

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ,
ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ ՍՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Գրիգորյան Մանվել Տիգրանի

ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՄԽԵՄԱՑՈՒՄ ՀԱԶՈՐԴԱԿԱՆ ՏԵՂԵԿՈՒՅԹԻ ԸՆԴՈՒՆՄԱՆ
ԱՐԱԳԱԳՈՐԾՈՒԹՅԱՆ ԲԱՐՁՐԱՑՄԱՆ ՄԻՋՈՑՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

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

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

Երևան 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА
РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ

Григорян Манвел Тигранович

**РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ ПРИЕМА
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЕ**

АВТОРЕФЕРАТ

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

Ереван 2022

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

Գիտական ղեկավար՝	տ.գ.դ. Վազգեն Շավարշի Մելիքյան
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝	տ.գ.դ. Վարդանյան Ռուբեն Ռաֆայելի տ.գ.թ. Տիգրան Արայիկի Հախվերդյան
Առաջատար կազմակերպություն՝	ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և Էլեկտրոնիկայի ինստիտուտ

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2022թ. հուլիսի 12-ին, ժամը 16⁰⁰-ին, ՀԱՊՀ-ում գործող «Ռադիոտեխնիկայի և էլեկտրոնիկայի» 046 մասնագիտական խորհրդի նիստում (հասցեն՝ 0009, Երևան, Տերյան փ., 105, 17 մասնաշենք):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ– ի գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2022թ. մայիսի 25-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. Рубен Рафаелович Варданян
к.т.н. Тигран Араикович Ахвердян

Ведущая организация: Институт радиопизики и электроники
НАН РА

Защита диссертации состоится 12-го июля 2021 г. в 16⁰⁰ ч. на заседании Специализированного совета 046 — "Радиотехники и электроники", действующего при Национальном политехническом университете Армении (НПУА), по адресу: 0009, г. Ереван, ул. Теряна, 105, корпус 17.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.

Автореферат разослан 25-го мая 2022 г.

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



Бениамин Феликсович Бадалян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современные электронные системы в основном содержат несколько интегральных схем (ИС), которые отличаются друг от друга своими функциями. Для обеспечения правильной работы всей системы необходимо произвести обмен информацией, обработанной ИС, и выполнить полный анализ полученных данных. Неправильный прием передаваемых данных может привести к неудовлетворительным техническим параметрам всей системы.

Передача и прием информации между ИС осуществляются через специально встроенные входные-выходные (В/В) узлы, которые связаны друг с другом каналами. Чтобы снизить производственные затраты системы, количество каналов должно быть строго ограниченным и данные передаваться последовательно. Как и в полупроводниковых технологиях, непрерывное масштабирование минимальных размеров приводит к количественному росту передаваемых данных. Указанные факторы диктуют необходимость увеличения частоты передаваемого сигнала.

Обмен информацией между разными ИС осуществляется с помощью специальных стандартных алгоритмов. Со временем их рабочее быстродействие увеличивается, а параметрические требования расширяются. Кроме того обеспечение новых стандартов предполагает возможность использования ранее существующих, что заставляет делать архитектуру узлов В/В управляемой и, при необходимости, обеспечить разные скорости передачи данных.

Однако увеличение частоты передаваемого сигнала ограничивается амплитудно-частотными характеристиками (АЧХ) канала. В зависимости от частоты сигнала и уровня напряжения, канал представляет собой длинную линию с распределенными параметрами, где в случае несогласия возникают отражения волн. Увеличение потерь уровня сигнала параллельно с увеличением частоты обусловлено явлениями поверхностного эффекта и диэлектрического поглощения. Эти явления диктуют необходимость эквализации и обработки сигнала в приемном узле.

Диссертация посвящена разработке таких средств в узлах В/В, которые позволят увеличить частоту передаваемого сигнала и осуществить эквализацию и обработку искаженного сигнала.

Проблема обработки средств проектирования таких систем актуальна как с точки зрения решения задач, представляющих научный интерес, так и с точки зрения проектирования быстродействующих систем последовательной обработки информации, имеющих практическое значение.

Объект исследования. Ограничения быстродействия последовательной передачи информации между ИС, входящими в состав электронных систем, и пути его увеличения.

Цель работы. Разработка способов для увеличения быстродействия приема последовательной информации в ИС, позволяющих восстановить искаженный сигнал из-за канала и считывать полученные данные.

Методы исследования. В ходе исследования были использованы методы и подходы моделирования длинных линий с распределенными параметрами, способы эквализации и обработки сигнала, теории электронных схем, содержащих полупроводниковые элементы, а также некоторые языки скриптинга, используемые для проектирования программного обеспечения.

Научная новизна:

- Предложены эффективные подходы с точки зрения временных ограничений для разработки средств увеличения быстродействия приема данных последовательной информации в ИС. Лежащие в их основе встроенные узлы и архитектура позволяют значительно повысить частоты передачи и обработки данных за счет увеличения в допустимых пределах площади, занимаемой на полупроводниковом кристалле и повышения энергозатрат.
- В схеме асинхронного линейного эквалайзера (АЛЭ) разработана встроенная система отрицательного конденсатора (СОК), управляемого двоичным кодом, которая благодаря положительной обратной связи и регулировки линейности обеспечивает примерно в два раза более быструю скорость передачи данных сигнала за счет увеличения занимаемой на полупроводниковом кристалле площади всего на 11%.
- Предложен метод повышения быстродействия схемы эквалайзера с решающей обратной связью, который за счет введения высокоскоростных компараторов с малой входной емкостью позволяет примерно вдвое увеличить частоту обработки данных при увеличении энергозатрат всего лишь на 16%.
- Разработан метод построения системы обработки сигналов, передаваемых четырехступенчатой амплитудной модуляцией, который благодаря хранению данных и обработке параллельных потоков, увеличивает скорость передачи данных примерно на 50% за счет увеличения площади приемного узла на полупроводниковом кристалле примерно на 12,2%.

Практическая ценность работы. Разработанные в диссертации способы повышения быстродействия приема последовательной информации были реализованы в программном средстве (ПС) “Self equalizer”, внедренном в ЗАО «СИНОПСИС АРМЕНИЯ». Практическое применение ПС позволило сократить время проектирования приемных узлов в 6...7 раз. Реализация предложенных методов с помощью ПС “Self equalizer” позволила увеличить быстродействие системы передачи данных примерно на 10%, за счет увеличения энергозатрат на 15...20 % и повышения площади, занимаемой на полупроводниковом кристалле, на 10...20%.

