

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ,
ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ ՄՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Գումրոյան Հրաչյա Վաղիմի

**ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՄԽԵՄԱՆԵՐԻ ԽՈՏԱՆԻ ՆՎԱԶԵՑՄԱՆՆ ՈՒՂՂՎԱԾ
ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ՄԻՋՈՑՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ**

Ե.27.01 «Էլեկտրոնիկա, միկրո և նանոէլեկտրոնիկա» մասնագիտությամբ
տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի
հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՍԱԳԻՐ

Երևան 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА
РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ

Гумроян Рачья Вадимович

**РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ
НЕИСПРАВНОСТИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 05.27.01-
“Электроника, микро- и наноэлектроника”

Ереван 2022

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում (ՀԱՊՀ):

Գիտական ղեկավար՝

տ.գ.դ. Վազգեն Շավարշի Մելիքյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

տ.գ.դ. Սուրիկ Խաչիկի Խողավերդյան,
տ.գ.թ. Գոռ Արսենի Պետրոսյան

Առաջատար կազմակերպություն՝

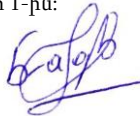
Երևանի պետական համալսարան

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2022թ. հուլիսի 13-ին, ժամը 10⁰⁰-ին, ՀԱՊՀ-ում գործող «Ռադիոտեխնիկայի և էլեկտրոնիկայի» 046 Մասնագիտական խորհրդի նիստում (հասցեն՝ 0009, Երևան, Տերյան փ., 105, 17 մասնաշենք) :

Ատենախոսությունը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ-ի գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2022թ. հունիսի 1-ին:

046 Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար, տ.գ.թ.



Բենիամին Ֆելիքսի
Բադալյան

Тема диссертации утверждена в Национальном политехническом университете Армении (НПУА)

Научный руководитель:

д.т.н. Вазген Шаваршович Меликян

Официальные оппоненты:

д.т.н. Сурик Хачикович Худавердян
к.т.н. Гор Арсенович Петросян

Ведущая организация:

Ереванский государственный университет

Защита диссертации состоится 13-го июля 2022г. в 10⁰⁰ ч. на заседании Специализированного совета 046 — "Радиотехники и электроники", действующего при НПУА, по адресу: 0009, г. Ереван, ул. Теряна, 105, корпус 17.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.

Автореферат разослан 1-го июня 2022 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета 046, к.т.н.



Бениамин
Феликсович Бадалян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В современных интегральных схемах (ИС) количество рабочих узлов постоянно увеличивается, что затрудняет обеспечение их бесперебойной работы на протяжении всего срока эксплуатации. Одним из важнейших требований к проектируемым схемам является уменьшение количества возникающих неисправностей. Сказанное выдвигает новые задачи по отношению к надежности проектируемых систем, усложняет производственные процессы и повышает стоимость опытных анализов. Для обеспечения высокой надежности ИС и увеличения срока их эксплуатации используются различные встроенные системы, позволяющие проводить автономное тестирование с целью устранения возникающих неисправностей. Однако эти системы занимают дополнительную площадь, вызывают задержки сигнала и увеличивают энергопотребление.

Неисправности в ИС могут возникать из-за параметрических отклонений проектируемой системы. Эти отклонения обусловлены низкой надежностью проектируемой системы, возникающей из-за отклонений процессов, напряжения питания и температуры (ПНТ), искажения коэффициента заполнения (КЗ) передаваемого сигнала, а также недостаточной защитой узлов ввода/вывода (В/В).

Помимо вышесказанного, при производстве и испытаниях полупроводниковых приборов возникает высокая вероятность появления дополнительных повреждений, обусловленных неточностями в автоматизированных системах, используемых на производственных предприятиях.

Из литературы известно множество способов повышения устойчивости ИС ко внешним факторам, однако они не отвечают высоким требованиям и стандартам, предлагаемым ведущими организациями. В частности, известные методы корректируют работу системы на этапе проектирования и не решают проблем, возникающих при их непосредственной эксплуатации.

Таким образом, с учетом вышесказанных проблем, разработка средств направленных на снижение неисправностей ИС, является чрезвычайно актуальной. Это вызвано тем, что известные из литературы решения недостаточно точны и не соответствуют современным высоким стандартам разработки ИС.

Диссертация посвящена разработке методов уменьшения неисправностей ИС, что позволит уменьшить дефекты выпускаемых систем и повысит их надежность.

Объект исследования. Исследование причин появления неисправностей в ИС, способов снижения внешних воздействий, а также повышения надежности принимаемых и передаваемых сигналов, за счет внедрения дополнительных систем контроля.

Цель работы. Разработка и исследование средств направленных на уменьшение неисправностей в ИС, с целью их обнаружения и устранения при помощи внедренных систем.

Методы исследования. В ходе исследования были использованы основные принципы моделирования аналоговых и цифровых ИС, методы оптимизации полупроводниковых систем и основные положения объектно-ориентированного программирования.

Научная новизна:

- Предложены подходы к уменьшению неисправностей в ИС, позволяющие повысить стабильность передаваемого сигнала и надежность производимых ИС за счет увеличения энергопотребления и площади занимаемой ими поверхности.
- Разработана система обнаружения и коррекции отклонений в генераторе управляемым напряжением (ГУН), благодаря которой с помощью дополнительных массивов Р-МОП и N-МОП транзисторов стало возможным нейтрализовать неточности генерируемого сигнала, возникаемого из-за изменений ПНТ. В результате распределение значений опорного напряжения системы уменьшилось на 30%, а колебания значений выходной частоты на 40%, за счет увеличения площади системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) на 15%.
- Разработана система обнаружения и самокоррекции отклонений коэффициента заполнения сигналов (КЗС), которая позволяет значительно повысить надежность данных за счет использования цифровых узлов. Система регулирует КЗ с точностью $\pm 0,5\%$ за счет увеличения энергопотребления узла приемника всего на 3,95 МВт.
- Предложен метод совмещения компаса и гироскопа при помощи фильтра Калмана, позволяющий снизить шумовые отклонения с 2^0 до $0,2^0$, а максимальное отклонение подложки тестирующей платформы с 0,5мкм до 0,05мкм за счет дополнительных датчиков, установленных в системе.
- Разработан метод управления напряжением смещения входного буфера, при помощи которого изменения в значениях порогового напряжения и электрического тока затвор-исток уменьшились на 87%, за счет увеличения площади поверхности – на 20%.

