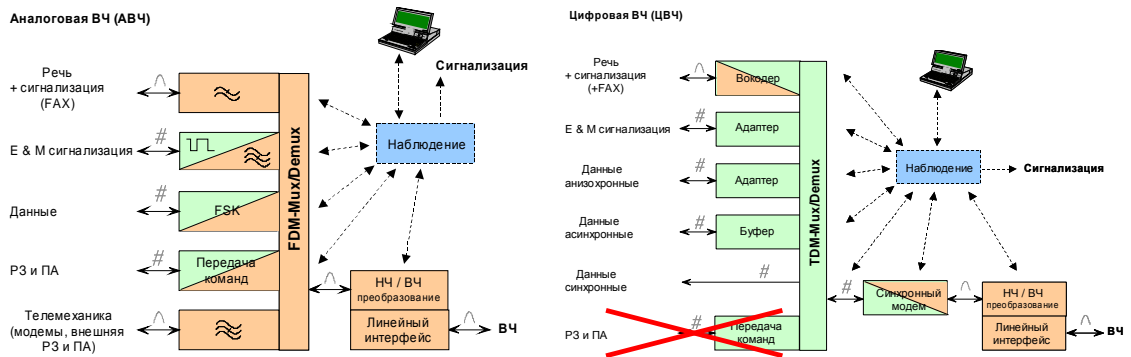
При активной системе VAD (подавления пауз) 2-3 параллельно включенных ЦВЧ канала (4 кГц) могут обеспечить нормированное время задержки передачи сигнала телефонии 150 мс. 4-6 параллельно включенных ЦВЧ канала могут обеспечить нормированное время задержки передачи сигнала телефонии 150 мс при двух пролетном цифровом ВЧ канале (1 пункт регенерации). Но такие каналы имеют существенное ограничение по длине ВЛ (энергетика). Кроме того, последний в очереди (по занятию) речевой канал будет иметь большее время задержки, чем первый, и, следовательно, иметь худшее качество.

Цифровые ВЧ тракты с широкой полосой модуляции (12 ... 16 кГц) позволяют получить близкое к 120-150 мс нормированное время задержки передачи сигнала телефонии, но уступают многоканальным трактам с точки зрения устойчивости к временным неоднородностям канала.

Таким образом, об увеличении пропускной способности ЦВЧ каналов можно говорить только в отношении передачи данных, но не телефонии.

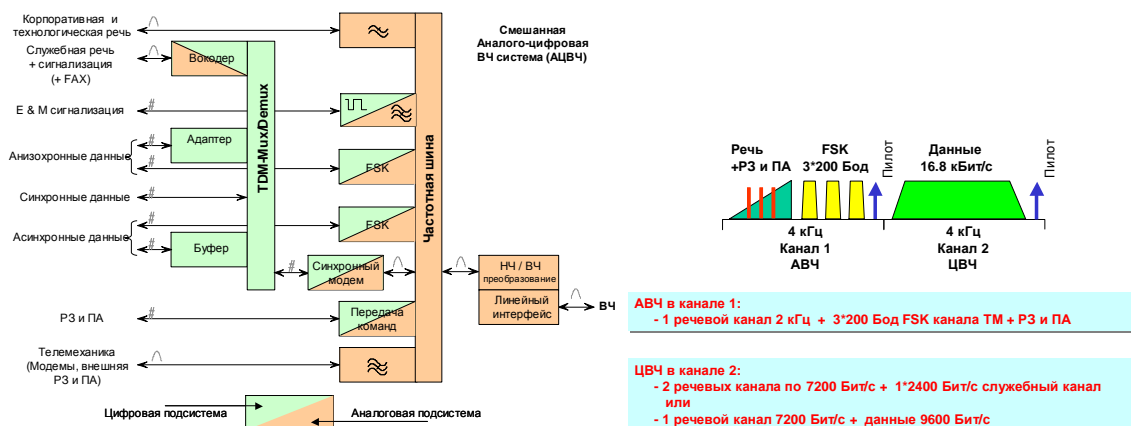
2. отсутствует необходимость в специальных модемах для передачи данных

Зависит от схемы построения аппаратуры: могут требоваться дополнительные мультиплексоры. Традиционная схема построения: модем + внешний мультиплексор.



Классическая аналоговая ВЧ система наиболее гибка и универсальна, но не способна передавать большие объемы информации. Классическая цифровая – из-за низкой надежности каналов не способна передавать сигналы команд P3 и ПА.

