

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.  
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**  
(СГУ)

Кафедра физики полупроводников

**Исследование возможности формирования двоичного сигнала на выходе  
преобразователя свет-частота на основе параллельной структуры  
высокоомного арсенида галлия**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

студента 4 курса 412 группы

направления 11.03.04 «Электроника и микроэлектроника»

факультета nano- и биомедицинских технологий

Кобзева Евгения Ильича

Научный руководитель

д.ф.-м.н., профессор

должность, ученая степень, ученое звание

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

А.И. Михайлов

инициалы, фамилия

Консультант

зав. лабораторией

должность, ученая степень, ученое звание

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

И.О. Кожевников

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

должность, ученая степень, ученое звание

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

А.И. Михайлов

инициалы, фамилия

Саратов 2020

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Общая характеристика темы.**

### **Актуальность темы.**

Особенность полученного двоичного кода заключается в индивидуальных характеристиках, таких как амплитуда, частота колебаний и зависимость частоты от интенсивности оптической засветки каждого из элементов расположенных на структуре. Стоит уточнить, что оптическая засветка – это входной сигнал структуры.

Практическая значимость работы заключается в миниатюризации и упрощении конструкции конечного устройства. Из-за свойств используемого материала, конечный прибор способен совмещать в себе несколько функций: генерация двоичного электрического сигнала, изменяемого под действием входного оптического сигнала и возможностью управления частотой периодических импульсов в результате изменения мощности оптического излучения в широком диапазоне. Такой прибор является аналогом некоторых существующих интегральных цифровых фотопреобразователей. Так же, из-за индивидуальности таких характеристик, как частота, амплитуда и фоточувствительность каждого элемента структуры, данное устройство может быть применимо в качестве опто-электронного шифрующего устройства. Используя распространенные интерфейсы передачи данных, можно осуществлять «общение» данного прибора с микроконтроллером и запрограммировать его на распознавание сигнала с каждой конкретной структуры, что, в конечном счете, может быть использовано как в качестве фотоэлектронного цифрового преобразователя, но с необходимостью «обучения» под каждый прибор, так и в качестве индивидуального электронного ключа.

## Исследуемая структура

В качестве объекта исследования использовался функциональный однокристальный преобразователь свет-частота, который является планарно-эпитаксальной мезаструктурой на основе эпитаксиальной пластины арсенида галлия марки САГ-2БК с двумя омическими контактами. Применение планарно-эпитаксиальных мезаструктур позволяет получить действие двух физических явлений: рекомбинационной неустойчивости тока и внутреннего фотоэффекта. Сигнал представляет колебания напряжения на резисторе, частота которых зависит от мощности падающего излучения, регистрируется с помощью осциллографа.

В работе использованы структуры параллельного типа, где элементы соединены общей шиной питания (рисунок 1). Широкие омические контакты выполняют роль шин питания и используются для приложения внешнего напряжения, а высокоомные промежутки между десятью парами встречных параллельных омических контактов длиной 60 мкм формируют отдельные элементы. Структура, используемая в эксперименте, представляет интерес при её параллельном соединении, потому что можно получить сложные сигналы в виде последовательности импульсов, являющиеся сложением нескольких сигналов с разных элементов, отличающихся своими характеристиками: амплитуда и частота колебаний, зависимость частоты от интенсивности засветки, пороговое напряжение, перестраиваемых при воздействии засветки.

При приложении к контактам структуры порогового напряжения в результате развития рекомбинационной неустойчивости тока, вследствие периодического захвата и выброса электронов ловушками в высокоомной подложке, возникают периодические колебания тока с определенной частотой и амплитудой. При воздействии оптического излучения на высокоомную область структуры в промежутке между контактными площадками происходит увеличение частоты токовых колебаний и

уменьшение их амплитуды (за счет увеличения фотопроводимости и роста постоянной составляющей тока через структуру вследствие заполнения глубоких уровней в подложке).

