

# Конфигурируемые аналого-цифровые ИМС серии 5400

Всеволод ЭННС,  
к. т. н.  
Юрий КОБЗЕВ,  
к. т. н.  
Игорь КОРЕПАНОВ  
mail@dcsoyuz.com

Компания «Дизайн Центр «Союз» развивает серию конфигурируемых схем 5400, которая содержит несколько типов АЦ БМК и ПАИС, выполненных по современному отечественному КМОП КНИ технологическому процессу ПАО «Микрон». Микросхемы обладают высокими показателями надежности, стойкости к СВВФ и готовы в том числе к применению в космической промышленности и разработке специальной аппаратуры.

Применение конфигурируемых аналого-цифровых схем — одна из возможностей провести успешное импортозамещение в сжатые сроки, обеспечив при этом требуемые технические характеристики и улучшив показатели надежности аппаратуры. Конфигурируемые аналого-цифровые схемы делятся на базовые матричные кристаллы (АЦ БМК), которые программируются слоями металлизации при производстве, и программируемые пользователем аналоговые схемы (ПАИС).

Структура АЦ БМК подразделяется на две функциональные области — цифровую и аналоговую. Цифровая функциональная область представляет собой матрицу, состоящую из набора базовых цифровых ячеек, которые объединены в строки, ограниченные с двух сторон шинами «земли» и питания. В зависимости от типа БМК цифровая часть составляет 100 000–300 000 четырехтранзисторных ячеек (вентилей). Аналоговая функциональная область изделия — это блочная

конструкция, состоящая из макроячеек, включающих аналоговые и аналого-цифровые блоки, транзисторы, наборы резисторов и конденсаторов. БМК различаются общим количеством встроенных СФ-блоков, цифровых ячеек, согласованных резисторов, конденсаторов, транзисторов, а также диапазонами входных и выходных напряжений и типом корпуса (табл. 1).

АЦ БМК 5400ТР064 предназначен для разработки сложных проектов, для реализации которых необходима большая аналоговая часть, включающая АЦП, ЦАП, ОУ и компараторы различных типов, а также цифровой блок, содержащий увеличенное число цифровых вентилей.

АЦ БМК 5400ТР045 использует те же функциональные блоки, однако их количество уменьшено. Как следствие, микросхема имеет компактный корпус.

Основной особенностью АЦ БМК 5400ТР014 является наличие циклического 14-разрядного АЦП с частотой выборки до 5 Мвыб/с.

Конфигурируемые аналого-цифровые микросхемы становятся частью систем с установленными уровнями напряжений питания и сигналов. Как правило, они лежат за пределами допустимых напряжений, обусловлен-

Таблица 1. Состав АЦ БМК серии 5400

Состав	Количество	Корпус
<b>АЦ БМК 5400ТР014 (015)</b>		
Цифровые вентили 3,3 В	100 352	4238.108-3 (рис. 1а)
14-разрядный АЦП	1	
12-разрядный АЦП/ЦАП	2	
Прецизионный усилительный блок	12	
Быстродействующий усилительный блок	16	5142.48-А (рис. 1б)
Усилительный блок общего применения	16	
Аналоговый мультимплексор «16-в-1»	2	5123.28-1 (рис. 1в)
Встроенный источник опорного напряжения	1	
Источник опорного напряжения 3,2 В с внешним стабилизатором	1	
<b>АЦ БМК 5400ТР045 (045А)</b>		
Цифровые вентили 1,8 В	31 450	5142.48-А (рис. 1б)
Цифровые вентили 5 В	53 180	
Набор высоковольтных транзисторов (пробивное напряжение 60 В)	1000	5123.28-1 (рис. 1в)
Блок однократно программируемой памяти	370 бит	
12-разрядный АЦП/ЦАП	2	5123.28-1 (рис. 1в)
Полностью дифференциальный ОУ	18	
ОУ общего применения	18	5123.28-1 (рис. 1в)
Прецизионный ОУ	18	
Компаратор общего применения	18	5123.28-1 (рис. 1в)
Строблируемый компаратор	30	
Встроенный источник опорного напряжения	1	5123.28-1 (рис. 1в)
Опция высоковольтного мультимплексора «32-в-1»	1	
<b>АЦ БМК 5400ТР064 (065)</b>		
Цифровые вентили 5 В	300 000	4238.108-3 (рис. 1а)
Набор высоковольтных транзисторов (пробивное напряжение 60 В)	4000	
Блок однократно программируемой памяти	16 кбит	5142.48-А (рис. 1б)
ОУ различных типов	86	
Компараторы различных типов	52	5142.48-А (рис. 1б)
12-разрядный АЦП/ЦАП	6	
Встроенный источник опорного напряжения	3	5142.48-А (рис. 1б)
Встроенный линейный регулятор	6	
Драйвер внешнего силового ключа	2	5142.48-А (рис. 1б)
Генератор тактовых сигналов	1	
Опция высоковольтного мультимплексора «32-в-1»	4	