Чаще всего используется смешанная аналогово-цифровая архитектура, когда в состав ВЧ аппаратуры входит полнофункциональная аналоговая ВЧ система, дополненная синхронным модемом передачи данных для организации агрегатного ЦВЧ канала. Цифровой ЦВЧ поток, как правило, обслуживается **внешним** мультиплексором. Полученная таким образом система предоставляет пользователю наибольшие возможности по конфигурации загрузки и разделению сигналов, а также для постепенного расширения функций ВЧ аппаратуры/канала. Кроме того, в ряде АЦВЧ систем при нарушении работы ЦВЧ канала, часть его функций можно передать аналоговой подсистеме.



- АВЧ в канале 1:**
 - 1 речевой канал 2 кГц + 3*200 Бод FSK канала ТМ + P3 и ПА
- ЦВЧ в канале 2:**
 - 2 речевых канала по 7200 Бит/с + 1*2400 Бит/с служебный канал или
 - 1 речевой канал 7200 Бит/с + данные 9600 Бит/с

При удаленности источников цифровых данных (например, систем ТМ или АСКУЭ) от аппаратуры ВЧ связи (а это неизбежно при такой концентрации интерфейсных окончаний в одной аппаратуре), нужны или удаленные/выносные терминалы, или модемы, или удлинители, или повсеместный переход на цифровые стыки RS485, RS421 и др., допускающие выносы на расстояние до 1000 ... 1200 метров.

3. увеличивается гибкость в возможностях передачи информации

Для гибкой трассировки потоков данных нужны кросс-мультиплексоры и общепринятая система адресации/коммутации (IP не подходит, так как слишком расточительна для бедных ресурсами ЦВЧ каналов).

Если же речь идет о разнородности передаваемых данных, то цифровые ВЧ каналы, наоборот, сужают область использования цифровых систем: передаваться могут хоть и большие, но не критичные ко времени информационные потоки. Кроме того, в ЦВЧ есть определенные проблемы с передачей синхронных данных.

Рассмотрим задержку передачи пакета технологической информации (SCADA) при использовании ВЧ канала с FSK модемом и устройством формирования ЦВЧ тракта в сети с переприемами (в миллисекундах).

В центр сбора информации (слева) данные передаются с по цепи ВЛ. Самая удаленная ПС расположена на шестой ВЛ (5 пунктов переприема). Задержка передачи в ВЧ канале 3 мс, время транзита – 2 мс. ЦВЧ подсистема использует 4 кГц полосу модуляции. Скорость передачи ЦВЧ определяется конфигурацией мультиплексора, а не свойствами канала, поэтому время передачи от скорости не зависит.

A: NSK5

0 - время передачи, 1- длительность передачи

Скорость передачи, Бит/с	100	200	300	600	1 200	2 400
Время передачи [мс]	21,3	16,5	13,5	9,3	11,9	7,9
Число переприемов	0	21,3	16,5	13,5	9,3	7,9
Время транзита	1	26,3	21,5	18,5	14,3	12,9
2 мс	2	31,3	26,5	23,5	19,3	17,9
	3	36,3	31,5	28,5	24,3	22,9
	4	41,3	36,5	33,5	29,3	27,9
	5	46,3	41,5	38,5	34,3	32,9

B: AMX

1 - AMX500, AMXP

Полоса модуляции, кГц: 4 (Bandwidth can be either 1, 2, 4 or 8 kHz)

Число мультиплексоров: 1 (Number of multiplexers per AMX can be either 0, 1, or 2)

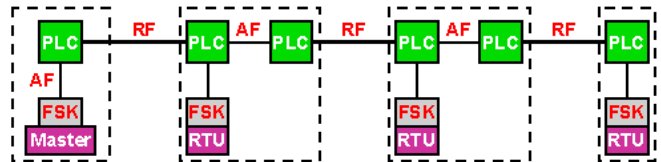
Скорость передачи, Бит/с	1 200	2 400	4 800	9 600	19 200	38 400
Время передачи [мс]	143	143	143	143	143	143
Число переприемов	0	143,0	143,0	143,0	143,0	143,0
120 мс – ВЧ модем	1	286,0	286,0	286,0	286,0	286,0
20 мс – МУХ	2	429,0	429,0	429,0	429,0	429,0
3 мс – ВЧ переприем	3	572,0	572,0	572,0	572,0	572,0
	4	715,0	715,0	715,0	715,0	715,0
	5	858,0	858,0	858,0	858,0	858,0

Видно, что при построении ВЧ сети таким образом, что максимальная длина пути с периферийной ПС в центр сбора информации не превысит 5 промежуточных участков, максимальная задержка передачи информации при использовании FSK модемов NSK5 составит 30 ... 40 мс, а при использовании ЦВЧ – 800 ... 900 мс.

