

Московский физико-технический институт
(государственный университет)
Физтех-школа радиотехники и компьютерных
технологий

Факультет радиотехники и кибернетики
Кафедра информатики и вычислительной техники

**Синтезатор синхросигналов на базе
схемы автоподстройки фазы,
разработанный
по технологическим нормам 16 нм**

**Выпускная квалификационная работа
(магистерская диссертация)**

Научный руководитель: к. т. н. Мальшин А.В.

Студент: Портнова Л.А. , 213 группа

Цель работы

Разработка синтезатора синхросигналов для процессоров «Эльбрус-12С» и «Эльбрус-2С3» по технологическим нормам 16 нм, удовлетворяющий следующим требованиям:

- изменение частоты в реальном времени;
- диапазон входного базового синхросигнала от 1.5 ГГц до 2.5 ГГц;
- диапазон синтезируемого синхросигнала от 0.75 ГГц до 5 ГГц;
- диапазон температур от -40C° до $+125\text{C}^{\circ}$;
- напряжение питания $0.8\text{В} \pm 10\%$.

Задачи

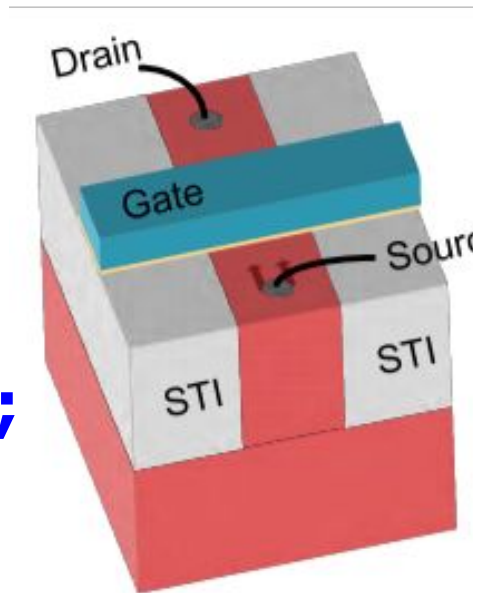
- Исследование особенностей проектирования по технологическим нормам 16 нм;
- Реализация схемотехники и топологии заказных блоков, входящих в состав синтезатора;
- Анализ работоспособности блока с учетом особенностей технологических норм 16 нм.

Технологические нормы 16 нм

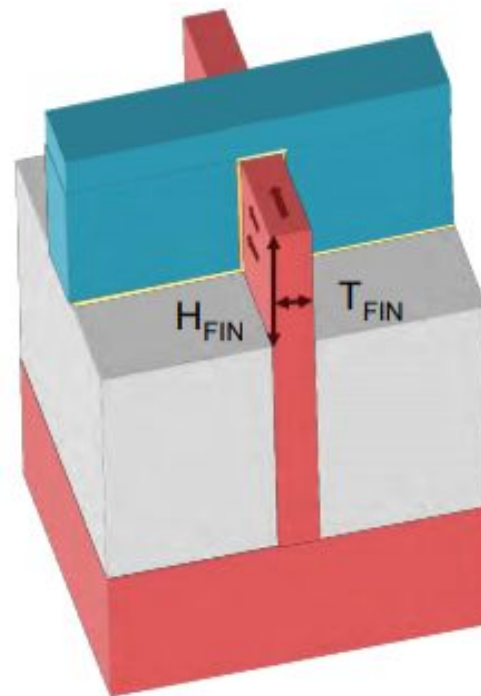
FinFet транзистор vs планарный транзистор

2D-планарный транзистор (MOSFet)

