

# **Приборно-технологическое моделирование влияния ширины вертикальной части стока кремниевого вертикального ДМОП-транзистора на его выходное сопротивление**

Рогов А.П.<sup>1</sup>, Турин В.О.<sup>1</sup>, Головкин Н.В.<sup>2</sup>, Цырлов А.М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Государственный университет-УНПК

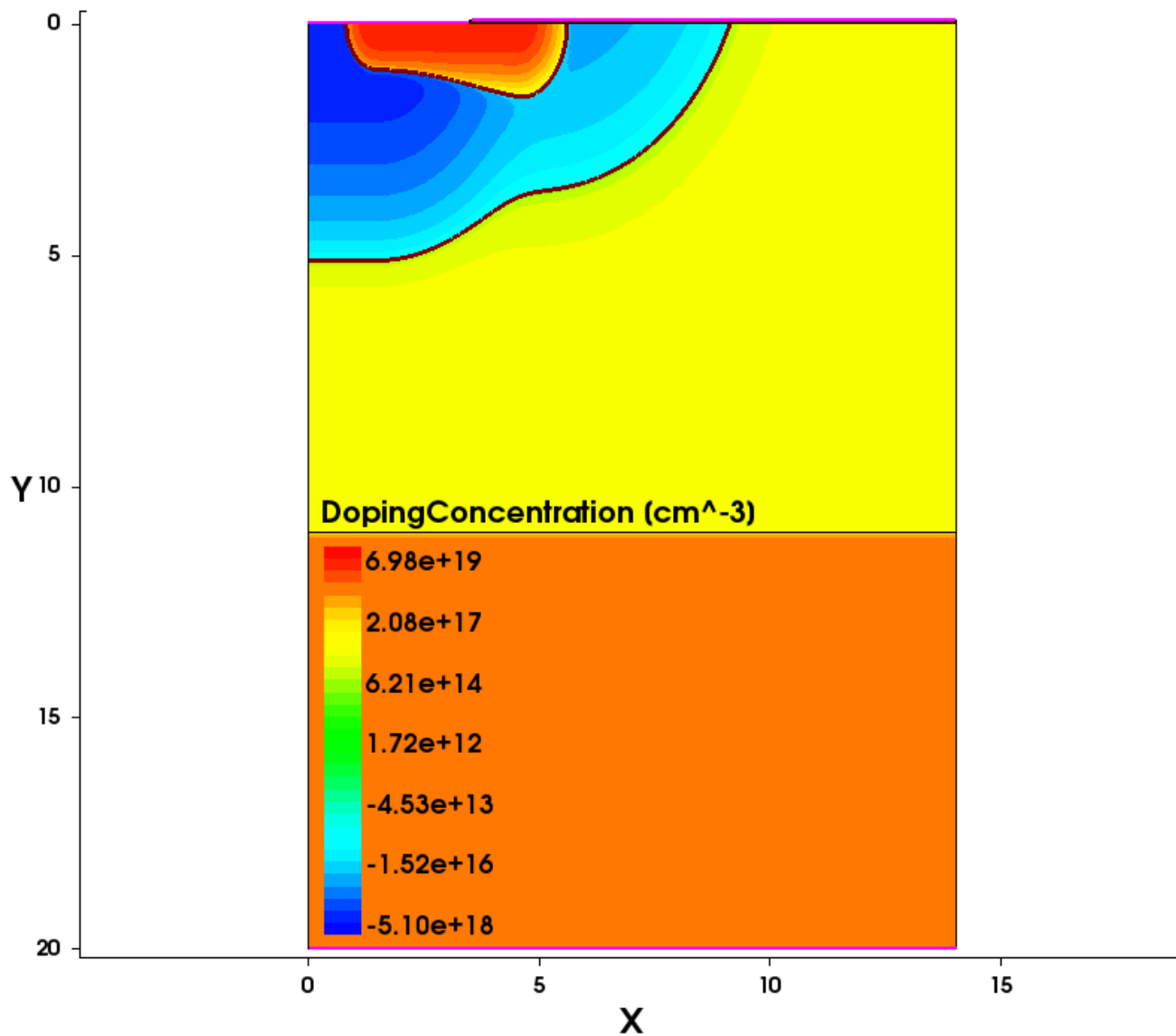
<sup>2</sup>«46 ЦНИИ» МО РФ, г. Москва

<sup>3</sup>ОАО «Протон», г. Орёл

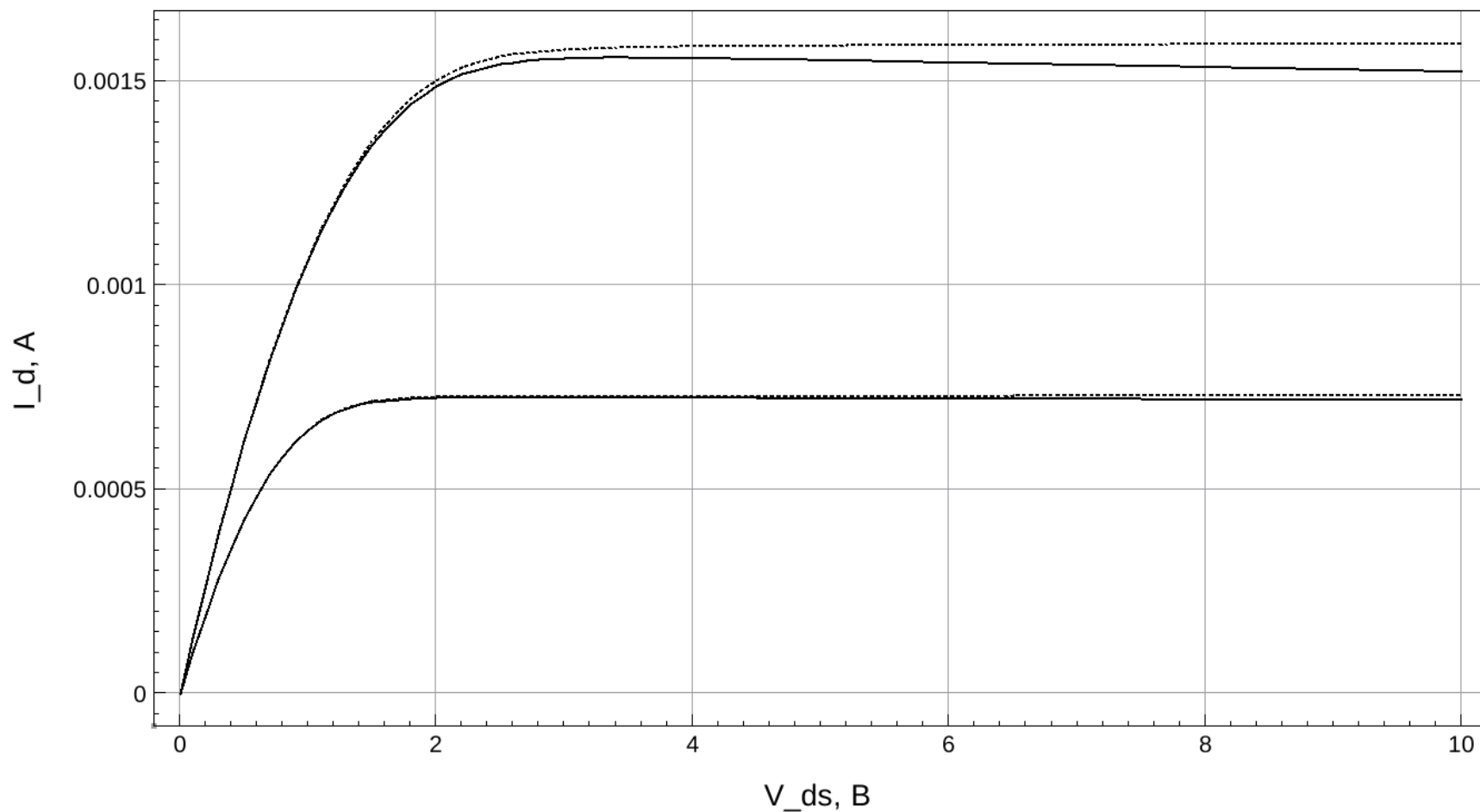
# Введение

В ходе исследования моделировались выходные характеристики элементарной ячейки кремниевого вертикального МОП-транзистора, сделанного по технологии двойной диффузии (ДМОП-транзистора), в программе приборно-технологического моделирования Sentaurus TCAD компании Synopsys. Исследуемый в работе ДМОП-транзистор является основным элементом микросхемы оптического реле К249КП5Р, выпускаемого ОАО "Протон" г. Орёл. В работе промоделированы статические выходные характеристики транзистора с учетом явления саморазогрева в рамках дрейфово-диффузионной модели полупроводника. Основные параметры ячейки: длина канала – 3,5 мкм; толщина подзатворного окисла – 68 нм; ширина затвора – 75 мкм; пороговое напряжение – 2,4 В. При моделировании ширина вертикальной высокоомной части стока  $L_{VD}$  изменялась от 4,9 мкм до 0,4 мкм. Изменение ширины вертикальной высокоомной части стока оказывает влияние на выходное сопротивление ячейки в открытом состоянии, которое является важнейшей характеристикой ДМОП транзистора [1-4]. Целью работы является изучение влияния ширины вертикальной высокоомной части стока на выходное сопротивление ячейки с определением практического диапазона размеров одной ячейки с сохранением приемлемого значения коммутируемого тока.