Таким образом, в первом случае возможно построение сети оперативного технологического управления (в том числе противоаварийного), во втором – нет.

В тоже время, если рассмотреть время передачи пакета данных размером 100 кБайт по 11 бит (например, для нужд АСКУЭ, ФОРЭМ или осциллографирования), окажется, что интервал опроса 30 минут и меньше можно получить только при скоростях FSK модемов более 600 Бит/с, а при использовании ЦВЧ без проблем могут быть получены интервалы опроса менее 5 минут (время передачи пакета указана в минутах).

A: NSK5



Скорость передачи, Бит/с		100	200	300	600	1 200	2 400
Время передачи [мс]		21,3	16,5	13,5	9,3	11,9	7,9
Число пере приемов	0	183,33	91,67	61,11	30,56	15,28	7,64
Время транзита	1	183,33	91,67	61,11	30,56	15,28	7,64
	2	183,33	91,67	61,11	30,56	15,28	7,64
	3	183,33	91,67	61,11	30,56	15,28	7,64
	4	183,33	91,67	61,11	30,56	15,28	7,64
	5	183,33	91,67	61,11	30,56	15,28	7,64

B: AMX

1

0 - AMX500, AMXP

1-

RS232, RS422

Master

RTU

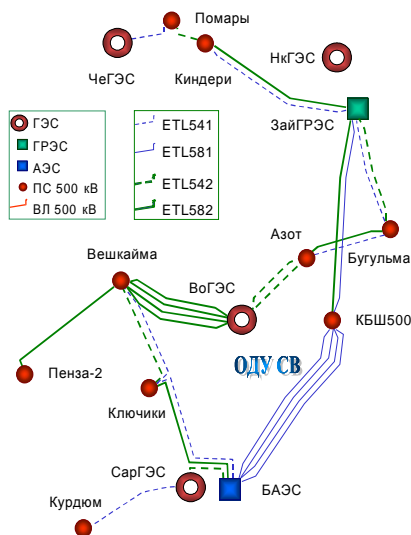
RTU

RTU

Полоса модуляции, кГц	4	(Bandwidth can be either 1, 2, 4 or 8 kHz)					
Число мультиплексоров	1	(Number of multiplexers per AMX can be either 0, 1, or 2)					
Скорость передачи, Бит/с		1 200	2 400	4 800	9 600	19 200	38 400
Время передачи [мс]		143	143	143	143	143	143
Число пере приемов	0	15,28	7,64	3,82	1,91	0,96	0,48
	1	15,28	7,64	3,82	1,91	0,96	0,48
120 мс – ВЧ модем	2	15,28	7,65	3,83	1,92	0,96	0,48
20 мс – MUX	3	15,29	7,65	3,83	1,92	0,96	0,49
3 мс – ВЧ пере прием	4	15,29	7,65	3,83	1,92	0,97	0,49
	5	15,29	7,65	3,83	1,92	0,97	0,49

Очевидно, что для систем низкой и средней производительности, а также технологических систем хорошие FSK-модемы более универсальны и гибки, а применение ЦВЧ оправдано только для нужд послеаварийной автоматики и корпоративных приложений (требующих больших, но не критичных ко времени передачи, объемов цифровых данных).

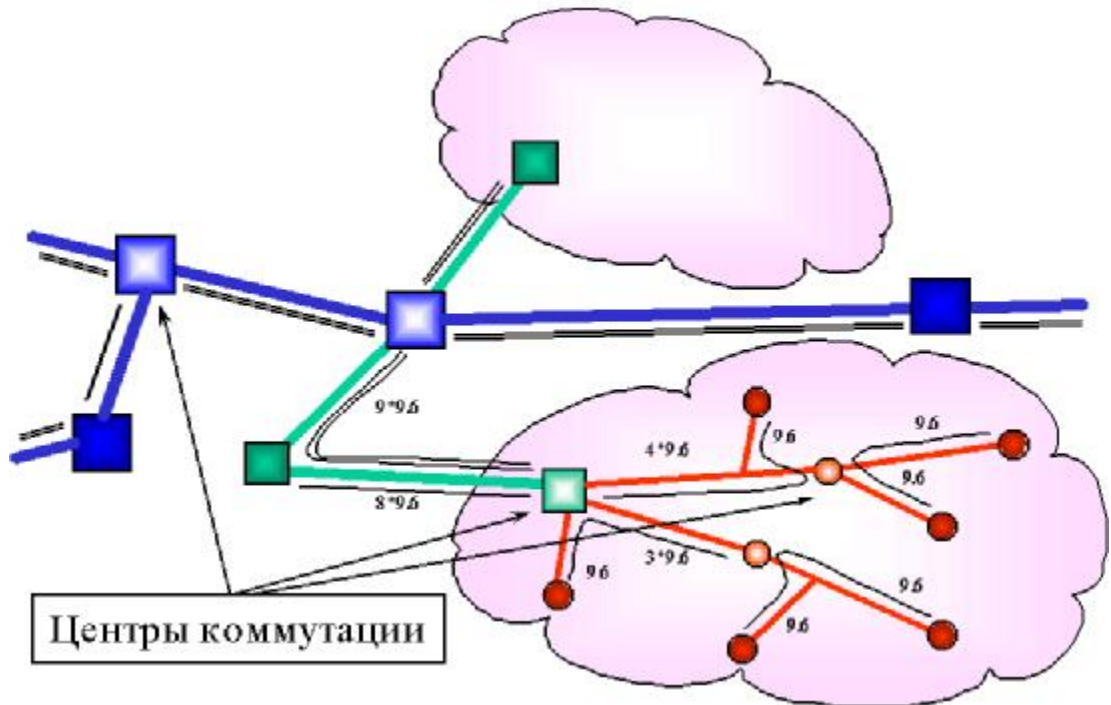
4. простая интеграция ВЧ каналов в цифровую сеть связи



