

УСТРОЙСТВО АСИНХРОННОЙ КВАНТОВОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Гулаков И.Р., Зеневич А.О., Тимофеев А.М.

Высший государственный колледж связи,

Минск, Республика Беларусь

В настоящее время информационная безопасность – одно из приоритетных направлений развития современных средств связи. Обеспечить защиту информации от несанкционированного доступа (НСД) можно с помощью квантовых систем, в которых для передачи каждого бита информации используются оптические сигналы, содержащие от одного до десятка фотонов.

Использование маломощных оптических сигналов позволяет определить потерю информации в линии связи, однако квантовые системы имеют низкие скорости передачи информации (СПИ) – до 50 кбит/с [1], что существенно ограничивает их практическое применение.

Одним из способов повышения СПИ может быть совместное использование двух режимов передачи и приема – импульсного (для передачи данных) и счетного (для тестирования линий с целью определения дефектов и НСД к информации). Например, по одному оптоволокну на длине волны λ_1 передаются данные с помощью мощных импульсов оптического излучения, а на длине волны λ_2 – организовывается тестирование в режиме одноквантовой регистрации излучения для обнаружения повреждений либо НСД.

Известные устройства [2,3], использующие для передачи информации маломощные оптические сигналы, требуют наличия дополнительной линии для передачи синхросигналов, что усложняет их практическую реализацию, например, когда источник и приемник расположены на значительном расстоянии друг от друга (в горной местности, космическом пространстве и пр.).

Поэтому целью настоящей работы являлось создание устройства передачи информации маломощными оптическими сигналами, в котором для синхронизации передающей и приемной части синхрои́мпульсы не применяются, а также оптимизация этого устройства, используя в качестве критерия оптимальности максимальную СПИ.

Для регистрации слабого оптического излучения использовались счетчики фотонов на базе кремниевых лавинных фотоприемников (ЛФП) со структурами p^+n-v-p^+ и p^+p-p-p^+ , а также серийно выпускаемые кремниевые лавинные фотодиоды ФД-115Л.

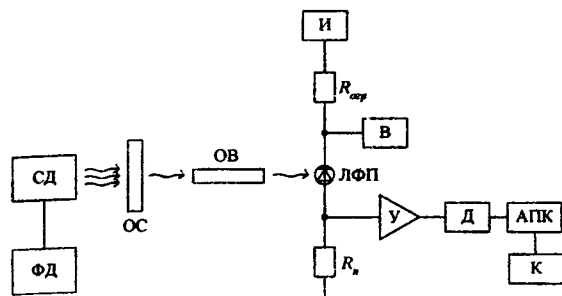
Поскольку исследуемые ЛФП имеют различные структуры и площади фоточувствительной поверхности, то представляет интерес определить, как эти параметры влияют на СПИ.

В связи с тем, что для различных структур ЛФП напряжения пробоя $U_{пр}$ различные, при сравнении зависимостей их характеристик от напряжения питания $U_{пит}$ использовалась величина перенапряжения $\Delta U = U_{пит} - U_{пр}$. Напряжение пробоя определялось на основании вольт-амперных характеристик ЛФП по методике, описанной в [4].

Для проведения исследований использовалась установка, структурная схема которой представлена на рисунке 1.

Формирователь данных ФД управляет работой светодиода СД при помощи управляющих импульсов. Каждый такой управляющий импульс состоит из интервала времени Δt_c , в течение которого передается либо символ «0» либо символ «1», и интервала времени, когда данные в линию не подаются – защитного интервала $t_z = t_b - \Delta t_c$, где t_b – среднее время передачи одного бита (одного символа). Защитный интервал предотвращает перекрытие близлежащих временных интервалов Δt_c . За время Δt_c на выходе светодиода СД при передаче символов «0» и «1» формируется импульс оптического излучения интенсивностью J_0 и J_1 соответственно, который ослабляется нейтральным светофильтром ОС и подается на ЛФП через оптическое волокно ОВ. Интенсивность оптического излучения подбирается такой, чтобы максимальное число фотонов при передаче символа «0» было меньше, чем минимальное число фотонов при передаче символа «1».

На приемной стороне счетчиком фотонов подсчитываются фотоны, поступающие в течение интервала времени Δt_c . Подсчитанное количество одноквантовых импульсов N передается в компьютер К, который определяет, какой символ передан, сравнивая число N с двумя пороговыми уровнями N_1 и N_2 . Если $N_1 \leq N \leq N_2$, то принимается решение, что передан символ «0»; если $N > N_2$, то принимается решение, что передан символ «1»; в противном случае принимается решение, что символ не передавался.