# 1. Моделирование ДМОП-транзистора с шириной вертикальной части стока 4,9 мкм

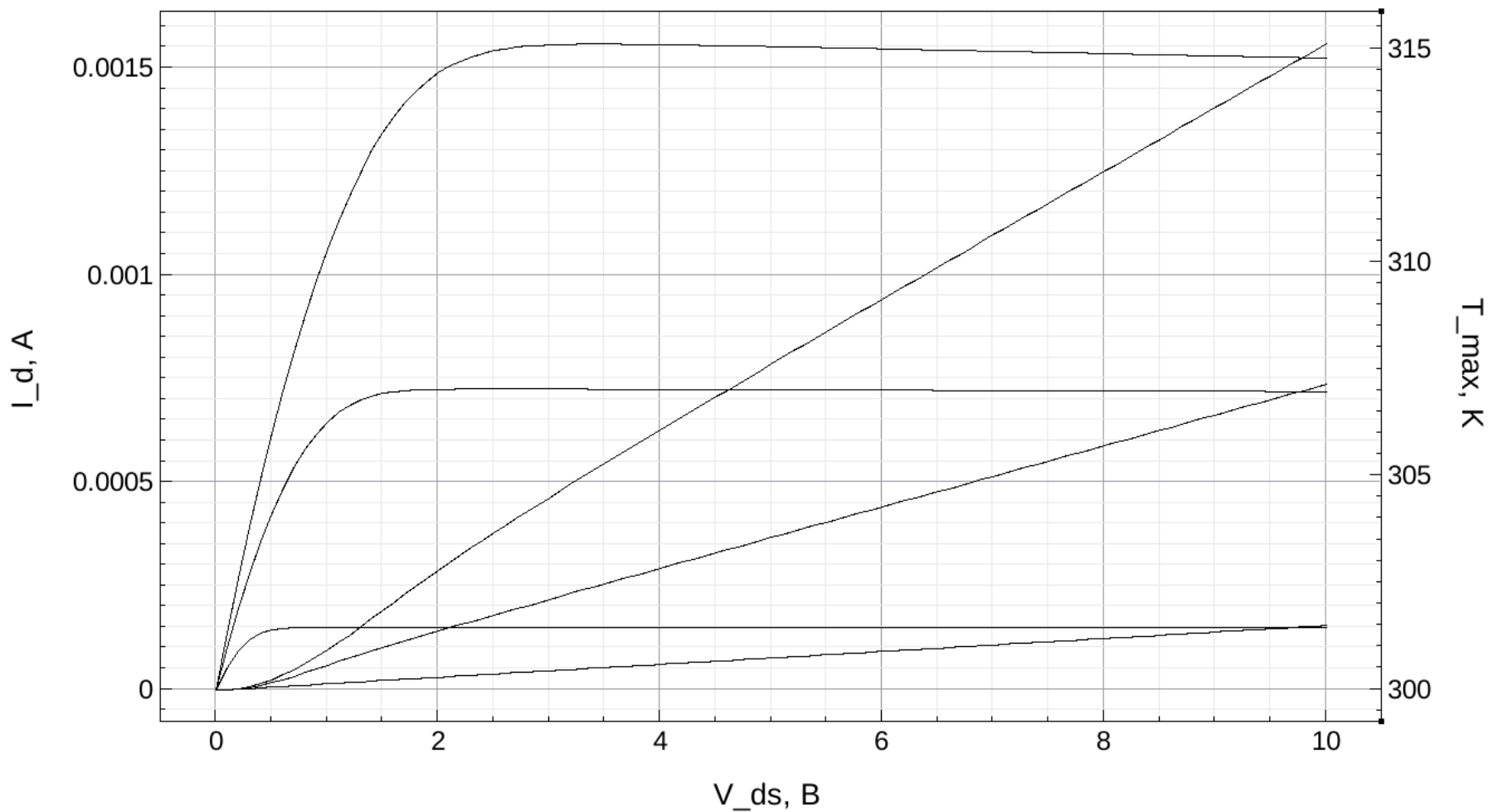


# Сравнение изотермического расчёта и расчёта с учетом эффекта саморазогрева



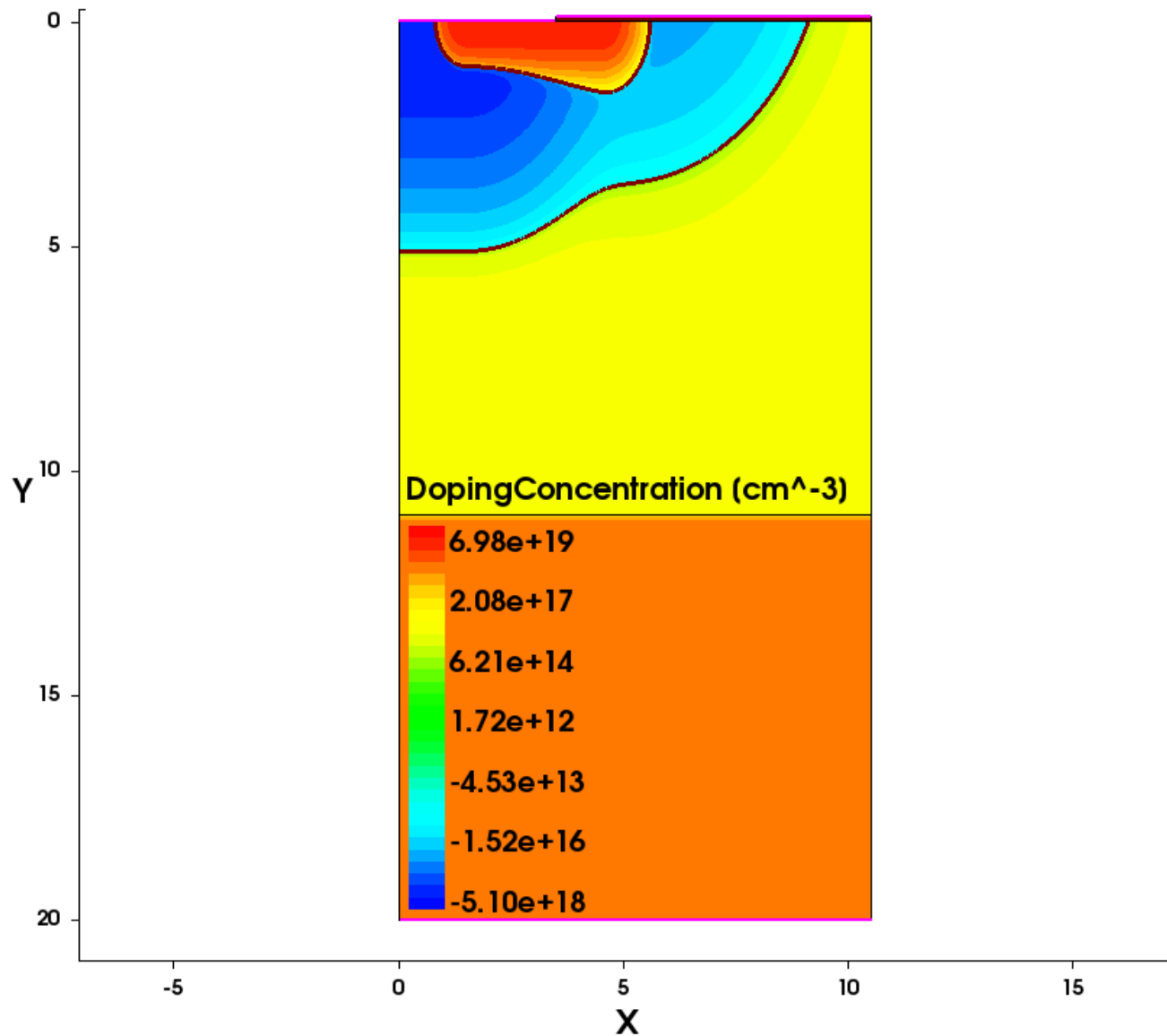