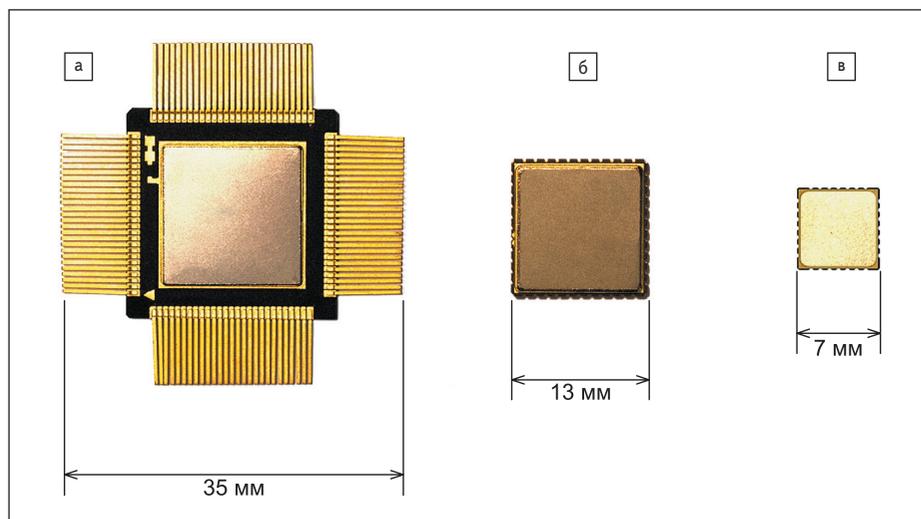


Рис. 1. Внешний вид корпусов: а) 4238.108-3; б) 5142.48-А; в) 5123.28-1

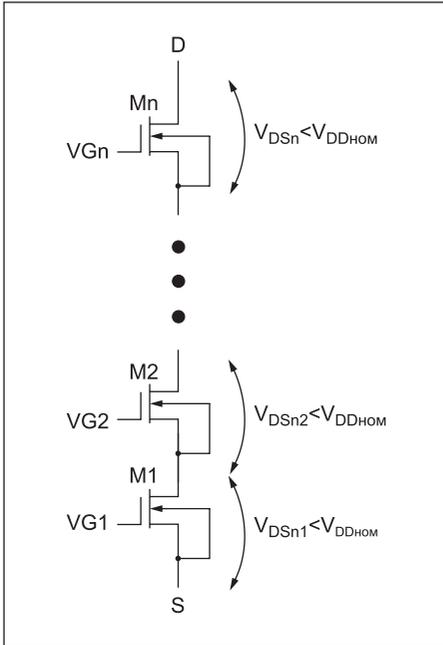


Рис. 2. Принцип реализации высоковольтного транзистора на низковольтных КНИ-транзисторах (стековая архитектура)

ных применением в микросхемах элементной базы субмикронных размеров.

Для того чтобы обеспечить возможность применения конфигурируемых аналого-цифровых микросхем в широком диапазоне напряжений питания и сигналов, в серии 5400 разработана дополнительная библиотека элементов, основанная на стековой архитектуре (рис. 2) [1].

Реализация библиотечных элементов с использованием стекового включения транзисторов требует строгого контроля условий по предельно допустимым уровням напряжений затвор-исток, затвор-сток, сток-исток, канал-подложка в узлах стека. При этом необходимо проверять не только статические параметры, но и переходные процессы, что в свою очередь накладывает ограничения на скорость изменения сигналов.

В состав высоковольтных библиотечных элементов входят линейные регуляторы, входные и выходные цифровые буферы, операционные усилители (ОУ) и компараторы. Есть возможность построения высоковольтных аналоговых коммутаторов (5400ТР064/065).

Высоковольтные ОУ предполагают применение удвоенных уровней напряжения питания и сигналов по отношению к номинальным. Это позволяет обеспечивать максимальное выходное аналоговое напряжение 6,3 В в случае использования микросхем 5400ТР014/015 и 10 В для микросхем 5400ТР045/045А.

