

Московский физико-технический институт  
(государственный университет)  
Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий  
Кафедра информатики и вычислительной техники

# **Датчик контроля качества технологического процесса stos090\_9M2T**

Выполнил: Москаленко А. М.  
Научный руководитель: к.т.н. Груздов Ф. А.  
Научный консультант: Ноздрин И. К.

2023

# Введение

1. Фабрика предоставляет модели топологических структур и документацию с их характеристиками
  2. Дизайн-центр на их основе проектирует чертёж кристалла и передаёт на фабрику
  3. Фабрика по полученному чертежу изготавливает в кремнии структуры и заявляет, что они соответствуют своим характеристикам
- Дизайн-центру необходимо проверить, насколько характеристики изготовленных топологических структур на кристалле соответствуют заявленным фабрикой

## **Проблема:**

В результате неидеальности технологического процесса, качество получаемых на кристалле транзисторов может меняться. В нашем случае критерием качества будет задержка транзисторов. Необходимо оценить, насколько задержка получаемых на кристалле транзисторов соответствует заявленной фабрикой в документации.

## **Решение:**

Для такой оценки применяют *датчик контроля качества технологического процесса*.

- В датчик встроен кольцевой генератор, состоящий из нечётного числа инверторов. Он производит колебания определённого периода, а счётчик считает их за период синхросигнала. На основании посчитанного числа колебаний определяется задержка одного инвертора.

**Колебания → Число → Оценка задержки транзисторов → Качество технологии**

# Цель работы

- Разработать датчик контроля качества технологического процесса *Микрон 90 нм*

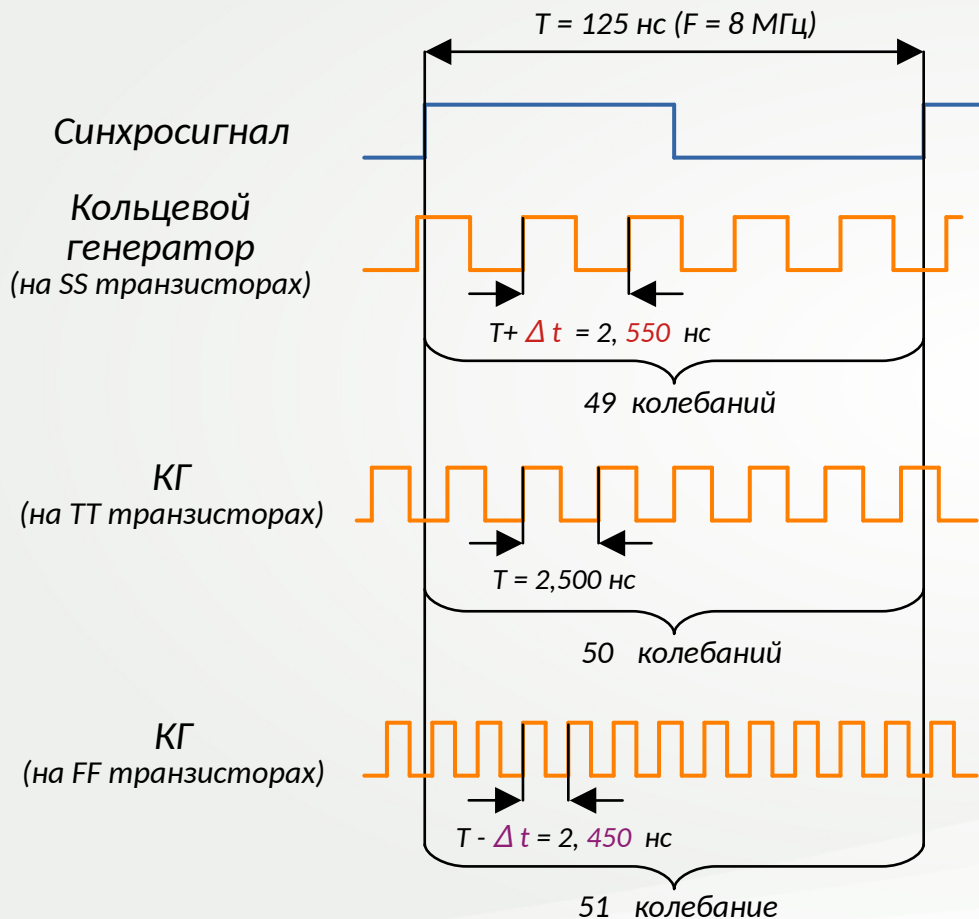
## Задачи:

1. Рассчитать параметры датчика
2. Выполнить логическое проектирование
  - Разработать схему датчика на уровне логических элементов
  - Описать схему на языке Verilog (Gate-level)
3. Выполнить топологическое проектирование
  - Синтезировать блок управления по стандартному маршруту
  - Создать кольцевые генераторы вручную (важно особое расположение)
4. Провести формальную верификацию и проверку на DRC и LVS
5. Разработать временную модель

# Принцип действия

- Датчик определяет задержку транзисторов
- Для определения задержки транзисторов используется структура, состоящая из нечётного числа последовательно соединённых инверторов – кольцевой генератор
  - Кольцевой генератор, благодаря нечётному числу инверторов, способен производить колебания. Период колебаний **рассчитан** при проектировании и **реализован** в генераторе на основании моделей, предоставленных фабрикой
  - Число колебаний считается за период приходящего снаружи синхросигнала;
  - Кольцевой генератор, изготовленный в датчике на кристалле выдаст своё число колебаний, которое мы сравним с рассчитанным и сделаем вывод о том, быстрые или медленные получились транзисторы в кремнии

# Расчёт параметров датчика

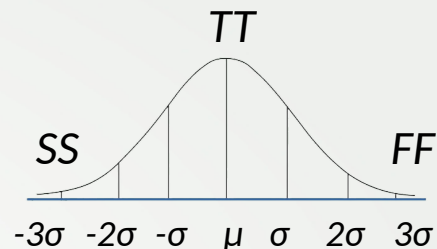


## Расчёт периода КГ:

Начальные условия:

- 1)  $T_{\text{сумматора}} = 2,416 \text{ нс} \Rightarrow T_{\text{колебания}} > 2,416 \text{ нс}$
- 2)  $T_{\text{clk}} = 125 \text{ нс}$
- 3)  $\Delta t = 50 \text{ нс}$

$$\begin{cases} \frac{T_{\text{clk}}}{T_{\text{колебания}} + \Delta t} = n \\ \frac{T_{\text{clk}}}{T_{\text{колебания}}} = n + 1 \end{cases} \Rightarrow$$



$$T_{\text{колебания расчётное}} = 2,475 \text{ нс}$$

$T_{\text{SVT}} = 2,54 \text{ нс}$  (61 инвертор)

$T_{\text{HVT}} = 2,57 \text{ нс}$  (41 инвертор)

## Расчёт разрядности счётчика:

Условия моделирования:

- 1) Угол FF  $\Rightarrow T_{\text{min}} = 1,63 \text{ нс} \Rightarrow n = 153 \text{ колебания}$
  - 2)  $T = -40^\circ \text{C}$
  - 3)  $V = 1,32 \text{ В}$
  - 4)  $T_{\text{clk}} = 250 \text{ нс}$
- $N = \lceil \log_2 153 \rceil = 8$
- $N = 8 + 1 = 9$

# Пример определения задержки SVT-инверторов в изготовленном датчике

**Период кольцевого генератора:**

$$T_{\text{колебания}} = \frac{125 \text{ нс}}{50 \text{ колебаний}} = 2,500 \text{ нс}$$