–  $V_{gs} = 4,0$  B;  $5,0$  B

# Выходные характеристики и максимальный нагрев

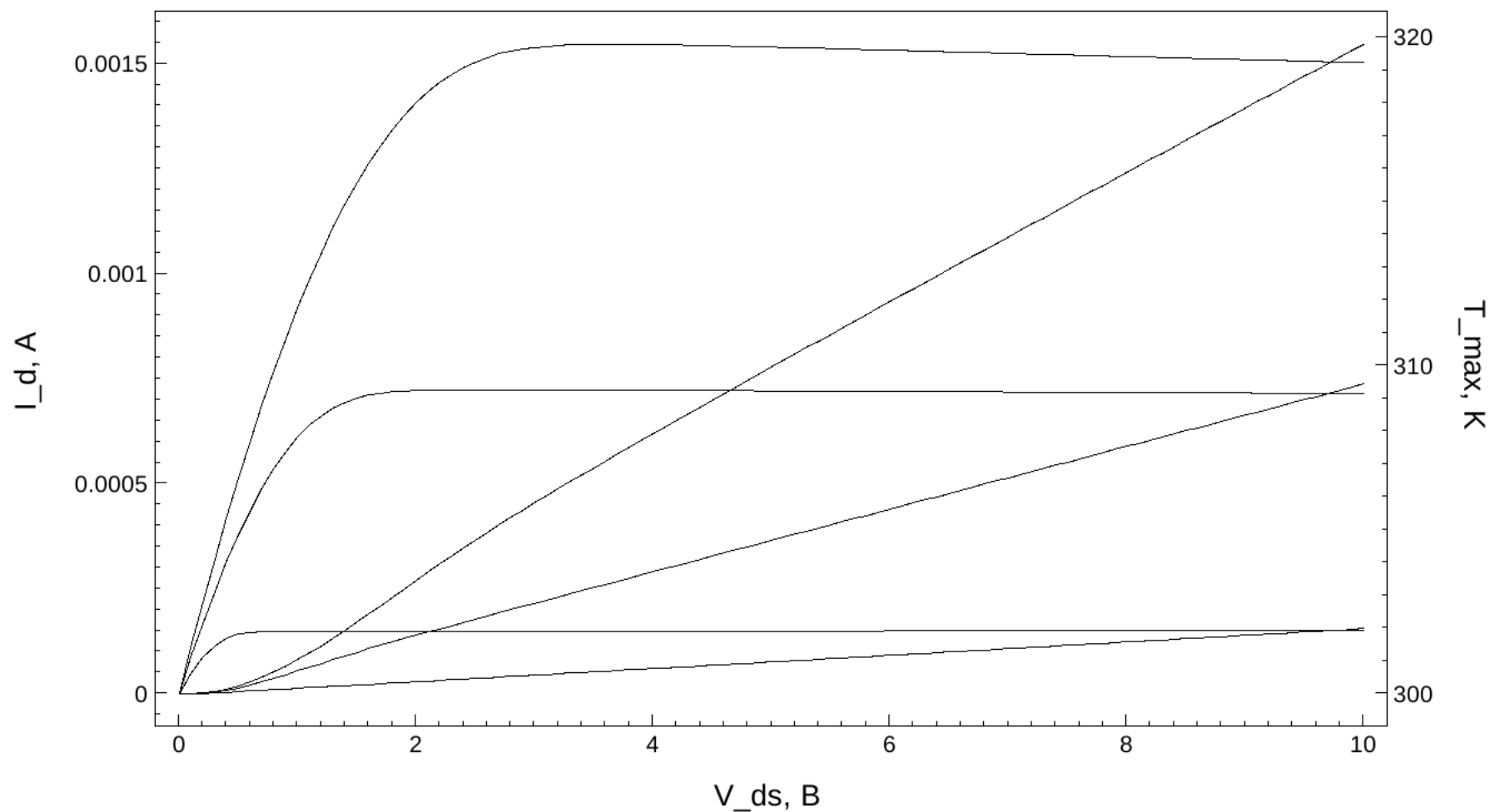


$V_{gs} = 3,0 \text{ B}; 4,0 \text{ B}; 5,0 \text{ B}$

## 2. Моделирование ДМОП-транзистора с