Это верно только в случае фиксированных скоростей ВЧ передачи стандартных значений, при условии, что цифровая сеть (не ВЧ) имеет мультиплексоры обрабатывающие входные цифровые потоки любых стандартных скоростей (не только ОЦК-1). В противном случае надо ставить дополнительные согласующие преобразователи скоростей.

При этом следует иметь в виду, что построение однородной сети (в смысле равноправности обслуживания абонентов или равной значимости каналов данных – без приоритетов) возможно только при равенстве скоростей передачи (и других параметров передачи/приема) во всех ее первичных сегментах, в том числе и ЦВЧ участках (на рисунке диапазон длин ВЛ в сети 500 кВ от 10 км до 460 км). Поэтому емкость смешанной цифровой сети будет определяться наихудшим из ее ЦВЧ участков и вряд ли превысит 9.6 ... 12 кБит/с на канал (ВЛ 460 км).

Исходя из этого, при построении смешанной цифровой сети необходимо четко обозначить зоны применимости ЦВЧ, допустим из экономических или энергетических соображений. Наиболее вероятно это будет 3-4 ЦВЧ канала на ВЛ. Далее вверх должны использоваться другие способы организации цифровых каналов: РР, кабельные или оптические.



Что касается ЦВЧ участков такой сети, то прежде всего необходимо решить две проблемы: уменьшения времени установления соединения с 7 ... 15 (120) сек до менее 1 сек, когда любая мощная помеха, или коммутация на ВЛ вызывает долговременное отключение каналов; и проблемы синхронизации, когда один вышедший из строя тракт влияет на другие (цепочечная переустановка соединений).

5. повышается стабильность работы каналов и аппаратная надёжность

Что касается аппаратной надежности, то FSK-модем или ТЛФ плата – значительно более простые устройства, по сравнению с современной ВЧ аппаратурой. Говорить о повышении надежности ЦВЧ можно только применительно к оборудованию, построенному на современных принципах схемотехнического и конструкторского проектирования, на технологической базе мирового уровня. Простое воспроизведение аналоговых принципов обработки и передачи на массе дешевых процессоров (иногда доходит до 12) в сочетании с технологией производства 10-летней давности может привести только к снижению надежности системы и к дискредитации самой идеи цифровой ВЧ передачи.

Цена минуты простоя канала				\$5,0					
Цена обработки				\$5 000					
Число переприемов	Дефектных минут за год	Число парал-х каналов	Дефектных минут за год	Цена оборудования	Цена пролета	Цена простоя за год	Всего за год	Всего за 5 лет	
5		2							
0,95000	26280,00	0,99750	1314,00	\$10 000	\$60 001	\$184 423	\$244 425	\$982 118	
0,73509	139235,70	0,92982	36884,67		\$360 008		\$544 431	\$1 282 125	
		2							
0,97000	15768,00	0,99910	473,04	\$11 663	\$66 651	\$73 317	\$139 968	\$433 235	
0,83297	87789,91	0,97210	14663,37		\$399 904		\$473 221	\$766 488	
		2							
0,98000	10512,00	0,99960	210,24	\$13 177	\$72 707	\$34 248	\$106 955	\$243 947	
0,88584	60001,24	0,98697	6849,60		\$436 241		\$470 489	\$607 481	
		2							
0,99500	2628,00	0,99998	13,14	\$20 001	\$100 003	\$2 307	\$102 310	\$111 537	
0,97037	15572,21	0,99912	461,37		\$600 016		\$602 323	\$611 550	

