

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт электроники и телекоммуникаций
Высшая школа электроники и микросистемной техники

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИГМА-ДЕЛЬТА МОДУЛЯТОРА С ДВУХФАЗНОЙ ВЫБОРКОЙ И ПРЯМОЙ СВЯЗЬЮ

Выполнил:

Студент гр. 4941102/90501

Дегирменджи М. Д. М.

Руководитель:

Доцент, к.т.н.

Пилипко М. М.

Актуальность

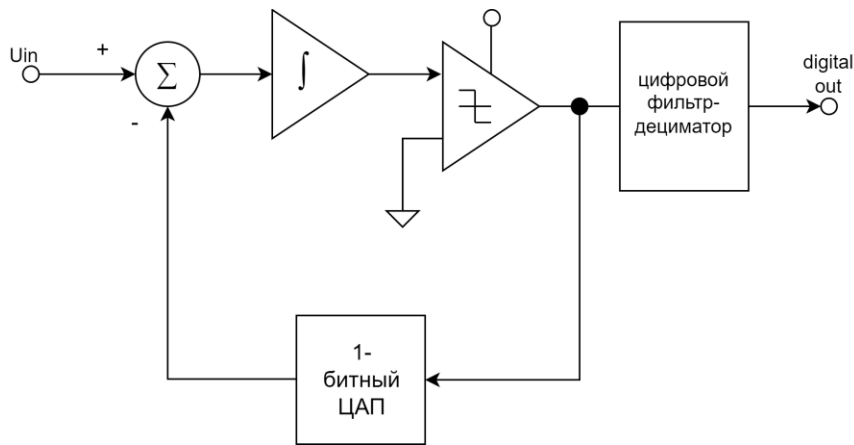


Обработка аудио-сигналов



Медицинское оборудование

Структура сигма-дельта АЦП



$$Y = \frac{1}{f}(X - Y) + Q = \frac{X}{f+1} + \frac{Qf}{f+1} \quad (1)$$

где X – сигнал, поступающий на вход модулятора;
 Y – сигнал, поступающий с выхода модулятора;
 Q – ошибка квантования;
 f – частота.

Рисунок 1 – Блок-схема $\Sigma\Delta$ модулятора первого порядка

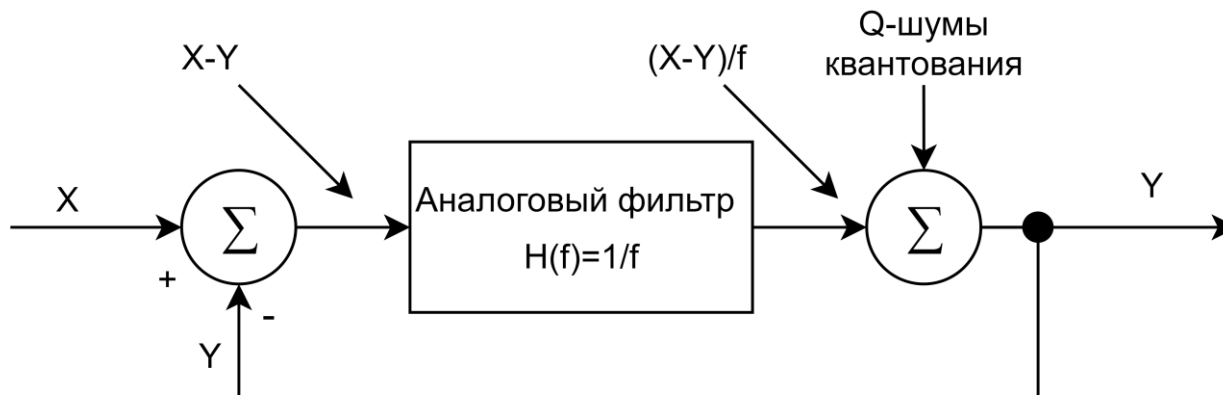
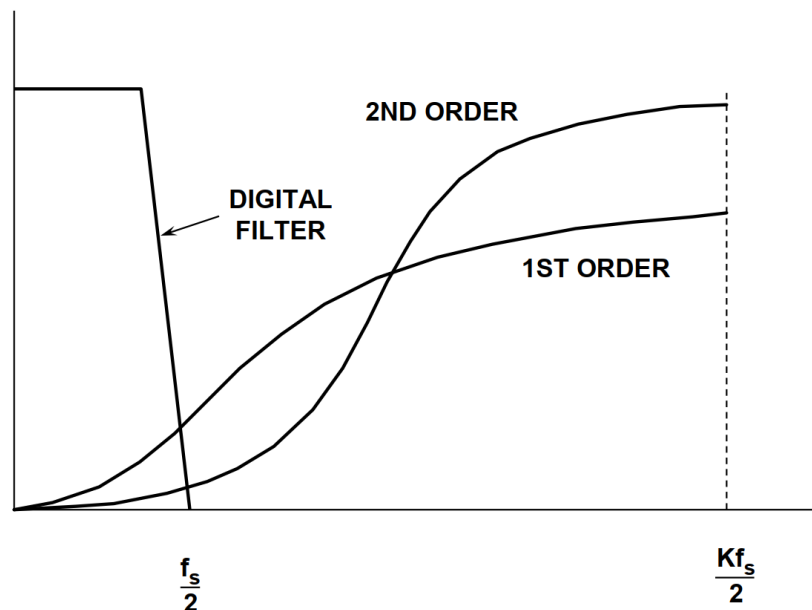


Рисунок 2 – Линеаризованная модель $\Sigma\Delta$ -АЦП в частотной области

Сигма-дельта АЦП второго порядка



$$STF = z^{-2} \quad (2)$$

$$NTF = (1 - z^{-1})^2 \quad (3)$$

Рисунок 3 – Спектр шумов квантования $\Sigma\Delta$ модулятора первого и второго порядка

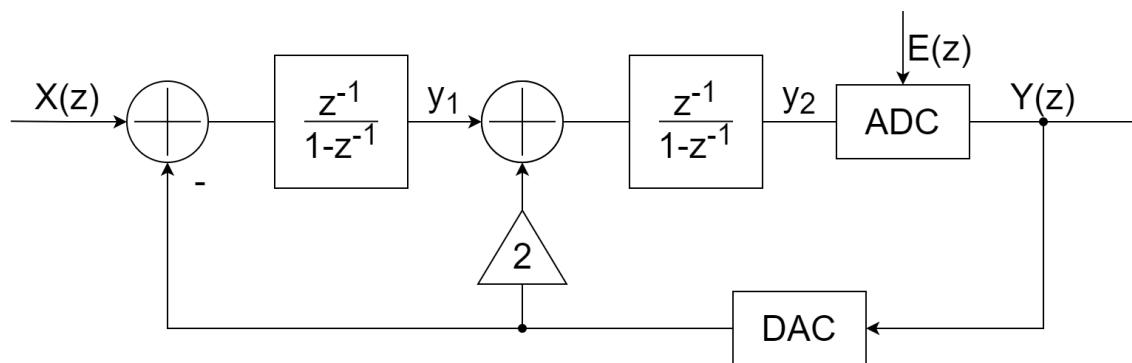


Рисунок 4 – Блок-схема $\Sigma\Delta$ АЦП второго порядка

Сигма-дельта АЦП с прямой связью

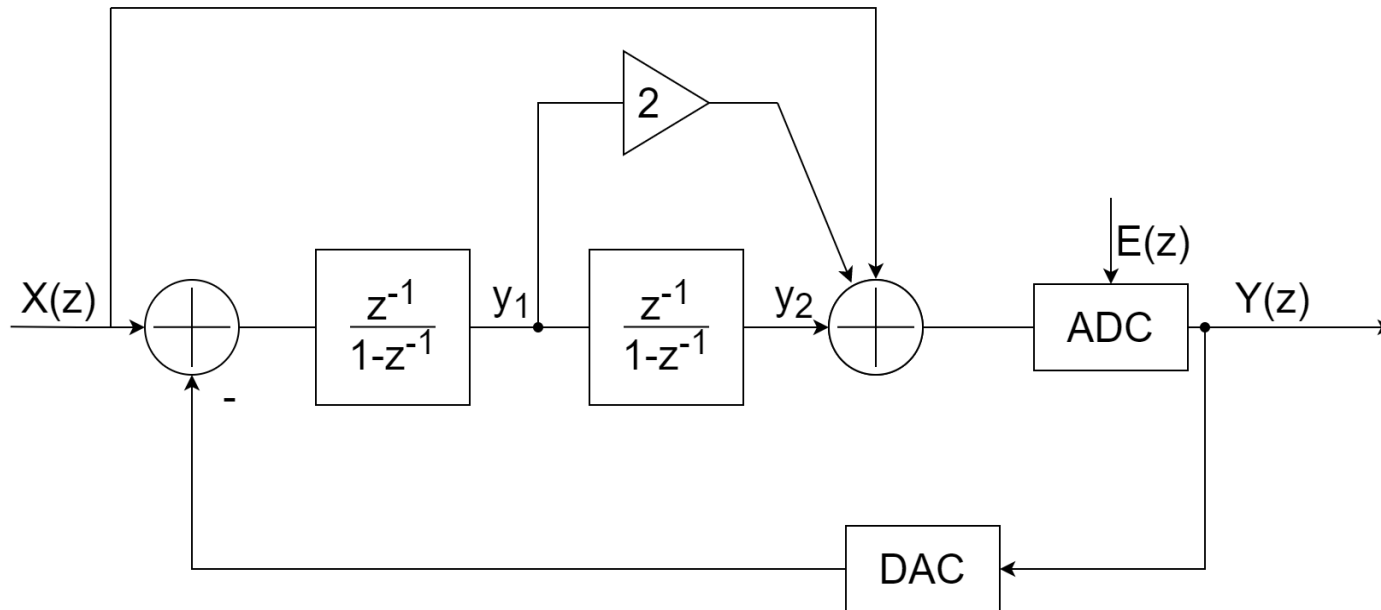


Рисунок 5 – Блок-схема $\Sigma\Delta$ модулятора второго порядка с использованием прямой связи

$$Y(z) = X(z) + (1 - z^{-1})^2 E(z) \quad (4)$$

$$STF = 1 \quad (5)$$

$$NTF = (1 - z^{-1})^2 \quad (6)$$

Сигма-дельта АЦП с прямой связью

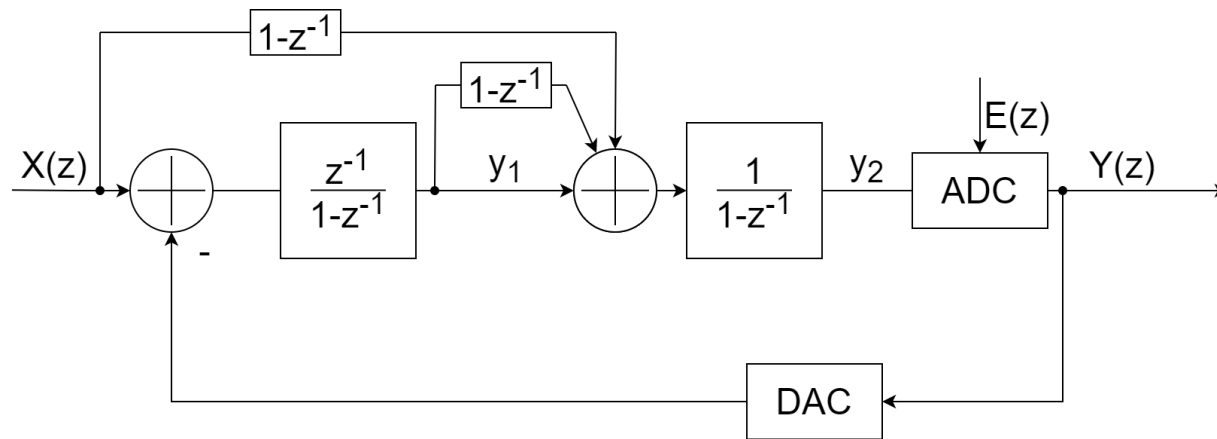


Рисунок 6 – модифицированная структура $\Sigma\Delta$ модулятора с использованием прямой