шириной вертикальной части стока 1,4 мкм



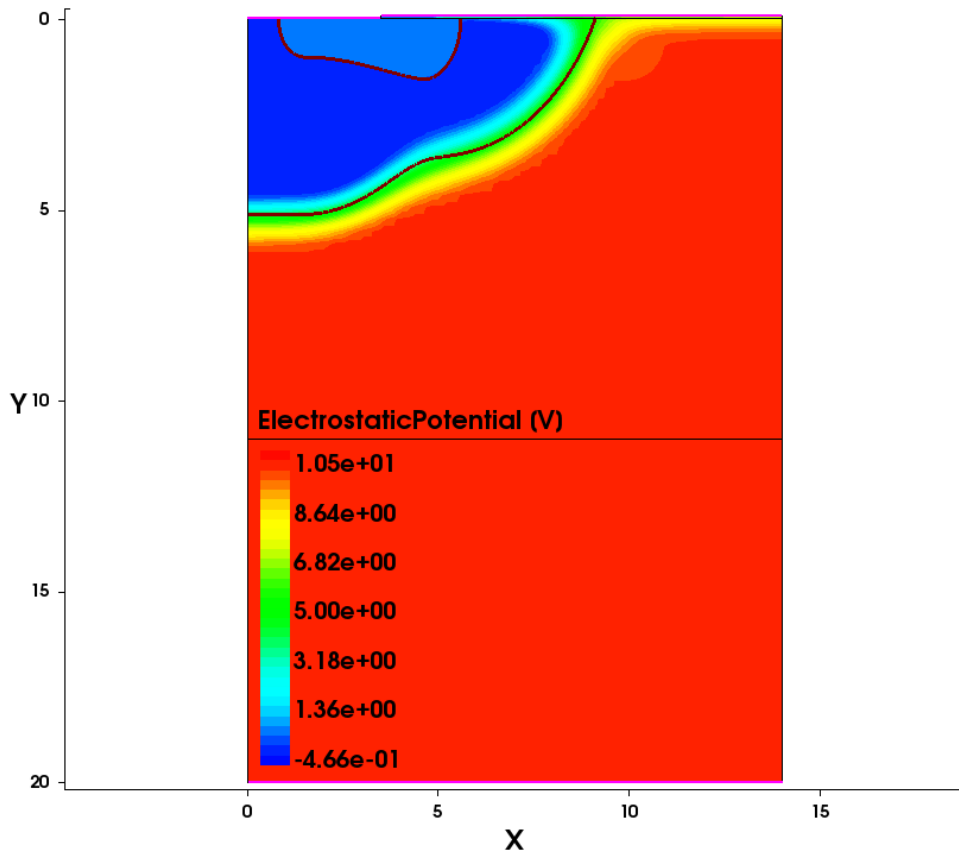
# Выходные характеристики и максимальный нагрев



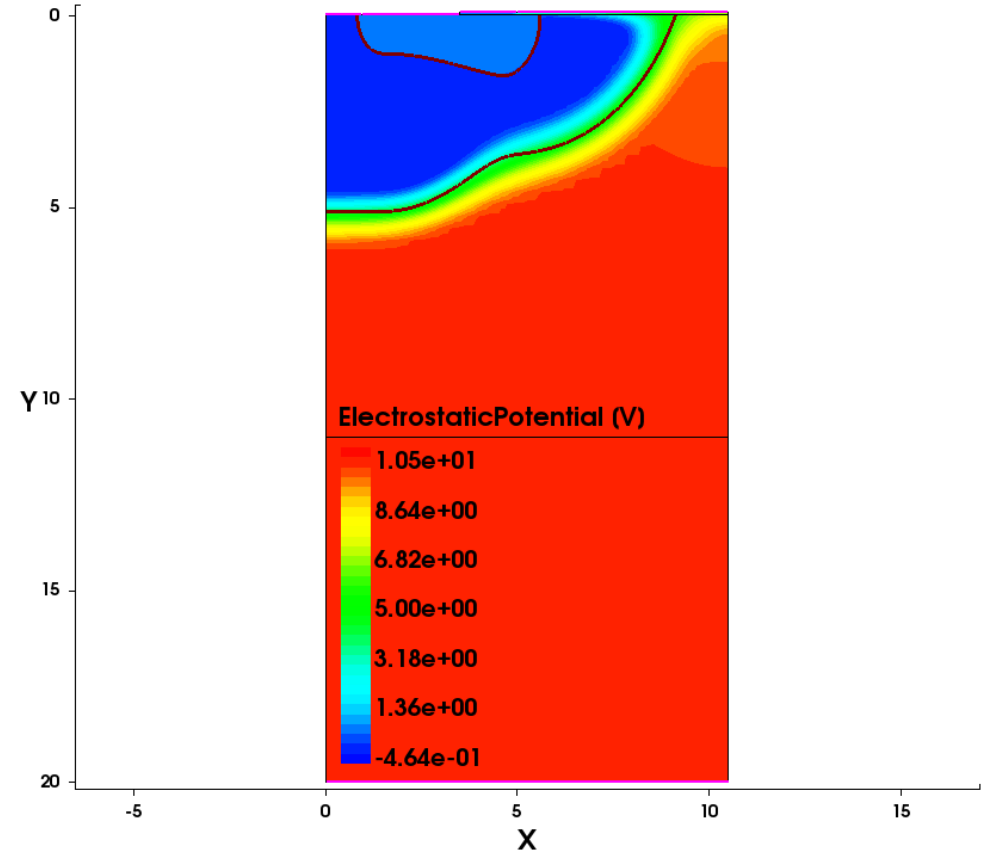
$V_{gs} = 3,0 \text{ B}; 4,0 \text{ B}; 5,0 \text{ B}$