На защиту выносятся следующие научные положения:

- подходы к разработке средств увеличения быстродействия приема последовательной информации в ИС;
- способ увеличения быстродействия схемы АЛЭ и регулирования линейности;
- способ увеличения быстродействия схемы эквалайзера с решающей обратной связью;
- способ увеличения быстродействия приемного узла, работающего с четырехступенчатой амплитудной модуляцией.

Достоверность научных положений. Достоверность научных результатов подтверждается представленными в диссертации математическими обоснованиями и существенным совпадением с экспериментальными результатами моделирования.

Внедрение. ПС “Self equalizer” было внедрено в ЗАО “СИНОПСИС АРМЕНИЯ”. Используется для проектирования специальных базовых узлов, обеспечивающих прием и обработку последовательной информации.

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

- 39-ой Международной конференции "Electronics and Nanotechnology (ELNANO)" (Киев, Украина, 2019 г.);
- 40-ом Международном симпозиуме " Electronics and Nanotechnology (ELNANO)" (Киев, Украина, 2020 г.);
- научных семинарах кафедры "Микроэлектронные схемы и системы" НПУА (Ереван, Армения, 2020 - 2022 гг.);
- научных семинарах ЗАО "Синописис Армения" (Ереван, Армения, 2020 - 2022 гг.);

Публикации. Основные положения диссертации представлены в девяти научных работах, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, включающего 120 наименований и четырех приложений. В первом приложении представлен акт внедрения диссертации, во втором – отрывок *splice* описания схемы асинхронной эквализации, в третьем – отрывок QT-описания разработанного программного средства “Self-equalizer”, в четвертом - список рисунков, таблиц и сокращений. Основной объем диссертации составляет 114 страницы, а вместе с приложениями - 154 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и основные задачи исследования, представлены разработанные методы, научная новизна, практическое значение и основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе показана важность разработки способов увеличения быстродействия получения последовательной информации в ИС и представлены основные принципы доступных ресурсов.

В/В узлы состоят из передатчика и приемника, а также блоков специального назначения, которые обеспечивают поддержку напряжения, мощности и выполняют настройку системы (рис. 1).

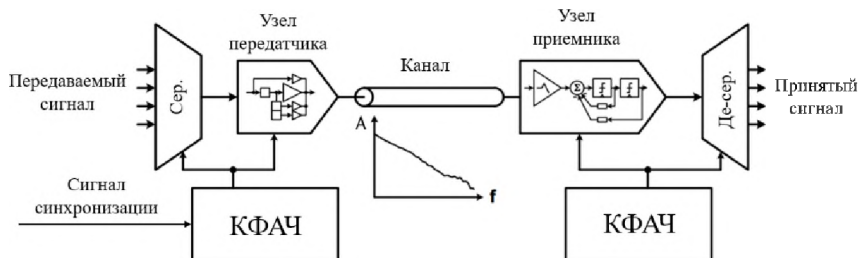


Рис. 1. Блок-диаграмма В/В узлов

Передатчик и приемник соединены каналом. Канал включает в себя все элементы, через которые происходит обмен информацией, и состоит из проводов и промежуточных соединений.

Повышение норм скорости обмена информацией с помощью современных высокоскоростных узлов В/В делает невозможным измерение расхода при централизованных параметрах канала. Поэтому повышение частоты передачи данных является обязательным условием для представления канала в виде длинной линии с распределенными параметрами (рис. 2).

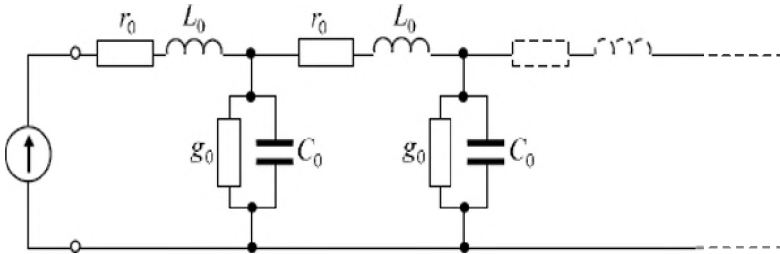


Рис. 2. Структура длинной линии с распределенными параметрами

Наличие в длинной линии элементов R_0 и g_0 приводит как к тепловым потерям, так и к поверхностному эффекту и диэлектрическому поглощению (рис. 3).

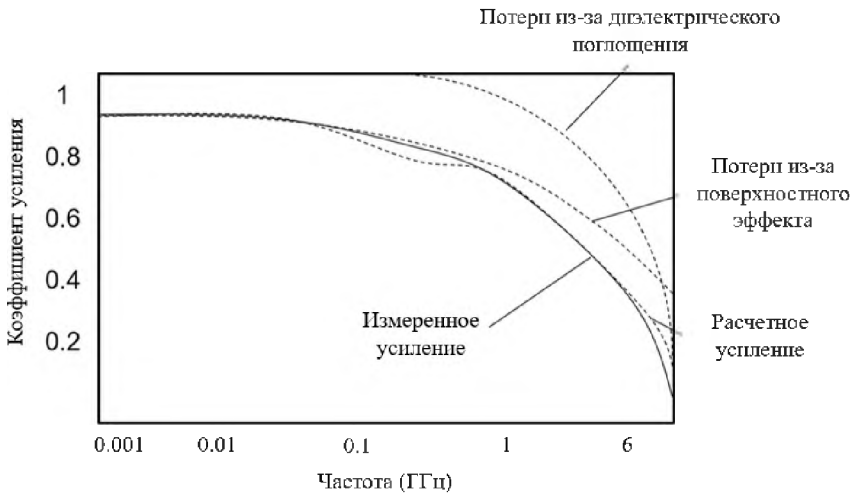


Рис. 3. Потери в длинных линиях

Полученный на рис. 3 график показывает, что в длинных линиях сигнал подавляется по мере увеличения частоты. Поэтому увеличение рабочей частоты

ограничено частотными характеристиками длинных линий. Следовательно, необходимо заранее восстановить переданный сигнал до процесса считывания в приемном узле.

Так как передаваемый сигнал является интегральным и периодическим, он может быть представлен рядом Фурье (рис. 4).

