



# MEGARAD

## Интегральный преобразователь напряжения на переключаемых конденсаторах



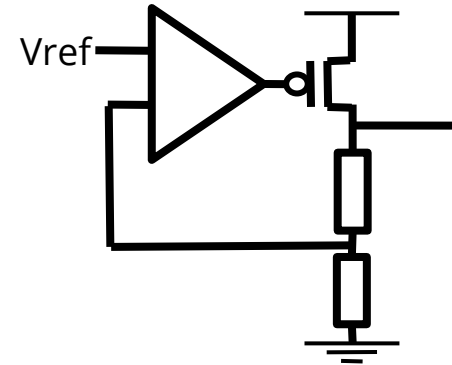
В.Е. ШУНКОВ<sup>1,2</sup>, О.Н. КУСЬ<sup>2</sup>, В.Ю. ПРОКОПЬЕВ<sup>1</sup>,  
В.А. БУТУЗОВ<sup>1,3</sup>, Ю.И. БОЧАРОВ<sup>3</sup>, В.Е. ШУНКОВ<sup>4</sup>

1 — ООО «Мегарад», 2 — ООО «ОКБ Пятое Поколение»,  
3 — НИЯУ «МИФИ», 4 — ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН

# Основные типы POL DC/DC преобразователей

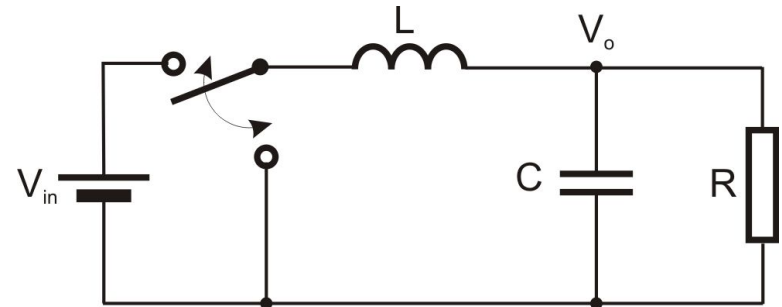
## Линейный регулятор

- Коэффициент преобразования 1:1
- КПД  $\approx V_{out}/V_{in}$
- Не требует внешних компонентов
- Малые шумы



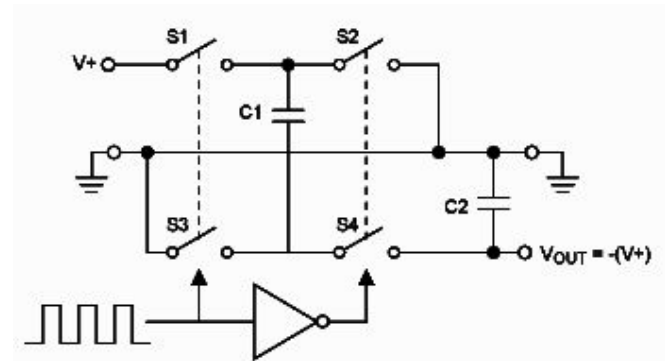
## Индуктивный преобразователь

- Коэфф. преобр. плавно регулируется
- КПД до 90-95%
- Требуется внешняя индуктивность
- Большие шумы



## Емкостной преобразователь

- Коэфф. преобразования дробный
- КПД  $\approx k \cdot (V_{out}/V_{in}) \sim 60-90\%$
- Конденсаторы могут быть интегрированы
- Большие шумы



Емкостные преобразователи могут быть интегрированы в СМК и обеспечивают более высокий КПД, чем линейные регуляторы.

# Емкостная переключаемая ячейка

Коэффициенты преобразования: 2:3, 1:2, 1:3.  
Ячейка содержит два MIM-конденсатора и девять ключей.

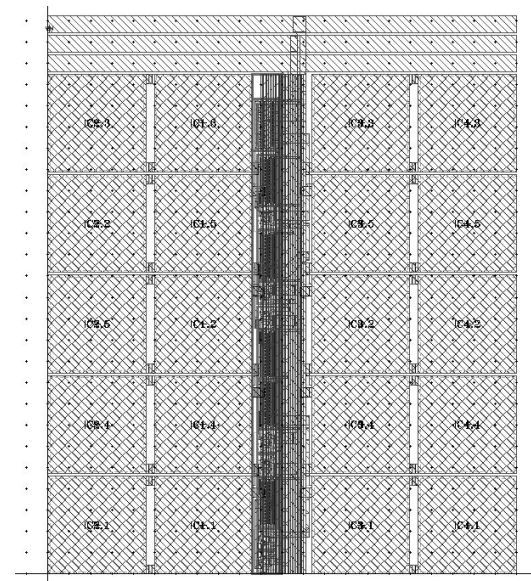
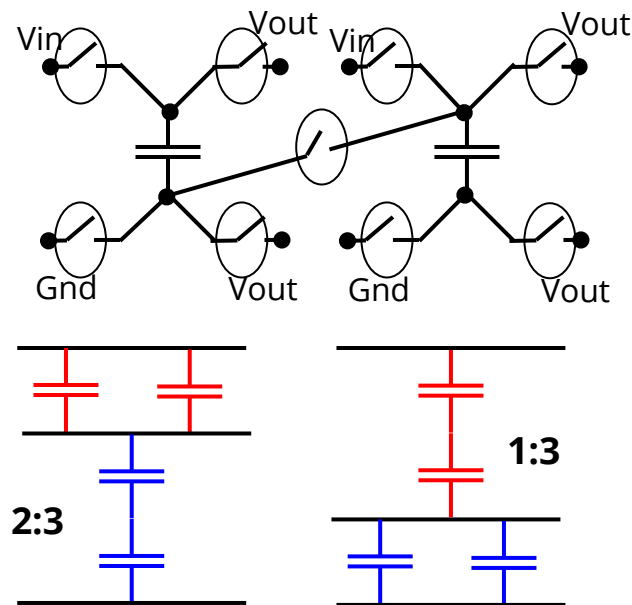
Управление при помощи изменения частоты преобразования (PFM) - модуляция выходного сопротивления ячейки.