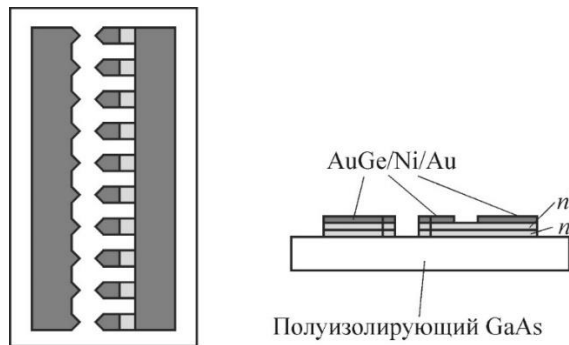


Рисунок 1 - Топология (а) и схематическое изображение одного элемента (б) экспериментальных образцов структуры параллельного типа

Известно, что изменения значений частоты сигнала регистрируются с большей точностью, чем изменение величины напряжения или тока. В режиме генерации постоянная составляющая тока, протекающего через структуру, может быть в 1,5 и более раз меньше, чем в предпороговом. Таким образом, прибор, выдающий сигнал в виде периодически повторяемых колебаний, обладает более высокой измерительной точностью и имеет меньшее энергопотребление.

## Оборудование и методика измерений

### Эксперимент

Схема измерительной установки включает в себя стабилизированный источник напряжения для питания структуры, генератор и усилитель импульсов, лазерный диод для облучения структуры и стабилизированного источника тока лазерного диода с возможностью регулировки (рисунок 2). Исследуемая структура размещается на столике с прижимными зондами, с помощью которых к контактным площадкам прикладывается питающее напряжение. Напряжение питания формируется усилителем импульсов, частота и длительность которых задается внешним генератором. Сигнал представляет колебания напряжения на резисторе, частота которых зависит от мощности падающего излучения, регистрируется с помощью осциллографа. В экспериментах использовались два варианта источников освещения: 1) лазерный модуль и 2) лампа накаливания. Ток, протекающий через структуру, регистрируется, как падение напряжения на резисторе, которое регистрируется с помощью осциллографа. Резистор переменного сопротивления используется в качестве нагрузочного сопротивления для регулировки амплитуды токовых колебаний, то есть напряжения на входе триггера Шмитта.

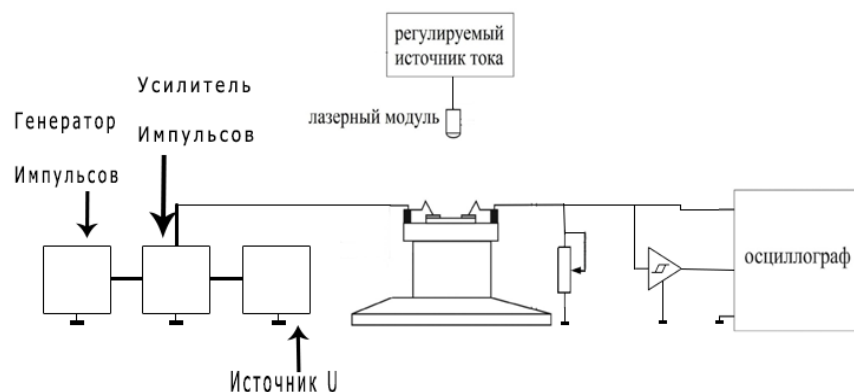


Рисунок 2 – Схема измерительной установки

Засветка осуществляется с помощью модуля лазерного диода 680 нм мощностью до 5 мВт (регулируется источником тока) и с системой

фокусировки. При воздействии оптического излучения на высокоомную область структуры в промежутке между контактными площадками происходит увеличение частоты токовых колебаний в цепи и уменьшение их амплитуды (за счет увеличения фотопроводимости и роста постоянной составляющей тока через структуру).

Сигнал на выходе является током. Резистор служит для регулировки сигнала, его величина определяет уровень сигнала, который пропускаем через триггер Шмитта, который реагируя на сигнал переключается либо в логическую единицу, либо в логический ноль. Ввиду не идентичности элементов у используемой в эксперименте структуры, их собственное сопротивление неодинаково. Получается, что не существует конкретного универсального нагрузочного сопротивления, при котором триггер будет срабатывать всегда, поэтому, чтобы триггер Шмитта срабатывал на выходной сигнал его надо подстраивать под каждую структуру отдельно. Поэтому в эксперименте диапазон сопротивлений R1, R2, R3 выпадал на значения порядка  $3 \pm 2.8$  кОм. Это достаточно большой разброс, потому что такой же большой разброс сопротивления от структуре к структуре. В добавок, присутствовало постоянное сопротивление равное 100 Ом, которое было подключено последовательно с переменным, максимальное значение переменного сопротивления 10 кОм.

