

ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НА ЛАВИННЫХ ДИОДАХ

А.С. Карауш, Р.В. Потемин, С.П. Лукьянов, О.П. Толбанов

1. г. Томск, пл. Ново-соборная, 1, Сибирский физико-технический институт при Томском государственном университете.
тел. (382-2)-41-36-39.
2. Государственное научно-производственное предприятие «НИИПП»
тел. (382-2)-48-82-48.

Представлен генератор видеоимпульсов наносекундной длительности, амплитудой от 40 до 300 В (в зависимости от типа используемого лавинного диода). Предложен в качестве ключевого элемента генератора лавинный GaAs диод (S-диод). Рассмотрены особенности работы генератора на S-диоде, предложены варианты по увеличению стабильности его работы.

В последние годы все большее развитие получают дистанционные неразрушающие методы интроскопии материальных сред, предполагающие использование силовой субнаносекундной импульсной техники. До сих пор существует также проблема возбуждения СВЧ-приборов, полупроводниковых лазеров и светодиодов, управления электрооптическими затворами, модуляторами, формирователями линейных разверток скоростных осциллографов и т. д.. Решение вышеперечисленных задач требует развития силовой субнаносекундной техники в сторону обеспечения большей пиковой и средней мощности, пикосекундного быстродействия, и все это при улучшении массогабаритных показателей и достижении более высокой эффективности устройств.

В настоящей работе авторы предлагают вниманию исследования, связанные с созданием импульсных устройств на основе достаточно нового класса полупроводниковых импульсных лавинных диодов (ДПИЛ или S-диоды), обеспечивающих большие перепады тока при переходе из режима «выключено» в режим «включено». По совокупности параметров быстродействия и мощности ДПИЛ превосходят традиционно используемые полупроводниковые приборы. Отличительной особенностью ДПИЛ является наличие в обратной ветви вольт-амперной характеристики участка отрицательного дифференциального сопротивления S-типа, разделяющего два устойчивых состояния: высокоомное с $R \sim 10^9 \text{ Ом}$ и проводящее с $R \sim 10 \text{ Ом}$. Переключение ДПИЛ из одного состояния в другое происходит при достижении напряжения смещения выше порогового $U = U_{п}$, где $U_{п}$ -напряжение переключения в проводящее состояние, достаточного для формирования лавинного пробоя... При переходе S-диода из "закрытого" состояния в "открытое" формируется мощный импульс тока до 15 А на согласованной нагрузке. Известны ДПИЛ, которые позволяют получать видеоимпульсы с фронтом нарастания 0,1- 2 нс, при напряжениях включения 40...900 В и с частотами работы до 200 кГц [2]. Благодаря низкому внутреннему сопротивлению в момент пробоя ДПИЛ, имеется возможность получать высокий КПД (реально 60-80%).

В основе механизма образования участков с отрицательным сопротивлением диода лежат процессы, связанные с перезарядкой глубоких центров с последующим формированием и распространением в структуре ДПИЛ волн ударной ионизации. Фронт

лавины носителей заряда распространяется через базовую область структуры со скоростью в 2-7 раз превышающей предельную скорость дрейфа свободных носителей заряда в электрическом поле, $V=8 \times 10^6$ В/см. Если плотность тока в структуре $i=10 \times 10^4$ А/см², то время переключения ДПИЛ может достигать $t_{pr} \sim (0,1-0,3)t_{pr}$, где $t_{pr}=d/V_m$ - время пролета носителей заряда через высокоомный слой толщиной (d) с максимальной дрейфовой скоростью (v_m). При плотности тока в импульсе равном $i=4 \times 10^3$ А/см² выполняется условие $t_{pr} = t_{pr}$.

К недостаткам S-диодов можно отнести зависимость напряжения включения S-диода от частоты повторения запускающих импульсов. Возможным способом устранения этого недостатка по [2], является подача обратного напряжения смещения. Кроме этого, наблюдается зависимость длительности фронта формируемого импульса и эффективности прибора от сопротивления нагрузки.

