

## ЦВЧ каналы. Проектирование

### Расчет конвергированных ВЧ каналов

Прямое распространение методик расчета аналоговых ВЧ каналов на конвергированные ВЧ каналы не возможно, поскольку сами сигналы, передаваемые по ЛЭП, в обоих случаях принципиально различны. Соответственно различаются их требования, как к передаточным функциям ВЧ тракта (амплитудным, частотным и фазовым), так и к генерируемым ВЧ трактом шумам и помехам.

Более того, поскольку различная цифровая аппаратура ВЧ связи использует различные методы и принципы модуляции (QAM, MCM, DMT, OFDM, MC OFDM, DSSS и т.д.), общую для них методику расчета цифрового канала по ВЛ создать довольно сложно. Ведь каждый метод модуляции выдвигает свои требования, как к передаточным функциям ВЧ тракта (амплитудным, частотным и фазовым), так и к генерируемым ВЧ трактом шумам и помехам.

На протяжении нескольких последних лет рабочая группа CIGRE D2 неоднократно предпринимала попытки стандартизировать этот процесс, однако пока что дальше декларации общих закономерностей и выработки единой терминологии дело не пошло.

В значительной степени процесс тормозится тем, что к ЦВЧ каналам пытаются относиться как к обычным проводным цифровым каналам с соответствующим набором требований и характеристик, которые часто к ЦВЧ каналам вообще не применимы.

Для каналов ВЧ связи надежность традиционно оценивается по допустимому запасу по перекрываемому затуханию. Для этого определяются: выходная мощность передатчика **Рпер** в заданной конфигурации, минимальный уровень приема **Рпр.мин** удаленной аппаратуры, затухание ВЧ тракта **Атр** и возможный уровень гололеда **Аг**. Нормально функционирующим считается ВЧ тракт, для которого выполнено условие

$$P_{пер} - P_{пр.мин} - A_{тр} \geq A_{г}$$

При переходе к оценке надежности цифровых ВЧ трактов желательно остаться в тех же рамках, произведя перерасчет указанных параметров для новых условий и методов передачи.

### Расчет уровня передачи Рпер

#### Влияющие факторы

Поскольку выходная мощность ВЧ аппаратуры (PEP) жестко ограничена, то сумма пиковых значений выходных мощностей передаваемых сигналов не должна превышать установленное значение. В противном случае мощность превысит допустимую и в тракте возникнут большие искажения сигналов.

Принятой ранее методикой решения этой проблемы являлось присвоение всем передаваемым сигналам некоторых «весов» ( $S_v = 10^{0.05 * L_0}$ ), пропорциональных их пиковым мощностям ( $L_0$ ), исходя из полос модуляции (более правильно говорить о шумовых полосах сигналов NBW) и требуемых отношений сигнал/шум (SNRtr).

Для современных ВЧ систем, имеющих дело со сложно модулированными сигналами (QPSK, QAM, DAPSK и другими), этого уже недостаточно. Здесь уже требуется учитывать пик-фактор (PAR) модулированных сигналов (PAR – peak-to-average power ratio или PMEPR – peak-to-mean power ratio).

Кроме того, для конвергированных систем необходимо учитывать «системную» важность того или иного сигнала, задаваемую теми или иными поправочными/нормирующими коэффициентами (W).

$$L_0 = PAR_{op} - 10 * \text{Log}(NBW_{op} / NBW) + (SNR_{tr.op} - SNR_{tr}) + (PAR_{op} - PAR)$$

$$S_v = W * 10^{0.05 * L_0}$$

Где соответствующие величины с индексом «ор» относятся к некоторому сигналу, принятому системой за «опорный». Чаще всего для этих целей используется речевой сигнал, поскольку еще недавно именно он предъявлял самые серьезные требования, как к аппаратуре, так и к каналу (по качеству и загрузке).

Сигнал	NBW, Гц	SNRtr, дБ	PAR, дБ	LO, дБм0	Sv
Опорный сигнал: речь	1700	30	3 (уровень ограничения)	3	1,41
TM 200/300 Бод	330	25.7	2	-9	0,35
TM 600 Бод	690	28.5	2	-3	0,71
SCADA 2400 кБит/с	600	21.1	10	-3	0,71
SCADA 4800 кБит/с	1230	24	10	3	1,41
Контрольная	330	21 (со встроенным служебным каналом)	0	-6	0,5

В настоящее время наибольшую проблему представляет определение уровня передачи ЦВЧ сигналов, а вернее их PAR значений. Например, для QAM систем

Тип	Число уровней сигнала в символе	Средняя мощность символа	Пиковая мощность символа	PAR_M, дБ	«Звон» ИХ фильтров (при одинаковой полосе модуляции, ступенчатое воздействие), дБ	PAR_QAM, дБ	Динамический диапазон, дБ
16-QAM	3	5	9	2,55	4,5	7.05	9.54
32-QAM	5	10	17	2,3	4,5	6.8	12.31
64-QAM	9	21.3	49	3,68	4,5	8.18	16.9
256-QAM	32	83.3	225	4,23	4,5	8.73	23.52

В сочетании с необходимостью гарантированно вывести усилитель из области IMD (intermodulation distortion products) и предупредить клиппирование сигнала, в технике связи чаще всего используется значение PAR\_QAM = 9 ... 15 дБ.

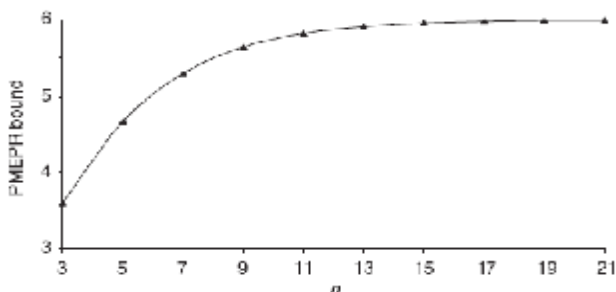
Для MCM/OFDM/DMT систем ситуация еще хуже

$$PAR\_MCM = PAR\_QAM + FilterRing + 10 * \log(N) + PAR_{sin}$$

Где PAR\_QAM – пик-фактор используемого на поднесущих метода модуляции, N – число поднесущих, PARsin – пик-фактор синусоидального сигнала (3 дБ).

Например, для 128MCM-32QAM системы пик-фактор будет равен PAR\_MCM = 2,3 + 5,2 + 21 + 3 = 31 дБ.

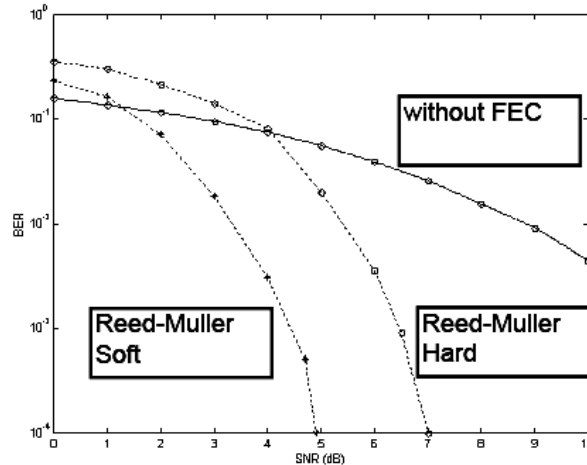
Разрешить эту проблему для MCM сигнал-конвертеров опять помогает FEC кодирование. Как уже отмечалось ранее, существует множество показателей, по которым могут оптимизироваться FEC системы. Один из них: степень «близости» формируемого в канале сигнала «белому» шуму.



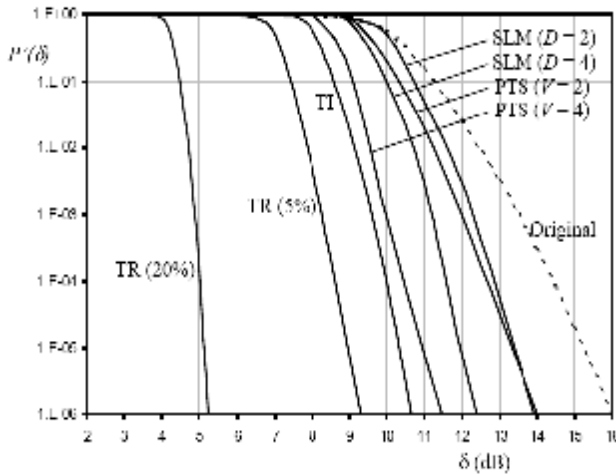
Чаще всего для этих целей используется Треллис кодирование, но могут использоваться и специализированные кодеры (например, BCH или Reed-Muller).

Причем, Reed-Muller кодер, генерирующий Golay-последовательности символов, для OFDM\_QAM модуляций нечетного порядка  $M = 2^n$  показывает хорошие результаты как в снижении PAR\_OFDM

(PMEPR\_OFDM), так и эффективности обработки ошибок



Самые лучшие результаты дают вероятностные кодеры, задающие те или иные методы формирования кодовых символьных последовательностей, оптимизированные на снижение пик-фактора модуляции.



Вероятность превышения MCM сигналом некоторого заданного уровня  $\delta$  составляет

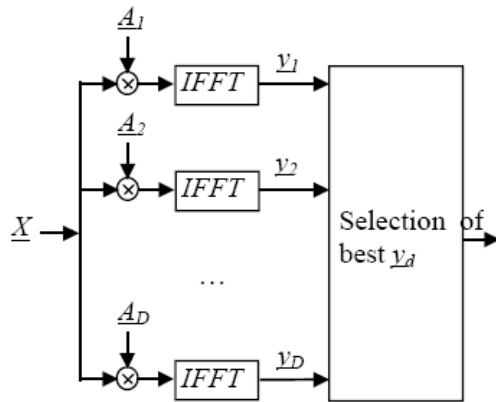
$$P(\delta) = 1 - e^{-\sqrt{\frac{\pi}{3}} * N * \delta * e^{-\delta^2}}$$

где  $N > 64$  - число поднесущих частот MCM сигнала.

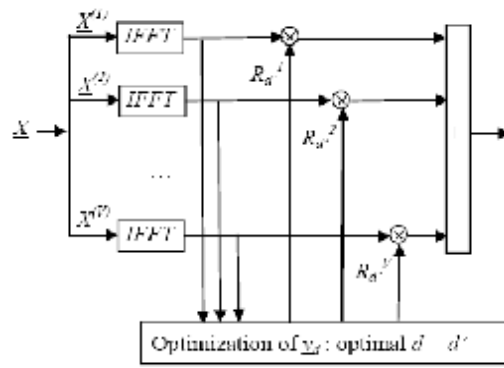
Наиболее эффективный TR (tone reduction) алгоритм, к сожалению, сильно влияет на скорость передачи.

TI (tone insertion) алгоритм на скорость передачи не влияет, но, как и Турбо кодер, требует для выполнения вычислений не менее 5 ... 10 итераций, то есть увеличивает задержку передачи.

SLM и PTS алгоритмы/кодеры, в принципе, можно считать разновидностями Треллис кодирования, одно из правил формирования выходной последовательности символов которого, состоит в том, чтобы снизить вероятность появления символов большой амплитуды.



SLM



PST

Принято считать, что кодирование снижает PAR\_OFDM до величины 9 ... 11 дБ.

Таким образом, в первом приближении (без учета индивидуальных особенностей сигнал-конвертеров) PAR ЦВЧ каналов можно считать равным 10.

Что касается непосредственно вычисления весового коэффициента ЦВЧ канала, то первое время их определяли точно так же как и для всех других передаваемых ВЧ сигналов.

Однако при высоких индексах модуляции Sv ЦВЧ каналов становились очень большими, что или делало невозможным качественную передачу остальных сигналов, или их вообще нельзя было реализовать.

Сигнал	NBW, Гц	SNRtr, дБ	PAR, дБ	LO, дБм0	Sv
Опорный сигнал: речь	1700	20	3 (уровень ограничения)	3	1,41
ЦВЧ канал: Vtreb=76800 Бит/с BW=8 кГц	6000	$m = \frac{Vtreb}{BW} = 9.6$ $SNRtr = 4.138 * (m + 0.825)^{-59}$ $PAR = 10 * \text{Log}(4000 / NBW)$ = 34.9	10	30.35	32.94
ЦВЧ канал: Vtreb=192000 Бит/с BW=20 кГц	15010	m=9.6 38.9	10	38.34	82.59

С другой стороны

$$\frac{BWd_{\min}}{BWA_{\max}} = \frac{BW - BWA_{\max}}{BWA_{\max}} \leq Svd \leq \frac{BW - BWA_{\text{контрольной}}}{BWA_{\text{контрольной}}}$$

что, при полосе аппаратуры BW=16 кГц, трех аналоговых каналах BWA\_max=12 кГц и ширине полосы контрольной (пилот-сигнала) = 0,5 кГц, дает  $0.33 \leq Svd \leq 31$ , а при BW=32 кГц  $1.67 \leq Svd \leq 63$ .

Поэтому стали нормировать веса ЦВЧ каналов по отношению к сумме всех других «аналоговых» сигналов, передаваемых через ВЧ канал

$$Svd = W * Sva, \text{ где } Sva - \text{сумма весов всех «аналоговых» сигналов}$$

Коэффициент пропорциональности W является «системным» коэффициентом, величина которого зависит от решаемых задач. В общепринятом смысле  $W = BWd/BWA \leq W_{\max}$ , где BWA и BWd ширина полосы «аналогового» и ЦВЧ каналов соответственно, Wmax - максимально допустимый коэффициент пропорциональности.

Однако W может быть и другим.

Пример. Рассмотрим конвергированную систему ВЧ связи (BW=16 кГц, затухание ВЧ тракта 24 дБ) со следующей нагрузкой

Тип	BW	Канал	Загрузка	Максимальный уровень шума ВЛ (4 кГц), дБм						
				W =	4/12=0.33	1	2	3	4	5
АВЧ	BWA = 12 кГц	1 2 3	речь+600 Бод ТЧ (АДАСЭ+...) 4800 Бит/с	Sv1=2.62	-19.7	-23.2	-26.7	-29.2	-31.2	-32.8
				Sv2=1.91	-19.7	-23.2	-26.7	-29.2	-31.2	-32.8
				Sv3=1.91	<b>-22.7</b>	-26.2	-29.7	<b>-32.2</b>	-34.2	-35.7
				Sva=6.45						
ЦВЧ	BWd = 4 кГц		40000 Бит/с	m=10	Svd=2.15	6.45	12.9	19.35	25.8	32.25
					<b>-41.8</b>	-35.8	-33.3	<b>-32.3</b>	-31.7	-31.4

Очевидно, что при выбранной конфигурации ВЧ канала, при пропорциональной установке весового коэффициента W, определяющим системным фактором становится требуемый уровень шума в ЦВЧ канале (выделено желтым).

<sup>59</sup> Аппроксимация, полученных в предыдущем разделе выражений для вычисления скорости передачи DMT/MCM/OFDM сигнал-конвертеров

Чтобы уравнивать эти требования для аналоговой и цифровой подсистем, необходимо понизить скорость ЦВЧ канала до 19200 Бит/с.

Однако, при величине коэффициента  $W=3$  (выделено красным), требования по шумам АВЧ и ЦВЧ систем уравниваются, а скорость ЦВЧ канала соответствует заданной.



Распределение уровней сигнала при пропорциональной нормировке



Распределение уровней сигналов при оптимальной нормировке

Обратная задача определения максимально допустимой скорости ЦВЧ канала при заданной конфигурации оборудования и параметрах ВЛ, может быть решена следующим образом:

$$W = \text{Select}(BWd / BWa, 1, 2, 3, 4, 5)$$

$$Plin = PEP - 20 * \text{Log}[Sva * (1 + W)]$$

$$Txd = Plin + 20 * \text{Log}(Sva * W) - PARd$$

$$Vd = BWd * \left[ \frac{Txd - \text{Noise\_a\_max} - Atr + 10 * \text{Log}(4000 / BWd)}{4.138} - 0.825 \right]$$

Где

- PEP – пиковая выходная мощность ВЧ аппаратуры, дБм
- Sva – сумма весовых коэффициентов аналоговой подсистемы
- Plin – мощность тест-тона речевого сигнала в линии (нулевой системный уровень 0 дБм0), дБм. Аналогичен Pпер.
- Txd – мощность ЦВЧ сигнала в линии, дБм
- PARd – пик-фактор ЦВЧ канала
- Atr – затухание в ВЧ канале (запас по перекрываемому затуханию)
- Noise\_a\_max – максимальный допустимый уровень шума в аналоговой подсистеме (4 кГц), дБм. Может быть заменен на уровень шума ВЛ в полосе 4 кГц.

Величина нормирующего коэффициента  $W_{max}$  не может быть бесконечно большой. Одним из ограничивающих его параметров является допустимый уровень полосных и внеполосных нелинейных и интермодуляционных искажений системы.

Наихудшим в этом смысле будет случай, когда на совмещенных частотах работает комплект конвергированной аппаратуры с максимальной загрузкой. Причем рядом находятся полосы передатчика ЦВЧ канала и приемника речевого канала. Тогда

$$Rx\_voice = Plin - PAR\_voice - Atr$$

$$NL\_voice = Rx\_voice - NL0\_voice$$

$$SFDR \leq Txd - NL\_voice - DSATxRx$$

Где

- Rx\_voice – уровень речевого сигнала на входе приемника, дБм
- PAR\_voice – пик-фактор речевого сигнала, дБ. В общем случае пик-фактор обычного речевого сигнала равен 15 дБ. Но поскольку на входе ВЧ системы стоит ограничитель уровня, то практически PAR\_voice равен его уровню порога ограничения 3 дБ0
- NL0\_voice – уровень собственного шума приемника речевого сигнала. Обычно нормируется системное значение 55 дБм0п
- NL\_voice – абсолютный уровень собственного шума приемника речевого сигнала, дБм
- DSATxRx – переходное затухание между трактом передачи и приема, дБ. Обычно – переходное затухание ВЧ диффсистемы
- SFDR – максимальный уровень любых посторонних сигналов, относительно PEP, включая НИ и ИИ

Для рассмотренной в примере конфигурации ВЧ аппаратуры и указанных там параметрах канала, максимальная величина SFDR составляет (DSATxRx=12 дБ)

Тип	BW	Канал	Загрузка	Требуемые параметры ВЧ аппаратуры (4 кГц), дБм						
				W =	4/12=0.33	1	2	3	4	5
АВЧ	BW <sub>a</sub> = 12 кГц	1 2 3	речь+600 Бод ТЧ (АДАСЭ+...) 4800 Бит/с	Txd	26.96	32.98	35.48	36.5	37.06	37.42
ЦВЧ	BW <sub>d</sub> = 4 кГц		40000 Бит/с	NL_voice	-51.69	-55.21	-58.73	-61.23	-63.17	-64.75
				SFDR	66.65	76.19	82.21	85.73	88.23	90.17

Очевидно, что на самом деле ограничение на величину W<sub>max</sub> может накладываться с двух сторон: уровня искажений и уровня собственных шумов приемника, который должен быть ниже NL\_voice.