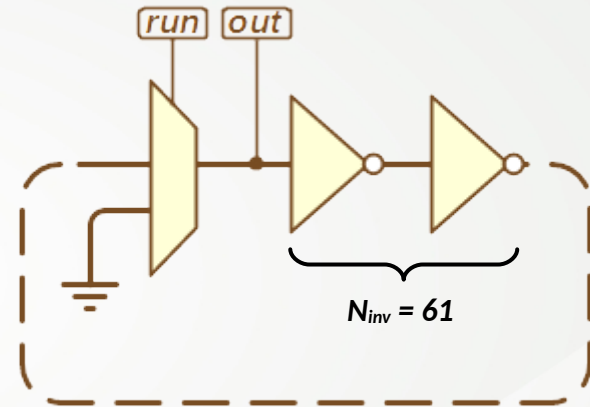
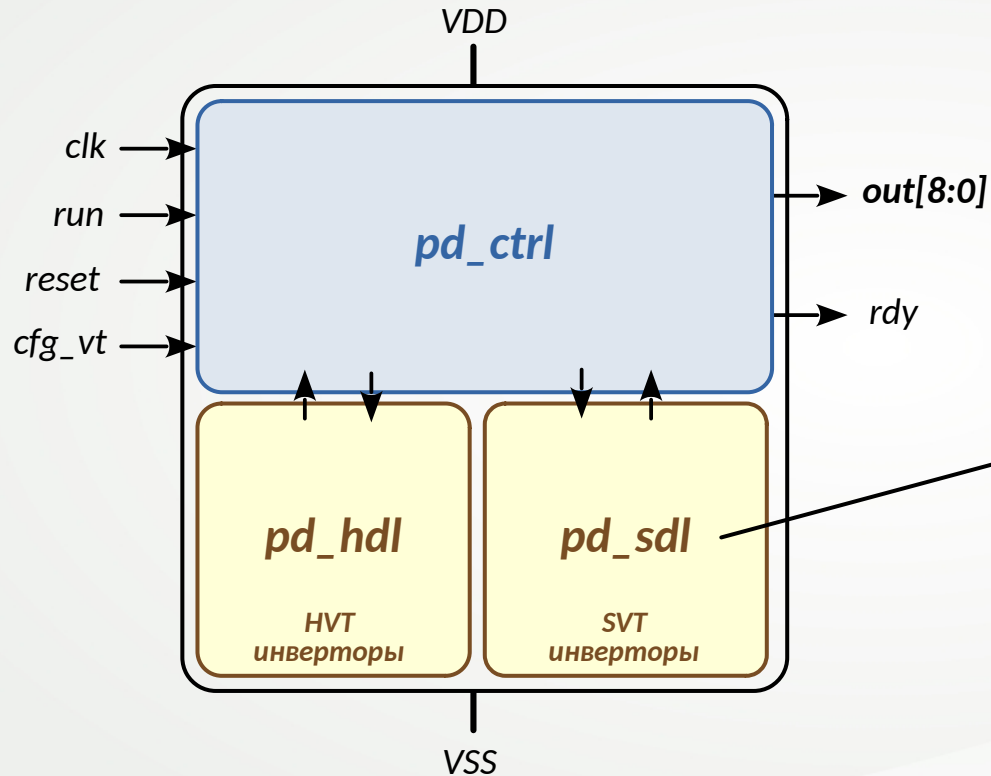
**Задержка одного SVT-инвертора:**

$$T_{\text{инвертора}} = \frac{2,500 \text{ нс}}{61 \text{ инвертор} * 2} = 0,0205 \text{ нс} = 20,5 \text{ пс}$$

**Точность:**

$$\Delta t_{\text{инвертора}} = \frac{0,050 \text{ нс}}{61 \text{ инвертор} * 2} = 0,00041 \text{ нс} = 0,4 \text{ пс}$$