Микросхема преобразователя содержит 864 идентичные ячейки, разделенные на 8 блоков.

Удельная емкость доступных в выбранном техпроцессе MIM-конденсаторов  $6.6 \text{ фФ/мкм}^2$ .

Типичная удельная емкость доступных MIM-конденсаторов —  $1\text{-}2 \text{ фФ/мкм}^2$

Возможна реализация на MOS-конденсаторах ( $\sim 3 \text{ фФ/мкм}^2$  для транзисторов с питанием 5 В).



# DC/DC преобразователь

## Целевые параметры:

$V_{IN}$  2.8~5.5 В

$V_{OUT}$  1.2~3.3 В, с шагом 100 мВ

$I_{OUT}$  300 мА

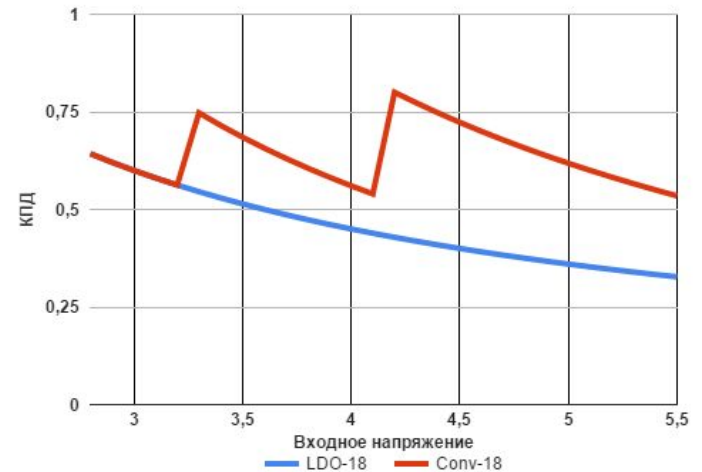
## Полностью интегральная реализация:

- ниже выходной шум;
- меньше компонентов на плате

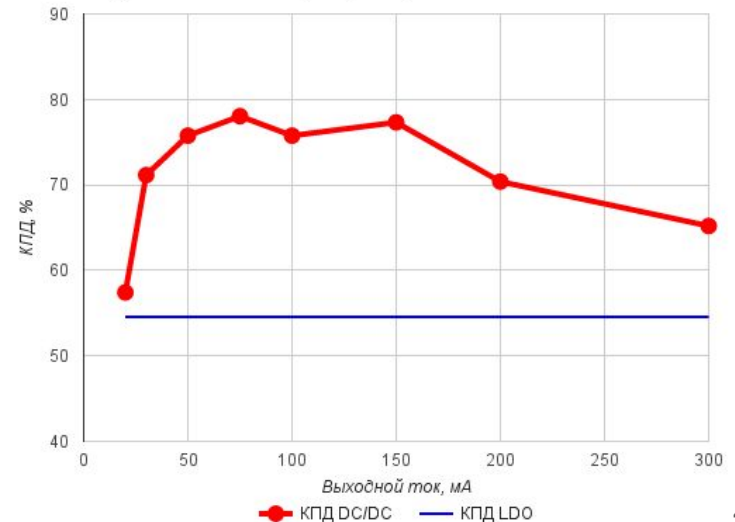
## Основные достоинства:

- **КПД выше**, чем у линейного регулятора, во всем диапазоне напряжений и выходных токов.
- **Площадь на плате меньше**, чем у индуктивного преобразователя
- **Возможность интеграции** в качестве встроенного регулятора СнК.