Так как триггер Шмитта, как и любое логическое устройство, срабатывает по конкретным уровням напряжения, становится необходима настройка, заключающаяся в изменении величины нагрузочного сопротивления, напряжение с которого подается на вход триггера Шмитта (рисунки 3-5).

В эксперименте использовался переменный резистор, сопротивление подбиралось таким образом, чтобы триггер Шмитта срабатывал на выходящие со структуры импульсы. Иначе говоря, резистором регулировалось изменение падения напряжения на структуре. Так как

триггер Шмитта, как и любое логическое устройство, срабатывает по конкретным уровням напряжения, становится необходима настройка, заключающаяся в изменении величины нагрузочного сопротивления, напряжение с которого подается на вход триггера Шмитта (рисунки 3-5).

Как видно из рисунков 3-5, оптимальным является сопротивление  $R_2$ , но, как было сказано ранее, ввиду большой разницы амплитуд сигналов, распознаются не все импульсы (рисунок 5). Поэтому сопротивление резистора необходимо подбирать таким, чтобы при многочастотном режиме работы триггер «чувствовал» выходной сигнал с как можно большего числа работающих элементов структуры. На рисунках 3-5 показано, как регулировалось нагрузочное напряжение «U», при подборе сопротивления на резисторе для того, чтобы триггер Шмитта срабатывал.

