



(51) МПК

H01S 3/106 (2006.01)

G02F 1/125 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

**(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(52) СПК  
*H01S 3/106 (2025.01); G02F 1/125 (2025.01)*

(21)(22) Заявка: 2024139867, 26.12.2024

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
26.12.2024

Дата регистрации:  
30.04.2025

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.12.2024

(45) Опубликовано: 30.04.2025 Бюл. № 13

Адрес для переписки:

105005, Москва, вн. тер. г. Муниципальный  
округ Басманный, 2-я Бауманская ул., 5, стр.  
1, ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
Амелина Ксения Евгеньевна

(72) Автор(ы):

Плитарак Максим Сергеевич (RU),  
Богомолов Василий Максимович (RU),  
Аверкиева Ульяна Сергеевна (RU),  
Федоренко Александр Юрьевич (RU),  
Орехов Илья Олегович (RU),  
Сазонкин Станислав Григорьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Московский государственный  
технический университет имени Н.Э.  
Баумана (национальный исследовательский  
университет)" (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2657305 C2, 13.06.2018. RU  
2697879 C1, 21.08.2019. RU 2764384 C1,  
17.01.2022. CN 110544863 A, 06.12.2019. CN  
116952358 A, 27.10.2023. US 10461850 B2,  
29.10.2019.

(54) Селектор фемтосекундных импульсов на основе динамического делителя частоты

(57) Реферат:

Полезная модель относится к области волоконной оптики и лазерных технологий, а именно к устройствам для деления частоты следования оптических импульсов в волоконных лазерах ультракоротких импульсов. Техническим результатом полезной модели является обеспечение возможности настройки параметров управляющего сигнала: коэффициента деления, длительности импульса и времени задержки, в

устройстве деления частоты следования оптических ультракоротких импульсов. Селектор фемтосекундных импульсов на основе динамического делителя частоты следования импульсов в волоконном лазере содержит волоконно-оптический разветвитель, акустооптический модулятор (АОМ), фотоприёмное устройство (ФПУ), предделитель, микроконтроллер и драйвер АОМ. 10 ил.

RU 233707 U1

RU 233707 U1



Фиг.1

R U 2 3 3 7 0 7 U 1  
R U 2 3 3 7 0 7

R U 2 3 3 7 0 7 U 1

## Область техники

Полезная модель относится к области волоконной оптики и лазерных технологий, а именно к устройствам для деления частоты следования оптических импульсов в волоконных лазерах ультракоротких импульсов. Типичная частота повторения таких 5 лазеров составляет единицы и десятки мегагерц. Однако для некоторых областей применения, таких как метрология и спектроскопия, требуется генерация импульсов с меньшей частотой следования или с возможностью варьировать частоту генерации. Это позволяет получить большую энергию импульса и обеспечить точность и контроль средней мощности излучения.

### 10 Уровень техники

Известен аналог - используемый в автоматике и вычислительной технике делитель частоты импульсов, описанный в патенте RU2041562C1 (опубл. 09.08.1995).

Однако он не совместим с оптическим излучением, что делает его непригодным для деления частоты оптических импульсов.

15 Кроме того, известен ближайший аналог - делитель частоты следования импульсов, описанный в А.с. СССР SU519866A1 (опубл. 30.06.1976), который представляет собой устройство, включающее импульсный когерентный источник света, который связан с первым входом накопителя. Устройство также содержит оптические линии задержки и матрицу кодов деления частоты, соединенные с входом устройства. Основной задачей 20 данного устройства является обеспечение надежной и быстрой работы при делении частоты следования импульсов. Для повышения надежности и увеличения быстродействия работы устройства в нем введен оптический размножитель. Вход этого размножителя оптически связан с первым выходом накопителя, что позволяет эффективно управлять потоком импульсов. Выход размножителя через последовательно 25 установленные первую оптическую линию задержки и матрицу кодов деления частоты связан с первым входом дополнительно введенного картинного элемента «ИЛИ» с N выходами. Это позволяет точно контролировать частоту следования импульсов и обеспечивает гибкость в управлении процессом. Второй вход элемента «ИЛИ» через вторую оптическую линию задержки связан со вторым выходом накопителя, что 30 обеспечивает синхронизацию и стабильность работы устройства. Выходы элемента «ИЛИ» соединены с соответствующими входами накопителя со второго по (N+1)-й, что позволяет распределять импульсы по различным каналам. Накопитель включает входной транспарант, оптически связанный с первым входом накопителя, и N оптических ячеек по числу разрядов накопителя. Первый вход каждой оптической ячейки связан 35 с соответствующим входом накопителя, а второй вход - с первым выходом предыдущей оптической ячейки, кроме первой, второй вход которой связан с выходом входного транспаранта. Это обеспечивает последовательную передачу и обработку импульсов, что повышает точность и надежность работы устройства. Каждая оптическая ячейка накопителя содержит транспарант, вход которого связан с первым входом оптической 40 ячейки, а выход - с первым входом сумматора по модулю два и первым входом элемента «И». Вторые входы этих элементов связаны с вторым входом оптической ячейки, что обеспечивает корректную обработку и передачу импульсов. Выход элемента «И» отрицательно связан с выходом сдвигателя, выход которого связан с первым выходом оптической ячейки.

45 Недостатками ближайшего аналога являются сложность устройства и невозможность использования для деления частоты следования ультракоротких импульсов из-за их малой длительности и высокой частоты следования. Поскольку ближайший аналог включает множество оптических и электронных компонентов, таких как оптические

линии задержки, матрицы кодов деления частоты, оптические размножители и картины элементы «ИЛИ». Это увеличивает сложность устройства и может привести к увеличению вероятности отказов и неисправностей. Кроме того, ультракороткие импульсы имеют очень высокую частоту следования, что требует от устройства 5 мгновенной реакции и минимальных задержек. Последовательная обработка импульсов в данном устройстве может не обеспечить необходимую скорость работы устройства.

#### Раскрытие полезной модели

Задачей полезной модели является устранение недостатков прототипа, а именно 10 увеличение быстродействия и функциональности устройства с его упрощением за счет использования решений, основанных на современной компонентной базе, а именно быстродействующем акустооптическом модуляторе (АОМ) и микроконтроллере.

Технический результат заключается в реализации схемы устройства деления частоты 15 следования оптических ультракоротких импульсов с возможностью настройки параметров управляющего сигнала: коэффициента деления, длительности импульса и времени задержки.