### 3. Сравнения характеристик

## Сравнение распределения электростатического потенциала



$L_{vg} = 4,9 \mu\text{m}$

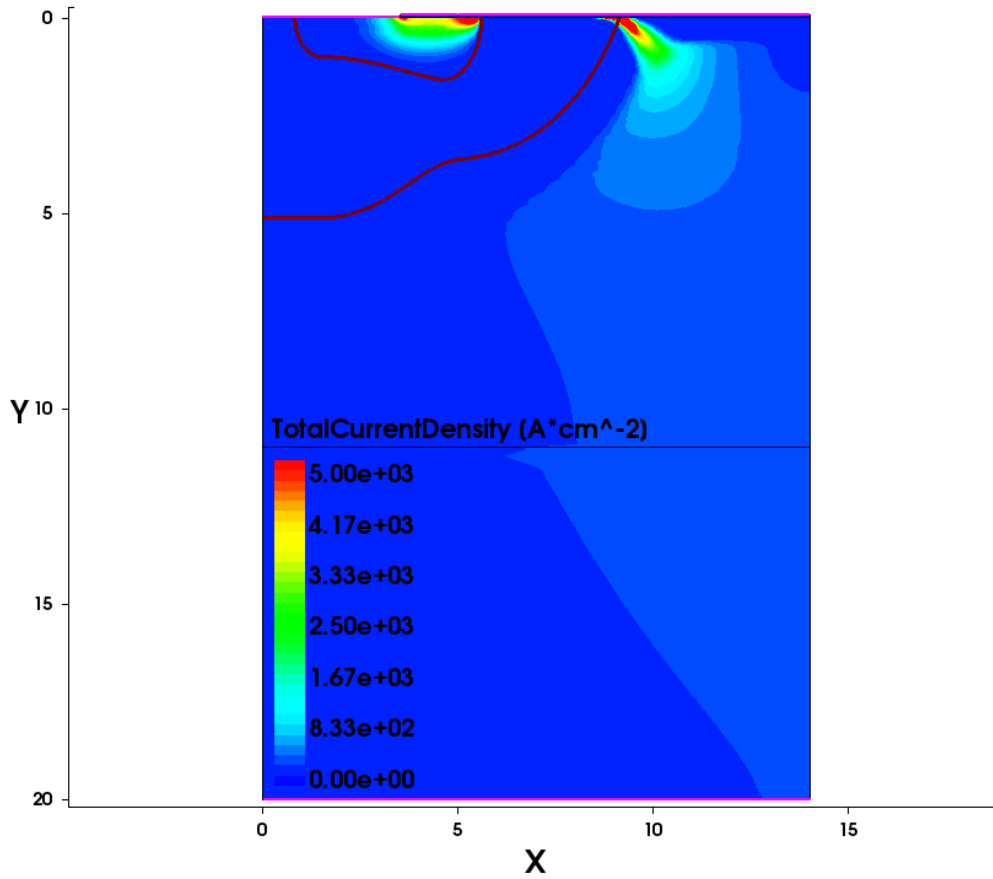


$L_{vg} = 1,4 \mu\text{m}$

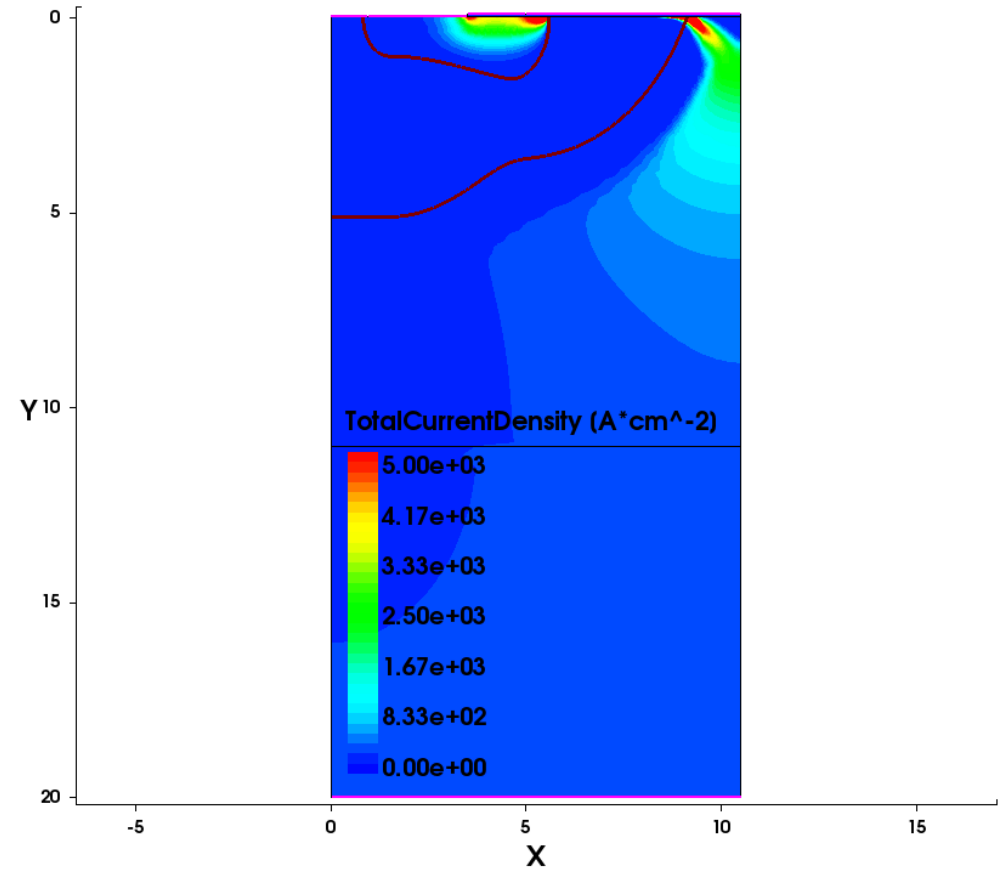
$V_{gs} = 5 \text{ V}; V_{ds} = 10 \text{ V}$



