

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2024.10.15>

УДК: 621.373

МОДЕЛЬ ГЕНЕРАТОРА С ИЗМЕНЯЕМОЙ ФОРМОЙ СКИ

Г.К. Усков, А.Е. Елфимов, А.С. Величкина, А.М. Бобрешов

Воронежский государственный университет,
394018, Воронеж, Университетская площадь, 1

Статья поступила в редакцию 10 июля 2024 г.

Аннотация. В работе описан метод управления формой колокольного импульса Гаусса. Подход основан на управлении длительностью протекания прямого тока через диод, что позволяет контролировать объем инжектируемого заряда в активную область диода. Величина объема заряда напрямую влияет на параметры видеоимпульса генератора. Управление параметрами используется в системах связи при формировании различных видов модуляции последовательности импульсов. В работе приведены результаты моделирования, подтверждающие возможность управлять объемом заряда и, как следствие, формой результирующего импульса.

Ключевые слова: сверхкороткие импульсы, СКИ, сверхширокополосные сигналы, СШПС, диод с накоплением заряда.

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00891, <https://rscf.ru/project/24-19-00891/>

Автор для переписки: Величкина Анастасия Сергеевна,
nastyavelichkina65@gmail.com

Введение

Генераторы сверхкоротких импульсов (СКИ) находят применение в системах организации радиосвязи в подземных тоннелях, дистанционного измерения частоты дыхания и сердцебиения, а также при исследовании дефектов в структурах полупроводников [1-2]. При формировании видеоимпульсов используют схемы, построенные на основе диодов с накоплением заряда (ДНЗ) [3-5]. Основную роль в таких схемах играют токоразмыкающие свойства и высокая скорость восстановления обратного сопротивления ДНЗ.

В предыдущих разработках генераторов применялось одноканальное управление [4, 5]. В таких схемах оно заключалось только в выборе момента начала процесса экстракции. Длительность процесса экстракции определяется только параметрами диода. При протекании прямого тока за время, превышающее время жизни неосновных носителей заряда, процесс инжекции уравнивается процессом рекомбинации, после чего устанавливается стационарный режим работы диода. В связи с этим, объём накопленного заряда в активной области будет всегда максимальным, потому что управление длительностью процесса инжекции не предусмотрено.

В работе предложен способ управления как длительностью процесса накопления заряда, так и моментом начала его экстракции. Проведенное моделирование схемы двухканального управления позволило определить зависимость формы видеоимпульса от объёма заряда и диапазон перестройки амплитуды и длительности СКИ, что дает возможность реализации амплитудно-импульсной, широтно-импульсной, а также других видов модуляции последовательности СКИ

1. Метод управления зарядом в ДНЗ

Рассмотрим общий принцип управления объемом накопленного заряда. Алгоритм можно описать при помощи временной диаграммы на рисунке 1. На первой стадии через диод протекает прямой ток, вследствие чего происходит

инжекция заряда в активную область ДНЗ. Время накачки ограничено отрезком времени $t1-t2$. Длительность процесса задается управляющим сигналом. После окончания инъекции (момент $t2$) начинается процесс экстракции, вызванный протеканием обратного тока через диод. Рассасывание ограничено диапазоном времени $t2-t3$. Время экстракции зависит от объёма накопленного заряда и параметров самого диода. В соответствии с этим выбирается длительность управляющего импульса. В момент окончания экстракции $t3$, начинается процесс резкого восстановления сопротивления диода, и в промежутке времени $t3-t4$, за счет высвобождения энергии магнитного поля индуктивности, формируется СКИ, который можно наблюдать на экране осциллографа, подключенного к нагрузке генератора.

В данной работе предлагается управлять длительностью импульса инъекции ($t1-t2$), задавая тем самым объем инжектируемого заряда. При этом, момент окончания процесса инъекции должно быть синхронизировано с моментом начала экстракции. Для реализации предложенного алгоритма необходимо использовать схему двухканального управления токами накачки и рассасывания. Каждый канал включает в себя источник запускающего импульса, выход которого подключен к затвору полевого транзистора. Транзисторы, используемые в схеме, выполняют функцию формирователей импульсов, управляющих токами, протекающими через диод. Следовательно, предложенная схема позволяет обеспечить независимое управление процессами накопления и рассасывания заряда в ДНЗ.