Вполне реализуемые требования на качество ВЧ оборудования получаются при W<sub>max</sub>=3.

Возможна и обратная задача: при известных величинах W, SFDR и других необходимо определить максимальное допустимое затухание ВЧ канала/тракта. Тогда

$$NL\_voice = Txd - SFDR - DSATxRx$$

$$Rx\_voice = NL\_voice + NL0\_voice$$

$$Atr = Plin - PAR\_voice - Rx\_voice$$

Для рассматриваемого примера, при W=3 и SFDR<sub>real</sub>=80 дБ, получим Atr<sub>MAX</sub>=18.27 дБ, а при W=5 Atr<sub>MAX</sub> составит 13,83 дБ.

При этом уровень шумов ВЛ в полосе 4 кГц не должен превышать

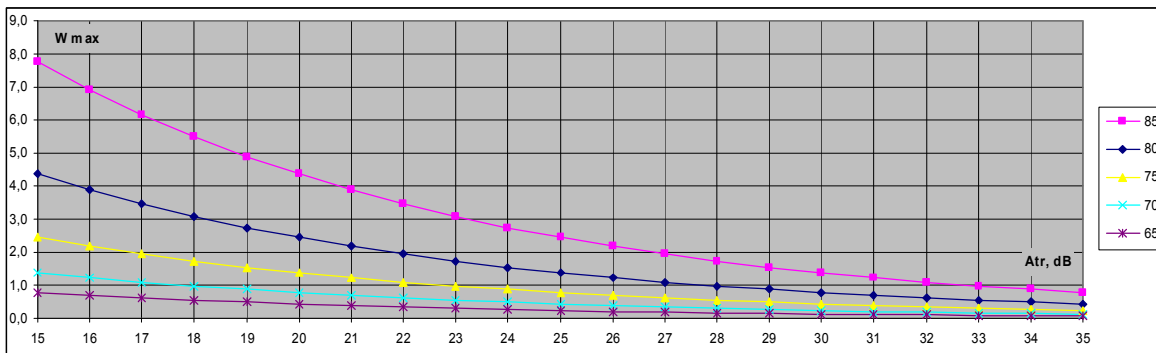
$$Nvl = \min(Rx\_voice - SNRtr\_voice; Txd - Atr\_MAX - SNRtr\_d)$$

$$SNRtr\_d = 4.138 * (m + 0.825) - PARd - 10 * \text{Log}(4000 / NBW)$$

В рассматриваемом случае Nvl = min(-26.5 дБм; -26,6 дБм) = -26,6 дБм или в полосе 1 кГц Nvl<sub>1</sub> = -32.2 дБм.

Практически это означает, что конвергированный канал с указанной нагрузкой при W=3 и Atr<sub>MAX</sub>=18 дБ можно реализовать на всех ВЛ классов напряжения 154 кВ и ниже.

На рисунке приведены зависимости допустимой величины W от затухания ВЧ канала при различных величинах нелинейных и интермодуляционных искажений ВЧ аппаратуры, для рассматриваемой в примере загрузки ВЧ канала и параметрах оборудования

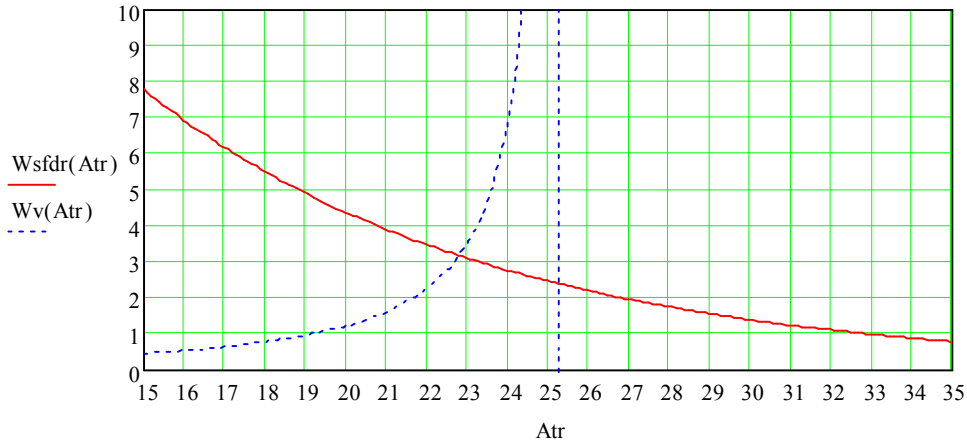


$$W_{SFDR} = 10^{\frac{0.05 * [SFDR - (PAR\_voice - PARd + Atr + NL0\_voice - DSATxRx)]}{Sva}}$$

При известном уровне шума ВЛ  $N_{vl}$  в полосе 4 кГц и заданной скорости ЦВЧ канала можно точно определить требуемое значение коэффициента  $W$  и допустимое затухание ВЧ тракта  $A_{tr\_MAX}$

$$B(A_{tr}) := 10^{-\left[.05 \cdot \left[ \left( \frac{V_d}{B_{Wd}} \right) + .825 \right] \cdot 4.138 - \left( PEP - PAR_d - N_{vl} - A_{tr} + 10 \cdot \log \left( \frac{4000}{B_{Wd}} \right) \right) \right]}$$

$$W_v(A_{tr}) := \frac{B(A_{tr})}{1 - B(A_{tr})}$$



Пересечение кривых (точка  $W=3.2$  и  $A_{tr}=22.8$  дБ) и есть искомое значение.

**Методика**

В общем виде можно рекомендовать следующий порядок определения  $P_{пер}$ :

- Сначала вычисляются суммы весов сигналов АВЧ подсистемы, включая пилот-сигналы и охранные/контрольные сигналы систем передачи сигналов команд,  $S_{va}$ .
- Далее вычисляется коэффициент пропорциональности между АВЧ и ЦВЧ подсистемами (приведенные ниже выражения определяют  $W_{opt}$  так, чтобы требования по уровню шумов ВЛ обеих систем были одинаковыми)

$$SNR_d = 4.138 * \left( 0.825 + \frac{V_d}{B_{Wd}} \right)$$

$$L_{PAR_d} = SNR_d + PAR_d - 10 * L_g \left( \frac{4000}{B_{Wd}} \right)$$

$$W_{opt} = \frac{10^{0.05 * (L_{PAR_d} + L_v + SNR_v - PAR_v)}}{S_{va}}$$

$SNR_d$  – ОСШ, требуемое для работы ЦВЧ подсистемы (аппроксимированное значение с учетом FEC)

$L_v$  – уровень речевого сигнала, дБм0

$SNR_v$  – требуемое ОСШ речевого сигнала в полосе 4 кГц

$PAR_v$  – пик-фактор речевого сигнала = уровень ограничения

$$W = Select(W_{opt}, B_{Wd} / B_{Wa}, 1, 2, 3, 4, 5, \dots)$$

полученное значение  $W_{opt}$  является рекомендуемым, но может принимать и другие установленные по тем или иным причинам значения

Как правило, значения  $W$  большие  $W_{opt}$  устанавливаются в случаях, когда необходимо повысить устойчивость ЦВЧ канала (в ущерб АВЧ подсистеме).

- По известному значению  $W$  определяется уровень сигнала в линии

$$P_{пер} = PEP - 20 * L_g [S_{va} * (1 + W)]$$

- Очень важно уже на этом этапе проверить реализуемость выбранной конфигурации ВЧ канала.

Для этого по известному/предполагаемому уровню шумов проектируемой ВЛ  $Nvl$  (например, из «Руководящих указаний по выбору частот...») определяются максимально возможные запасы по перекрываемому затуханию

$$A_{nep_{NOISE}} = PEP + 20 * Lg \left( \frac{W_{opt}}{1 + W_{opt}} \right) - LPARd - Nvl$$

запас, необходимый с точки зрения шумов

$$Coef = 20 * Lg(Sva * W) + Lv + NL0\_voice - DSATxRx - PARd$$

$$SFDR_{NOISE} = A_{nep_{NOISE}} + Coef$$

допустимый уровень НИ и ИИ искажений с точки зрения шумов

$$SFDR_{ACCESS} = \min \{ SFDR_{NOISE}, SFDR_{EQUIP} \}$$

где  $SFDR_{EQUIP}$  – уровень НИ и ИИ искажений оборудования / аппаратуры ВЧ связи

$$A_{nep_{SFDR}} = SFDR_{ACCESS} - Coef$$

запас по перекрываемому затуханию с точки зрения НИ и ИИ

$$A_{nep_{ABЧ}} = Pnep + SFDR_{ACCESS} + Lv - SNRv - PARv - A_{nep_{NOISE}} - Nvl - Coef$$

запас по перекрываемому затуханию для АВЧ подсистемы

$$A_{nep} = \min \{ A_{nep_{NOISE}}, A_{nep_{SFDR}}, A_{nep_{ABЧ}} \}$$

максимально возможный запас по перекрываемому затуханию

$$SFDR = A_{nep} + Coef$$

достаточный уровень НИ и ИИ ВЧ аппаратуры

Если учитывать собственное предельное ОСШ приемника ЦВЧ канала  $SNRRx$  и имеющееся в системе ограничение по индексу модуляции  $m_{max}$ , предыдущее выражение для вычисления ОСШ ЦВЧ канала (аппроксимированное значение с учетом FEC) примет вид

$$SNRd = 10 * Lg \left[ \left( \frac{1}{10^{0.1 * 4.138 * \left( 0.825 + \min \left[ m_{max}, \frac{Vd}{BWd} \right] \right)}} - \frac{1}{10^{0.1 * SNRRx}} \right)^{-1} \right]$$

Предложенная методика (вполне подходит на роль методики по выбору частот и определения запаса по перекрываемому затуханию для современных систем конвергированной ВЧ связи) не имеет «привязки» к какому-то конкретному типу сигнал-конвертера, и является универсальной. Различие может иметься в определении требуемого значения  $SNRd$ .

Если на величину коэффициента  $W$  существуют системные ограничения «сверху», то надо иметь ввиду, что максимальные запасы по перекрываемому затуханию обеспечиваются при величинах модуляции  $m = \frac{Vd}{BWd}$  порядка 4 ... 6,5 (лучшие соотношения скорость/запас по затуханию).



**Пример. Рекомендации по выбору W**

Пример: На ВЛ 330 кВ в полосе частот BW=12 кГц необходимо организовать конвергированный ВЧ канал в следующей конфигурации – диспетчерская ТФ + ТМ 200 Бод + АИИС КУЭ 2400 кБит/с + цифровой поток Vd=40 кБит/с

Параметры ВЧ аппаратуры: PEP=46 дБ, SFDR<sub>EQUIP</sub>=85 дБ, NL0v=55 дБ, DSATxRx=12 дБ, m<sub>max</sub>=10, SNRRx=52.7 дБ

В соответствии с техническими и функциональными возможностями ВЧ аппаратуры, АВЧ подсистема имеет загрузку: диспетчерская ТФ (SNRv=26 дБ) + ТМ 200 Бод (Tзад≤15 мс) + АИИС КУЭ/SCADA 2400 кБит/с (Tзад≤30 мс), и реализуется в полосе частот BWa=4 кГц. Sva=2.98

ЦВЧ подсистема реализуется в полосе частот BWd = BW-BWa = 8 кГц

Тогда

Параметр	Wopt = 1,21		BWd / BWa		1		2		3		4		5	
	АВЧ	ЦВЧ	АВЧ	ЦВЧ	АВЧ	ЦВЧ	АВЧ	ЦВЧ	АВЧ	ЦВЧ	АВЧ	ЦВЧ	АВЧ	ЦВЧ
<b>Параметры заданной системы</b>														
Vd	40000													
m	5													
SNRd	24,1													
Pnep	29.65		26.98		30.51		26,98		24,48		22,55		20,96	
Anep	23.65		20.98		23.65		20,98		18,48		16,55		14,96	
SFDR	70.8		75.1		69.1		75,1		78,7		81,2		83,1	
Nvl_treb	-20	-20	-22.7	-18.3	-19.1	-20.8	-22,7	-18,3	-25,2	-17,3	-27,1	-16,7	-28,7	-16,3
<b>Предельные скорости передачи при выбранном W</b>														
Vd возм.			48466		36829		48466		55274		60104		63850	
m			6.06		4,6		6,06		6,91		7,51		7,98	
SNRd			28.48		22,46		28,48		32		34,5		36,44	
Pnep			26.98		30,51		26,98		24,48		22,55		20,96	
Anep			20.98		24,51		20,98		18,48		16,55		14,96	
SFDR			72.5		70		72,5		73,5		74,1		74,4	
Nvl_treb			-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20
<b>Стандартные скорости передачи при выбранном W</b>														
Vd возм.			48000		36000		48000		56000		56000		64000	
m			6,00		4,50		6,00		7		7		8	
SNRd			28,24		22,03		28,24		32,38		32,38		36,52	
Pnep			26,98		31,51		26,98		24,48		22,55		20,96	
Anep			20,98		24,51		20,98		18,2		16,55		14,90	
SFDR			72,6		70,2		72,6		73,2		75,7		74,4	
Nvl_treb			-20,2	-19,9	-20,2	-19,8	-20,2	-19,9	-19,7	-20,1	21,7	-19,5	-19,9	-20
<b>Параметры системы при стандартных скоростях передачи с оптимальным Wopt</b>														
Vd возм.	40000		48000		36000		48000		56000		56000		64000	
m	5		6,00		4,50		6,00		7		7		8	
SNRd	24,1		28,24		22,03		28,24		32,38		32,38		36,52	
<b>Wopt</b>	<b>1,21</b>		<b>1,94</b>		<b>0,95</b>		<b>1,94</b>		<b>3,13</b>		<b>3,13</b>		<b>5,04</b>	
Pnep	29,65		27,14		30,72		27,14		24,2		24,2		20,90	
Anep	23,65		21,14		24,72		21,14		18,2		18,2		14,9	
SFDR	70,8		72,4		69,8		72,4		73,6		73,6		74,4	
Nvl_treb	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20

Та же система связи, но с BW=16 кГц, и соответственно BWd=12 кГц / Vd=64 кБит/с будет иметь следующие параметры

Параметр	Wopt = 1,73		BWd / BWa		1		2		3		4		5	
	АВЧ	ЦВЧ	АВЧ	ЦВЧ	АВЧ	ЦВЧ	АВЧ	ЦВЧ	АВЧ	ЦВЧ	АВЧ	ЦВЧ	АВЧ	ЦВЧ
<b>Параметры заданной системы</b>														
Vd	64000													
m	5,33													
SNRd	25,48													
Pnep	27,79		24,48		30,51		26,98		24,48		22,55		20,96	
Anep	21,79		18,48		21,79		20,98		18,48		16,55		14,96	
SFDR	72,0		76,8		67,3		73,3		76,8		79,3		81,2	
Nvl_treb	-20	-20	-23,3	-18,5	-17,3	-22,1	-20,8	-19,6	-23,3	-18,5	-25,2	-18	-26,8	-17,6
<b>Предельные скорости передачи при выбранном W</b>														
Vd возм.			77806		50137		67594		77806		85052		90671	
m			6,48		4,18		5,63		6,48		7,09		7,56	
SNRd			30,24		20,70		26,72		30,24		32,74		34,68	
Pnep			24,48		30,51		26,98		24,48		22,55		20,96	
Anep			18,48		24,51		20,98		18,48		16,55		14,96	
SFDR			73,5		70,0		72,5		73,5		74,1		74,4	
Nvl_treb			-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20
<b>Стандартные скорости передачи при выбранном W</b>														
Vd возм.			76800		48000		72000		76800		80000		96000	
m			6,40		4,00		6,00		6,40		6,67		8,00	
SNRd			29,90		19,97		28,24		29,90		31,00		36,52	
Pnep			24,48		30,51		26,98		24,48		22,55		20,96	
Anep			18,48		24,51		19,94		18,48		16,55		13,41	
SFDR			73,8		70,3		71,4		73,8		75,4		72,9	
Nvl_treb			-20,3	-19,9	-20,4	-19,6	-19,0	-20,5	-20,3	-19,9	-21,4	-19,6	-18,4	-20,3
<b>Параметры системы при стандартных скоростях передачи с оптимальным Wopt</b>														
Vd возм.	64000		76800		48000		72000		76800		80000		96000	
m	5,33		6,40		4,00		6,00		6,40		6,67		8,00	
SNRd	25,48		29,90		19,97		28,24		29,90		31,00		36,52	
<b>Wopt</b>	<b>1,73</b>		<b>2,88</b>		<b>0,92</b>		<b>2,38</b>		<b>2,88</b>		<b>3,27</b>		<b>6,18</b>	
Pnep	27,79		24,74		30,87		25,94		24,74		23,91		19,41	
Anep	21,79		18,74		24,87		19,94		18,74		17,91		13,41	
SFDR	72,0		73,4		69,6		73,0		73,4		73,7		74,7	
Nvl_treb	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20

Анализ приведенных таблиц показывает, что оптимальное значение Wopt:

- При фиксированных скоростях передачи обеспечивает наибольший запас по перекрываемому затуханию, и равную чувствительность АВЧ и ЦВЧ подсистем к шумам. В большинстве случаев так же гарантируются наименьшие требования к аппаратуре по уровням НИ и ИИ
- В адаптивном режиме параметр Wopt обеспечивает характеристики системы передачи близкие к предельно возможным для данного состояния канала при равной чувствительности АВЧ и ЦВЧ подсистем к шумам
- Значения коэффициента W большие Wopt неизбежно приводят к потере устойчивости АВЧ подсистемы (в пользу ЦВЧ), поэтому должны использоваться

только в случаях, когда АВЧ подсистема передает не критичные виды трафика, например, служебную станционную телефонию

- Значения коэффициента  $W$  меньше  $W_{opt}$  приводят к потере устойчивости ЦВЧ подсистемы (в пользу АВЧ), поэтому должны использоваться только в случаях, когда по ЦВЧ каналу передается не критичные виды трафика, например, межкомпьютерный обмен или электронная почта/Интернет

**Интерпретация результатов расчетов затуханий**

Подчас весьма значительные ошибки в определении допустимых запасов по перекрываемому затуханию, или определении максимальной скорости передачи возникают при неправильной интерпретации результатов расчетов затуханий и шумов, выполненных по тем или иным методикам.

При классическом подходе расчеты дают ответ на вопрос: будут ли сервисы функционировать с заданным качеством при всех возможных или необходимых режимах эксплуатации ВЛ, или - нет? При этом при определении запаса по перекрываемому затуханию в большинстве случаев достаточно оценки «сверху».

Для ЦВЧ каналов, имеющих прямую зависимость характеристик функционирования от затухания или уровня шумов ВЧ канала (особенно для адаптивных систем), необходимо точно знать все режимы работы. Только в этом случае возможно построение систем максимально полно использующих доступные сетевые ресурсы, и не «падающих» при каких-то не предусмотренных состояниях ВЛ.