# Сравнение распределения плотности тока



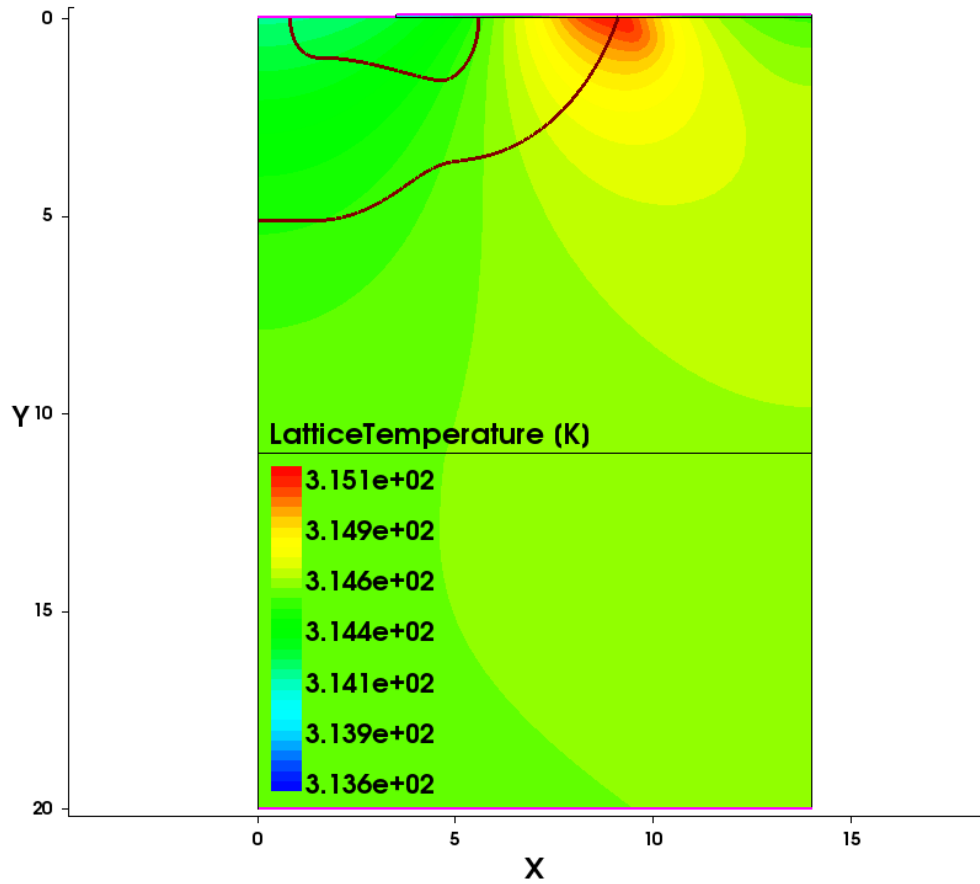
$L_{vg} = 4,9$   $\mu m$



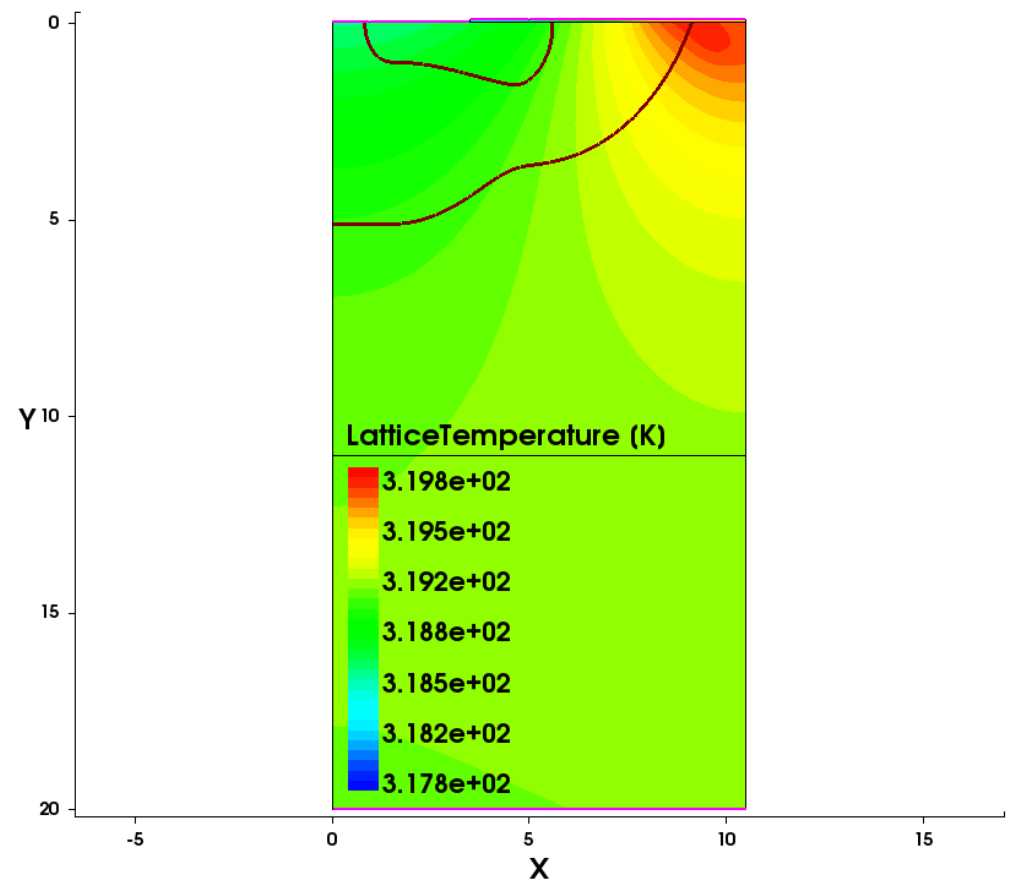
$L_{vg} = 1,4$   $\mu m$

$V_{gs} = 5$  B;  $V_{ds} = 10$  B

# Сравнение распределения температуры



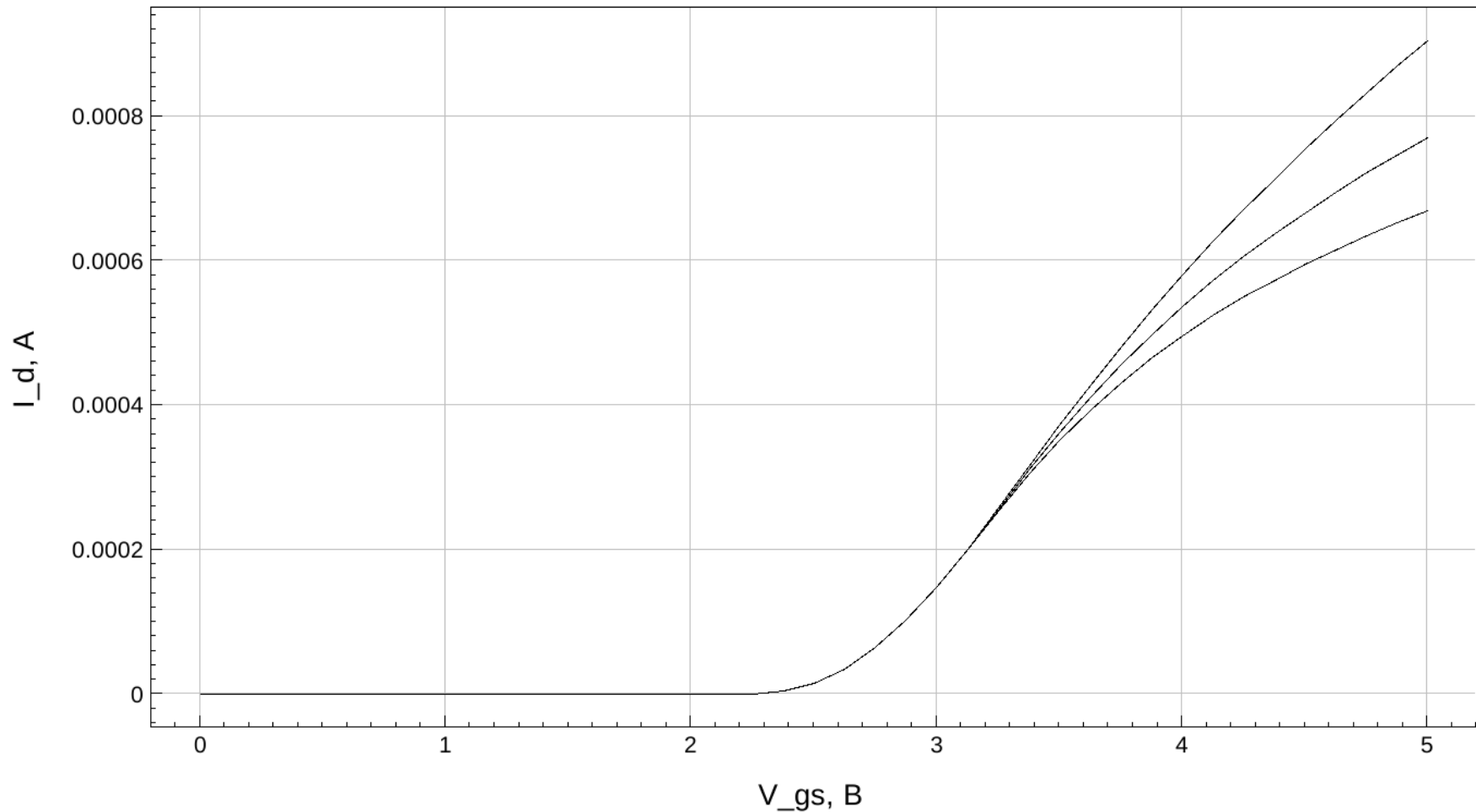
$L_{vg} = 4,9 \text{ мкм}$



