

Рис. 2. Диаграмма тактовых сигналов для одного канала

передается к каскадам преобразования: к первому каскаду напрямую, ко второму – после вычитания из него результатов преобразования первого каскада. Вычитание производится при помощи ЦАП и аналогового сумматора. Для повышения точности преобразования используется избыточная разрядность. Таким образом, первый каскад выполняет преобразование четырех разрядов, второй – пяти. Выходной буфер, в свою очередь, производит сложение с поразрядным перекрытием и выводит итоговый результат в формате LVDS.

Диаграмма тактовых сигналов одного из каналов представлена на рис. 2. Разница во времени между каналами составляет один такт входного тактового сигнала. В режиме хранения (PX) сигнал с выходов УВХ доставляется к каскадам преобразования. Выходной буфер выдает итоговый результат после того, как оба каскада произведут преобразование.

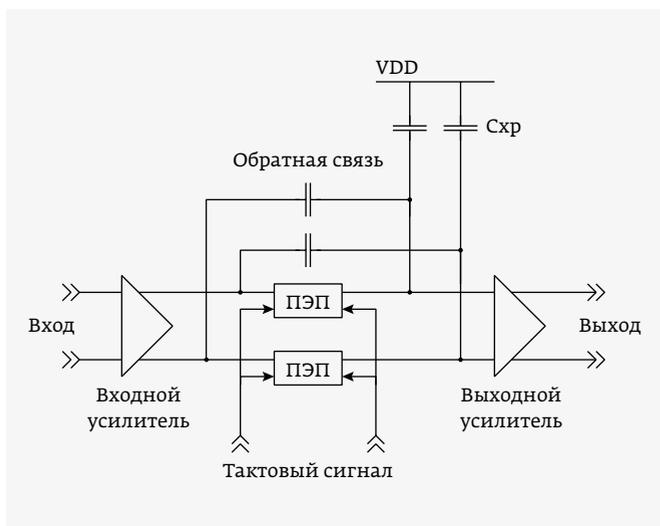


Рис. 3. Структурная схема УВХ

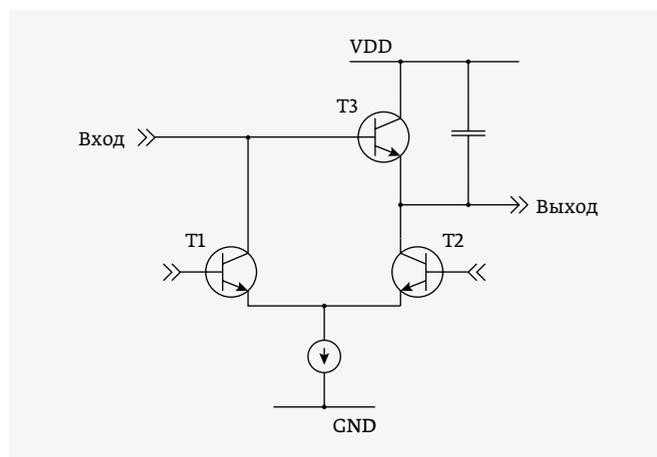


Рис. 4. Переключаемый эмиттерный повторитель

### РЕАЛИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ БЛОКОВ

УВХ квантует и дискретизирует входной аналоговый сигнал, сохраняя его постоянным в режиме хранения. Будучи входным каскадом АЦП, УВХ – один из ключевых элементов, поскольку может оказывать влияние на точность преобразования из-за недостаточных динамического и частотного диапазонов. На рис. 3 представлена известная схема УВХ на биполярных транзисторах [2].