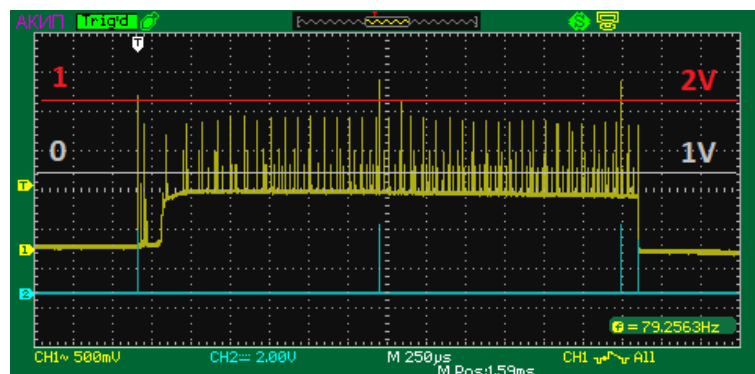


Рисунок 3 – Переключение триггера Шмитта при  $R_1$

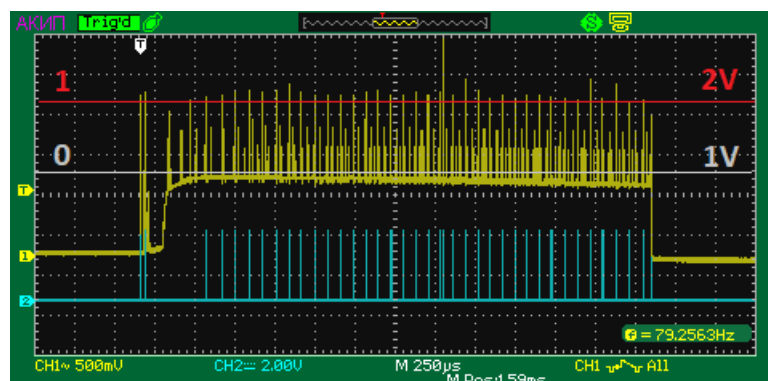


Рисунок 4 – Переключение триггера Шмитта при  $R_2 > R_1$

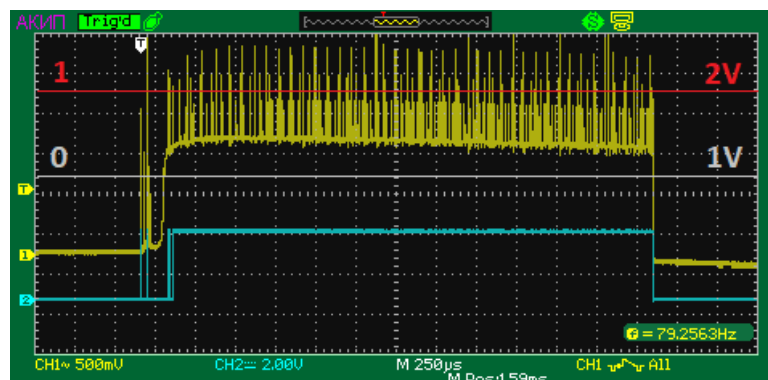


Рисунок 5 – Переключение триггера Шмитта при  $R3 > R2$

На всех приведенных осциллограммах можно заметить, что весь пакет импульсов можно разделить на 2 части, так как в начале имеется участок с задержкой, а далее идет полезный сигнал. От данного участка с задержкой избавиться нельзя, но экспериментально установлено, что длительность данного участка сокращается при засветке структуры, что может быть неким индикатором наличия засветки (рис. 6-8). В таком случае последующий полезный сигнал можно применить в качестве двоичного кода, который будет использоваться в качестве электронного цифрового ключа.

В опыте были выбраны три значения засветки:  $E0 = 0$  лк (в темноте),  $E1 = 3890$  лк,  $E2 = 21100$  лк. Оптическое воздействие на используемую в опыте структуру производилось расфокусированным лазерным пучком.

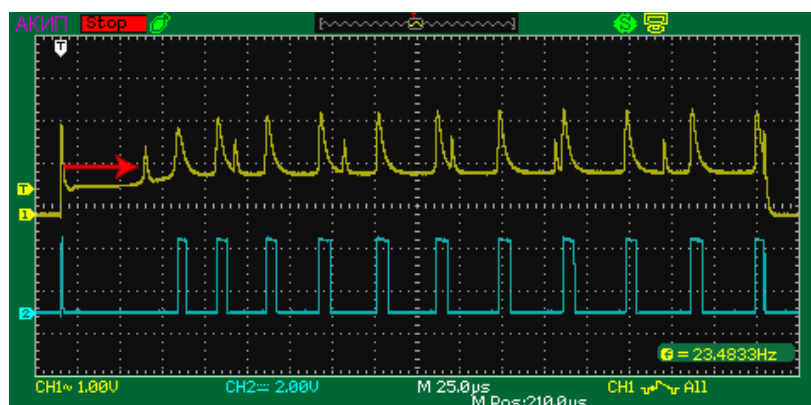


Рисунок 6 – Форма сигнала на выходе структуры в темноте ( $E0 = 0$  лк)



