

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

ОЦЕНКА ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛА С ПОМОЩЬЮ ГЛАЗКОВОЙ ДИАГРАММЫ

Панин Дмитрий РИБО-03-23

Вариант 10

2. Ответы на теоретические вопросы

2.1. Каково назначение ФНЧ, расположенных после ЦАП в модуляторе?

Фильтр нижних частот (ФНЧ) после ЦАП выполняет роль сглаживающего фильтра, который подавляет высокочастотные спектральные компоненты и побочные эффекты после дискретизации.

Он восстанавливает непрерывную аналоговую форму сигнала и ограничивает его спектр перед отправкой в канал связи, предотвращая появление помех для соседних каналов.

2.2. По каким причинам могут возникнуть межсимвольные искажения?

Межсимвольные искажения возникают из-за ограничения полосы пропускания и частотно-фазовых искажений в канале связи, из-за чего передаваемые импульсы растекаются во времени и накладываются на соседние тактовые интервалы.

Также причиной могут стать многолучевое распространение сигнала и отражения в линиях передач, которые создают эффект эха и нарушают форму импульсов в точке приема.

2.3. Какие требования предъявляются к форме АЧХ ФНЧ в модуляторе? Сформулировать критерий Найквиста для отсутствия межсимвольной интерференции.

Амплитудно-частотная характеристика ФНЧ должна обладать кососимметричным спадом относительно частоты Найквиста, что чаще всего реализуется с помощью формы «приподнятого косинуса».

Критерий Найквиста гласит: межсимвольная интерференция отсутствует, если импульсный отклик сквозного тракта равен строго нулю во все моменты стробирования соседних символов (в точках, кратных периоду следования данных T , кроме центрального отсчета $t = 0$

2.4. Дать определение коэффициента скругления (roll-off factor). Указать значения α , применяемые в DVB-S, DVB-S2 и DVB-S2X, и пояснить, к чему приводит уменьшение α .

Коэффициент скругления — это параметр, определяющий величину избыточной полосы частот фильтра («приподнятого косинуса») сверх минимально необходимой теоретической полосы Найквиста.

В спутниковых стандартах применяются следующие значения:

DVB-S: строго 0.35

DVB-S2: 0.35; 0.25; 0.20

DVB-S2X: расширенный набор со значениями до 0.05 включая 0.15 и 0.10

Уменьшение коэффициента скругления позволяет сузить занимаемую полосу частот канала и повысить его спектральную эффективность. Однако это затягивает переходные процессы во времени, что резко повышает чувствительность системы к джиттеру и усложняет аппаратную фильтрацию.