$$y_1 = -z^{-1} (1 - z^{-1}) E(z) \quad (7)$$

$$y_2 = X(z) - z^{-1} (1 - z^{-1}) E(z) \quad (8)$$

Метод двухфазной выборки

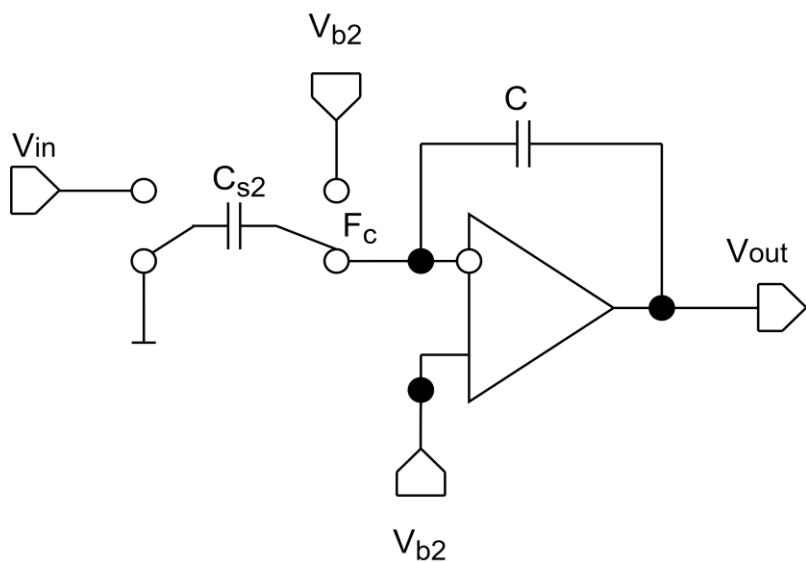


Рисунок 7 – SC-интегратор

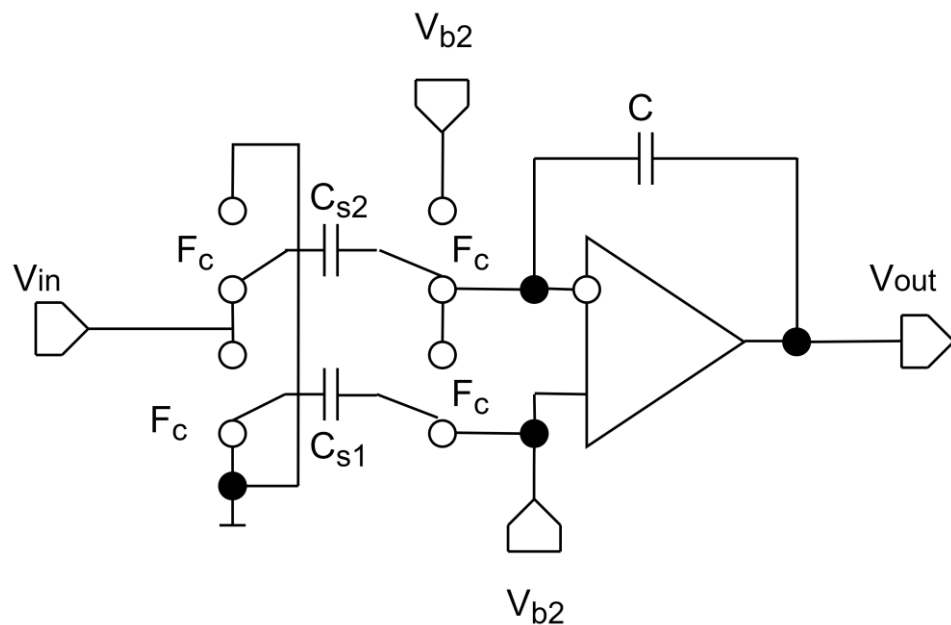


Рисунок 8 – Интегратор с двухфазной выборкой

Сигма-дельта модулятор со схемой сброса конденсаторов обратной связи

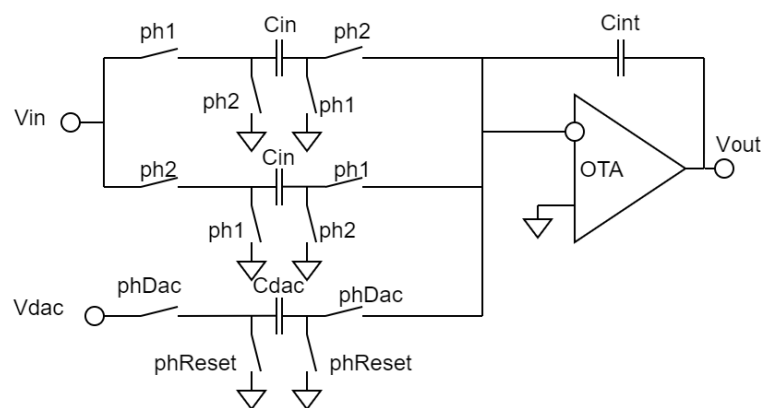


Рисунок 9 – Интегратор со схемой сброса конденсатора обратной связи

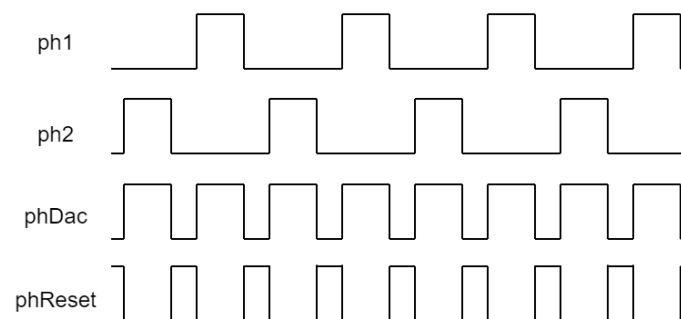


Рисунок 10 – Временная диаграмма для интегратора со схемой сброса конденсатора обратной связи

Цель и задачи работы

Целью данной дипломной работы является изучение работы $\Sigma\Delta$ модулятора первого и второго порядка, а также рассмотрение различных реализаций метода двухфазной выборки и улучшения их характеристик.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- Построить и рассмотреть параметры базовых блоков, необходимых для построения $\Sigma\Delta$ модулятора;
- Построить и изучить $\Sigma\Delta$ модулятор первого и второго порядка, а также сравнить их характеристики;
- Построить схемы с применением метода двухфазной выборки, а также изучить их характеристики;
- Построить топологию для $\Sigma\Delta$ модулятора с применением метода двухфазной выборки с прямой связью и схемой сброса выборочных конденсаторов;
- Изучить влияние паразитных параметров, возникших после построения топологии на работу схемы;
- Сопоставить полученные результаты.

Параметры симуляции

- Частота тактирующих импульсов – 1 МГц
- Коэффициент передискретизации – 128 для одиночной выборки и 256 для двухфазной выборки
- Полоса пропускания сигнала – от 0 до 7812,5 Гц
- Частота входного сигнала – 1343 Гц
- Нагрузочная ёмкость 1 pF
- Использовано ПО Cadence Virtuoso и параметры 180 нм КМОП технологии

Операционный транскондуктивный усилитель

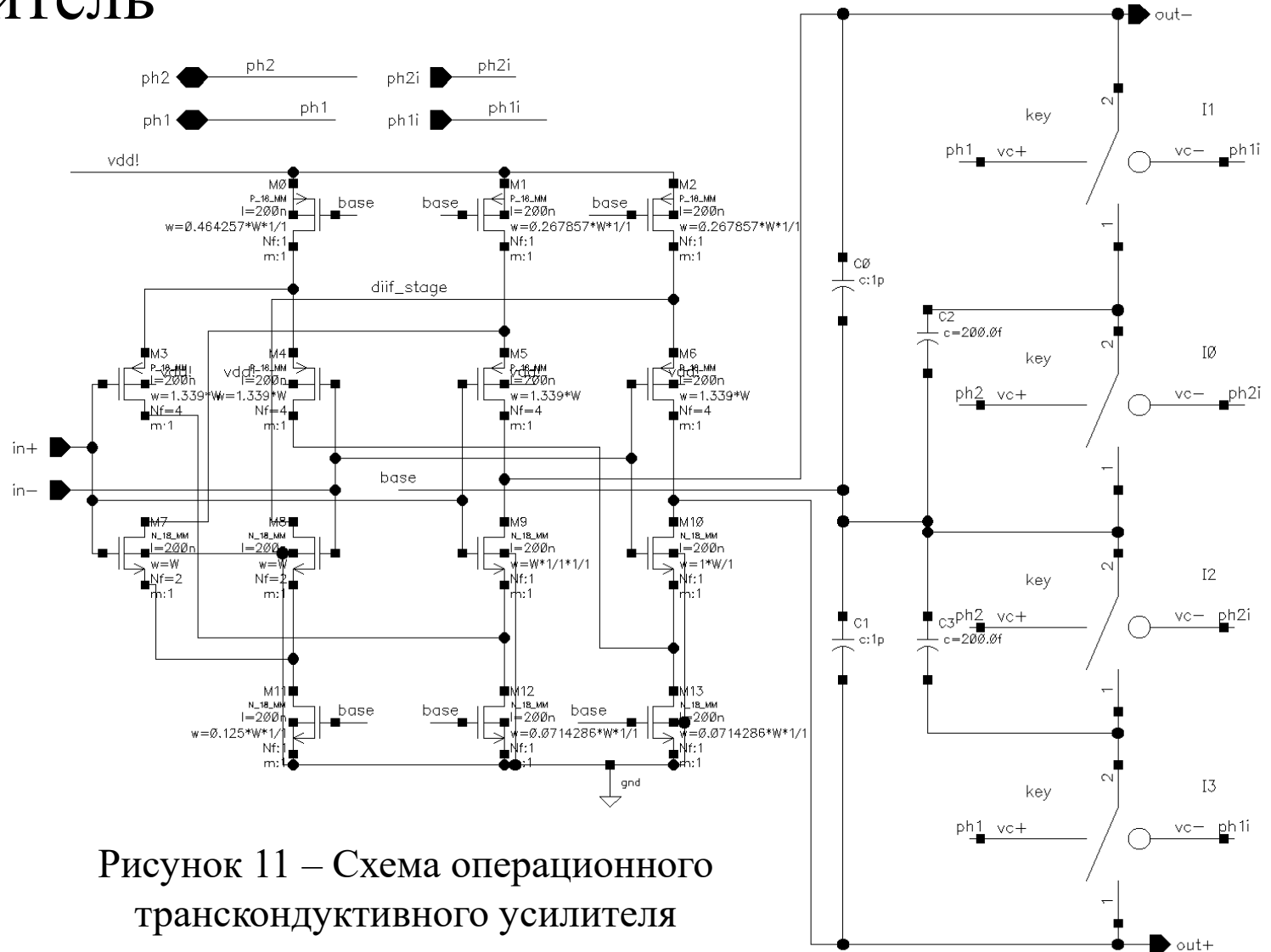


Рисунок 11 – Схема операционного транскондуктивного усилителя

Операционный транскондуктивный усилитель

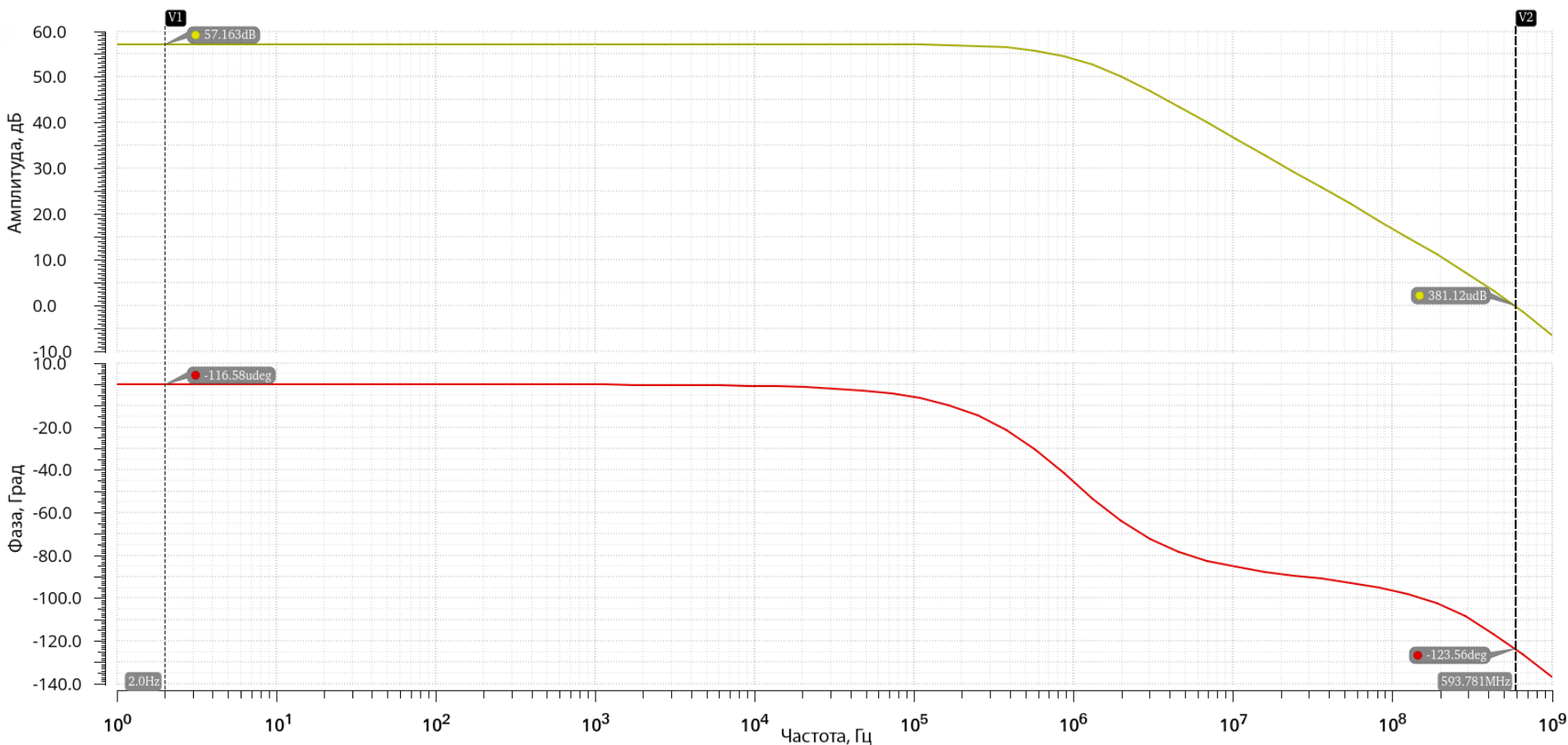


Рисунок 12 – АЧХ и ФЧХ операционного транскондуктивного усилителя

Операционный транскондуктивный усилитель

- Коэффициент усиления по постоянному току 57 дБ;
- Запас по фазе 56,5 градусов;
- Полоса частот по уровню -3 дБ составляет 970 кГц;
- Частота единичного усиления 593 МГц;
- Скорость нарастания выходного напряжения 107 В/мкс.