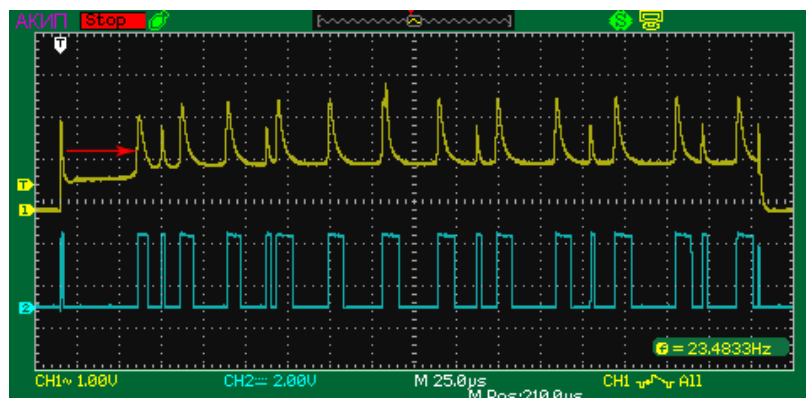


Рисунок 7 - Форма сигнала при интенсивности засветки  $E1 = 3890$  лк

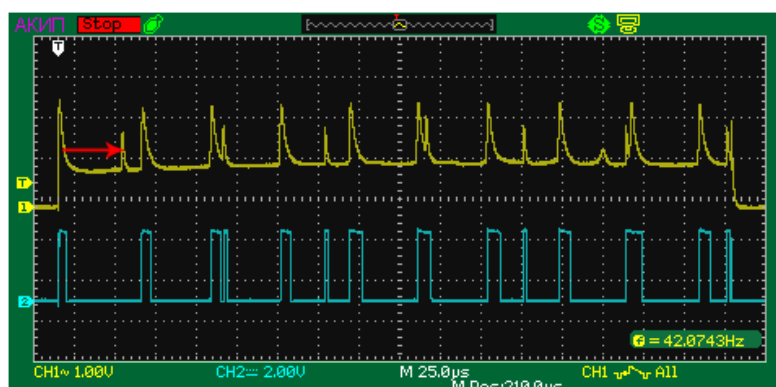


Рисунок 8 - Форма сигнала при интенсивности засветки  $E2 > E1$ , при  $E2 = 21100$  лк

Из серии осциллограмм (рис. 6-8) видно, что триггер Шмитта преобразует входящий сигнал в двоичный код, перестраиваемый при модулировании мощности излучения. Положения «узких» импульсов меняются относительно «широких», поскольку изменение частоты первых больше чем вторых. Данные изменения связаны с различной фоточувствительностью каждого элемента структуры. Таким образом, при засветке структуры происходит перестройка выходного сигнала, что говорит о возможности формирования и распознавания двоичного сигнала на выходе планарной структуры параллельного типа в условиях оптической засветки.

Экспериментально было выяснено, что у структуры есть пороговое значение по интенсивности засветки, когда колебания исчезают, то есть под действием света наблюдалось не только увеличение количества импульсов в

сигнале, но так же и уменьшение, когда светом выключается сигнал. При определенной интенсивности может происходить переход в одночастотный режим (выключение элементов, уменьшение числа пиков). Могут выключиться элементы структуры как все сразу, так и по очереди.

Из предположения, что частота рекомбинационных колебаний зависит от величины протекающего через структуру тока, которая в свою очередь определяется количеством генерируемых пар электрон-дырка в результате внутреннего фотоэффекта, зависимость частоты колебаний тока от освещенности должна повторять зависимость фототока от освещенности для GaAs. На рисунках 9-11 показано, что амплитуда токовых колебаний имеет зависимость от освещенности и экспоненциально спадает с ее увеличением, в большинстве случаев приводя к отключению рабочих элементов структуры.

Для некоторых структур была характерна следующая особенность: после включения лазера – при значении мощности  $P_1 = 0,5$  мВт включаются элементы структуры, то есть сама структура. Включение элементов характеризуется набором импульсов на осциллограмме (Рис. 10). Но данный случай является редким, обычно элементы структуры работают в темноте.