- $W = \text{variable};$
- $L = \text{const};$



$$i \sim L * W;$$



$$i \sim N_{\text{Fin}} * (2 * H + T) * L;$$

3D-FinFet транзистор

- $H = \text{const};$
- $T = \text{const};$
- $L = \text{const};$

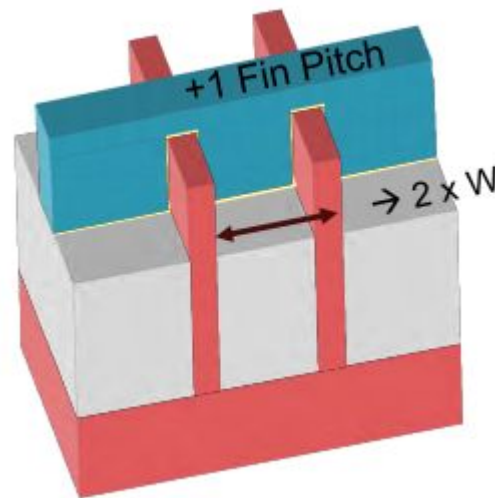
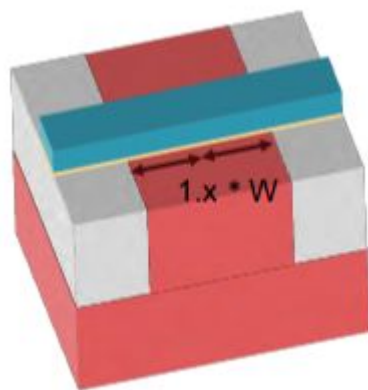
Вывод: 1. Удельная мощность - FinFet > MOSFet;
2. Ток утечки - FinFet < MOSFet.