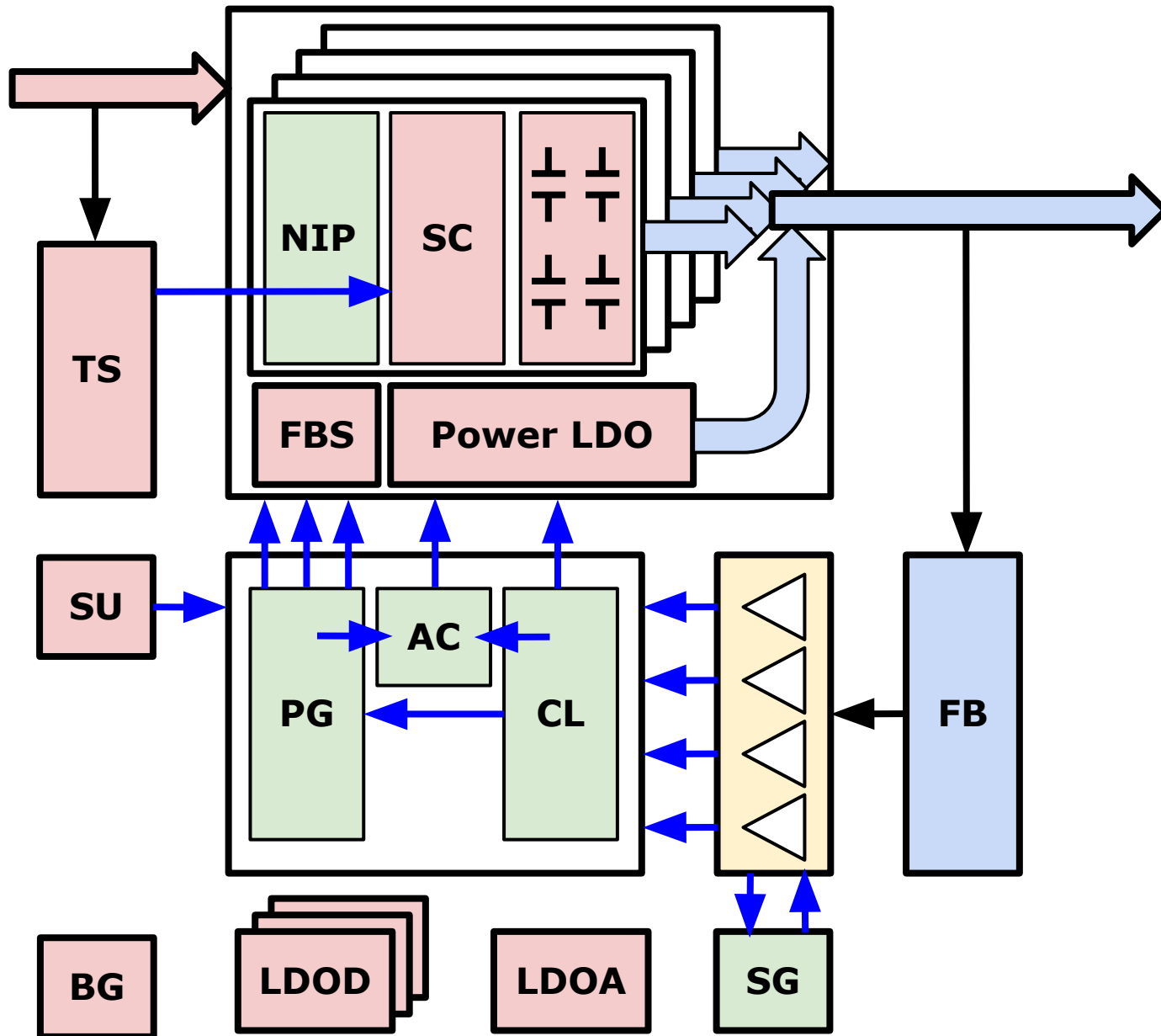
Сравнение КПД при выходном напряжении 1.8 В