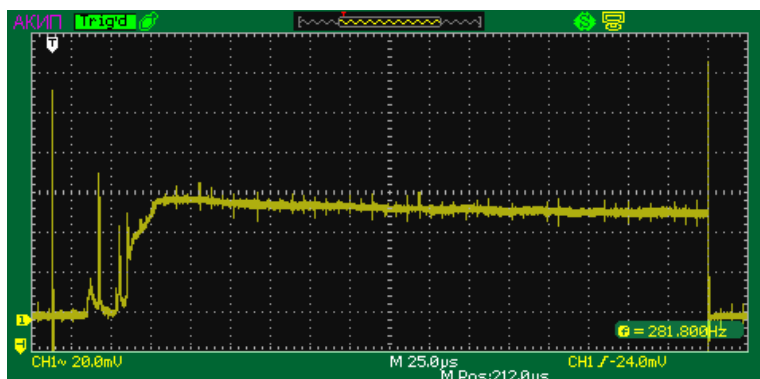


Рисунок 9 – Осциллограмма элементов структуры в темноте, при  $P_0 = 0$  мВт

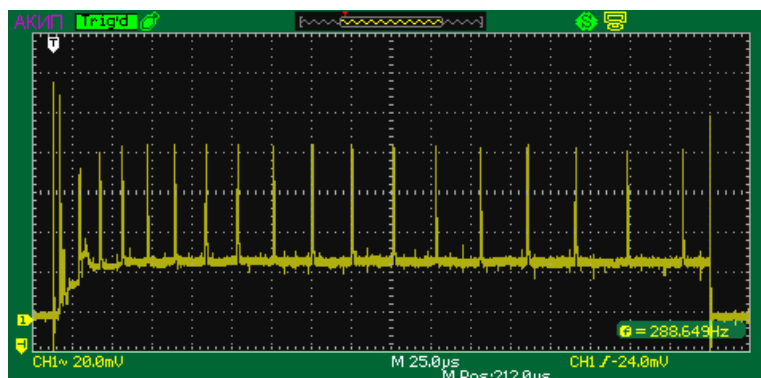


Рисунок 10 – Включенные элементы структуры, при  $P_1 = 0,5$  мВт

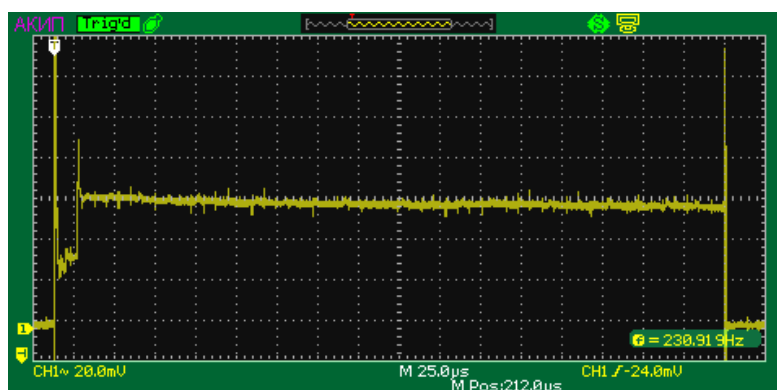


Рисунок 11 – Срыв генерации в структуре при значении мощности 2 мВт

На рисунках 9-11 видно, что при увеличении мощности оптической засветки может происходить как включение, так и выключение элементов структуры. Это обуславливается изменением постоянной составляющей фототока, что влияет на распределение электрического поля в структуре и механизмы захвата и рекомбинации электронов с участием глубоких уровней в полупроводнике.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе практической работы было выявлено, что возможно формирование и распознавание двоичного сигнала на выходе планарной структуры полуизолирующего арсенида галлия параллельного типа в условиях оптического воздействия. Оптическое воздействие на структуру производилось для исследования возможности формирования двоичного сигнала на выходе структуры. Было выявлено, что от света амплитуда сигнала на выходе структуры на основе параллельной структуры высокоомного арсенида галлия уменьшается. Исследованы возможности переключения режимов работы структуры (из одночастотного в многочастотный).

У используемой в эксперименте структуры была выявлена возможность перестройки многочастотного сигнала под действием света, которая происходит из-за зависимости частоты токовых колебаний от интенсивности засветки. Кроме того, существует возможность изменять светом количество активных элементов структуры, как включать, так и выключать, поскольку при превышении некоторого порога интенсивности падающего оптического излучения происходит срыв генерации.

Полученный сигнал обладал свойствами, которые «привязаны» к определенному элементу структуры. Совместное проявление описанных свойств, а именно появление колебаний тока при пороговом значении напряжения и их исчезновение при пороговом значении мощности засветки, позволяет использовать такую структуру в качестве переключаемого элемента, управляемого сигналом с помощью оптического воздействия.

Поскольку частоты токовых колебаний в структуре не высокие (5-500 кГц) а фронты этих колебаний довольно продолжительные, то это накладывает ограничения на количество импульсов в пакете, поскольку

накладывающиеся импульсы в какой-то момент полностью перестают распознаваться цифровым устройством. Кроме того, из-за неоднородности поверхности межконтактной области, а так же наличия поверхностных состояний некоторые элементы структуры шунтируют остальные, что проявляется в возникновении постоянной составляющей тока в выходном сигнале, также негативно сказывающемся на распознавании сигнала, что и наблюдалось в данной работе. Поэтому для нормального выявления из результирующего сигнала полезной информации нужно не более 4-х рабочих элементов структуры, не вносящих при этом постоянную составляющую в выходной сигнал. Вследствие этого, для дальнейших исследований рабочих параметров, необходимо уменьшить количество параллельно соединенных элементов в исходных образцах либо выборочно, что достаточно трудозатратно, либо модификацией поверхности структур с разделением шин питания.