Структурная схема генератора наносекундных видеоимпульсов с амплитудой от 80 до 320 В и длительностью переднего фронта до 0,5 нс на основе серийно выпускаемого S-диода 3Д530А представлена на рисунке 1.

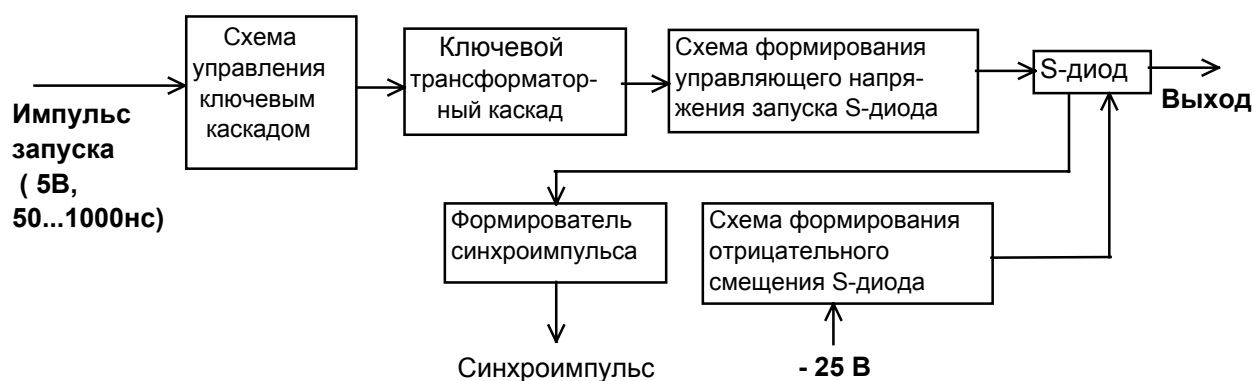


Рис.1.

Схема формирования импульса запуска предназначена для выработки управляющего напряжения ключевого каскада. На выходе трансформаторного ключевого каскада формируется импульс с фронтом 50 нс и амплитудой напряжения, достаточной для включения S-диода. В момент включения S-диода на выходе схемы формируется импульс с длительностью переднего фронта 0,5 нс и амплитудой равной U_p . В то же время по фронту мощного импульса за счет обеспечения индуктивной связи между цепью S-диода и схемой формирования синхроимпульса формируется импульс амплитудой 5В и длительностью 10-100нс. Для ускорения процесса восстановления высокого сопротивления S-диода на него подается отрицательное смещение. Питание генератора осуществляется от трех источников напряжений +5В, +25В и -25В. Потребляемая мощность генератора при частоте повторения 100 кГц составляет не более 5 Вт.

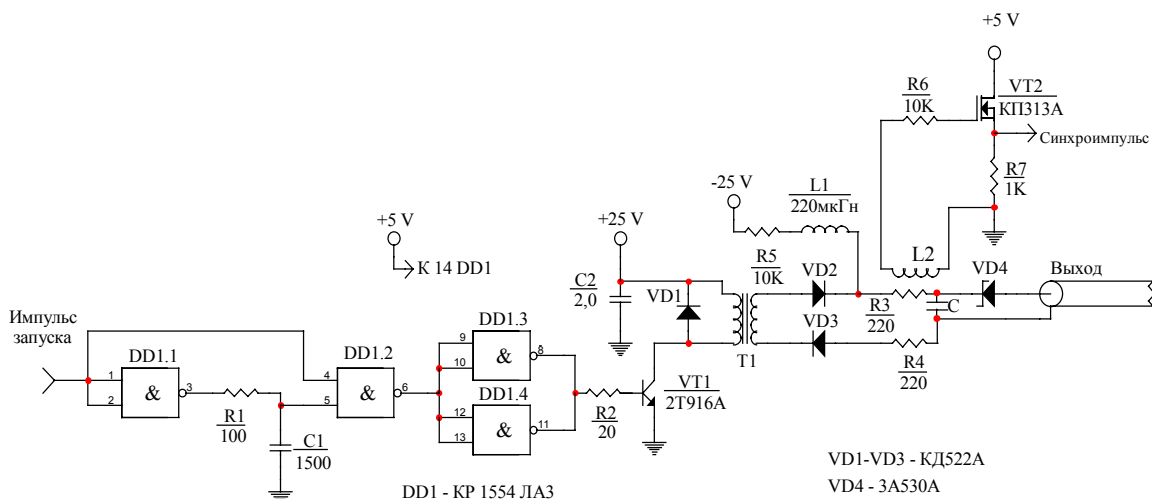


Рис. 2.