3. Построение глазковой диаграммы вручную

Таблица 2.1 — Передаваемая последовательность

Вариант	Сигнал
10	11 00 11 00 01 10

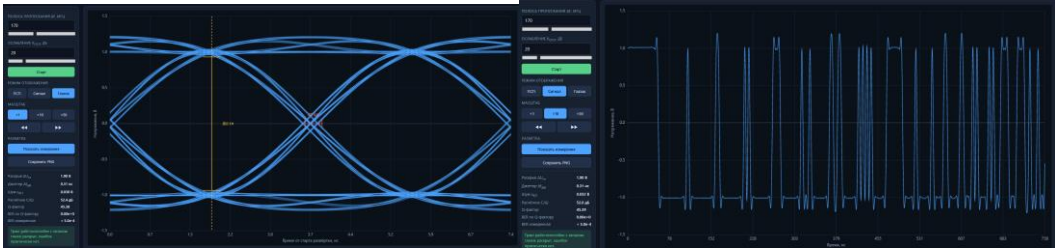
Нарисуем глазковую диаграмму



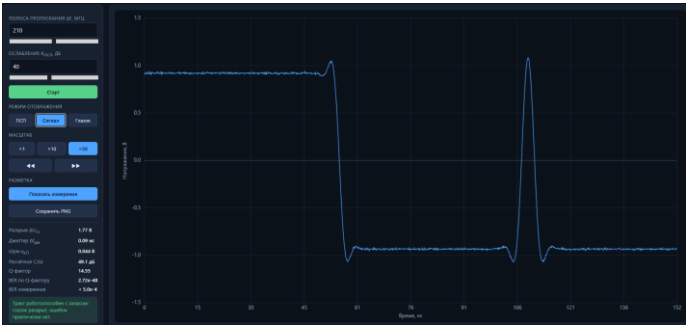
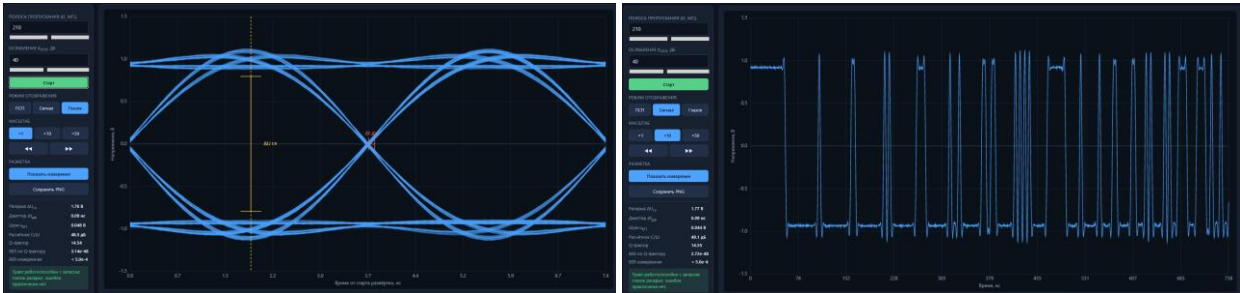
4. Исследование влияния параметров линии связи

Таблица 2.2 — Параметры канала связи по вариантам

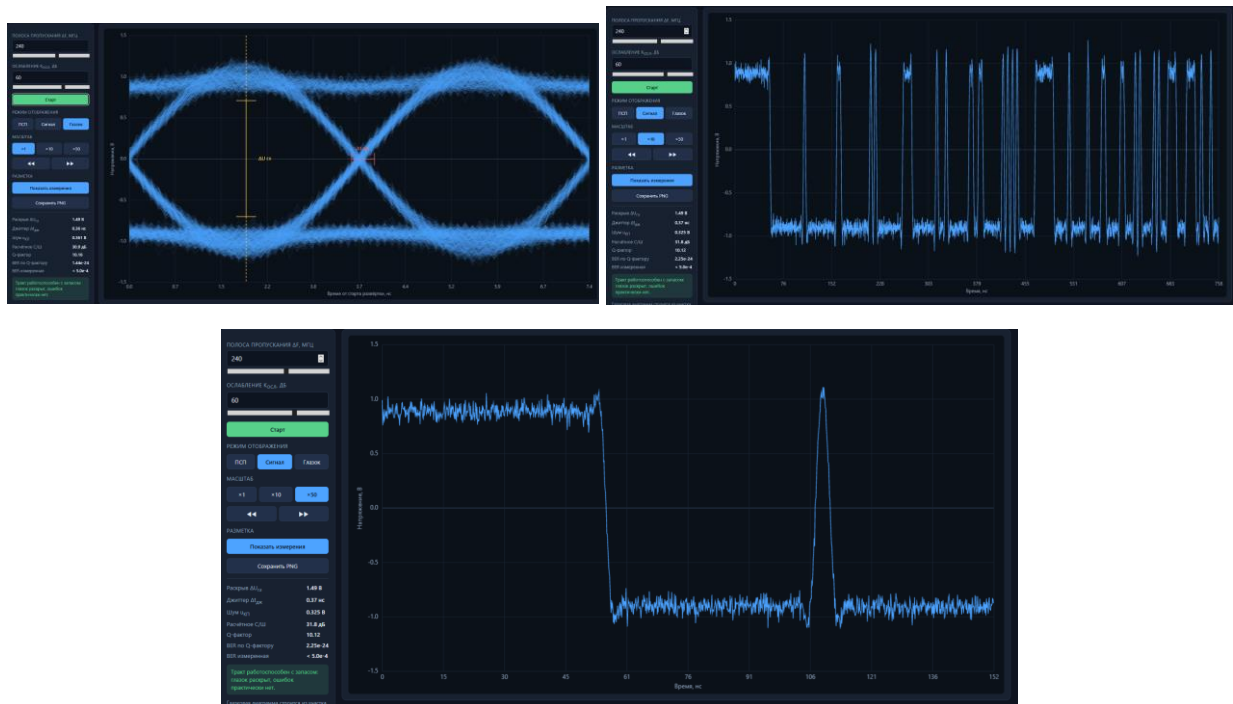
Вар.	Случай 1		Случай 2		Случай 3	
	Δf , МГц	$K_{осл}$, дБ	Δf , МГц	$K_{осл}$, дБ	Δf , МГц	$K_{осл}$, дБ
10	170	20	210	40	240	60