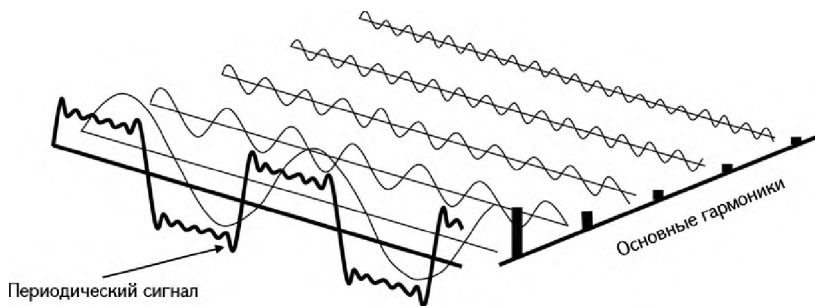


Рис. 4. Разложение периодического сигнала

Учитывая, что частотные характеристики длинных линий нелинейно уменьшаются с увеличением частоты, можно утверждать, что разные гармонические составляющие передаваемого сигнала изменяются в разных количествах. Поэтому встроены в передающий узел специальный блок должен усиливать высокочастотные составляющие сигнала и обеспечивать полную эквализацию сигнала в рабочем диапазоне частот.

Удобно рассматривать искажения сигнала в глазковой диаграмме (рис. 5).

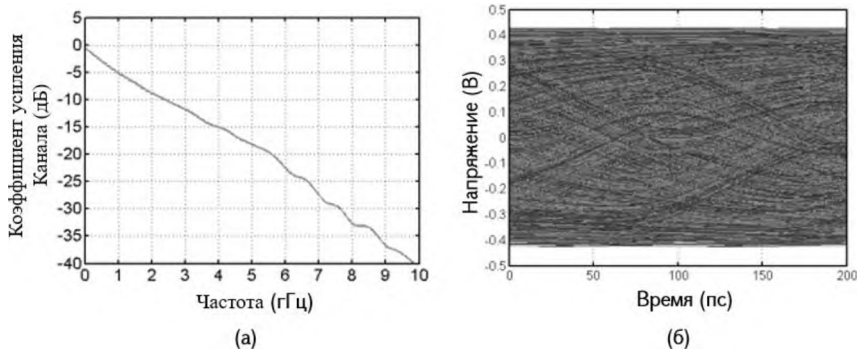


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика канала (а) и его влияние на сигнал (б)

Из глазковой диаграммы видно, что сигнал полностью искажен, и его невозможно прочесть на приемном узле. Помимо эквалайзера, встроеного в

приемный узел, используется цифровой фильтр с несколькими порядками конечной импульсной характеристики, который способен в некоторой степени восстановить сигнал (рис. 6).

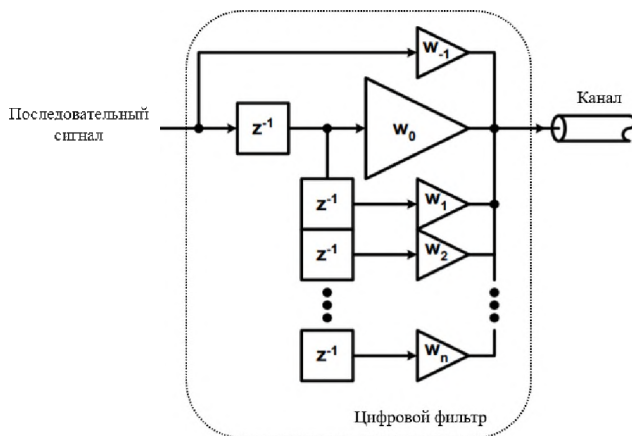


Рис. 6. Цифровой фильтр с конечной импульсной характеристикой

Цифровой фильтр позволяет частично восстановить сигнал (рис. 7).

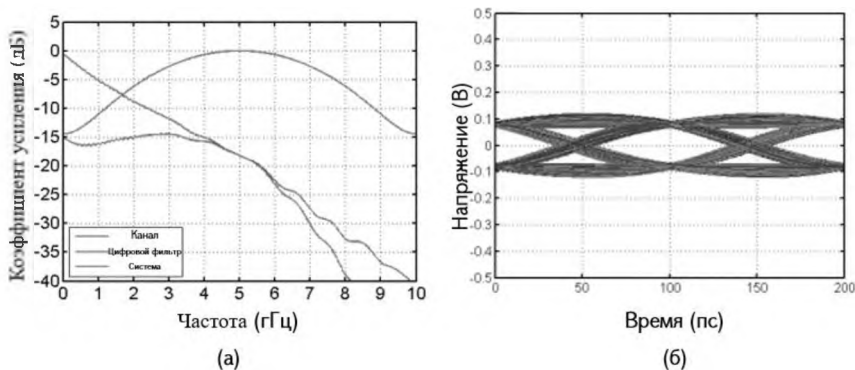


Рис. 7. Частотная характеристика цифрового фильтра (а) и его влияние на сигнал (б)

Как видно из глазковой диаграммы, переданный сигнал можно восстановить с помощью достаточно точного компаратора. Однако технологические отклонения и трудности проектирования не позволяют использовать этот метод в более быстродействующих системах. Следовательно, существует неизбежная потребность в разработке и проектировании средств восстановления информации в приемнике.

Таким образом, проектирование средств, повышающих скорость приема и обработки последовательной информации на приемном узле, является актуальной задачей при создании ИС.

Экспериментальные исследования существующих средств повышения скорости приема последовательной информации и результаты их анализа показывают, что эти способы не решают в полной мере задачи возникаемые в ИС и имеют ряд неприемлемых, с практической точки зрения, временных ограничений. Этот факт диктует необходимость разработки более эффективных средств этого класса.

Во второй главе представлены разработанные методы и даются решения проблем, описанных в первой главе.

Метод повышения быстродействия приема последовательной информации путем введения схемы отрицательного конденсатора в асинхронный линейный эквалайзер. Для эквализации передаваемого сигнала с более высокой частотой было предложено спроектировать СОК и включить ее на выходе АЛЭ. Предлагается использовать следующую архитектуру для управления АЧХ-ами СОК, а также исключения влияния постоянной составляющей тока на АЛЭ (рис. 8).