**Схема присоединения**

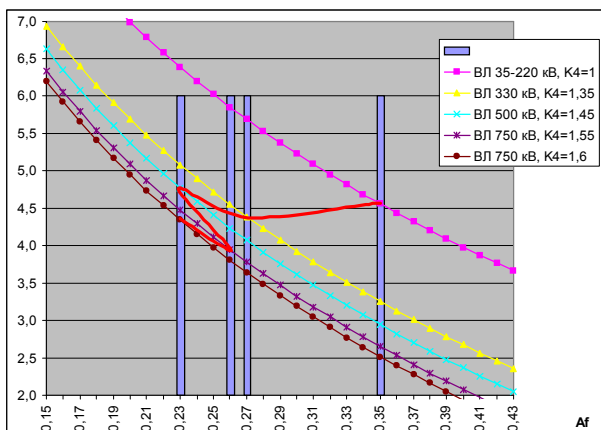
Существующие методики определения оптимальных схем присоединения направлены на поиск подключений, имеющих или наименьшие затухания, или максимальные частоты пиков затухания.

В комбинации с принятым распределением подключений по функциональному назначению (например, средняя фаза или канал с наименьшим затуханием – канал основной релейной защиты, фаза А или следующий по величине затухания канал – каналы автоматики, худшие каналы или каналы с наибольшим затуханием – связь), это делает невозможным реализацию ЦВЧ каналов в принципе.

Однако проблему с выбором подключений частично можно изменить, если рассматривать присоединения не с точки зрения затуханий, а с точки зрения запасов по перекрываемому затуханию, а так же стабильности параметров каналов в течение эксплуатации.

Уровень шумов от короны пропорционален коэффициенту затухания основной для данной схемы присоединения моды распространения

$$P_{ПOM} \approx 10 \lg \left[ \frac{1}{k_4 \alpha_{of}} \right]$$



Это определяет следующие важные свойства расчетов:

- Не зависимо от типа ВЛ и схем присоединения удвоение коэффициента затухания основной моды приводит к изменению уровня шума короны на 3 дБ
- Все множество схем присоединения (3 фазы – 18 схем присоединения) описывается 4-мя шумовыми кривыми/уровнями: крайняя фаза – земля, средняя фаза – земля, фазы крайние и все присоединения фаза-фаза с участием средней фазы

- Для областей частот, где затухание определяется основной модой, разница уровней шумов схем присоединения фаза средняя – земля и фаза крайняя – земля примерно равна половине разницы их затуханий

Из выражения, определяющего запас по перекрываемому затуханию, можно выделить две составляющие, одна из которых зависит только от параметров ВЛ (наиболее интересная для нас), а другая – от характеристик аппаратуры и свойств передаваемой информации

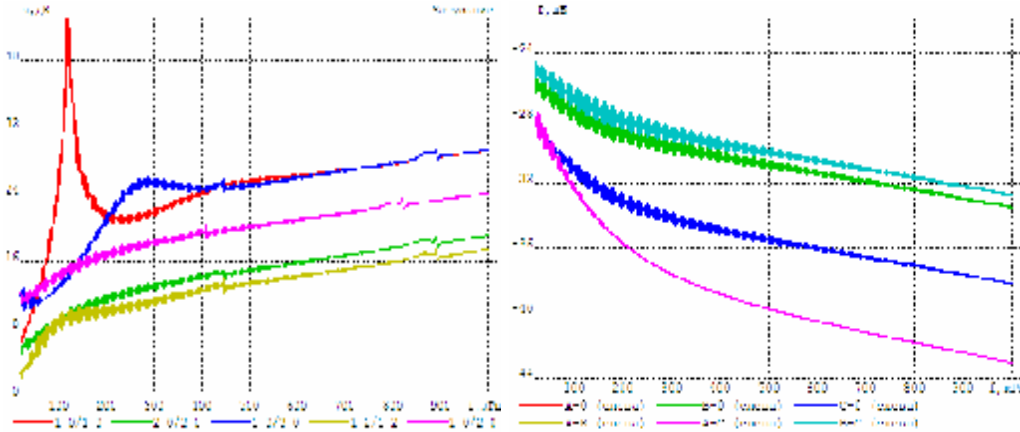
$$P_{пер} - P_{пр.мин.} - A_{пр} \approx (P_{пер} - C_{Штреб}) - (P_{шум} + A_{пр})$$

Чем меньше вторая, зависящая от параметров ВЛ компонента, тем больше запас по перекрываемому затуханию. На этом свойстве будут основаны все приведенные далее рассуждения.

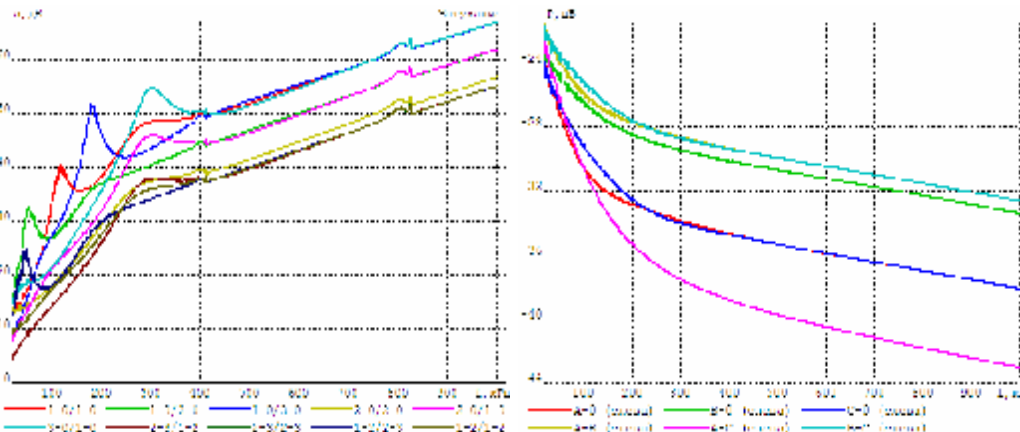
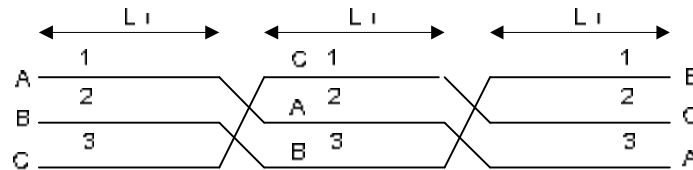
Например, для типичной конструкции ВЛ 330 кВ длиной 79 км на частоте 600 кГц затухание тракта средняя фаза – земля равно 15.93 дБ, уровень шума короны -31.55 дБ, затухание трактов фаза крайняя – земля равно 26.39 дБ. Тогда

Присоединение	Значение на частоте 600 кГц	Атр, дБ	Шум, дБ		$(P_{шум} + A_{пр})$	
			Слева	Справа	Слева	Справа
ф.Средняя – земля с обеих сторон	Рассчитанное	<b>15.93</b>	<b>-31.55</b>	-31.55	-15.62	-15.62
Все схемы ф.Крайняя – земля с обеих сторон	Рассчитанное	<b>26.39</b>	-36.16	-36.16	-9.77	-9.77
	Аппроксимированное		-36.78	-36.78	-10.39	-10.39
Все схемы ф.Средняя – земля - ф.Крайняя – земля	Рассчитанное	21.06	-31.55	-36.16	-10.49	-15.1
	Аппроксимированное	21.16	-31.55	-36.78	-10.49	-15.72
Все схемы присоединения Фаза-Фаза с участием Средней фазы	Рассчитанное	14.21	-30.44	-30.44	-16.23	-16.23
	Аппроксимированное	13.93	-30.55	-30.55	-16.62	-16.62

Не трансп. ВЛ 330 кВ (79 км)



Трансп. ВЛ 330 кВ (3\*79 км)



Таким образом, на частотах, где затухание определяется основной модой, все схемы присоединения фаза крайняя – земля с обеих сторон имеют наименьшие запасы по перекрываемому затуханию.

Наибольшие запасы по перекрываемому затуханию имеют схемы присоединения фаза-фаза с участием средней фазы и фаза средняя – земля с обеих сторон. Однако эти схемы присоединения не позволяют реализовать более одного «оптимального» ВЧ канала.

Расширить количество «оптимальных» присоединений (до двух, с одинаковыми свойствами и характеристиками) можно за счет использования присоединений фаза средняя-земля – фаза крайняя-земля в любых сочетаниях. Такие присоединения со стороны подключения фаза крайняя-земля имеют запас по перекрываемому затуханию не хуже оптимальных схем присоединения. Со стороны присоединения фаза средняя – земля – большие, чем присоединения фазы крайние – земля с обеих сторон в любых сочетаниях.

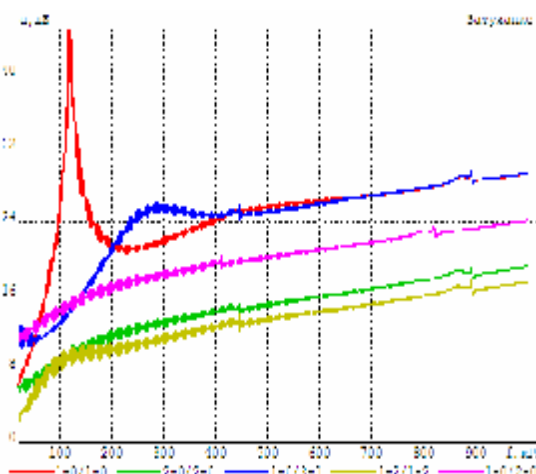
Выровнять запасы по перекрываемому затуханию по направлениям передачи можно при использовании разнесенных частот передачи и приема, причем со стороны присоединения средняя фаза-земля должны использоваться значительно более низкие частоты передачи/приема.

Присоединение	Значение на частоте 100 кГц	Атр, дБ	Шум, дБ		(Шум + Атр)	
			Слева	Справа	Слева	Справа
ф.Средняя – земля с обеих сторон	Рассчитанное	8.76	-27.2	-27.2	18.44	18.44
Все схемы ф.Средняя – земля - ф.Крайняя – земля	Рассчитанное	14.23	-27.2	-31.2	12.97	16.97
Все схемы присоединения Фаза-Фаза с участием Средней фазы	Рассчитанное	8.46	-26.7	-26.7	18.24	18.24
Косые схемы ф.Крайняя – земля с обеих сторон	Рассчитанное	12.93	-31.2	-31.2	18.27	18.27

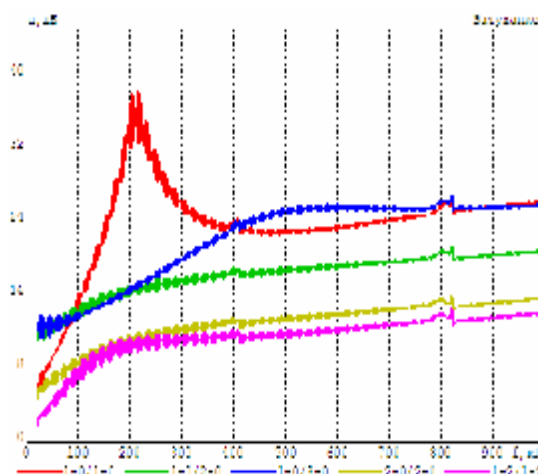
В качестве третьего присоединения можно использовать косые схемы подключения фазы крайние – земля с обеих сторон при низких частотах приема/передачи, причем, желательно на совмещенных частотах.

Анализ характеристик ВЧ трактов при различных климатических условиях показывает, что в зависимости от используемого диапазона частот наибольшую стабильность параметров имеют присоединения:

не трансп. ВЛ 330 кВ (79 км) Лето

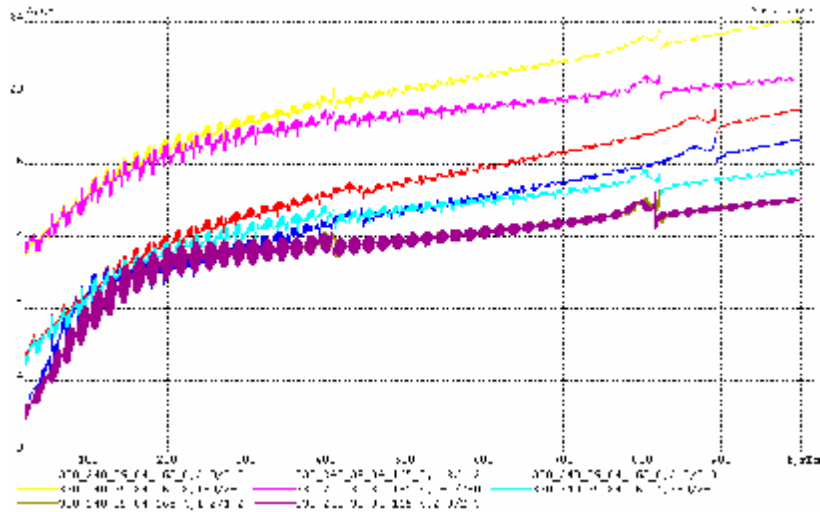


не трансп. ВЛ 330 кВ (79 км) Зима



- во всем диапазоне частот не транспонированных ВЛ присоединения фаза-земля 2-0/2-0, 1-0/2-0, 2-0/1-0, 2-0/3-0, 3-0/2-0 и фаза-фаза 1-2/1-2, 2-3/2-3.

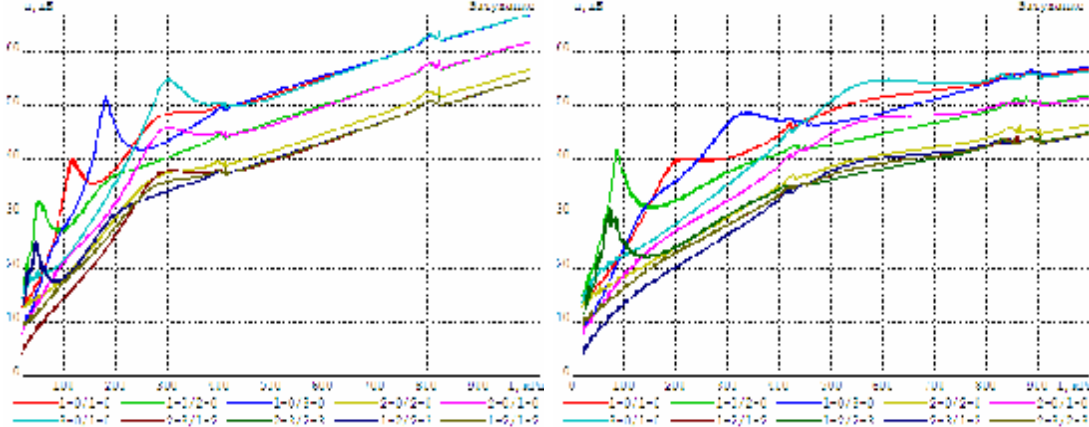
Характеристики каналов 1-0/2-0, 2-0/1-0, 2-0/3-0, 3-0/2-0 идентичны.



В нижнем диапазоне частот возможно использование косого включения крайних фаз 1-0/3-0 и 3-0/1-0.

Трансп. ВЛ 330 кВ (3\*79 км) Лето

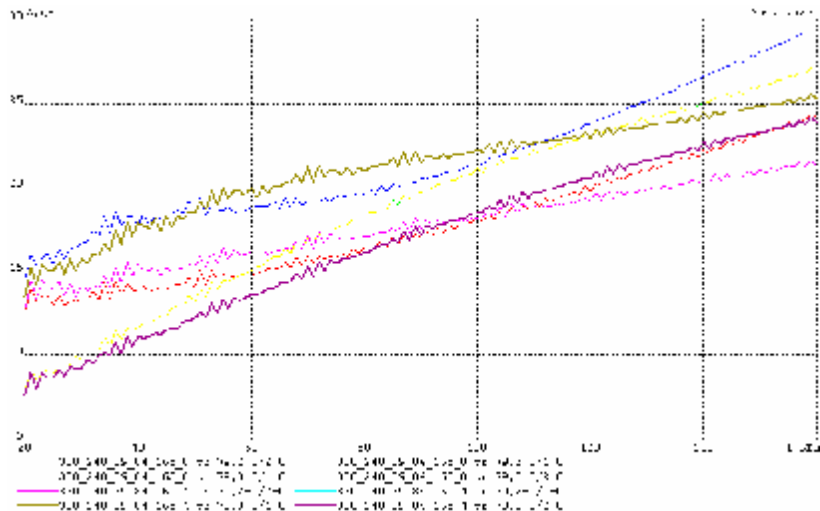
Трансп. ВЛ 330 кВ (3\*79 км) Зима



- в низком диапазоне частот транспонированных ВЛ присоединения фаза-земля 2-0/2-0, 2-0/1-0, 3-0/1-0 и 3-0/2-0 (подключения без первой фазы с левой стороны и третьей фазы – справа)

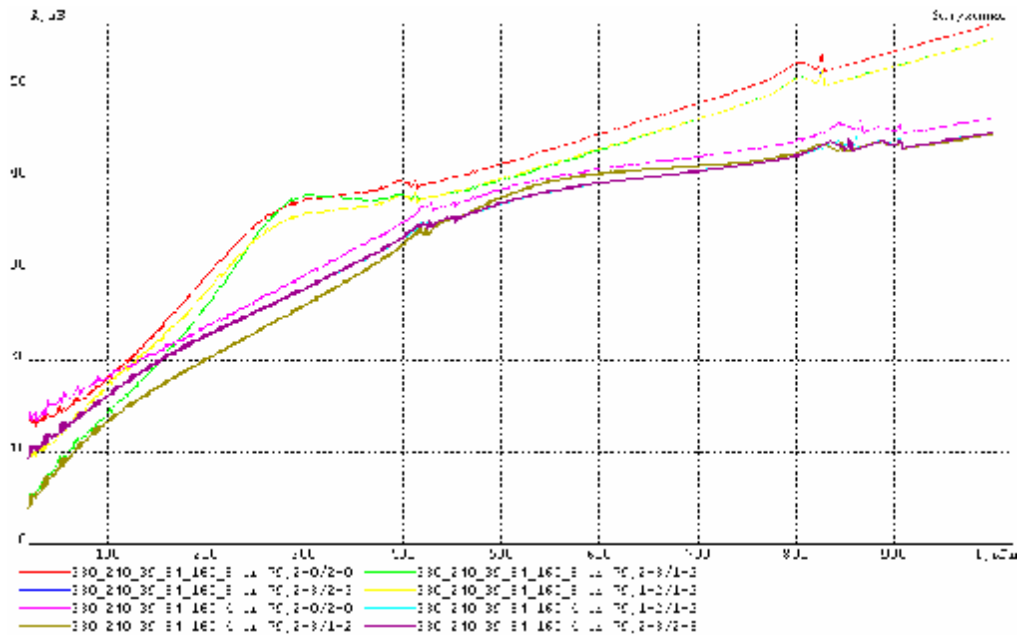
Причем характеристики каналов 2-0/1-0 и 3-0/2-0 абсолютно идентичны.