Рассмотрим 6-ти пролетный ЦВЧ канал, организованный на аппаратуре с различной надежностью. Стоимость аппаратуры определим исходя из известной закономерности: каждая новая девятка увеличивает стоимость минимум в 2 раза. Для увеличения общей надежности включим в каждом пролете один резервный канал. Тогда стоимость аппаратуры с надежностью 0.95 составит 10 тыс. долл., стоимость пролета 60 тыс. долл., время простоя – 26 тыс. мин./год без резервирования и 1314 мин./год с резервированием. Время простоя всего канала в целом составит 139 тыс. мин./год без резервирования и 37 тыс. мин./год с резервированием. Тогда полная стоимость канала (с учетом выплат за простой только по вине аппаратуры) составит 544 тыс. долл. за год, или 1282 тыс. долл. за 5 лет при средней стоимости минуты простоя 5 долларов.

Все стоимости в таблицах даны без учета стоимости периодического обслуживания, восстановления и ремонта.

Слегка поправить ситуацию для низко надежных систем можно при увеличении резервных каналов

Число перепримов	Дефектных минут за год	Число парал-х каналов	Дефектных минут за год	Цена оборудования	Цена пролета	Цена простоя за год	Всего за год	Всего за 5 лет
5		4						
0,95000	26280,00	0,99999	3,28	\$10 000	\$120 003	\$12 942	\$132 945	\$184 713
0,73509	139235,70	0,99508	2588,43		\$720 016		\$732 958	\$784 727
		3						
0,97000	15768,00	0,99997	14,19	\$11 663	\$99 976	\$12 246	\$112 222	\$161 206
0,83297	87789,91	0,99534	2449,19		\$599 856		\$612 102	\$661 086

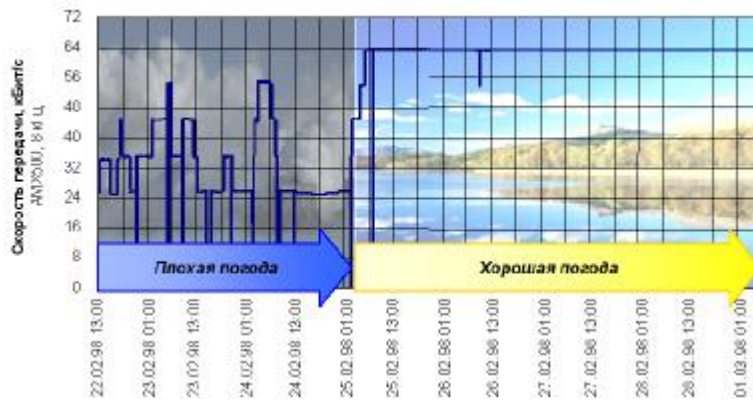
, но чем дороже минута простоя, тем экономически выгоднее высоконадежные системы, даже с точки зрения первоначальных затрат, не говоря уже об эксплуатационных расходах.

Цена минуты простоя канала				\$50,0					
Цена обработки				\$5 000					
Число перепримов	Дефектных минут за год	Число парал-х каналов	Дефектных минут за год	Цена оборудования	Цена пролета	Цена простоя за год	Всего за год	Всего за 5 лет	
5		2							
0,95000	26280,00	0,99750	1314,00	\$10 000	\$60 001	\$1 844 233	\$1 904 235	\$9 281 168	
0,73509	139235,70	0,92982	36884,67		\$360 008		\$2 204 241	\$9 581 175	
		2							
0,97000	15768,00	0,99910	473,04	\$11 663	\$66 651	\$733 169	\$799 819	\$3 732 494	
0,83297	87789,91	0,97210	14663,37		\$399 904		\$1 133 073	\$4 065 747	
		2							
0,98000	10512,00	0,99960	210,24	\$13 177	\$72 707	\$342 480	\$415 187	\$1 785 107	
0,88584	60001,24	0,98697	6849,60		\$436 241		\$778 721	\$2 148 640	
		2							
0,99500	2628,00	0,99998	13,14	\$20 001	\$100 003	\$23 068	\$123 071	\$215 344	
0,97037	15572,21	0,99912	461,37		\$600 016		\$623 084	\$715 358	
		2							
0,99500	2628,00	0,99998	13,14	\$10 000	\$40 001	\$23 068	\$63 070	\$155 343	
0,97037	15572,21	0,99912	461,37	duplex	\$360 008		\$383 076	\$475 349	

