

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИНИЙ ЗАДЕРЖКИ СОВМЕСТНО С МАТРИЦЕЙ ЛАВИННЫХ ФОТОДИОДОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СКОРОСТИ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ФОТОНОВ В ОПТИЧЕСКОМ ИМПУЛЬСЕ

*Пикуза М.О.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Михневич С.Ю. – канд. физ.-мат. наук*

В работе предложено использовать линии задержки, подключенные к выходам отдельных ячеек матрицы лавинных фотодиодов, для эффективной регистрации фотонов в принимаемом оптическом импульсе. Эффективность достигается за счет разноса во времени сигналов с нескольких фотодиодов, сработавших с разницей во времени меньше, чем мертвое время фотодиода. Линии задержки предлагается реализовать при помощи конфигурации проводников на печатной плате детектора фотонов.

Генераторы случайных чисел (ГСЧ) предназначены для получения равновероятностной последовательности случайных бит. В зависимости от вероятностных характеристик выходной случайной последовательности, ГСЧ могут применяться как в компьютерном моделировании и игровой индустрии, так и в криптографии [1].

Физические генераторы случайных чисел реализуются на основе источников случайности, которые подчиняются законам классической физики. К таким источникам

относятся тепловой, лавинный и темновой шум. Подчинение источников случайности к законам классической физики говорит о детерминированности выходного сигнала и как следствие теоретической возможности при наличии определенных вычислительных мощностей выразить закон изменения этого сигнала и таким образом предсказать выходную последовательность бит ГСЧ.

Для исключения детерминированности выходного сигнала применяются источники случайности, основанные на законах квантовой физики. Таким источником случайности может быть фотон, одним из свойств которого является вероятность его испускания. На основе данного свойства построено множество ГСЧ, в которых происходит излучение слабого потока единичных фотонов и дальнейшее определение различных параметров, например определение времени между детектированием двух фотонов, количества детектированных фотонов за определенное время и т.д.

В качестве источника фотонов зачастую используют светодиоды, которые работают в ослабленном [2] либо импульсном режиме [3]. В качестве детекторов единичных фотонов или коротких последовательностей единичных фотонов используют однофотонные лавинные фотодиоды. Кремниевые лавинные фотодиоды более распространены поскольку могут работать при комнатных температурах и имеют лучшие характеристики по темновым токам. Кроме темновых токов существует такой важный параметр как мертвое время, это время, которое необходимо для возврата фотодиода в состояние готовности к детектированию фотона после гашения лавинового тока.

В течении мертвого времени фотодиод не сможет распознать новый фотон, что ограничивает возможную скорость их генерации. Для решения этой проблемы можно использовать матрицу независимых лавинных фотодиодов (ячеек), подключенных к общему выходу через линии задержки. В такой структуре напряжение смещения подается одновременно на все ячейки матрицы, а снятия сигнала происходит с объединенного выхода линий задержки. Таким образом при интенсивном потоке фотонов в оптическом импульсе, при срабатывании нескольких детекторов с разницей во времени меньше, чем мертвое время фотодиода, сигналы будут разнесены во времени, что позволит их сосчитать и использовать для генерации случайных последовательностей.

В качестве линий задержки можно использовать различные длины проводников на печатной плате детектора фотонов. Необходимую длину проводника можно вычислить через скорость распространения сигнала в проводнике, которая вычисляется по следующей формуле:

$$v=c / E_r \quad (1),$$

где  $c$  – скорость света в вакууме,  $E_r$  - относительная диэлектрическая проницаемость материала.

Таким образом для обеспечения задержки в 1 нс на основе длины проводника, расположенного на печатной плате из материала FR-4 ( $E_r=4.5$ ), можно найти скорость распространения сигнала, равную примерно  $1,4 \cdot 10^8$  м/с, из этого необходимая длина проводника будет равна 14 см.

**Список использованных источников:**

1. Bisadi Z. All-Silicon-Based Photonic Quantum Random Number Generators / Z. Bisadi // University of Trento, 2017.- 152 p.
2. Stipčević, M. Quantum random number generator based on photonic emission in semiconductors / M. Stipčević, M. Rogina // Rev. Sci. Instrum, 2007.- 9 p
3. Барановский, О.К. Исследование возможности использования лавинных фотодиодов в режиме одноквантовой регистрации для создания квантовых генераторов случайных чисел / О.К. Барановский, О.Ю. Горбадей, А.О. Зеневич // Приборы и техника эксперимента, 2018. – № 1. – С. 34-38.