Дискретизация в схеме производится переключаемыми эмиттерными повторителями (ПЭП) (рис. 4). Упрощенная версия ПЭП состоит из дифференциальной пары транзисторов, нагруженной конденсатором хранения (Схр). В рамках

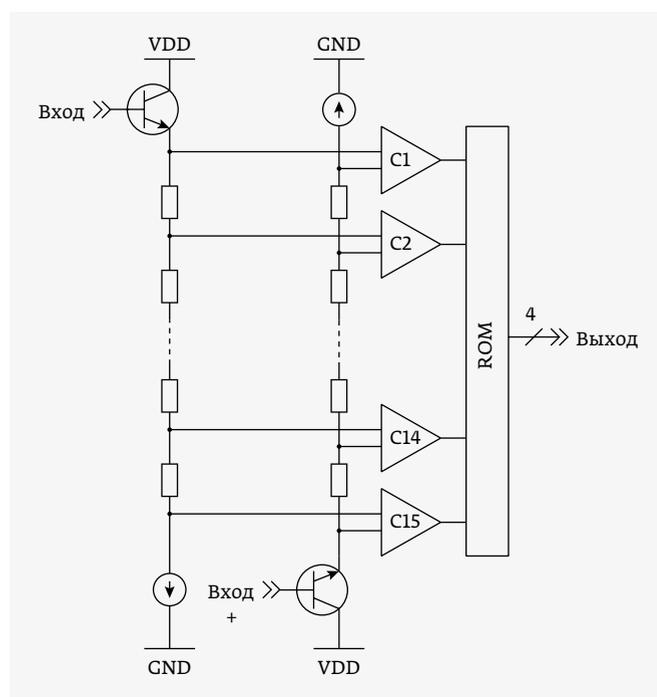


Рис. 5. Первый каскад преобразования

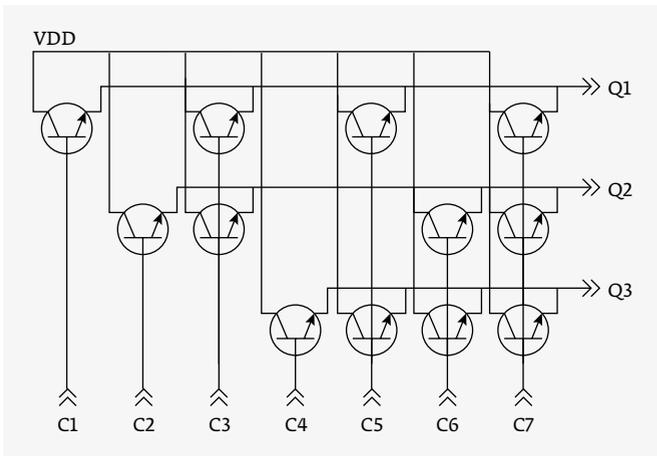


Рис. 6. ROM-матрица

режима слежения ток течет через правое плечо (Т2, Т3), заряжая конденсатор Схр. В режиме хранения ток переключается на транзистор Т1. В этот момент конденсатор отключается от входного сигнала и начинает раздавать сохраненное значение на каскады преобразования. Благодаря биполярным транзисторам частотный диапазон данного УВХ с запасом