Компаратор

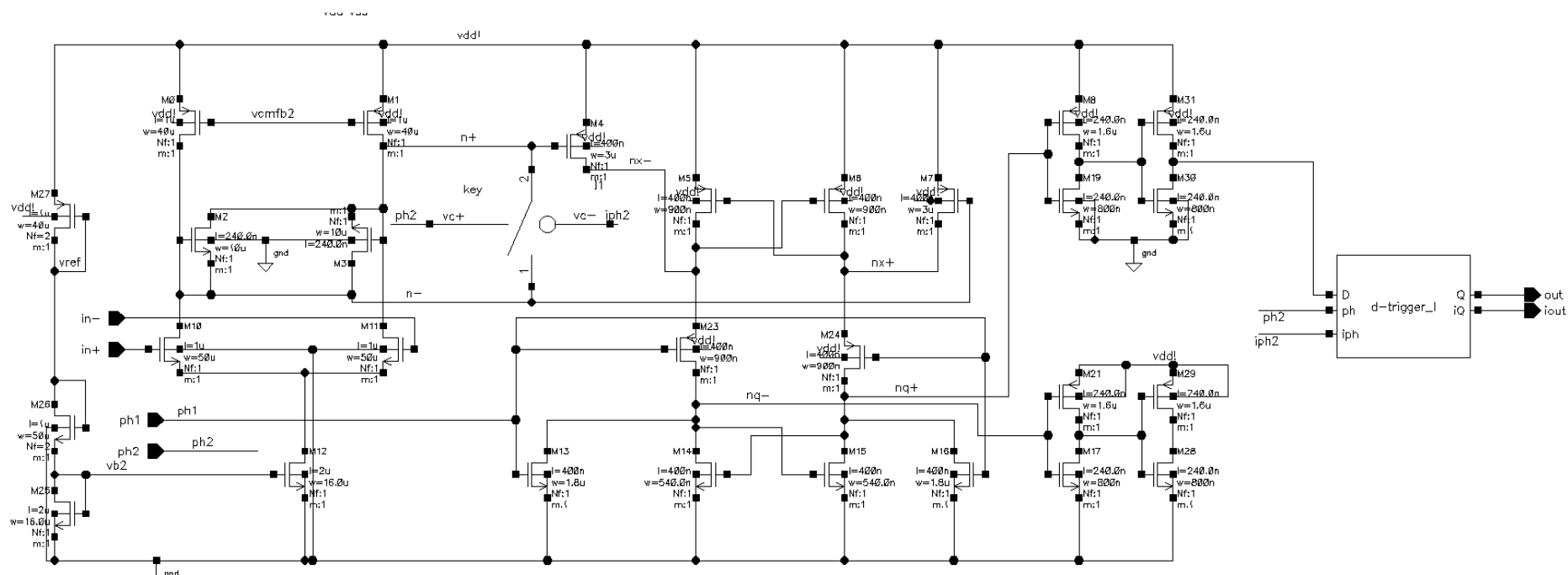


Рисунок 13 – Схема компаратора

Компаратор

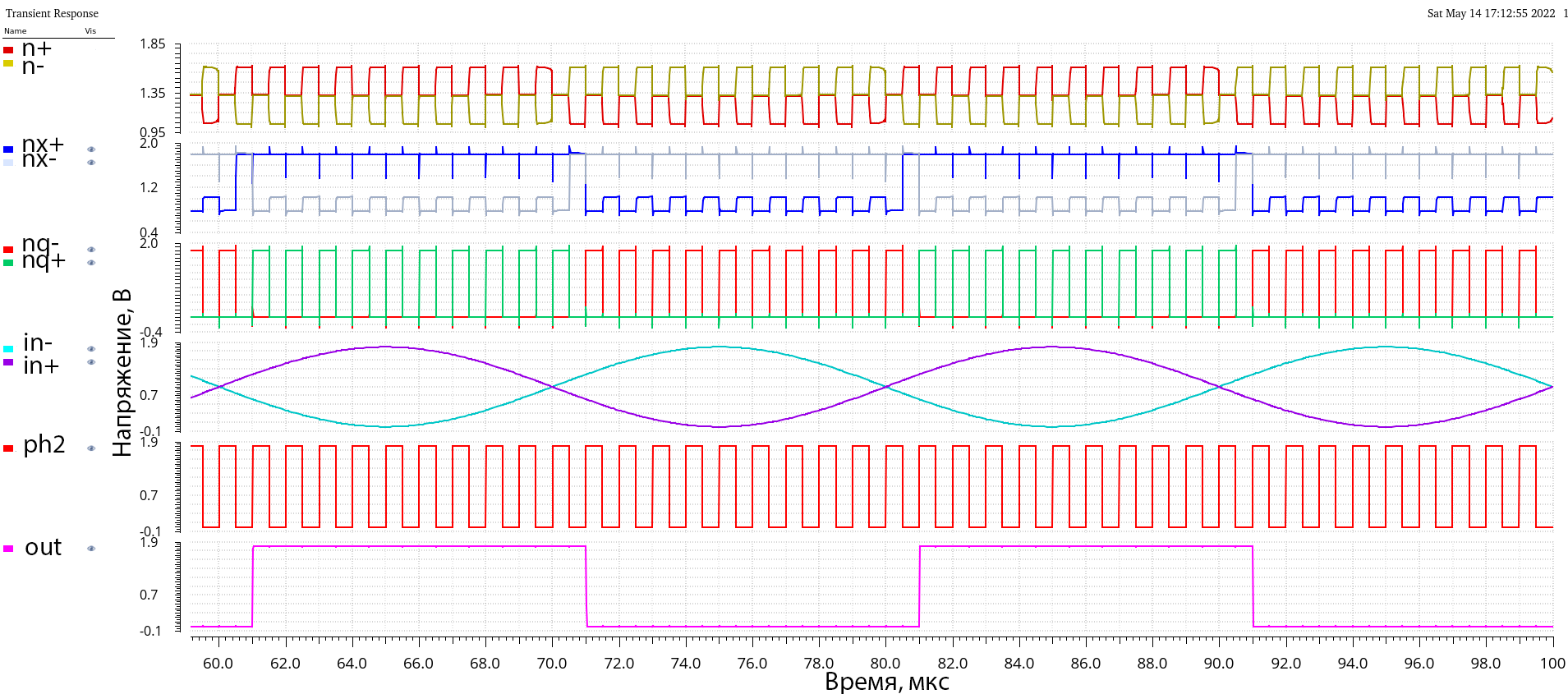


Рисунок 14 – Сигналы в компараторе во временной области при максимальной амплитуде входного сигнала

Сигма-дельта модулятор второго порядка

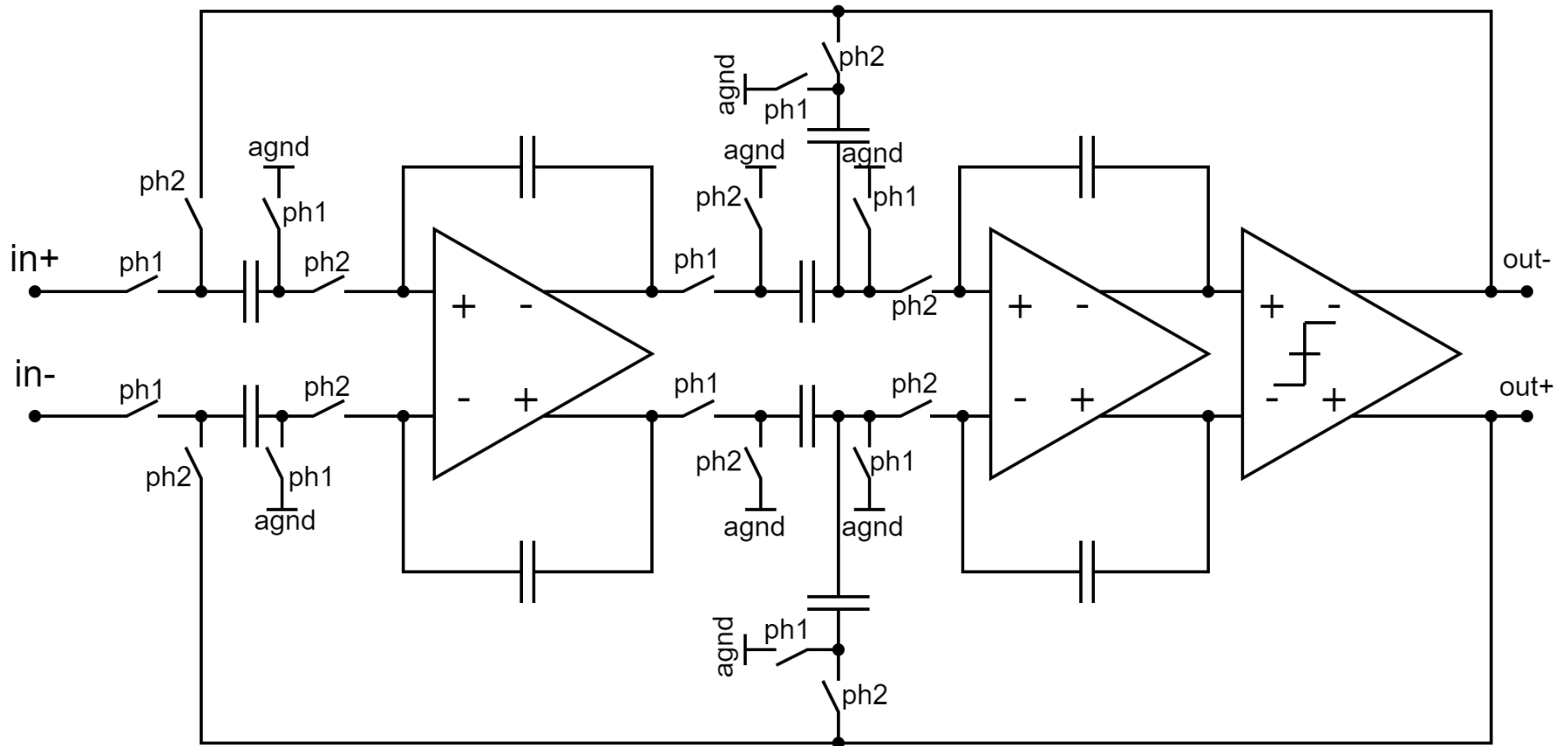


Рисунок 15 – Схема $\Sigma\Delta$ модулятора второго порядка

Сигма-дельта модулятор второго порядка

Максимальный SNDR 68 дБ

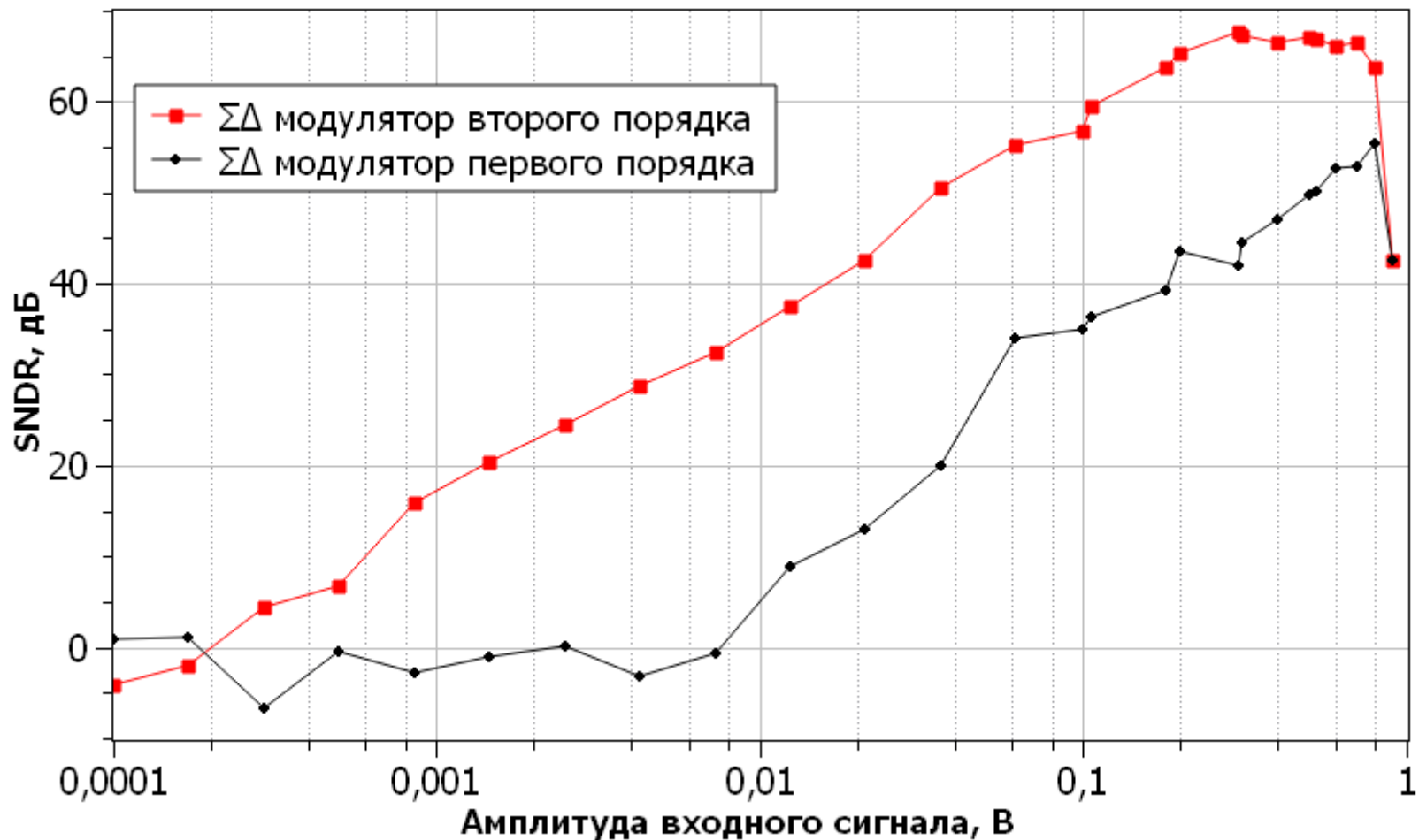


Рисунок 16 – Зависимость SNDR $\Sigma\Delta$ модулятора второго порядка от амплитуды входного сигнала