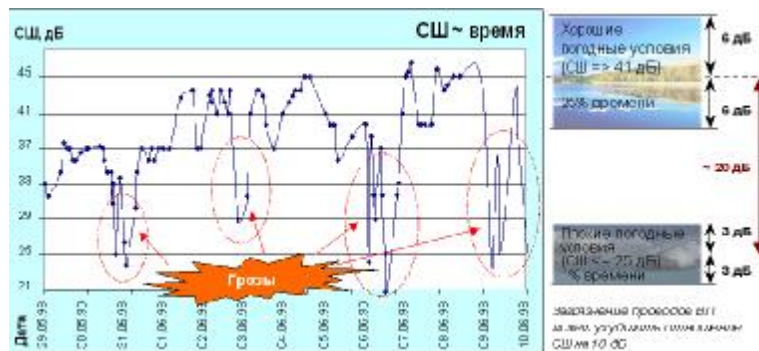
Особенно, если высоконадежное оборудование имеет дополнительные функции, такие как дуплексный режим работы.

Единственное, что может оправдать большое число резервных каналов (затраты на их организацию и поддержку), это возможность в моменты нормального функционирования получать значительно большие агрегатные скорости ЦВЧ, за счет распараллеливания информационных потоков. В нашем примере это время составит не более 74% общего времени работы, а с учетом времени восстановления / ремонта и того меньше.

Что касается стабильности работы ЦВЧ каналов, то это во многом определяется правильностью их проектирования.



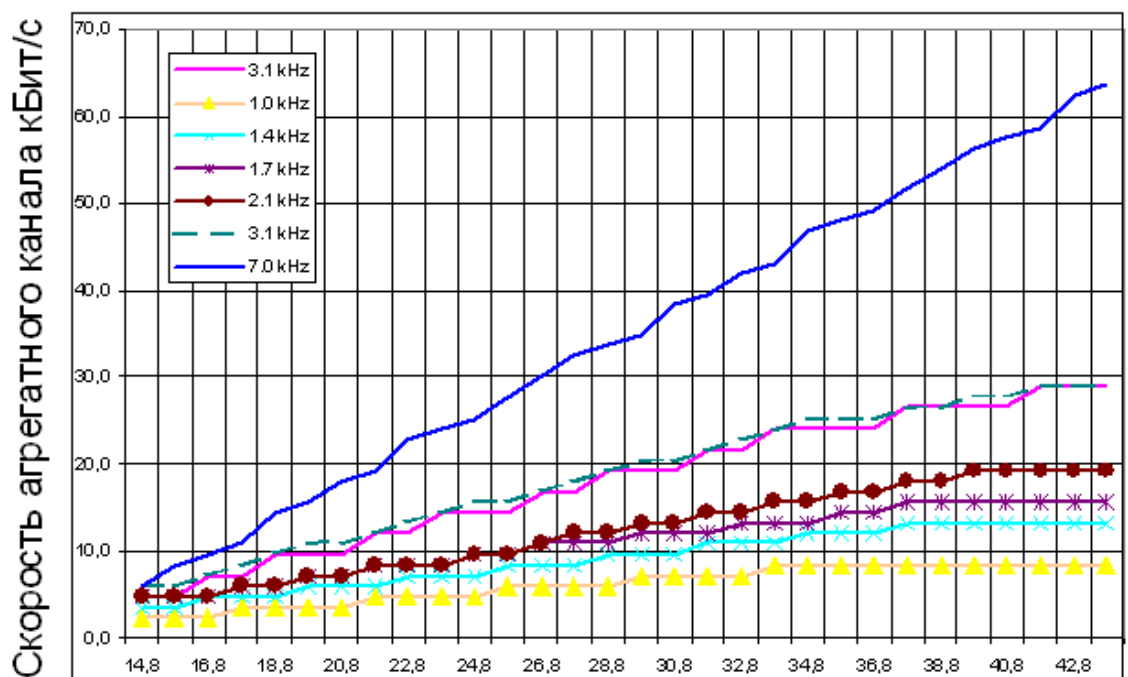
Здесь приведены результаты измерений на реальной ВЛ 380 кВ длиной 100 км. Присоединение фаза-фаза. Первый рисунок — «зимний» - показывает скорость агрегатного канала устройства AMX500 сначала - во время интенсивного образования гололеда, а затем — во время длительной оттепели.



Второй рисунок: та же ВЛ в период летних гроз. В обоих случаях время плохих погодных условий весьма ограничено (в среднем около 1% времени за год). Время, в течение которого можно реализовать максимальную агрегатную скорость, составляет не менее 25% периода эксплуатации.