Практическая ценность работы. Основываясь на принципах и методах, предложенных в диссертации, было разработано программное обеспечение “PVT Customizer” для реализации систем коррекции сигналов в интегральных схемах, которое внедрено в ООО “Экспер” и используется для автоматизированного моделирования ИС. Алгоритмы внедренные в ПО ускоряют процесс моделирования в среднем на 25% за счет снижения временных параметров разрабатываемой схемы на 5%.

Достоверность научных положений подтверждена сочетанием математического обоснования представленных в диссертации научных результатов с результатами практического моделирования.

Внедрение. Программный инструмент PVT Customizer внедрен и используется ООО “Экспер”. Он предназначен для автоматизированного моделирования ИС и быстрой регулировки параметров ПНТ.

Основные положения, выносимые на защиту:

- метод обнаружения и коррекции отклонений ПНТ в ГУН;
- метод самокоррекции отклонений значений КЗ передаваемого сигнала;
- метод совмещения компаса и гироскопа при помощи фильтра Калмана;
- метод управления напряжением смещения на входном транзисторе приемника.

Апробация работы. Основные научные и практические результаты диссертации докладывались на:

- Международном симпозиуме 2018 IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI (ISVLSI)" (Гонконг, 2018 г.);
- научных семинарах кафедры "Микроэлектронные схемы и системы" НПУА (Ереван, Армения, 2018-2021 гг.);
- научных семинарах ЗАО "Синописис Армения" (Ереван, Армения, 2018 - 2021 гг.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в шести научных трудах, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, трех глав, основных выводов, списка литературы, включающего 130 наименований а также 5 приложений. Первое приложение включает в себя акт внедрения диссертации, второе – отрывок spice описания системы ФАПЧ, третье - часть программного описания инструмента "PVT Customizer", четвертое - список рисунков и таблиц, используемых в диссертации и пятое - список использованных сокращений. Основной текст диссертации составляет 119 страниц, а вместе с приложениями - 158 страниц. Диссертация написана на армянском языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, представлены научная новизна, практическая значимость и основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлены проблемы, возникающие при разработке и производстве современных ИС, такие как надежность передаваемых данных и ограничения, возникающие при производстве ИС.

Из-за снижения технологического процесса производства ИС одним из основных препятствий для устойчивой передачи данных стали отклонения ПНТ. Чтобы предсказать такие отклонения, системы моделируются для более чем 120 различных случаев, в каждом из которых спроектированная схема должна удовлетворять поставленным ограничениям. Для нейтрализации отклонений ПНТ предлагаются решения, позволяющие снизить их влияние на производительность системы, как в процессе производства, так и в процессе эксплуатации ИС (рис. 1).

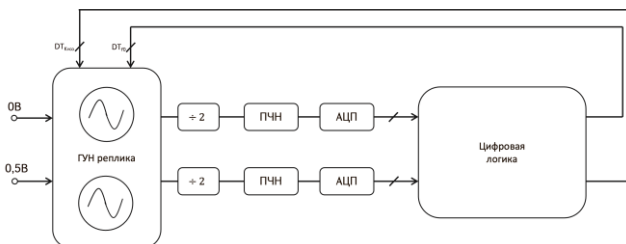


Рис. 1. Архитектура системы коррективы отклонений ПНТ

Отклонения ПНТ изменяют значения напряжения сигнала и его частоту, что приводит к сбоям в работе системы. Отклонения указанных параметров можно выявить путем внедрения дополнительных датчиков обнаружения искажений ПНТ в ИС, и тем самым регулируя значения напряжения в соответствии со значением отклонения.

Изменения в напряжении и частоте системы, компенсируются при помощи «регулятора напряжения» и «регулятора частоты». Значения встроенных в ядро датчиков считываются системой «локального регулирования» и передаются в систему «локального управления», которая в зависимости от эталонных значений корректирует отклонения напряжения и частоты. Представленная система регулирует выходную частоту передаваемого сигнала за счет обратной связи. Система ГУН реализована с помощью последовательно подключенных буферов. Коррекция искажений сигнала, вызванных отклонениями ПНТ, осуществляется с помощью “ГУН реплики”, преобразователя частоты в напряжение (ПЧН), аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и цифровой логики. На основе входных опорных напряжений на выходе “ГУН реплики” формируются два дифференциальных сигнала, значение напряжения которых передается системами ПНЧ и АЦП, а затем на цифровой логический узел, который, в свою очередь, управляет количеством буферов в ГУН, исправляя частотные отклонения.

Для изменения значений напряжения в основном используются преобразователи постоянного напряжения, которые изменяют напряжение входного сигнала и выдают на выходе целевое напряжение.

Другим важным показателем качества передаваемых данных в современных ИС является величина его КЗС, в идеале равная 50%. Это означает, что длительность логической единицы и логического нуля должны быть равны. Например, в системах двухскоростной передачи данных (DDR) эти данные считываются как по восходящему, так и по нисходящему фронтам сигнала. Поэтому в узлах, работающих с таким подходом, к КЗ предъявляются более жесткие требования. Однако величина КЗС в рабочих условиях может быть искажена налагаемыми шумами, а также изменениями ПНТ. Во избежание таких проблем в системы вводятся дополнительные схемы корректировки КЗС (рис. 2).

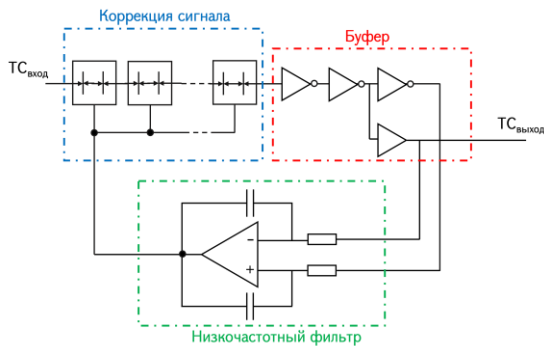


Рис.2. Схема корректировки коэффициента заполнения

Во второй главе представлены методы решения проблем, изложенных в первой главе.