Стековое включение транзисторов существенно усложняет конструкцию ОУ, требует учета множества факторов при его проектировании. В частности, следует предусма-

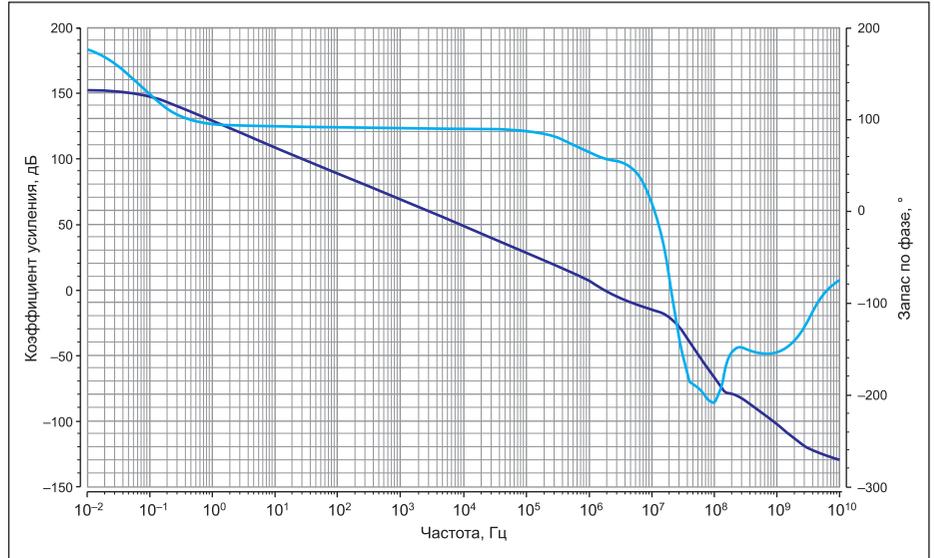


Рис. 3. АЧХ и ФЧХ высоковольтного ОУ на основе низковольтных транзисторов (стековая архитектура)

тривать влияние переходных процессов как при включении питания, так и при импульсном входном воздействии на ограничения по предельно допустимым режимам транзисторов и конденсаторов. Стековое включение транзисторов вносит дополнительные паразитные емкости и сопротивления, которые затрудняют частотную коррекцию ОУ и в целом ухудшают его динамические характеристики.

Тем не менее опыт проектирования показывает, что характеристики высоковольтных ОУ, построенные с использованием стековой архитектуры, как правило, удовлетворяют требованиям по обработке сигналов датчиков. Более того, достигаемые характеристики сравнимы с параметрами ОУ, выполненных по нормам высоковольтного технологического маршрута. Это позволяет сочетать в рамках одной микросхемы все

преимущества субмикронных технологий (быстродействие, высокая степень интеграции) и возможности обработки высоковольтных сигналов.

На рис. 3 приведены амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики ОУ с напряжением питания и сигналов до 10 В.

Коэффициент усиления более 150 дБ, частота единичного усиления 1,7 МГц, запас по фазе при нагрузке 30 пФ — 57°. На рис. 4 приведен импульсный отклик высоковольтного ОУ в режиме повторителя напряжения. Скорость нарастания выходного сигнала составляет 0,68 В/мкс при токе покоя 0,7 мА.

Дальнейшим развитием библиотечных элементов конфигурируемых аналого-цифровых микросхем серии 5400 стала разработка аналоговых элементов с автоматической калибровкой параметров. Помимо блока

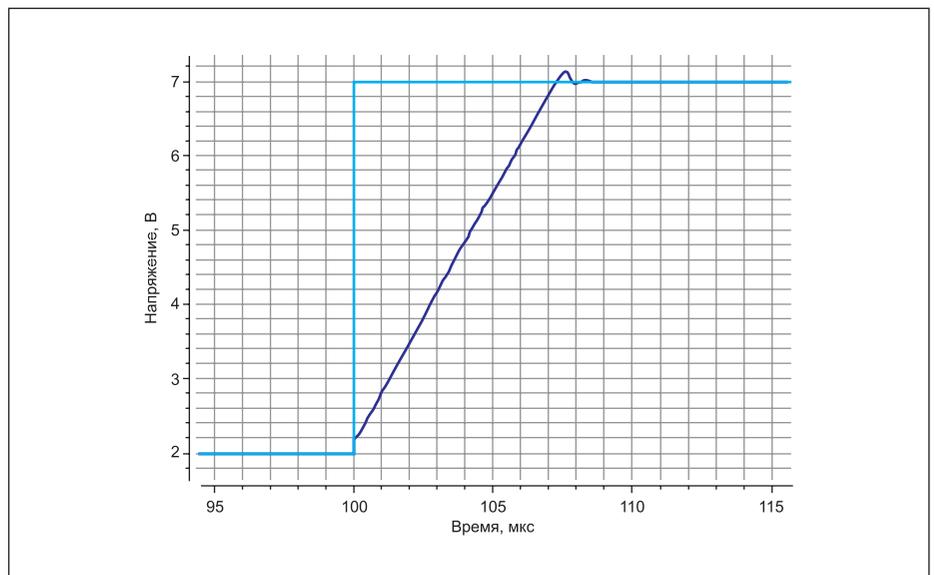


Рис. 4. Импульсный отклик высоковольтного ОУ на основе низковольтных транзисторов (стековая архитектура)

Таблица 2. Состав ПАИС 5400ТР035

Состав	Количество	Корпус
Прецизионный усилительный блок	22	5142.48-А (рис. 16)
Усилительный блок	22	
Блок пассивных компонентов	44	
Блок свободной конфигурации	9	
Блок ввода/вывода	18	
Аналоговый мультиплексор «8-в-1»	1	
Линейный регулятор напряжения	1	
Встроенный источник опорного напряжения	1	

циклического 14-разрядного АЦП с автоматической калибровкой интегральной нелинейности, создается серия библиотечных элементов ОУ и компараторов с автоматической калибровкой смещения нуля.