Сигма-дельта модулятор с применением метода двухфазной выборки

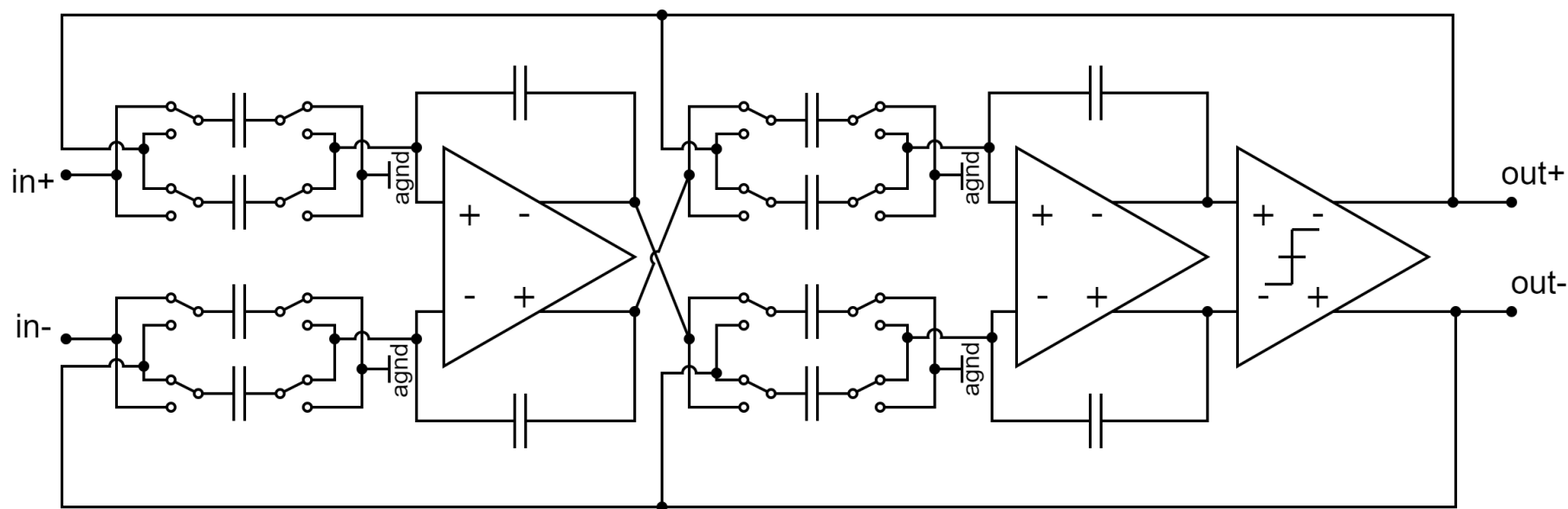


Рисунок 17 – Схема $\Sigma\Delta$ модулятора с использованием метода двухфазной выборки

Сигма-дельта модулятор с применением метода двухфазной выборки

Максимальный SNDR 72 дБ

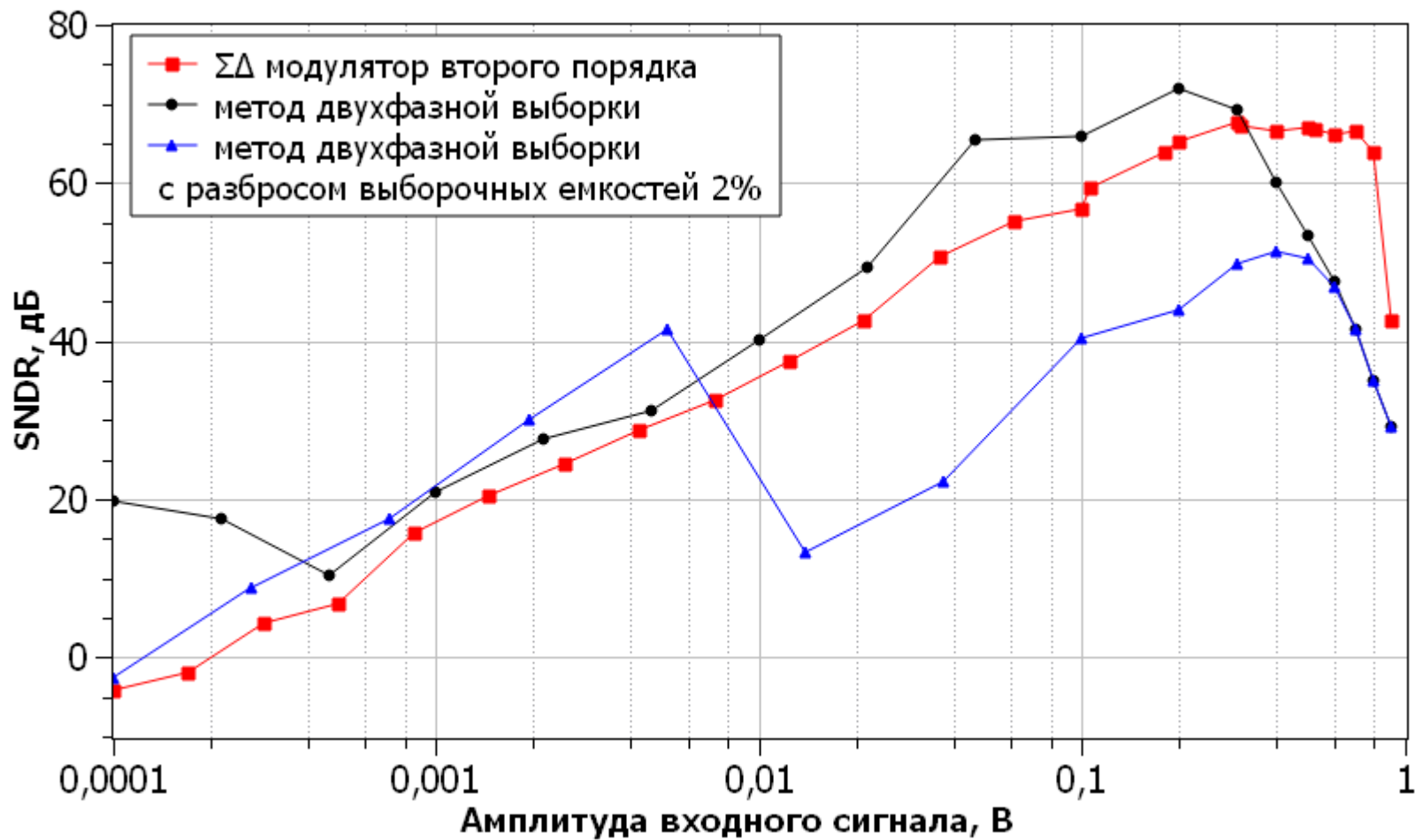


Рисунок 18 – Зависимость SNDR от амплитуды входного сигнала для $\Sigma\Delta$ модулятора с использованием метода двухфазной выборки

Сигма-дельта модулятор с прямой связью

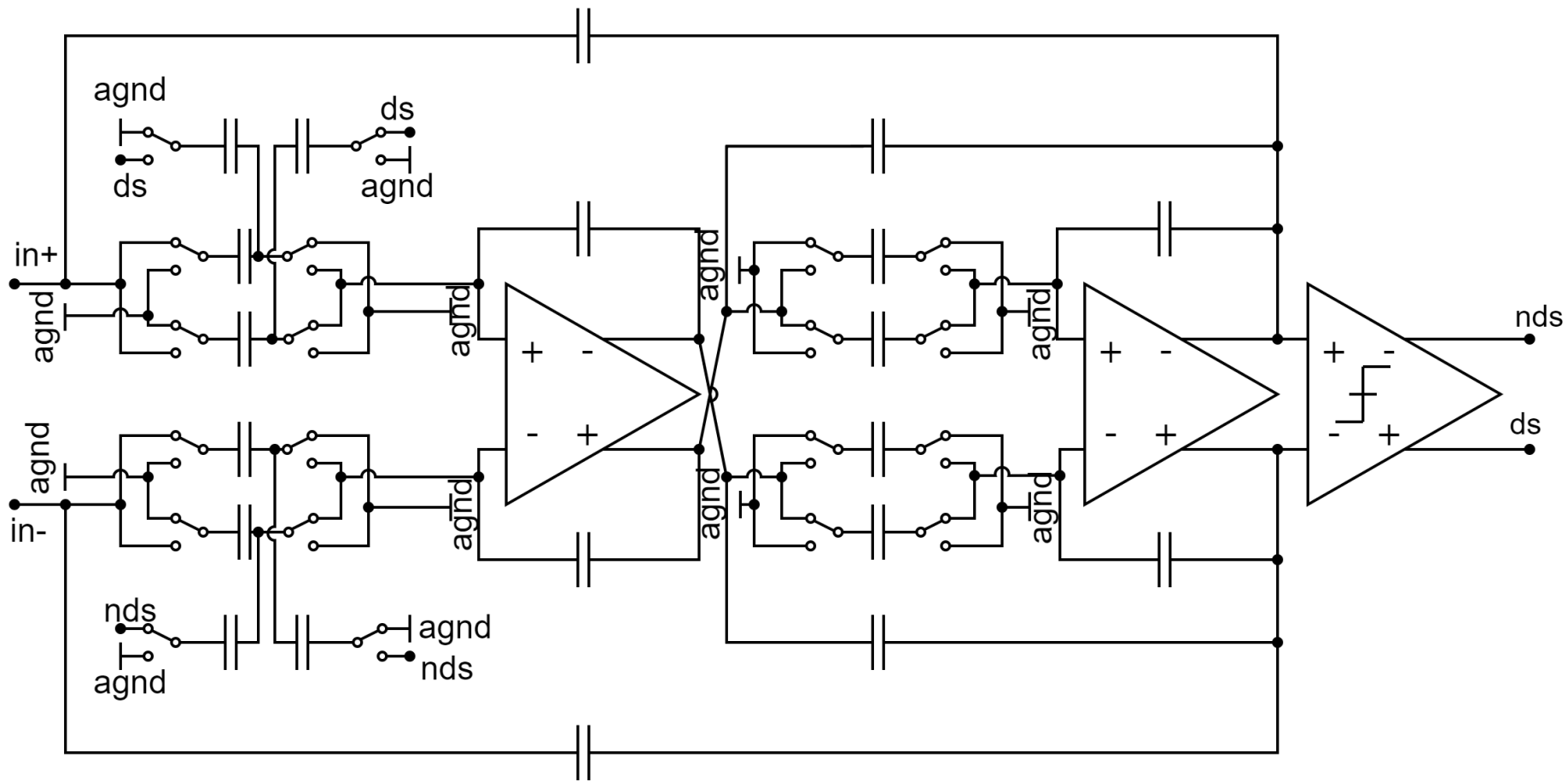


Рисунок 19 – Схема $\Sigma\Delta$ модулятора с применением метода двухфазной выборки с прямой связью

Модификация интегратора

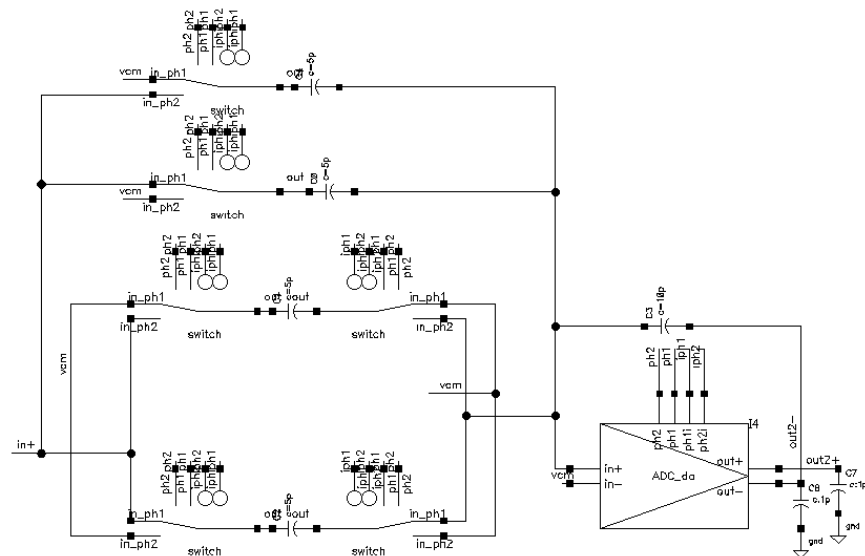


Рисунок 22 – Интегратор $\Sigma\Delta$ модулятора, использующий метод двухфазной выборки с прямой связью