Метод обнаружения и корректировки отклонений ПНТ в работе ГУН.

Как было отмечено в первой главе, современные интегральные схемы стали более чувствительными к параметрам ПНТ, отклонения которых вызывают искажения передачи сигнала, влияющие на выход полупроводниковых пластин. Для решения подобных задач в ИС внедряются системы, следящие за изменениями ПНТ и регулирующие их. Эти системы добавляются в быстродействующие узлы и широко используются в системах ФАПЧ.

Системы ФАПЧ используются для формирования тактовых сигналов в ИС. В частности, такие системы применяются для согласования тактовых сигналов ядер ИС, поэтому сбои в их работе могут привести к выходу из строя всей системы.

Важнейшим компонентом ФАПЧ являются системы ГУН. С помощью ГУН можно получать сигналы разных частот посредством изменения напряжения (рис. 3).

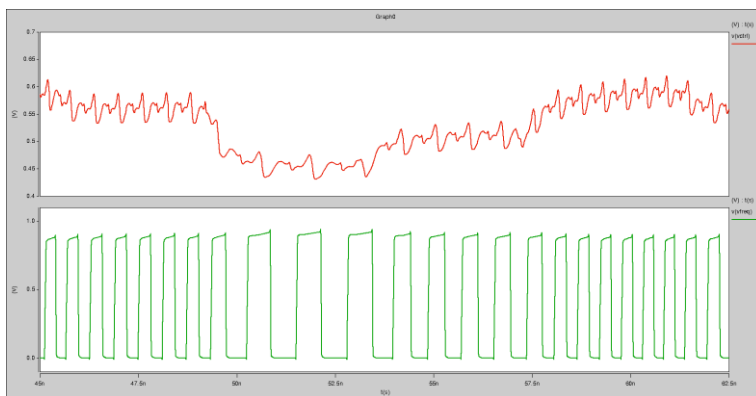


Рис. 3. Сигнал, генерируемый ГУН

Для обнаружения отклонений ПНТ используются: генератор сигналов отклонения процесса (ГСОП) Р-типа и N-типа, дифференциальный усилитель (ДУ), АЦП, а также два регистра. Данная структура позволяет непрерывно улавливать изменения в ПНТ и передавать обновленный контролирующий сигнал на вход системы ГУН.

Рабочая частота системы выбирается при помощи системы формирования тока смещения, размеры транзисторов которой должны пропорционально увеличиваться. Регистр Р-типа системы выявления смещений ПНТ управляет количеством подключенных к нему Р-МОП транзисторов. Тем же способом регистр N-типа управляет количеством подключенных к нему N-МОП транзисторов. Таким образом, на выходе системы формируется сигнал с равным временем перехода от низкого напряжения к высокому и наоборот (рис. 4).

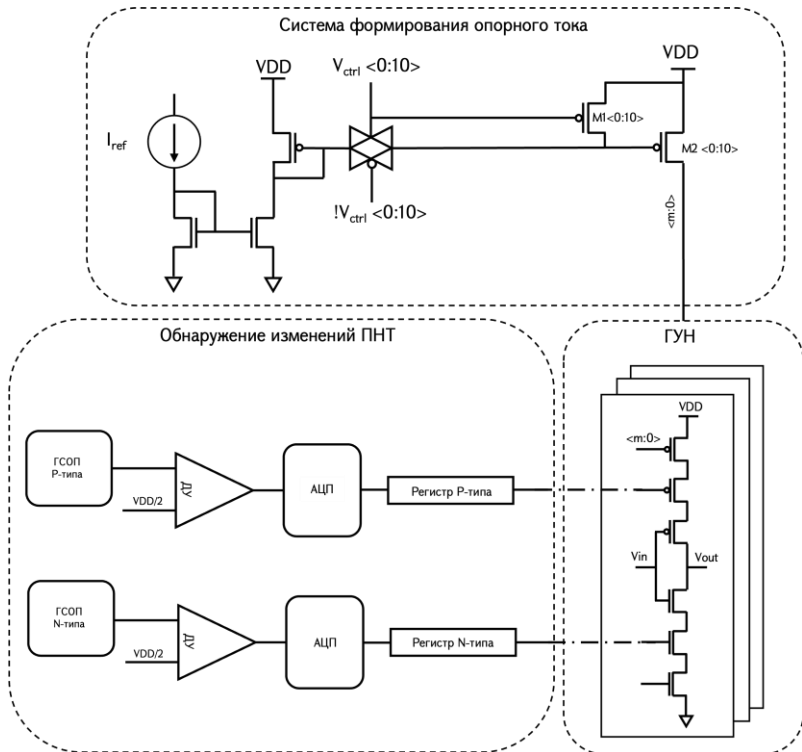


Рис. 4. Предлагаемая система ГУН с самокоррекцией изменений ПНТ

Для оценки результатов было проведено моделирование системы ГУН с использованием предлагаемого метода и без него (рис. 5).

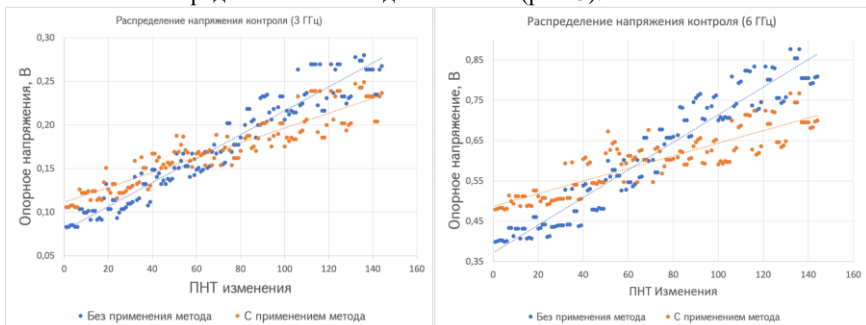


Рис. 5. Распределение значений напряжения смещения

Как видно из результатов моделирования, разница напряжений смещения системы ГУН при частоте в 3 ГГц составляла 0,17 В, а при частоте в 6 ГГц - 0,23В.

После внедрения системы обнаружения и корректировки отклонений ПНТ для частот в 3 ГГц и 6 ГГц, эти отклонения составили 0,13 В и 0,15 В соответственно.