Для проверки работоспособности алгоритма было проведено моделирование формирователя управляющих импульсов, схемы управления объёмом накапливаемого заряда и схемы генератора с двумя каналами управления. На основе моделирования были получены зависимости формы СКИ от объёма накопленного заряда.

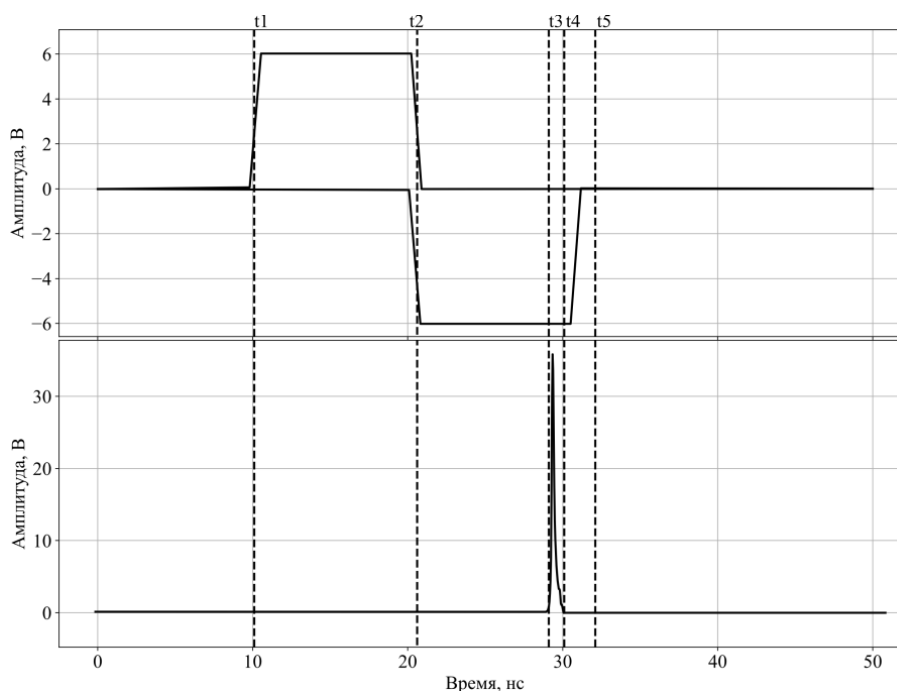


Рис. 1. Временная диаграмма процесса формирования импульса.

2. Моделирование схемы формирования управляющих импульсов

Модель формирователя управляющих импульсов и его схема представлена на рисунке 2(а). Эта модель отвечает за формирование импульсов токов инжекции и экстракции и позволяет управлять длительностью инжекции и задержками между процессами. В качестве задающих, для формирования управляющих импульсов, использовались источники прямоугольных видеоимпульсов, выходы которых подключены к затворам полевых транзисторов. При построении адекватной модели использованы параметры и характеристики транзисторов компании Ampleon [9]. При поступлении импульса на затвор транзистора, последний открывается и на нагрузочном резисторе R1 формируется положительный управляющий импульс. При помощи такой схемы можно сформировать меандр, представляющий из себя прототип необходимого управляющего сигнала. Пример сигнала, полученный при моделировании, представлен на рисунке 2 (б). Как видим, схема позволяет формировать импульсы в форме меандра. При этом положительный импульс отвечает за накопление заряда, а отрицательный за его рассасывание.

В процессе моделирования показана возможность независимого управления длительностью импульсов и их задержкой.