КПД DC/DC и LDO при преобразовании 3.3 -> 1.8

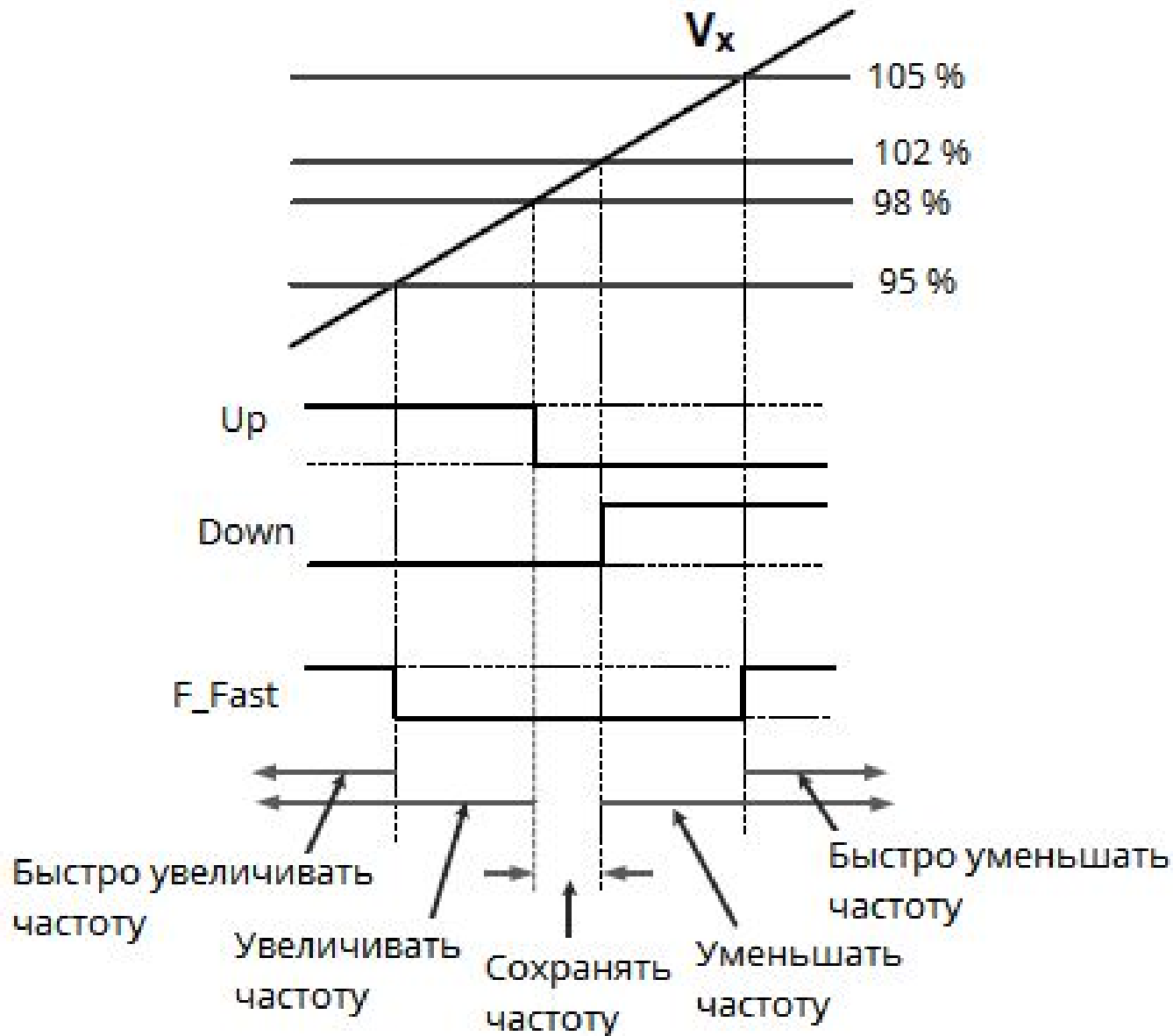


# Принципиальная схема преобразователя

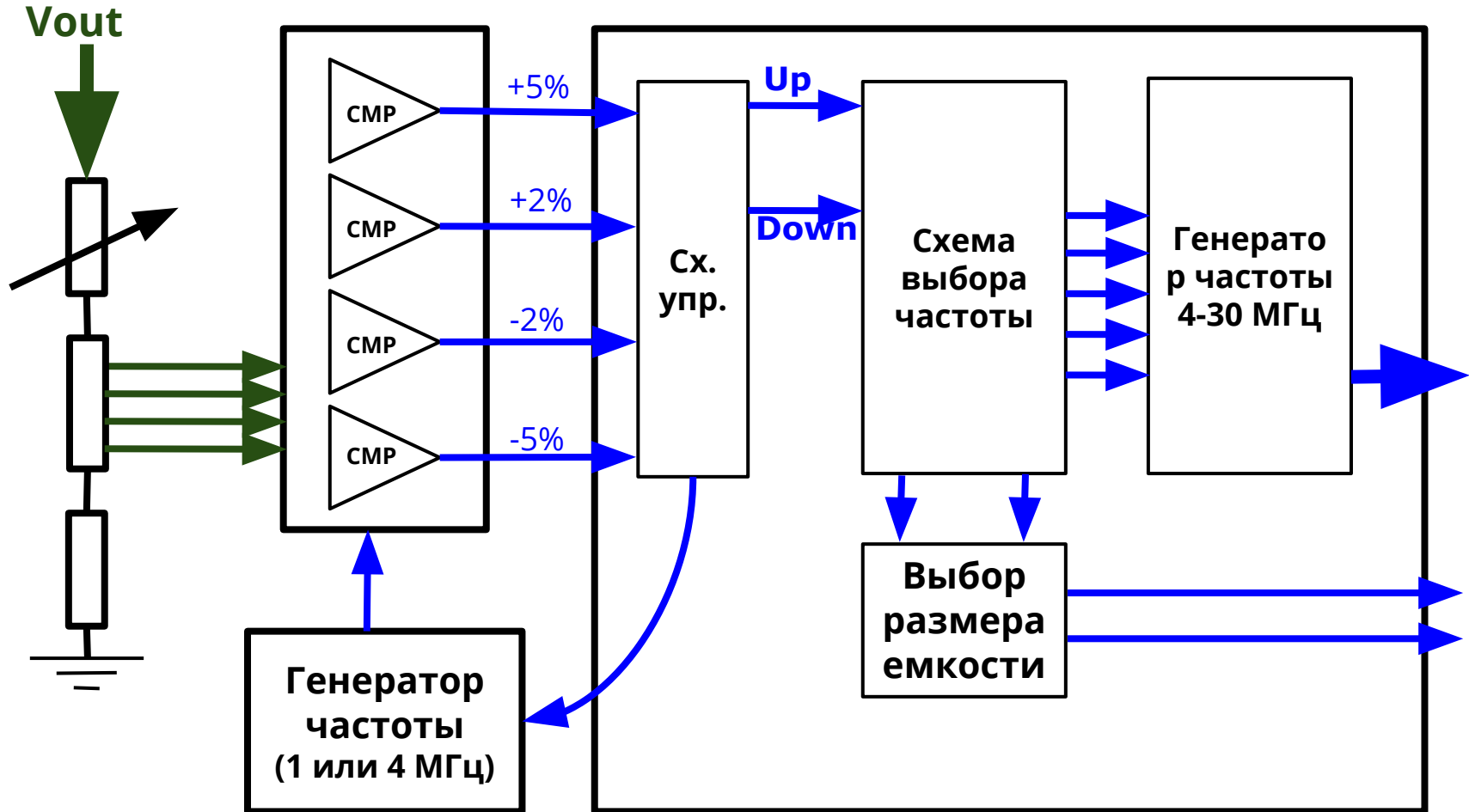


- Силовая часть**  
 TS - выбор топологии  
 NIP - генератор  
 неперекрывающихся фаз  
 SC - схема управления  
 ключами  
 FBS - выбор обратной связи  
 для LDO  
 $\begin{matrix} \perp & \perp \\ \text{T} & \text{T} \\ \perp & \perp \\ \text{T} & \text{T} \end{matrix}$  емкостная матрица
- Обратная связь**  
 FB - резистивная матрица  
 обратной связи  
 $\triangleleft$  - компараторы  
 SG - генератор тактовой  
 частоты
- Управление**  
 CL - схема управления  
 AC - выбор емкости  