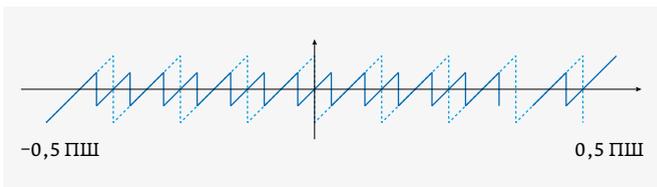


Рис. 7. Входной сигнал второго каскада

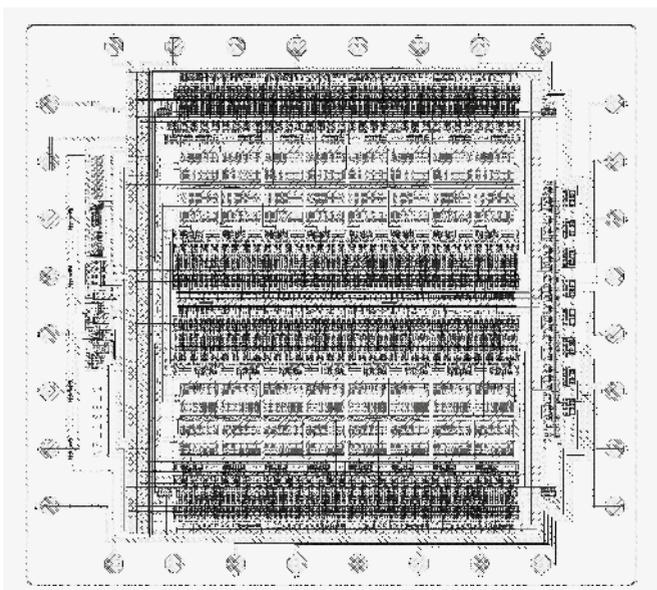


Рис. 8. Топология АЦП

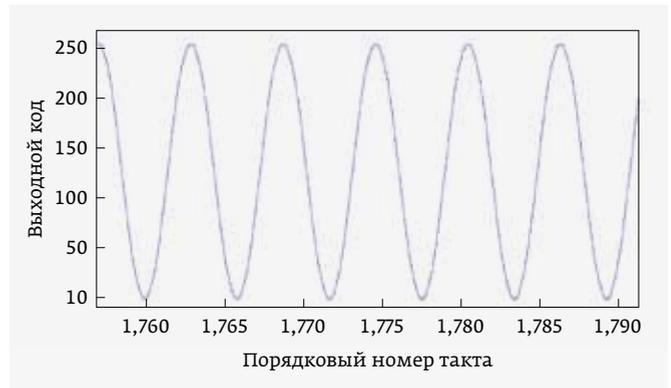


Рис. 9. Временная развертка выходного кода

охватывает входной аналоговый сигнал в первой зоне Найквиста. Однако для быстродействия дифференциальных пар необходима достаточная величина тока. Кроме того, использование биполярных транзисторов приводит к токам утечки с конденсатора, тем самым сохраненный сигнал со временем изменяется. В целях компенсации потерь применяется емкостная отрицательная связь. Обратная связь особенно необходима при использовании УВХ совместно с несколькими каскадами преобразования.

Кроме ПЭП и обратных связей, УВХ включает в себя входной и выходной буферы с простыми дифференциальными усилителями.

Первый каскад преобразования представляет собой простой 4-разрядный параллельный АЦП (рис. 5), состоящий из резистивной цепи и 15 компараторов. Для реализации избыточной разрядности резистивная цепь сдвинута на 1/32 полной шкалы. Такой тип каскадов часто называют 3,5-разрядным.

У большей части БикМОП-компараторов достаточные параметры для их применения в АЦП с частотой преобразования до 1 ГГц. В данной работе использован простейший стробируемый компаратор.



Рис. 10. Спектральная характеристика

Термометрический код с выхода компараторов попадает на ROM-матрицу, которая преобразует его в прямой двоичный код. Для примера на рис. 6 представлен 3-разрядный ROM. Преимущества использования ROM-матрицы в малой занимаемой площади и низкой задержке.

Стоит отметить, что несмотря на небольшую занимаемую площадь, ROM-матрица отличается длинными выходными эмиттерными шинами. При построении топологии матрицы на кристалле это необходимо учитывать, чтобы по возможности уменьшить паразитные емкости.

Структура второго каскада преобразования аналогична структуре первого. Отличие заключается в разрядности, то есть в количестве компараторов (31 для 5-разрядного каскада). Как уже говорилось, аналоговый сигнал на второй каскад приходит после вычитания из него результатов преобразования первого каскада. В итоге на второй каскад поступает сигнал, изображенный на рис. 7.