Для достижения технического результата предлагается устройство, в котором:

1) используется АОМ для понижения частоты следования ультракоротких импульсов. АОМ способен быстро изменять интенсивность светового сигнала и при этом не ухудшает отношение сигнал/шум вводимого сигнала; 20  
2) для формирования управляющего сигнала к АОМ используется микроконтроллер, обеспечивающий высокую точность и быстродействие управления. Микроконтроллер работает в режиме таймера, что позволяет генерировать импульсы с заданными параметрами (длительностью импульса, задержкой между импульсами и коэффициентом деления) с высокой точностью и скоростью.

Селектор фемтосекундных импульсов на основе динамического делителя частоты следования импульсов в волоконном лазере содержит волоконно-оптический 25 разветвитель, акустооптический модулятор (АОМ), фотоприёмное устройство (ФПУ), предделитель, микроконтроллер и драйвер АОМ. Предлагаемое устройство имеет возможность деления излучения фемтосекундного лазера, являющегося последовательностью импульсов с частотой десятки и сотни МГц, в волоконно- 30 оптическом разветвителе на две части сигнала в соотношении 99% к 1%, с направлением первой части сигнала на АОМ для понижения частоты оптического сигнала и второй части сигнала на ФПУ для формирования управляющего сигнала для системы управления, состоящей из предделителя, необходимого для увеличения диапазона деления, микроконтроллера, благодаря которому возможно изменение параметров 35 делителя, и драйвера АОМ, который включен в состав устройства для подачи питания АОМ и для преобразования логического сигнала управления в вид, необходимый для работы АОМ.

#### Перечень фигур

- На фиг. 1 представлена структурная схема устройства.  
На фиг. 2 представлены временные диаграммы делителя частоты.  
На фиг. 3 представлен выходной сигнал МПСУ при входной частоте 1 МГц.  
На фиг. 4 представлена схема предделителя на основе D триггеров.  
На фиг. 5 представлена 3D-модель предделителя на основе D триггеров.  
На фиг. 6 представлена структурная схема платы расширения.  
На фиг. 7 представлена схема защиты платы.  
На фиг. 8 представлена схема входного буфера.  
На фиг. 9 представлена схема выходного буфера.

На фиг. 10 представлена 3D-модель платы расширения.

Осуществление полезной модели

В предлагаемом устройстве:

1. Акустооптический модулятор (АОМ), осуществляет понижение частоты

5 оптического сигнала.

2. Драйвер АОМ, формирует управляющий сигнал и питание для АОМ.

3. Микроконтроллер, формирует управляющий сигнал для драйвера АОМ.

4. Предделитель, осуществляет первоначальное снижение частоты следования импульсов для увеличения диапазона деления.

10 5. Приёмник излучения с усилителем, формирует электронный сигнал пропорционально входному оптическому сигналу.

6. Волоконно-оптический разветвитель, разделяет излучение в соотношении 99% к 1% для создания управляющего сигнала.

На фиг. 1 показана одна из возможных схем устройства для деления частоты

15 следования импульсов в волоконном лазере. Фемтосекундный лазер формирует последовательность импульсов с частотой десятки и сотни МГц. Этот оптический сигнал поступает на волоконно-оптический разветвитель, который делит его в соотношении 99% к 1%. Первая часть сигнала направляется на акустооптический модулятор, который осуществляет понижение частоты оптического сигнала. Вторая часть сигнала попадает

20 на фотоприёмное устройство (ФПУ). ФПУ формирует управляющий сигнал для предделителя и микроконтроллера (или микропроцессорной системы управления (МПСУ) на фиг. 1). Эти компоненты делят сигнал до требуемой частоты в соответствии с дискретным сигналом, поступающим на микроконтроллер. Управляющий сигнал и питание АОМ осуществляется драйвером АОМ на основе выходного сигнала

25 микроконтроллера. Максимальная частота следования импульсов, с которой может работать микроконтроллер, составляет 1 МГц.

На фиг. 2 изображены временные диаграммы делителя частоты. Представлены в единой сетке времени сигналы импульсов лазера (исходные), ФПУ, АОМ и импульсы лазера после прореживания.

30 На фиг. 3 представлен выходной сигнал микроконтроллера (желтый) и входной сигнал до деления (синий), что демонстрирует успешное деление частоты с коэффициентом 100. Плата предделителя частоты содержит D-триггеры с коэффициентами деления 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 и 256. Это позволяет делить оптический сигнал в большом диапазоне частот следования импульсов.

35 На фиг. 4 показана схема предделителя на основе D-триггеров, а на фиг. 5 представлена 3D-модель разведенной платы. На плате расширения организована система ввода и вывода высокочастотных сигналов через коаксиальные разъемы. На фиг. 6 показана структурная схема платы расширения для платы NUCLEO-F429ZI микроконтроллера.

40 Схема защиты платы показана на фиг. 7. Для защиты платы от перенапряжения используется защитный диод SMAJ12CA с номинальным напряжением 12 В и максимальной рассеиваемой мощностью 3.3 Вт. Для защиты от переполюсовки применяется схема на Р-канальном полевом МОП-транзисторе IRF7240TRPBF с максимальным током сток-исток 16.1 А и сопротивлением открытого канала 0.01 Ом.

45 Для организации ввода и вывода высокочастотных сигналов используются входной и выходной буферы. Входной буфер, показанный на фиг. 8, используется для преобразования сигнала, поступающего с ФПУ, в вид, необходимый для работы микроконтроллера (напряжение логического сигнала 0...3 В). Для этого используется

буферный элемент с триггером Шмитта SN74LVC1G17DBVR, выбранный из-за своего быстродействия (время задержки 4,6 нс).

Выходной буфер, показанный на фиг. 9, необходим для преобразования логического сигнала, выдаваемого на выход платы, в вид, необходимый для работы драйвера АОМа.

5 Для этого используется схема повторителя на операционном усилителе AD8007ARZ, выбранном из-за его быстродействия.

На фиг. 10 показана 3D-модель платы расширения. Микроконтроллер STM32F429ZI на плате NUCLEO-F429ZI генерирует сигнал широтно-импульсной модуляции (ШИМ) на выходе с параметрами, которые пользователь задает в дискретном виде через USB 10 порт. Порт выхода переведен в режим таймера, работающего в режиме ONE PULSE MOD, чтобы каждое отдельное прерывание создавало лишь один импульс. Для управления характеристиками делителя частоты запрограммирован протокол общения с платой микроконтроллера.