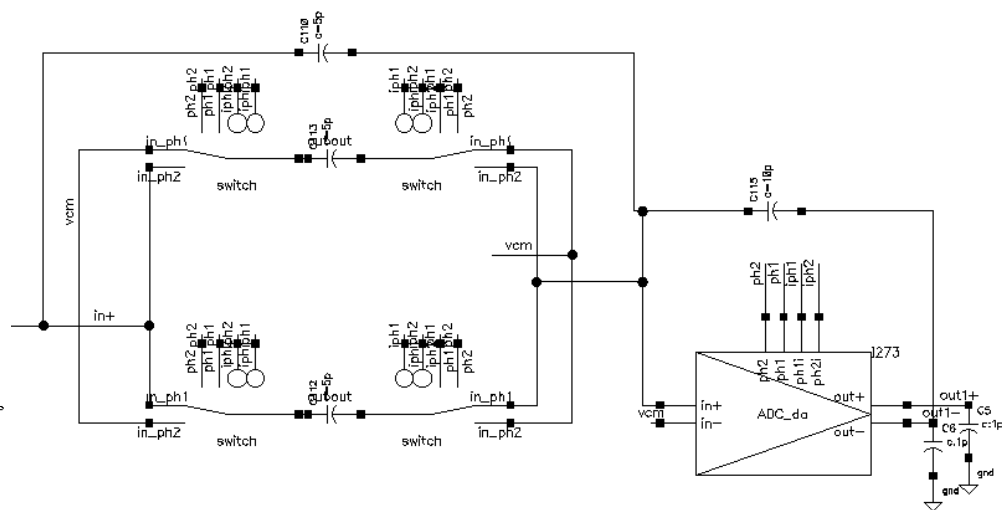


Рисунок 23 – Оптимизированный интегратор $\Sigma\Delta$ модулятора, использующий метод двухфазной выборки с прямой связью

Модификация интегратора

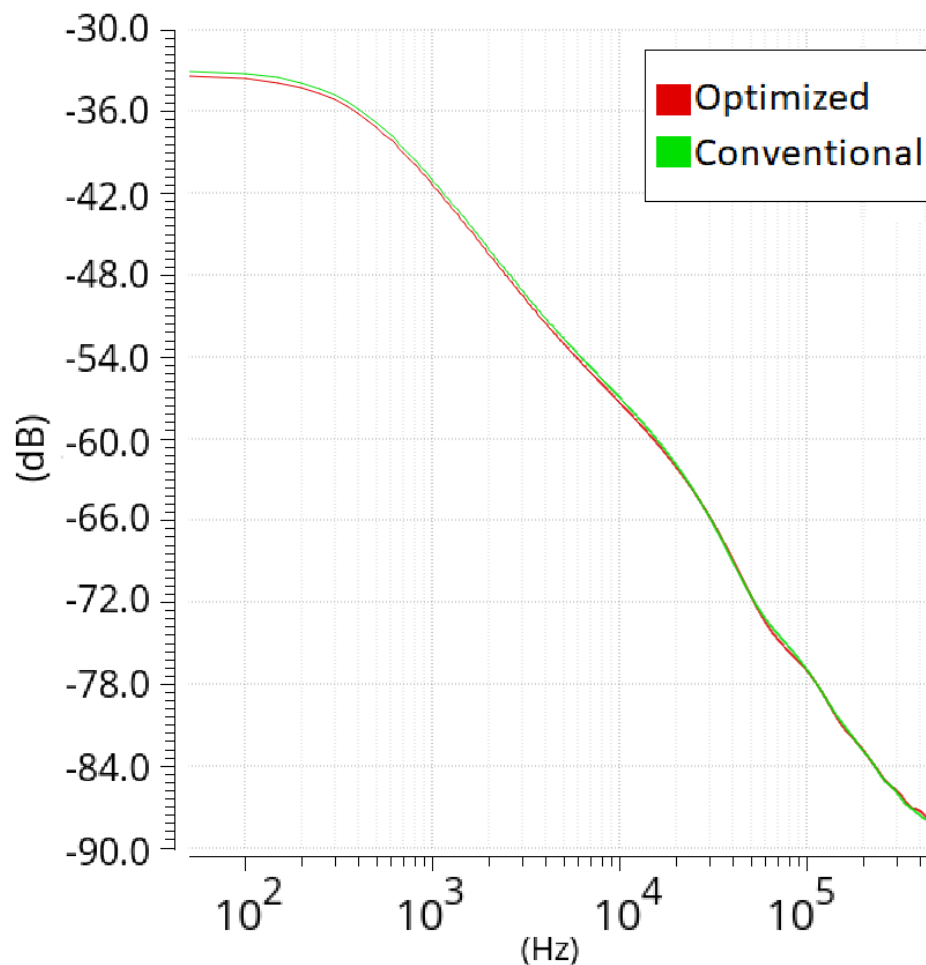


Рисунок 24 – АЧХ интеграторов для $\Sigma\Delta$ модулятора, использующего метод двухфазной выборки с прямой связью

Сигма-дельта модулятор с прямой связью

Максимальный SNDR 84 дБ

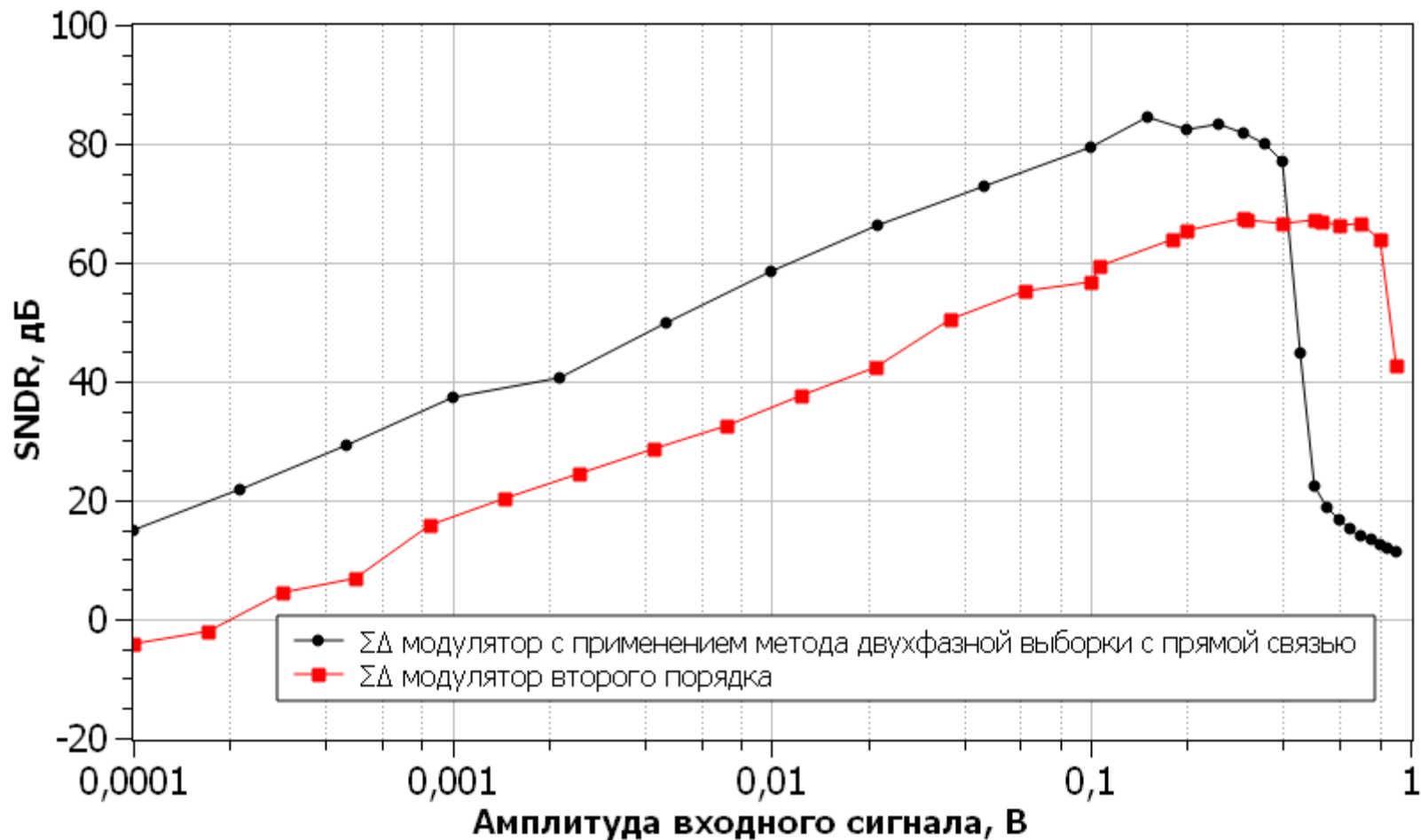


Рисунок 20 – Зависимость SNDR от амплитуды входного сигнала для схемы с прямой связью

Гамма-дельта модулятор с прямой связью

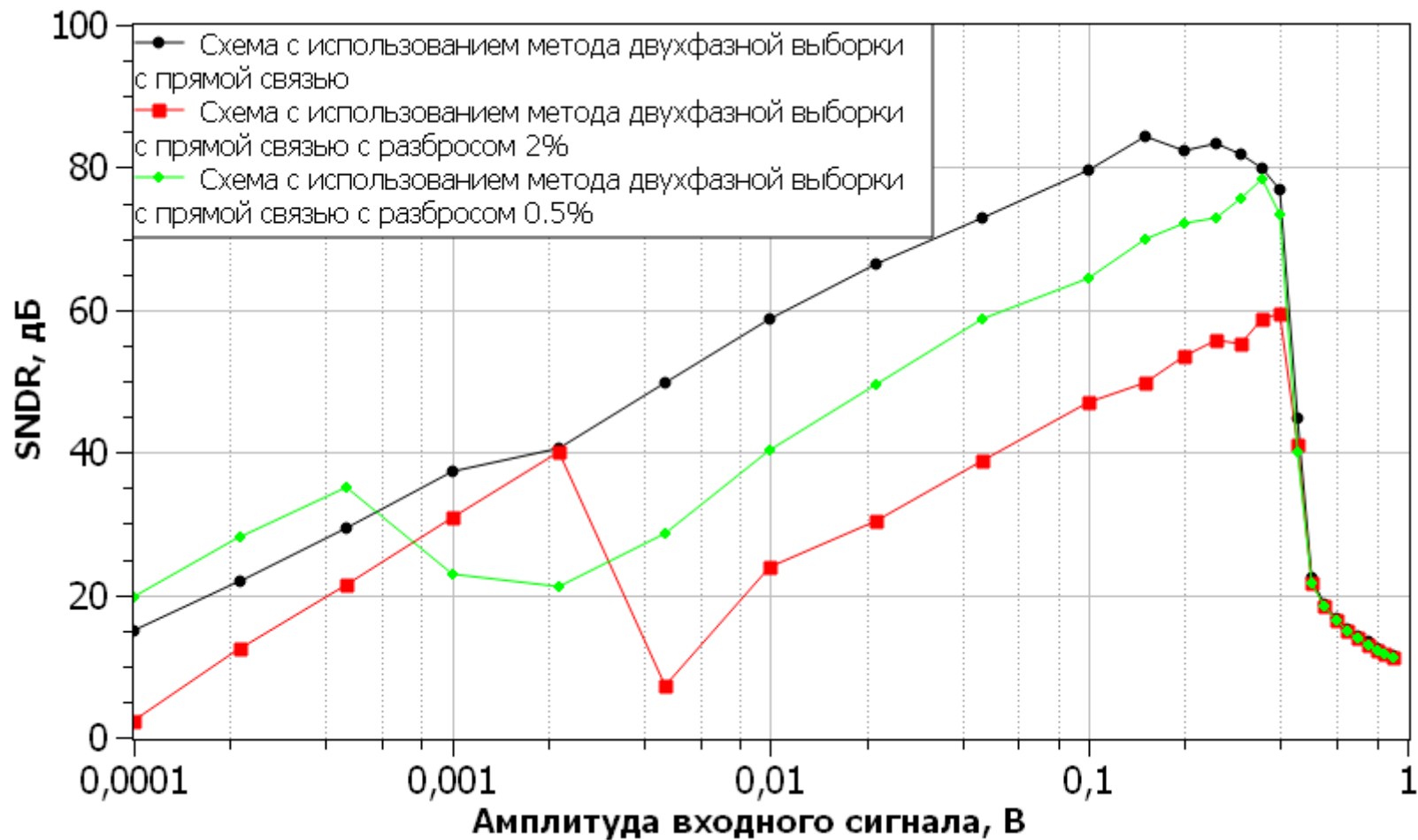


Рисунок 21 – Зависимость SNDR от амплитуды входного сигнала для схемы с прямой связью при различных значениях разброса емкостей выборочных конденсаторов