Калибровка происходит по включению питания или по отдельному сигналу. Калибровочные коэффициенты сохраняются в регистрах и управляют цифровыми 5-разрядными потенциометрами, корректирующими смещение нуля ОУ или компаратора.

Для оценки параметрического запаса микросхемы в ходе специальных воздействий предусмотрена возможность считывания калибровочных коэффициентов. При приближении параметров к граничным значениям возможна установка сигнала предупреждения о вероятном скором выходе микросхемы за пределы специфицированных параметров.

Перспективное направление конфигурируемых аналого-цифровых схем — про-

граммируемые пользователем аналоговые схемы 5400ТР035 (КомПАС-1) [2]. Конфигурирование ПАИС КомПАС-1 выполняется на стороне пользователя путем программирования электрических связей между встроенными блоками (табл. 2).

Микросхема имеет два режима работы:

- режим отладки с возможностью многократного перепрограммирования;
- режим финальной конфигурации с записью в энергонезависимую память.

ПАИС позволяет решать задачи аналоговой обработки, реализация которых на дискретных элементах потребует существенных ресурсов. Использование ПАИС особенно выгодно при малых объемах производства. Разработка на основе микросхемы КомПАС-1 позволяет специалисту спроектировать схему в соответствии с его требованиями и в сжатые сроки.

Основными преимуществами конфигурируемых аналого-цифровых схем по сравнению с решениями на стандартных микросхемах являются меньшая стоимость, площадь модуля, более высокая надежность и стойкость к внешним факторам. В частности, за счет использования КНИ КМОП-технологии гарантируется работоспособность при температурах окружающей среды  $-60...+125$  °С. Также микросхемы обладают высокой стойкостью к специальным воздействующим факторам (отсутствие отказов при воздействии тяжелых заряженных частиц и стойкость к накоплен-

ной дозе) и высокой надежностью — наработка на отказ составляет до 200 тыс. ч [3].

Существенную часть номенклатуры импортных микросхем можно заменить конфигурируемыми аналого-цифровыми схемами, позволяющими в короткие сроки и с минимальными затратами создавать необходимую элементную базу для обеспечения аналого-цифрового интерфейса, систем управления питанием, обработки сигналов датчиков и т. д. Применение стековой архитектуры позволяет использовать АЦ БМК в аппаратуре с различными уровнями напряжения питания и входными воздействиями. ■

## Литература

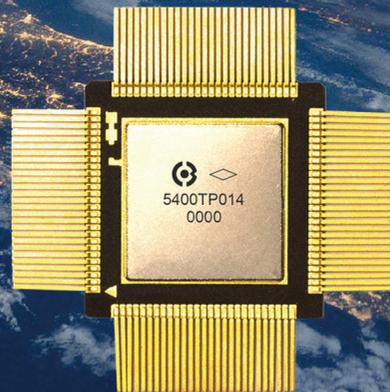
1. Кобзев Ю. М., Фролов Д. П., Эннс В. И., Осокин С. А. Проектирование схем на базе КМОП КНИ/КНС-технологии для обработки аналоговых сигналов с напряжением, превышающим номинальное напряжение питания // Труды ФГУП «НПЦАП». Системы и приборы управления. 2012. № 3.
2. Эннс В. В., Кобзев Ю. М., Корепанов И. В. Разработка типовых решений аналоговой обработки с помощью программируемой пользователем аналоговой микросхемы КомПАС-1 (5400ТР035) // Компоненты и технологии. 2016. № 12.
3. Алексеев В. В., Телец В. А., Эннс В. И., Эннс В. В. Импортозамещение ЭКБ: базовые матричные кристаллы // ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ. 2016. № 2.



**СОЮЗ**  
ДИЗАЙН ЦЕНТР

**ГИБКИЕ РЕШЕНИЯ  
 ДЛ Я РАЗРАБОТЧИКОВ АППАРАТУРЫ**

- Конфигурируемые аналого-цифровые микросхемы серии 5400
- Современные быстродействующие АЦП серии 5112
- Импульсные регуляторы напряжения серии 1393



[www.dcsouyz.com](http://www.dcsouyz.com)

Телефон: 8 (499) 995-25-18

Адрес: г. Зеленоград, корпус 100

e-mail: [mail@dcsouyz.com](mailto:mail@dcsouyz.com)