15 (57) Формула полезной модели

Селектор фемтосекундных импульсов на основе динамического делителя частоты следования импульсов в волоконном лазере, содержащий волоконно-оптический разветвитель, акустооптический модулятор (АОМ), фотоприёмное устройство (ФПУ), предделитель, микроконтроллер и драйвер АОМ, с возможностью деления излучения фемтосекундного лазера, являющегося последовательностью импульсов с частотой десятки и сотни МГц, в волоконно-оптическом разветвителе на две части сигнала в соотношении 99% к 1%, с направлением первой части сигнала на АОМ для понижения частоты оптического сигнала и второй части сигнала на ФПУ для формирования управляющего сигнала для системы управления, состоящей из предделителя, 20 необходимого для увеличения диапазона деления, микроконтроллера, благодаря которому возможно изменение параметров делителя, и драйвера АОМ, который включен в состав устройства для подачи питания АОМ и для преобразования логического сигнала управления в вид, необходимый для работы АОМ.

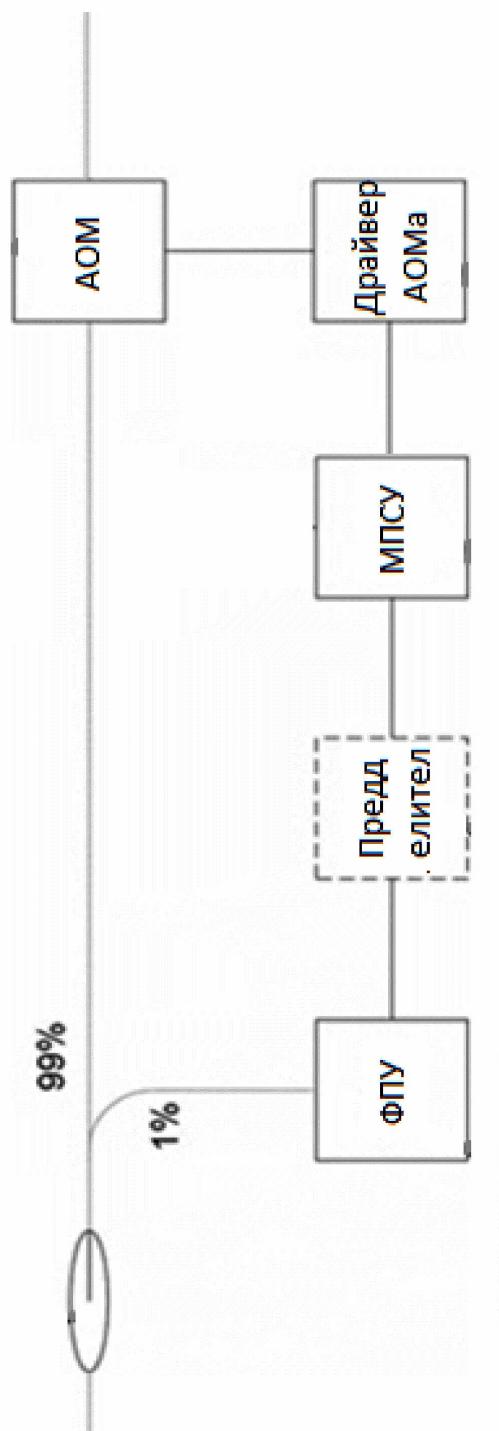