В случае крайней необходимости может использоваться присоединение 1-0/3-0.



- во всем диапазоне частот транспонированных ВЛ присоединения фаза-земля 2-0/2-0 и фаза-фаза 1-2/1-2, 2-3/1-2 и 2-3/2-3 (подключения без одновременного наличия первой фазы с левой стороны и третьей фазы – с правой стороны, а так же без подключения фаза-фаза крайние)

Изменение характеристик всех каналов практически совпадает.



Таким образом:

для транспонированных и не транспонированных ВЛ существуют схемы присоединения, обеспечивающие наиболее гладкие и стабильные характеристики каналов ВЧ связи, обладающие приемлемыми запасами по перекрываемому затуханию, и, соответственно, пригодные для построения конвергированных ВЧ систем.

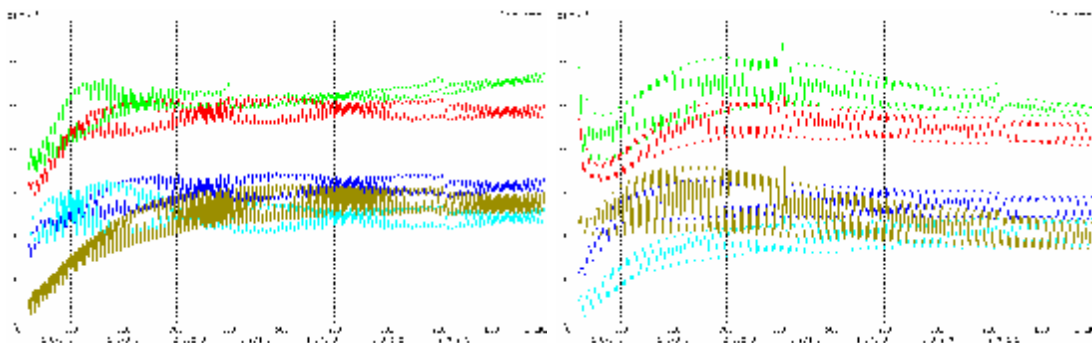
**Неравномерность частотной характеристики**

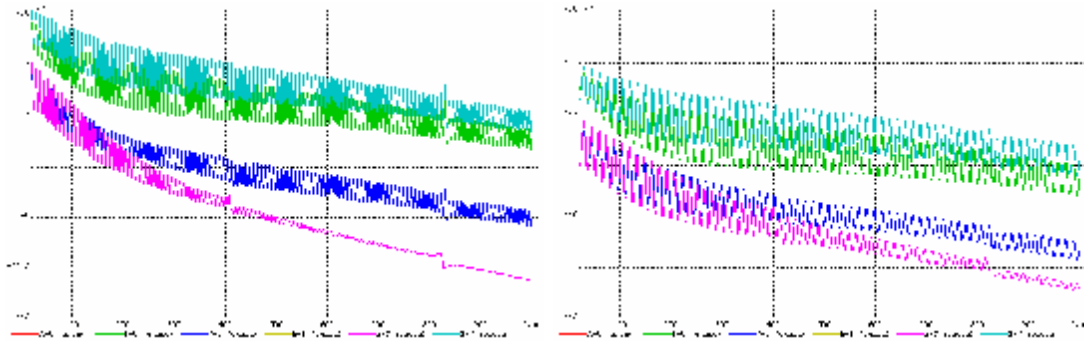
Необходимо различать три случая: неравномерность характеристики, обусловленная отражениями основной моды; неравномерность характеристики, вызванная межмодовым взаимодействием (например, неоптимальные схемы присоединения), и неравномерность характеристики, вызванная межмодовым взаимодействием и преобразованием мод при наличии на ВЛ неоднородностей.

В первом случае:

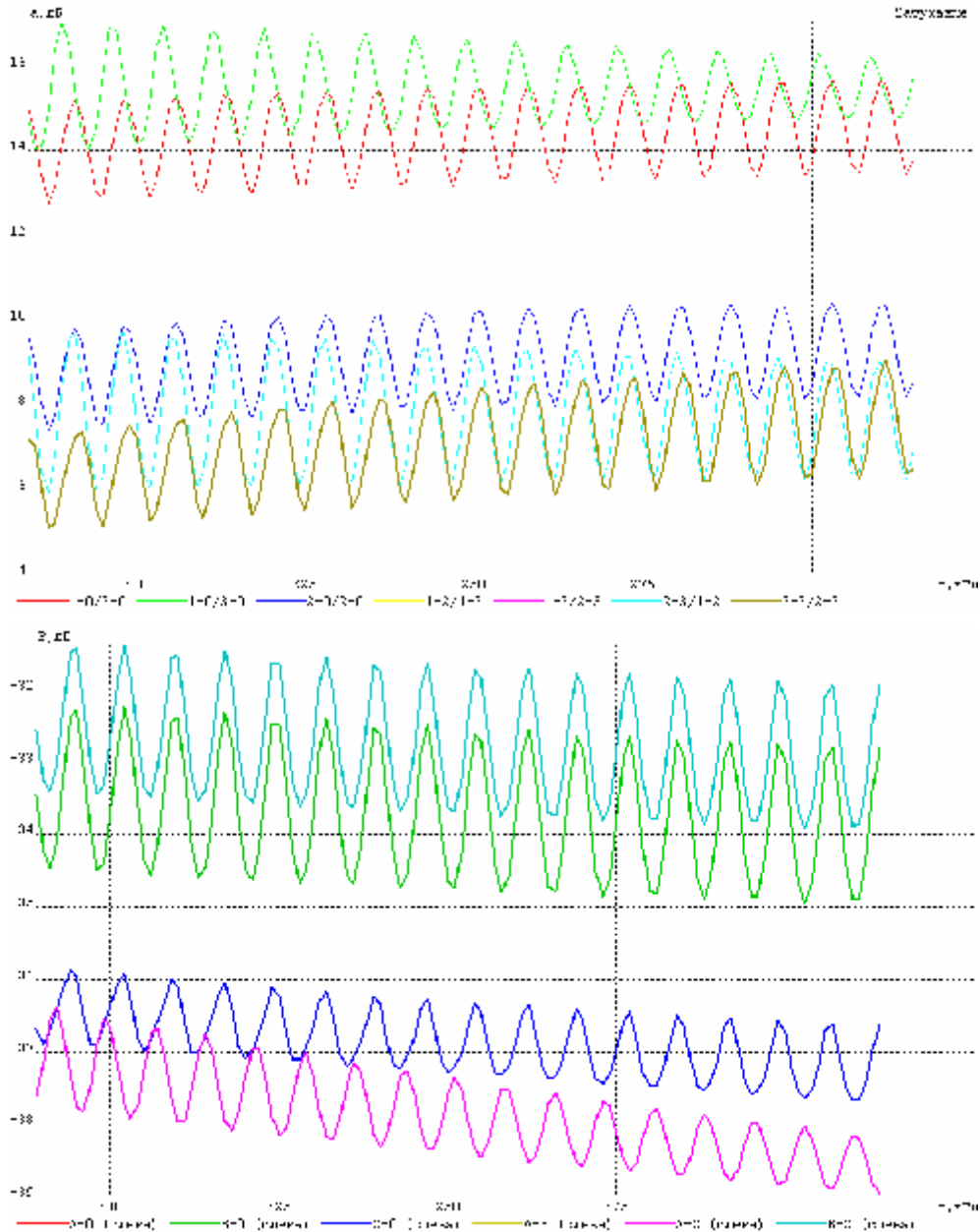
не трансп. ВЛ 330 кВ 20 км

не трансп. ВЛ 330 кВ 10 км



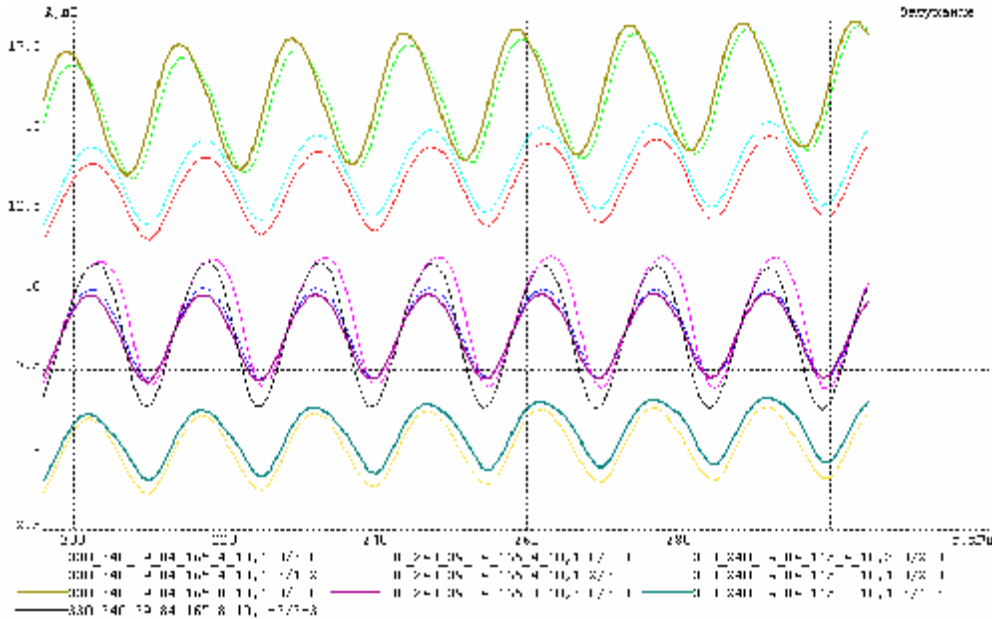


Колебания частотной характеристики и уровня шума находятся в противофазе, для присоединений с участием средней фазы они примерно равны по амплитуде, и, следовательно, практически не влияют на запас по перекрываемому затуханию. По крайней мере, он меняется в значительно меньшей степени, чем амплитуда отражений.





Амплитуда и фаза отражений слабо зависят от времени года



, но сильно зависят от режима работы ВЛ (подробно эти вопросы освещены в трудах Ю.П. Шкарина)

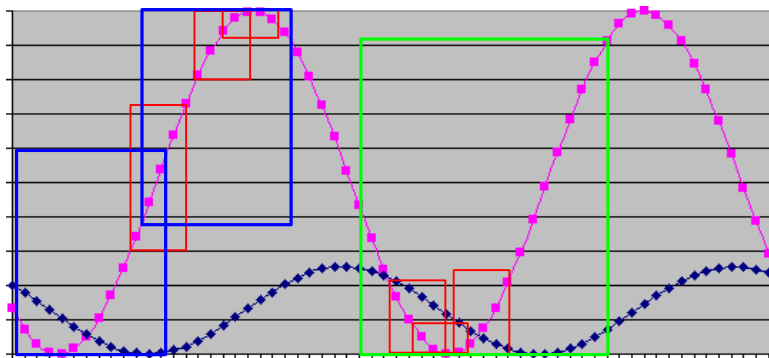
Вследствие этого, отражения должны мало сказываться на ЦВЧ системах индифферентных к амплитуде сигнала, и обеспечивающих требуемые скоростные характеристики при заданных отношениях СШ (хорошие MCM/DMT/OFDM сигнал-конвертеры). Особенно, если отражения являются относительно стационарными, когда многочастотная система успевает под них адаптироваться.

В тоже время, на работоспособность одночастотных систем модуляции (например, QAM систем) эти отражения будут влиять, поскольку для этих систем одним из критериев качества канала является неравномерность его частотной характеристики.

Во втором случае, при межмодовом взаимодействии, изменение затухания канала происходит «независимо» от уровня шумов, который остается практически постоянным. Таким образом, при любых изменениях состояния ВЛ происходит изменение запаса по перекрываемому затуханию, и, соответственно, изменяются свойства ЦВЧ канала, независимо от способа его реализации.

Однако степень влияния неравномерности частотной характеристики ВЧ тракта на свойства ЦВЧ канала в обоих случаях зависит от способа его реализации и характера неравномерности.

В общем виде неравномерность характеризуется периодом повторения и размахом. Применительно к конкретному ЦВЧ каналу необходимо дополнительно учитывать фазу неравномерности и соотношение периодов повторения неравномерности и ширины канала.



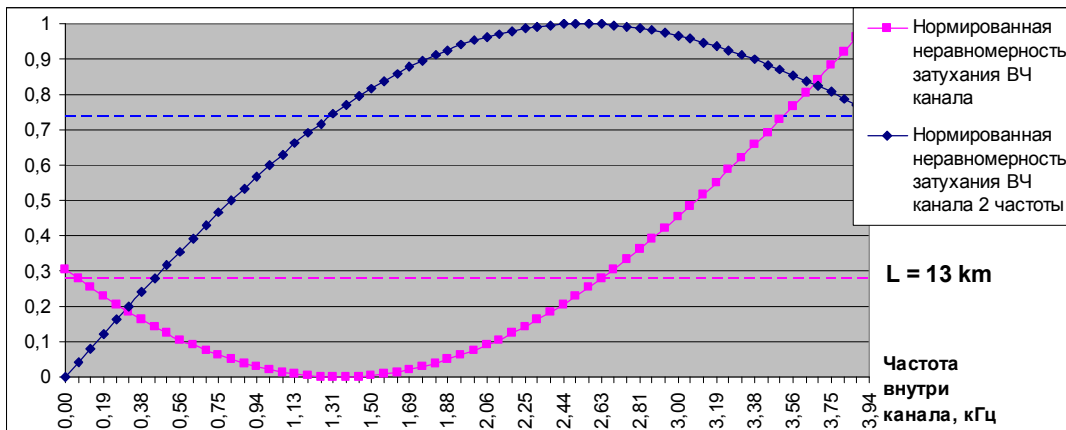
На рисунке условно показаны два периода неравномерности частотной характеристики ВЧ тракта ( $T_{пер} = 150/L_{vl}$ ) при разной степени рассогласования по концам ВЛ и разных фазах неравномерности (например, при разных режимах работы ВЛ), а так же возможное расположение на них ВЧ каналов различной ширины (ширина прямоугольника).

При этом высота прямоугольника отображает неравномерность характеристики в пределах конкретного ВЧ канала.

Из анализа рисунка можно сделать следующие выводы:

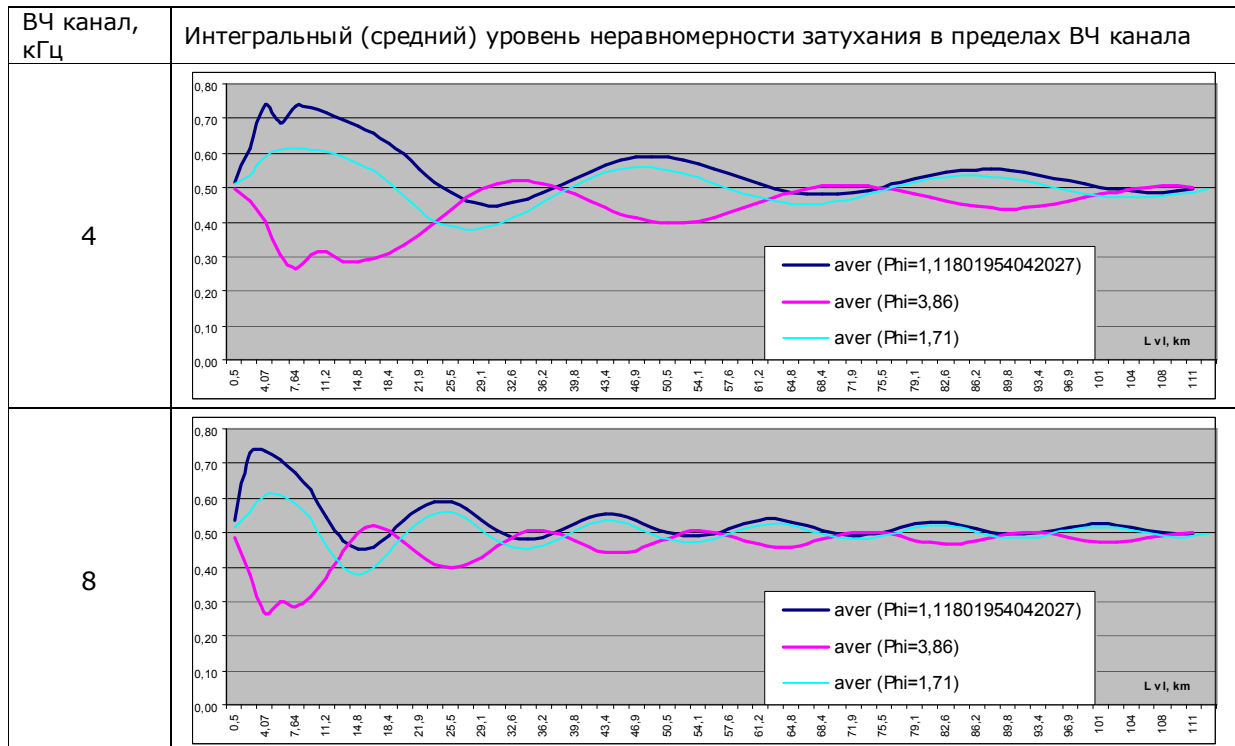
- чем меньше ширина ВЧ канала, тем меньше абсолютное значение его неравномерности
- чем меньше ширина ВЧ канала, тем в больших пределах может изменяться его относительная неравномерность при изменении режимов работы ВЛ.
- Соответственно, чем шире ВЧ канал, тем больше его абсолютная неравномерность, но меньше изменение неравномерности при изменении режимов работы ВЛ

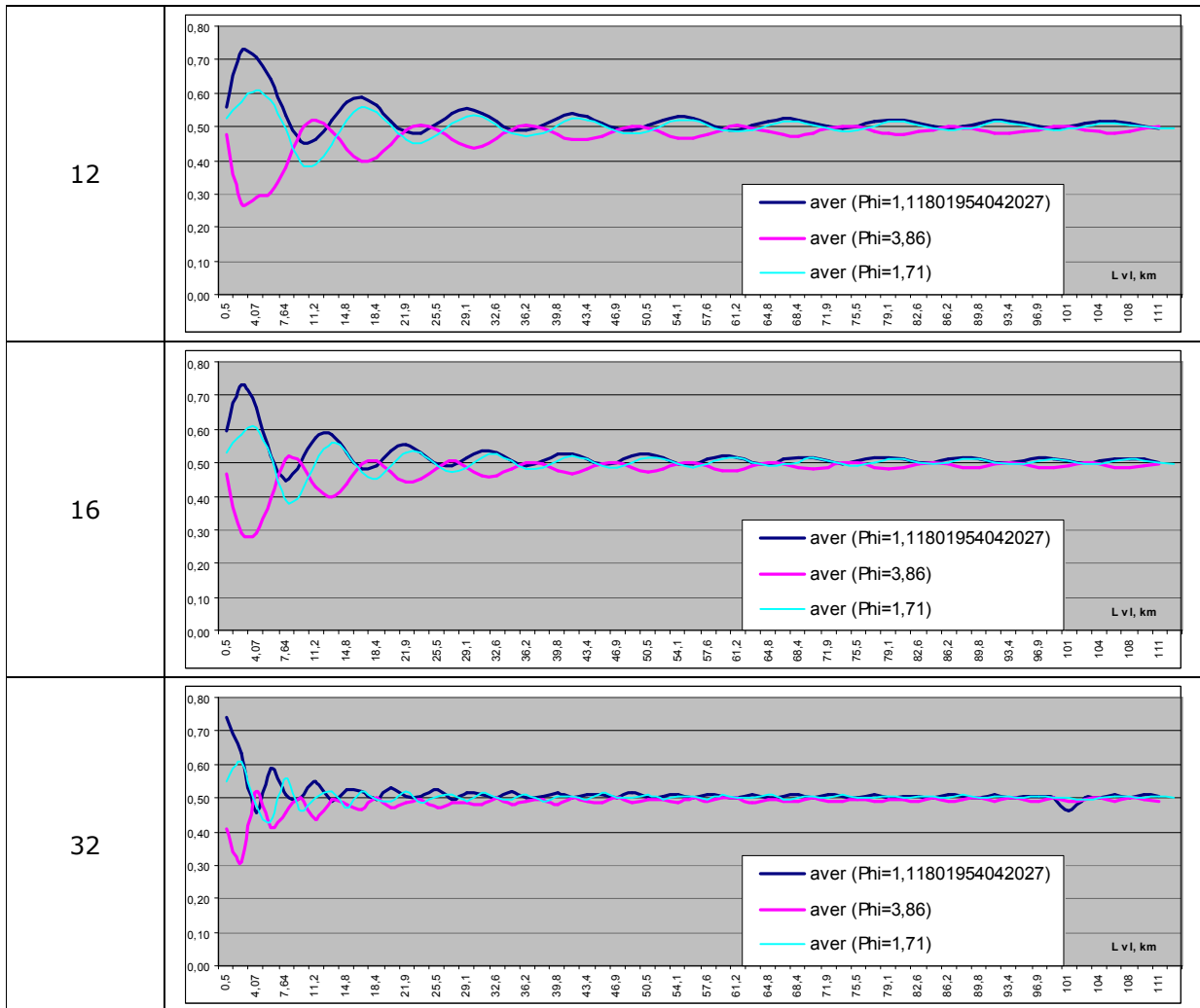
Если рассматривать конкретный ВЧ канал 4 кГц, используемый на ВЛ длиной 13 км, то нормированные неравномерности в зависимости от их фазы будут выглядеть следующим образом.