Многочисленные экспериментальные данные показывают что, цифровые ВЧ каналы в значительно большей степени подвержены влиянию не медленных изменений параметров ВЧ тракта (таких как увеличение затухания из-за гололеда или изморози), а средне- и кратковременных. Таких как импульсные помехи при переключениях на ВЛ, грозы и т.п.

Эффект от долговременных и средних по длительности явлений зависит от конкретной реализации цифрового ВЧ канала.



Отношение СШ в ВЧ канале в полосе 2.1 кГц

Если аппаратура не адаптируемая, энергетический расчет выполнен по традиционной схеме с определением запаса по перекрываемому затуханию, то есть, канал рассчитан на минимальную стабильную скорость передачи, то АРУ успевает обработать медленные вариации амплитуды сигнала, и соединение останется устойчивым.

Однако дожди и грозы (разряды молний, грозовой фронт) могут привести к отключению такого канала на длительное время. Связано это с тем, что грозы, практически не влияя на затухание ВЧ тракта, значительно увеличивают генерируемый ВЛ шум «короны» (часто превышает запас на гололед). Системы с фиксированной скоростью передачи справиться с ним не могут.

При медленных вариациях затухания и уровня шумов у адаптируемых систем может понизиться скорость передачи, но, тем не менее, важные каналы данных (определяется пользователем) останутся в работе¹. С учетом статистики продолжительности «плохой погоды» режим адаптации может значительно (до двух-трех раз) повысить среднюю долговременную скорость передачи данных в цифровом ВЧ канале.

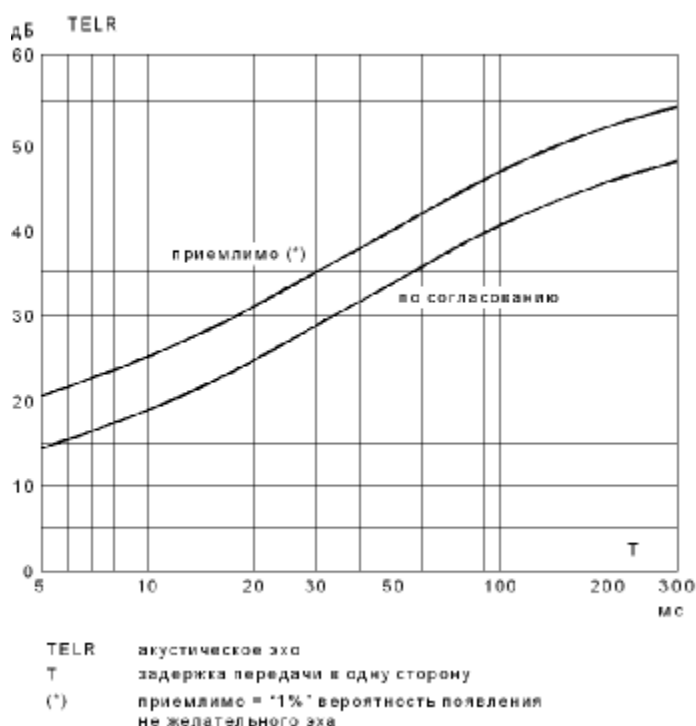
При быстрых изменениях амплитуды сигнала или шума канала в адаптируемой системе возникают пакетные ошибки (без разрыва соединения). Следствием чего могут быть:

- в телефонном канале во время разговора - шумовые всплески или пропадание слов, и даже предложений; во время набора номера – ошибки набора,
- в канале данных - пакеты ошибок.

Кратковременные явления, такие как импульсные помехи при переключениях на ВЛ и случайные одночастотные помехи, как правило вызывают разрыв соединения и запуск процедуры его переустановления (канал прерывается на время, существенно большее, чем время воздействия помехи).

6. ЦВЧ каналы легко интегрируются в существующие аналоговые речевые ВЧ сети

Увеличение времен передачи речевых сигналов приводит к возникновению новой, практически отсутствующей в аналоговых системах, проблемы – проблемы эха.



Заметность эха зависит как от качества системы передачи (в основном от величины задержки распространения), так и от качества исполнения интерфейсных окончаний системы передачи и устройств пользователя (эхо может маскироваться большими шумами или сильными паразитными сигналами).

Для реализуемых в ЦВЧ временных передачах, балансные возвратные потери (переходное затухание в диффсистеме) не должны быть менее 41 дБ.

Обеспечить такие параметры в старых телефонных аппаратах (и в дешевых новых) или аппаратуре типа АДАСЭ практически не возможно, из-за чего в таких каналах обязательно должно наблюдаться сильное далекое эхо.