Сигма-дельта модулятор со схемой сброса конденсаторов обратной связи

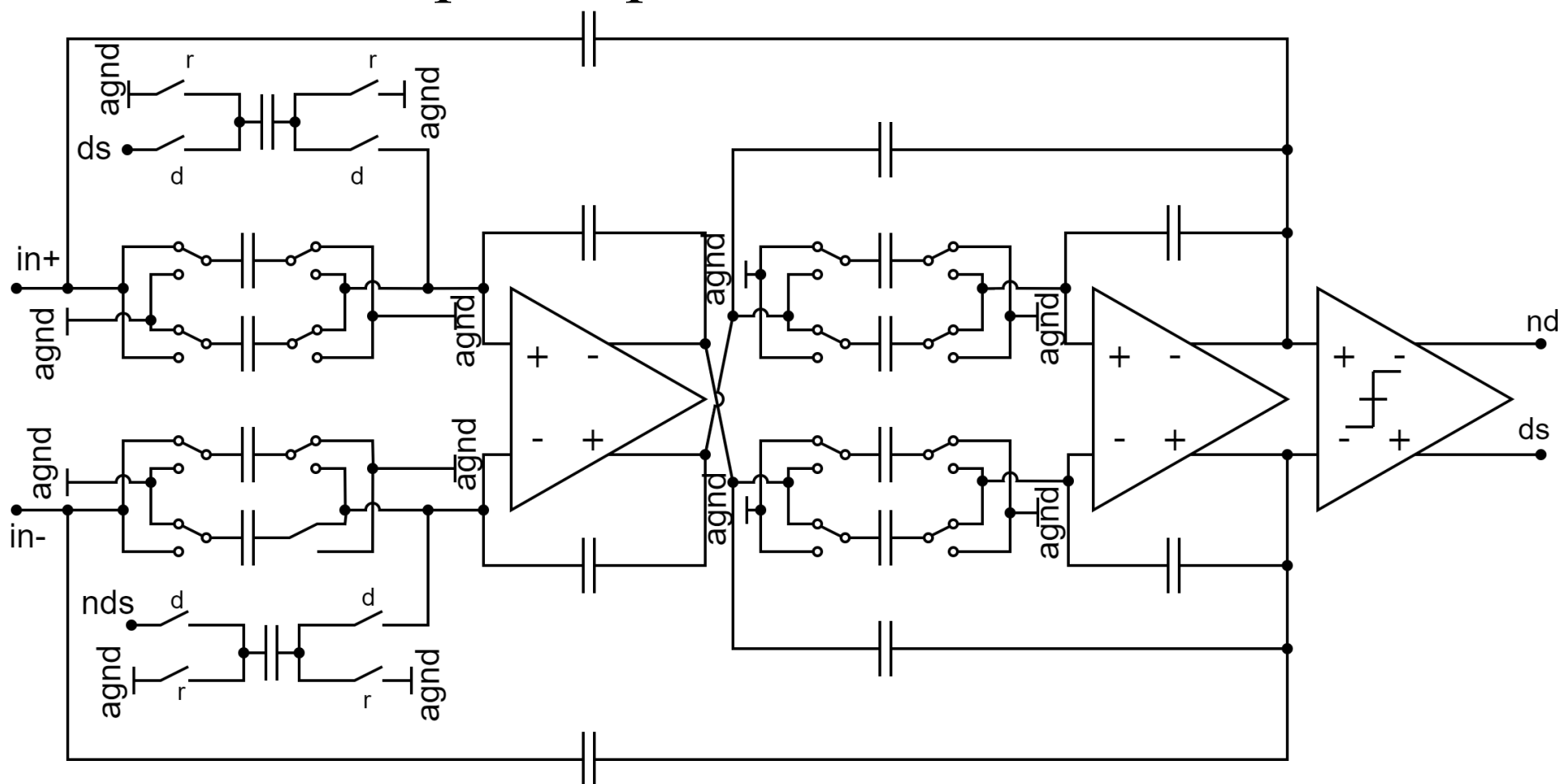


Рисунок 25 – Схема $\Sigma\Delta$ модулятора с применением схемы сброса конденсаторов обратной связи

Сигма-дельта модулятор со схемой сброса конденсаторов обратной связи

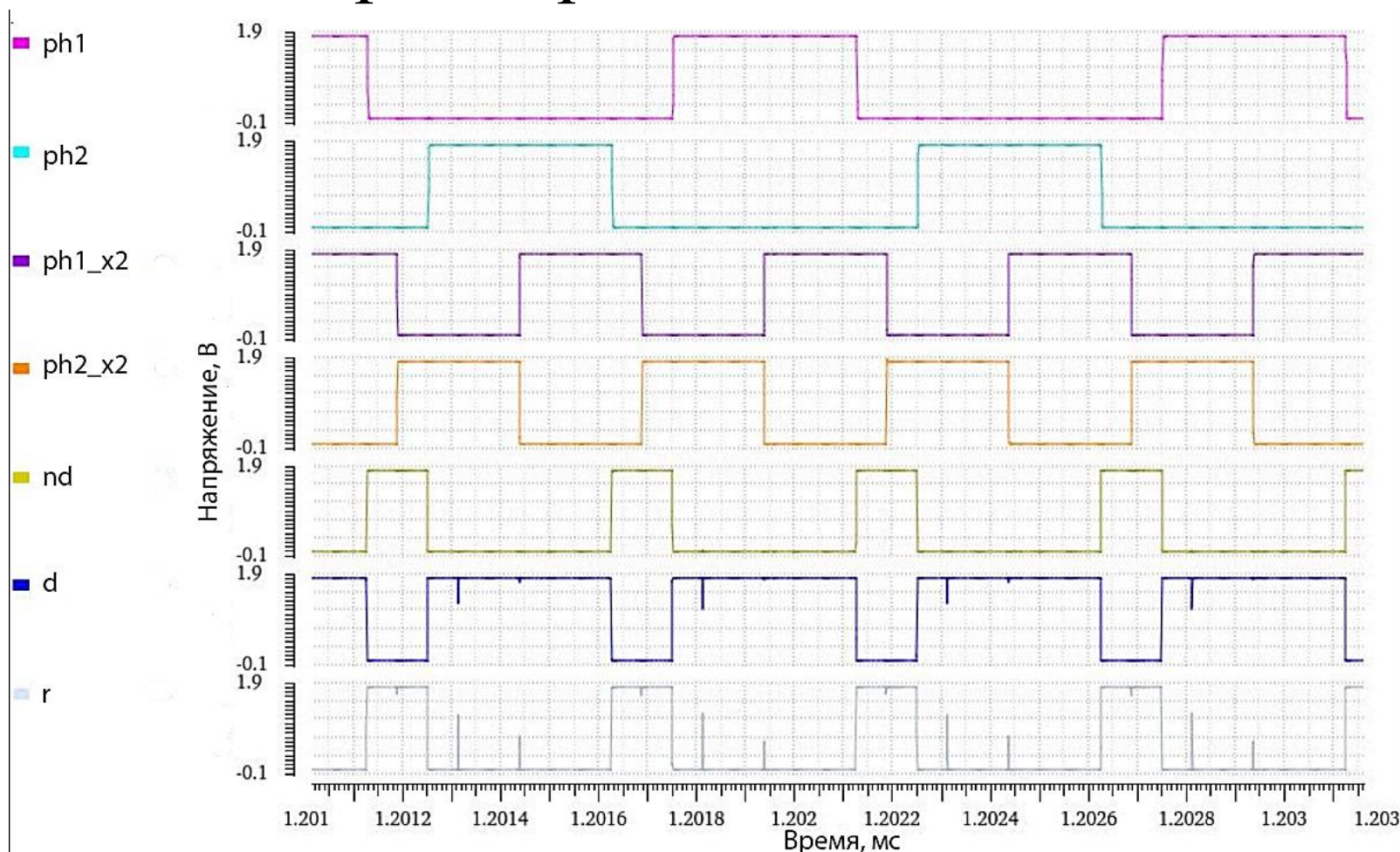


Рисунок 26 – Временная диаграмма тактирующих импульсов, используемых в симуляции

Сигма-дельта модулятор со схемой сброса конденсаторов обратной связи

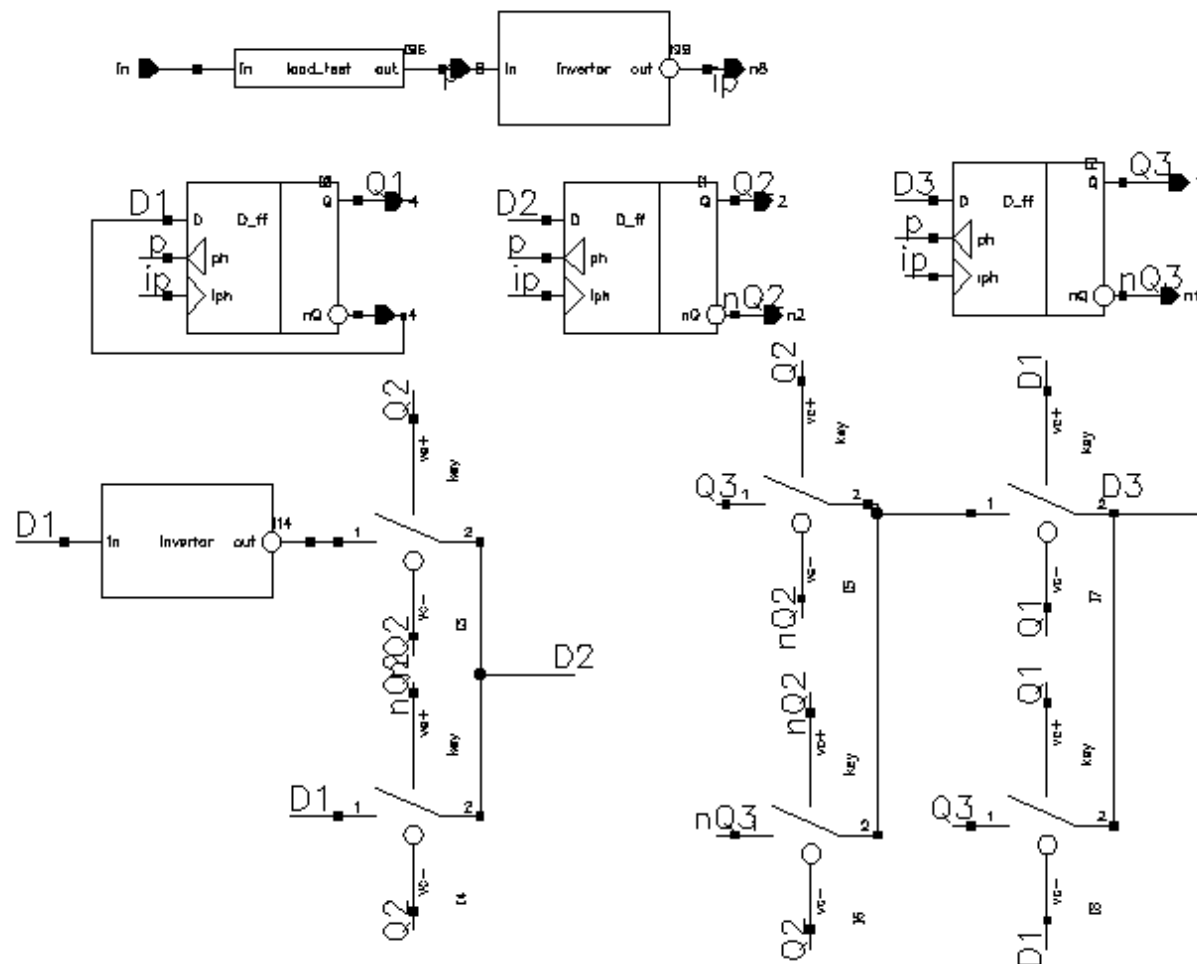


Рисунок 27 – Схема счетчика, используемого для схемы формирования тактирующих импульсов

Сигма-дельта модулятор со схемой сброса конденсаторов обратной связи

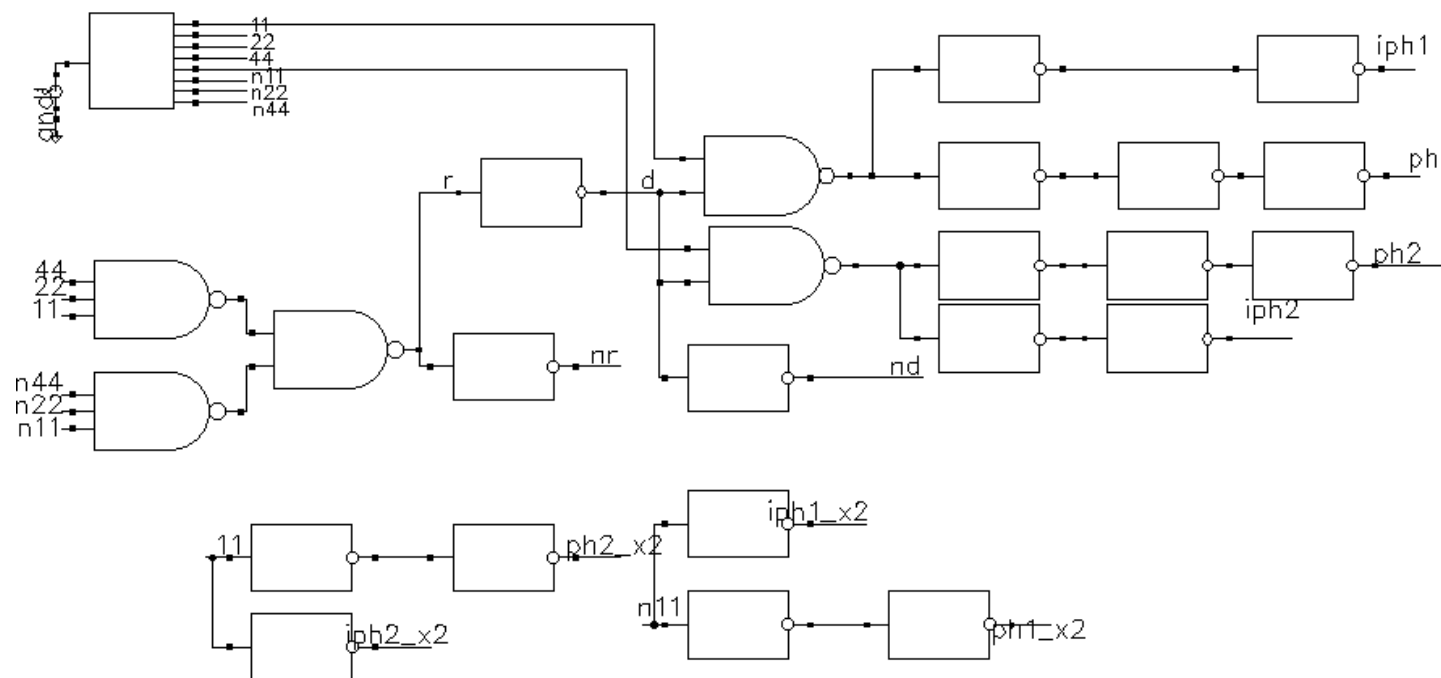


Рисунок 28 – Схема формирования тактирующих импульсов для схемы $\Sigma\Delta$ модулятора со сбросом конденсаторов обратной связи