Минимальное среднее (интегральное) значение сигнала при этом будет составлять 0,277, а максимальное – 0,736 от размаха неравномерности.

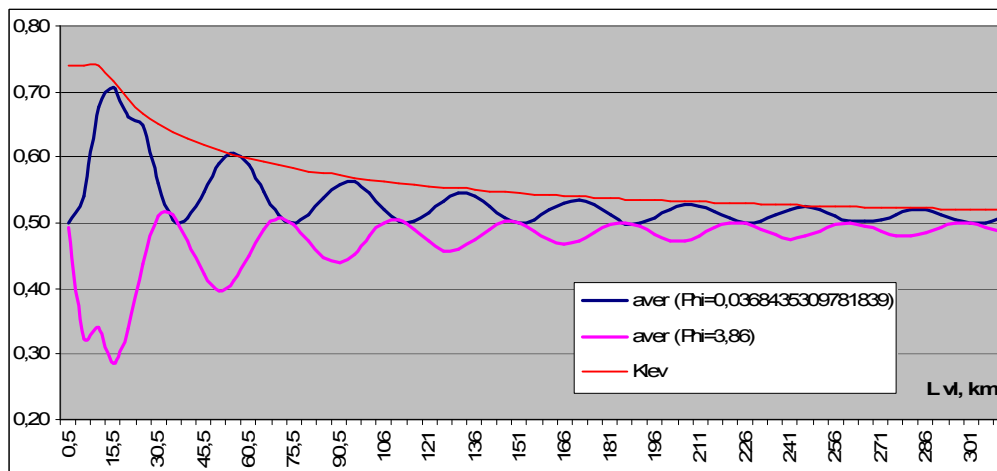
Поскольку величина неравномерности внутри ВЧ канала зависит от периода неравномерности ВЧ тракта, то целесообразно рассмотреть зависимость интегральной оценки уровня сигнала от длины ВЛ или расстояния между неоднородностями.





Поскольку фаза неравномерности никогда неизвестна, а главное может меняться на противоположную при изменении режима ВЛ, то «среднюю» неравномерность затухания ВЧ канала необходимо брать равной максимальной интегральной величине затухания

$$K\phi = \min \left\{ 0,742; 1,101 + 0,013 * LN \left( L_{vl} * \frac{BW}{4} \right) * \left[ LN \left( L_{vl} * \frac{BW}{4} \right) \right] - 13,578 \right\}$$



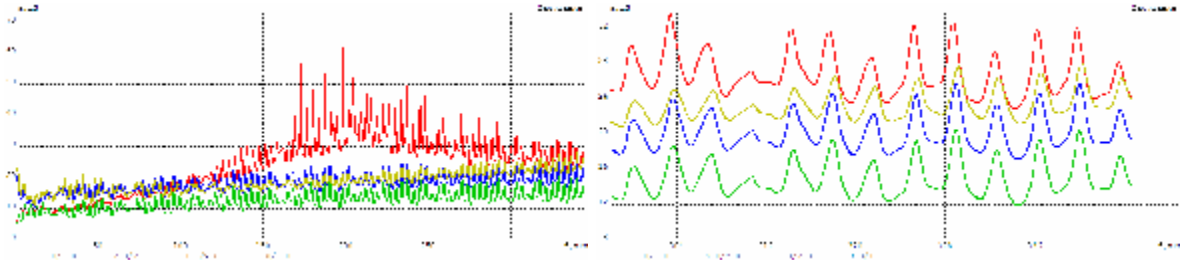
Длина ВЛ, при которой интегральное среднее имеет максимальное значение

$$\text{приблизительно равна } L_{vl\_max} = \frac{75}{BW * \sqrt{2}}.$$

Длина ВЛ, до которой интегральное среднее следует принимать равным  $K\phi_{max}=0.742$

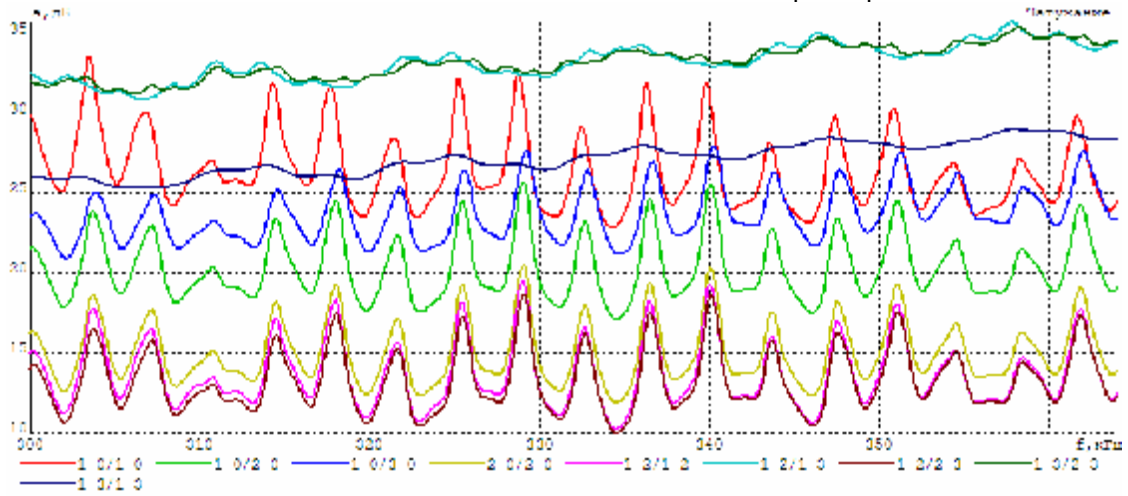
$$\text{равна } L_{vl\_k\phi\_max} = \frac{50}{BW}.$$

Другая ситуация возникает, если ВЛ имеет несколько неоднородностей (отпайки, обходы, транспозиции и другое).

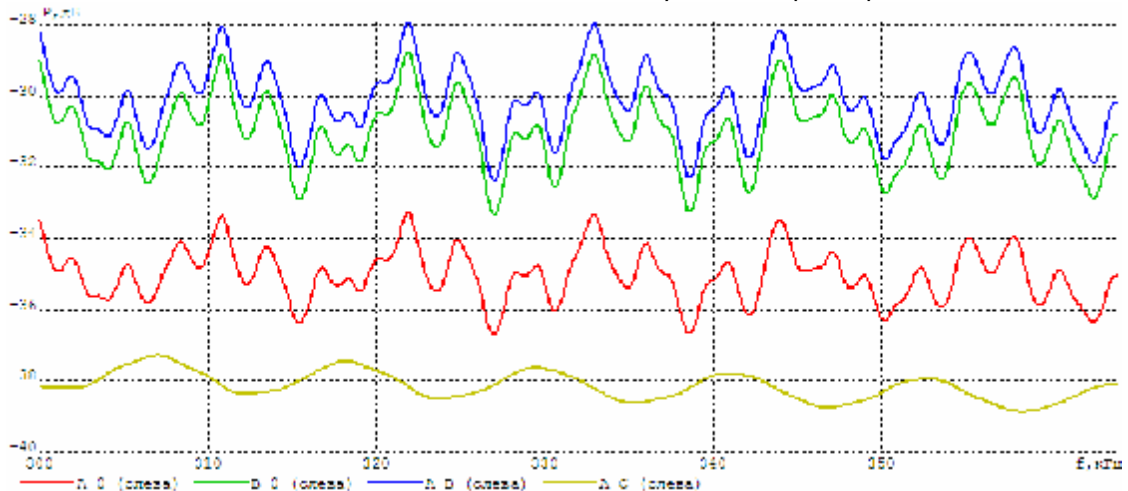


Из-за преобразования и взаимодействия мод связь между уровнями затухания и шумов нарушается – они становятся практически не зависимыми.

Частотная характеристика ВЛ с отпайкой



Шумовая характеристика ВЛ с отпайкой



(на уровне основной моды синхронизация между затуханием и шумами сохраняется, но основные соотношения здесь определяются не ими).

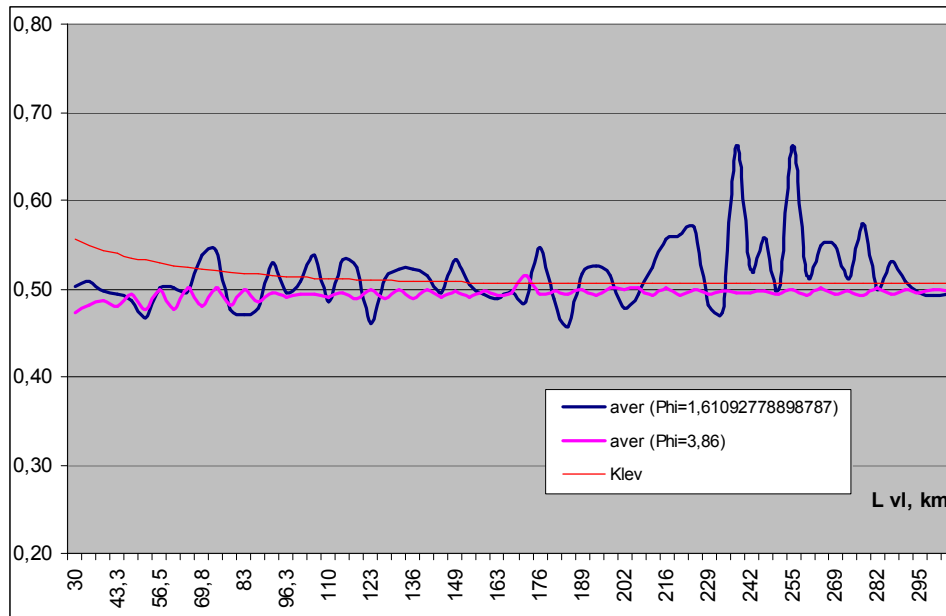
Что касается интегрального значения неравномерности, то при случайном расположении фаз взаимодействующих мод его значение слабо изменяется при изменении ширины ВЧ канала и режима работы ВЛ (левые графики в таблице).

Однако для каждой конфигурации ВЛ существует сочетание фаз взаимодействующих мод, когда уровень интегрального среднего становится очень большим, или наоборот – малым (правые графики в таблице 4-12 кГц).

Полоса ВЧ канала, кГц	Интегральный (средний) уровень неравномерности затухания в пределах ВЧ канала при одном (13 км) и трех (13, 41 и 38 км) участках неоднородности ВЛ	
<p><b>4</b></p> <p>Кф1=0.283 Кф3=0.524 Кф3x=0,852</p>		
<p><b>8</b></p> <p>Кф1=0.457 Кф3=0.593 Кф3x=0,742</p>		
<p><b>12</b></p> <p>Кф1=0.480 Кф3=0.593 Кф3x=0,661</p>		
<p><b>16</b></p> <p>Кф1=0.399 Кф3=0.539 Кф3x=0,590</p>		
<p><b>32</b></p> <p>Кф1=0.500 Кф3=0.448 Кф3x=0,529</p>		

Тем не менее, зависимость разброса интегральных оценок уровня неравномерности в зависимости от ширины канала сохраняется: чем шире канал, тем меньше меняется среднее.

Одни и те же фазовые соотношения между модами при различных длинах ВЛ оказывают разное влияние. Точно предсказать, когда произойдет увеличение затухания практически не возможно.



Поэтому можно рекомендовать или всегда использовать значение  $K\phi=0.742$ , или до длины  $L_{vl}k_{\phi_{max}} = \frac{50}{BW}$  использовать  $K\phi=0.742$ , а при больших длинах ВЛ использовать значение  $K\phi=0.6$ .

Итак:

- Для простых ВЧ каналов и каналов без неоднородностей с оптимальными схемами присоединения интегральное среднее значение неравномерности (то же относится и к уровню шума ВЛ) может быть просто определено по формуле

$$A_{тр.инт} = A_{тр.мин.} + A_{нер.размах} * K\phi, \text{ где}$$

$$K\phi = \min \left\{ 0,742; 1,101 + 0,013 * LN \left( L_{vl} * \frac{BW}{4} \right) * \left[ LN \left( L_{vl} * \frac{BW}{4} \right) \right] - 13,578 \right\}$$

Поскольку для этих ВЛ неравномерности уровня и фазы сдвинуты относительно друг друга на 180 градусов, то в стационарном режиме ВЛ влиять на запас по перекрываемому затуханию многочастотных систем модуляции они не должны. То есть

$$ШУМ_{инт} = ШУМ_{мин} + ШУМ_{размах} * (1 - K\phi)$$

- Для сложных, составных, с неоднородностями и не оптимальными схемами присоединения ВЧ трактов аналитическую зависимость интегрального значения уровня сигнала получить не возможно.

Для ВЛ с отпайкой было получено расчетное значение  $K\phi_{макс.4кГц} = 0.866$ . В

общем случае до длины ВЛ  $L_{vl}k_{\phi_{max}} = \frac{50}{BW}$  можно использовать экспертное

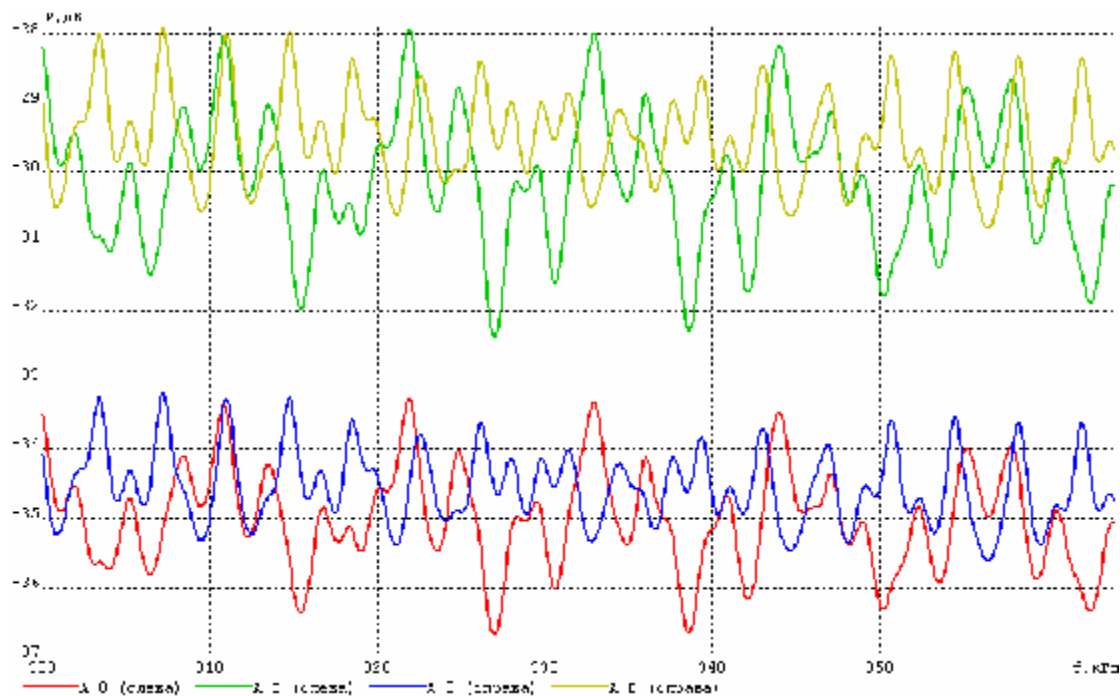
значение  $K\phi=0.742$ , при больших длинах ВЛ –  $K\phi=0.6$ . При этом существует вероятность повышения  $K\phi$  до 0.742.

$$A_{тр.инт} = A_{тр.мин.} + A_{нер.размах} * K\phi$$

Поскольку для этих ВЛ неравномерности уровня и фазы не синхронизированы, и в общем случае могут иметь одну фазу, то

$$ШУМ_{инт} = ШУМ_{мин} + ШУМ_{размах} * K\phi$$

Более того, при расчете запасов по перекрываемому затуханию ВЧ каналов, организованных на таких ВЛ, необходимо учитывать, что характер и величины неравномерностей с разных концов ВЛ различны, и должны учитываться индивидуально (по направлениям).