Результаты моделирования показали, что данный метод позволяет уменьшить колебания значений выходной частоты до 40%, при постоянном напряжении смещения в 0,2В.

Таблица 1

Результаты моделирования предлагаемой системы

Параметр	Без применения метода	С применением метода
Ожидаемая частота (ГГц)	3	3
Самая низкая частота (ГГц)	2,7	2,85
Самая высокая частота (ГГц)	3,2	3,15

Таким образом, предлагаемая система позволяет снизить величину распределения напряжения смещения до 30%, а колебания выходной частоты до 40%, что делает систему более устойчивой к отклонениям ПНТ.

Система регулировки отклонений коэффициента заполнения. В быстродействующих узлах В/В, расположенных по периметру ИС и используемых для связи ядра схемы с внешними системами, изменения параметров ПНТ приводят к отклонениям в КЗС, которые, в свою очередь, приводят к сбоям в синхронизации сигналов внутри ИС. В идеальном случае значение КЗС должно быть равно 50%.

Современные ИС включают в себя такие схемы регулировки КЗ, как схемы тренировки опорного напряжения входного сигнала. Такие схемы функционируют на системном уровне, причем цифровой вход АЦП определяется до считывания данных, вследствие чего изменение опорного напряжения происходит до входа передаваемого сигнала в систему. Такой подход не учитывает отклонения ПНТ при непосредственной работе системы (рис. 6).

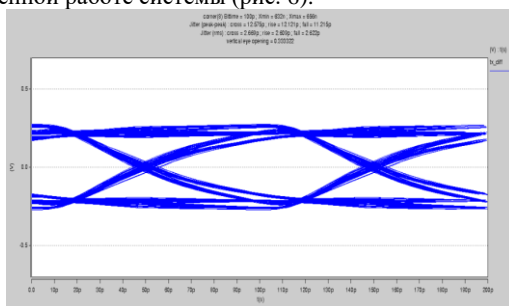


Рис. 6. Отклонения сигнала при работе узлов В/В

Представленная схема корректирует значения КЗС, изменяя значение опорного напряжения, сформированное на выходе внутреннего цифро-аналогового

преобразователя (ЦАП). Важным компонентом разработанной схемы является блок цифровой логики, который считывает выходной сигнал АЦП и, сравнивая его с номинальным значением КЗ, генерируемым узлом формирования опорного напряжения (УДНС), изменяет цифровой код входного сигнала ЦАП. Такой подход позволяет постоянно следить за значениями КЗ и производить корректировку в случае их отклонения от номинального значения (рис. 7).

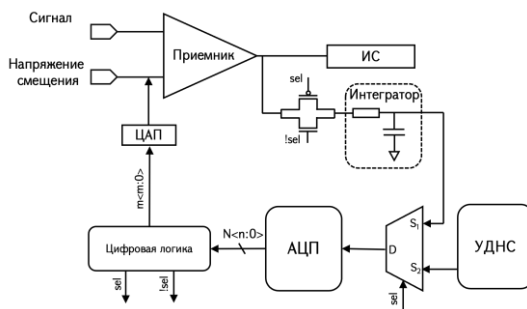


Рис. 7. Архитектура схемы корректировки КЗ

С целью оценки эффективности представленного метода был разработан быстродействующий приемник, а также проведено моделирование. Частота входного сигнала была выбрана по стандарту низкого энергопотребления узлов В/В - 2133 МГц. При моделировании работы системы для 27 разных случаев отклонений ПНТ на вход схемы подавался сигнал, с КЗС отклоненным на 15% от идеального (рис. 8).

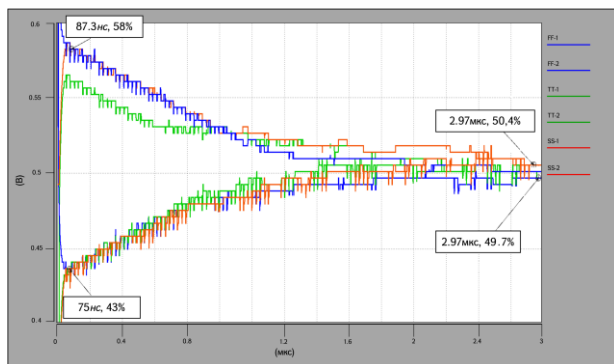


Рис. 8. Результаты моделирования для худших случаев отклонения ПНТ

Согласно результатам моделирования, разработанная система эффективна в различных случаях отклонения ПНТ. При типичных отклонениях ПНТ система регулирует значение КЗС до 50,1% (табл. 2). Следует отметить, что вне зависимости от направления отклонений ПНТ, схема регулирует значения КЗС примерно за один и тот же промежуток времени.

Таблица 2

Результаты моделирования предлагаемой системы

Параметр	Существующий метод	Предлагаемый метод
Точность регулирования (%)	0,25	0,5
Диапазон регулирования (%)	20...80	40...60
Частота сигнала (Гц)	1,7	2,1
Технологический процесс (нм)	45	28

Таким образом, с использованием представленного метода значительно увеличивается надежность передаваемого сигнала, что позволяет увеличить количество успешных проверок, проводимых на разных стадиях изготовления ИС. В данном случае КЗС исправляется с точностью до 0,5%, однако предлагаемая схема увеличивает количество потребляемой энергии в узле В/В до 3,95 мВт.

Метод слияния измерений компаса и гироскопа на основе фильтра Калмана. Как отмечалось в первой главе, в процессе тестирования полупроводниковых пластин используются специальные вращающиеся подложки, которые устанавливают тестируемые ИС на исходную позицию для начала тестирования. После установки пластины тестовый аппарат присоединяется к узлам В/В тестируемых схем, после чего начинается процесс тестирования. Если данная подложка будет иметь минимальную ошибку установки, то тестируемая пластина может быть повреждена тестируемым аппаратом.

Во избежание указанной проблемы предлагается произвести слияние датчиков магнитометра (компаса) и гироскопа на основе фильтра Калмана (рис. 9).