ФД – формирователь данных; СД – светодиод; ОС – ослабляющий нейтральный светофильтр; ОВ – оптическое волокно; И – источник постоянного напряжения; В – вольтметр; $R_{огр}$ – ограничивающий резистор; ЛФП – лавинный фотоприемник; R_n – нагрузочный резистор; У – усилитель; Д – амплитудный дискриминатор; АПК – аппаратно-программный измерительный комплекс; К – компьютер.

Рисунок 1 – Структурная схема установки

Также компьютер К на основании подсчитанного числа импульсов отдельно формирует массивы данных числа импульсов, по которым рассчитываются статистические распределения смеси числа сигнальных и темновых импульсов $P_{sig}(N)$ и $P_{sil}(N)$ при передаче символов «0» и «1» соответственно.

По методике, описанной в работах [2,3], получено выражение для расчета максимальной СПИ рассматриваемого канала.

Определены динамические диапазоны регистрации $\Delta n_s = n_{smax} - n_t$ (где n_{smax} – максимальная скорость счета темновых и сигнальных импульсов, при которой зависимость $n_s(J)$ линейная, n_t – скорость счета темновых импульсов) для счетчиков фотонов с различными фотоприемниками.

Установлено, что для всех исследуемых типов ЛФП зависимости $\Delta n_s(\Delta U)$ имеют максимум. Максимальное значение Δn_s в исследуемом диапазоне перенапряжений получено для ЛФП со структурой p^+n-v-n^+ с диаметром фоточувствительной поверхности 0,5 мм и составило $1,4 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$.

Зависимости $C_{max}(\Delta t_c)$ для всех исследуемых типов ЛФП имеют максимум, которому соответствует длительность $\Delta t_c = 10 \text{ мкс}$. Причем в диапазоне Δt_c от 1 до 10 мкс наблюдается рост зависимости $C_{max}(\Delta t_c)$, а при $\Delta t_c > 10 \text{ мкс}$ – ее спад.

Выполнены исследования зависимости пропускной способности оптического канала связи от интенсивности излучения J_0 , используемого для передачи символа «0».

Получено, что зависимости $C_{max}(J_0)$ имеют максимум, причем с ростом перенапряжения величина максимума увеличивается, достигая своего наибольшего значения, а затем – уменьшается.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что для получения максимальной СПИ по рассматриваемому оптическому каналу связи, необходимо выполнять подбор оптимальных значений перенапряжений ΔU , интенсивностей импульсов оптического излучения J_0 и J_1 , использующихся для передачи символов «0» и «1» соответственно, а также длительность передачи одного бита информации t_b . Для всех исследуемых типов ЛФП максимальное значение СПИ получено при перенапряжении, которому соответствовал максимум зависимости $\Delta n_s(\Delta U)$. Для этого перенапряжения следует устанавливать интенсивность импульсов оптического излучения J_1 , при которой величина скорости счета одноквантовых сигнальных импульсов n_s максимальна для линейного участка зависимости n_s от J_1 ; после чего подбирать интенсивность импульсов оптического излучения J_0 . Отметим, что при этом длительность передачи информации отдельными квантами необходимо устанавливать равной длительности защитного интервала, а время передачи каждого бита – 20 мкс для всех исследуемых типов ЛФП.

Максимальное значение пропускной способности $\approx 40,2 \text{ кбит/с}$ получено при использовании в качестве приемного модуля счетчика фотонов, построенного на базе ЛФП со структурой p^+n-v-n^+ с диаметром фоточувствительной поверхности 4,1 мм.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор №Т11ОБ-043).

1. Килин, С.Я. Квантовая криптография: идеи и практика / С.Я. Килин. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 391 с.
2. Зеневич, А.О. Пропускная способность оптического канала связи при передаче сообщения отдельными фотонами / А.О. Зеневич, С.К. Комаров, А.М. Тимофеев // Электросвязь. – 2010. – № 10. – С. 14–16.
3. Гулаков, И.Р. Исследование скорости передачи информации по оптическому каналу связи с приемником на основе счетчика фотонов / И.Р. Гулаков, А.О. Зеневич, А.М. Тимофеев // Автометрия. – 2011. – т. 47., № 4. – С. 31–40.
4. Грехов, И.В. Лавинный пробой p-n-перехода в полупроводниках / И.В. Грехов, Ю.Н. Сережкин. – Л.: Энергия, 1980. – 152 с.