### Определение минимального уровня приема $P_{пр.мин}$

Традиционно минимальный уровень приема определяется как:

$$N_{vl} = P_{ном} + 10 * Lg(\Delta F)$$

$$P_{пр.мин} = N_{vl} + ОСШ_{треб}$$

- Где  $N_{vl}$  - уровень шумов ВЛ в заданной полосе частот  $\Delta F^{60}$  кГц  
 $P_{ном}$  - уровень шумов/помех ВЛ в полосе частот 1 кГц  
 $ОСШ_{треб}$  - требуемое для работы данного сервиса отношение сигнал/шум

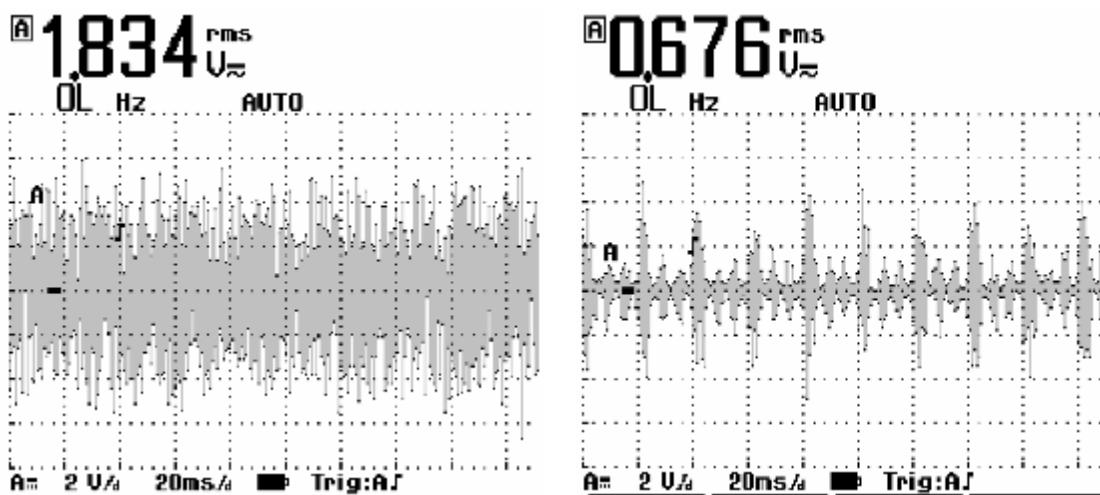
### Коррекция уровня помех $P_{пом}$

Чтобы использовать это выражение для оценки работоспособности цифрового ВЧ канала, необходимо учесть природу шума, генерируемого ВЛ.

Большинство производителей указывают скоростные характеристики сигнал-конвертеров по результатам измерений с помехой типа «белый шум».

Однако, шум ВЛ – шум «короны» - по крайней мере для ВЛ 220-1150 кВ - принципиально отличается от белого шума тем, что изначально имеет ярко выраженную периодическую импульсную (стримерную) природу, на выходе узкополосных цепей описываемую пик-фактором или отношением максимальной амплитуды помехи к ее среднему значению.

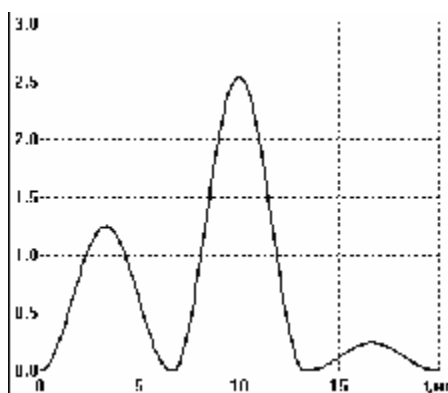
<sup>60</sup> Для систем релейной защиты и ЦВЧ каналов это обычно 4 кГц независимо от ширины полосы модуляции



Реальное значение пик-фактора шума зависит от очень многих факторов: класса ВЛ, схемы присоединения, погоды, высоты над уровнем моря, загрязненности воздуха и проводов, и т.д. (см. работы Г.В. Микуцкого, В.С. Скитальцева, Ю.П. Шкарина и др.).

Ю.П. Шкариным были получены соотношения между среднеквадратическими напряжениями помех в максимумах всплесков зависимости  $U_{пом}=f(\varphi)$  и средним среднеквадратическим напряжением помех для различных схем присоединения и погодных условий

Схема присоединения (нумерация проводов см. рисунок 1.2)		Соотношения				
		$U_{макс1}/U_{пом}$	$U_{макс2}/U_{пом}$	$U_{макс3}/U_{пом}$	$U_{aver}$	$K_{сп}$
Фаза 1 (крайняя) - земля	Хорошая погода	2	2	0,95	0,79	4,15
	Дождь вблизи ПС <sup>61</sup>	2,7	1	0,5	0,68	5,82
Фаза 2 (средняя) - земля	Хорошая погода	0,95	2,6	0,95	0,7	5,72
	Дождь вблизи ПС	0,5	2,7	0,5	0,62	6,45
Фаза 1 – фаза 2 (средняя - крайняя)	Хорошая погода	1,2	2,5	0,8	0,71	5,46
	Дождь вблизи ПС	1,2	2,5	0,8	0,71	5,46
Фаза 1 – фаза 3 (крайние)	Хорошая погода	2	0	2	0,67	4,79
	Дождь вблизи ПС	2	0	2	0,67	4,79
Внутрифазное к фазе 2	Хорошая погода	0	2,83	0	0,47	7,8
	Дождь вблизи ПС	0	2,83	0	0,47	7,8



Для транспонированных линий 330 кВ и выше соотношения  $U_{макс.к} / \bar{U}_{пом}$  ( $K=1,2,3$ ) при хорошей погоде могут значительно отличаться от приведенных в таблице и должны определяться либо расчетом на ЭВМ, либо экспериментально. При интенсивном дожде вблизи подстанции эти соотношения для транспонированных линий близки к значениям, приведенным в таблице.

Как аппаратура реагирует на импульсный характер шума, зависит от ее технических особенностей. Для цифровых ВЧ каналов, построенных на МСМ модуляторах можно использовать оценку величины

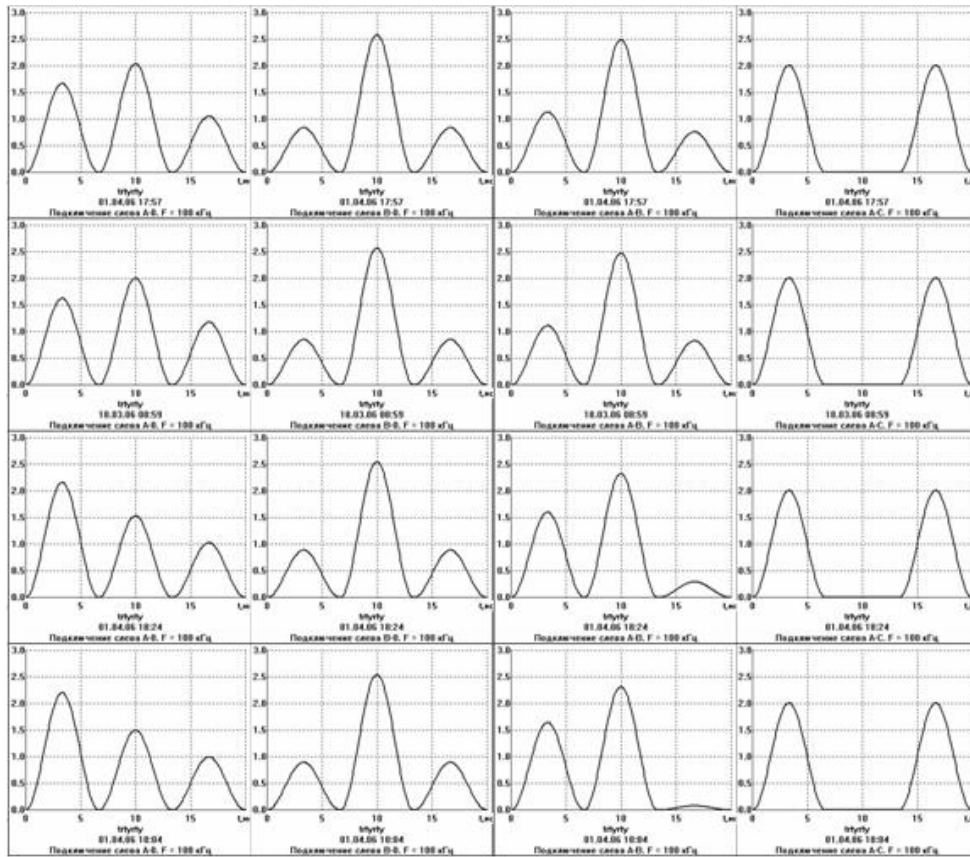
влияния пик-фактора шума «короны»  $K_{сп}^{62} = 10 * Lg(U_{макс} / \bar{U})$ .

<sup>61</sup> дождь с интенсивностью  $i \geq 1.2$  мм/ч вблизи подстанции

<sup>62</sup> для присоединений 2-0 и 1-3  $K_{сп}$  не зависит от класса ВЛ, для 1-2, 1-3 и р.ф.2 - от погоды



На рисунке показаны графики среднеквадратических напряжений помех для ВЛ 500, 330, 220 и 110 кВ (сверху вниз) для различных схем присоединения.



**500 кВ:**

- Ксп1-0 = 4,148
- Ксп2-0 = 5,721
- Ксп1-2 = 5,341
- Ксп1-3 = 4,789

**330 кВ:**

- Ксп1-0 = 3,988
- Ксп2-0 = 5,721
- Ксп1-2 = 5,319
- Ксп1-3 = 4,789

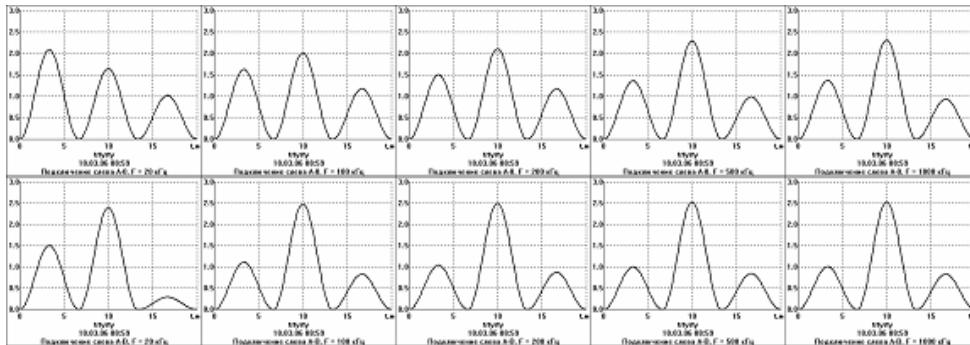
**220 кВ:**

- Ксп1-0 = 4,380
- Ксп2-0 = 5,531
- Ксп1-2 = 5,201
- Ксп1-3 = 4,789

**110 кВ:**

- Ксп1-0 = 4,527
- Ксп2-0 = 5,531
- Ксп1-2 = 5,360
- Ксп1-3 = 4,789

Кроме того, существует частотная зависимость среднеквадратических напряжений помех, причем различная для различных ВЛ. Например, для ВЛ 330 кВ



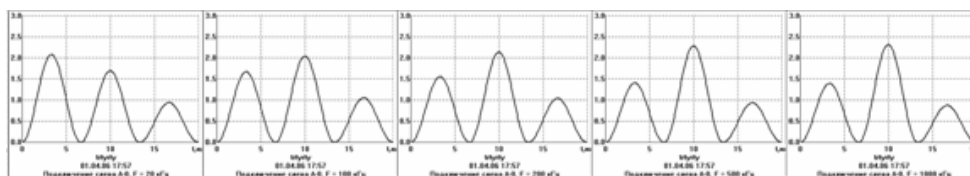
**330 кВ/1-0:**

- Ксп/20 = 4,227
- Ксп/100 = 3,995
- Ксп/200 = 4,235
- Ксп/500 = 4,699

**330 кВ/1-2:**

- Ксп/20 = 5,358
- Ксп/100 = 5,334
- Ксп/200 = 5,338
- Ксп/500 = 5,465

для ВЛ 500 кВ



**500 кВ/1-0:**

- Ксп/20 = 4,309
- Ксп/100 = 4,149
- Ксп/200 = 4,332
- Ксп/500 = 4,671

Изменения среднеквадратических напряжений помех, а соответственно и Ксп, происходят во всем диапазоне частот, с минимумом в районе частоты 100 кГц.

Безусловно, для других конструкций ВЛ Ксп будут другими. В общем виде

$$P_{ном} = P_{ном} + K_{сп}$$

На самом деле влияние  $K_{сп}$  на шумовые параметры ЦВЧ канала несколько отличается от указанного, так как шум ВЛ не является в чистом виде шумом короны. Реально он состоит из нескольких шумовых компонентов: короны, частичных пробоев, утечек и т.д. Для ВЛ 110 кВ доля шума короны в общем уровне шума ничтожна. Для ВЛ 500 кВ и выше корона преобладает (именно поэтому на этих ВЛ есть «звуковая» корона).

Данное обстоятельство является причиной, по которой многие годы автор использовал иную формулу для расчета  $P_{ном}$

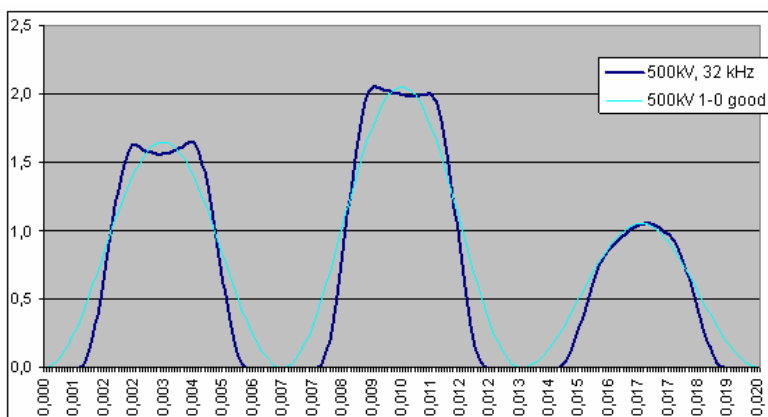
$$P_{ном} = P_{ном} + K_{сп1} * \frac{U_{вл}}{110}, \text{ где}$$

$$K_{сп1} = 10 * Lg(U_{rms} / U_{average})$$

Зависимость выведена полуэмпирически в результате анализа не очень большого числа установок ЦВЧ каналов в России. При этом предполагалось, что уровень шумов не короны для ВЛ 110/220/330 и 500 кВ соответственно равен (-55 ... -38)/(-38.5 ... -38)/(-34.5 ... -35) и (-32 ... -33,2) дБм. Для многочастотных систем модуляции поправочный коэффициент  $K_{сп}$  может быть уменьшен в 1.7 ... 2 раза (из-за разного механизма воздействия шума короны на одно- и многочастотные системы модуляции).

Точную формулу автор получить не смог, поскольку данные о составляющих компонентов шумов различных ВЛ в открытой литературе отсутствуют.

Другая, связанная с современными ЦВЧ системами проблема, состоит в том, что до недавних пор все ВЧ каналы были узкополосными. Соответственно, возникающий на их входе шум, рассматривался как узкополосный флуктуационный процесс.



Современные ЦВЧ системы могут иметь большие полосы модуляции 4 ... 32 кГц. При этом действующий на выходе приемника шум остается флуктуационным, но его спектральный состав меняется.

На рисунке показаны формы нормированных по максимумам среднеквадратичных напряжений помех ВЛ 500 кВ с 4 кГц приемником, и приемником 32 кГц.

При равных максимальных напряжениях эти кривые имеют различные интегральные характеристики

	a1	A2	A3	Urms	Uaverage	K <sub>сп</sub> , дБ	K <sub>сп1</sub> , дБ
500 кВ, 4 кГц	1,65	2,05	1,052	1,000	,789	4,148	1,030
500 кВ, 32 кГц				1,015	,711	4,597	1,545

Таким образом широкополосные системы модуляции более чувствительны к шумам короны, чем узкополосные.

### Определение оптимальных шагов адаптации

Однако для функционирования ЦВЧ каналов значительно более важным является следующий вопрос: а какую величину брать в качестве  $P_{ном}$ ?

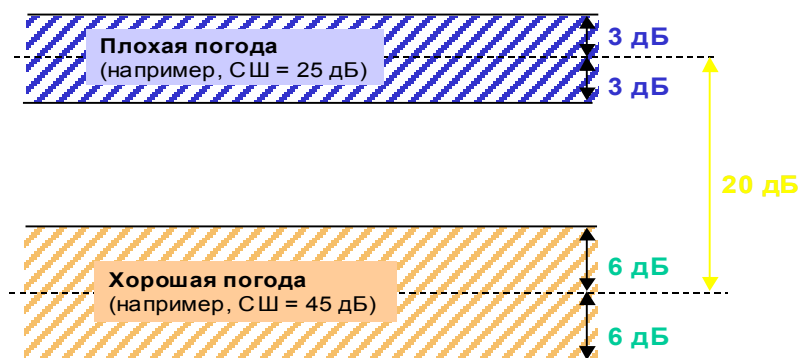
Традиционно при расчете ВЧ каналов за  $P_{ном}$  берется величина уровня шумов с 50% вероятностью превышения по всем погодным условиям. Для сигнал-конвертеров с фиксированными скоростями передачи (еще недавно таких было большинство) это означает крайне не устойчивую работу. С чем связаны многочисленные ошибки проектирования, и, в общем-то, достаточно негативное отношение пользователей к технологии (естественно тех, кому довелось это испытать на себе).

В процессе эксплуатации (при изменении погодных условий и т.п.) уровень шумов ВЛ изменяется в очень широких пределах.

Напряжение ВЛ, кВ	За рубежом, дБм в 4 кГц			Принято в России, дБм в 4 кГц		
	Хорошая погода	95% CIGRE	Плохая погода, принято	50%	95%	99,5%
35				-39	-30	-28
110	-45	-37,5	-30	-32	-23	-21
150	-40	-32,5	-25			
154				-25	-16	-14
220	-35	-27,5	-20	-22	-13	-11
300	-30	-22,5	-15			
330				-20	-11	-9
400	-25	-17,5	-10			
500				-15	-6	-4
750 4пр.				-12	-3	-1
750 5пр.				-14	-5	-3
800	-15	-7,5	0			
1150	-15	-7,5	0			

Причем, как видно из таблицы, за рубежом и в России понятия «хороших» и «плохих» погодных условий различаются (объяснить различие в цифрах только различием конструкций ВЛ нельзя).

Зависимость шума «короны» от погодных условий:



Если анализировать имеющиеся публикации экспериментальных измерений зарубежных специалистов, то получается, что термин «хорошая» погода для них буквально означает хорошая погода, когда уровень шумов ВЛ минимален. Одновременно термин «плохая» погода, так же имеет буквальное значение – это погода, когда уровень шумов максимален (сильный дождь, мокрый снег и т.п.).

По многим сообщениям, разница уровней шумов в хороших и плохих условиях составляет 15 ... 25 дБ. При

**Примечания** (зависит от региона) :

Длительность режима «плохой погоды» не превышает 1% от общего времени  
 Длительность режима «хорошей погоды» превышает 25% от общего времени  
 Даже в хорошую погоду шум может повыситься на 10 дБ при загрязнении воздуха и проводов

значительных вариациях вокруг этих значений.