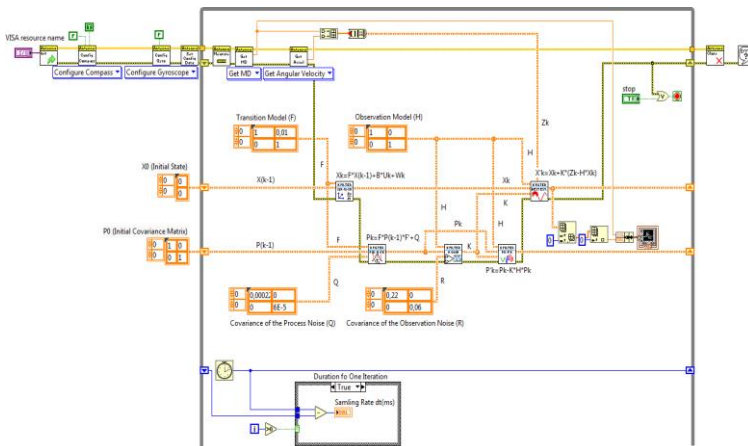


Рис.9. Реализация фильтра Калмана в среде LabVIEW

Управление двумя датчиками выполняется при помощи 32-битного микроконтроллера, который каждые 10 мс собирает считываемые данные и передает их на вход интерфейса LabVIEW. Для оценки истинного состояния фильтр Калмана реализован в среде LabVIEW.

Для оценки эффективности представленного метода было проведено моделирование работы данной системы для двух случаев. В первом случае система неподвижна (рис. 10), а во втором случае она вращается вокруг оси Z (рис. 11). Сравнение значений производилось с использованием метода слияния датчиков и без него.

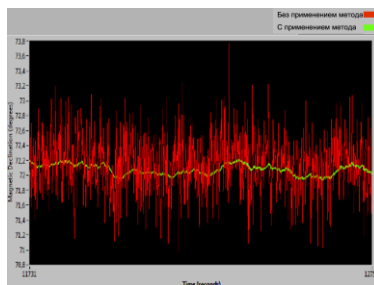


Рис.10. Моделирование неподвижной системы

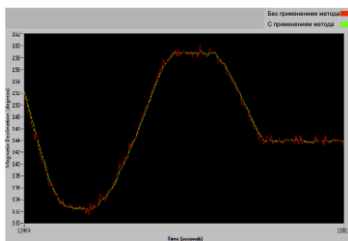


Рис.11. Моделирование системы, вращающейся вокруг оси Z

Для анализа данных был выбран аппарат, который одновременно тестирует 4 ИС с длиной стороны в 1 см (рис. 12).

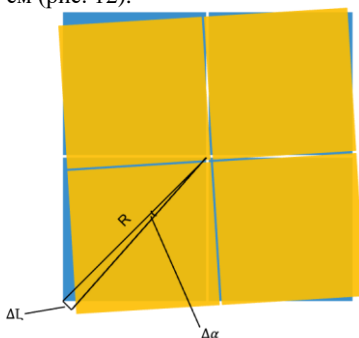


Рис.12. Оценка отклонений тестирующей подложки

Результаты моделирования показывают, что при использовании данного метода уровень магнитного отклонения снижается с 2^0 до $0,2^0$, а изменение в максимальной погрешности - с $0,5$ мкм до $0,05$ мкм.

Таблица 3

Результаты моделирования предлагаемой системы

Параметр	Без применения метода	С применением метода
Изменение магнитного отклонения	2^0	$0,2^0$
Наибольшая погрешность	$0,5$ мкм	$0,05$ мкм

Таким образом, с использованием предлагаемого метода слияния датчиков при помощи фильтра Калмана можно примерно в 10 раз отрегулировать точность компаса, используемого в тестирующем аппарате, по сравнению со значениями, считываемыми с компаса без использования данного метода.

Система защиты входного транзистора, подключённого к линиям передачи данных, от перенапряжения. Как уже отмечалось в предыдущей главе, в процессе тестирования и эксплуатации интегральные схемы подключаются к различным системам обмена данными. Уровень напряжения на линиях передач данных может достигать 5 В, подключенные системы могут быть полностью отключены от источника питания. Современные ИС проектируются при помощи маломощных библиотек стандартных ячеек, что может вызвать проблемы при подключении таких систем к линиям передач данных с высоким напряжением. В таком случае сток входного буфера подключается непосредственно к линии с высоким напряжением, и для транзисторов с рабочим напряжением $0,8$ В высокое напряжение становится критическим. Во избежание описанной проблемы во входной буфер добавляются специальные транзисторы смещения, которые поднимают напряжение на стоке транзистора входного буфера, тем самым защищая его от перенапряжения. (рис. 13)

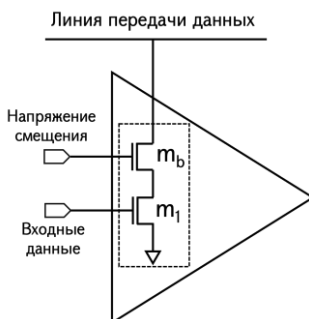


Рис.13. Добавление транзистора смещения в узел В/В

На вход описанного транзистора (m_b) подается напряжение смещения, которое формирует соответствующее напряжение на его истоке. Если система полностью отключена от питания, то нет и источника для формирования напряжения смещения.

С помощью данного метода предлагается использовать напряжение на линиях передачи данных (ЛПД) в качестве источника напряжения смещения для транзистора m_b . На выходе представленной системы формируется напряжение смещения, использующее напряжение ЛПД в качестве опорного (рис. 14).

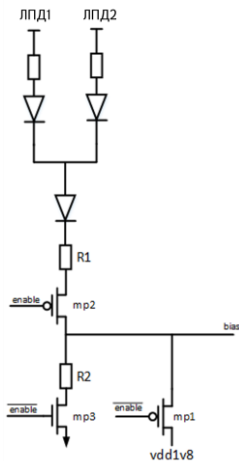


Рис.14. Система формирования напряжения смещения

Для оценки эффективности данной системы был разработан приемник со встроенным в него транзистором смещения. При моделировании линия обмена данными была подключена к источнику напряжения 3,3 В, а в качестве целевого значения было выбрано напряжение 1,8 В (рис. 15).