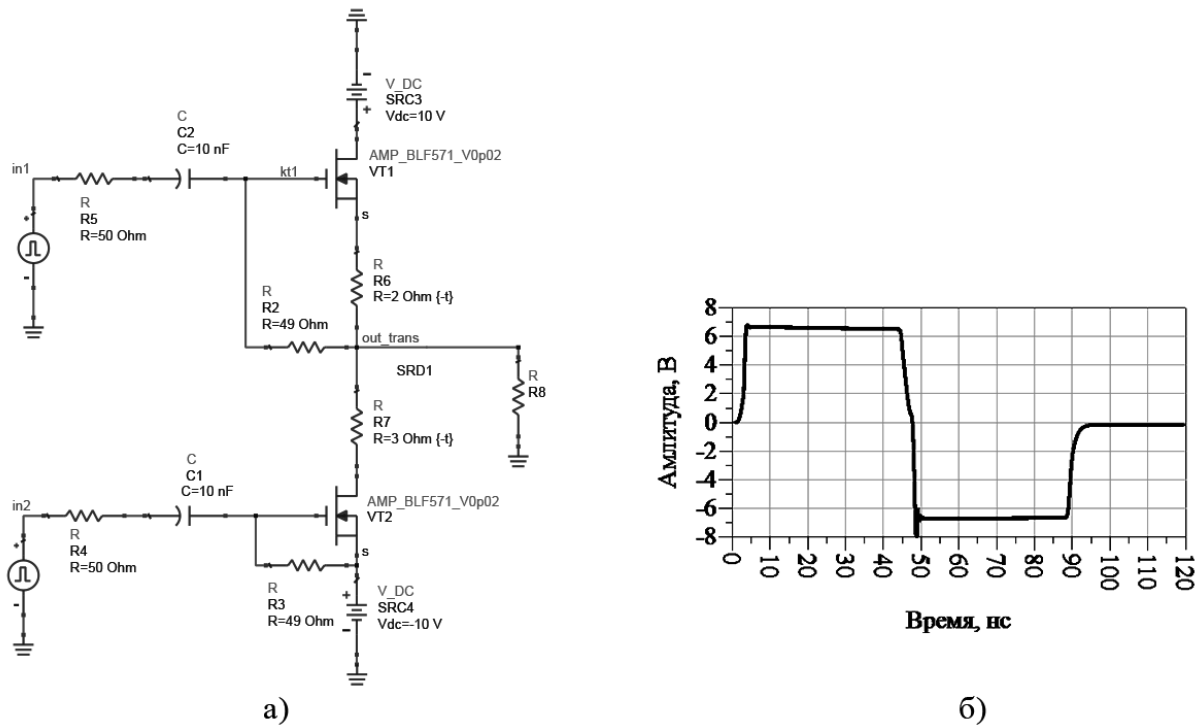


Рис. 2. Модель двухканальной схемы управления (а) и пример импульсов инъекции и экстракции (б), полученные в результате моделирования.

3. Моделирование схемы управления зарядом

Рассмотрим модель, в которой в цепь нагрузки включен ДНЗ. Такая схема позволяет косвенно наблюдать токи, протекающие через диод. В расчетах использовались характеристики диода, приведенные в модели компании MАСОМ [6, 9]. Предложенная модель предназначена для исследования зависимости объема накопленного заряда от времени, протекающего через диод прямого тока. Схема модели представлена на рисунке 3(а). В ней резистор R8 (0.1 Ом) ограничивает ток, протекающий через диод. Изменения напряжения наблюдаются на нагрузке R1. В момент начала импульса инъекции открывается транзистор VT1. Через диод протекает прямой ток, что приводит к накоплению заряда в активной области. В этот момент на нагрузке R8 наблюдается положительное напряжение. По заднему фронту управляющего импульса транзистор VT1 закрывается. Сразу после этого формируется

импульс на затворе VT2, по его переднему фронту транзистор открывается. Через диод начинает течь обратный ток, рассасывающий накопленный заряд. В этот момент на нагрузке R8 наблюдается отрицательное напряжение. Когда весь накопленный заряд в активной области диода оказывается удаленным, сопротивление диода резко восстанавливается.

С помощью предложенной модели, исследована связь длительности процесса рассасывания с временем протекания тока инжекции. Результаты моделирования представлены на рисунке 3(б). Очевидно, что чем дольше проходит процесс инжекции, тем больше времени нужно для экстракции накопленного заряда. Именно, по такому алгоритму, предложенная схема позволяет управлять объёмом накопленного заряда в активной области диода.