25

30

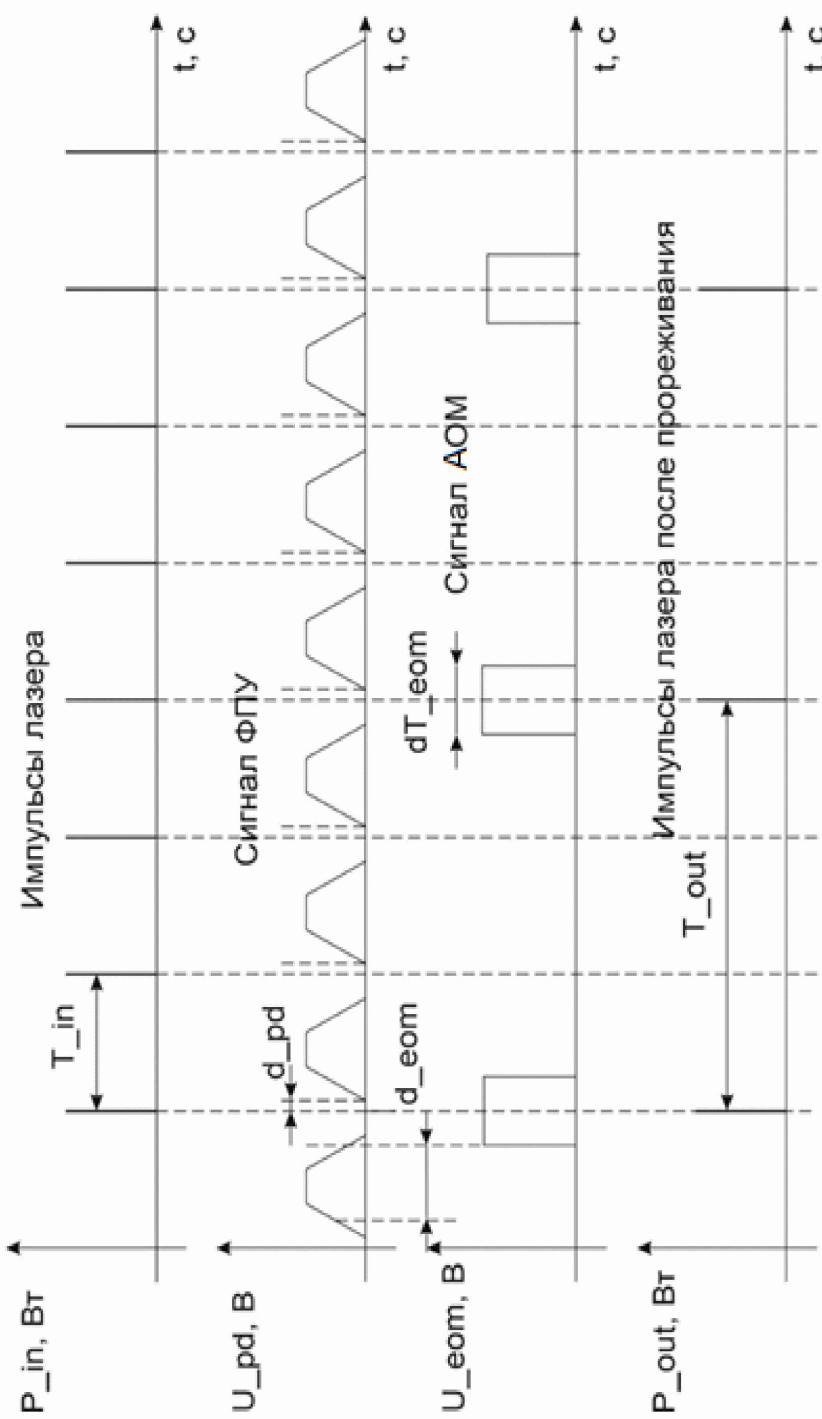
35

40

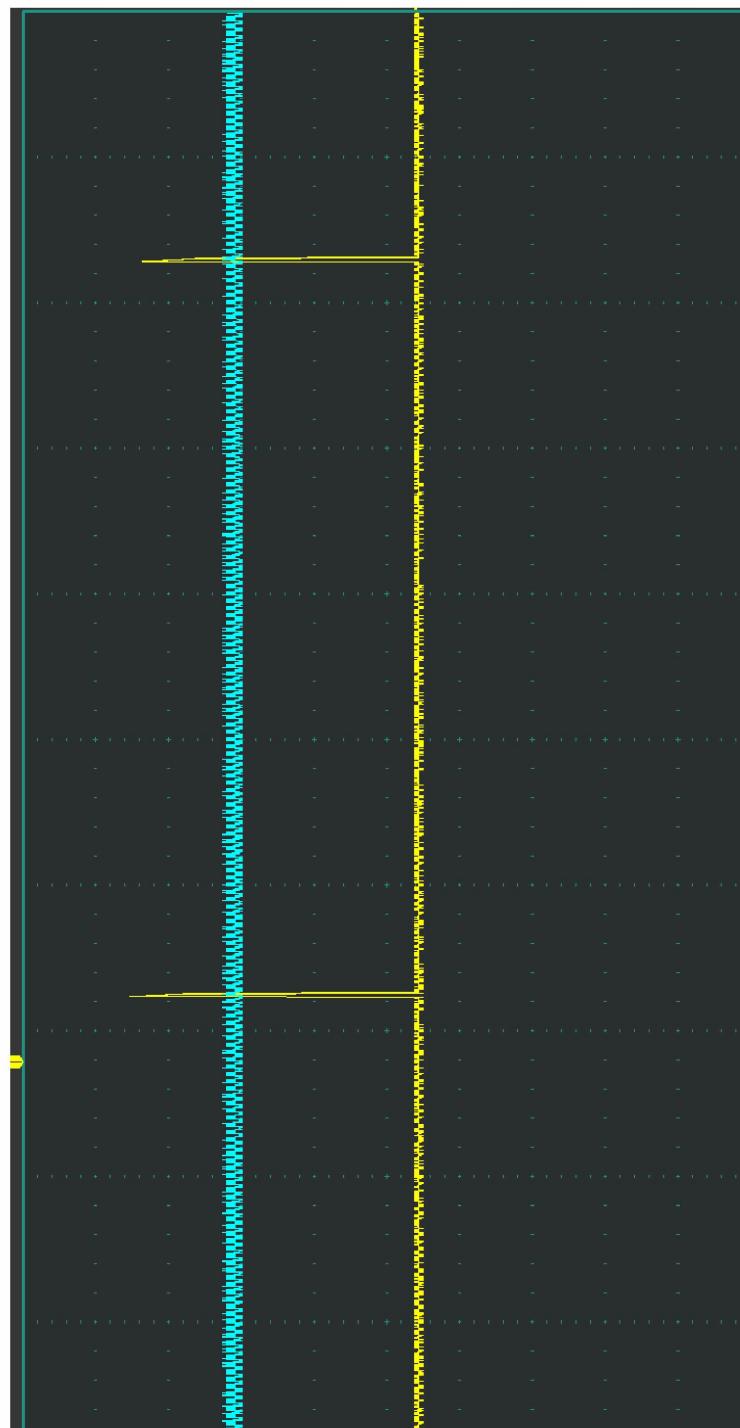
45



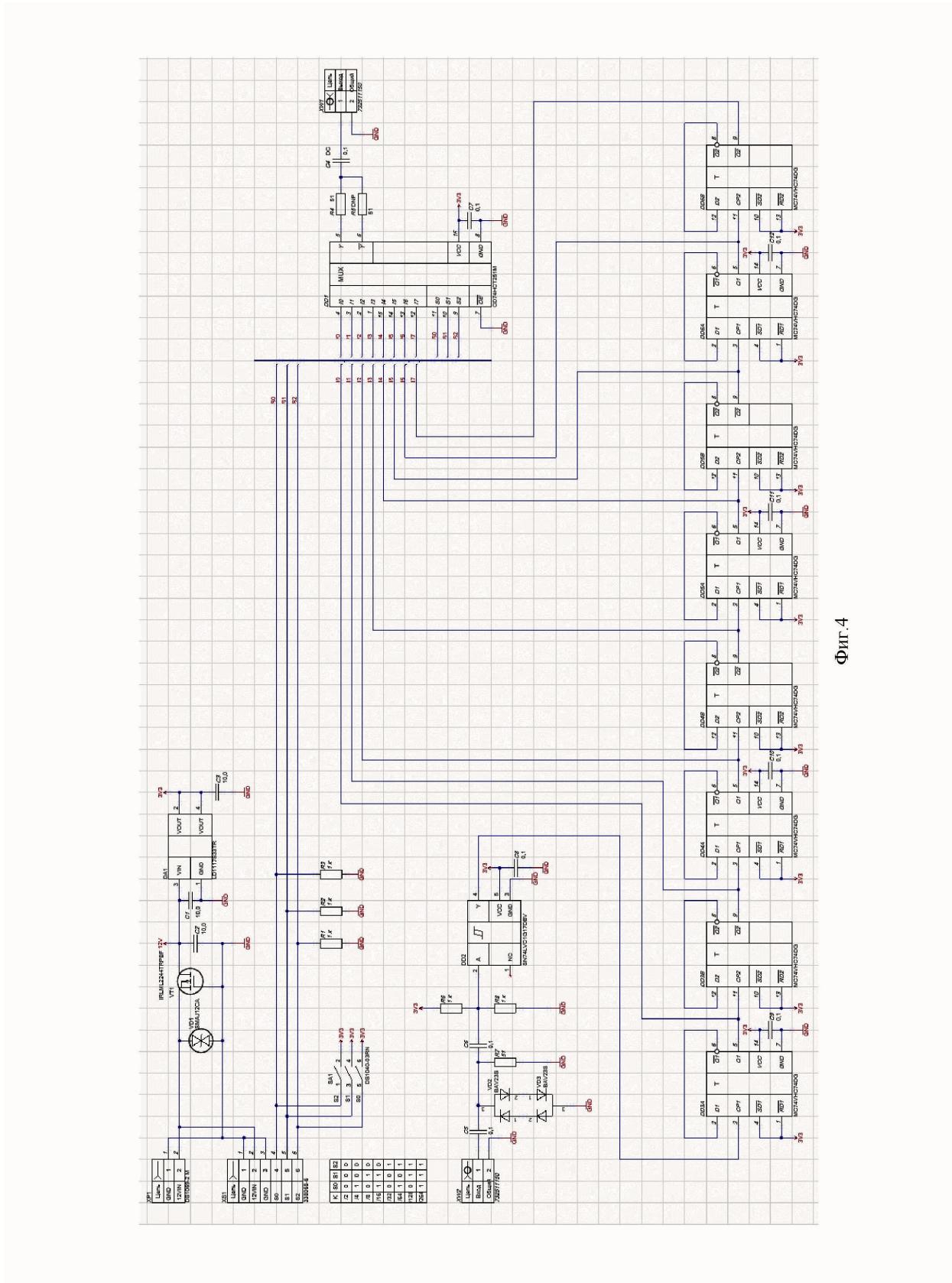
Фиг.1



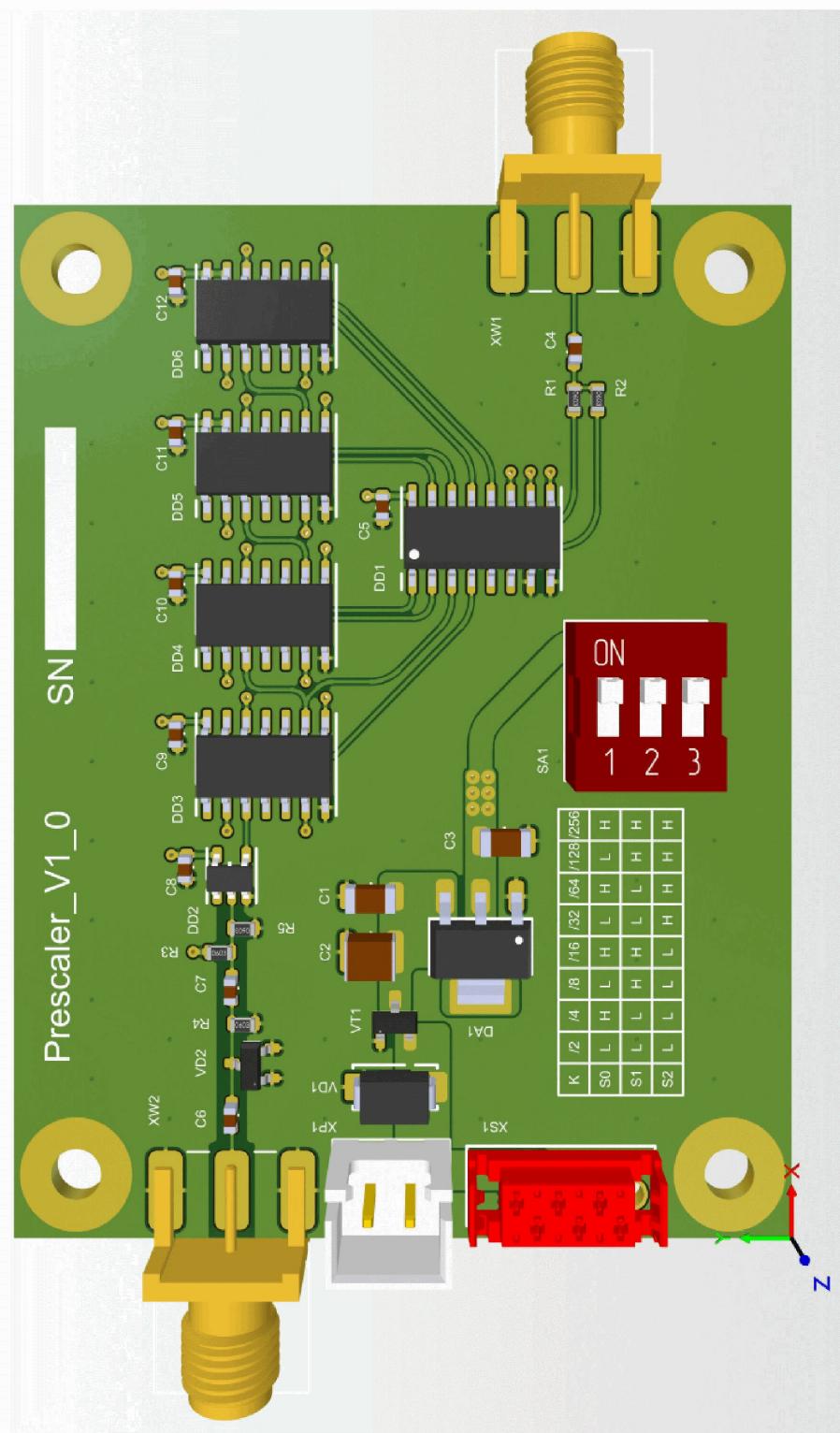
Фиг.2



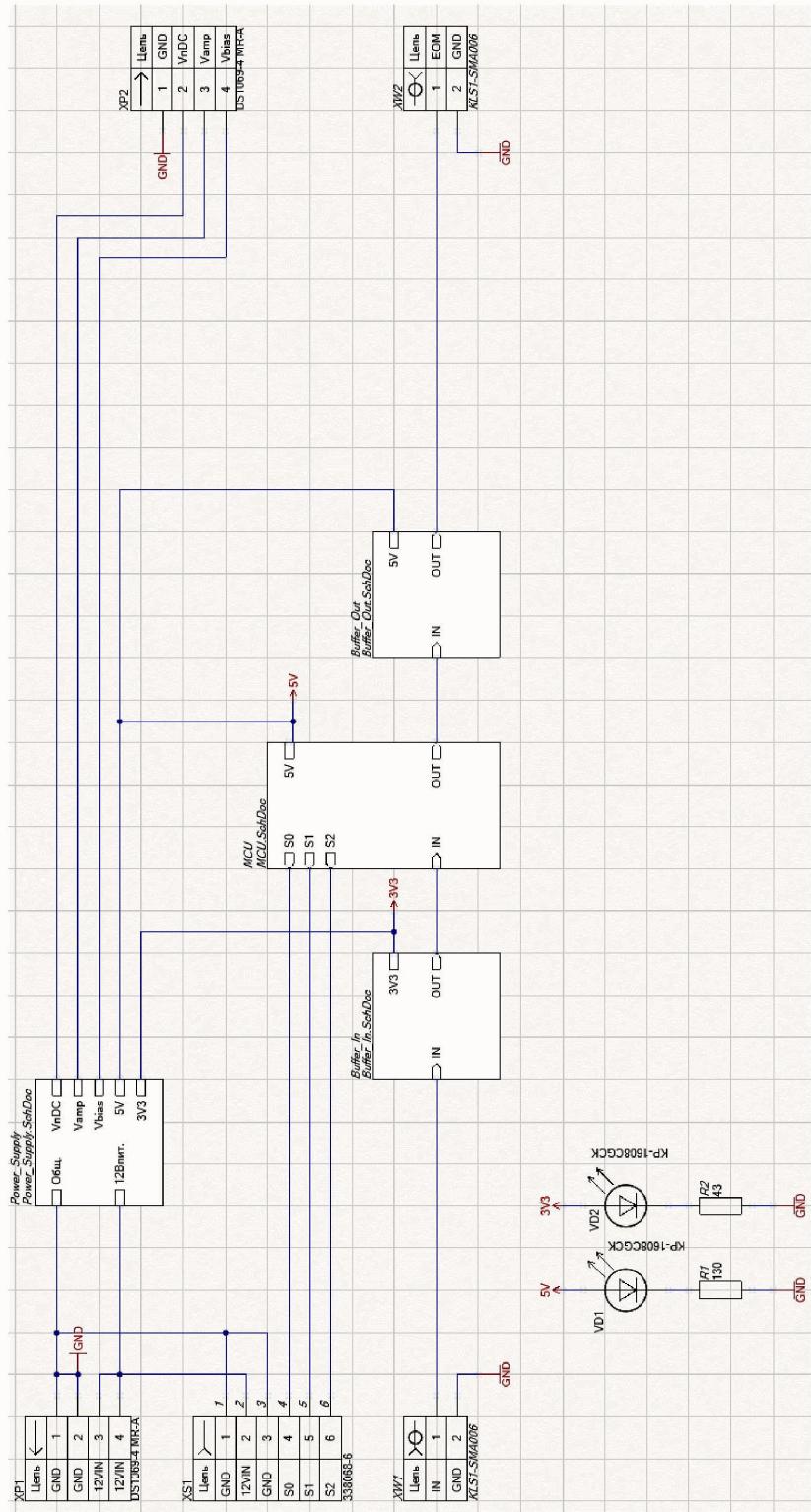