На рисунке 2 показана принципиальная схема генератора. Схема формирования по длительности импульса запуска выполнена на быстродействующей микросхеме DD1. Для изготовления импульсного трансформатора T1 ключевого каскада использован ферритовый тороидальный сердечник 100ВЧ К16х8х6 ГОСТ 17141-76. Первичная обмотка содержит 1 виток провода, а вторичная обмотка состоит из 80..100 витков в зависимости от требуемой величины напряжения запуска. Синхроимпульс на затворе транзистора VT2 формируется в момент резкого изменения величины тока, поступающего в нагрузку.

Выход генератора должен быть согласован с симметричной нагрузкой с волновым сопротивлением 25 Ом, согласно данным таблицы 1.

Таблица 1

Зависимость параметров формируемых импульсов от величины сопротивления нагрузки (для S-диода с напряжением включения 120 В [2]).

| N | Сопротивление нагрузки, Ом | Длительность переднего фронта, нс | Длительность импульса по основанию, нс | Амплитуда импульса Выход генератора выполнен симметричным, что объясняется используемыми антеннами для на нагрузке, В | Пиковая мощность на нагрузке, Вт |
|---|----------------------------|-----------------------------------|--|---|----------------------------------|
| 1 | 12,5 | 0,7 | 2 | 40,5 | 131 |
| 2 | 25 | 0,8 | 4 | 87 | 302 |
| 3 | 37,5 | 0,8 | 4 | 99 | 261 |
| 4 | 50 | 0,8 | 4 | 80 | 128 |

Согласно [2], формируемая амплитуда импульсов на выходе S-диода падает на 30-40% при увеличении частоты с 25 до 100 кГц.

Стабилизация амплитуды формируемых импульсов на выходе S-диода достигается подачей отрицательного смещения амплитудой 25 В, для более быстрого восстановления высокого сопротивления диода.

При использовании схемы отрицательного смещения амплитуда формируемых импульсов изменяется не более 10%.

В таблице 3 приведены результаты исследования напряжения включения S-диода при изменении частоты повторения, для нагрузки с сопротивлением 25 Ом.

Таблица 2

| | Вид подачи отрицательного смещения | Частота повторения, кГц | | | | |
|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | | 10 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| Напряжение включения S-диода, В | без смещения | 130 | 130 | 110 | 100 | 90 |
| | со смещением | 120 | 120 | 120 | 120 | 110 |

Проведенные исследования позволили создать генератор мощных наносекундных видеоимпульсов на основе использования S-диодов с улучшенными тактико-техническими и экономическими показателями по сравнению с известными. Такие генераторы могут найти широкое практическое применение и в других областях, например в качестве устройств запуска для мощных тиратронов и разрядников, для накачки полупроводниковых лазеров, для систем широкополосной радиолокации и ультразвуковой локации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белкин В.С., Шульженко Г.И. Формирователи мощных наносекундных и пикосекундных импульсов на полупроводниковой элементной базе. Новосибирск: Институт ядерной физики, 1991.
2. Полупроводниковые приборы. Сверхвысокочастотные диоды. /Справочник/ Б.А. Наливайко, и др.- Томск: МПП"РАСКО", 1992- 223с.:ил.
3. Белкин В.С., Шульженко Г.И. Генератор высоковольтных двуполярных наносекундных импульсов // ПТЭ. 1994 N4.
4. Белкин В.С., Шульженко Г.И. Формирователи высоковольтных наносекундных импульсов с низковольтным питанием // ПТЭ. 1994 N.4