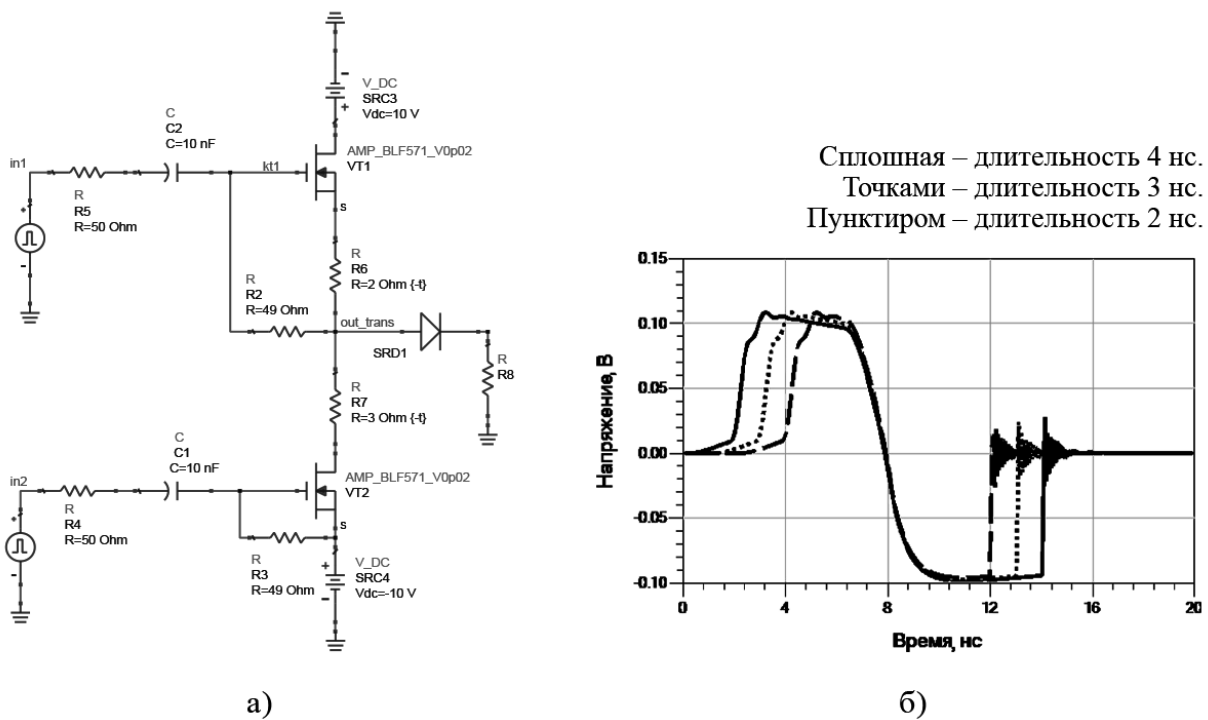


Рис. 3. Схема моделирования с прямым включением диода (а) и напряжение на выходе схемы при разных длительностях управляющего импульса (б).

4. Моделирование схемы генератора

На рисунке 4(а) приведена схема генератора СКИ с двумя каналами управления процессом накопления и рассасывания зарядом диода. Для формирования СКИ использовались два последовательно включенных ДНЗ,

что позволяет увеличить амплитуду видеоимпульса [5]. Параметры управляющих импульсов (амплитуда – 10 В, минимальная длительность – 5 нс) приближены к параметрам импульса экспериментального оборудования. Гауссовский видеоимпульс наблюдался на нагрузке R_{load} с сопротивлением 50 Ом. Емкость $C3$ необходима для исключения протекания постоянного тока.

Двухканальная схема управления позволяет независимо задавать длительность процесса накачки и момент начала экстракции. В первом эксперименте время инъекции было фиксированным, а процесс рассасывания начинался сразу после окончания инъекции. В результате моделирования на выходе генератора были получены СКИ квазигауссовской формы. Вид сигнала изображен на рисунке 4(б). Амплитуда импульса составила 54 В, длительность по полувысоте 200 пс. Также важно отметить отсутствие высокочастотных колебаний после заднего фронта импульса, которые наблюдаются в других схемах генерации. Послеимпульсные искажения негативно влияют на применение видеоимпульсов в различных системах связи и радиолокации. Отсутствие искажений позволяет эффективно использовать такие генераторы в схемах суммирования [7, 8, 11] видеоимпульсов. Уменьшение искажений удалось достичь за счет синхронизации момента окончания импульса экстракции и момента формирования СКИ.