Случай 1



Случай 2



Случай 3

Таблица 2.3 — Результаты измерений

Случай	Δf , МГц	$K_{осл}$, дБ	$u_{кп}$, В	С/Ш, дБ	$t_{фр}$, нс	$\Delta t_{дж}$, нс	$\Delta U_{гЛ}$, В
1	170	20	0.032	52	8	0.31	1.9
2	210	40	0.052	47.7	8	0.1	1.76
3	240	60	0.361	30.9	8	0.36	1.49

4.9. Записать выводы о влиянии ослабления и ширины полосы пропускания на джиттер и раскрыв глазка. Дать обоснованный ответ на вопрос, в каком из исследованных случаев вероятность ошибки будет минимальной, а в каком — максимальной.

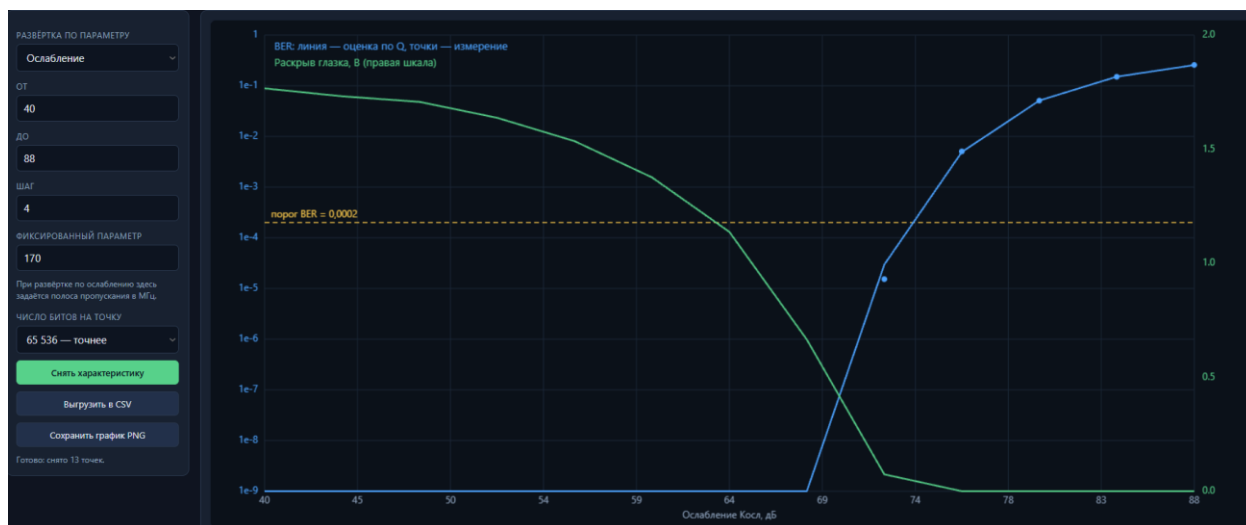
Влияние параметров: Увеличение ослабления канала резко увеличивает уровень шума, что «размывает» траектории сигнала и сильно уменьшает раскрыв глазка, в то время как расширение полосы пропускания изначально снижает джиттер, но при сильном затухании он снова растет из-за шумовых искажений.

Минимальная вероятность ошибки: будет в **Случае 1**, так как в нем достигнуты максимальный раскрыв глазка 1,9 В и наилучшее отношение сигнал/шум 52 дБ, обеспечивающие наибольший запас помехоустойчивости.