$L_{vg} = 1,4 \text{ мкм}$

$V_{gs} = 5 \text{ В}; V_{ds} = 10 \text{ В}$

# Сравнение переходных характеристик

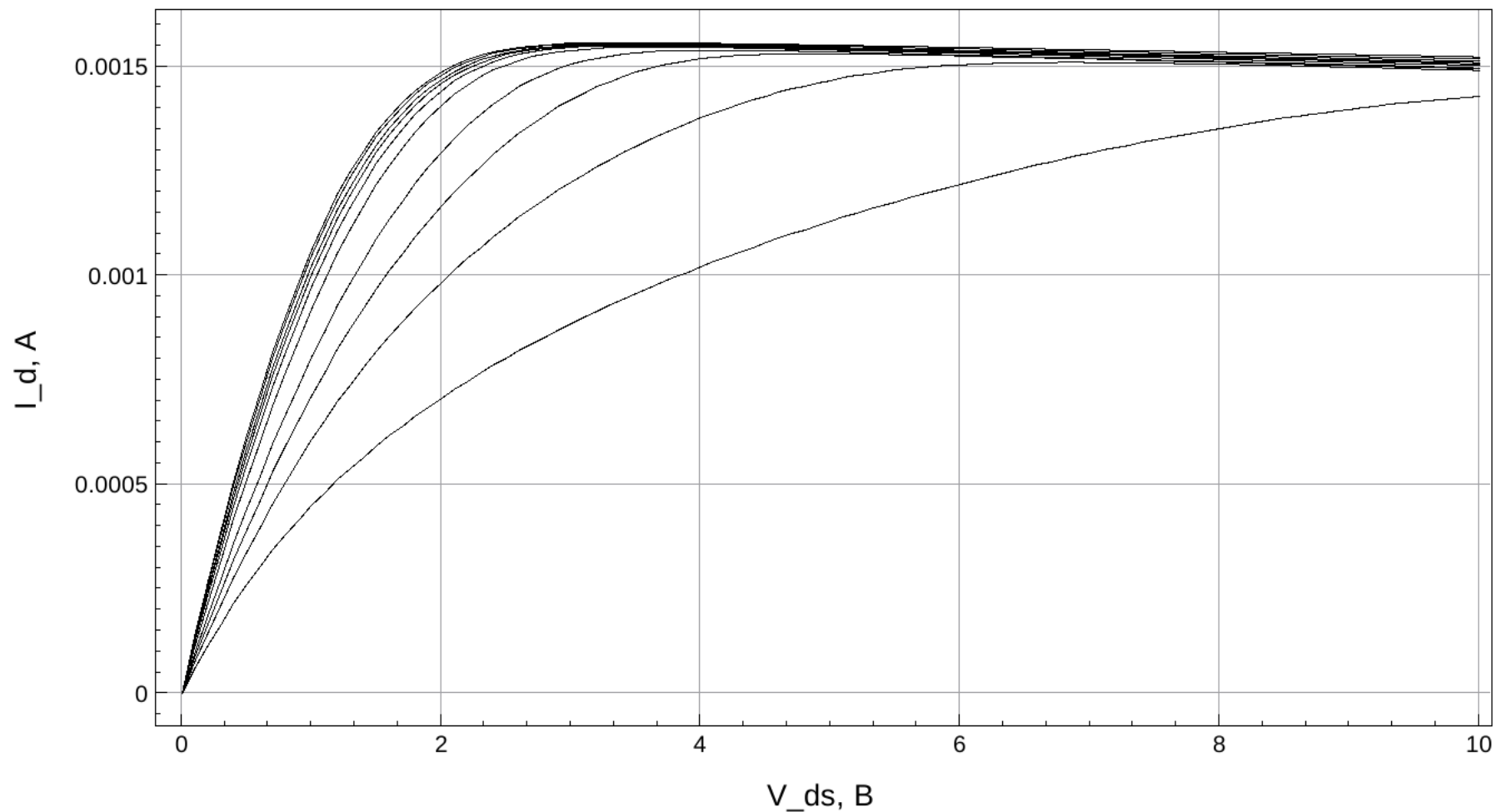


$V_{ds} = 0,8 \text{ В}; \quad L_{vg} = 0,9 \text{ мкм}, 1,4 \text{ мкм}, 4,9 \text{ мкм}$

(0,9 мкм – нижняя кривая, 1,4 – средняя, 4,9 - верхняя)