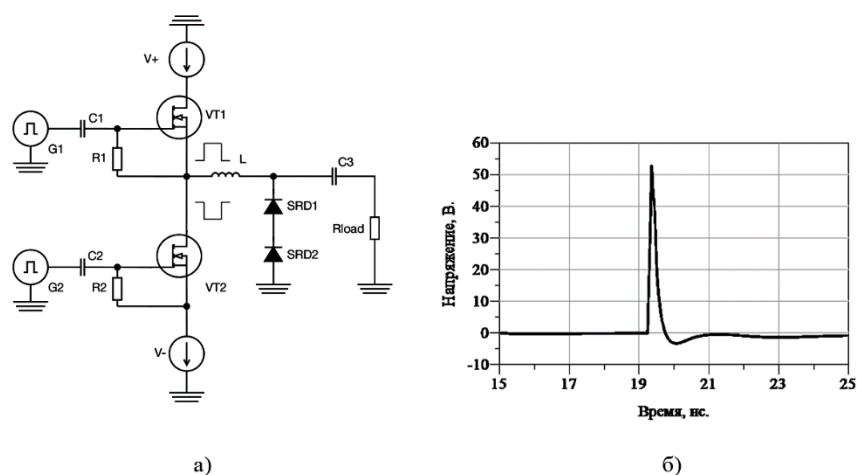


Рис. 4. Схема генератора СКИ с независимым управлением накачкой и рассасыванием заряда в ДНЗ (а) и осциллограмма видеоимпульса, наблюдаемого на нагрузке (б).

Таким образом, в послеимпульсный период отсутствует протекание прямого тока через диод, в отличие от того, как это происходит в схеме с единственным каналом управления [3-5].

Следующий эксперимент, был посвящен исследованию зависимости формы импульса от объёма инжектируемого заряда. Управление объёмом осуществлялось согласно алгоритму, предложенному ранее. Длительность управляющего импульса менялась в диапазоне от 5 до 9.2 нс. Синхронно с процессом увеличения длительности менялся момент начала экстракции. В результате расчетов была получена зависимость формы импульса от длительности процесса накопления заряда. Эта характеристика представлена на рисунке 5. Видно, что амплитуда и длительность импульса связаны с величиной накопленного заряда. Управление зарядом при помощи изменения длительности управляющего импульса, позволяет задавать форму СКИ. Полученный в ходе моделирования диапазон перестройки по амплитуде составил 28%, по длительности 38%.

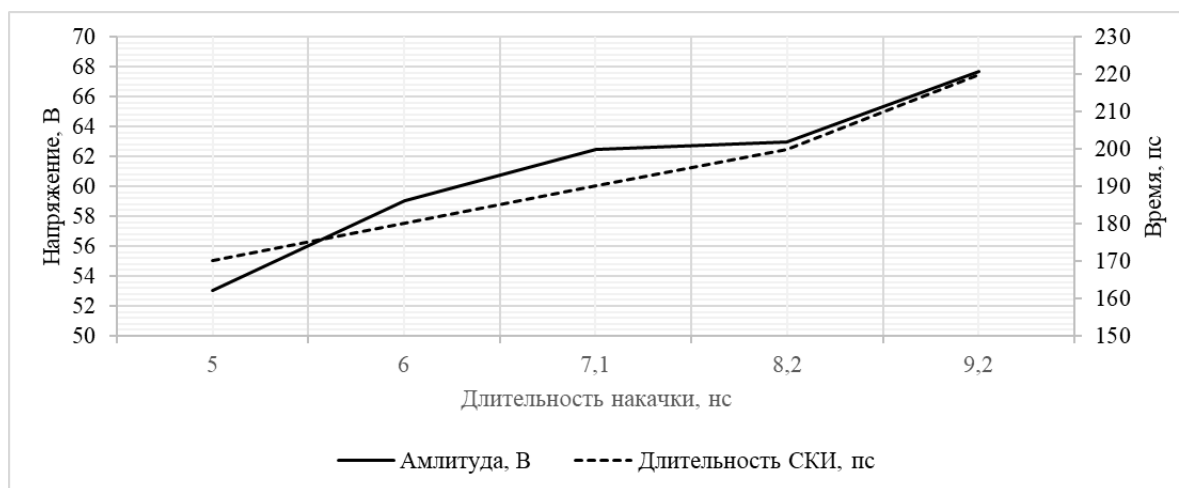


Рис. 5. Зависимости амплитуды и длительности импульса от времени накачки.