Технологические нормы 16 нм

Изменение удельной мощности транзисторов

Планарный транзистор

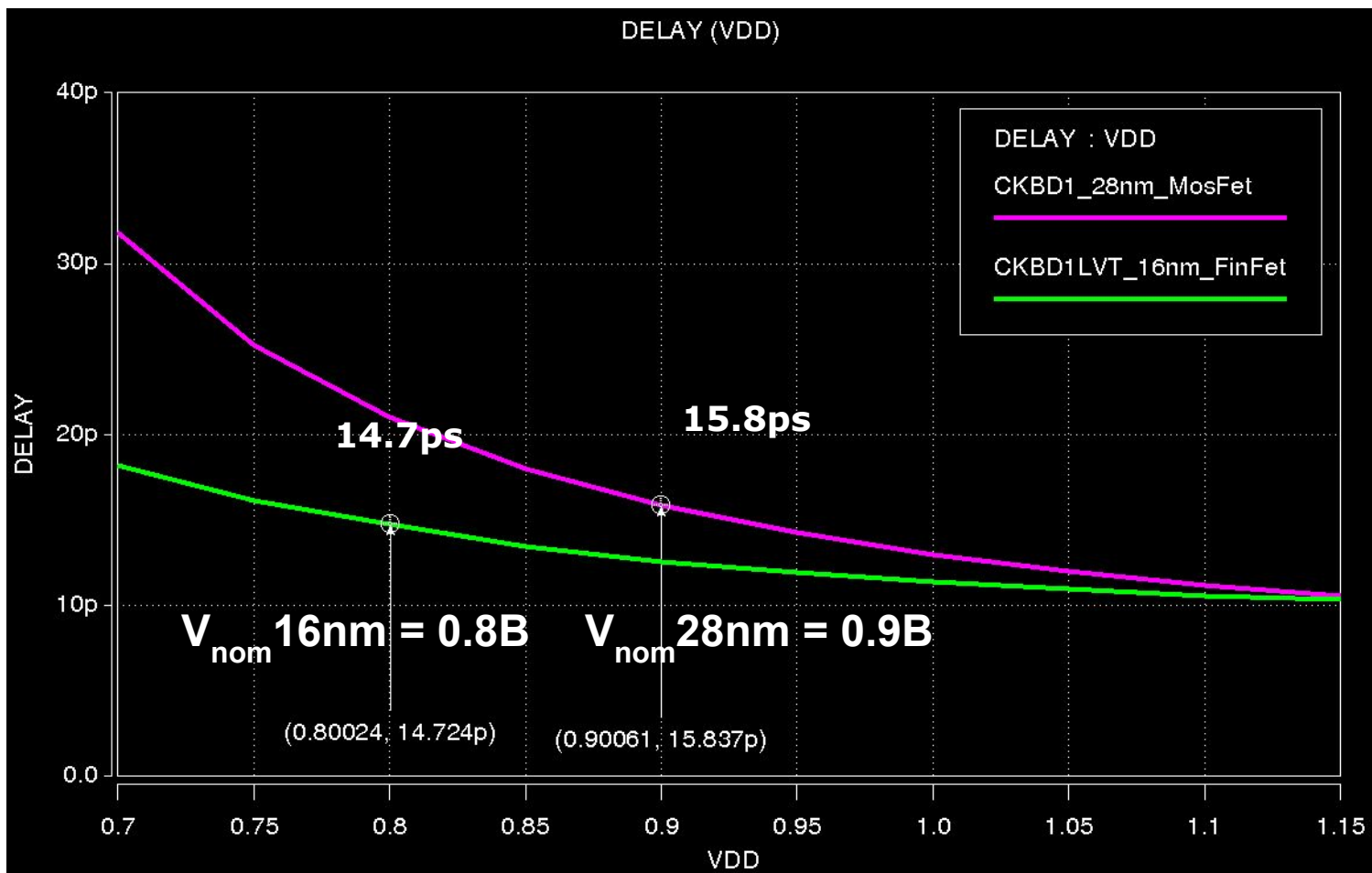
FINFet транзистор



Вывод: изменение мощности (ширины канала) планарных транзисторов практически непрерывно; FINFet транзистора - дискретно (за счет увеличения количества FIN'ов).

Технологические нормы 16 нм

Анализ быстродействия логических элементов



Вывод: при номинале питания технология на 16 нм дает выигрыш $\sim 10\%$ в быстродействии относительно технологии на 28 нм.

Технологические нормы 16 нм

Выводы

Переход на технологию 16 нм привносит:

- **Почти двукратное увеличение количества правил проектирования**
*28nm = 1.900 vs 16nm = 3.400
- **Увеличение быстродействия на 10-20%**
*при одинаковой потребляемой мощности
- **Снижение потребляемой мощности на 25-40%**
*при одинаковой рабочей частоте
- **Уменьшение площади на 30% меньше на технологии 16 нм**