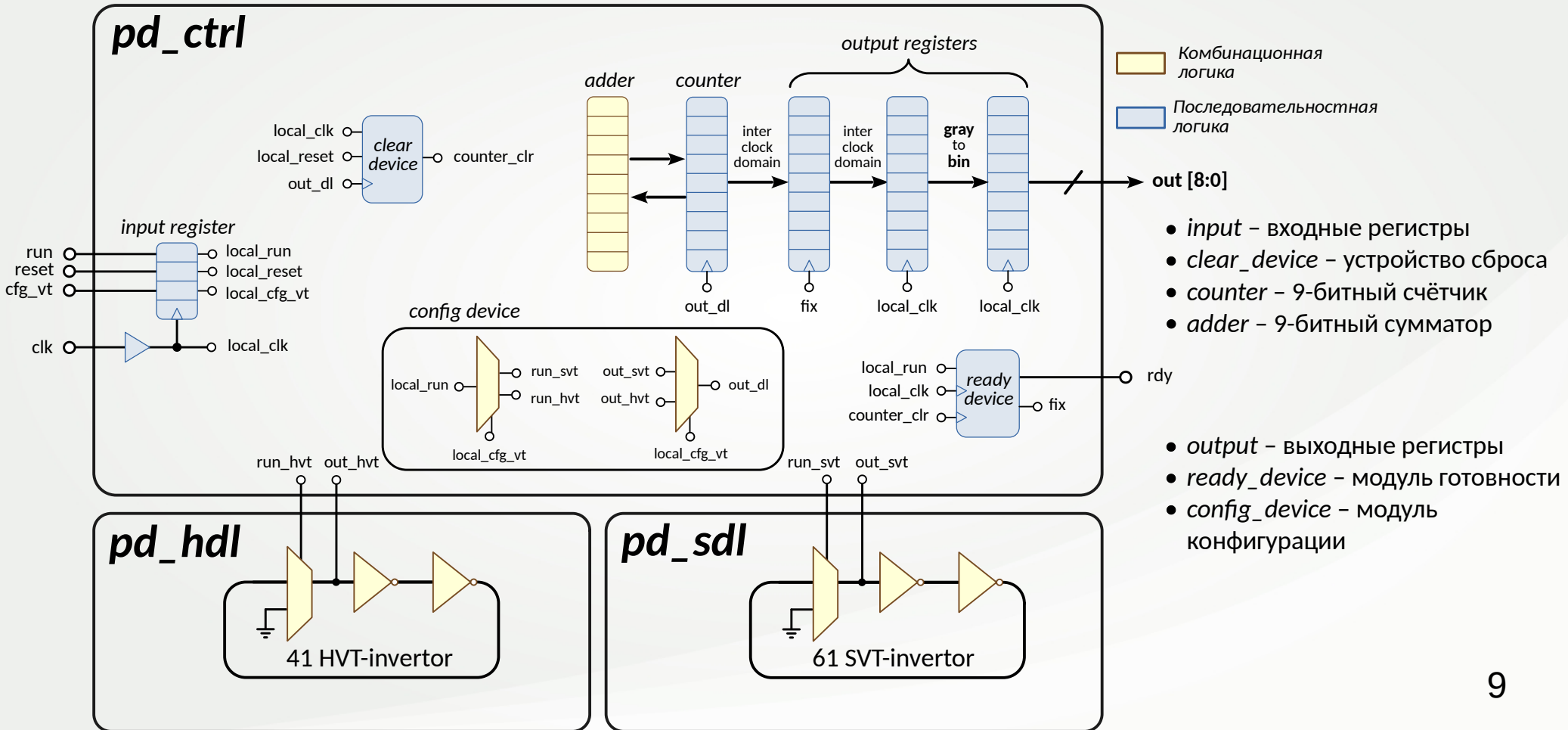
# Структурная схема датчика



- SVT – standart voltage transistor
- HVT – high voltage transistor



# Структура датчика контроля качества техпроцесса



# Топологическое проектирование

1. Ручная разработка топологии кольцевых генераторов

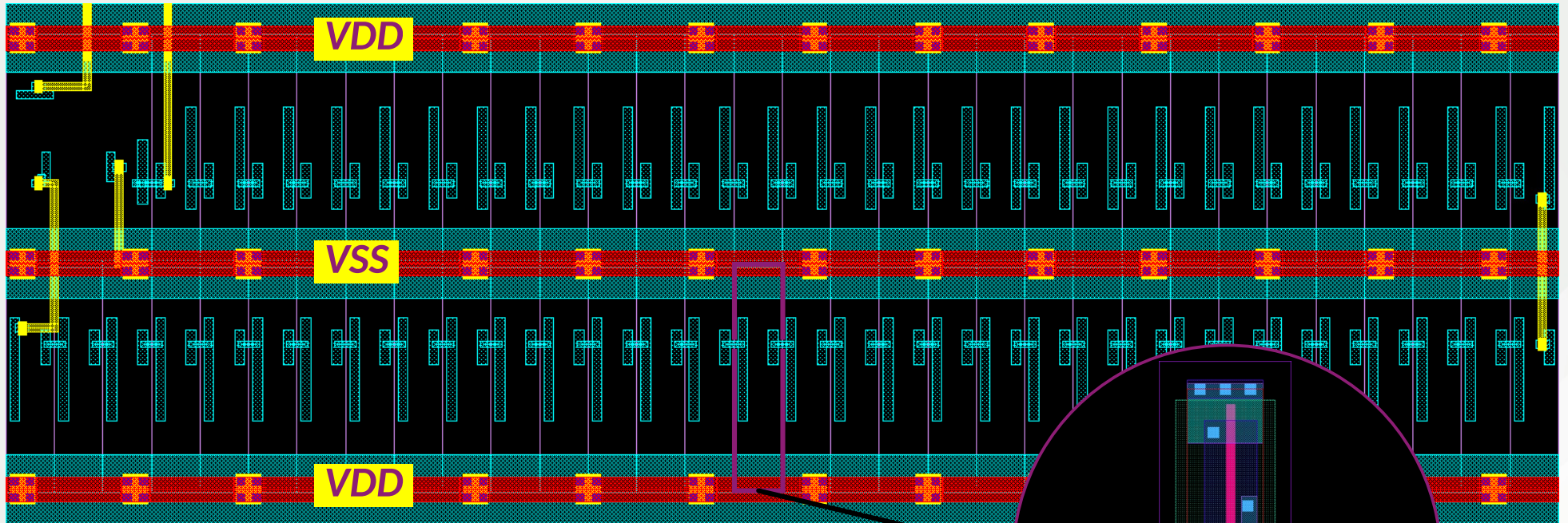
*pd\_sdl* и *pd\_hdl*

2. Маршрут проектирования подблока *pd\_ctrl*

- Синтез Verilog-модели подблока