Сигма-дельта модулятор со схемой сброса конденсаторов обратной связи

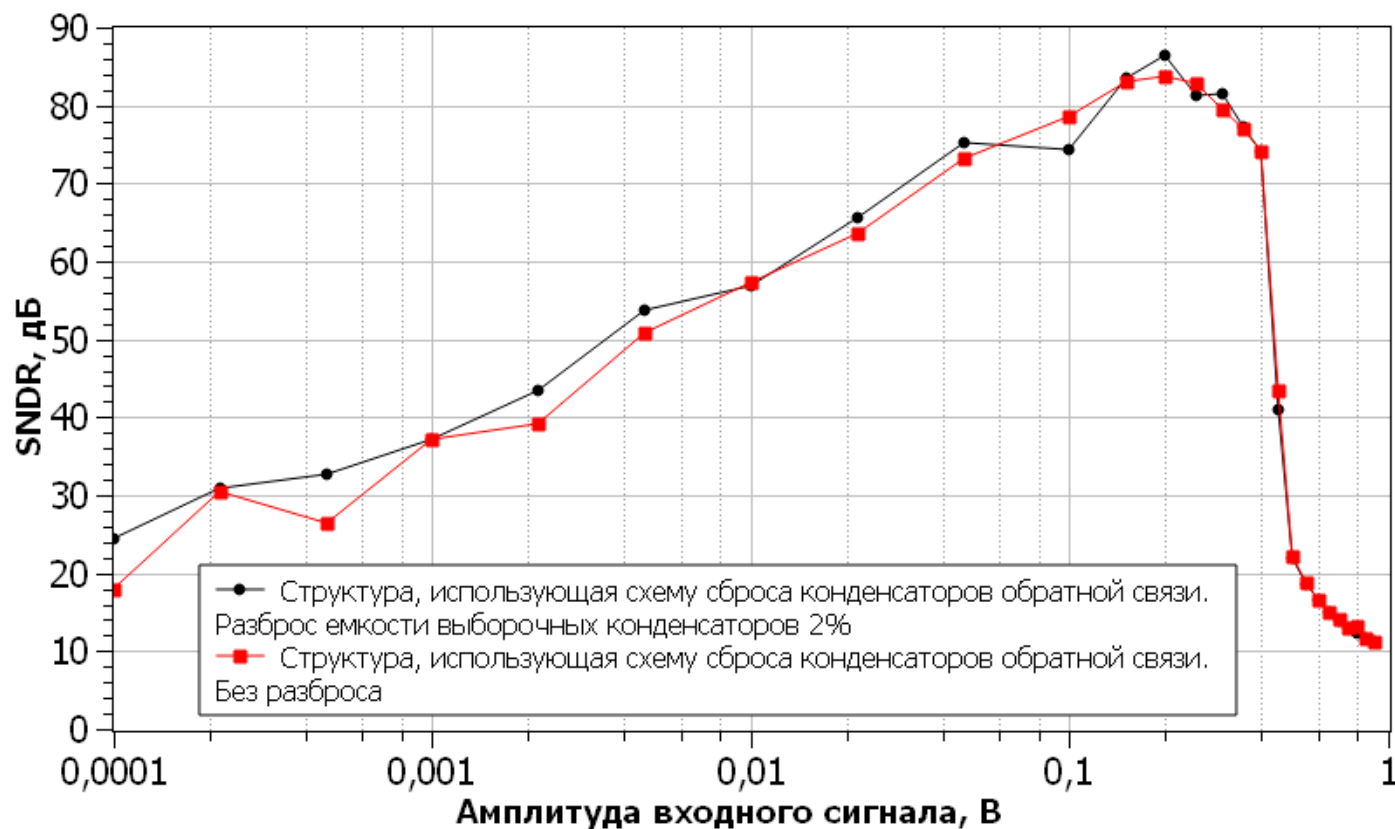


Рисунок 29 – Зависимость SNDR от амплитуды входного сигнала для $\Sigma\Delta$ модулятора, использующего метод двухфазной выборки с прямой связью и схемой сброса конденсаторов обратной связи

Зависимость SNDR от температуры и коэффициента заполнения

Коэффициент заполнения	0.5	0.45	0.4
SNDR	83.4	83.31	83.15

corner	Температура, °C	SNDR, дБ
ff	-40	85.59
ff	27	84.54
ff	85	83.08
fnsp	-40	82.73
fnsp	27	84.31
fnsp	85	82.94
snfp	-40	81.69
snfp	27	84.05
snfp	85	82.62
ss	-40	80.45
ss	27	83.39
ss	85	83.30
tt	-40	85.91
tt	27	85.03
tt	85	85.11