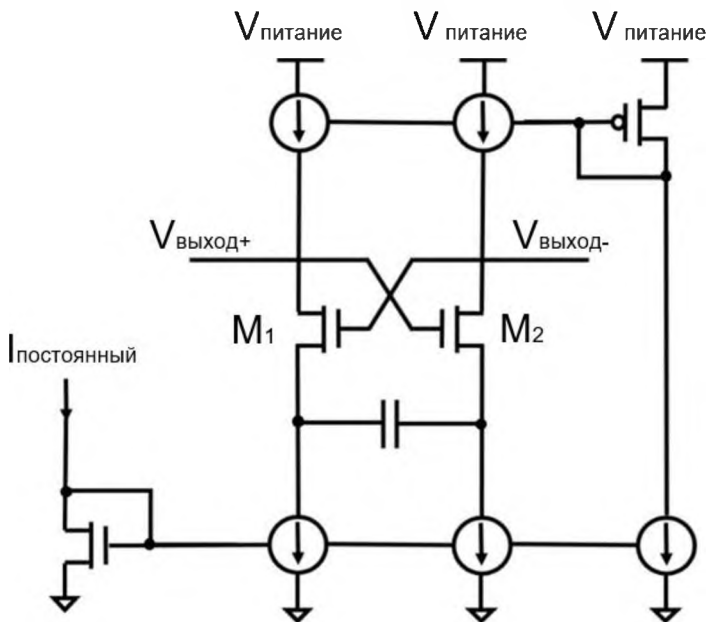


Рис. 8. Предлагаемая схема отрицательного конденсатора

СОК управляется цифроаналоговым преобразователем (ЦАП) тока, чтобы АЧХ всей системы можно было управлять двоичным кодом (рис. 9).

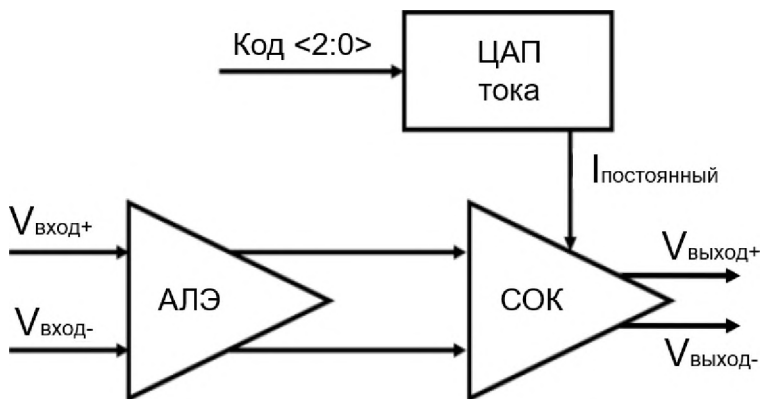


Рис. 9. Схема компаратора после изменения

Возможность настройки системы с двоичным кодом обеспечивает эквализацию сигнала при разных каналах и частоте передачи данных (табл. 1).

Таблица 1

Основные параметры системы

Значение кода управления ЦАП	Частота максимального коэффициента усиления (ГГц)	Коэффициент усиления (дБ) на частоте 4 ГГц	Коэффициент усиления (дБ) на частоте 5 ГГц
0	3,63	5,6	5,46
1	3,63	5,98	5,8
2	3,63	6,35	6,13
3	3,8	7,1	6,81
4	3,98	7,75	7,44
5	4,17	8,79	8,56
6	4,57	9,45	9,45
7	5,01	9,88	10,36

Приведены также методы регулировки линейности тока ЦАП и СОК, с целью обеспечения условия насыщения транзисторов, являющихся источником тока, и, как следствие, увеличения выходного рабочего диапазона общей системы. Разработанная система обеспечивает эквализацию примерно в два раза более быстрого сигнала. При использовании предлагаемого способа энергопотребление системы, по сравнению с существующими решениями, увеличивается примерно на 10%.

Метод повышения быстродействия приема данных схемы эквалайзера с решающей обратной связью. Быстродействие схемы эквалайзера с решающей обратной связью ограничена временными параметрами ее элементов, в частности, временем задержки компараторов. Предлагается использовать высокоскоростные компараторы с малой входной емкостью для снижения временных ограничений (рис. 10).

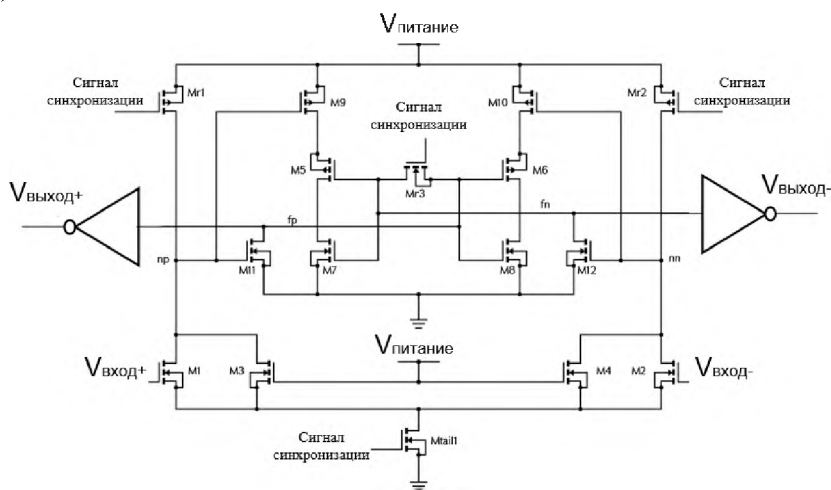


Рис. 10. Предложенная схема компаратора

На этапе восстановления провода пр и nn подключаются к напряжению питания с помощью транзисторов M1 и M2 и закрывают транзисторы M9 и M10. При этом транзисторы M11 и M12 обнуляют потенциал проводов пр и nn. Затем на выходах формируется значение, соответствующее напряжению питания на этом этапе. Это позволяет снизить зависимость работы компаратора от напряжения питания на этом этапе.

В этапе сравнения транзисторы M1 и M2 начинают разряжать пр и nn проводов. Разность входных сигналов обеспечивает разные значения тока в дифференциальных ветвях. Формирование выходного сигнала осуществляется с помощью транзисторов M5, M6, M7 и M8.