- Размещение стандартных ячеек
- Построение сетки земли-питания
- Трассирование
- Финализация

# Топология подблока *pd\_sdl*

`run_svt` `out_svt`



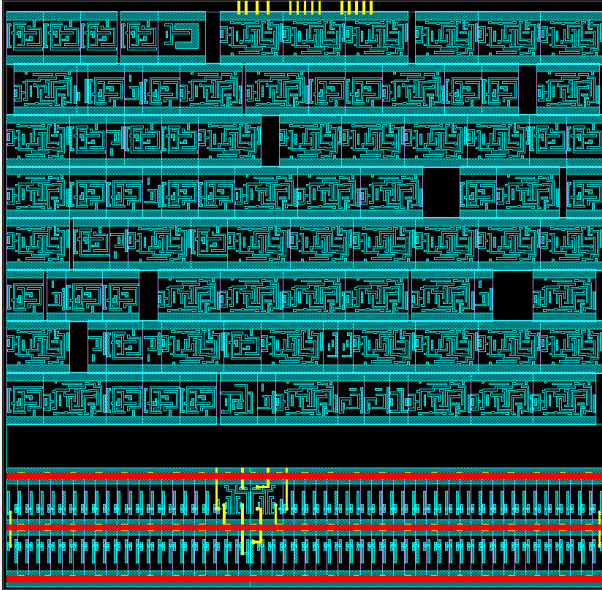
Кольцевой генератор на SVT-инверторах

Требования:

- Чётное число рядов
- Специальная ширина подблока
- 3 слоя металлизации

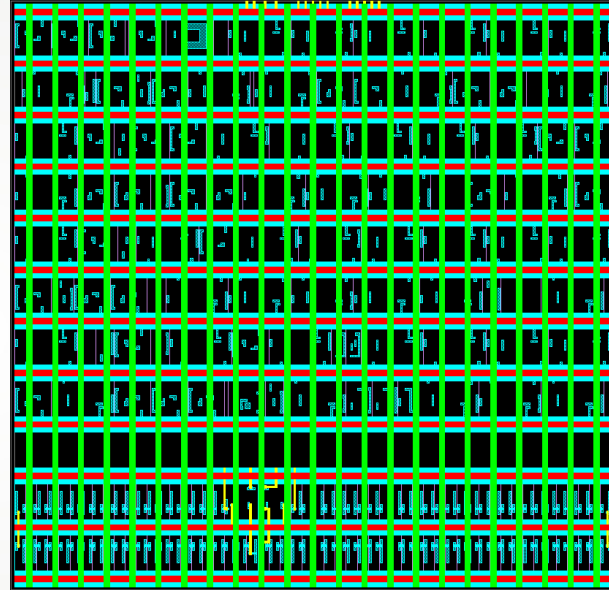
# Размещение ячеек и построение сетки PG

1.