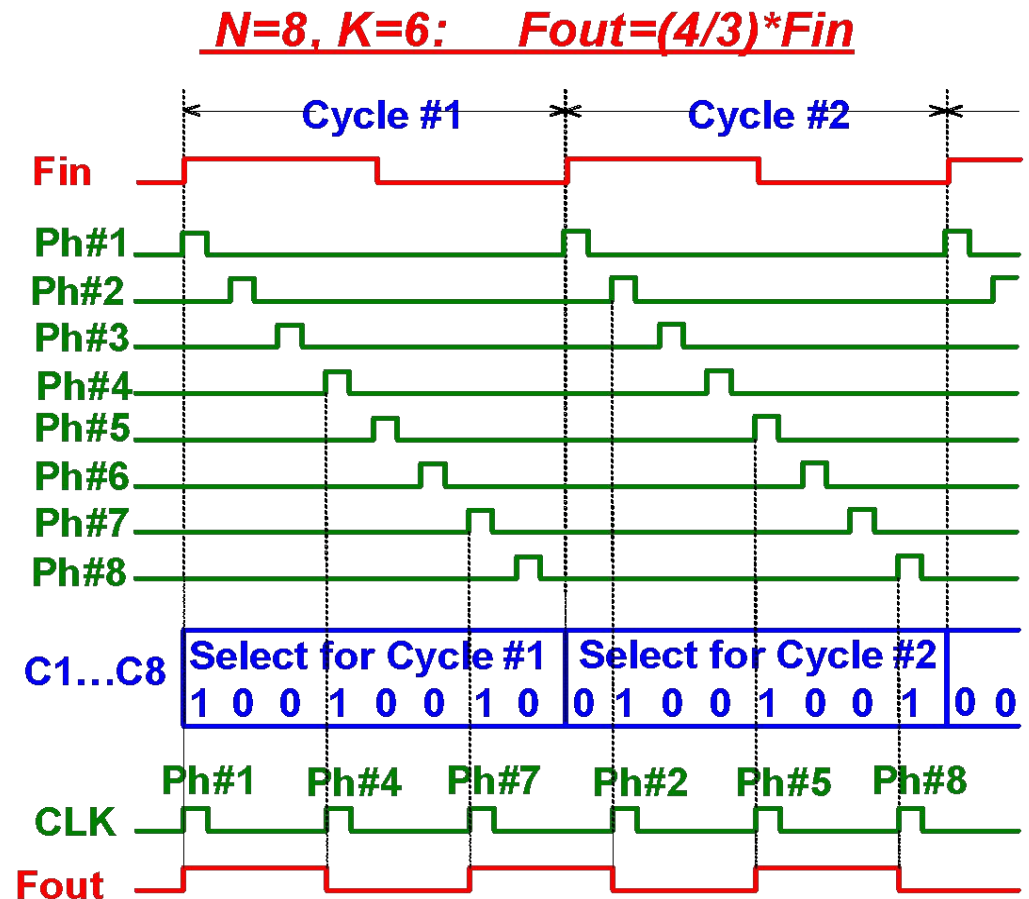
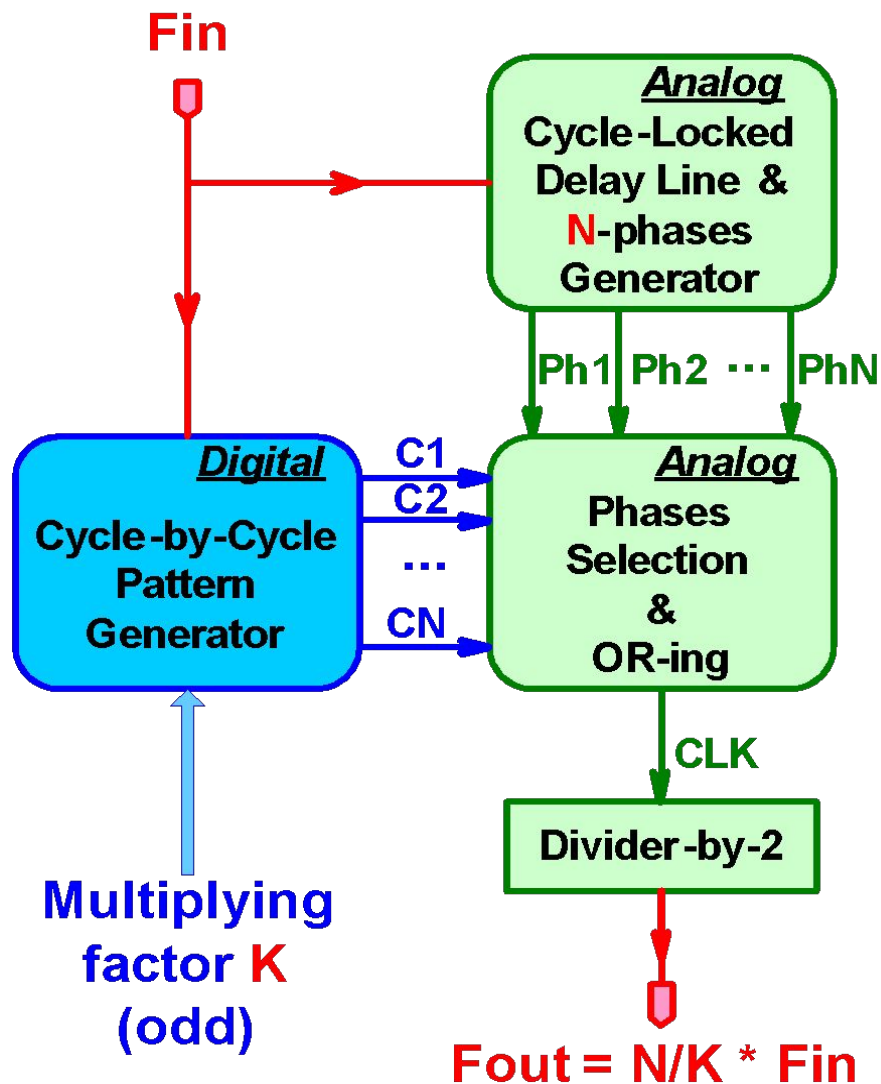
Реализация синтезатора

Особенности

- позволяет из одного опорного высокочастотного сигнала синтезировать до четырех рабочих синхросигналов;
- диапазон коэффициентов умножения частоты каждого рабочих синхросигналов - $\frac{1}{2}$ до 2;
- позволяет под управлением ОС выполнять в реальном времени изменение частот синхронизации без прерывания вычислительного процесса.