Максимальная вероятность ошибки: будет в **Случае 3**, где из-за критического затухания в 60 дБ отношение сигнал/шум упало до минимума 30,9 дБ, а джиттер и шум достигли пиковых значений, что приводит к частому ложному срабатыванию приемника.

5. Снятие характеристик тракта

5.1. Снять зависимость от ослабления: развёртка по ослаблению, диапазон от 40 до 88 дБ с шагом 4 дБ, полоса пропускания 170



5.2. Определить по графику критическое ослабление

критическое ослабление = 74 дБ

Величина $2 \cdot 10^{-4}$ принята за критический порог, так как она является пределом работоспособности систем коррекции ошибок в стандартах DVB. Если вероятность ошибок на входе декодера превысит этот порог, алгоритмы помехоустойчивого кодирования перестанут справляться с искажениями, и квазибезошибочный приём (QEF — Quasi Error-Free) с полным отсутствием видимых артефактов на экране станет невозможен.

5.3. Снять зависимость от полосы пропускания: развёртка по полосе от 80 до 300 МГц с шагом 20 МГц при ослаблении 70 дБ. Скопировать график и таблицу в отчёт.



5.4. Определить минимальную полосу пропускания, при которой вероятность ошибки не превышает $2 \cdot 10^{-4}$. Сопоставить полученное значение с частотой Найквиста, равной половине тактовой частоты, то есть 135 МГц. Объяснить, почему требуемая полоса оказывается больше найквистовой.

минимальная полоса пропускания = 136 МГц

Полученное значение почти совпадает с частотой Найквиста

Почему требуемая полоса больше Найквистовой: Идеальный критерий Найквиста требует математически совершенного фильтра с абсолютно прямоугольной формой АЧХ.

Реализовать такой фильтр физически невозможно — его импульсная характеристика бесконечна во времени. Поэтому на используются реальные фильтры типа приподнятый косинус с коэффициентом, форма которых шире Найквистовой частоты

5.5. Пояснить, почему при дальнейшем расширении полосы вероятность ошибки перестаёт убывать и выходит на постоянный уровень.

При сильном расширении полосы частот межсимвольные искажения полностью исчезают, но фильтр начинает пропускать в тракт гораздо больше широкополосного белого шума.

Увеличение мощности шума компенсирует пользу от расширения полосы, поэтому синяя кривая BER выходит на постоянный уровень и перестаёт падать.

6. Современные интерфейсы

Кратко (до половины страницы) ответить: тактовая частота 270 МГц, используемая в модели, соответствует интерфейсу SD-SDI. Указать, какие скорости и стандарты применяются в современных студийных трактах (HD-SDI, 3G-SDI, 6G/12G-SDI), и пояснить, почему при переходе к сетям IP по SMPTE ST 2110 понятие глазковой диаграммы не исчезает, а переносится на физический уровень Ethernet.

В современных студийных трактах для передачи видео высокой чёткости применяются гораздо более скоростные стандарты и интерфейсы:

HD-SDI (SMPTE ST 292-1): скорость потока 1,485 Гбит/с для форматов 720p и 1080i.

3G-SDI (SMPTE ST 424): скорость потока 2,970 Гбит/с для формата 1080p/60.

6G/12G-SDI (SMPTE ST 2082-1): скорость потока 5,94 и 11,88 Гбит/с для передачи 4K.

При переходе к современному IP-вещанию по набору стандартов SMPTE ST 2110 несжатые потоки видео и звука инкапсулируются в IP-пакеты и передаются по стандартным компьютерным сетям. При этом понятие глазковой диаграммы не исчезает, а просто переносится со специфического коаксиального кабеля SDI на физический уровень сети Ethernet.

На скоростях 10, 25, 40 или 100 Гбит/с, используемых в Ethernet-коммутаторах телецентров, затухание в линии, межсимвольная интерференция и джиттер синхросигнала продолжают искажать электрические и оптические импульсы. Глазковая диаграмма на входе сетевой карты остаётся главным физическим инструментом для оценки целостности сигналов и качества линка.