# Получение значений входных сопротивлений:

1) отобразить выходные характеристики

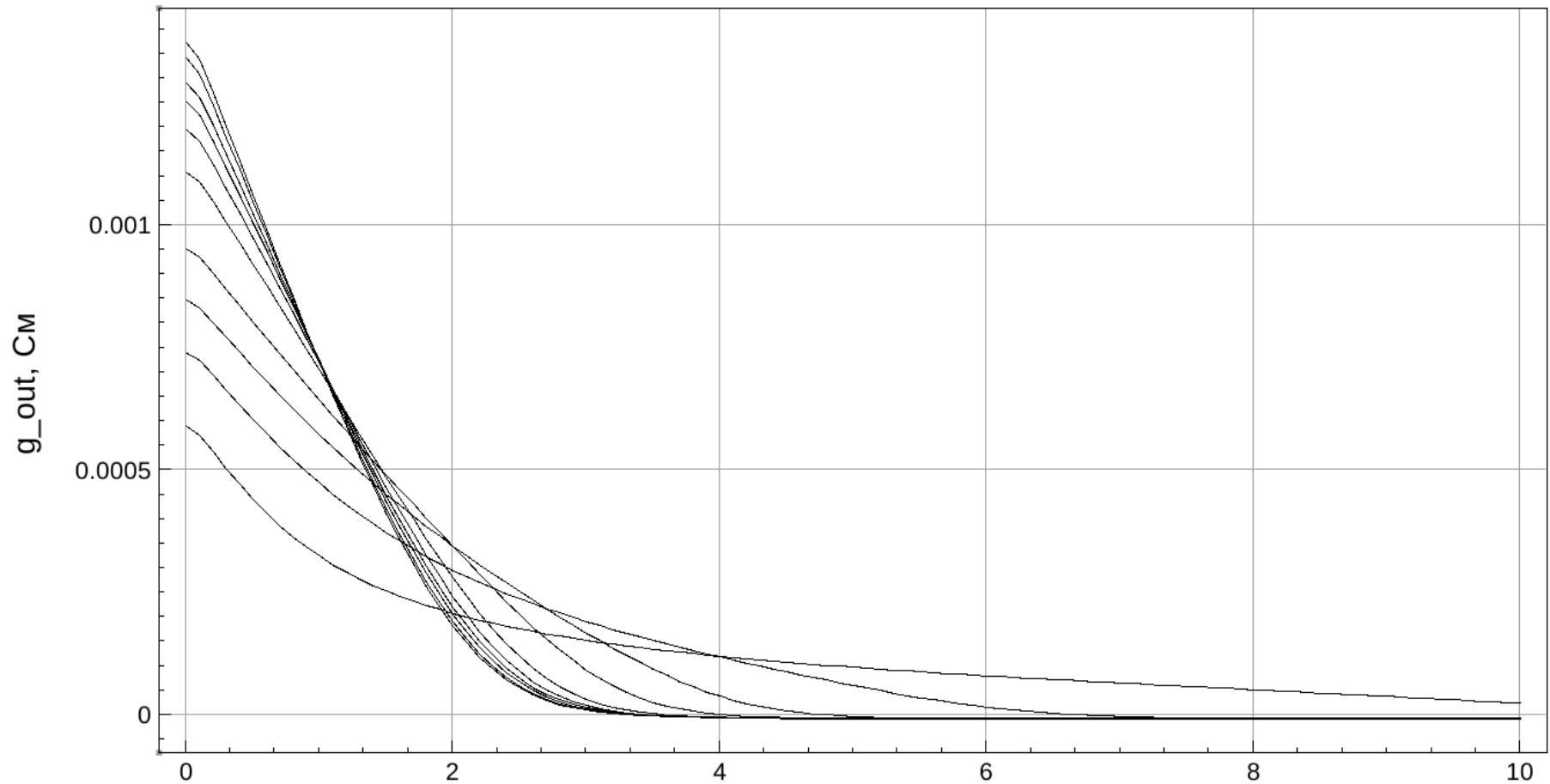


$$V_{gs} = 5 \text{ B}$$

$L_{vg} = 0,4 \text{ мкм}, 0,55 \text{ мкм}, 0,7 \text{ мкм}, 0,9 \text{ мкм}, 1,4 \text{ мкм}, 1,9 \text{ мкм}, 2,4 \text{ мкм}, 2,9 \text{ мкм}, 3,9 \text{ мкм}, 4,9 \text{ мкм}$  (перечислено снизу вверх)

2) получить график дифференциальной проводимости:

$$g(V_{ds}) = d I_d / d V_{ds}$$

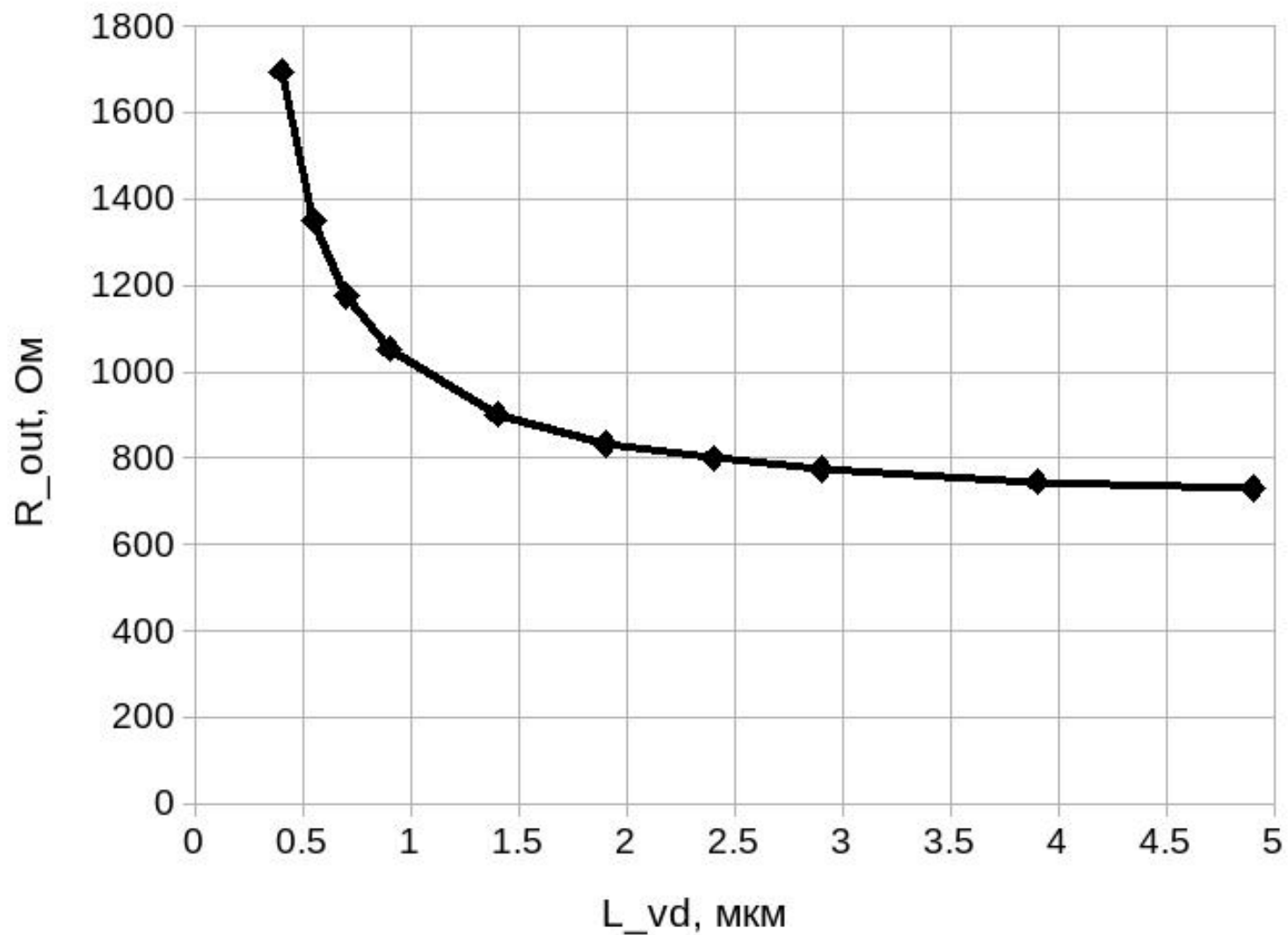


$$V_{gs} = 5 \text{ В}$$

$L_{vg} = 0,4 \text{ мкм}, 0,55 \text{ мкм}, 0,7 \text{ мкм}, 0,9 \text{ мкм}, 1,4 \text{ мкм}, 1,9 \text{ мкм}, 2,4 \text{ мкм}, 2,9 \text{ мкм}, 3,9 \text{ мкм}, 4,9 \text{ мкм}$  (максимум проводимости соответствует случаю 4,9 мкм)

3) найти выходное сопротивление:

$$R_{out} = 1 / g|_{v_{ds} = 0}$$



## Выводы:

- При увеличении  $L_{vd}$  выходное сопротивление транзисторной ячейки асимптотически приближается к минимальному уровню, примерно равному 700 Ом
- Уменьшение  $L_{vd}$  ячейки с 4,9 мкм до 1,4 мкм приводит к увеличению выходного сопротивления с 730 Ом до 900 Ом (на 23%). При этом площадь ячейки уменьшается на 25%

# Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 12-02-97534 и  
государственного задания № 16.1117.2014/К

## Литература

1. Блихер, А. Физика силовых биполярных и полевых транзисторов. М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Зи, С. Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984.
3. Vaid R., Padha N., Kumar A. et al. Modeling power VDMOSFET transistors: device physics and equivalent circuit model with parameter extraction. Indian Journal of Pure & Applied Physics. 2004. 42: 775-782.
4. Yonghui Y. et al. A novel structure in reducing the on-resistance of a VDMOS. Journal of Semiconductors. 2011. 32: 157-164.