Реализация синтезатора

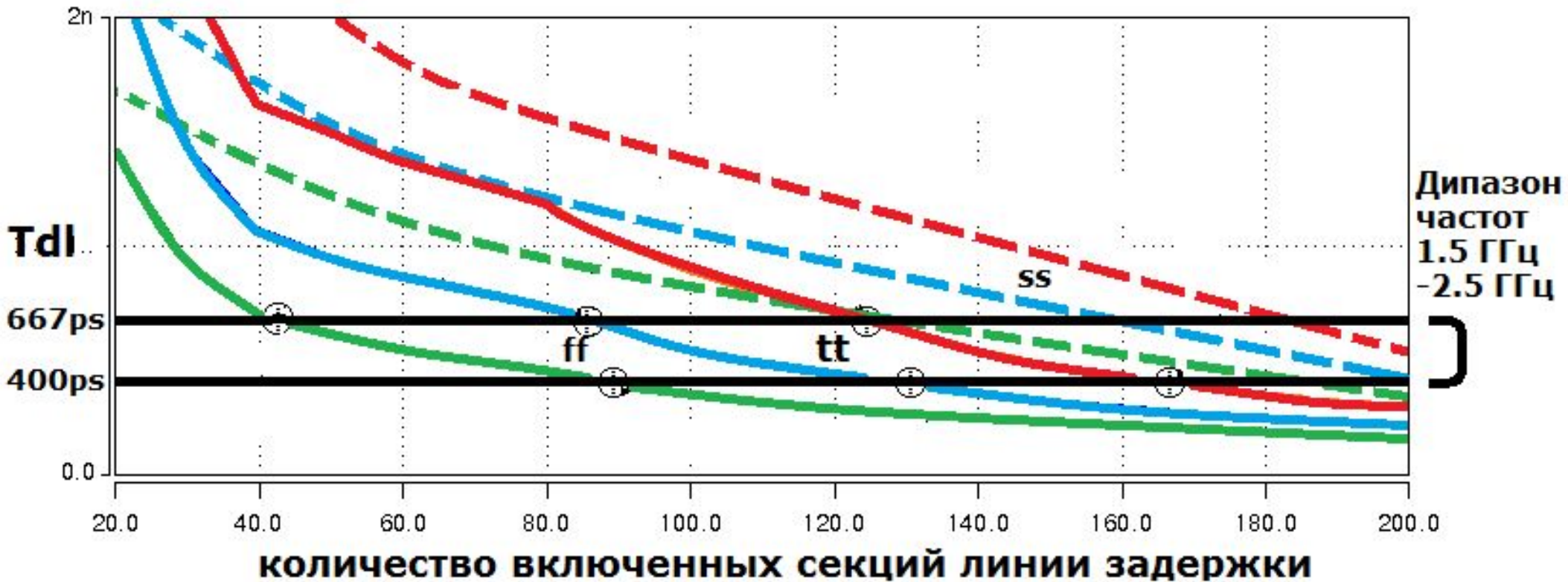
Блок-схема синтезатора



Реализация синтезатора

Новая структура линии задержки

Использование транзисторов разных порогов:



Вывод:

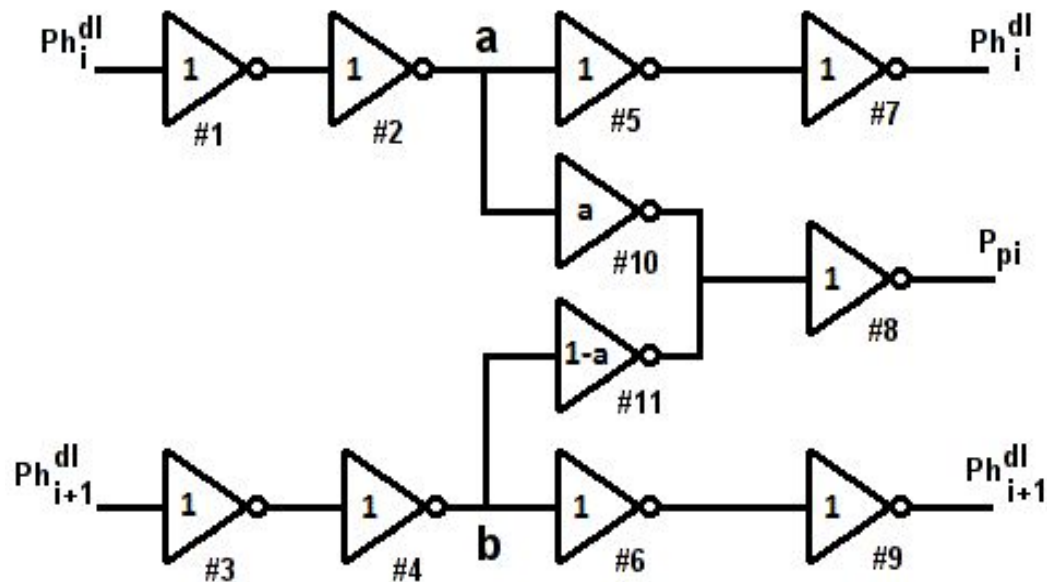
1. Обеспечивает требование по высокой частоте;
2. Увеличивает диапазон входных частот;
3. Уменьшает погрешности на низких частотах.