Основные параметры АЦП

Название	$F_s$ , МГц	$V_{inmax}$ , мВ	INL, МЗР	ENOB	SNR, дБ	W, мВт
ADC08D502	500	870	0,3	7,5	48	1400
ADC08D500	500	870	0,3	7,5	47,5	800
ADC08D1020	1000	870	0,3	7,4	46,8	1600
ADC08D1520	1500	870	0,25	7,4	46,8	2000
MAX104	1000	500	0,3	7,5	47	5250
Микросхема 5408HB015	1000	1000	0,5	7,3	46	1300

Все полученные двоичные коды поступают на выходной буфер, вычисляющий поразрядную сумму. Итоговые результаты с каждого канала объединяются при помощи мультиплексора. Для сохранения быстродействия цифровые ячейки выполнены в ЭСЛ-логике.

Топология кристалла разработанного АЦП представлена на рис. 8.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

8-разрядный АЦП спроектирован с использованием SiGe БикМОП технологии по проектным нормам 250 нм. На рис. 9 изображена временная развертка выходного десятичного кода для полной шкалы АЦП. Частота входного сигнала составляет 17 МГц, частота тактового – 1 ГГц. Динамические параметры вычислены по спектральной характеристике выходного кода (рис. 10). Зависимость статических параметров от амплитуды входного сигнала показана на рис. 11, соответствие выходного кода входному сигналу – на рис. 12.

В таблице приведены результаты сравнения зарубежных СВЧ АЦП с разработанной микросхемой 5408HB015.

\*\*\*

В статье представлен 8-разрядный СВЧ АЦП для работы в частотном диапазоне до 1 ГГц. Особенность предложенных схемотехнических решений – отсутствие трудоемких методов корректировок и подгонок параметров в процессе производства.

Как показали результаты измерения готовых микросхем, по своим характеристикам они соответствуют современным зарубежным аналогам при приемлемой себестоимости изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Kester W.** Analog-Digital Conversion // Analog Devices, Inc. Printed in the United States of America. ISBN0-916550-27-3. 2004. P. 120.
2. **Vorenkamp P. and Verdaasdonk J.P.M.** Fully bipolar, 120-Msample 10b Track-and-Hold Circuit, 1992.

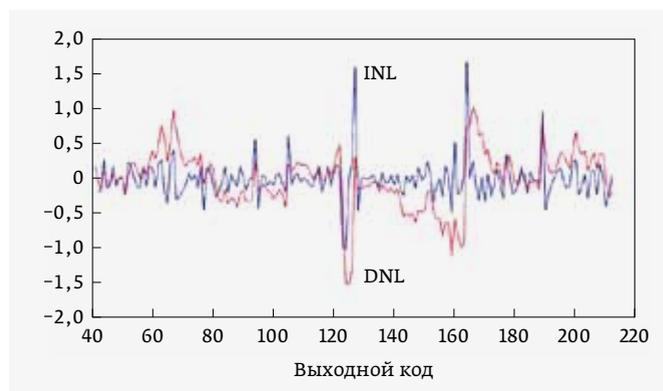


Рис. 11. Статические параметры

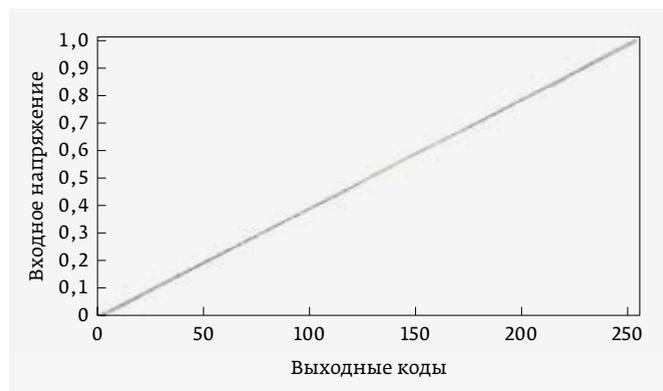


Рис. 12. Передаточная характеристика