Разброс напряжения питания

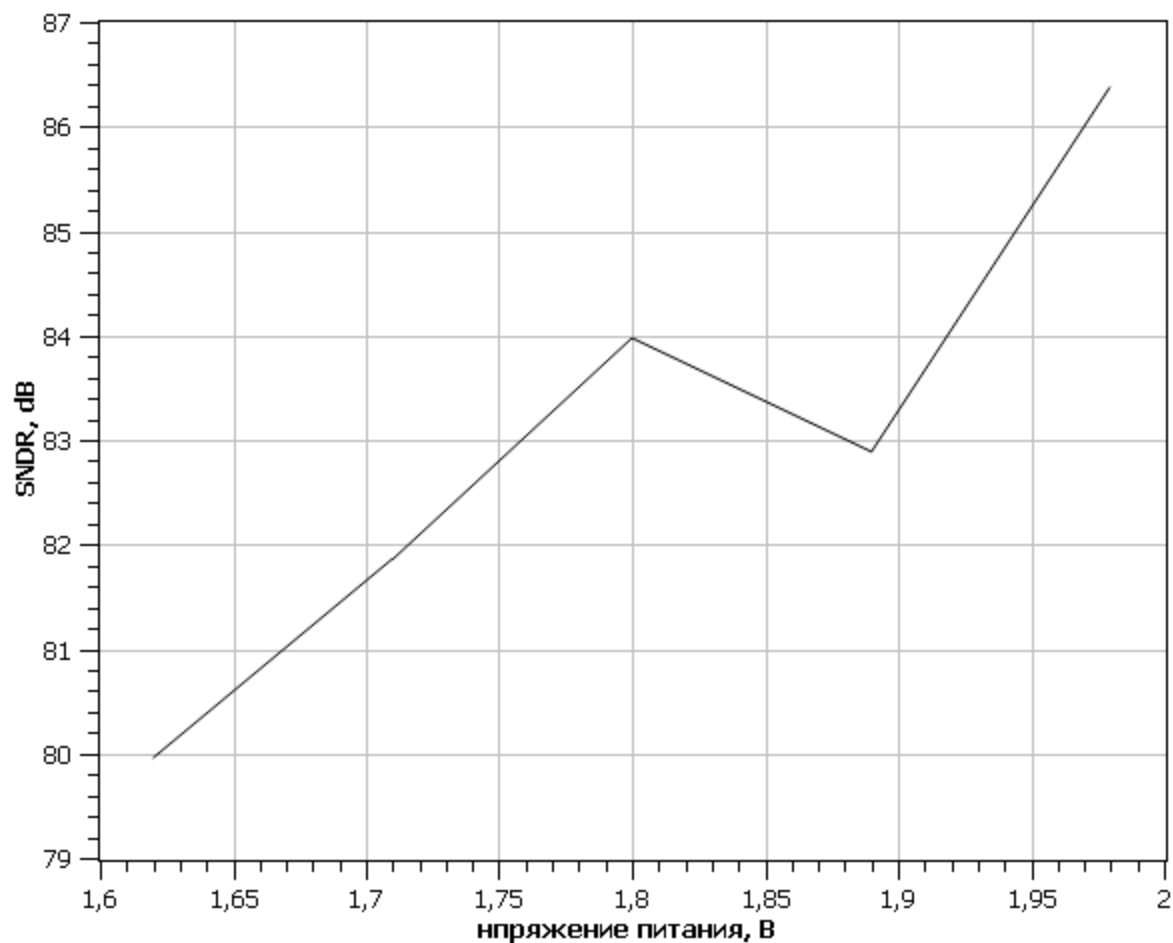


Рисунок 30 – Зависимость максимального SNDR от напряжения питания

Топология

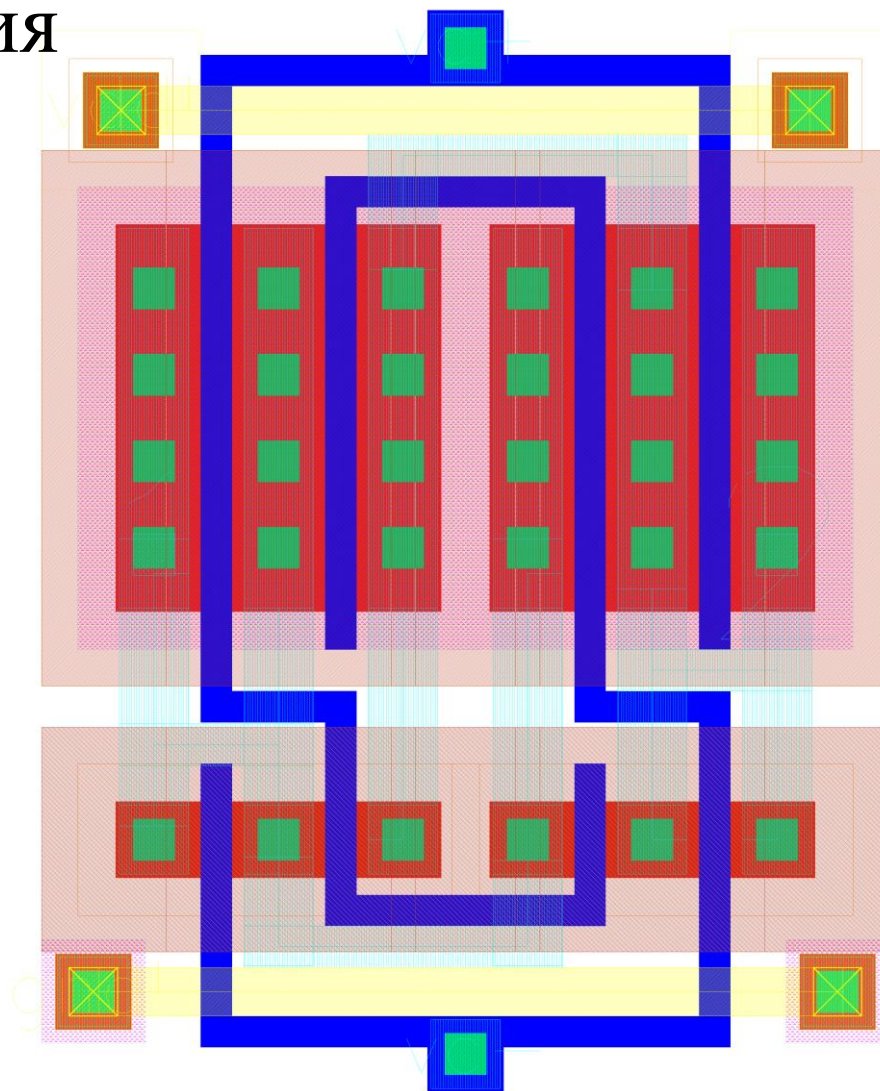


Рисунок 31 – Топология КМОП ключа

Топология

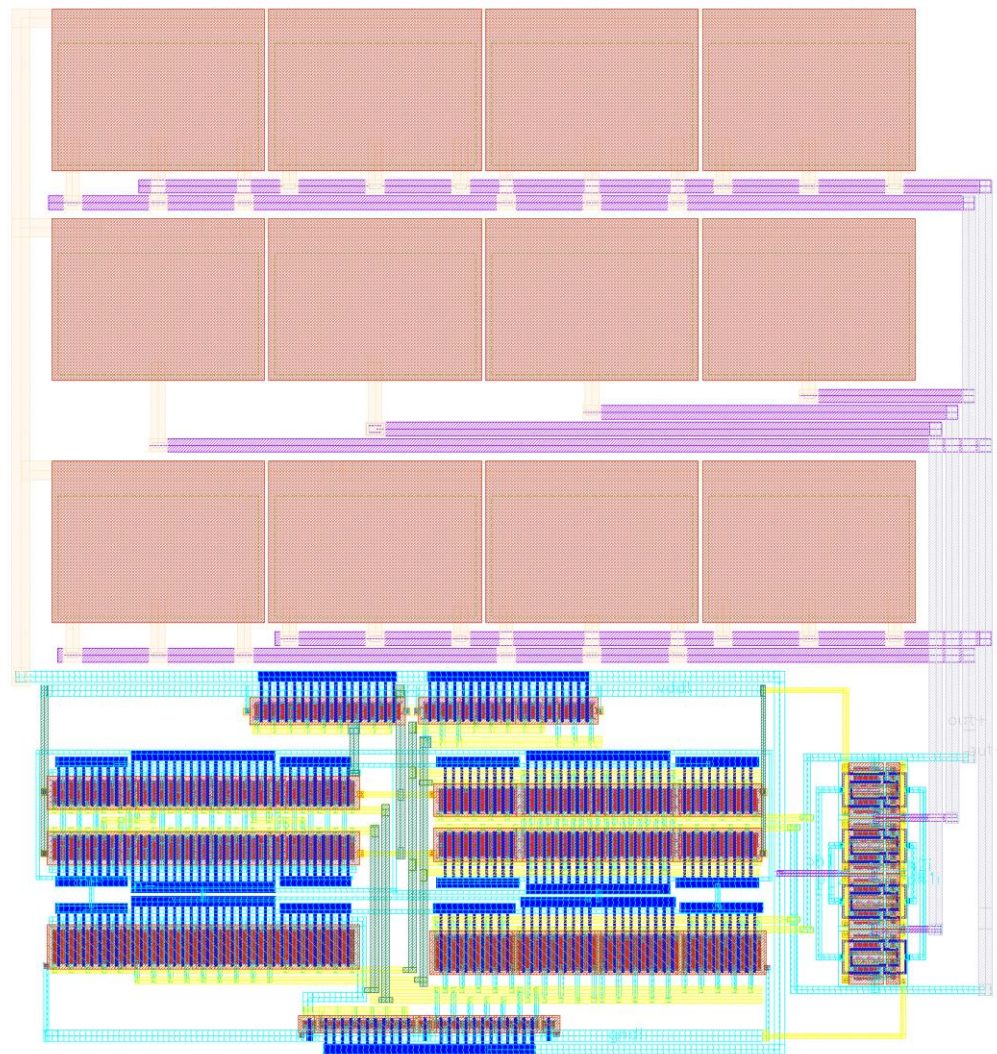


Рисунок 32 – Топология операционного транскондуктивного усилителя

Топология

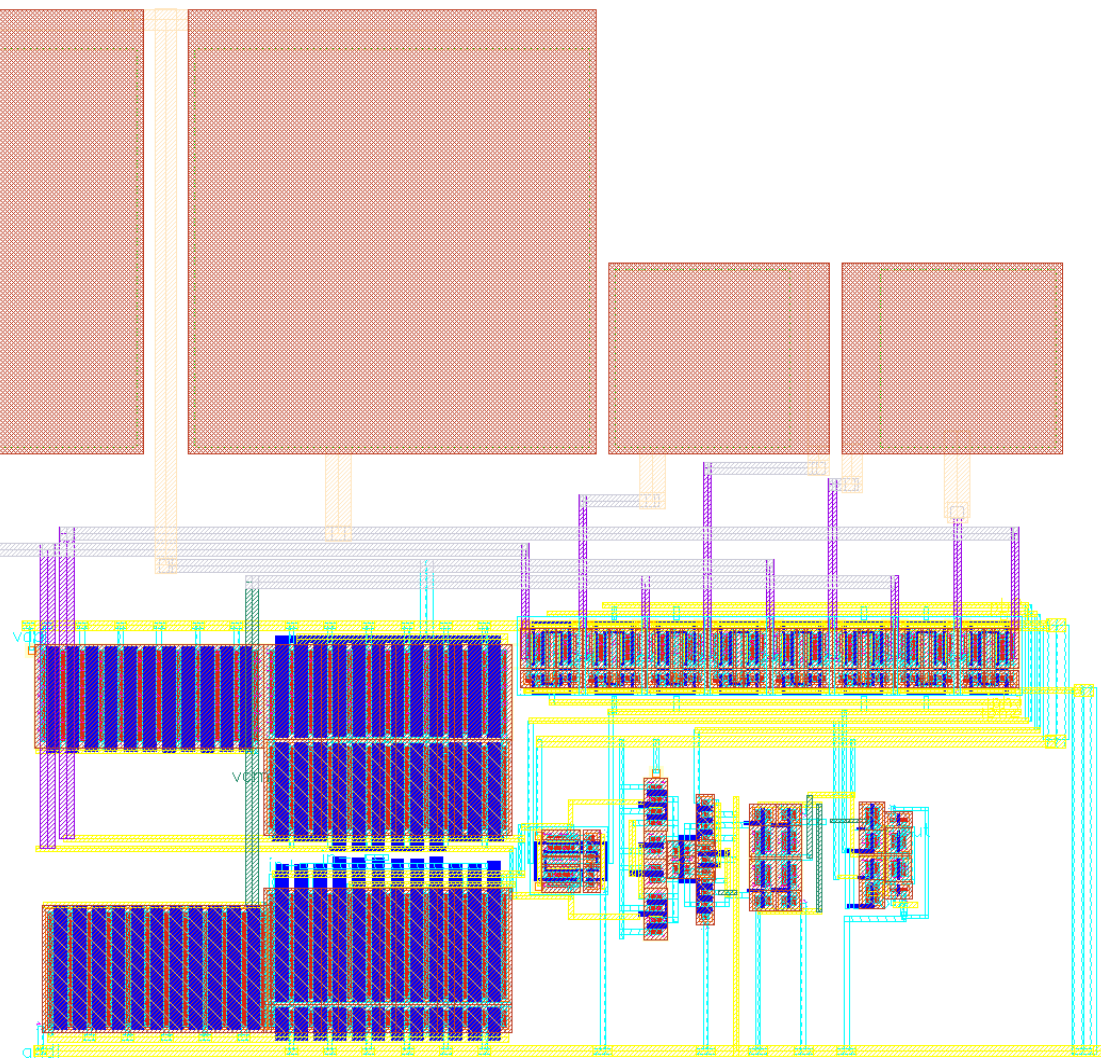


Рисунок 33 – Топология компаратора

Топология

331x574 мкм

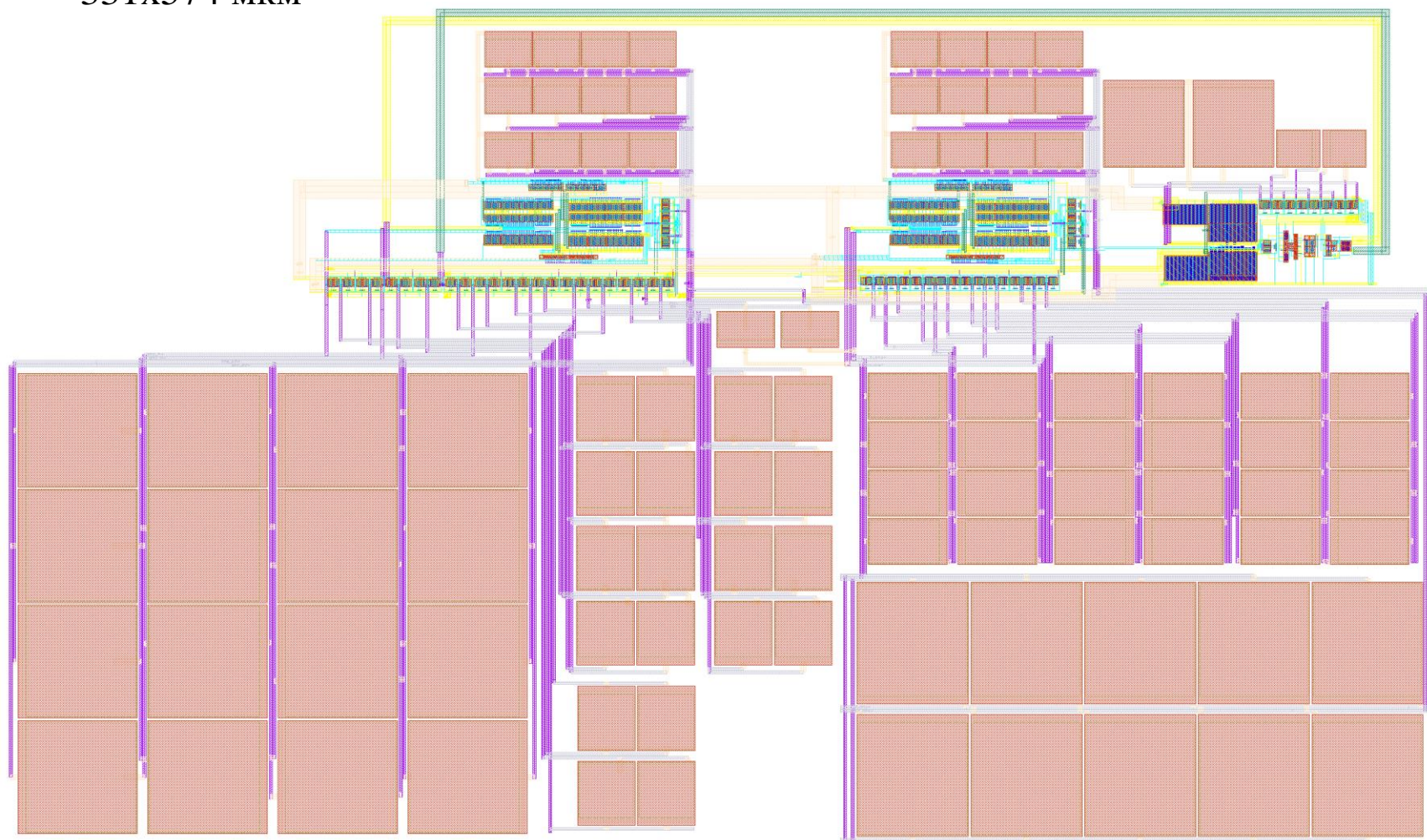


Рисунок 34 – Топология $\Sigma\Delta$ модулятора с применением метода двухфазной выборки с комбинированной связью и схемой сброса конденсаторов обратной связи

Топология

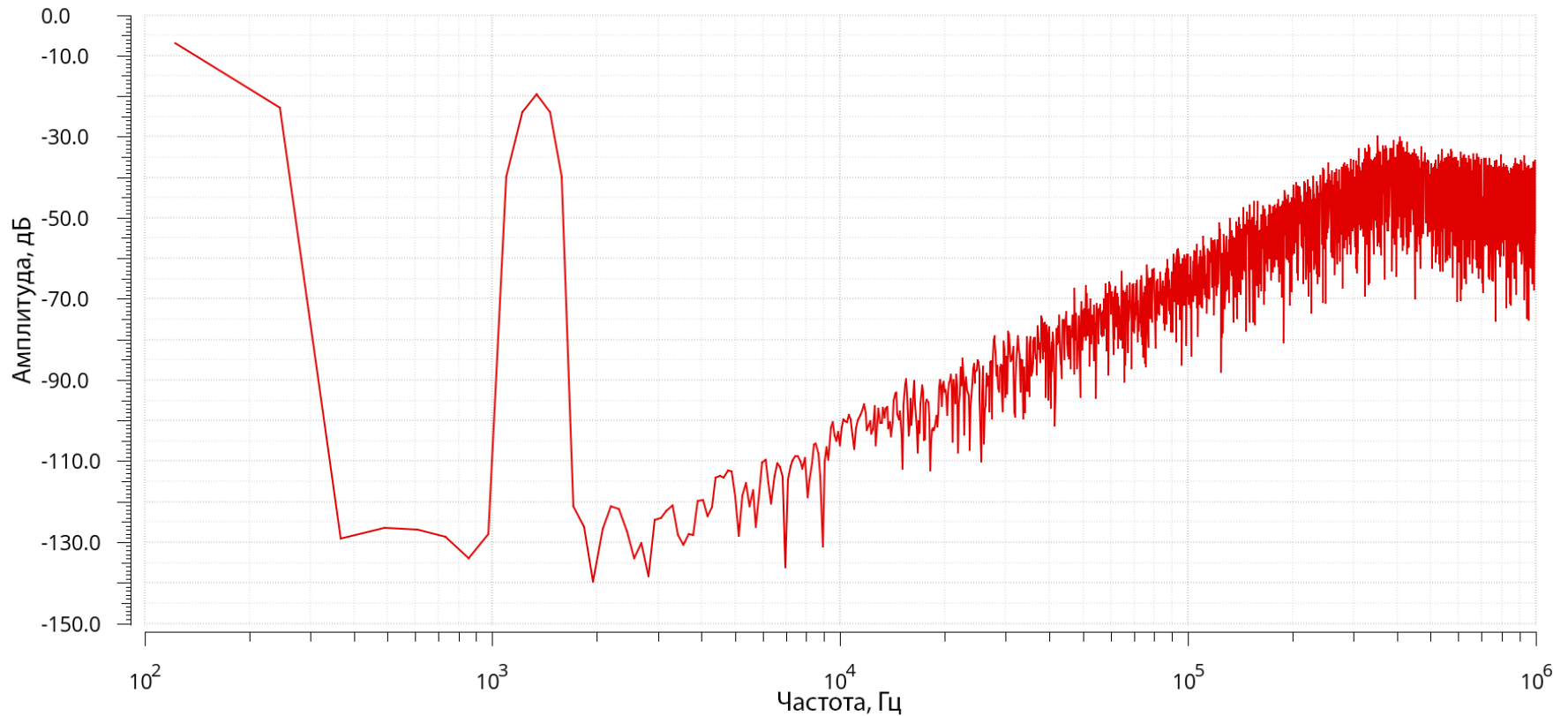


Рисунок 35 – Спектр выходного сигнала $\Sigma\Delta$ модулятора с применением метода двухфазной выборки с прямой связью с схемой сброса кондукторов обратной связи с учетом топологии

Заключение

- Построены и промоделированы базовые блоки, необходимые для построения сигма-дельта модулятора;
- Собраны и промоделированы схемы $\Sigma\Delta$ модулятора первого, второго порядка. Частота входного сигнала 1343 Гц, частота тактирующих импульсов 1 МГц, коэффициент передискретизации 128. Модуляторы имеют максимальное значение SNDR 55,7 дБ и 67,3 дБ соответственно;
- Собраны и промоделированы схемы $\Sigma\Delta$ модуляторов с использованием метода двухфазной выборки, рассмотрены разные модификации данных схем;
- Наилучший результат показала схема $\Sigma\Delta$ модулятора с применением метода двухфазной выборки с прямой связью и схемой сброса конденсаторов обратной связи. Максимальное значение SNDR составляет 84 дБ при амплитуде входного сигнала 0,15 В. Данная комбинация методов не использовалась ранее и позволяет уменьшить количество ключей и конденсаторов в интеграторе;
- Изучено изменение характеристик при изменении температуры от -40 до 85°C. SNDR не изменился более чем на 3 дБ ни в одном из случаев.