Реализация синтезатора

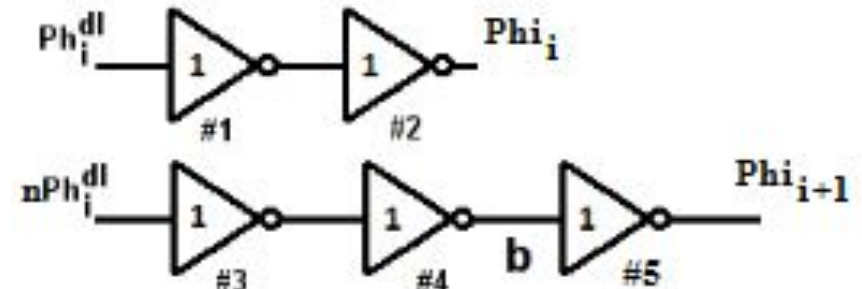
Оптимизация структуры генератора фаз

Использование схемы фазовращателя вместо схемы интерполятора:

интерполятор



фазовращатель



- Вывод:**
1. Повышение точности выходных сигналов;
 2. Увеличение площади и потребления блока.

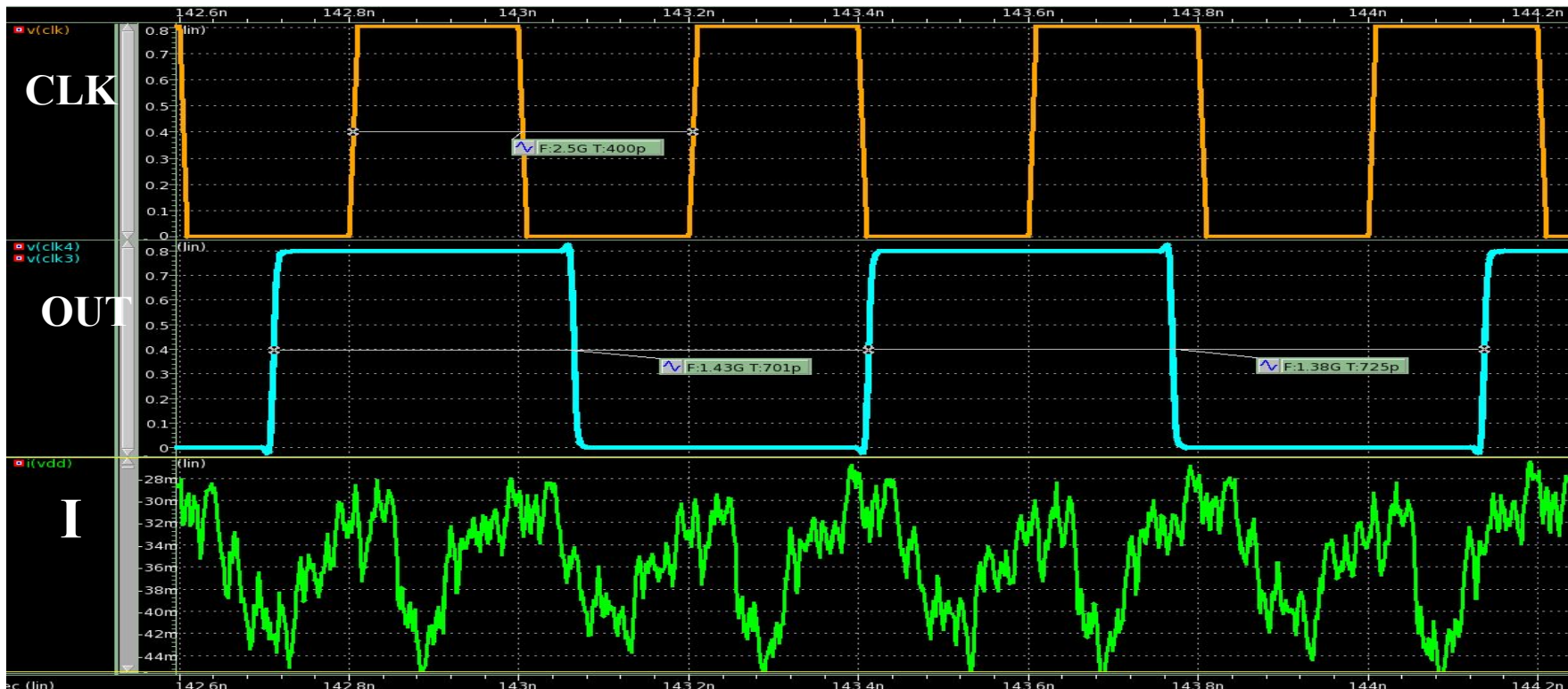
Анализ работоспособности

- Проверка функционирования в PVT-диапазоне (process / voltage / temperature);
- Анализ процесса электромиграции сигнальных проводов;
- Анализ динамического падения напряжения в сетке земли и питания;
- Анализ саморазогрева.

Анализ работоспособности

Падение напряжения сетки земли-питания