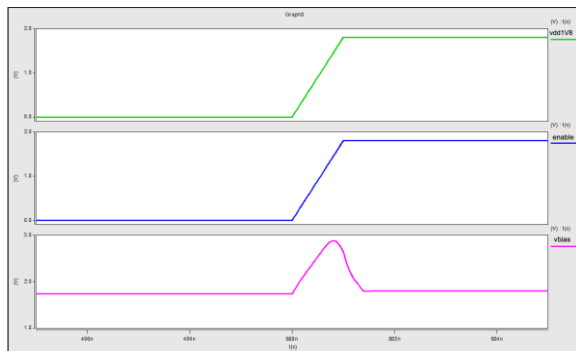


Рис.15. Формирование напряжения смещения

Согласно результатам моделирования, в типичном случае представленная система генерирует напряжения смещения в диапазоне 1,76...1,8 В, что является достаточным для защиты входного буфера от перенапряжения (табл. 4).

Таблица 4

Результаты моделирования предлагаемой системы для типичного случая

Параметр	Без использования предлагаемого метода	С использованием предлагаемого метода
Изменения в пороговом напряжении	65 мВ	4,9 мВ
Изменения в токе затвор-исток	8,46%	0,64%

Таким образом, предлагаемая система позволяет защитить транзистор входного буфера от перенапряжения и преждевременного износа. Изменения в значении выходного напряжения предлагаемого способа, при отклонении напряжения на линиях передач данных на 10%, составляет 16%. С помощью представленной системы можно уменьшить падение порогового напряжения и тока затвор-исток на 87%, за счет увеличения площади, занимаемой системой, на 20%.

В третьей главе представлено разработанное ПО “PVT Customizer”, с помощью которого можно в благоприятной среде настроить изменения в ПНТ и провести моделирование предлагаемых методов. Помимо этого, ПО позволяет визуализировать полученные результаты и провести их дополнительный статистический анализ.

ПО PVT Customizer содержит следующие основные разделы (рис. 16):

- File – раздел контроля проектов;
- Edit – раздел интегрирования и редакции проектов;
- View – раздел контроля рабочих полей ПО;
- Help – раздел информации о ПО.

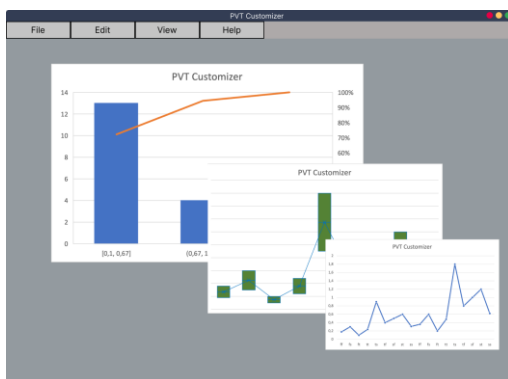


Рис.16. Главное окно ПО PVT Customizer

После загрузки шаблонов моделируемой схемы открывается доступ к разделу Simulation Configuration. Данный раздел позволяет настраивать вариации ПНТ, а также импортировать уже существующие конфигурации. В нижней части находится панель управления, состоящая из следующих разделов: Cancel, New Iteration, Stop simulation, Start simulation, с помощью которых управляется процесс моделирования и визуализации полученных данных (рис. 17).

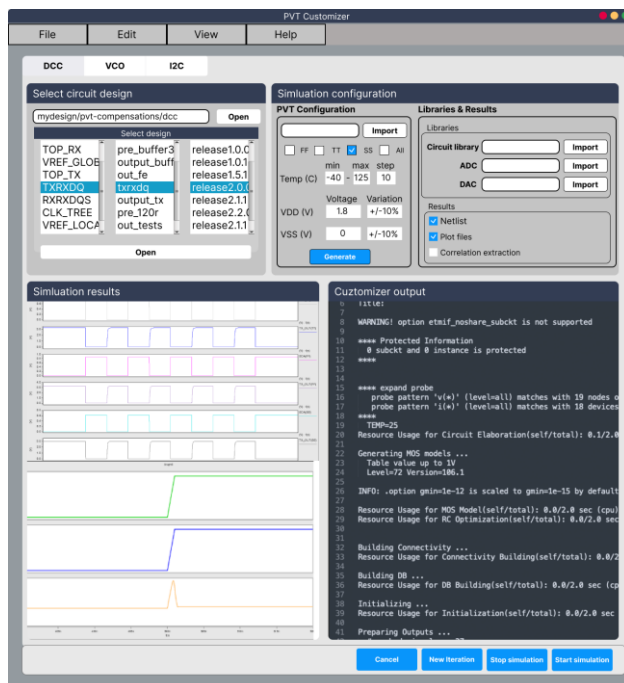


Рис.17. Разделы и категории ПО PVT Customizer

Таким образом, результаты тестирования разработанного программного средства “PVT Customizer” показали, что данное ПО имеет значительные преимущества по отношению к уже существующим системам. Эксперименты показали, что программные симуляции ухудшают временные параметры ИС в среднем на 5%, при этом ускоряют процесс проектирования примерно на 25%.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1. Предложены подходы к уменьшению неисправностей в ИС, позволяющие повысить стабильность передаваемого сигнала и надежность производимых ИС за счет увеличения энергопотребления и площади занимаемой ими поверхности [1-6].

2. Разработана система обнаружения и коррекции отклонений в генераторе управляемым напряжением (ГУН), благодаря которой с помощью дополнительным массивов Р-МОП и N-МОП транзисторов стало возможным нейтрализовать неточности генерируемого сигнала, возникаемого из-за изменений ПНТ. В результате распределение значений опорного напряжения системы уменьшилось на 30%, а колебания значений выходной частоты на 40%, за счет увеличения площади системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) на 15% [1].
3. Разработана система обнаружения и самокоррекции отклонений коэффициента заполнения сигналов (КЗС), которая позволяет значительно повысить надежность данных за счет использования цифровых узлов. Система регулирует КЗ с точностью $\pm 0,5\%$ за счет увеличения энергопотребления узла приемника всего на 3,95 МВт [2].
4. Предложен метод совмещения компаса и гироскопа при помощи фильтра Калмана, позволяющий снизить шумовые отклонения с 2^0 до $0,2^0$, а максимальное отклонение подложки тестирующей платформы с 0,5мкм до 0,05мкм за счет дополнительных датчиков, установленных в системе [3].
5. Разработан метод управления напряжением смещения входного буфера, при помощи которого изменения в значениях порогового напряжения и электрического тока затвор-исток уменьшились на 87%, за счет увеличения площади поверхности на 20% [4].
6. Разработано программное обеспечение “PVT Customizer”, которое было внедрено в ООО “Экспер” и используется для моделирования методов уменьшения неисправностей в интегральных схемах, что позволяет легко настроить модели отклонений ПНТ и вывода полученных результатов. Заложенные в него алгоритмы позволили ускорить процесс моделирования образца в среднем на 25% за счет снижения параметров ИС на 5% [1-6].