 преобразования  
 PG - генератор частоты  
 преобразования
- Служебные схемы**  
 SU - схема запуска  
 BG - источник опорного  
 напряжения  
 LDOD - питание цифровых  
 схем  
 LDOA - питание аналоговых  
 схем

# Логика работы схемы управления



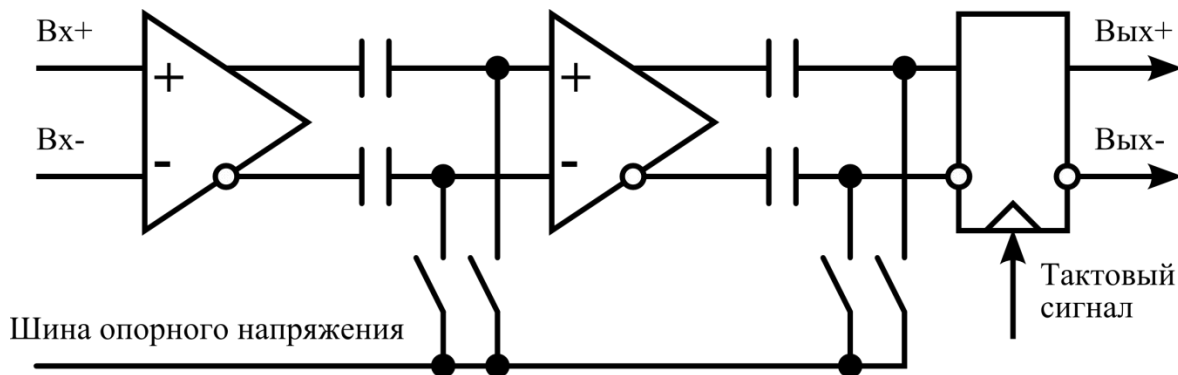
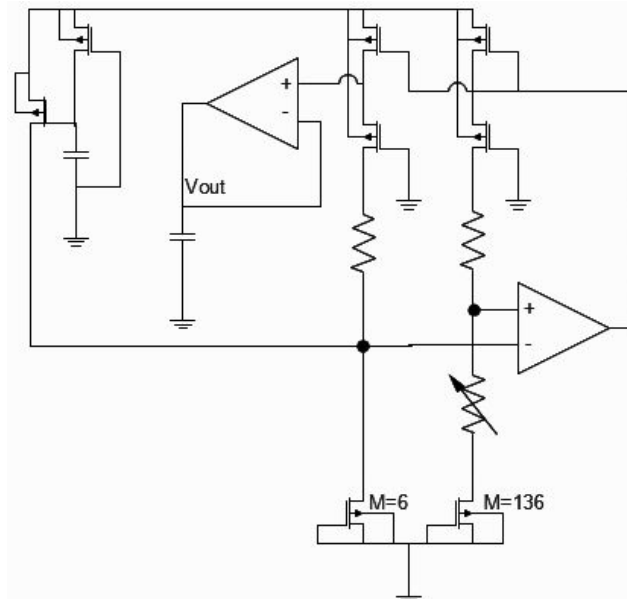
# Схема управления частотой преобразования



# Схемные решения отдельных блоков

Источник опорного напряжения - ячейка Брокау с использованием DTMOS. При малых токах DTMOS имеют экспоненциальную ВАХ, что позволяет заменить ими диоды.

Подобное решение позволяет использовать малый рабочий ток и избавиться от радиационно-индуцированных утечек.