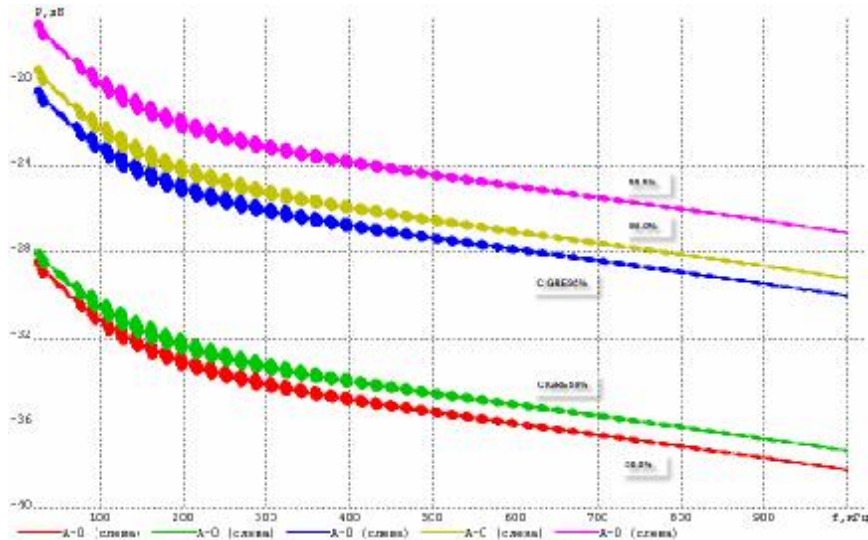
Если сопоставлять табличные данные с опубликованной за рубежом климатической диаграммой изменения уровня шумов, получится, что оценка шумов в таблице производится по среднему уровню шумов при плохой погоде, и по верхней границе уровня шумов при хорошей погоде.

Применяемое в России значение уровня шумов с 50% вероятностью превышения по всем погодным условиям примерно на 1 ... 2 дБ ниже, принятого за рубежом, среднего уровня шумов при плохой погоде; а при 95% вероятности уже значительно превышает их<sup>63</sup> (равенство наступает при 80% вероятности, то есть на 5 дБ хуже 50% вероятности).

Сопоставление этих данных с данными предыдущего раздела показывает, что использование коэффициента Ксп вносит в расчет Rпом ту же поправку, что и учет

<sup>63</sup> Может это объясняет, почему зарубежные специалисты никак не могут построить в России и странах СНГ надежные ЦВЧ каналы

уровня шумов при (80 ... 85)% вероятности его превышения по всем погодным условиям, что вполне объяснимо, так как величина  $K_{сп}$  рассчитывалась при доминирующем воздействии именно шума короны (что и происходит при плохой погоде).



Можно предположить, что использование при расчетах величины  $P_{пом}$  с 95% вероятностью превышения (+9 дБ) должно полностью решить проблему устойчивости не адаптируемых ЦВЧ каналов. При этом так же вероятно, что для ВЛ 220 кВ и ниже запас по затуханию будет чрезмерным, так как шум короны на этих ВЛ не является доминирующим.

Расчетные (в программе WinNoise) значения уровня шумов, значительно ближе к принятым за рубежом оценкам уровней шумов ВЛ. Однако, точность и достоверность расчетов в программе определяется точностью и достоверностью исходных данных, среди которых есть такие, которые подчас узнать просто невозможно (например, сведения о загрязненности воздуха, влажности и т.п.). Поэтому автор, при использовании результатов расчетов программы WinNoise, всегда увеличивает полученные значения на 3 ... 5 дБ.

С адаптивными системами ситуация несколько иная, причем насколько иная – зависит от способа реализации ЦВЧ канала.

Как уже говорилось, при медленных вариациях затухания и уровня шумов адаптивные системы (ЦВЧа) могут - и значительно - понизить скорость передачи.

Однако если ЦВЧа не содержит встроенной или внешней системы FEC, то в моменты переключения агрегатной скорости в канале возникнут сбои передачи данных – пакеты ошибок – и весьма длительные (зависит от реализации).

Поэтому для таких систем желательно выбирать шаги адаптации таким образом, чтобы минимизировать возможное число переключений.

Системы ЦВЧа со встроенной или внешней системой FEC свободны от указанного недостатка, и могут выполнять переключение агрегатной скорости без возникновения пакетов ошибок.

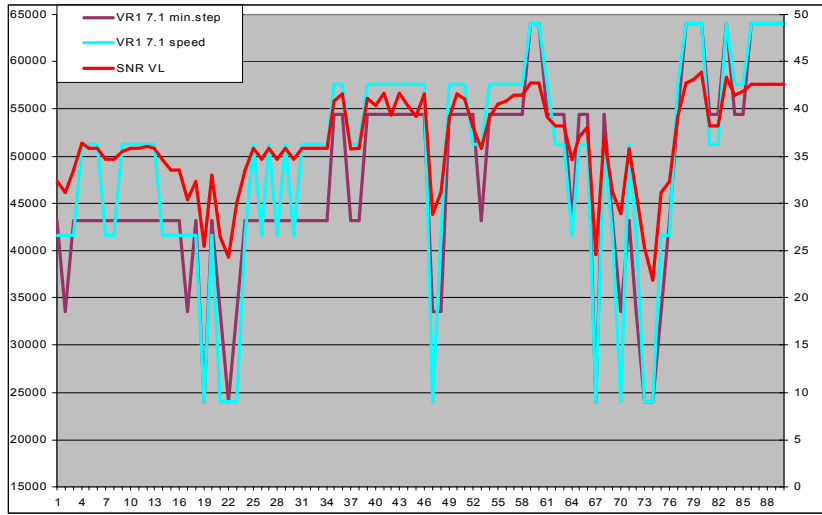
Тут так же важно определиться: допускают выполняемые сервисы прерывания каналов связи или нет. Если нет, то система передачи ЦВЧа должна рассчитываться с учетом наименьшего возможного отношения сигнал/шум в ВЧ канале (наибольшего уровня шумов).

То есть одна из ступеней адаптации должна иметь скорость передачи эквивалентную этому наихудшему условию. Хотя вероятность его появления и не превышает 1% (длительность периода плохой погоды за время эксплуатации. Зависит от региона эксплуатации).

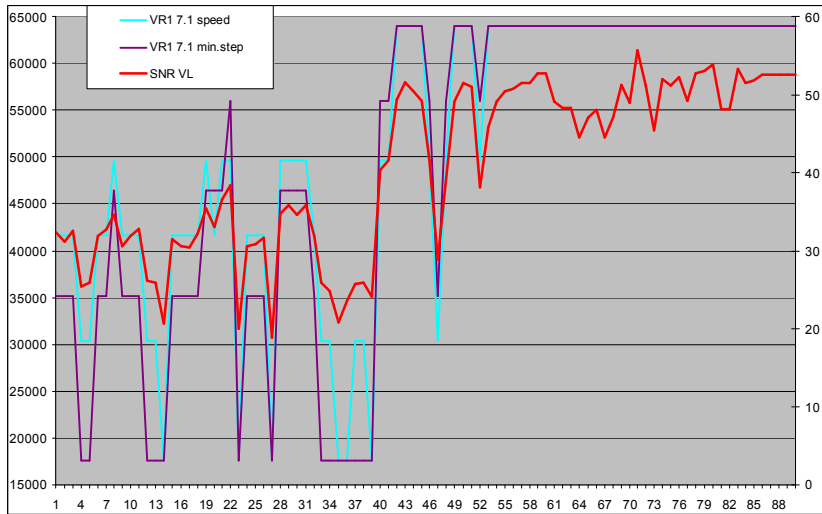
Вторая ступень адаптации должна соответствовать хорошим погодным условиям, составляющим не менее 25% длительности всего времени эксплуатации.

Остальные ступени адаптации, если они есть, должны устанавливаться либо, исходя из критерия минимизации числа переходов (изменений скорости передачи), либо исходя из критерия максимизации средней скорости ЦВЧа канала.

Ниже приведены два графика измеренных на ВЛ 330 кВ в Феврале и Июле отношений сигнал/шум, а так же графики скорости передачи 5-ти ступенчатой адаптивной ЦВЧа системы, оптимизированной по числу переходов или по максимальной средней скорости передачи.

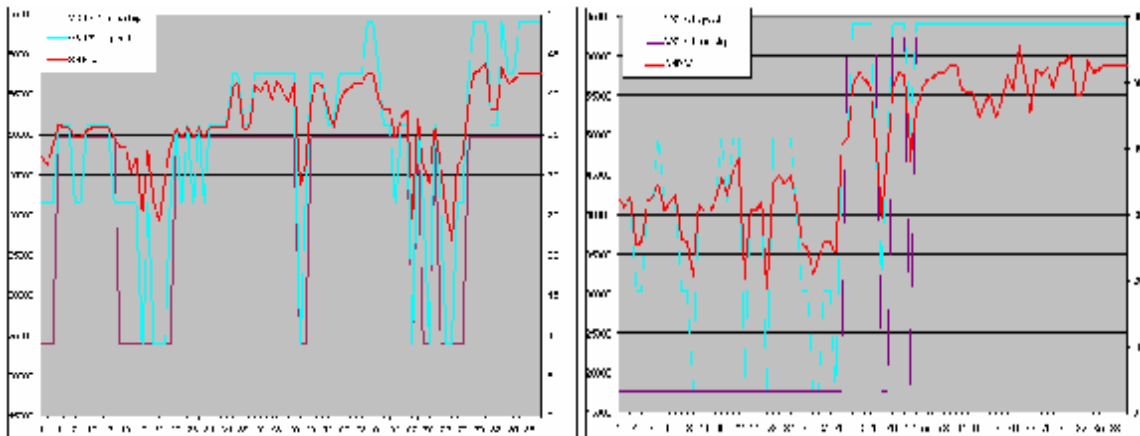


Июль



Февраль

Ниже приведены те же графики, но с 2-х ступенчатой ЦВЧа системой



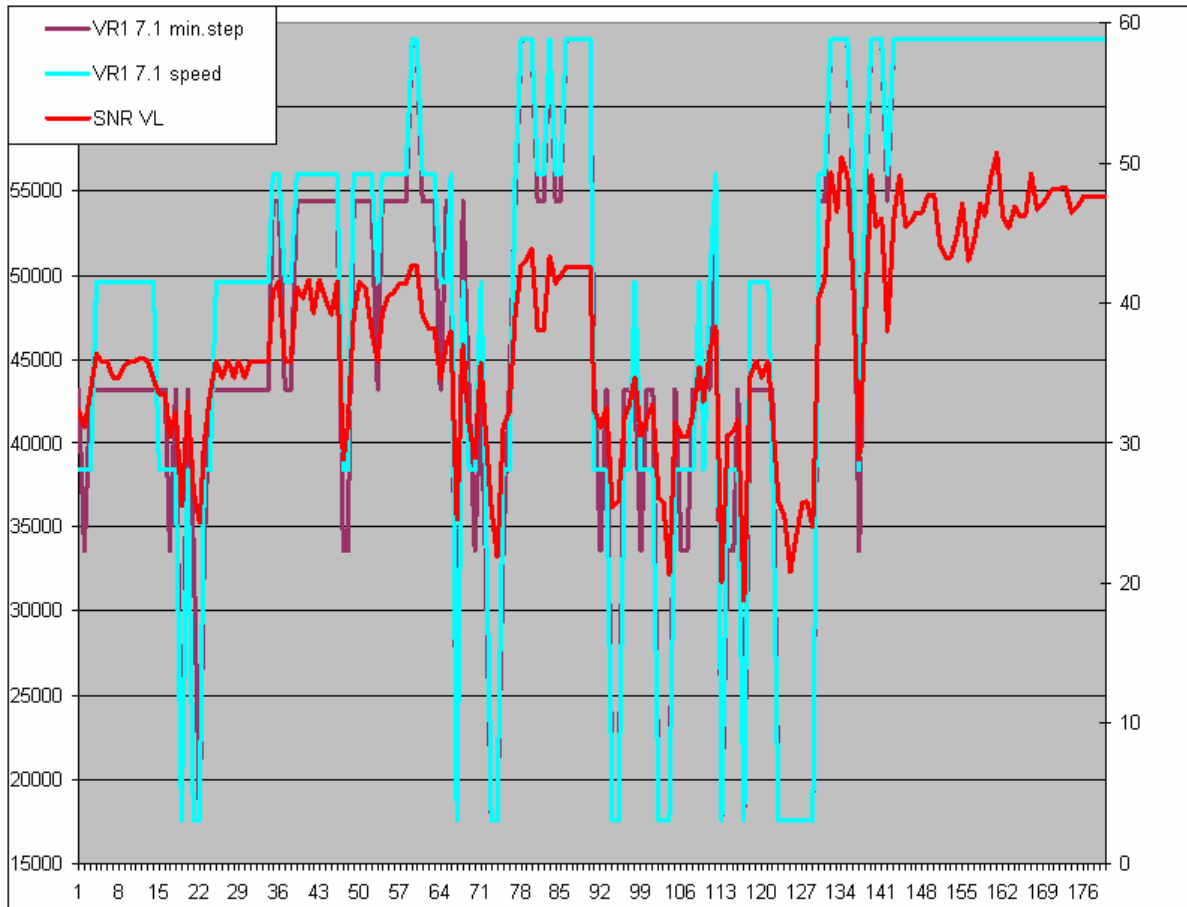


Полученные характеристики каналов сведены в таблицу

	Июль			Февраль		
	скорость	переходы	2 ступени	скорость	переходы	2 ступени
Ступень адаптации	64000	64000	49600	64000	64000	62400
	57600	54400	24000	49600	56000	17600
	51200	43200		41600	46400	
	41600	33600		30400	35200	
	24000	24000		17600	17600	
<b>Ср. скорость</b>	<b>49369</b>	<b>47449</b>	<b>43059</b>	<b>51236</b>	<b>49244</b>	<b>40996</b>

Измеренные максимальные и минимальные ОСШ на этой ВЛ в Июле: 43,8 и 21,92 дБ; в Феврале: 50,7 и 18,8 дБ. Минимальное значение ОСШ в Июле месяце получено в период грозовой активности, в Феврале – в период мощного антициклона (густой мокрый снег).

Если же 5-ти ступенчатую систему оптимизировать по скорости и числу переходов по всем периодам наблюдения, то получится следующее:



	Июль - Февраль	
	скорость	переходы
Ступень адаптации	64000	64000
	56000	54400
	49600	43200
	38400	33600
	17600	17600
<b>Ср. скорость</b>	<b>49102</b>	<b>48124</b>

Данная ВЛ не является показательной, так как имеет аномально большой разброс ОСШ в зависимости от условий эксплуатации (расположена в горах).

Тем не менее, очевидно, что много ступенчатые системы обеспечивают на 15 ... 25% большие средние скорости передачи, чем 2-у ступенчатые.

Так же ясно, что оптимизация ЦВЧа по скорости передачи не всегда приводит к очевидно лучшим результатам (2 ... 5%), по сравнению с оптимизацией системы по числу переходов.

При вычислении шагов адаптации ЦВЧа системы, оптимизированной по скорости передачи, использовались следующие соотношения:

$$ОСШ1 = ОСШ_{мин}$$

$$ОСШ5 = \min \{ОСШ_{макс}, ОСШ_{макс.скор.}\}$$

$$ОСШ3 =$$

$$if \frac{ОСШ_{макс}}{ОСШ_{макс.скор.}} \geq 1,1$$

$$\min \left\{ \left( 0,5 + \frac{ОСШ_{макс}}{(17...40) * ОСШ_{макс.скор.}} \right) * (ОСШ1 + ОСШ5); \frac{ОСШ_{мин} + ОСШ_{макс}}{0,5} \right\}$$

else

$$\frac{ОСШ_{мин} + ОСШ_{макс}}{0,5}$$

$$ОСШ2 = (0,5...0,57) * (ОСШ1 + ОСШ3)$$

$$ОСШ4 = 0,5 * (ОСШ5 + ОСШ3)$$

Где

- ОСШ<sub>мин</sub> - минимальное измеренное или рассчитанное ОСШ в ВЧ канале в полосе 4 кГц
- ОСШ<sub>макс</sub> - максимальное измеренное или рассчитанное ОСШ в ВЧ канале в полосе 4 кГц
- ОСШ<sub>макс.скор.</sub> - ОСШ, необходимое для получения максимальной скорости передачи V<sub>макс</sub> в заданной полосе модуляции BWd

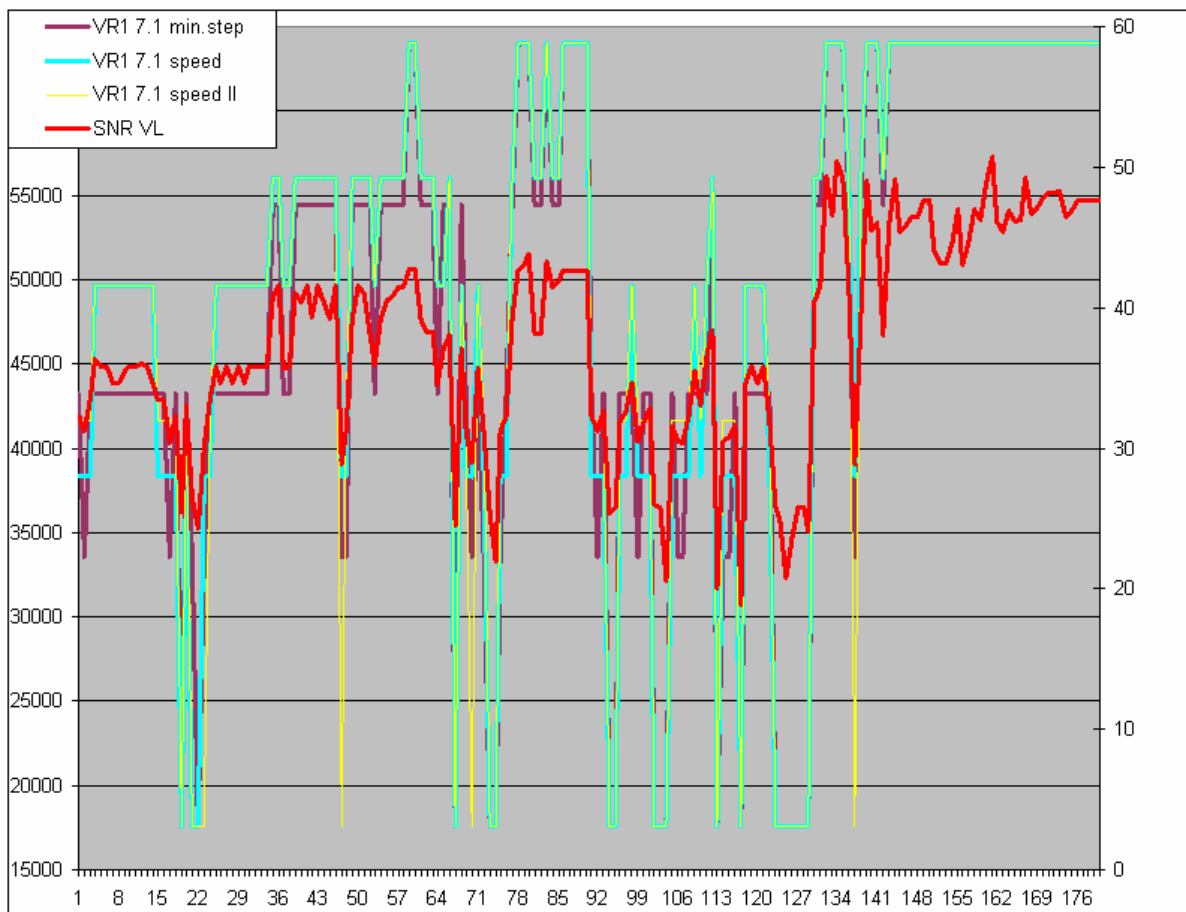
Далее по известной зависимости V=F(ОСШ) для данного сигнал-конвертера вычисляются скорости передачи V1 ... V5, и устанавливаются ближайшие меньшие значения стандартных скоростей передачи, кроме V5=V<sub>макс</sub>.