- Синтез подблока *pd\_ctrl*
- Размещение кольцевых генераторов
- Размещение ячеек

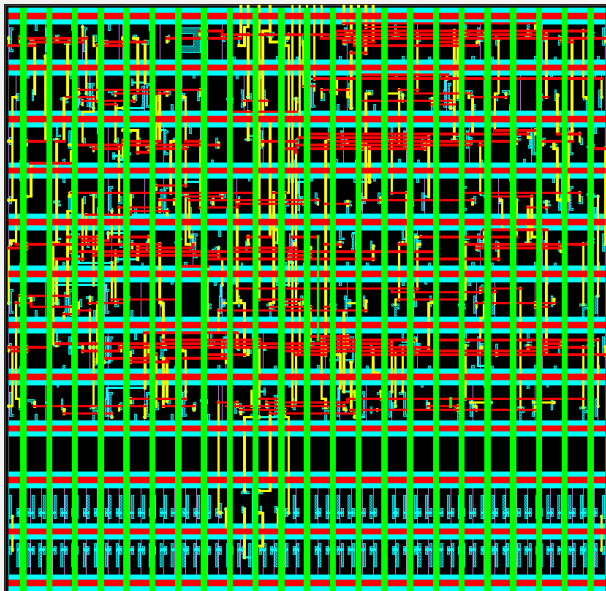
2.



- Построение сетки земли-питания (PG) в слоях *M1-M4*

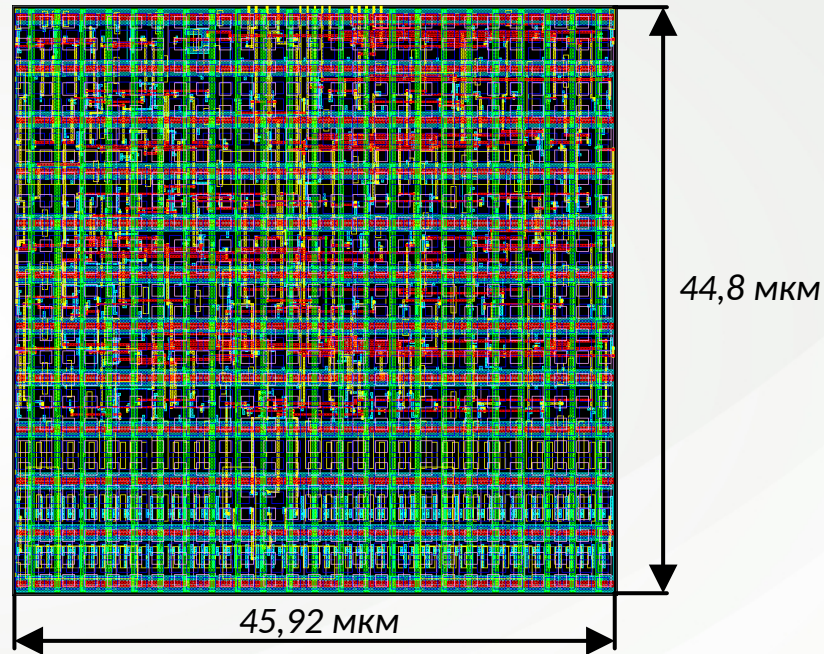
# Трассирование и финализация

3.



- Трассирование сигнальных проводников в слоях *M1-M3*

4.