- Динамическое падение напряжения в нижних слоях металлизации в рабочем режиме составляет 40-50 мВ по VDD и по VSS (порядка 10% от VDD);
- Диаграммы выходных сигналов при 10% падении напряжения:



Анализ работоспособности

Падение напряжения сетки земли-питания

Frequency	Period
1.37G	730p
1.38G	726p
1.36G	733p
1.42G	704p
1.37G	731p
1.37G	731p
1.35G	742p

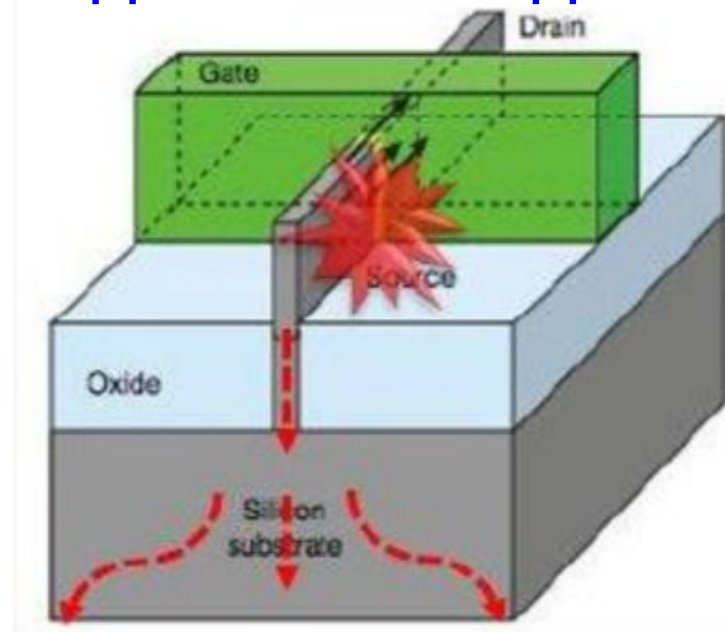
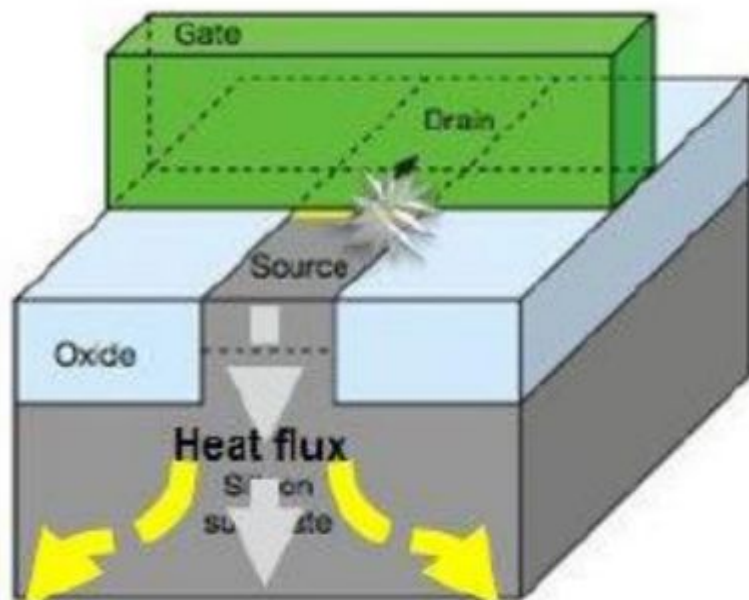
- Входная частота:
2.5 ГГц (400 ps);
- Коэффициент умножения:
16/29;
- Ожидаемая выходная частота:
1.379 ГГц (725 ps);
- Фактическая выходная частота:
1.35 ГГц - 1.42 ГГц;
- Джиттер:
1-21ps (0 - 2.9%).