Компараторы выполнены по многокаскадной схеме с автокалибровкой смещения, позволяющей нивелировать разброс параметров и дозовые радиационные эффекты.



# Емкостная переключаемая ячейка

Коэффициенты преобразования: 2:3, 1:2, 1:3.  
Ячейка содержит два MIM-конденсатора и девять ключей.

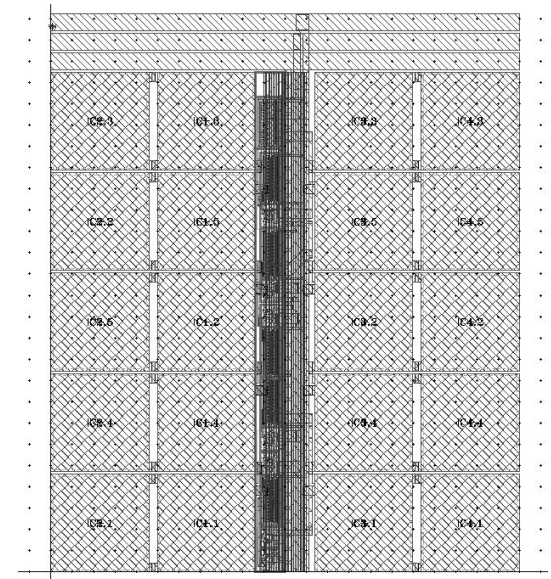
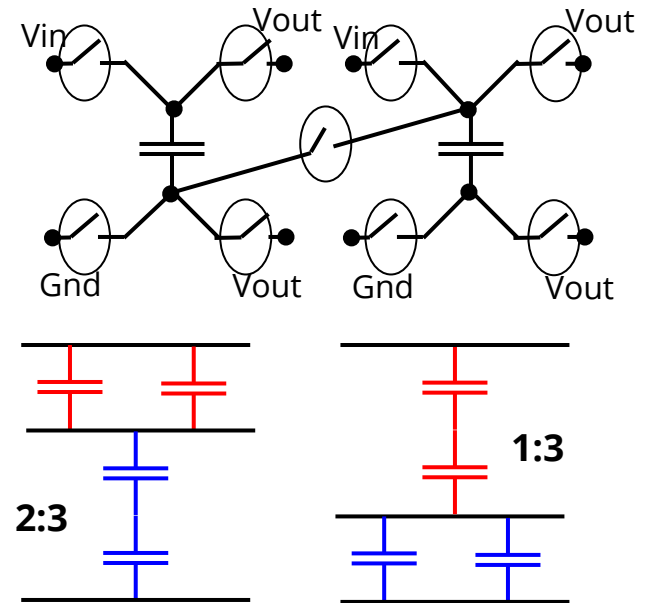
Управление при помощи изменения частоты преобразования (PFM) - модуляция выходного сопротивления ячейки.

Микросхема преобразователя содержит 864 идентичные ячейки, разделенные на 8 блоков.

Удельная емкость доступных в выбранном техпроцессе MIM-конденсаторов  $6.6 \text{ фФ/мкм}^2$ .

Типичная удельная емкость доступных MIM-конденсаторов —  $1\text{-}2 \text{ фФ/мкм}^2$