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Gumroyan H. A Voltage Controlled Oscillator Aimed at Reducing Operational Failures and Resistant to Variations in the Process, Voltage and Temperature // Proceedings of NAS RA and NPUA. Series of Technical Sciences. – 2021. – Vol. 73, No 4. – P. 408–415.
2. Khachikyan K., Balabanyan A., Gumroyan H. Precise Duty Cycle Variation Detection and Self-Calibration System for High-Speed Data Links // IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI (ISVLSI-2018). –2018. – P. 191-196.
3. Implementing the Sensor Fusion of the Gyroscope and the Compass Based on the Kalman filter / D.S. Shaljian., S.A. Avushyan, A. M. Momjyan, N.S.

Shukhyan, H.V. Gumroyan, T.K. Kaplanyan // Proceedings of NAS RA and NPUA. Series of Technical Sciences. – 2019. – Vol. 72, No 4. – P. 191-198.

4. Melikyan V. Sh., Gumroyan H. V., Shaljyan D. S., Manucharyan D. V. A voltage control system for a low-power devices to address transistor overstress in I2C systems // The scientific and technical journal: «Proceedings of Universities. Electronics». 2022. Vol. 27. N 3. P. 374–381.
5. Симонян С.О., Меликян А.В., Папоян О.С., Гумроян Р.В. К решению Динамических Однопараметрических Матричных Уравнений Типа Риккати // Вестник НПУА: Информационные технологии, электроника, радиотехника. – 2019, N 1. – С. 9-20.
6. Crystal Area Reduction Method for Impedance Matching Systems in High-Speed Data Links / V. Melikyan, K. Khachikyan, H. Gumroyan, A. Babayan, S. Avushyan, K. Hakobyan // The scientific and technical journal: «Proceedings of Universities. Electronics». – 2019. – Vol. 24, N. 5. – P. 503-510.

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Ժամանակակից ինտեգրալ սխեմաներում (ԻՄ) աշխատանքային հանգույցների քանակը շարունակաբար մեծանում է, ինչի հետևանքով բարդանում է ապահովել դրանց անխափան աշխատանքը շահագործման ողջ ընթացքում: Նախագծվող սխեմաների առջև դրվող կարևորագույն պահանջներից է դարձել դրանցում առաջացող խոտանների թվի նվազեցումը: Նշվածը առաջ է քաշում նոր մարտահրավերներ կապված նախագծվող համակարգերի հուսալիության, բարդ արտադրական գործընթացի և փորձարկման բարձր արժեքի հետ: ԻՄ-երի բարձր հուսալիությունը գործառնական կյանքի ընթացքում ապահովելու համար օգտագործվում են տարբեր ներկառուցված համակարգեր, որոնք հնարավորություն են տալիս դրանց աշխատանքի ընթացքում կատարել ինքնափորձարկումներ և շտկել առաջացող խափանումները: Սակայն այդ համակարգերը զբաղեցնում են լրացուցիչ տարածք, առաջացնում են ազդանշանի հապաղումներ և մեծացնում են էներգասպառումը:

ԻՄ-երում խոտանները կարող են առաջանալ նախագծված համակարգի պարամետրական շեղումների հետևանքով: Այդ շեղումները առաջանում են նախագծվող համակարգի ցածր հուսալիությունից և պայմանավորված են գործընթացի, սնման լարումների և ջերմաստիճանի շեղումներով, փոխանցվող ազդանշանի լցման գործակցի աղավաղումներով, ինչպես նաև Մ/Ե հանգույցների ոչ պատշաճ պաշտպանությունով: ԻՄ-երում առկա թվային հանգույցների կառավարումը իրականացվում է տակտային ազդանշանի միջոցով: Այդ պատճառով լցման գործակցի արժեքի շեղումները բերում են նշված հանգույցների արագագործության նվազման և տվյալների սխալ ընթերցման, ինչը անմիջականորեն նվազեցնում է ինտեգրալ սխեմաների հուսալիությունը: Նշվածը անհրաժեշտություն է առաջացնում նախագծել ԳԼՋ շեղումների և ԼԳ-ի այնպիսի կարգաբերման համակարգեր, որոնք հնարավորություն կտան իրագործել կարգաբերումը ԻՄ աշխատանքի ողջ ընթացքում:

Բացի նշվածից կիսահաղորդչային սկավառակի արտադրման և փորձարկման ընթացքում կարող են առաջանալ ֆիզիկական վնասվածքներ, որոնք պայմանավորված են արտադրման ժամանակ օգտագործվող ավտոմատ համակարգերի անճշտություններով:

Նախագծվող համակարգերի հուսալիության բարձրացման մոտեցումներ հայտնի են գրականությունից, սակայն դրանք չեն բավարարում առաջատար կազմակերպությունների կողմից առաջադրվող խիստ պահանջներին: Մասնավորապես՝ առաջարկվող եղանակները իրականացնում են համակարգի աշխատանքի կարգաբերումները նախագծման փուլում և չեն

անդրադառնում դրանց աշխատանքի ընթացքում առաջացող խնդիրների լուծմանը:

Այսպիսով, նշված խնդիրների հետևանքով, ԻՄ-ում խոտանների նվազմանն ուղղված միջոցների մշակումը դարձել է չափազանց կարևոր:

Ատենախոսությունը նվիրված է ԻՄ-ում խոտանների նվազեցմանն ուղղված միջոցների մշակմանը, որոնք կիջեցնեն արտադրվող համակարգերի խափանումները և կբարձրացնեն դրանց հուսալիությունը:

Առաջարկվել են ԻՄ-երում խոտանի նվազեցմանն ուղղված մոտեցումներ, որոնք հնարավորություն կտան բարձրացնել փոխանցվող ազդանշանի կայունությունը և ԻՄ համակարգերի հուսալիությունը, դրանցում էներգասպառման և մակերեսի բարձրացման հաշվին:

Ստեղծվել է ԼԿՀԳ-ում ԳԼՋ շեղումների հայտնաբերման և կարգաբերման մեթոդ, որում ավելացված P-ՄՕԿ և N-ՄՕԿ տրանզիստորների կառավարող զանգվածների օգնությամբ հնարավոր է դարձել իրականացնել շեղումների ինքնակարգաբերում: Արդյունքում հենակային լարման արժեքների բաշխվածությունը նվազել է 30%-ով, իսկ ելքային հաճախության արժեքների տատանումները՝ 40%-ով՝ ի հաշիվ ՀՓԻՀ հանգույցի մակերեսի 15% մեծացման:

Մշակվել է ազդանշանի ԼԳ-ի արժեքների շեղումների ինքնակարգաբերման մեթոդ, որում թվային համակարգում տվյալների մշակման շնորհիվ էապես բարելավվել է համակարգի ԳԼՋ շեղումների նկատմամբ կայունությունը, ինչպես նաև լցման գործակցի $\pm 0,5\%$ ճշտությամբ կարգաբերումը՝ Մ/Ե հանգույցի էներգասպառման ընդամենը 3,95 մՎտ-ով մեծացման հաշվին:

Առաջարկվել է Կալմանի գոտիով կոդմանցույցի և գիրոսկոպի համատեղման մեթոդ, որի օգնությամբ աղմուկների առաջացրած անկյան շեղումները նվազել են 2⁰-ից, մինչև 0,2⁰, իսկ հարթակի առավելագույն շեղման չափը 0,5 մկմ-ից 0,05 մկմ՝ ի հաշիվ համակարգում ներդրված հավելյալ տվիչների:

Ստեղծվել է ընդունիչում մուտքային կրկնիչի շեղման տրանզիստորի փականի լարման կառավարման մեթոդ, որի օգտագործմամբ ԻՄ-երի հուսալիությունը մեծացել է 87%-ով նվազեցնելով փական-ակունք հոսանքի և շեմային լարման արժեքների փոփոխությունը, մակերեսի 20%-ով մեծացման հաշվին:

Մշակվել է ինտեգրալ սխեմաներում խոտանի նվազմանն ուղղված մեթոդների նմանակման կարգավորման «PVT Customizer» ծրագրային միջոցը, որը հնարավորություն է տալիս հեշտությամբ կարգավորել ԳԼՋ շեղումների մոդելները և իրականացնել ստացված արդյունքների արտահանում: Այն ներդրվել է «Էքսպեր» ՍՊԸ-ում: Դրանում ներդրված ալգորիթմները հնարավորություն են տվել արագացնել նմուշների նմանակման գործընթացը միջինում 25%-ով՝ ի հաշիվ ԻՄ պարամետրերի 5%-ի նվազման:

HRACHYA VADIM GUMROYAN

DEVELOPMENT OF SIGNALS' DEVIATIONS COMPESATION SYSTEMS IN INTEGRATED CIRCUITS

SUMMARY

In modern integrated circuits (ICs) the number of working nodes is constantly increasing, which makes it difficult to ensure their uninterrupted operation throughout the operation. One of the most important requirements of the designed circuits is to reduce the number of failures in them. This raises new challenges related to the reliability of the designed systems, the complex production process and the high cost of testing. To ensure the high reliability of the ICs during their operational life, various built-in systems are used, which allow them to perform self-tests during their operation, to correct the failures that occur. However, these systems take up extra space, cause signal delays, and increase power consumption.

Failures in ICs can occur due to parametric deviations of the designed system. These deviations are due to the low reliability of the designed system and due to process, supply voltage and temperature (PVT) deviations, distortion of the transmitted signal duty cycle (DC), as well as inadequate protection of I/O nodes.

Besides the aforementioned, physical damage may occur during the production and testing of a semiconductor wafer due to inaccuracies in automated systems used in semiconductor fabs.

Approaches to increasing the reliability of systems designed are known from the literature, but they do not meet the high demands of leading organizations. In particular, the proposed methods adjust the operation of the system at the design stage and do not address the problems that arise during their operation.

Thus, due to the mentioned problems, the development of measures to reduce defects in IC has become extremely important.

The dissertation is dedicated to the development of measures to reduce failures in IC, which will reduce the functional fails of the manufactured systems, and therefore increase their reliability.

Approaches have been proposed to reduce the fault in the ICs, which will increase the stability of the transmitted signal and the reliability of the IC systems, by increasing the energy consumption and the occupied area.

A method for detecting and correcting deviations in the Voltage-Controlled Oscillator (VCO) has been developed, in which it has become possible to self-correct the deviations with the help of the control arrays of the added P-MOS and N-MOS transistors. As a result, the distribution of the reference voltage values decreased by 30%, and the output frequency value fluctuations by 40%, due to a 15% increase in the area of the PLL system.

A method for DC deviations self-correction has been developed, in which the data processing in the digital system has significantly improved the stability to system deviations, as well as the adjustment of the DC value to $\pm 0,5\%$, increasing the power consumption of the I/O unit by only 3,95 MW.

A method of compass and gyroscope sensors fusion with a Kalman filter has been proposed, which reduces the noise deviations from 2^0 to $0,2^0$, and the maximum deviation of the platform from $0,5 \mu m$ to $0,05 \mu m$ due to additional sensors installed in the system.

A bias voltage control method has been developed in the transmitter, using which the reliability of the ICs is increased by 87% by reducing the change in the threshold current I_{th} threshold voltage values by increasing the surface area by 20%.

The "PVT Customizer" software has been developed to regulate the simulation of methods for the reduction of defects in integrated circuits, which makes it possible to easily adjust the deviation models and to export the obtained results. The tool was implemented in «Exppter» LLC The algorithms embedded in it have made it possible to speed up the process of imitation of samples by an average of 25%, at the expense of a 5% reduction in IC timing parameters.