Постоянные токи, подключенные к транзисторам M3 и M4, обеспечивают более быстрое переключение выходного сигнала.

Результаты показывают, что задержка компаратора уменьшилась примерно на 36% (рис. 11). Однако за счет добавленных к нему транзисторов общая площадь системы на полупроводниковом кристалле увеличилась примерно на 11%.

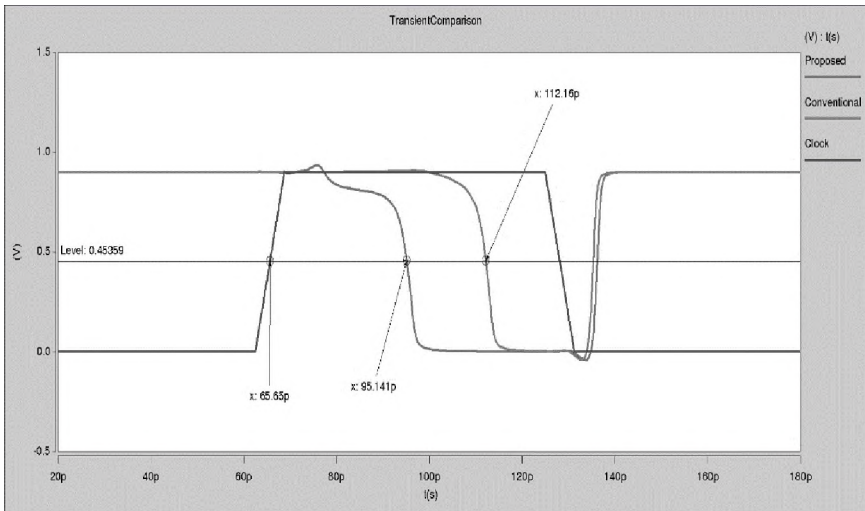


Рис. 11. Задержка существующего и предлагаемого двухсторонних компараторов

Глазковая диаграмма показывает, что схема эквалайзера с решающей обратной связью может обрабатывать сигнал частотой 10 ГГц (рис. 12).

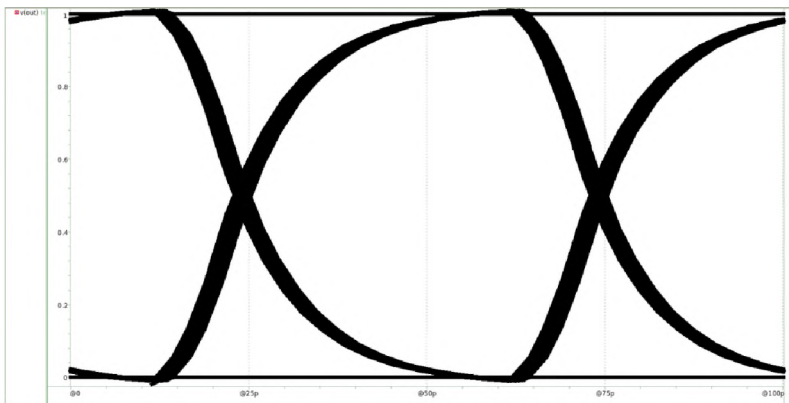


Рис. 12. Глазковая диаграмма схемы эквалайзера с решающей обратной связью

Метод увеличения быстродействия приема последовательной информации путем параллельной обработки сигнала, передаваемого четырехступенчатой амплитудной модуляцией. В узле приемника рекомендуется использовать параллельно четыре одинаковых ответвления, в которых значение сигнала будет фиксироваться с помощью схем выбора-удержания (В/У) (рис. 13).

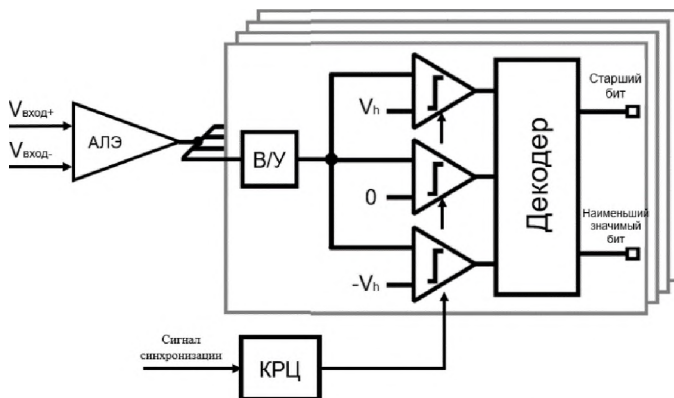


Рис. 13. Предлагаемая архитектура узла приемника

Использована система из трех компараторов, отрицательные входы которых поддерживаются конкретными напряжениями. Система включает в себя четыре одинаковые параллельные ветви, позволяющие быстрее преобразовывать сигнал и представлять его в двоичном коде. Выход системы преобразуется в двоичный код с помощью декодера. Коррекция коэффициента заполнения (ККЗ) сигнала синхронизации выполнялась для управления компараторами, чтобы исключить некорректное считывание искаженного сигнала (рис. 14). В выходных буферах ККЗ внедрена саморегулирующаяся система коррекции переключения сигнала.

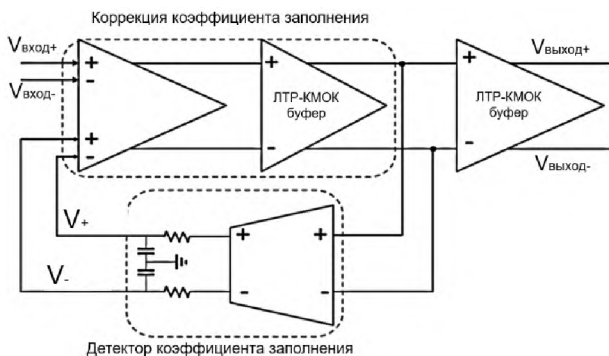


Рис. 14. Предлагаемая архитектура ККЗ

В результате обрабатывается последовательный сигнал, и происходит смена параллельного представления.

По сравнению с предыдущим методом, применение предложенной многоветвевой архитектуры позволило увеличить скорость передачи данных примерно на 50% (табл. 2). Площадь приемного узла на полупроводниковом кристалле увеличилась всего на 12,2%.