Пороги адаптации так же можно расставить исходя из следующих соображений:

- Определить ОСШ1 и ОСШ5, как было указано выше
- Считать, что ОСШ5 соответствует 50% вероятности превышения
- Считать, что другие шаги должны компенсировать изменение ОСШ в пределах от 50% вероятности до 99.5% вероятности превышения (примерно 11 ... 13 дБ)
- Расставить пороги  
 ОСШ4=ОСШ5-(3,7 ... 4,3) дБ,  
 ОСШ3=ОСШ4-(3,7 ... 4,3) дБ,  
 ОСШ2=ОСШ3-(3,7 ... 4,3) дБ
- Рассчитать стандартные скорости передачи

Полученные при этом параметры канала приведены ниже

	Июль - Февраль		
	скорость	Скорость II (шаг 3,8)	переходы
Ступень адаптации	64000	64000	64000
	56000	56000	54400
	49600	49600	43200
	38400	41600	33600
	17600	17600	17600
<b>Ср. скорость</b>	<b>49102</b>	<b>48907</b>	<b>48124</b>



Малое различие характеристик ЦВЧа систем, оптимизированных по скорости с помощью двух различных способов, говорит о том, что реальные измерения уровней шумов в среднем хорошо вписываются в рассчитанные вероятностные зависимости.

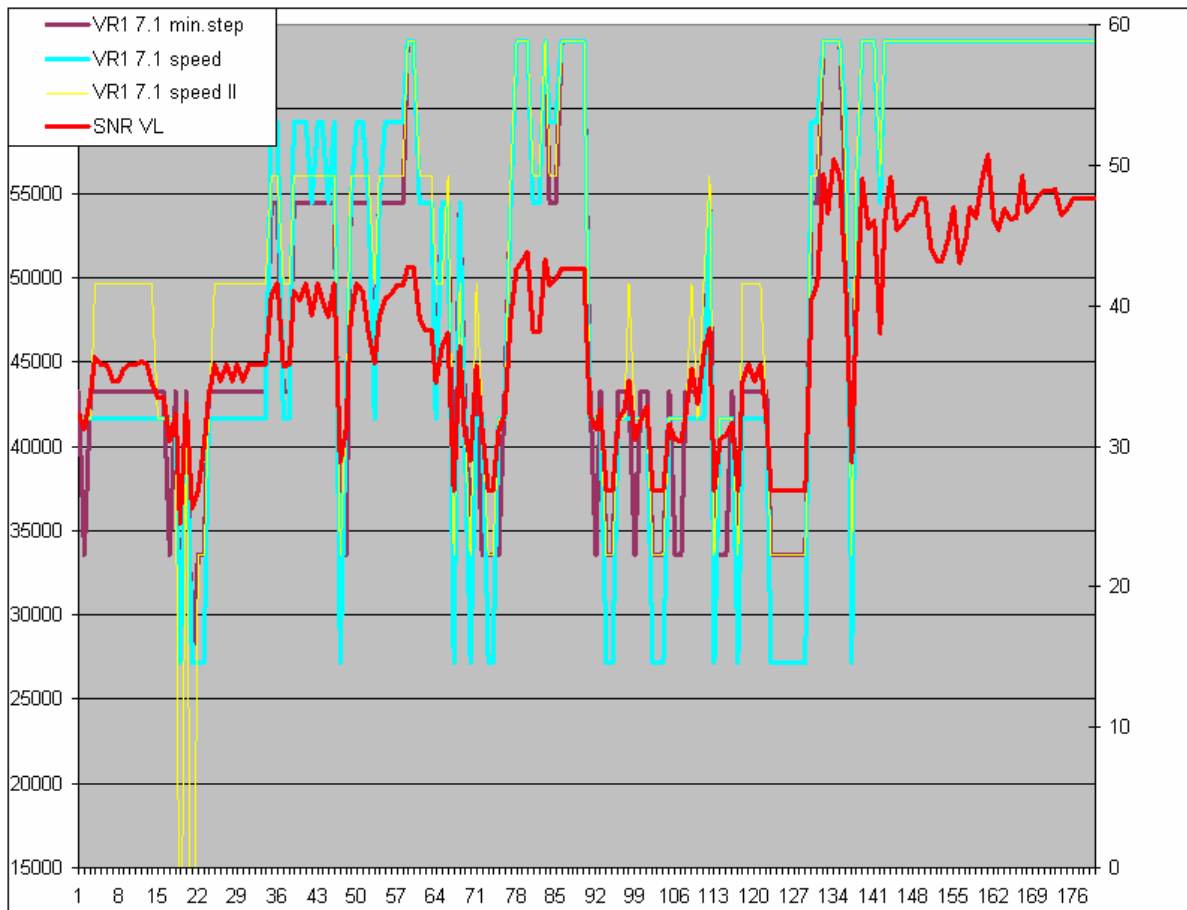
Экстремальные уровни шумов, обусловленные грозовыми разрядами или выпадением мокрого снега, вероятностными характеристиками не учитываются, и могут превышать уровни 99.5% вероятности превышения на 8 ... 12 дБ.

Если при расчетах ЦВЧа канала это обстоятельство не учитывать, то:

- Гарантированно будут присутствовать прерывания ЦВЧа канала (около 1% всего времени эксплуатации в зависимости от региона)
- Средняя скорость (по результатам измерений) изменится не значительно
- Средняя вероятностная (1% выпадений) скорость увеличится

	Июль - Февраль					переходы
	Скорость	Скорость с прерываниями 1%	Скорость II (шаг 3,8)	Скорость II (шаг 3,8) с прерываниями канала по измерениям	Скорость II (шаг 3,8) с прерываниями канала 1%	
Ступень адаптации	64000	64000	64000	64000	64000	64000
	56000	59200	56000	56000	56000	54400
	49600	54400	49600	49600	49600	43200
	38400	41600	41600	41600	41600	33600
	17600	27200	17600	33600	33600	17600
<b>Ср. скорость</b>	<b>49102</b>	<b>48017</b>	<b>48907</b>	<b>49760</b>	<b>50133</b>	<b>48124</b>





Таким образом, если допустить 1% выпадений ЦВЧ сигнала, то второй способ установки порогов адаптации является предпочтительным.

Анализируя полученные данные можно сделать следующие выводы:

- Для того чтобы по всем погодным условиям иметь требуемую скорость передачи необходимо выполнять расчеты с уровнем шумов превышающем 50% вероятность на 15 дБ.

- При этом:

Если выпадения сигнала допускаются, то уровню  $R_{\text{пом}50\%+15}$  должна соответствовать 5-я ступень адаптации ОСШ1. Шаг адаптации 3,7 дБ (второй способ расчета)

Если выпадения сигнала не допускаются (например в потоке данных присутствует SCADA трафик), то уровню  $R_{\text{пом}50\%+15}$  должна соответствовать 4-я ступень адаптации ОСШ2. Шаг перестройки лучше выбрать равным 3,7 дБ (второй способ расчета), но можно взять и 5 дБ. Так же можно использовать 1-й способ расчета шагов адаптации.

В любом случае шагу ОСШ1 должно соответствовать значение отношения сигнал/шум, вычисленное при  $R_{\text{пом}50\%+15} + (8 \dots 12)$  дБ (зависит от региона).

- В любом случае, исходя из принципа разумной достаточности, можно сказать, что спроектировать ЦВЧ канал 100% времени эксплуатации обеспечивающий требуемую (и высокую, близкую к предельной) скорость передачи невозможно.

Проектирование ЦВЧ канала всегда является итерационным процессом, балансирующим между требуемыми системными ресурсами (полосы модуляции, ОСШ и т.д.), и решаемыми коммуникационными задачами.

Исходя из принципа разумной стоимости, для облегчения системных требований можно, а иногда просто необходимо, использовать резервирование путей передачи критичных видов трафика по любым доступным каналам.

- Для компенсации кратковременных выпадений сигнала, ЦВЧ-а система должна обладать механизмом удержания синхронизма, аналогичным используемому при передаче сигналов команд РЗ и ПА

Дальнейшая процедура определения допустимого запаса по перекрываемому затуханию аналогична принятой для аналоговых ВЧ каналов.

Однако, при расчете запасов по перекрываемому затуханию ЦВЧ-а каналов, организованных на сложных ВЛ, необходимо учитывать, что характер и величины неравномерностей и шумов с разных концов ВЛ различны, и должны учитываться индивидуально (по направлениям)<sup>64</sup>.

### Общие рекомендации по проектированию цифровых ВЧ каналов

При проектировании цифровых ВЧ каналов необходимо учитывать:

- влияние шума короны
- влияние неравномерности затухания и шумов в рабочей полосе частот
- характеристики ЦВЧ рассчитываются для наихудшего из направлений передачи

При выборе аппаратуры для цифровых ВЧ каналов необходимо учитывать, что:

- для построения сети данных оперативного технологического управления (в том числе противоаварийного) следует использовать аналоговые ВЧ каналы
- речевые каналы, организованные на ЦВЧ, можно использовать только для организации служебных каналов «точка-точка». При использовании широкополосной ЦВЧ возможна организация двух пролетного речевого тракта среднего качества
- для получения максимальных скоростей передачи надо правильно определить доступный диапазон частот модуляции, и обеспечить равномерность группового времени запаздывания
- в регионах, где из-за природных или техногенных явлений происходят значительные вариации затухания линии, или изменения уровня шумов канала, желательно использовать адаптивные системы передачи
- импульсные помехи при переключениях на ВЛ, КЗ на линии или разряд молнии вызывают разрыв соединения в ЦВЧ канале и запуск процедуры его переустановления (если ЦВЧ-а канал спроектирован с прерываниями). К такому же эффекту приводят одночастотные помехи (если ЦВЧ-а система не имеет механизма подавления помех и FEC).

### Список литературы:

230. ITU-T G.111 (03/93) LOUDNESS RATINGS (LRs) IN AN INTERNATIONAL CONNECTION
231. ITU-T G.113 (02/96) TRANSMISSION IMPAIRMENTS
232. ITU-T G.114 (02/96) ONE-WAY TRANSMISSION TIME
233. ITU-T G.121 (03/93) LOUDNESS RATINGS (LRs) OF NATIONAL SYSTEMS

<sup>64</sup> Поскольку большинство мультиплексов в ЦВЧ-а системах работают в синхронном режиме, то энергетические и скоростные характеристики цифрового ВЧ канала надо рассчитывать для наихудшего из двух направлений передачи – именно оно будет определять максимальную агрегатную скорость цифрового ВЧ канала.

Не все модуляторы и мультиплексы можно использовать в режиме адаптации: они должны иметь сопряженные шаги перестройки по частоте, иначе даже при хорошем отношении СШ канал может перестать функционировать, когда мультиплексор потеряет синхронизацию из-за того, что не распознает скорость – частоту синхронизации, выданную модулятором.

234. ITU-T G.122 (03/93) INFLUENCE OF NATIONAL SYSTEMS ON STABILITY AND TALKER ECHO IN INTERNATIONAL CONNECTIONS
235. ITU-T G.131 (08/96) Control of talker echo
236. ITU-T G.165 (03/93) ECHO CANCELLERS
237. ITU-T G.164 (88/93) ECHO SUPPRESSORS
238. ITU-T G.221 (88/93) OVERALL RECOMMENDATIONS RELATING TO CARRIER-TRANSMISSION SYSTEMS
239. ITU-T P.861 (08/96) Objective quality measurement of telephone-band (300-3400 Hz) speech codecs
240. ETSI TS 101 329-2 v2.1.1 (06/01) Definition of Speech Quality of Service (QoS) Classes
241. ETSI TS 101 329-5 v1.1.2 (01/02) Quality of Service (QoS) measurement methodologies
242. AUDIOCODES. White Paper. ANALYZING COMSAT TEST RESULTS FOR VOICE QUALITY. 1999
243. LinCom Corporation. J. Prieto. Demonstration of Telecommunication Industry Speech Compression Algorithms. 1995
244. Ken Gary. Unisys. Shuttle Delta Modulation System. 1984
245. BroadBand PowerLine Communication. Network design. H. Hrasnica and another, WILEY, 2004
246. "Разработка концепции развития ВЧ связи в электроэнергетике", научно-технический отчет, ОАО "ВНИИЭ", 2003
247. В.Х. Ишкин, С. Романов, В.С. Скитальцев, Ю.П. Шкарин, Современное состояние и перспективы развития каналов ВЧ связи по ЛЭП в РФ, доклад на коллоквиум ИК D2 СИГРЭ, Рио де Жанейро, 2003г.
248. Power line communication. Wikipedia, 2005
249. Правила проектирования, строительства и эксплуатации волоконно-оптических линий связи на воздушных линиях электропередачи напряжением 110 кВ и выше, Министерство топлива и энергетики Российской Федерации, РАО "ЕЭС России", 1998
250. Российское акционерное общество энергетики и электрификации "ЕЭС России". Технические требования на создание Единой цифровой сети связи Электроэнергетики. Москва, 2002 г.
251. Телекоммуникации в электроэнергетике. Вчера, сегодня, завтра. В.Х. Ишкин, Энергоатомиздат, 2000
252. Передача отключающих сигналов для релейной защиты и системной автоматики. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. В.С. Скитальцев, МЭИ, Москва, 1964
253. Российское акционерное общество энергетики и электрификации "ЕЭС России". КОНЦЕПЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ ОАО РАО "ЕЭС РОССИИ", Москва, 2005
254. Benvenuto N., Cherubini G., Algorithms for Communications Systems and their Applications, Willey, 2002
255. В.С. Скитальцев, Телеотключение в энергосистемах, Энергия, Москва, 1964
256. "Заблуждения" или место цифровой ВЧ аппаратуры в сетях связи энергетиков. С.Е. Романов. Отраслевые статьи. Интернет сайт <http://www.etl500.ru>. 2003
257. Reliable Architecture for Power System operational Communication (Integration of Digital PLC & ATM). A. Raviola, G. Caroti, F. Rufino. Colloquim SC D2-B03, June 2005, Mexico
258. SISTEMA. Marconi Selenia, Abb, Terna. 2005
259. ATMs for Power line Communication. Marconi Selenia, Abb. 2005
260. Совмещение передачи в одном телефонном канале информации связи, релейной защиты и противоаварийной автоматики - технические и организационные аспекты. А.В. Жуков, С.Е. Романов. Аппаратура ВЧ-связи по ЛЭП 35-750 кВ. Международный научно-технический семинар. Информационные материалы. Москва. 19-23 февраля 2001 г.
261. Комплексные каналы ВЧ-связи - иллюзия или все-таки реальность? С.Е. Романов. Отраслевые статьи. Интернет сайт <http://www.etl500.ru>. 2001 г.

262. Передача сигналов команд, данных и связи по ВЧ каналам. С.Е. Романов, Энергетика и топливные ресурсы Казахстана, №4. 2001 г.
263. Цифровые каналы по ВЛ - реальность сегодняшнего дня. С.Е. Романов, Д.Г. Смирехин, Связь в энергетике. Информационный бюллетень №5. Сентябрь 2001.
264. Сети ВЧ связи. С.Е. Романов. Отраслевые статьи. Интернет сайт <http://www.etl500.ru>. 2002 г.
265. Требования к современной каналообразующей аппаратуре. С.Е. Романов, Связь в энергетике. Информационный бюллетень №6. Май 2002 г.
266. Комплексные каналы ВЧ связи - реальность. С.Е. Романов, Связь в энергетике. Информационный бюллетень №6. Май 2002 г.
267. Цифровые речевые ВЧ каналы. Энергетика цифровых ВЧ каналов. С.Е. Романов. Цикл статей. Интернет сайт <http://www.etl500.ru>. 2002 г.
268. Цифровые речевые ВЧ каналы. Качество цифровых речевых ВЧ каналов. С.Е. Романов. Цикл статей. Интернет сайт <http://www.etl500.ru>. 2002 г.
269. Цифровые речевые ВЧ каналы. Пример проектирования. С.Е. Романов. Цикл статей. Интернет сайт <http://www.etl500.ru>. 2002 г.
270. Цифровые речевые ВЧ каналы. Сравнительные характеристики вокодеров для цифровых ВЧ каналов. Обзор. С.Е. Романов. Цикл статей. Интернет сайт <http://www.etl500.ru>. 2002 г.
271. Транспорт для Защиты. С.Е. Романов. Отраслевые статьи. Интернет сайт <http://www.etl500.ru>. 2002 г.
272. Сети для Защиты. С.Е. Романов. Отраслевые статьи. Интернет сайт <http://www.etl500.ru>. 2002 г.
273. Новая аппаратура корпоративной и технологической связи в энергетике. С.Е. Романов. Аппаратура ВЧ-связи по ЛЭП 35-750 кВ. Международный научно-технический семинар. Информационные материалы. Москва. 17-21 февраля 2003 г.
274. Ю.П. Шкарин, К вопросу использования каналов ВЧ связи по ЛЭП с временным разделением передачи различных видов информации, ОАО ВНИИЭ, 2006
275. Ю.П. Шкарин, Руководство по пользованию программой «Тракт» и «Noise», 2006
276. Ю.П. Шкарин, РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫБОРУ ЧАСТОТ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КАНАЛОВ ПО ЛИНИЯМ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 35, 110, 220, 330, 500 И 750 КВ., ТРЕТЬЕ ИЗДАНИЕ (ПЕРВАЯ РЕДАКЦИЯ), ОАО ВНИИЭ, МОСКВА, 2006.
277. Ю.П. Шкарин, «Методические указания по расчету параметров и выбору схем высокочастотных трактов по линиям электропередачи 35-750 кВ переменного тока», Второе издание, Проект второй редакции, ОАО ВНИИЭ, 2006
278. Ю.П. Шкарин, С.Е. Романов, рабочая переписка, 2004 ... 2006 гг.