Вывод: Падение напряжения в системе земли/питания вносит основной вклад в джиттер выходного сигнала, но не является критическим для схема.

Анализ работоспособности Саморазогрев

FinFet транзисторы более подвержены саморазогреву:

- в связи с узкой и высокой структурой Fin'a;
- из-за меньшей теплопроводностью подложки.



Вывод: с быстрым изменением температуры (нагреванием) транзисторов может быть связано заметное уменьшение времени жизни схемы.

Анализ работоспособности

Саморазогрев

Instance	dtemperature
xbfs.XXIdpg/Xbeat2_cnt_reg_0__beat2_cnt_reg_2_/MMM8	5.917e+00
xbfs.XXIdpg/Xbeat4_cnt_reg_3__beat4_cnt_reg_0_/MMM8	5.892e+00
xbfs.XXIdpg/Xbeat3_cnt_reg_2__beat1_cnt_reg_2_/MMM8	5.827e+00
xbfs.XXIctrl/Xalter4_0_reg/MMM8	5.788e+00
xbfs.XXIdpg/Xbeat1_cnt_reg_3__beat3_cnt_reg_3_/MMM8	5.750e+00
xbfs.XXIctrl/Xalter2_0_reg/MMM8	5.722e+00
xbfs.XXIctrl/Xcntf_reg_0_/MMM8	5.666e+00
xbfs.XXIctrl/Xfilter_adjust_i_reg_1_/MMM54	5.581e+00
xbfs.XXIctrl/Xfilter_adjust_i_reg_2_/MMM54	5.561e+00
xbfs.XXIdpg/Xalter4_clk_f0_reg_alter3_clk_f0_reg/MMM8	5.549e+00
xbfs.XXIdpg/XCTS_cts_trgdly_3224/MMM1_2	5.487e+00
xbfs.XXIdpg/XCTS_cts_trgdly_3224/MMM1_7	5.480e+00
xbfs.XXIdpg/XCTS_cts_trgdly_3224/MMM1_1	5.479e+00

Вывод: максимальное увеличение температуры происходит в части синтезатора, выполненной автоматически, и составляет **6 С°**; это не отражается на времени жизни схемы, равно как и на временных характеристиках

Результаты

Физические параметры синтезатора

- **Геометрические размеры:**
 - $Y = 53.168$ мкм (в направлении поликремния);
 - $X = 119.253$ мкм;
 - Площадь = 6340.4 мкм² (0.00634 мм²);
- **Количество слоев металлизации:** 12 (с M1 по M12);
- **Емкость шин питание-земля:** ~ 125 пФ (типовое значение)
- **Потребляемая мощность**
 - Типовая : 15.25 мВт/ГГц
 - (ток потребления: 19.07 мА/ГГц)
 - Максимальная : 25.24 мВт/ГГц
 - (ток потребления: 28.68 мА/ГГц)

Результаты

Параметры выходных синхросигналов

- **Период выходных синхросигналов:**
 - номинал: $T_{out} = T_{in} * (K/16)$;
 - погрешность: $\pm 3\% * T$;
- **Скважность выходных синхросигналов:**
 - номинал (для любой частоты): 50%;
 - погрешность: $\pm (0.5\% * T + 2.5\text{пс})$
- **Диапазон входных частот:**
 - **1.5 ГГц - 2.5 ГГц;**
- **Диапазон выходных синхросигналов:**
 - **0.75 ГГц - 5.0 ГГц;**

Результаты

- Проведено исследование особенностей проектирования на технологических норм 16 нм;
- Реализована схемотехника и топология заказных блоков, входящих в состав синтезатора;
- Проведен анализ работоспособности синтезатора с учетом особенностей технологических норм 16 нм;

Спасибо за внимание!