Таблица 2

Основные результаты предлагаемого приемника

Параметры	Результаты, полученные при реализации существующего метода
Рабочая частота (Гбит/с)	57,1 ~ 60
площадь на полупроводниковом кристалле (мм ²)	0,97 × 0,81
Технология (нм)	САУД 14

В третьей главе представлено разработанное программно-инструментальное средство “Self equalizer”, которое позволяет быстрее спроектировать архитектуру приемного узла, значительно сократив время проектирования.

На начальном этапе выбираются стандарты передачи данных, технические параметры которых должен соблюдать приемный узел (рис. 15).

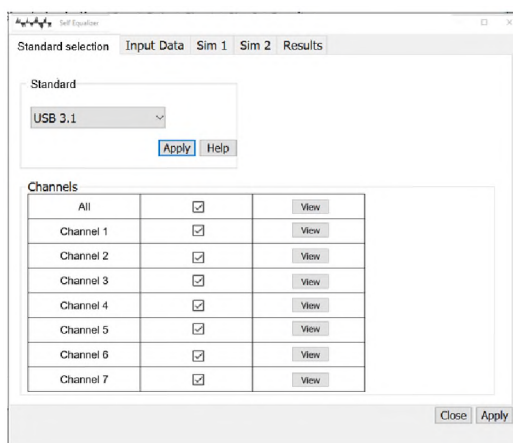


Рис. 15. Окно ввода данных

Программа позволяет также просматривать и редактировать список каналов потока в соответствии с заданным стандартом передачи данных. В зависимости от выбора пользователя, ПС осуществляет консультации по модуляции передачи сигнала с учетом первоначальной оценки обусловленной им оптимальной архитектуры. Затем выбираются вариант моделирования и все необходимые для этого входные данные. В дополнение к предоставленным настройкам пользователь также может включить другие параметры. Процесс моделирования включает два этапа. На первом этапе моделируется АЛЭ, а также настраиваются его параметры. Пользователь имеет возможность использовать СОК, а также методы настройки линейности встроенных элементов. На втором этапе процесс моделирования зависит от выбора модуляции передачи сигнала. На этом этапе ПС позволяет вводить компараторы с малой входной емкостью. Пользователь может оценить все полученные результаты после второго этапа моделирования. В случае недостаточных значений полученных результатов программа позволяет вернуться к первому этапу моделирования, применить методы, предложенные во второй главе, после чего будет выполнено полное моделирование системы. Для оценки эффективности ПС “Self equalizer” спроектированы изученные в работе структуры эквалайзеров с использованием методов, предложенных в предыдущей главе (табл. 3-5).

Таблица 3

Результаты проектирования АЛЭ с использованием ПС “Self equalizer”

Параметр	АЛЭ		
	Существующий	Предложенный	Результаты проектирования с помощью ПС “Self equalizer”
Частота максимального коэффициента усиления (ГГц)	3,63	5,01	5,57
Коэффициент усиления (дБ) на частоте 5 ГГц	5,46	10,36	10,89
Потребляемая мощность (мА)	701	706	723
Площадь (мм ²)	0,66	0,7327	0,7482

Таблица 4

Результаты проектирования эквалайзера с решающей обратной связью с использованием ПС "Self equalizer"

Параметр	Эквалайзер с решающей обратной связью		Результаты проектирования с помощью ПС "Self equalizer"
	Существующий	Предложенный	
Скорость передачи данных (Гбит/с)	10	20	22,1
Потребляемая мощность (мА)	637	712	747
Площадь (мм ²)	0,486	0,507	0,570

Таблица 4

Результаты проектирования приемника, работающего с четырехступенчатой амплитудной модуляцией с использованием ПС "Self equalizer"

Параметр	Приемник, работающий четырехступенчатой амплитудной модуляцией		Результаты проектирования с помощью ПС "Self equalizer"
	Существующий	Предложенный	
Скорость передачи данных (Гбит/с)	38,4 ~ 40,4	57,1 ~ 60	62,2 ~ 65
Потребляемая мощность (мА)	807	825	829
Площадь (мм ²)	1 × 0,7	0,97 × 0,81	0,99 × 0,89

Представленные результаты демонстрируют эффективность предложенных методов повышения скорости получения последовательной информации и ПС “Self equalizer”. Сравнение результатов подтверждает степень улучшения скоростных параметров системы при использовании всех предложенных средств.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1. Предложены эффективные подходы с точки зрения временных ограничений для разработки средств увеличения быстродействия приема данных последовательной информации в ИС. Лежащие в их основе встроенные узлы и архитектура позволяют значительно повысить частоты передачи и обработки данных за счет увеличения в допустимых пределах площади, занимаемой на полупроводниковом кристалле и повышения энергозатрат.
2. В схеме асинхронного линейного эквалайзера (АЛЭ) разработана встроенная система отрицательного конденсатора (СОК), управляемого двоичным кодом, которая благодаря положительной обратной связи и регулировки линейности обеспечивает примерно в два раза более быструю скорость передачи данных сигнала за счет увеличения занимаемой на полупроводниковом кристалле площади всего на 11%.
3. Предложен метод повышения быстродействия схемы эквалайзера с решающей обратной связью, который за счет введения высокоскоростных компараторов с малой входной емкостью позволяет примерно вдвое увеличить частоту обработки данных при увеличении энергозатрат всего лишь на 16%.
4. Разработан метод построения системы обработки сигналов, передаваемых четырехступенчатой амплитудной модуляцией, который благодаря хранению данных и обработке параллельных потоков, увеличивает скорость передачи данных примерно на 50% за счет увеличения площади приемного узла на полупроводниковом кристалле примерно на 12,2%.
5. Разработанные в диссертации способы повышения быстродействия приема последовательной информации были реализованы в программном средстве (ПС) “Self equalizer”, внедренном в ЗАО «СИНОПСИС АРМЕНИЯ». Практическое применение ПС позволило сократить время проектирования приемных узлов в 6...7 раз. Реализация предложенных методов с помощью ПС “Self equalizer” позволила увеличить быстродействие системы передачи данных примерно на 10%, за счет увеличения энергозатрат на 15...20 % и повышения площади, занимаемой на полупроводниковом кристалле, на 10...20%.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Process Variation Detection and Self-Calibration Method for High-Speed Serial Links / V.Sh. Melikyan, A.S. Trdatyan, A.A. Martirosyan, K.T. Khachikyan, A.S. Sahakyan, A.S. Petrosyan, Z.M. Avetisyan, M.T. Grigoryan // IEEE East-West