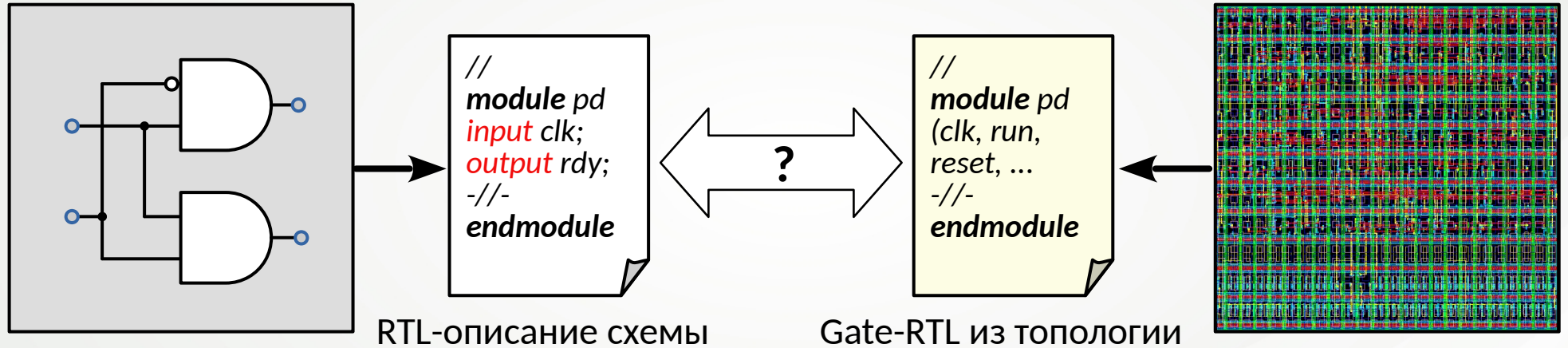


- Вставка DECAP'ов и *filler-cell*'ов
- Заливка *metal-fill*
- Финализация



# Формальная верификация и проверки DRC и LVS

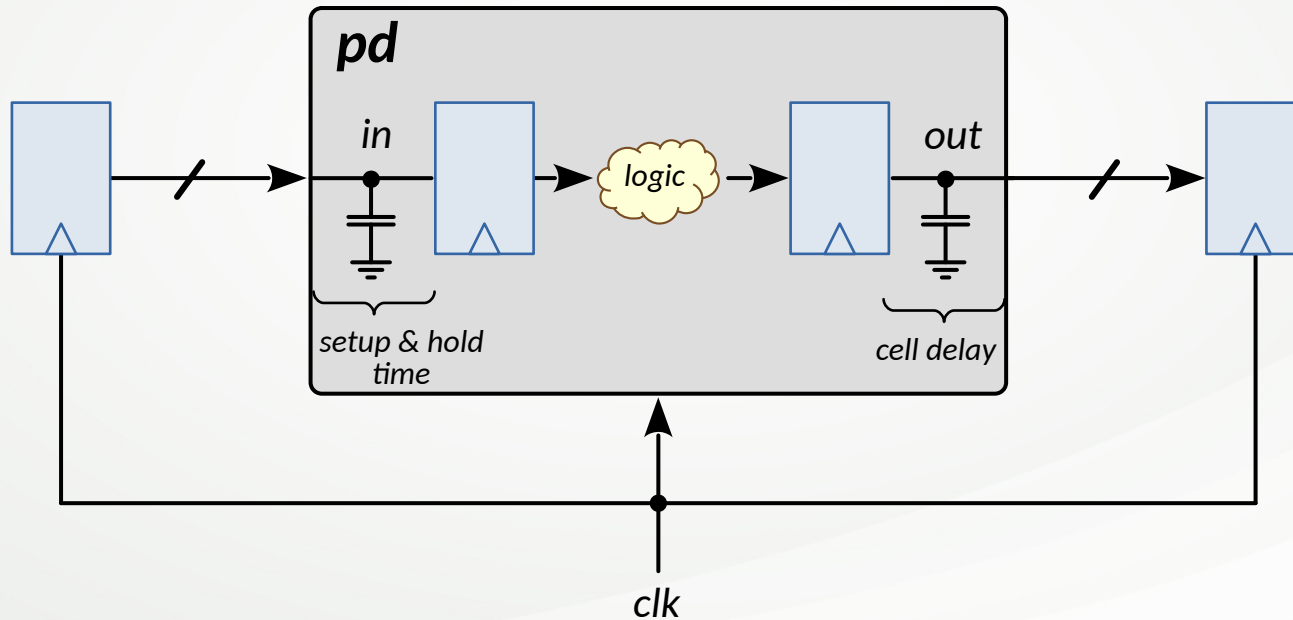
- Формальная верификация - проверка эквивалентности схемы уровня регистровых передач (RTL) и gate-нетлиста, экстрагированного из топологии схемы



- DRC - проверка на выполнение правил проектирования
- LVS - проверка на логическое соответствие gate-нетлиста(+.spi) и GDS экстрагированных из топологии

# Разработка временной модели

- Временная модель - файл с описанием времён *setup* и *hold* для входных портов + задержки и фронты для выходных портов



# Характеристики блока

- Датчик качества обладает следующими характеристиками:
  - Площадь блока: 2 058 мкм<sup>2</sup>
  - Диапазон рабочих частот: 4-8 МГц
  - Диапазон рабочих напряжений: 1,08 – 1,32 В (1,2 В ± 10%)
  - Число слоёв металлизации: 4
  - Потребляемая мощность: 492 мкВт ( F = 8 МГц)



# Результаты работы

- Разработан датчик контроля качества технологического процесса smos090\_9M2T
  1. Расчитаны параметры датчика
  2. Выполнено логическое проектирование
  3. Выполнено топологическое проектирование
  4. Проведена формальная верификация и проверки на DRC/LVS
  5. Разработана временная модель устройства

**\*Датчик контроля качества будет оформлен в виде IP-блока с сопроводительной документацией**