Заключение

В работе предложен метод управления объемом инжектируемого заряда в ДНЗ. Для реализации метода описана схема двухканального управления процессами накопления и рассасывания заряда. Схема позволяет независимо

менять длительность накопления и момент начала рассасывания заряда. Описанный подход позволил управлять объёмом инжектируемого заряда и, как следствие, формой СКИ на выходе генератора. В работе проведено моделирование схемы управления и схемы генерации. Продемонстрирована работоспособность предложенных схемотехнических решений и показана возможность снижения послеимпульсных искажений в формируемом СКИ.

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00891, <https://rscf.ru/project/24-19-00891/>

Литература

1. Zhou, Yuan; Law, Choi Look; Xia, Jingjing. Ultra low-power UWB-RFID system for precise location-aware applications. 2012 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW). PP. 154–158. <https://doi.org/10.1109/WCNCW.2012.6215480>
2. R. S. Kshetrimayum. An introduction to UWB communication systems. // IEEE Potentials. Vol. 28. №2, PP. 9–13, March-April 2009. <https://doi.org/10.1109/MPOT.2009.931847>
3. Пикосекундная импульсная техника / В. Н. Ильюшенко [и др.], под ред. В. Н. Ильюшенко – Москва: Энергоатомиздат, 1993. – 386 с.
4. Bobreshov, A. M. Novel Tunable Ultrashort Pulse Generator with High Amplitude and Low Ringing Level / A. M. Bobreshov, A. S. Zhabin, V. A. Stepkin, G. K. Uskov // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. – Nov. 2017. Vol 27. – P. 1013–1015. <https://doi.org/10.1109/LMWC.2017.2750085>
5. Bobreshov A. M., Zhabin A. S., Ryazantsev A. D., Stepkin V. A., Uskov G. K. Improvement of Ultrashort Pulses by Serial Connection of Step Recovery Diodes // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. 2021. Vol. 31. №2. PP. 204 – 206. <https://doi.org/10.1109/LMWC.2020.3046925>
6. Kyhl, J., Andersson M. An Advanced PIN-diode Model. // Microwave Journal. — 2005. — № 48. — P.206-212.

7. Uskov G. K., Elfimov A. E., Velichkina A. S., Smuseva K. V. Formation of a Gauss Doublet Using a Configurable UWB Signal Generator // IEEE 8th All-Russian Microwave Conference (RMC). 2022 г. P. 110–112. <https://doi.org/10.1109/RMC55984.2022.10079634>
8. Бобрешов А.М., Елфимов А.Е., Степкин В. А., Усков Г.К. Формирование сверхкоротких импульсов с помощью сумматора конструкции Уилкинсона // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2021. Т. 24. №4. С. 46–52. <https://doi.org/10.18469/1810-3189.2021.24.4.46-52>
9. HF / VHF power LDMOS transistor BLF574 Datasheet / Ampleon.com – [Электронный ресурс]: <https://www.ampleon.com/products/general-purpose-wideband/50-v/BLF574.html> (дата обращения: 20.05.2024).
10. MAVR-044769-12790T Datasheet / Macom.com – [Электронный ресурс]: <https://www.macom.com/products/product-detail/MAVR-044769-12790T> (18.06.2024).
11. Усков Г.К., Елфимов А.Е., Смусева К.В., Величкина А.С., Бобрешов А.М. Формирование дуплета Гаусса с помощью конфигурируемого генератора СШП сигналов // Журнал радиоэлектроникаю – 2023ю - №9. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2023.9.8>

Для цитирования:

Усков Г.К., Елфимов А.Е., Величкина А.С., Бобрешов А.М. Модель генератора с изменяемой формой СКИ. // Журнал радиоэлектроники. –2024. – №. 10. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2024.10.15>