- Design & Test Symposium (EWDTS), Sep. 14, 2018. - Kazan, Russia, 2018. – P. 681 – 684.
2. Duty-Cycle Correction Circuit for High Speed Interfaces / **V.Sh. Melikyan, A.A. Atanesyan, H.T. Kostanyan, M.T. Grigoryan, K.H. Safaryan, R.H. Musaelyan** // IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). – Kyiv, 2019. – P. 42-45.
 3. **Grigoryan M., Atanesyan A., Hakobyan G., Harutyunyan S.** Two Stage CTLE For High Speed Data Receiving // IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). – Kyiv, 2020. - P. 374-377.
 4. Hysteresis Improvement Method in MIPI D-PHY Low-Power Receiver / **A.Kh. Mkhitaryan, H.T. Grigoryan, H.V. Margaryan, V.D. Hovhannisyan, M.T. Grigoryan, M.T. Grigoryan, H.G. Kirakosyan, H.T. Kostanyan** // Вестник Российско-Армянского (Славянского) университета: Физико-математические и естественные науки. – 2020. - 1. – P. 95-103.
 5. A Reliable PMOS-Based Charge Pump Architecture. / **S.S. Harutyunyan, H.T. Kostanyan, M.T. Grigoryan, H.T. Kostanyan, G.A. Voskanyan, A.K. Hayrapetyan** // Proceedings of the RA and NPUA. Series of Technical Sciences. – 2020. – Vol. 73, N2. – P. 181-187.
 6. Method of increasing current DAC linearity with considering its random variables for modeling risk or uncertainty / **A.A. Atanesyan, M.T. Grigoryan, H.V. Margaryan, H.A. Aghayan, G.H. Hakobyan** // Вестник Российско-Армянского (Славянского) университета: Физико-математические и естественные науки. – 2020. - 2. – P. 64-70.
 7. **Aghayan, H., Manukyan D., Grigoryan M.** / Low Input Capacitance Dynamic Latch Comparator for High Speed Operation // Вестник Российско-Армянского (Славянского) университета: Физико-математические и естественные науки. – 2020. - 1. – P. 65-75
 8. **Փրիգորյան Մ.Տ.** Ընդունիչ Հանգույցում Համահարթեցման սխեմայի Գծայնություն Վարգարերման Համակարգ // Հայաստանի գիտությունների ազգային ակադեմիայի և Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի տեղեկագիր. Տեխն. Գիտ. Մերիա. – 2022. – Հ. 75, No 1. – Էջ 129–137:
 9. **Григорян М.Т.** Высокоскоростной Эквалайзер Обратной Связи С Динамическими Компараторами Имеющий Низкую Входную Ёмкость // Изв. вузов. Электроника. – 2022. – Т. 27. № 2. – С. 248–256.

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Ժամանակակից էլեկտրոնային համակարգերը ներառում են մի քանի ինտեգրալ սխեմաներ (ԻՄ): Դրանք տեղակայված են միմյանցից անկախ և կատարում են տարբեր գործառնություններ: Մակայն ամբողջ համակարգի կոորդինացված աշխատանքն ապահովելու համար կատարվում է ԻՄ-երի միջոցով մշակված տեղեկույթի փոխանակություն: Մտացված տվյալների ամբողջական վերլուծությունն ապահովում է համակարգի պատշաճ և օպտիմալ աշխատանքը: Փոխանցվող տվյալների սխալ ընդունումը կարող է հանգեցնել ամբողջ համակարգի առջև դրված տեխնիկական պարամետրերի անբավարարության:

ԻՄ-երում ներդրված հատուկ մուտք-ելք (Մ/Ե) հանգույցներն ապահովում են տեղեկույթի հաղորդումն ու ընդունումը ամբողջ համակարգում: Դրանք միմյանց հետ կապված են հոսքուղիներով: Համակարգի արտադրական ծախսերը նվազեցնելու նպատակով մշակվող տվյալները փոխանցվում են հաջորդաբար և սահմանափակում հոսքուղիների քանակը ընդհանուր համակարգում: Կիսահաղորդչային տեխնոլոգիաներում նվազագույն չափերի շարունակական մասշտաբավորումը հանգեցրել է ԻՄ-երում մշակվող տվյալների քանակական աճին: Նշված գործոնները թելադրում են փոխանցվող ազդանշանի հաճախության բարձրացումը:

Տվյալների փոխանակումը տարբեր ԻՄ-երի միջև կատարվում է հատուկ ստանդարտ ալգորիթմներով: Ժամանակին զուգընթաց մեծանում են դրանց պարամետրական հստակեցումները և աշխատանքային արագագործությունները: Նոր ստանդարտների ապահովումը ենթադրում է նաև նախկինում եղածների կիրառման հնարավորություն, ինչը ստիպում է Մ/Ե հանգույցների ճարտարապետության հիմնական պարամետրերը դարձնել կառավարելի և անհրաժեշտության դեպքում ապահովել տարբեր արագագործություններ:

Մակայն հոսքուղու ամպլիտոդահաճախականային բնութագծերը սահմանափակում են փոխանցվող ազդանշանի հաճախության բարձրացումը: Կախված փոխանցվող ազդանշանի հաճախությունից ու դրա լարման մակարդակից հոսքուղին կարող է հանդես գալ որպես բաշխված պարամետրերով երկար գիծ: Հաճախության բարձրացմանը զուգընթաց ազդանշանի մակարդակի կորստի աճը պայմանավորված է մակերևութային էֆեկտի ու դիէլեկտրիկ կլանման երևույթներով: Այս երևույթները թելադրում են ընդունիչ հանգույցում ազդանշանի համահարթեցման և մշակման համակարգերի պահանջը:

Այդպիսի համակարգերի նախագծման միջոցների մշակման խնդիրը արդիական է թե՛ գիտական հետաքրքրություն ներկայացնող խնդիրների լուծման և թե՛ կիրառական նշանակություն ունեցող բարձր արագագործությամբ

հաջորդական տեղեկությո՞ի մշակման համակարգերի նախագծման տեսանկյունից:

Ատենախոսությունը նվիրված է Մ/Ե հանգույցներում այնպիսի միջոցների մշակմանը, որոնք թույլ կտան բարձրացնել փոխանցվող ազդանշանի հաճախությունը և կատարել աղավաղված ազդանշանի համահարթեցում:

Առաջարկվել են ինտեգրալ սխեմաներում հաջորդական տեղեկությո՞ի ընդունման արագագործության բարձրացման միջոցների մշակման ժամանակային սահմանափակումների տեսանկյունից արդյունավետ մոտեցումներ: Դրանց հիմքում ընկած ներդրված հանգույցներն ու ճարտարապետության կառուցվածքը հնարավորություն են ընձեռում թույլատրելի սահմաններում կիսահաղորդչային բյուրեղի վրա զբաղեցրած մակերեսի և էներգասպառման մեծացման դեպքում, էսպես մեծացնելու տվյալների փոխանցման ու մշակման հաճախությունները:

Մշակվել է ասինքրոն գծային համահարթեցման սխեմայում երկուական կոդով դեկավարվող բացասական ունակության ներդրված համակարգ, որը, դրական հետադարձ կապի և գծայնության կարգաբերման շնորհիվ ապահովում է մոտավորապես 2 անգամ ավելի արագ ազդանշանի համահարթեցում՝ կիսահաղորդչային բյուրեղի վրա զբաղեցրած մակերեսի ընդամենը 11% մեծացման հաշվին:

Առաջարկվել է որոշող հետադարձ կապով համահարթեցման սխեմայի արագագործության բարձրացման մեթոդ, որը, ցածր մուտքային ունակությամբ արագագործ համեմատիչների ներդրման հաշվին, մեծացնում է տվյալների մշակման հաճախությունը շուրջ 2 անգամ՝ էներգասպառման ընդամենը 16% աճի պարագայում:

Ստեղծվել է քառաստիճան ամպլիտուդային մոդուլյացիայով փոխանցվող ազդանշանի մշակման համակարգի կառուցման մեթոդ, որը, տվյալների պահպանման և զուգահեռ ճյուղերով մշակման շնորհիվ, մեծացնում է տվյալների փոխանցման արագությունը մոտավորապես 50%-ով՝ կիսահաղորդչային բյուրեղի վրա ընդունիչ հանգույցի մակերեսի մոտավորապես 12,2% մեծացման պարագայում:

Ատենախոսությունում մշակված ինտեգրալ սխեմայում հաջորդական տեղեկությո՞ի ընդունման արագագործության բարձրացման միջոցներն իրագործվել են Self equalizer ծրագրային գործիքում, որը ներդրվել է «ՄԻՆՓՄԻՍ ԱՐՄԵՆԻԱ» ՓԲԸ-ում: Ծրագրային միջոցի գործնական կիրառությունը թույլ է տվել նվազեցնել ընդունիչ հանգույցների նախագծման ժամանակը 6-7 անգամ: Առաջարկված մեթոդների իրագործումը՝ Self equalizer ծրագրային գործիքի միջոցով բարձրացրել է համակարգի արագագործությունը շուրջ 10%-ով՝ էներգասպառման 15-20% և կիսահաղորդչային բյուրեղի վրա զբաղեցրած մակերեսի 10-20% մեծացման հաշվին:

MANVEL TIGRAN GRIGORYAN

DEVELOPMENT OF MEANS TO INCREASE ACCELERATION OF COMMUNICATION INFORMATION IN THE INTEGRATED SCHEME

SUMMARY

Modern electronic systems include several integrated circuits (ICs). They are located independently of each other and perform different functions. However, in order to ensure the coordinated work of the whole system, the information developed by the ICs is exchanged. Complete analysis of the received data ensures the proper and optimal operation of the system. Improper reception of transmitted data may lead to unsatisfactory technical parameters of the whole system.

The special input/output (I/O) blocks installed in the ICs ensure the transmission and reception of information throughout the system. They are connected by channels. In order to reduce the production costs of the system, the processed data are transmitted serial and limiting the number of flow paths in the overall system. Continuous scaling of minimum sizes in semiconductor technologies has led to an increase in the amount of data processed in ICs. The mentioned factors dictate the increase of the transmitted signal frequency.

Data exchange between different ICs is performed by special standard algorithms. Over time, their parametric clarifications and work speeds increase. As the provision of new standards presupposes the possibility of using the existing ones, which makes the main parameters of the architecture of I/O blocks programmable, to provide different speeds if necessary.

However, the amplitude-frequency characteristics of the conductor limit the increase in the frequency of the transmitted signal. Depending on the frequency of the transmitted signal and its voltage level, the conductor can act as a transmission line with distributed parameters. The increase in signal level loss along with the increase in frequency is due to the phenomena of skin effect and dielectric absorption. These phenomena dictate the demand for signal leveling and processing systems at the receiving node.

The problem of developing means for designing such systems is urgent both in terms of solving problems of scientific interest and in terms of designing high-speed sequential information systems of practical importance.

The dissertation is devoted to the development of means in I/O blocks that will allow to increase the frequency of the transmitted signal and to level the distorted signal.

Effective approaches in terms of time constraints for developing means of increasing the speed of sequential information acquisition in integrated circuits have

been proposed. The embedded nodes and the structure of the architecture make it possible to significantly increase the data transfer and processing frequencies if the surface area occupied by the semiconductor crystal is within the allowable limits.

An asynchronous linear flattening scheme has developed an embedded binary code negative control system that, with positive feedback and linearity adjustment, provides almost twice as fast signal leveling by only 11% of the area occupied by the semiconductor crystal.

A method of increasing the speed of the decisive feedback flattening scheme has been proposed, which, due to the introduction of low-input high-speed comparators, doubles the frequency of data processing by only 16% increase in energy consumption.

A method for constructing a signal processing system transmitted by four-step amplitude modulation has been developed, which, due to data storage and parallel branch processing, increases the data transfer rate by about 50% with an increase of about 12.2% in the receiving node surface on a semiconductor crystal.

In the integrated scheme developed in the dissertation, the means of increasing the speed of receiving sequential information were implemented in the Self equalizer software tool, which was introduced in "SYNOPSYS ARMENIA" CJSC. The practical application of the software allowed to reduce the design time of the receiving nodes 6-7 times. The implementation of the proposed methods with the help of the Self equalizer software tool has increased the system speed by about 10%, by consuming 15-20% of energy 10 by increasing the surface area of the semiconductor crystal by 10-20%.