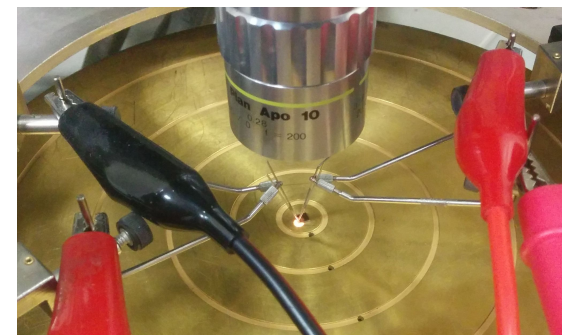
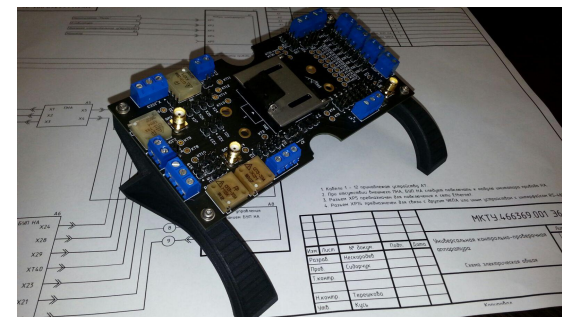
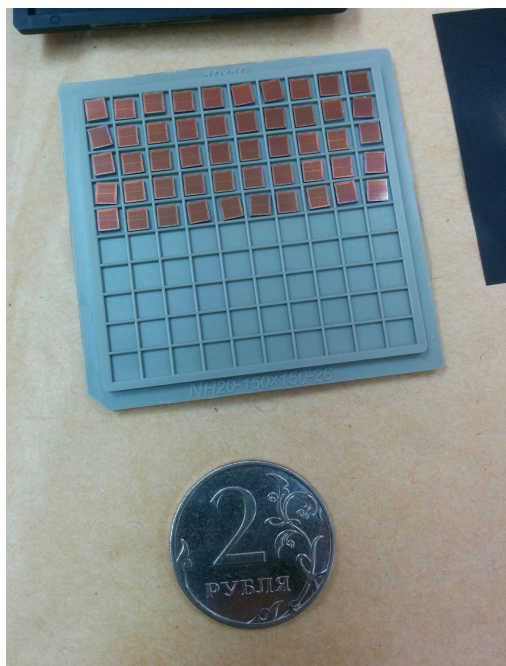
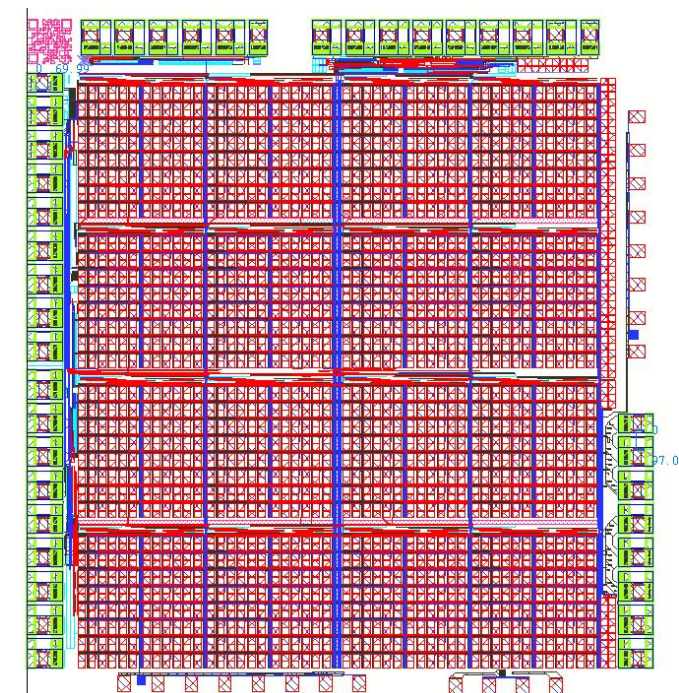
Возможна реализация на MOS-конденсаторах ( $\sim 3 \text{ фФ/мкм}^2$  для транзисторов с питанием 5 В).



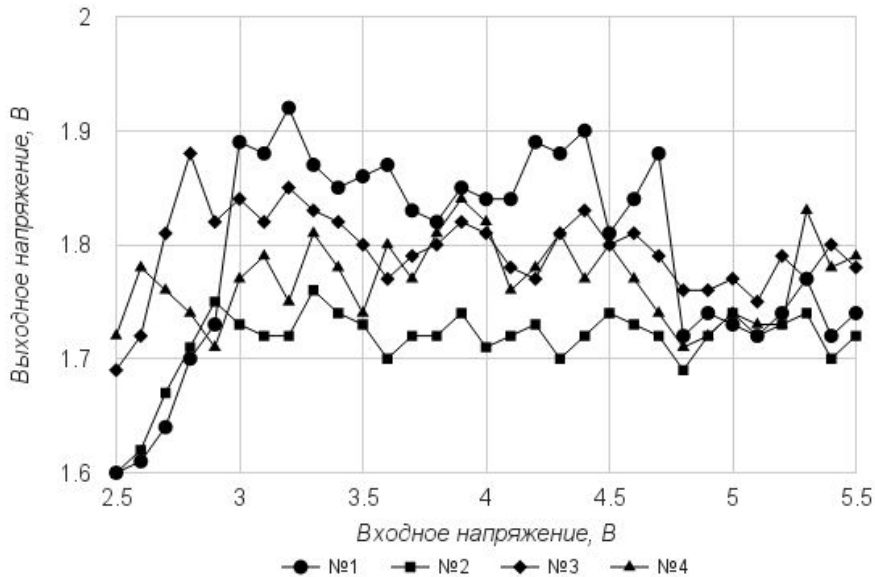
# Тестовый кристалл

Тестовый кристалл был разработан и произведен по объемной КМОП технологии с проектными нормами 180 нм, пятью уровнями металлизации и MIM-конденсаторами сэндвич-типа (2-5 металл).

Кристалл включает DC/DC преобразователь и отдельные тестовые структуры ключевых блоков.