Фиг.3



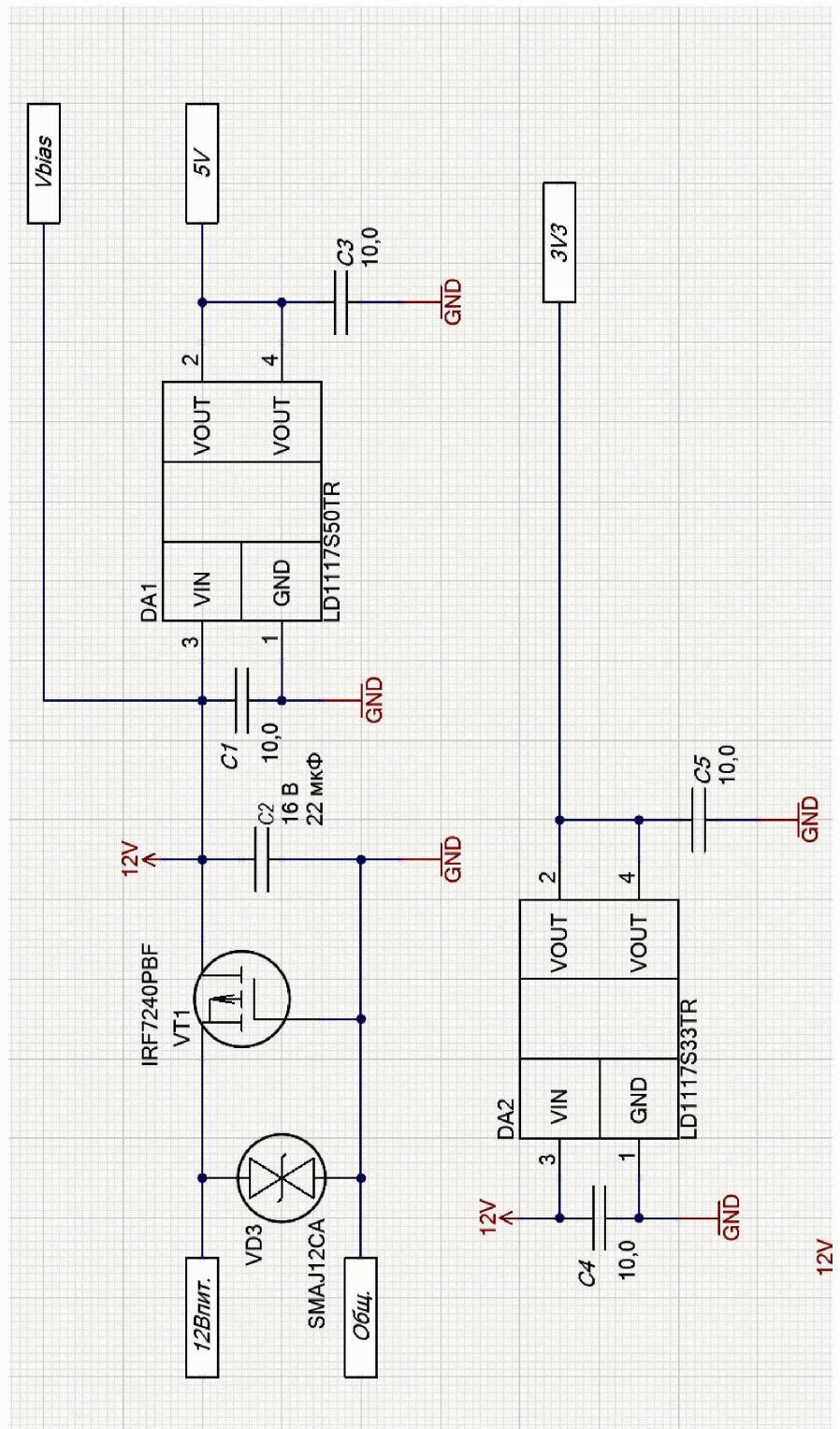
Фиг.4



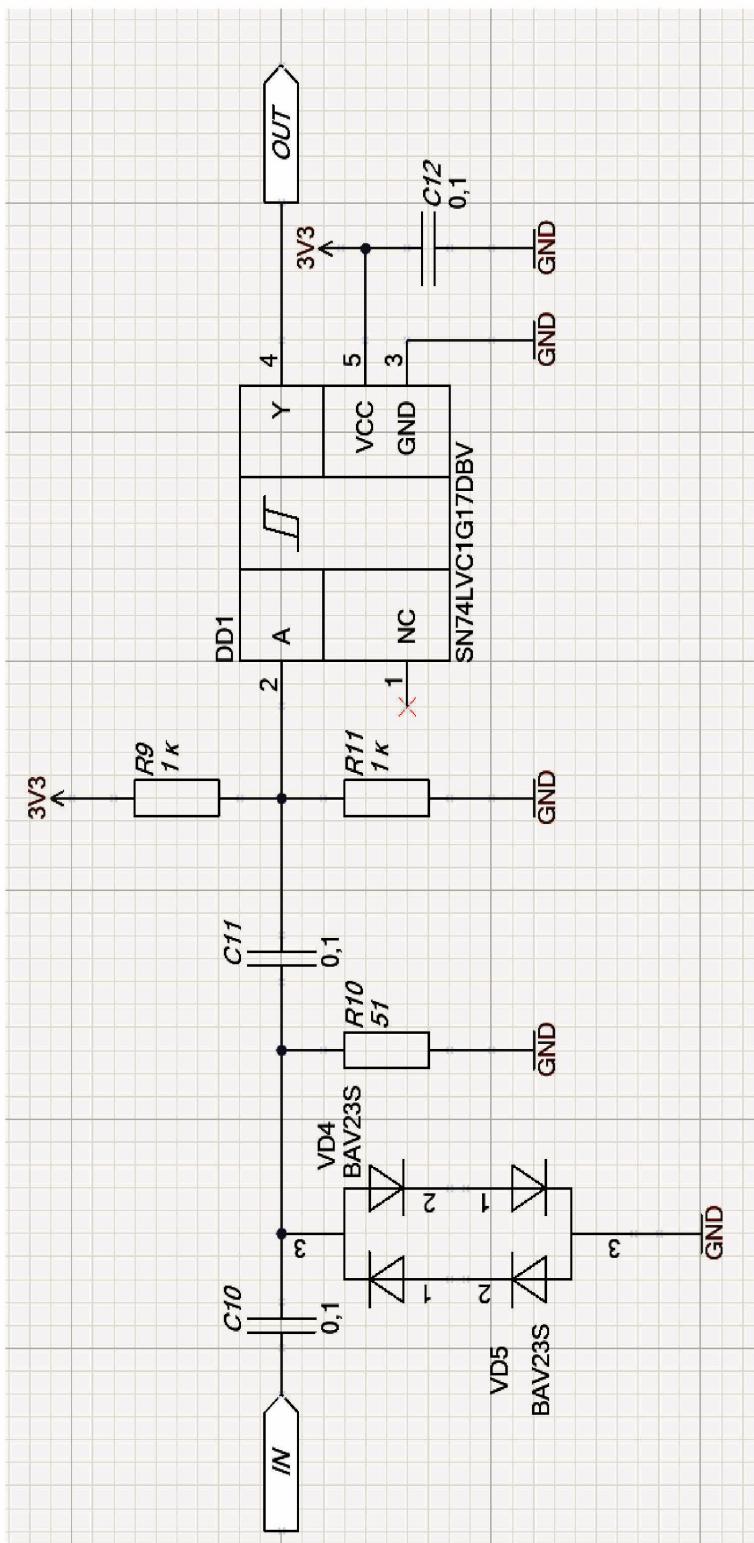
Фиг.5



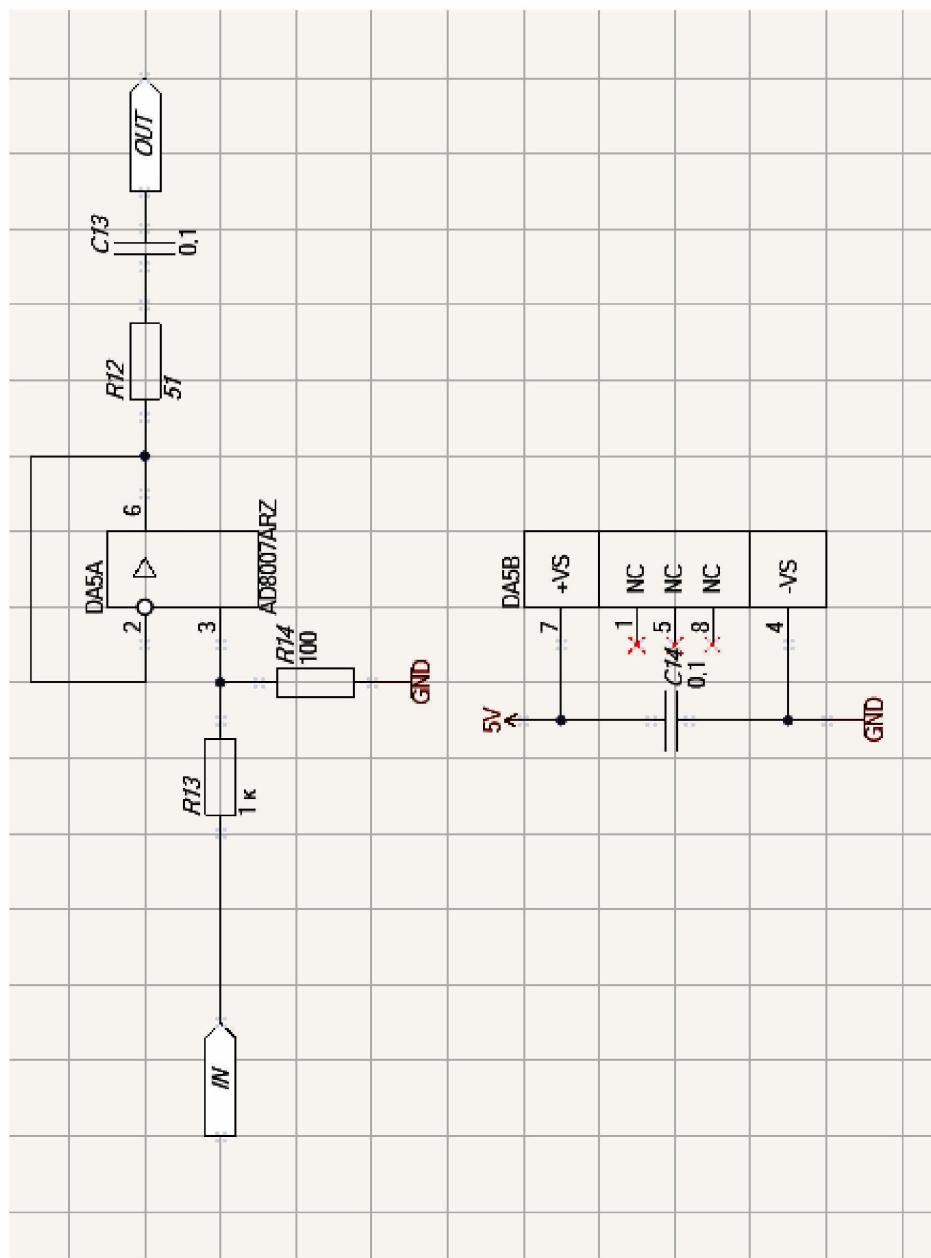
Фиг. 6

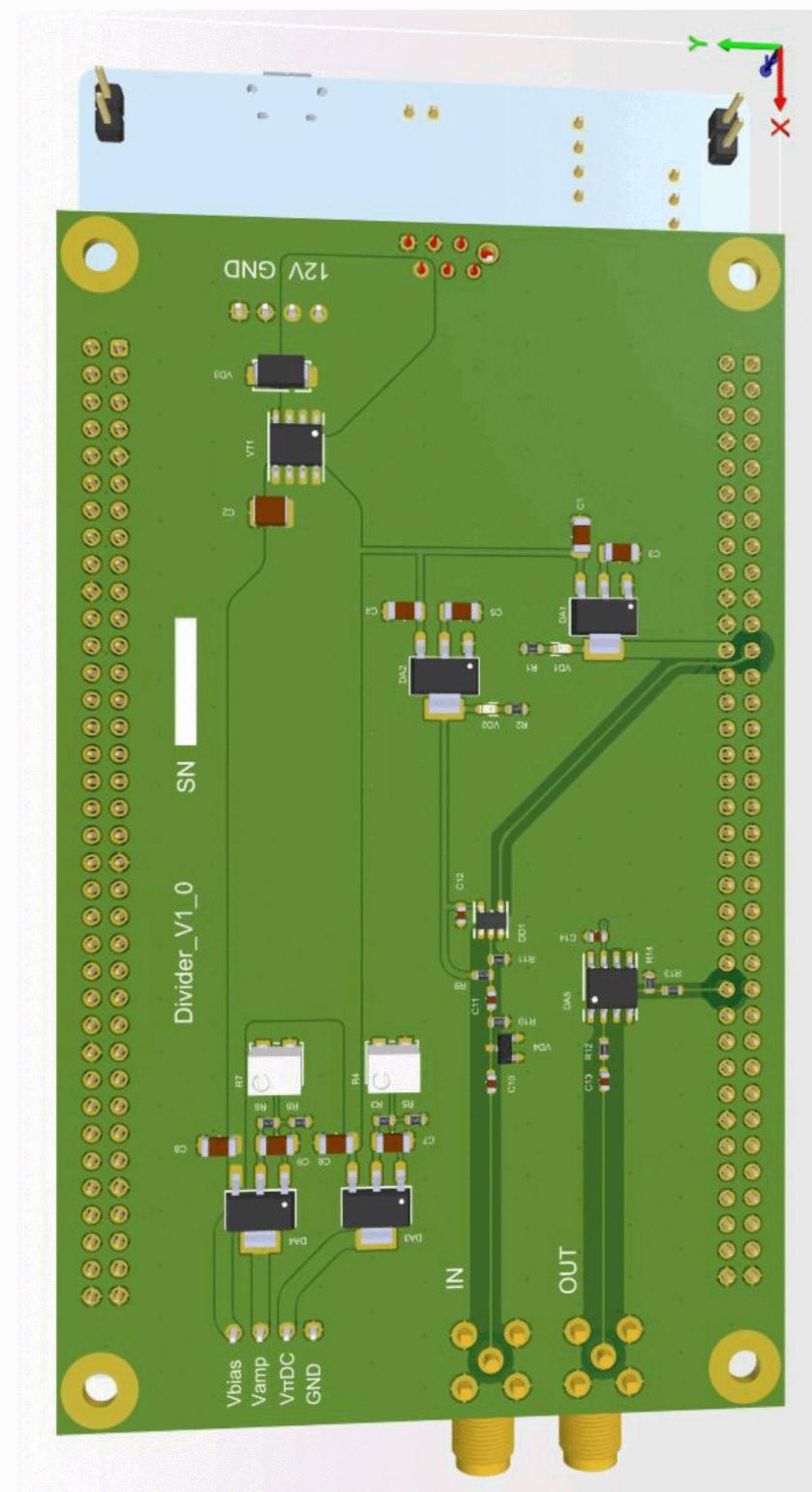


Фиг. 7



Фиг. 8

 $\Phi_{\text{HIT},9}$



Фиг.10