По ITU-T G.122 4.2.4 самым эффективным средством для уменьшения акустического эха является использование 4-х проводных телефонов.

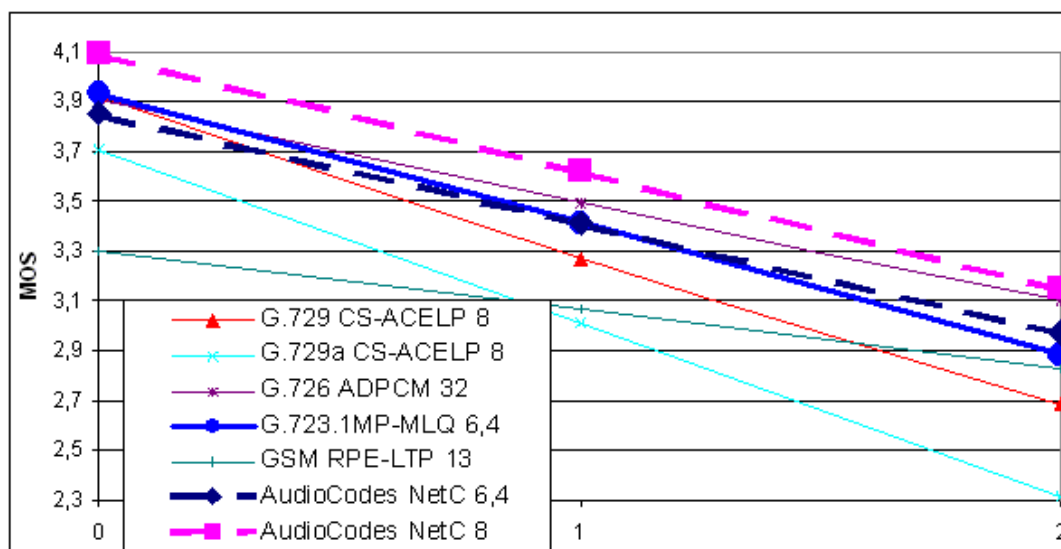
Другим решением является использование современных цифровых АТС с эхо-компенсаторами 40 ... 46 дБ (по ITU-T G.131). По ITU-T G.114 в этом случае допустимая

¹ Возможны кратковременные сбои при переключении скорости

задержка передачи в одну сторону может составлять 500 ... 700 мс и ЦВЧ каналы будут работать без дальнего эха.

Если эти условия не выполняются, то эхо, наряду с задержкой передачи, также будет ограничивать использование речевых ЦВЧ для нужд оперативно-диспетчерского управления.

Другая ранее не существовавшая проблема – переприемы. Стремительно падает качество. Каналы разных производителей не совместимы между собой. Не возможна запись на магнитофоны регистрации диспетчерских переговоров.



Общие рекомендации по использованию цифровых ВЧ каналов

При проектировании цифровых ВЧ каналов необходимо учитывать:

- речевые каналы, организованные на ЦВЧ, можно использовать для организации служебных каналов «точка-точка». При использовании многоканальной или широкополосной ЦВЧ возможна организация двух пролетного речевого тракта среднего качества,
- для построения сети данных оперативного технологического управления (в том числе противоаварийного) следует использовать аналоговые ВЧ каналы
- для систем АСКУЭ, ФОРЭМ и послеаварийной автоматики, если допускаются интервалы опроса / передачи информации 15-30 минут, следует использовать аналоговые ВЧ каналы
- для систем АСКУЭ, ФОРЭМ и послеаварийной автоматики, при интервалах опроса / передачи информации менее 15 минут, следует использовать цифровые ВЧ каналы
- характеристики ЦВЧ рассчитываются для наихудшего из направлений передачи,
- в регионах, где из-за природных или техногенных явлений происходят значительные вариации затухания линии, или изменения уровня шумов канала, желательно использовать адаптивные системы передачи,
- при построении смешанной цифровой / ЦВЧ корпоративной сети должна быть соблюдена иерархия:
 1. высший уровень - корпоративная цифровая сеть (оптика, РР)
 2. системообразующий уровень, крупные ПС - корпоративная цифровая сеть (оптика, РР, кабели) или аналоговая ВЧ (резервирование) с элементами ЦВЧ (АСКУЭ, ФОРЭМ и т.п.)
 3. мелкие или удаленные ПС, при плотности цифровых потоков менее $4 * 9,6$ кБит/с – ЦВЧ; корпоративная и технологическая телефония, защита и автоматика – всегда аналоговая ВЧ
 4. распределенные – ЦВЧ (широкополосные, данные)