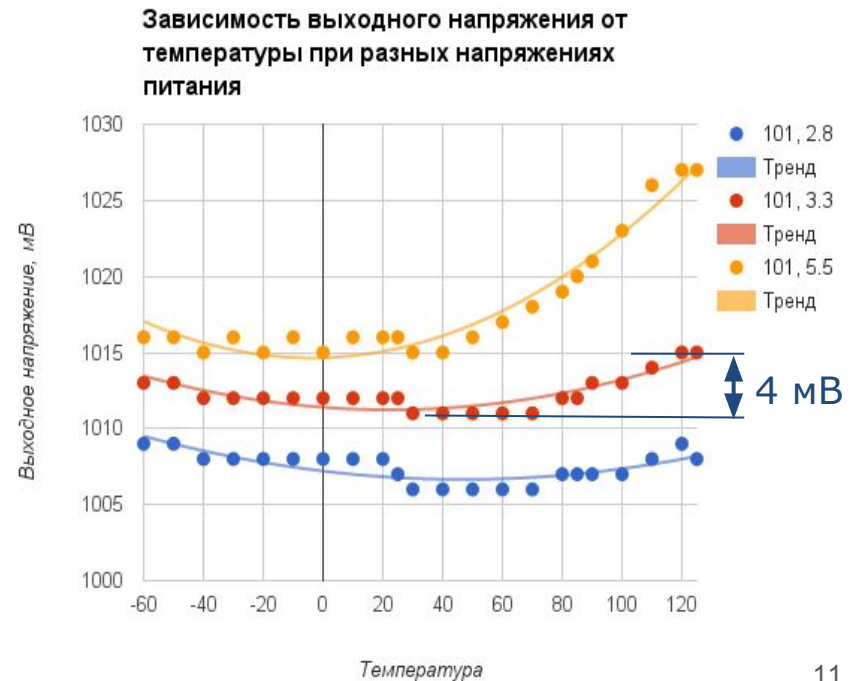


# Результаты измерений



Выходное напряжение ИОН находится в пределах  $\pm 2$  мВ при стабилизированном питании в диапазоне температур  $-60 \sim +125^\circ\text{C}$ .

Подтверждена работоспособность чипов первой ревизии. С учетом результатов тестирования чипов внесены корректировки в дизайн и готовится к запуску вторая ревизия.



# Текущее состояние работы

Готовность кристалла второй итерации, содержащего полнофункциональный прототип, ожидается в октябре-ноябре 2016 года.

Ведется организационная подготовка к серийному производству.

Прорабатывается возможность создания семейства DC/DC преобразователей, в том числе встраиваемых, и возможность переноса разработки на другие технологические процессы.

Оценка площади на 180 нм технологии при использовании MOS-конденсаторов (на 100 мА выходного тока):

Топология 1:2 — 4-5 мм<sup>2</sup> (преобразование 5 В -> 1.8 В)

Топология 2:3 — 14-20 мм<sup>2</sup> (преобразование 3.3 В -> 1.8 В)

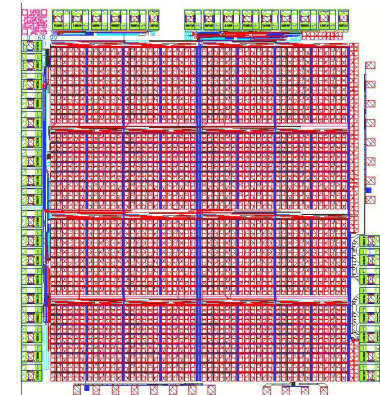
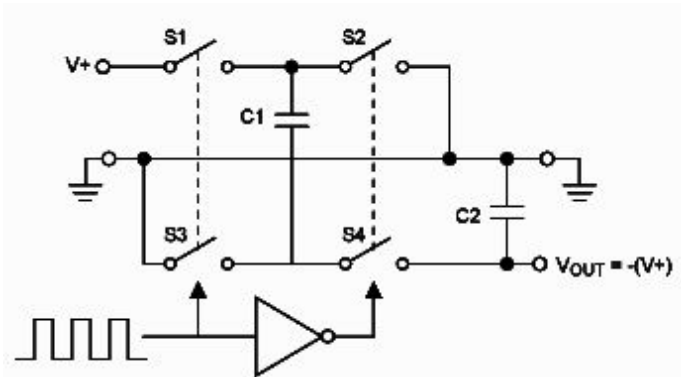
Типовое применение - встроенный преобразователь для питания ядра микроконтроллера, позволяющий устранить зависимость мощности от входного напряжения и уменьшить энергопотребление.

Разработка специализированных преобразователей под конкретные задачи позволит добиться лучших характеристик по площади и КПД.



# Выводы

- Разработан полностью интегральный DC/DC преобразователь на переключаемых конденсаторах, подходящий для самостоятельного использования и интеграции в системы на кристалле.
- Разработанный преобразователь обладает более высоким КПД, чем линейный регулятор, и требует меньше пассивных компонентов и места на печатной плате, чем индуктивные преобразователи.
- Изготовлен и измерен тестовый кристалл, реализующий основные схемные и конструктивные решения, ведется подготовка полнофункционального прототипа.
- Прорабатывается возможность создания библиотеки специализированных встраиваемых преобразователей.





# MEGARAD

## Спасибо за внимание!



**Валерий Шунков**<sup>1,2</sup>, Олег Кусь<sup>2</sup>, Виталий Прокопьев<sup>1</sup>,  
Владимир Бутузов<sup>1,3</sup>, Юрий Бочаров<sup>3</sup>, Валентин Шунков<sup>4</sup>

1 — ООО «Мегарад», 2 — ООО «ОКБ Пятое Поколение»,  
3 — НИЯУ «МИФИ», 4 — ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН

[shunkov@5okb.ru](mailto:shunkov@5okb.ru)



Работа выполнена при поддержке фонда "Сколково"